



**GRAÇA MARIA VIANA
MONTEIRO**

**Controvérsias Geológicas: seu valor científico-
histórico e didáctico**

Tese apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Didáctica, realizada sob a orientação científica do Dr. João José Félix Marnoto Praia, Professor associado com agregação (aposentado pela Faculdade de Ciências da Universidade do Porto) do Departamento de Didáctica e Tecnologia Educativa e Dr. António Soares de Andrade, Professor associado aposentado pela Universidade de Aveiro do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.

o júri

presidente

Prof. Doutor Henrique Manuel Morais Diz
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Vítor Manuel de Sousa Trindade
Professor Catedrático da Universidade de Évora

Prof. Doutor João José Félix Marnoto Praia
Professor Associado com Agregação Aposentado pela Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (Orientador)

Prof. Doutor Luís Manuel Ferreira Marques
Professor Associado com Agregação da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Luís Carlos Gama Pereira
Professor Associado da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Prof. Doutor Alfredo de Oliveira Dinis
Professor Associado da Faculdade de Filosofia de Braga da Universidade Católica Portuguesa

Prof. Doutor António Augusto Soares de Andrade
Professor Associado Aposentado da Universidade de Aveiro (Co-Orientador)

agradecimentos

Este trabalho teve início em Setembro de 2003 e, ao longo de quatro anos, houve um caminho percorrido que permitiu a sua concretização.

Torna-se grato recuar no tempo e verificar que as primeiras palavras de gratidão vão para os Sr. Professor Doutor João Félix Marnoto Praia e Sr. Professor Doutor António Soares de Andrade cuja orientação, persistência e disponibilidade tornaram possível o alcance dos objectivos que eu pretendia atingir.

Ao longo destes anos de trabalho não posso esquecer os meses de estadia em Cambridge sob orientação de Elaine Wilson PhD, docente e investigadora da Faculty of Education, cuja disponibilidade e oportunidades me foram fundamentais.

Quero ainda agradecer aos alunos Sara, Davide, Diana Marlene, Diana, Raquel e Sofia que, com amizade concretizaram a tarefa de alunos colaboradores no que respeita ao desenvolvimento dos materiais didácticos.

Finalmente, não quero deixar de mostrar a minha gratidão a todos os colegas, amigos e familiares que, embora não mencionados especificamente, hajam contribuído para que eu pudesse levar a bom termo a tarefa que me propus encetar.

palavras-chave

Controvérsias Geológicas, Educação em Ciência, História e Filosofia da Ciência.

Uma das vertentes da função docente é, seguramente, a da constante investigação, não (apenas) por uma questão de enriquecimento pessoal e profissional, mas pelo que aos estudantes diz respeito, sempre ávidos de respostas (não definitivas) sobre a vida e obra dos investigadores que descobriram determinado conceito/teoria. A necessidade de conhecer os meandros do meio científico e as controvérsias geradas ao longo da emergência de um novo paradigma científico na Geologia do séc.XX, levou-nos a uma criteriosa selecção das mesmas. Com efeito, temas como i) o Tempo Geológico; ii) a Deriva Continental e a Tectónica de Placas e; iii) as Extinções em Massa, constituem o nosso objectivo de estudo. Definamo-los: a) Analisar as controvérsias na sua vertente histórico-epistemológica, numa perspectiva da construção do conhecimento científico; b) Articular a História da Geologia, nomeadamente as controvérsias geológicas, com a Educação em Geologia; c) Avaliar a importância das controvérsias na construção do conhecimento científico, através de materiais didácticos cuidadosamente elaborados para este fim e desenvolvidos em práticas lectivas. Assumimos o contributo da controvérsia científica como um importante marco na História da Ciência que intentamos perseguir e compreender.

O nascer da Geologia enquanto ciência autónoma, reveste-se de duras polémicas, conducentes a conquistas científicas, algumas das quais ainda se prolongam até aos dias de hoje. As controvérsias científicas foram encaradas, no nosso estudo, como processos cujos caminhos são alimentados por conteúdos científicos que se repensam. E se as controvérsias são fulcrais na Ciência, não há razão para separarmos a perspectiva científica da perspectiva histórico-epistemológica rica em dificuldades, confrontos e obstáculos. Pensamos ainda que a inclusão de aspectos relativos à natureza humana, rica em conflitos e situações dilemáticas, de valores e de âmbito ético, torna as controvérsias científicas enquadradas e justificadas num contexto Educação em Geologia. Aponta-se, então, a intenção de esclarecer a problemática central deste estudo: *Qual a importância das controvérsias geológicas para a Educação em Geologia?*

Em Didáctica da Geologia, numa perspectiva não instrumental, uma revalorização do papel das controvérsias científicas passa não só pela sua utilização de forma criativa, mas também por lhes atribuirmos uma maior diversidade de funções. Não se pode pois, afirmar que as controvérsias em Geologia sejam algo “naife” e neutras, uma vez que são portadoras de sentido dentro de um contexto social, político e mesmo religioso. Ao utilizarmos a controvérsia, note-se, não apenas como recurso didáctico, permitir-nos-á o desenvolvimento de capacidades, entre outras, de comunicação intra e interpares, desenvolver a criatividade e o poder argumentativo dos alunos, bem como revelar valores inerentes à ciência contemporânea. O analisar das controvérsias científico-históricas a partir de uma vertente qualitativa foi, como que o abrir de um processo de compreensão da realidade que queremos menos subjectiva, exigindo da Didáctica das Ciências um rigor disciplinar-metodológico que sempre procurámos ter em atenção. Neste sentido, referimos a pertinência da vertente de estudo historiográfica que se enquadrou e entrelaçou com a Investigação-Acção, no sentido de uma pesquisa activa e com maior significado para a educação científica. Este pressuposto requer inteligibilidade como um ponto de partida para uma nova abordagem no Ensino da Geologia. Assim, uma das suas possíveis linhas estruturantes passa pela História da Ciência e mais concretamente pela controvérsia científica, dotada de uma epistemologia própria. Acreditamos que ao utilizar a controvérsia científica enquanto exercício de aprendizagem, os alunos são convidados e ajudados a compreender melhor como se constrói a Ciência, acentuando o facto de a actividade científica ser eminentemente cultural e humana. Acrescentaremos que no presente estudo foram emergentes as conclusões de que a controvérsia científico-histórica tem um papel decisivo para uma mais adequada compreensão das dificuldades na construção do conhecimento científico, visto perseguir o objectivo da melhoria das percepções dos alunos do Ensino Secundário sobre a natureza da Ciência, bem como sobre a aprendizagem das controvérsias geológicas e alguns dos seus aspectos mais centrais.

keywords

Geological controversy, Science Education, History and Philosophy of Science.

abstract

A teaching goal is, surely, permanent research, not only for personal and professional enrichment, but also for students, always looking for answers (not definite) about the life and the work of those scientists that discovered some concept/theory. The need to be familiar with the scientific community and the controversy generated by the emergence of a new scientific paradigm in the XXIst century Geology led us to a careful selection. In fact: i) Geological Time; ii) Continental Drift and Tectonic Plates and; iii) Mass Extinction, build up our study goal. We will define them: a) To analyse the scientific controversy in its scientific-epistemological sides, in a scientific knowledge acquisition perspective; b) To articulate Geological History, namely the geological controversy, with Geology Education; c) To evaluate the importance of controversy in scientific knowledge acquisition through didactic material, carefully planned and applied in teaching practice. We assume that the scientific controversy has contributed as an important landmark in the History of Science, which we intend to follow and understand.

The Geology birth as an autonomous science is covered with hard controversy, leading to important scientific achievements, which still exist today. Scientific controversy has been faced, in our study, as different paths in a process, which are feed by the rethinking of scientific contends. And if controversy is essential, there is no reason to separate the scientific perspective from the historical-epistemological perspective, which is full of difficulties, confrontations and obstacles. We think that the inclusion of human nature aspects, rich in conflicts, dilemma values and ethic, makes scientific controversy fit and justified in a Geology Education context. We intent to clarify the main problem of this study: *What is the importance of the geological controversy in Geology Education?*

Geology in Didactic in a non-instrumental perspective, revaluing scientific controversies means not only using it in a creative way, but also giving it wider and diverse functions. We cannot state that controversy in Geology is "naive" and neutral, as it is meaningful in a social, political and religious context. Using controversy, not only as a didactic resource, will allow us to develop several skills as pair communication, creativity and argumentative power of pupils, and also to reveal contemporary scientific values.

Analysing the scientific-historical controversy through qualitative way was, like opening a process of understanding reality, which we want less subjective, demanding from Science Teaching the utmost attention to the methodological-discipline. So, we have pointed out the pertinence of the historical study which combined with Action-Research is of a great significance to Science Education. This presupposition implies intelligibility as a starting point to a new approach to Geology Teaching. So, a possible structural line goes through the History of Science, mainly through scientific controversy, and its self-epistemology.

We believe that by using scientific controversy as a learning exercise, pupils can understand better how Science evolves, emphasizing the fact that scientific activity is eminently cultural and human. Finally we must add that in this study the role of scientific-historical controversy was decisive in a proper understanding of the difficulties in scientific knowledge acquisition, as we had the goal to improve perceptions of the Secondary School students about the nature of science, and also about the learning of geological controversy and its central aspects.

Mots-clés

Controverses géologiques, Éducation en Science, Histoire et Philosophie de la Science.

Résumé

Un des versants de la fonction enseignante est sûrement celle de l'investigation constante non seulement par une question d'enrichissement personnel et professionnel, mais par rapport ce qui concerne aux étudiants, toujours avides de réponses (non définitifs) sur la vie et d'œuvres des investigateurs qui ont découvert un déterminé concept/théorie. Le besoin de connaître les méandres du moyen scientifique et les débats générés au long de l'émergence d'un nouveau paradigme scientifique dans la Géologie du XXI^e siècle, nous a apporté à un choix judicieux d'elles-mêmes. En effet, thèmes comme i) Le Temps Géologique; ii) La Dérive Continentale et la Tectonique de Plaques et; iii) Les Extinctions en Masse, constituent notre objectifs d'étude. On les définit: a) Analyser les controverses dans son versante historique-épistémologique dans une perspective de la construction de la connaissance scientifique; b) Articuler l'Histoire de la Géologie nommément les controverses géologiques, avec l'éducation en Géologie; c) Évaluer l'importance des controverses dans la construction de la connaissance scientifique, en travers de matériels didactiques soigneusement élaborés à cette fin et développés en pratiques de salle de classe. On s'arroge la coparticipation de la controverse scientifique comme un important jalon dans l'Histoire de la Science qu'on veut poursuivre et comprendre.

La naissance de la Géologie en tant que science autonome elle se recouvre de problématiques denses qui conduisent à des conquêtes scientifiques, aucunes d'elles se prolongent encore jusqu'à nos jours. Les controverses ont été envisagées dans cette étude, comme des procédures dont les chemins sont alimentés pour contenus scientifiques qui se repensent. Et si les controverses sont fondamentales dans la Science, il n'y a pas de raison pour repérer la perspective scientifique de la perspective historique-épistémologique riche en difficultés, en confrontes et en obstacles.

On pense encore sur l'inclusion en aspects relatifs à la nature humaine, riche en conflits et en situations dilemmatiques, avec des valeurs et de contour éthique, rend les controverses scientifiques parfaitement encadrées et justifiées dans un contexte d'Éducation en Géologie. On indique, alors, l'intention d'éclairer la problématique centrale de cette étude: *Quelle est l'importance des controverses géologiques pour l'Éducation en Géologie?*

En Didactique de la Géologie, dans une perspective, pas du tout instrumentale, une revalorisation du rôle des controverses scientifiques passe non seulement par son utilisation de forme créative, mais aussi en leur attribuer une diversité plus large de fonctions. On ne peut pas affirmer, donc, que les controverses en Géologie soient quelques chose naïf et neutres, une fois qu'elles sont porteuses de sens dans un contexte social, politique et même religieux. En utilisant la controverse, remarquez bien, il ne s'agit seulement d'un recours didactique mais, il nous permettra un développement de capacités, entre autres, de communication intra et entre pairs, en développant la créativité et le pouvoir d'argumentation des élèves et bien aussi de révéler les valeurs inhérentes à la science contemporaine.

Quand on analyse les controverses scientifiques-historiques, à partir d'une versante qualitative, c'est comme qu'ouvrir un procès de compréhension de la réalité qu'on a voulu moins subjective, en exigeant de la Didactique des Sciences une rigueur disciplinaire-méthodologique qu'on tentera toujours d'en faire en attention. Dans ce cas, on prêt attention à la pertinence du versant de l'étude historiographique que s'est encadrée et entrelacée avec l'Investigation-Action au sens d'une recherche active et avec un signifié plus grand pour l'éducation scientifique. Cette conjecture demande de l'intelligibilité comme un point de départ pour un nouvel abordage dans l'Enseignement de la Géologie. De ce point de vue l'une de ses possibles lignes structurantes passe par l'Histoire de la Science et, plus concrètement, par la controverse scientifique, dotée d'une épistémologie caractéristique.

On croit qu'en utilisant la controverse scientifique en tant qu'exercice d'apprentissage, les élèves sont invités et aidés à comprendre mieux comme se construit la Science, mettant en relief le fait de l'activité scientifique, et qu'elle soit éminemment culturelle et humaine. On ajout que dans cette étude ont été émergentes les conclusions que la controverse scientifique-historique a un rôle décisif pour la compréhension des difficultés dans la construction de la connaissance scientifique à fin de poursuivre l'objectif d'améliorer les perspectives des élèves de l'Enseignement Secondaire sur la nature de la Science et aussi bien que sur l'apprentissage des controverses géologiques et leurs aspects plus centraux.

ÍNDICE

- Capítulo I	pág.1
PROBLEMÁTICA, OBJECTIVOS E JUSTIFICAÇÃO DO ESTUDO	
<i>Problemática do estudo</i>	pág.2
<i>Objectivos do estudo</i>	pág.3
<i>Justificações do estudo</i>	pág.4
- Capítulo II	pág.15
ANÁLISE CRÍTICA DAS CONTROVÉRSIAS GEOLÓGICAS: UMAREVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
1- Para uma análise de sentido científico- histórico -epistemológico das controvérsias científicas: Tempo Geológico; Deriva Continental e Tectónica de Placas; Extinções em Massa	pág.15
1.1- Tempo Geológico	pág.18
1.2- Deriva Continental e Tectónica de Placas	pág.51
1.3- Extinções em massa	pág.103
2- Das epistemologias contemporâneas e controvérsias científicas às incidências de âmbito didáctico	pág.163
2.1- Perspectivas epistemológicas contemporâneas	pág.163
2.2- Sobre as controvérsias científicas	pág.180
2.3- Didáctica e perspectivas de ensino	pág.187
- Capítulo III	pág.203
FUNDAMENTAÇÃO METODOLÓGICA	
1- Vertente Historiográfica	pág.204
2- Vertente Empírico-Qualitativa	pág.211
2.1- A vertente qualitativa no contexto das controvérsias científicas	pág.211
2.2- Investigação-Acção e o papel do Investigador	pág.216
2.3- A validação da investigação	pág.224
2.4- Recolha de dados	pág.230

<i>3- Plano da investigação</i>	pág.232
- Capítulo IV	pág.235
MATERIAIS DIDÁCTICOS: SELECÇÃO, CONSTRUÇÃO E ESTRATÉGIAS DE ENSINO	
<i>1- Justificação didáctica na selecção dos episódios da controvérsia</i>	pág.236
1.1- Tempo Geológico	pág.236
1.2-Deriva Continental e Tectónica de Placas	pág.265
1.3- Extinções em Massa	pág.301
- Capítulo V	pág.339
ANÁLISE DE RESULTADOS E SUA INTERPRETAÇÃO A NÍVEL DAS PRÁTICAS: O EXEMPLO DAS EXTINÇÕES EM MASSA	
<i>1- Análise crítica das aulas</i>	pág.340
- Capítulo VI	pág.393
CONCLUSÕES, IMPLICAÇÕES E LIMITAÇÕES DO ESTUDO	
<i>Conclusões</i>	pág.394
<i>Implicações do estudo</i>	pág.407
<i>Limitações do estudo</i>	pág.409
- Bibliografia	pág.411
- Anexos	pág.I
ANEXO I	pág.III
ANEXO II	pág.VII
ANEXO III	pág.XI
ANEXO IV	pág. XV
ANEXO V	pág.LXXI

Capítulo I

PROBLEMÁTICA, JUSTIFICAÇÃO DO ESTUDO E OBJECTIVOS

INTRODUÇÃO

Uma das questões que se levanta, a quem se propõe realizar um trabalho de investigação centrado na Didáctica das Ciências, é, suficientemente, o seu desafio educacional que o envolve. A identificação do problema a estudar e dos objectivos a serem perseguidos, tornam-se claros ao percurso desenhado e a desenvolver. Neste caso, ponderámos e seleccionámos o estudo da controvérsia científica, enquanto motor e impulsionador da construção do conhecimento científico escolar, no quadro do Ensino Secundário.

Na verdade, a construção e transposição didáctica (e não, apenas, a aplicável) de materiais didácticos construídos neste estudo, permitiu-nos compreender a natureza de algumas dificuldades de aprendizagem e o papel da controvérsia no processo da referida construção do conhecimento científico. A relação fundamental entre estar na educação, enquanto pessoa e profissional, foi-se clarificando ao longo da realização do trabalho. A individualidade pessoal e a dos cientistas que desempenharam um papel preponderante nas controvérsias aqui focadas, orientaram as nossas opções educacionais e didácticas, bem como a organização geral do trabalho. Assim, no que toca à sua estrutura, é observada uma ordem que nos pareceu a mais racional num trabalho que se centrou no estudo histórico-epistemológico da controvérsia científica e na construção de materiais didácticos a serem desenvolvidos no Ensino-Aprendizagem pelos alunos.

Tendo como pano de fundo o contexto referido, vamos desenvolvê-lo em seis capítulos. O Capítulo I é o presente e revela as justificações, os objectivos e as questões-problema alvo de estudo. O capítulo que se lhe segue, Capítulo II, tem a exigência de uma epistemologia própria, ligada à controvérsia, centrada em cada um dos temas seleccionados da Geologia. Nesta sequência surge o Capítulo III, onde procedemos a uma interpretação de índole metodológica seguida no trabalho e se justificam determinadas opções que, naturalmente, foram sujeitas a uma apreciação crítica.

Na verdade, a organização do trabalho revela a sua natureza, dizendo o Capítulo IV respeito à apropriação da controvérsia pela Didáctica das Ciências. Melhor dizendo, construímos os materiais didácticos, justificando a nossa selecção das controvérsias com maior cariz didáctico e que nos pareceram ser conducentes aos objectivos ambicionados. Nesta sequência e com vista a chegarmos a conclusões fidedignas, prosseguimos com a aplicação/transposição dos materiais didácticos a duas turmas do 10º ano de escolaridade. Da sua análise, constante do Capítulo V, emergiram parte das conclusões apresentadas no Capítulo VI, que vão ao encontro das questões-problema e dos objectivos propostos no Capítulo I.

Vejamos, de seguida, e com mais pormenor, as motivações e as expectativas que nos moveram para um estudo desta índole que, pela sua natureza, se revela inacabado e passível de continuação.

PROBLEMÁTICA DO ESTUDO

Um estudo deste cariz implicou, naturalmente, um conjunto de questões em torno das quais girou a investigação. Parece-nos clara a questão que tomámos como principal, pois acreditámos que a nossa natureza humana, cheia de conflitos e disputas, podia ser utilizada em prol da Didáctica e, conseqüentemente, melhorar o Ensino da Geologia. É nesta perspectiva que apontámos uma questão principal, seguida de três sub-questões emergentes daquela.

Questão principal: Qual a importância das controvérsias geológicas para a Educação em Geologia?

Sub-questão: a) Como é que algumas das controvérsias geológicas, quando analisadas na dimensão histórico-epistemológica, se traduzem em dificuldades na construção de materiais didácticos?

Sub-questão: b) De que forma é que os materiais didácticos ajudam a uma significativa melhoria na compreensão da construção do conhecimento científico?

Sub-questão: c) Em que medida é que os materiais didácticos melhoram o processo de ensino e de aprendizagem, desenvolvidos por professores e alunos?

Um trabalho que se firma no campo da controvérsia geológica e da Didáctica das Ciências tem uma carga epistemológica e histórica ricas, que devem ser significativamente exploradas. Ou seja, a controvérsia científica, quando inserida num contexto histórico, ajuda a fundamentar melhor o Ensino das Ciências, estando ajustada a temas que se caracterizam por ser basilares no estudo da Geologia. Propusemos objectivos concretos e propostas exequíveis, num futuro que se deseja muito próximo. Na realidade, optámos por um estudo ligado à Didáctica das Ciências, com incidência em três temas da Geologia. A selecção dos temas prendeu-se com vários factores que passamos a focar com especial atenção.

OBJECTIVOS DO ESTUDO

Este trabalho assume, deliberadamente, o nosso ponto de vista, de que a controvérsia científico-geológica é fundamental para o Ensino e Aprendizagem da Geologia. Para além desta postura, não podemos esquecer os contributos de outras orientações na forma de encarar o Ensino das Ciências, bem como pelo conhecimento por ele atingido. Porém, a necessidade de compreender o processo da construção do conhecimento científico escolar levou-nos à procura de uma forma que, porventura, melhor revelasse a natureza da comunidade científica e dos cientistas que a compõem. A existência de desacordos, de dificuldades e mesmo de disputas na Ciência e, em concreto, na Geologia, levou-nos ao estabelecimento de metas a atingir que passamos a clarificar e a justificar.

Podemos, então, indicar como objectivos principais deste estudo:

- a) Analisar as controvérsias na sua vertente histórico-epistemológica, numa perspectiva da construção do conhecimento científico;
- b) Articular a História da Geologia, nomeadamente as controvérsias geológicas, com a Educação em Geologia;
- c) Avaliar a importância das controvérsias na construção do conhecimento científico, através de materiais didácticos cuidadosamente elaborados para este fim e desenvolvidos em práticas lectivas.

JUSTIFICAÇÕES DO ESTUDO

O primeiro tema escolhido refere-se ao Tempo Geológico, o segundo, à Deriva Continental e Tectónica de Placas, e o terceiro, às Extinções em Massa. Sem pretender antecipar o estudo propriamente dito, importa esclarecer as razões que nos levaram à escolha dos temas da Geologia que são histórico-epistemologicamente abordados no Capítulo II.

Assim, o Tempo Geológico é um assunto com muita pertinência porque constitui como que um dos pilares desta Ciência. Em Geologia não se fala em anos, mas sempre em milhões de anos, sendo esta dinâmica da Terra que pressupõe um distanciamento emotivo, por vezes, difícil de alcançar. Por esse motivo, considerámos que o estudo do percurso histórico-científico permitiu estabelecer uma relação de proximidade com o percurso pessoal de quem aprende Geologia. Queremos com isto dizer que, ao estudar a evolução das ideias, verificou-se que algumas concepções escondidas no nosso subconsciente constituíram elas próprias focos de controvérsia no passado. Ao tomarmos consciência disso, tentámos procurar na Ciência fundamentos históricos que permitissem o estabelecimento de conexões que em tudo beneficiariam a aprendizagem da evolução do conhecimento científico. Quando se aprende Geologia começa-se, em geral, por estudar o calendário geológico e as suas divisões em Períodos e Eras. Para que não seja um mero acumular de nomes que, muitas vezes, pouco dizem aos alunos, uma abordagem histórica faz todo o sentido, pelo que fomos impelidos a procurar e a reflectir em controvérsias científicas que nos pareceram dever ser exploradas, devido ao seu forte pendor didáctico.

A controvérsia neste tema surgiu há já muitos séculos. Porém, neste nosso trabalho optámos por estudar as disputas e dilemas dos séculos XVIII/XIX e inícios do século XX. Qual a Idade da Terra? A resposta a esta dúvida foi surgindo, baseada em diversos factores de índole empírica, teórica e até mesmo religiosa. Nos finais do século XVIII, a Geologia já se havia constituído disciplina autónoma e a questão passou a ser colocada de outra forma (de salientar a expressão *Tempo Geológico*).

A consciência por parte da comunidade científica de que havia fenómenos muito lentos a ocorrer no planeta, bem como outros que demonstravam uma enorme libertação de calor interno, foi levantando questões que constituíram a base para variadas hipóteses e mesmo teorizações. Nestas situações dilemáticas, a controvérsia científica surgiu como

uma característica da Ciência. Tratava-se, pois, de um factor que nos pareceu de suma importância e que importava testar, quando utilizada em contexto educativo. A finalidade educativa do Ensino da Geologia ganha nova importância, sobretudo, porque a centrámos na forma de fazer Ciência. Além do mais, este é um assunto que nos dias que correm se encontra, aparentemente, resolvido. Ou seja, vivemos um novo paradigma, utilizando a terminologia de Kuhn, desde a descoberta da radioactividade, na primeira década do século XX, o que permitiu o posterior estabelecimento de um Tempo Geológico que ronda os 4600 milhões de anos.

Uma outra temática desenvolveu-se em torno da Deriva Continental e Tectónica de Placas. A este respeito podemos dizer que se trata de um dos outros pilares da Geologia onde assentam inúmeros estudos actuais. Pareceu-nos também que este assunto estava ligado à temática anterior, onde se estabeleciam pontos chave na construção do conhecimento científico. Assinalámos contudo, que se tratava de uma questão problemática mais recente do que a do Tempo Geológico. Além do mais, a Teoria da Deriva Continental não surgiu por si só. Foi um problema que emergiu a partir de dúvidas que remontavam há alguns séculos atrás sobre a formação das montanhas. A evolução do tema e o aparecimento de hipóteses explicativas passaram a focalizar a mobilidade dos continentes. Cada situação ia assumindo uma dinâmica própria e, neste sentido, pareceu-nos que a pertinência do estudo histórico da Deriva dos Continentes e a emergência da Tectónica de Placas era, por si só, um ponto a favor das questões-problema a tratar. A articulação que o tema estabelecia com outros assuntos da Geologia, tal como o Tempo Geológico, revelava a sua natureza fundamental para o estudo que propusemos. É que as controvérsias geradas em torno deste tema ao longo do século XIX e XX assinalaram a possibilidade de um estudo que, em nosso entender, se revelou importante para a melhoria da Didáctica da Geologia. Neste contexto, salvaguardámos também a escolha deste tema por motivos que se prenderam com as directrizes oriundas do Ministério da Educação, no que respeita ao Ensino Secundário, no âmbito da disciplina de Biologia e Geologia.

Os princípios da Tectónica de Placas e a sua emergência, enquanto paradigma actualmente aceite pela comunidade científica, também se revestiu de duras lutas de ideias entre grupos de investigadores, nomeadamente em relação a testes e a dados empíricos que cada equipa julgava serem os mais correctos. Em comparação com a questão do Tempo Geológico, este paradigma surgiu mais tardiamente, só nos finais dos anos 60 do século

passado. Esta visão de que a Ciência é um corpo em movimento e em constante mutação é fundamental para o estudo que nos propusemos desenvolver. Ainda neste contexto, a actual emergência das Plumas Mantélicas como motores da Tectónica de Placas sugere que ainda iremos continuar em época de discussões e conflitos teórico-interpretativos entre investigadores. Mas note-se que o conhecimento científico escolar ainda não aborda estas novas temáticas de forma aprofundada, como, esperamos, se fará futuramente. O actual paradigma da Tectónica de Placas, explicativa de uma grande parte de fenómenos geológicos de larga escala, emergente de uma antiga hipótese da Deriva Continental, constituiu uma base de estudo sobre aquilo que considerámos ser fundamental no ensino da Geologia- as controvérsias. E neste sentido, o conhecimento das novas hipóteses e teorizações sobre o funcionamento das Plumas aportou a ideia de uma Geologia como disciplina viva e com uma múltipla possibilidade de estudos.

Por fim, o último tema do estudo diz respeito às *Extinções em Massa* (a opção por esta expressão prende-se com factores ligados à sua designação nos artigos e livros científicos, apesar de poderem ser consideradas extinções maciças). Mantendo a nossa posição de investigadores em Didáctica das Ciências, mais concretamente na área da Geologia, inferimos que este assunto estabelecia estreita relação com os dois primeiros, não só em algumas questões que se tocavam, como também na sua importância, enquanto tema base da nossa área de conhecimento. O estudo dos fósseis é como que um dos pilares da Geologia, porque as “pedras figuradas” constituíram elas próprias um dos grandes patamares a ser superados na evolução da Geologia enquanto Ciência autónoma e diferenciada. A partir do momento em que se estudaram esses vestígios de vidas passadas de forma sistemática, novos factos e ideias foram lançados para os debates entre cientistas. Ao estudar o desaparecimento de espécies do registo fóssil, estava-se a estabelecer algum tipo de ligação com os outros temas atrás referidos. De certa forma, os fósseis indicavam a antiguidade do nosso planeta e pelo facto da datação radiométrica ter evoluído, a Deriva Continental passou a ser encarada sem tanto cepticismo, o que terá fomentado novos estudos. É então que a emergência da Teoria da Tectónica de Placas, já numa fase mais tardia dos anos 60, se relacionou com esta dinâmica da História da Ciência. Ora, a actividade das Placas Tectónicas relacionadas com movimentos mantélicos podia-se articular às extinções de determinadas espécies de seres vivos, nomeadamente em alguns períodos da história da Terra.

Várias entradas permitiram abordar o assunto das Extinções em Massa. Optámos por estudar a evolução do seu conceito desde os finais do século XVIII, através dos séculos XIX e XX, arrastando-se para o XXI. É que o desaparecimento abrupto de espécies dos registos estratigráficos sugeriu diferentes interpretações que conduziram à emergência de paradigmas, também relacionados com outros assuntos da Geologia e que foram sendo abandonados. Contudo, é visível, neste tema, uma aproximação actualizada à visão Catastrofista do século XIX, e esta tomada de consciência de que a Ciência também tem ciclos (afinal, como o Ciclo das Rochas), revelou-se fundamental para que os alunos encarassem a Ciência como um corpo de conhecimentos influenciados pela tecnologia e pela sociedade. Quisemos, com o nosso trabalho, formar cidadãos cujas atitudes, valores e crenças científicas fossem alvo de reflexão, o que foi exercitado com os materiais didácticos que construámos e levámos à prática lectiva.

Pareceu-nos que os três temas estavam intimamente relacionados e, por conseguinte, o estudo das controvérsias histórico-científicas dos mesmos, pareceu fazer sentido, por considerá-los como que uma importante base para o estudo da Geologia. Como já se referiu, tratavam-se de temas também propostos pelo Ministério da Educação para a disciplina de Biologia e Geologia.

É, pois, com uma postura tentativamente clarificadora que no Capítulo II abordámos os temas científicos sobre um olhar histórico-epistemológico da controvérsia científica. Porém, preocupámo-nos, em particular, na unidade que se estabeleceu entre História da Ciência e Epistemologia e suas relações com a controvérsia científica, apropriada no âmbito da Didáctica da Geologia.

Podemos afirmar que a nossa reflexão sobre a Didáctica das Ciências ocupou um lugar de relevo na preparação deste estudo, o que fez surgir a emergência das questões-problema. As intenções de estudo foram também ganhando corpo, à medida que nos apercebíamos da necessidade de introduzir ainda mais a História da Ciência nos *currícula* escolares. Em boa verdade, muitas vezes, a História da Ciência é esquecida, se não mesmo ignorada. Note-se, neste contexto, que os cursos universitários ainda não inserem nos seus *currícula* a História da Ciência sobre a qual se debruçam. Por outro lado, a sociedade altamente informatizada, onde a informação se desloca “à velocidade da luz”, gera uma postura limitativa, relativamente ao passado da Ciência. Ou seja, admitindo que as novidades tecnológicas e científicas vão surgindo todos os dias e passando o conhecimento

anterior a estar obsoleto, colocam-se alguns entraves na construção de um verdadeiro conhecimento científico. Prosseguindo esta linha de pensamento, pareceu-nos que a utilização das controvérsias científicas poderia ajudar a melhorar a compreensão sobre a concepção de Ciência dos jovens, “hoje informatizados”.

Os precedentes históricos das ditas Ciências Clássicas já remontam a alguns séculos atrás. A Geologia, porém, consolidou-se como Ciência dotada de instituições no fim do séc. XVIII. O seu objectivo primordial era conhecer os recursos da Terra e utilizá-los em proveito do Homem, para além de compreender a História e a Formação do Planeta. Ora, o Homem sempre fez Geologia, se bem que não lhe atribuisse esse nome. Em tom de analogia, os professores sempre fizeram uso da Didáctica se bem que, por razões de ordem variada, não a designem, como tal.

Em termos gerais, e para justificar a nossa apropriação Didáctica, podemos referir que esta área do conhecimento surgiu como campo específico por volta dos anos 50 do século XX, nos países Anglo-Saxónicos e nos Estados Unidos. Esta necessidade surgiu, devido, sobretudo, a factos de natureza política educativa, e de factos económicos, que revelavam um atraso, a nível científico desses mesmos países face a outros, considerados opositores nas últimas guerras mundiais. Numa tentativa de superar o suposto atraso, os governantes decidiram pôr em prática projectos curriculares elaborados por cientistas, psicólogos e pedagogos de grande prestígio, onde as ciências Físico-Naturais eram valorizadas. Durante esse mesmo período, também se deu grande importância à formação contínua dos professores, onde se instalou, uma tendência neo-positivista das Ciências. Ou seja, entrou-se por um caminho que, actualmente, encontra dificuldades de fundamentação, muito embora tenham sido trabalhos essenciais ao funcionarem como percursos do actual estado da Didáctica específica.

Nos finais dos anos 70 e início dos 80, denotou-se, então, novos fracassos escolares no Ensino das Ciências pelo que se procedeu a novas reestruturações, devidas, em parte, ao aparecimento de filósofos da Ciência, nomeadamente Popper, Khun e Lakatos. Eles vieram lançar novas ideias sobre a Epistemologia das Ciências e a sua conseqüente evolução no modo de pensar o empreendimento científico. Pretendemos elucidar aqui a nossa postura epistemológica ao longo deste trabalho. Ao centrar o nosso olhar na controvérsia científica e a emergência de teorias aceites pela comunidade científica, ou paradigmas, estudámos a Ciência, preferencialmente, na sua vertente externalista. Ou seja, nas suas relações com o

mundo que a rodeia. Assim, o racionalismo contemporâneo é a perspectiva que aqui importa salientar pelo facto de possibilitar a abordagem conflitual da História da Ciência.

O Capítulo III, Metodologia, refere-se à justificação da análise histórico-científica dos três temas por nós seleccionados. Fez-se uma investigação numa vertente de estudo Historiográfica que contemplou a recolha criteriosa de opiniões maioritariamente dos próprios autores intervenientes. Um tal processo, intimamente associado ao Capítulo II, não descurou as influências externas que afectaram o desenrolar histórico. Só assim, pudemos conhecer a História da Ciência que nos permitiu fazer vir à tona a controvérsia científica. Esta pesquisa de carácter Qualitativo, que tão bem caracteriza a pesquisa bibliográfica, pretende focalizar as controvérsias que, no Capítulo IV, foram apropriadas pela Didáctica.

Reconhecendo a relevância das controvérsias científicas, abordámo-las de uma forma “real” e adequada a uma metodologia de Investigação-Acção, caracterizada, de forma genérica, pela sua natureza reflexivo-prática, sem descurar o contexto educativo. O aspecto da Investigação-Acção que neste Capítulo I levantamos, é o da possibilidade de surgirem novos problemas e reformulações, tão necessários às questões-problema para serem bem investigadas. Inevitavelmente, o esforço exigido por esta metodologia foi compensado pela exequibilidade de um conhecimento específico a uma situação particular que, no nosso caso, foi em última instância, a sala de aula.

Salientamos que a investigadora deste estudo desempenhou o papel de professora. Esta encarnou de forma mais notória o papel de investigadora, na medida em que o trabalho de sala de aula foi o resultado de um trabalho anteriormente realizado.

Podemos afirmar, assim, que a professora passou a assumir uma nova função, pois já havia a consciencialização de que tinha um importante papel na observação/reflexão, aquando da construção pelos alunos, na sua diversidade cultural, do conhecimento científico escolar. Sem este contributo, seria difícil levar a cabo as mudanças que, então, se pretendiam a nível da aprendizagem das Ciências. Tratou-se de proporcionar meios para que a reflexão ajudasse na reconstrução dos conhecimentos, exercendo uma influência efectiva na sala de aula, permitindo a articulação entre a Investigação e a Acção. Esta é, pois, uma área “dinâmica” (Alarcão, 1991) que está em franco desenvolvimento, e que nos parece que melhora o “ensino e a aprendizagem das ciências” pela possibilidade de articular a teoria e a prática (Cachapuz, Praia e Pérez, 2001).

Para nós, tornava-se clara a importância da História da Ciência para o bom entendimento do ensino-aprendizagem da Geologia. Considerámos que é na História da Ciência que nos apercebemos do espírito do cientista, daí a pertinência do seu estudo. A Ciência busca a explicação para determinados fenómenos e, se a retirarmos do contexto dos Cientistas, enquanto pessoas, tornamo-la inatingível. Ao estudarmos a pessoa do Cientista, estamos em condições de explicar a Ciência, pois ela foi construída através do seu entendimento humano. Assim, abriu-se a possibilidade do estudo das controvérsias científicas, numa perspectiva histórico-epistemológico-didáctica, em particular, na sala de aula. Durante algum tempo reflectimos sobre tal questão, ideia que foi ganhando forma, já que as controvérsias eram muitas na Ciência e, desta forma, revelavam alguma subjectividade que importava, através de discussão partilhada, esclarecer. Por outro lado, também pretendíamos esclarecer e conceptualizar os processos do “fazer Ciência”, servindo-nos ainda da controvérsia científica, enquanto inserida na História da Ciência.

Corroboramos com Kuhn (1977) quando refere que os alunos “(...) devem aprender a reconhecer e a avaliar problemas que ainda não tenham recebido nenhuma solução inequívoca (...)”. Por isso, optámos por três temas da Geologia que se encontravam em diferentes fases de desenvolvimento epistemológico, o que proporcionou uma visão mais próxima da realidade vivida no próprio seio da Ciência. Actualmente, vivemos num período em que a Ciência e a Tecnologia gozam de grande popularidade, influenciando indiscutivelmente, as nossas vidas. Contudo, não é pelo facto de a sociedade estar constantemente informada sobre as últimas novidades que as relações mentais estabelecidas conduzem, invariavelmente, ao conhecimento. É este um dos problemas com que os professores das Ciências se deparam. Ou seja, passavam da informação ao conhecimento.

A percepção de que é mais importante ter ideias gerais e generalizáveis, sem verdadeiramente conhecer a “realidade” e os respectivos percursos evolutivos, parecem-nos ser problemas que devem ser contornados e mesmo modificados no sentido de dar voz aos processos vivenciais.

“Dada la bien conocida crisis contemporánea de la enseñanza de las ciencias-reflejada en la huida del aula de ciencias, tanto de profesores como de estudiantes, y en la alarmante cifra de analfabetismo científico (Matthews, 1988) (...)” (Matthews, 1994c)

O que significa que se olharmos à nossa volta, verificamos que nos encontramos num período de descrédito científico, por parte dos estudantes e, pior do que isso, as suas ideias são erradas e muito descontextualizadas. Daí que, uma contextualização histórico-epistemológica, dos temas por nós seleccionados, através de um conjunto de processos metodológicos coerentes, faz, assim pensamos, a diferença deste estudo.

O Capítulo IV teve como principal objectivo articular a História da Geologia, mais concretamente, a controvérsia científica com a Didáctica específica. Pretendemos compreender de que forma é que os alunos construíam o seu próprio conhecimento e, dessa forma, elaborar materiais didácticos e estratégias a eles associados, que nos permitam ultrapassar as antigas ideias de um ensino meramente livresco e centrado nos conteúdos. No nosso caso, preocupou-nos também, a construção de um quadro coerente inerente à construção de materiais didácticos, onde a controvérsia científica é central. A partir daqui, tentámos investigar a forma como os alunos foram “tocados” pelo conhecimento das controvérsias da Geologia, como as viveram, inclusivé, e de que modo elas lhes permitiram desenvolver a sua forma de ver e perceber esta e mesmo outras Ciências, ou melhor, no que nelas se pode passar.

Como Alarcão (1989), também pensamos que o objecto da Didáctica é a “compreensão dos fenómenos de ensino-aprendizagem das várias disciplinas ou dos vários níveis de ensino (...)” e “intervir activamente na optimização do processo de aquisição ou descoberta do conhecimento (...)”. Podemos dizer que se trata de uma área com carácter pluridisciplinar entre a Psicologia da Aprendizagem e a Pedagogia. Ou seja, além de haver a preocupação da aprendizagem, há ainda a relação com o conteúdo a aprender. E aceitamos como referem Almeida e Vilela (1996), que “O ensino das ciências tem acompanhado a fragmentação disciplinar provocada pela especialização científica.”. Importa despertar toda a complementaridade, que existe na realidade e conseguir manter os alunos despertos para o carácter interdisciplinar e multifacetado da Geologia. Pensámos que, ao realizar um estudo centrado na controvérsia científica, agora apropriada pela Didáctica específica, iríamos dar nova luz à “realidade socio-político-económico-cultural” (Silva, 1995) da Ciência. No quadro da apropriação da controvérsia pela Didáctica, importou valorizar a sua capacidade instrumental de ensino. Sob o ponto de vista educativo, significa que os conteúdos científicos foram abordados numa perspectiva histórica forte e marcante, que já numa fase posterior implicou reflexão sobre tal situação.

Note-se que a prática lectiva que ambicionámos foi concebida como uma forma de quebrar com a visão reducionista do saber, que implicou uma nova posição do professor enquanto prático activo e reflexivo. O indivíduo tem uma consciência que funciona como um suporte reflexivo, fundamental em qualquer trabalho que envolva raciocínio próprio. Queremos com isto dizer, que ao debruçarmo-nos sobre a Didáctica das Ciências e sobre assuntos controversos, estamos cientificamente a tocar numa característica inerente à própria condição humana. Trabalhámos, também, com a emotividade, a fim de permitir uma construção mais heurística do conhecimento científico. Trata-se de pretender dignificar o conhecimento científico (e não só) pelas atitudes do Homem, tocando em pontos de conflito de ideias em que inerentemente as emoções estão presentes (Damásio).

Entretanto “Nem os estudantes de ciência são encorajados a ler os clássicos históricos dos seus próprios campos- trabalhos onde podiam descobrir outras maneiras de olhar os problemas discutidos nos seus livros de texto, mas onde também encontrariam problemas, conceitos e padrões de solução que as suas futuras profissões há muito descartaram e substituíram.” (Kuhn, 1977) É justamente neste sentido que a introdução da História da Ciência no contexto da sala de aula funcionou como uma forma de detecção de obstáculos à evolução do conhecimento dos alunos. Ainda nesta linha, as razões da inclusão da História da Ciência no Ensino das Ciências prenderam-se com o nosso desacordo perante as abordagens tradicionais no contexto da sala de aula. Com efeito, a postura positivista da Ciência ainda domina mentalidades, a suposta imparcialidade dos cientistas/investigadores descontextualiza essa tarefa que está inserida na sociedade e que é dotada de articulações diversas. Lamentavelmente, muitas vezes mesmo, a ridicularização de ideias antigas de uma determinada teoria revela a pouca preparação dos professores nesta área. Como assinalam Praia e Marques (____) “Trata-se, pois, de os professores mudarem as suas próprias concepções, quer científica, quer sobre a própria Ciência, quer relativas à compreensão dos problemas científicos mais vastos, que englobam questões mais amplas (...)”

Por fim, e apesar desta também ser uma área a melhorar, neste trabalho centrámo-nos, essencialmente, nos alunos e nas vantagens da utilização da História da Ciência no contexto da sala de aula, com especial incidência na controvérsia científica. Pretendemos que a informação fosse tratada de forma a poder construir-se, até onde fosse possível, um

percurso que nos permitisse alcançar o conhecimento histórico-científico da própria controvérsia.

Considerando que um estudo de investigação revela o espírito do Homem, não é demais dizer que a sua obra revela-o ainda mais. Acrescente-se que esta perspectiva vai ao encontro da construção dos materiais didáticos que apresentámos no capítulo IV. Durante a elaboração dos referidos materiais, buscámos os pontos da controvérsia científica que mais sentido tivessem para uma compreensão do processo em si. Ou seja, estamos convictos que a compreensão da forma como se constrói a Ciência, com oscilações, avanços, recuos e discussões que, nem sempre, parecem claras e definitivas, ajudaram os alunos a olhar a Ciência de uma outra forma.

Pretendemos averiguar se, pelo uso da controvérsia científica estávamos a modificar a forma de pensar dos alunos. A reflexão passou a fazer parte do raciocínio de tal maneira que a nossa existência enquanto pessoas foi revista nos conflitos científicos o que nos obrigou à prática de uma perspectiva de Ensino por Pesquisa. As situações históricas, apropriadas pela Didáctica específica, foram seleccionadas por serem estimulantes, enquadradas numa perspectiva de Ensino que valorizou a modificação de atitudes e valores. Como tal, esta vontade de evolução que pretendemos para os alunos foi-nos facilitada pelo estudo controvérsia científica, pois pretendemos criar situações de confronto de ideias, a fim de desenvolver a prática do pensar sobre, numa perspectiva do para, isto é, para uma eficiente construção do conhecimento científico pelos alunos.

A análise das controvérsias científicas, bem como da análise das aulas, constantes no Capítulo V, permitiram compreender que a construção da Ciência é um processo, eminentemente, cultural e humano. É certo que a escola é uma das vias para a formação das bases de uma cultura científica. Por isso, pretendeu-se um ensino que se afastasse da visão positivista da Ciência, onde se subvaloriza e ignoram as articulações entre a Ciência, a Tecnologia e a Sociedade, e onde se ministram conceitos muito teóricos que asfixiam o carácter investigativo das Ciências.

Sem fugir à questão anterior, tivemos o cuidado, com o perigo do facilitismo das Ciências, em que todo o conhecimento factual (apressado), que surge nos meios de comunicação, parece conduzir, inevitavelmente, a uma conclusão científica. Este senso comum exigiu um cuidado ainda maior da nossa parte, uma vez que nos encontrávamos empenhados na construção de um conhecimento não factual puro e simples, mas científico,

construído sem interpretação de ideias e só atingido quando se deixam para trás as ideias da inocuidade dos cientistas. Pretendeu-se, em última instância, formar cidadãos activos, conscientes e críticos, acerca da realidade que os rodeia.

Por outro lado, o facto de se tentar superar antigas concepções de ensino e da própria Ciência levou-nos à procura de uma solução, para a relação ensino-aprendizagem, mais centrado na relação entre professor-aluno, que fomentasse a reflexão. A relação de conhecimento vinculou-se nesta dicotomia da intervenção e da acção que tão bem caracteriza a actividade docente. Esta capacidade de orientar a acção, e que está subjacente a tal actividade, reveste-o de capacidades múltiplas que vão ser utilizadas em benefício do objecto do seu trabalho. Contudo, incorporar o mundo pelo conhecimento e interferir na construção do conhecimento científico são objectivos que quisemos ver atingidos e trabalhados.

É neste contexto que optámos pelo estudo da controvérsia científica de alguns temas da Geologia, ricos nestes conflitos pessoais e nestas disputas apropriáveis no âmbito da Didáctica específica. A este respeito, percebemos que a controvérsia científica é dotada de uma filosofia própria, inserida na História da Ciência da qual nos parecem emergir as questões deste estudo. A interpretação da controvérsia na relação didáctica trouxe-nos o ponto de partida de um estudo amplo e que entendemos ter propósitos fundamentais para uma melhoria inegável do ensino/aprendizagem da Geologia.

Sublinhamos por fim que, para tornar possível esta investigação, foi necessária uma boa planificação do trabalho, com as respectivas metodologias inerentes. Certamente que a orientação foi fundamental para se conseguir levar a bom termo uma intenção de trabalho. Após quatro anos em que se desenvolveu o presente estudo, as posturas estratégicas foram fruto de uma reflexão conjunta que se revelou ser um forte alicerce da investigação educacional levada a cabo.

Capítulo II

ANÁLISE CRÍTICA DAS CONTROVÉRSIAS GEOLÓGICAS: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

INTRODUÇÃO

Ao longo deste capítulo iremos centrar o nosso estudo em torno das Controvérsias Geológicas que serão apropriadas pela Didáctica enquanto campo específico de conhecimentos adequado a um Ensino das Ciências. Em nosso entender, são dados que se revelam de grande interesse para a dinâmica do ensino-aprendizagem. Embora nunca seja seguro afirmar que este novo campo de conhecimento já esteja fortemente implementado na sociedade científica, é nosso intuito contribuir para uma melhor compreensão da relevância que tem para a evolução do conhecimento científico dos alunos.

Na ascensão para este sentimento de estabilidade tentativamente plena da Ciência, da Tecnologia e da Sociedade está um percurso longo e moroso, com avanços e recuos daqueles que se propuseram e ainda se propõem a revolucionar mentes e formas de pensar. Algumas correntes epistemológicas predominantes no século XIX aparentemente subsistem em alguns actores da trama científica, o que pode vir a impedir a visão alargada que se pretende para a Ciência deste novo século.

Na verdade, o presente Capítulo divide-se em duas partes que se articulam e complementam entre si de uma forma única. Por um lado, apresentamos a primeira parte que aborda a História da Ciência associada ao contexto da controvérsia geológica, ou seja, é o ponto onde recai o olhar histórico-epistemológico das controvérsias geológicas. Na segunda parte, centramos a nossa atenção para as visões da Epistemologia das Ciências e sua articulação com a Didáctica e sua apropriação das controvérsias.

No que respeita ao primeiro ponto, há a salientar a fulcral importância que a História da Ciência tem para a aprendizagem dessa mesma Ciência. Ao trabalharmos sobre a controvérsia científica, estamos a abordar a História da Ciência numa perspectiva mais crítica e analítica do que seria a mera recolha de factos históricos. Analisa-se a História da Ciência à luz das divergências, que são absolutamente normais na construção e emergência de uma determinada teoria. Podemos dizer que pretendemos focar as controvérsias que nos parecem ter maior relevância para um ensino que visa uma mais adequada compreensão da

Ciência, enquanto campo de interação entre a Tecnologia e a Sociedade. Por outro lado, a pesquisa enquanto vector de interesse pelas Ciências também nos parece ser relevante para que esta apreensão da realidade científica seja mais significativa.

Tempo Geológico- Um dos temas por nós estudado refere-se à questão do Tempo Geológico, inicialmente concebida numa base teológica, em especial no Ocidente. Esta versão judaico-cristã sobre a origem do universo descrita no Génesis imperou e de certa forma condicionou as mentalidades durante 1500 anos, surgindo as dúvidas mais prementes a partir dos finais do século XVIII. As disputas que se seguiram fundamentaram-se em cálculos levados a cabo por eminentes personagens da Física e da Geologia. Pese embora o físico Lorde Kelvin tivesse apresentado cálculos com base no arrefecimento do Sol, outros estudos, vindos da Geologia, baseados na erosão e sedimentação conduziam a valores diferenciados em muitos milhares anos. Só a partir da descoberta da radioactividade de determinados elementos presentes nos minerais das rochas é que os valores calculados para a idade da Terra subiram, para agrado dos geólogos. A partir dos inícios do século XX esta questão viu um princípio resolúvel, sendo mais tarde resolvida, apesar dos valores ainda sofrerem reajustes. De qualquer forma, a ideia de uma Terra com poucos milhares de anos alterou-se radicalmente, o que trouxe consequências importantes não só para a Geologia como para outras áreas, nomeadamente a Biologia.

Deriva continental- Um percurso semelhante ocorreu com a ideia da mobilidade dos continentes e a emergência da teoria da Tectónica de Placas. Ou seja, houve um início com muitas questões levantadas, que nos parece ter começado, em especial, a meados do século XIX. A questão da formação das montanhas impulsionou todo um desenrolar de hipóteses e pesquisas que muitas vezes entraram em conflito. Só após o estudo dos fundos oceânicos, em muito facilitados pela era da tecnologia que se vivia devido à segunda guerra mundial, é que se tornou aceite, em termos gerais, que os continentes se deslocaram ao longo dos milhões de anos que compõem a Terra. Tendo por base estes dados, formulou-se uma nova Teoria que encarava a litosfera da Terra com fronteiras distintas, responsáveis pelos fenómenos naturais como vulcões e sismos. De qualquer forma, esta temática ainda é alvo de debates e controvérsias porque, se os modelos explicativos desta dinâmica satisfazem uns, há outros que continuam sedentos de mais explicações, e consequentemente as pesquisas prosseguem neste campo.

Extinções em Massa- O último tema abordado neste primeiro ponto do Capítulo II ainda permanece em fase de revolução. Continua alguma dúvida para a causa das extinções em massa que assolaram a Terra ao longo do tempo. As extinções mais mediáticas dos dinossauros no final do período Cretácico são alvo, em especial, de duas teorias, fundamentadas em estudos de fenómenos vulcânicos, por um lado, e em impactos de corpos extraterrestres com a superfície, por outro. Com efeito, começam a surgir ideias híbridas destas duas, o que nos leva a pensar que não há uma ideia dominante. Contudo, trata-se de hipóteses com um pendor Catastrofista, conceito abolido há quase um século atrás, mas que vemos ressurgir de forma actualizada e com diferentes fundamentos. Ou seja, não se argumenta com dilúvios universais catastróficos ou subidas dos fundos dos mares e abaixamentos de montanhas. Isto porque os fósseis já não são encarados como brincadeiras da Natureza, mas como vestígios de vidas passadas. Mas, independentemente disso, domina a visão da catástrofe como causa para o desaparecimento das inúmeras espécies, no passado geológico.

A segunda parte deste Capítulo faz referência à orientação epistemológica aplicada ao contexto das controvérsias. Aborda-se de uma forma geral a evolução do pensamento da Filosofia das Ciências, e como iremos ver a corrente filosófica que mais se adequa a este estudo é a perspectiva kuhniana, centrada nas controvérsias. O racionalismo contemporâneo é por conseguinte a nossa opção epistemológica, por se aproximar mais daquilo que pensamos ser verdadeiramente importante na Didáctica das Ciências. Queremos com isto dizer que esta visão tem em consideração as rupturas e descontinuidades do empreendimento científico, onde as hipóteses são susceptíveis de ser reformuladas. Só assim se pode compreender de que forma a comunidade científica desempenha o seu papel na aceitação de novas teorias.

Por outro lado, e extrapolando para a Didáctica e sua caracterização face à Ciência e ao seu campo específico de conhecimento, focamos a necessidade da Didáctica das Ciências ser uma nova forma de encarar o ensino, dinâmico e fundamentado. É aí onde estabelecemos estreita relação com a forma de ensino que optamos neste estudo, a perspectiva de Ensino por Pesquisa (EPP). Esta nova perspectiva para o Ensino das Ciências foi, entretanto, seleccionada para este trabalho, tendo como critério base o seu complemento de um ensino de natureza transmissiva, estritamente centrado nos conteúdos considerados como fins. É neste quadro que focamos a necessidade crescente de

“compreender o mundo na sua globalidade e complexidade” (Cachapuz, Praia e Jorge, 2002). Nesse contexto, o aluno deve envolver-se cognitivamente e afectivamente, por forma a ser um cidadão activo que tem de tomar partido e assumir responsabilidades, bem como aprender a decidir em cenários pluridisciplinares. Só assim vai compreendendo a complexidade dos problemas e a progressiva modificação das suas atitudes, desenvolvendo competências que se desejam estar presentes no futuro, enquanto cidadão. Porventura é este o objectivo principal desta perspectiva de ensino.

1- PARA UMA ANÁLISE DE SENTIDO CIENTÍFICO-EPITEMOLÓGICO DAS CONTROVÉRSIAS: TEMPO GEOLÓGICO; DERIVA CONTINENTAL E TECTÓNICA DE PLACAS; EXTINÇÕES EM MASSA

1.1- TEMPO GEOLÓGICO

As actuais concepções do Universo conduzem à ideia de que o tempo e o espaço surgiram há cerca de 13 mil milhões de anos, aquando do Big-Bang¹. A compreensão humana da vastidão do Universo que nos rodeia é um assunto complexo e que requer um certo distanciamento crítico. As escalas mais reduzidas com que lidamos dia-a-dia impedem que tenhamos a verdadeira noção de um espaço que, pelo menos hoje, não iremos percorrer. Por outro lado, a nossa concepção de tempo limitado e habitualmente contabilizado a 24 horas dificulta a compreensão do que realmente o tempo é, o que ao longo dos séculos constituiu um ponto de fortes discussões e acesos debates. Só a meados do século XX se chegou a conclusões mais plausíveis sobre aquela que foi provavelmente, uma das questões mais proferida: *Qual a idade da Terra?* Hoje a resposta é dada por quase todos, mas nem sempre foi assim. Ao longo deste ponto do segundo capítulo vamos abordar as controvérsias geradas à volta deste tema, dando particular enlevo aos séculos XIX e XX.

¹ Big-Bang é a designação dada a um modelo explicativo da singularidade cósmica, na qual se concebe como o momento em que se formou o espaço e o tempo. Segundo este modelo, foi a partir de um ponto denso que se deu a expansão do Universo, processo que ainda hoje parece decorrer, daí ser calculado o tempo de expansão do Universo que se estima ser cerca dos 13 mil milhões de anos.

Pese embora detenhamos a nossa atenção nos dois séculos que antecedem o actual, não podemos deixar de fazer uma breve referência ao que se pensava na Antiguidade. Pretendemos dessa forma contextualizar e elucidar ideias sobre a Terra que, de certo modo, continuaram como base remota das concepções dos séculos XIX e XX. Neste contexto, uma das mais antigas ideias referentes à criação da Terra encontra-se em relatos do povo da Babilónia, onde há referência a deuses representados pelos elementos da natureza. Numa guerra travada entre esses deuses, as águas primordiais foram erradicadas, surgindo então a separação entre os céus, a terra e as águas actuais.

Por outro lado, na Grécia pensadores como Tales de Mileto (636-546 a.c.) concebiam que a matéria da qual era feita a Terra tinha vindo da água, visto ser uma matéria capaz de se encontrar em vários estados físicos. Esta matéria primordial de Tales não fora defendida por todos os seus contemporâneos, de tal modo que Anaximandro (610-547 a.c.) considerara a existência de um princípio indeterminado, o *apeiron*.

Mais tarde, outros filósofos como Platão (428-348 a.c.), discípulo de Sócrates, ambicionava reformar o Homem e os seus actos pelo pensamento. Este e outros pensadores consideraram a existência de mundos distintos, o que o levou a conceber o interior da Terra como estando repleto de água. Já antes, Heródoto (484-425? a.c.), considerando também a importância da água, estimou que seriam necessários cerca de 20 000 anos para encher com sedimentos o Mar Vermelho. A ideia de um vasto tempo para a Terra associada com fenómenos de renovação de materiais já fora nessa altura focada por Aristóteles (384-322 a.c.), atento discípulo de Platão, que estabeleceu uma ciclicidade entre a água que caía pela chuva e a evaporação. Além destas concepções sobre o funcionamento da Terra, Aristóteles, um homem dado inteiramente ao estudo e à Filosofia da altura, intentou reconduzir o pensamento do Céu à Terra e demonstrar que o real é encontrado nas coisas particulares e que as ideias não estão separadas dos seres terrenos, tendo a virtude uma recompensa neste mundo.

Eratóstenes (276-196 a.c.), concebeu que a Terra tinha forma esférica, tendo comprovado este facto por cálculos que focavam as trajectórias do Sol. Pela medição do ângulo de zénite em Alexandria no solstício de Verão, verificou que a posição do Sol se encontrava no mesmo ângulo na cidade de Siena. Assim, estabeleceu uma ligação com uma circunferência e a distância entre estas duas cidades inferindo a forma geométrica do planeta. Este brilhantismo e simplicidade de método não conquistou o Ocidente, pelo que a

ideia que dominou e era compatível com o Antigo Testamento via a Terra como plana. A partir da altura de Cristo, a doutrina cristã baseou-se com particular destaque nas ideias judaicas e no platonismo, não tendo as ideias de Aristóteles feito parte da sua construção enquanto corpo da fé cristã. Vê-se então uma tendência para a concepção de um curto tempo para a idade da Terra, para além da água ser um elemento dominante nas ideias da época, tal como vimos anteriormente. A partir do século XIII da Idade Média, os ocidentais tomaram contacto com as ideias de Aristóteles. Apesar de se verificar uma certa abertura a novos mundos e concepções, a informação e o conhecimento não chegava a todos. Mesmo assim, São Tomás de Aquino (1225-1274), que foi um dos poucos privilegiados à abertura para diferentes visões do mundo, não referiu certas concepções do antigo filósofo, como a questão de sermos compensados na Terra pelo que cá fazemos. São Tomás opôs-se a todos os que se deixaram arrastar pelas ideias aristotélicas, defendendo a realidade dos homens numa perspectiva de seres sensíveis com uma realidade e um futuro que passa pela outra vida, a do além. Desta forma, o conhecimento restringiu-se ao que estava escrito na Bíblia, pelo que estagnou durante muitos séculos no Ocidente. Porém, os Muçulmanos no século VII referiam a existência de um ciclo geológico, denotando uma visão diferente do planeta (Ducassé, 1963).

Nos tempos medievais, as ideias de vidas passadas com diferentes características das actuais levantaram questões embaraçosas à teologia de então, colocando em cheque todo um acreditar na Terra como sendo o centro do Universo, imóvel e imutável. As rochas figuradas (*lapides figurati*- mais tarde designados de *fósseis*²) que se iam encontrando um pouco por todo o globo eram interpretadas como sendo um capricho da Natureza, feitos de matéria mineral.

Mesmo assim, até ao século XVII as concepções da idade da Terra continuaram, na chamada cultura ocidental, geralmente associadas às escrituras bíblicas, e Julius Africanus, no século III, numa interpretação do Génesis, calculou o tempo da formação da Terra como tendo 6000 anos. Outro clérigo, fascinado pela Bíblia, o Arcebispo Irlandês James Ussher, levou-o a calcular uma nova data em que Deus criou a Terra, chegando ao valor de 4004 anos. Ussher tomou em consideração as gerações que existiram após o episódio do Génesis até ao nascimento de Jesus Cristo. O resultado desta acepção veio condicionar os estudos

² A palavra *fóssil*, desde os primeiros tempos em que se examinavam os estratos da crosta, dirigia-se a todos os corpos retirados da crosta terrestre incluindo minerais, metais e gradualmente foi-se restringindo aos restos orgânicos.

de naturalistas, que se viram cingidos a uma dimensão temporal num máximo de 6000 anos. Se ousassem sugerir outros valores que não aqueles, corriam sérios riscos de excomunhão, prática que naqueles tempos arruinava a vida de quem sofresse essa pena.

Havia, não obstante, evidências na Natureza que se revelavam difíceis de explicar, se bem que Da Vinci já tivesse antecipado a resposta: os fósseis. Acreditava que se tratava de restos de seres vivos que já existiram na Terra há muito tempo e que por algum motivo ficaram gravados nas rochas. Apesar da lenta aceitação de que os fósseis se tratavam de restos de seres vivos, com aparências diferentes dos seres de então, o maior desafio era explicar a sua presença no alto de montanhas. Em virtude da interpretação literal da Bíblia, este facto foi justificado pelo Dilúvio de Noé, no Antigo Testamento, que fazia de Deus um ser vingativo e implacável.

O assunto da idade da Terra revelava-se difícil de resolver e, devido à forte influência da Igreja na sociedade de então, a ideia de poucos milhares de anos para a formação da Terra prevaleceu. No século XVIII, espíritos críticos de ilustres pensadores colocaram em causa dogmas incompatíveis com observações de terreno. O naturalista francês Conde de Buffon (1707-1788) (Fig.II-1) estimou a idade de 75 000 anos para a Terra, seguindo uma metodologia cuja base se assentava no arrefecimento do planeta ao longo do tempo. Ao conceber uma Terra primordial muito mais quente do que a actual, procedeu à experimentação a fim de determinar a idade aproximada do planeta. Com efeito, ao aquecer quase até à fusão esferas de ferro de vários diâmetros, registou o seu tempo de arrefecimento e extrapolou esses valores para uma esfera com as dimensões do nosso planeta.

De acordo com a terminologia de Kuhn, iniciara-se a “Fase de Especulação”, em que surgem várias ideias sobre um determinado assunto ainda não esclarecido (ver Anexo I).

Nesta época, era frequente os homens bem posicionados na sociedade interessarem-se pelos assuntos ligados ao mundo natural. Em face disto, James Hutton (1726-1797) (Fig. II-2), considerado frequentemente como “pai da Geologia moderna”, quebrou com algumas visões restritas e admitiu que a Terra tinha uma imensidão de tempo que era difícil de imaginar, onde os processos geológicos actuaram de forma constante. Inicia-se a corrente Actualista da Geologia, que mais tarde, com o trabalho de Charles Lyell (1797-1875), é aprofundada, passando a constituir a chamada corrente Uniformista, como se verá

mais à frente. Além de ter estudado química e medicina, era também agricultor, actividade que lhe permitiu uma das muitas observações que se revelaram importantes na história da Geologia. Verificou que o solo não era mais do que o resultado da desagregação de rochas. Mas, se a força das águas das chuvas levasse essas terras para o mar, então deveria haver alguma forma de compensação que elevasse os continentes, numa espécie de sucessão onde havia um decaimento inicial, seguido de uma renovação, uma vez que o mundo fora criado para benefício do Homem e não para a sua ruína.



Fig.II-1- Conde Buffon (adaptado de Adams, 1938).

“That if ascribes to the phenomena of geology an order similar to that which we are best acquainted; that it produces seas and continents, not by accident, but by operation of regular and uniform causes; that it makes the decay of one part subservient to the restoration of another; and gives stability to the whole, not by perpetuating individuals, but reproducing them in succession.” (Hutton in: Murray, 1802)

Todo este processo requeria vastas quantidades de tempo que, para Hutton, não eram quantificáveis. Além disso, estes processos da superfície haviam actuado de forma constante ao longo dos tempos. Referindo-se aos Pirinéus, chegou a dizer que os estratos que se encontram nestas montanhas foram gradualmente depositados por acção da água.

“(…) it appears that those variously alternated strata had been gradually formed by the various superposition of materials deposited in water.” (Hutton, 1899)



Fig. II-2- James Hutton (adaptado de Adams, 1938).

As inovadoras ideias de Hutton vieram revolucionar uma forma de pensar que se caracterizava em termos gerais pela visão Catastrofista do globo, em muito devido às interpretações textuais da Bíblia, onde se concebia um Deus castigador dos Homens e que de tempos a tempos inundava a Terra purificando os seres. A animosidade com a corrente do Neptunismo, encabeçada por Abraham Gottlob Werner (1749-1811) (Fig.II-3), centrava-se em especial na acção das águas e o seu desaparecimento. Não esqueçamos contudo, que este homem organizado e dedicado, em muito, à classificação de minerais de acordo com a sua origem química, defendeu a existência de reacções químicas ocorridas em meio aquoso responsáveis pela deposição dos estratos sedimentares e formação de minerais. Estes sim, segundo ele, permitiam compreender que a sedimentação era a palavra-chave para o conhecimento da formação das diferentes rochas visíveis à superfície. Para este mineiro e professor, o Plutonismo não existia, defendendo que o granito se tratava de um depósito primitivo e que as águas que haviam inundado o planeta foram diminuindo de volume numa sucessão de unidades estratigráficas, definidas de acordo com uma ordem de idades.

Por seu lado, para Hutton as terras eram levantadas dos oceanos por forças vindas do interior, em tudo relacionadas com o calor interno, ideia defendida pelo Plutonismo. Tanto que, em 1785, Hutton expôs as suas ideias na Royal Society de Edimburgo, num

trabalho que parece que quase ninguém entendeu, em parte devido à forma algo rebuscada em que o escreveu. Em 1788 publicou o seu livro *Theory of the Earth* que, segundo críticas, não era de leitura acessível, por isso foi um amigo pessoal de Hutton; o matemático John Playfair, que conseguiu clarificar as suas ideias num estilo prosaico mais acessível, editando 5 anos após a sua morte o livro “*Illustrations of the Huttonian Theory of the Earth*”, em 1802.



Fig.II-3- Abraham Gottlob Werner (adaptado de Adams, 1938).

Hutton concebia os constantes e lentos processos actuantes na Terra como sendo os responsáveis pelas configurações topográficas do planeta e que, eventualmente, chegariam a um equilíbrio. Por outro lado, os sedimentos depositados nas bacias oceânicas seriam erguidos numa espécie de fenómeno compensatório que os elevaria. Ficava então justificada a existência de fósseis nos altos das montanhas. Por outro lado, a descontinuidade encontrada em conjunto com Sir James Hall em Siccar Point (Fig.II-4) levou-o a supor que a Terra está sujeita a ciclos que elevam as camadas depositadas ao longo de um vasto período de tempo.

“Dr. Hutton supposes that all these (strata) have originally been horizontal, that the matter of which they consist has been spread out on the bottom of the ocean, consolidated by fusion by subterraneous heat, and afterwards elevated by expansive power of heat, so as to assume the positions they are found to have.” (Playfair, 1802)

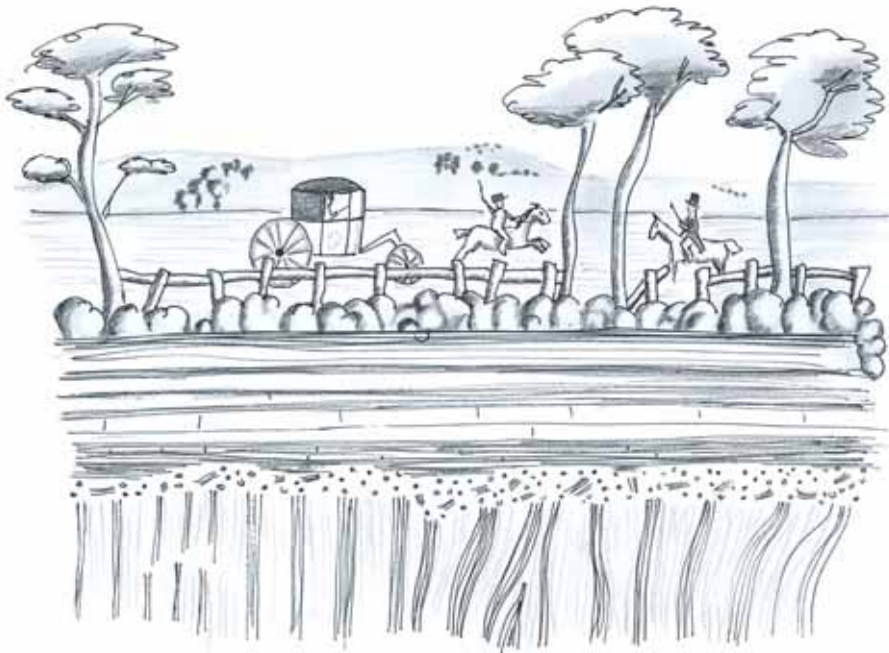


Fig.II-4- Siccar Point (adaptado de Gould, 1991).

Estes fenómenos complexos que Hutton concebia para a Terra implicavam incalculáveis períodos de tempo, um ciclo quase ilimitado de construção e destruição da superfície do planeta. Contudo, para Hutton os variados ciclos da Terra, como que auto-renováveis, eram os responsáveis pela topografia do planeta, bem como das inconformidades como as de Siccar Point. Sendo um homem rico daquela época, pôde dar-se ao luxo de se dedicar aquilo que realmente gostava, movimentando-se com especial erudição entre a Filosofia e a Ciência. Possivelmente devido ao apreço extremo pelos fenómenos actuates na Terra, escreveu o seu livro, acima citado.

As suas ideias anti-catastrofistas levantaram o pó das prateleiras arrumadas acerca das concepções bíblicas do Dilúvio Universal. Por isso, nesta mesma época insurgiram-se vozes contra as ideias de um vasto tempo para a Terra. Richard Kirwan (1733-1812) foi um dos que o contrapuseram duramente, salientando a superficialidade com que a Terra era tratada no seu livro. De referir ainda que este naturalista era um forte adepto das ideias bíblicas, de tal modo que tentou conciliar a Geologia com a Religião, como veremos mais à frente. Achou que era incompreensível o facto de as montanhas estarem a ser erodidas e de que um dia tudo ficaria em equilíbrio plano. Além do mais, questionou, no seu livro “*Geological Essays*” de 1799, como era possível que a Terra que pisamos já tivesse estado no fundo do mar e que agora não estivesse encharcada com essa mesma água.

As ideias criadas em volta das enormes massas de água no início da formação da Terra foram um entrave à evolução mais rápida do conhecimento científico. O facto é que as evidências físicas levavam a supor um oceano primitivo. Se não veja-se a existência de conchas de animais marinhos no alto de montanhas, as nascentes dos rios e a imensidão dos oceanos. Até Richard Owen (Fig.II-5) um grande anatomista, que havia estudado medicina, foi defensor do Neptunismo, aceitando por isso a existência de um oceano primitivo que cobriu toda a Terra e a partir do qual as rochas se foram formando por precipitação. Contudo, aceitava vastos períodos de tempo, bem ilustrado no seu estudo realizado com fósseis de mamíferos e aves de Inglaterra, em 1846.

“For the remote period in which the remains of Mammals first get appearance, to that in which we again get indubitable evidence of their existence, a lapse of time incalculably vast has occurred.” (Owen, 1846)

O seu carácter pouco recomendável no que respeita ao temperamento e comportamento, tendo o hábito de reivindicar descobertas que de facto não lhe podiam ser atribuídas, não lhe tiravam o mérito de ser um genial anatomista, comparável a Georges Cuvier, em versão inglesa. Não obstante, deve-se a Owen um prodigioso trabalho sobre fósseis de *dinosauria*, termo por ele inventado que significa “lagarto terrível” (Bryson, 2004). Foi pelos seus defeitos que Charles Darwin (1809-1882) chegou mesmo a odiar este médico, profissão que quase não exerceu devido ao gosto extremo pela Paleontologia, à qual dedicou a maior parte do seu tempo.



Fig.II-5- Richard Owen (In: Scientific American, 2005).

Nesta época, John Phillips, professor na Universidade de Oxford, abordava a temática da idade da Terra ao estudar o tempo decorrido durante a deposição das camadas estratificadas de rochas. Afirmava que era possível determinar a idade absoluta dos períodos geológicos através do estudo da mecânica da sedimentação de areias nos rios e mares da actualidade. Esta aptidão para o estudo das sequências estratigráficas devia-se provavelmente à sua convivência com o seu tio William Smith (1769-1839). Este último havia realizado um importante trabalho no sul de Inglaterra, estudando as sequências estratigráficas ao longo do seu país e estabeleceu comparação não só no aspecto como também no teor de fósseis das camadas. Para Phillips, os estratos implicavam uma grande quantidade de tempo para que se processassem os fenómenos de sedimentação. Além disso, havia fósseis em várias camadas que diziam respeito a seres que já não habitavam a Terra. No estudo dos carvões do Sul de Gales em Inglaterra, sugeriu um período de tempo de meio milhão de anos para a sua formação (Phillips 1864).

Apesar de ser uma mente predisposta para a aceitação de grandes períodos de tempo para a Terra, discordava de Hutton no sentido em que este sugeria períodos de tempo incalculáveis. Para a solução deste problema, Phillips baseou-se na espessura dos estratos sedimentares. Por outro lado, discordava da doutrina de Lyell, que defendia a uniformidade dos processos geológicos ao longo dos tempos. Porém, para que os seus cálculos lhe permitissem atribuir valores concretos, tinha de considerar um valor constante e uniforme para a sedimentação. Talvez alimentasse a esperança de não concordar com uma postura epistemológica forte daquela época, para não se sentir mais um dos geólogos que realizavam cálculos simples.

Dentro da comunidade científica da época houve outros geólogos que, tal como Phillips, se basearam na sedimentação para efectuarem cálculos da idade da Terra. O já referido Lyell, nascido no ano da morte de Hutton, foi o geólogo mais influente dos meados do século XIX, continuando as ideias Actualistas de Hutton. A corrente Uniformista, emergente mais tardiamente graças aos trabalhos de Lyell e devido à sua habilidade verbal, capacidade de convencer e de argumentar tornou-se o mais influente e conhecido geólogo, bem como a sua obra, que registou enormes volumes de venda. Apesar destas qualidades, Lyell também falhou em explicar de forma concisa a formação de montanhas, desprezando o papel dos glaciares como agentes de mudança. Mas, dado o

contexto da época, foi um pensador de destaque, travando discussões com os defensores do Catastrofismo de forma eficaz e inteligente, como se verá no ponto 1.3 deste Capítulo.

“But I cannot admit that there are sufficient geological data for inferring such instantaneous upheavings of submerged land as might be capable of causing a flood over a whole continent at once.” (Lyell, 1837)

Mas vejamos então as suas concepções dentro deste assunto. Para Lyell, a Terra era muito antiga e os estratos sedimentares indicadores disso mesmo, não tendo efectuado, no entanto, grandes cálculos temporais para a idade total da Terra, como muitos outros investigadores desse período o fizeram. Era frequente sugerir valores mais especulativos, como por exemplo, várias centenas de milhares de anos para o vulcão Etna (Oldroyd, 1996).

“(…) for the supporters of this doctrine to take for granted incalculable periods of time, in order to explain the formation of sedimentary strata by causes now in diurnal action.” (Lyell, 1830)

Lyell concebia a Terra como sendo dotada de dinâmica quer interna quer externa, originando fenómenos que poderiam ser interpretados à luz do Uniformismo, contrapondo-se de forma genial às ideias Catastrofistas, defendidas, em grande parte, por Cuvier. Não seria de espantar que, no contexto da época em que se vivia, os naturalistas fossem levados a aceitar catástrofes que eliminavam determinadas espécies, sendo essas substituídas por outras. Afinal, o desaparecimento de um determinado registo fóssil colocava dúvidas intrigantes sobre a causa para tais extinções de seres. Com efeito, uma comunidade eclesiástica dominante determinava uma Terra criada em sete dias, sendo o ser humano a forma mais parecida a Deus tendo, por isso, surgido em último lugar. Além disso, a alusão ao dilúvio de Noé só vinha como que corroborar com os defensores da catástrofe bíblica. Este medo de um Deus castigador do Antigo Testamento sobrepunha-se à de um Deus de amor do Novo Testamento. Daí que, no século XIX e com muitas mentes ainda fechadas, estas ideias pululassem.

Contudo, para Lyell os desaparecimentos de determinadas espécies no registo fóssil deviam-se a extinções seguidas de substituições dessas espécies por outras. Neste contexto, Darwin, muito influenciado pelas ideias geológicas de Lyell, fez estudos do registo estratigráfico e seu conteúdo fóssil, propondo a Teoria da Evolução das Espécies no seu livro “*Origin of Species*” em 1859. Com efeito, Darwin conheceu a obra de Lyell em

1831, a bordo do barco Beagle que realizou uma expedição científico-militar pelo mundo (Fig.II-6).

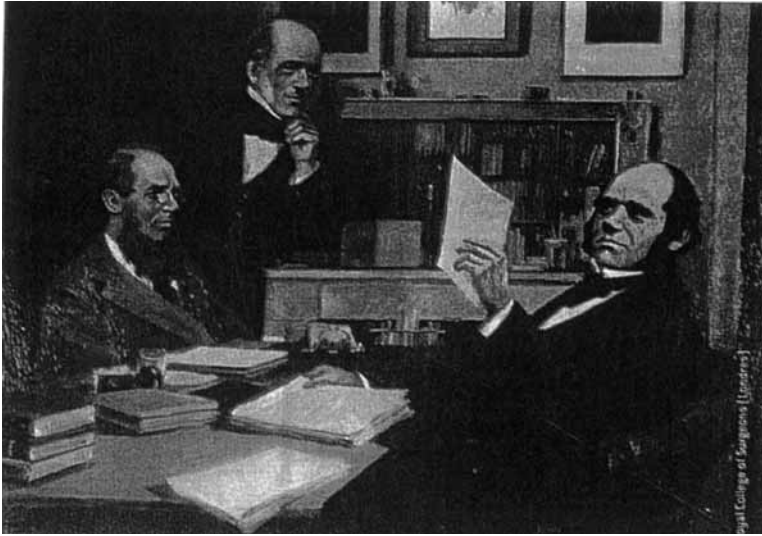


Fig.II-6- Lyell (centro), Darwin (direita) e Hooker (esquerda) (In: Scientific American, 2005).

Foi tomando contacto com as suas ideias de grandes períodos de tempo para a Terra, o que se revelou fulcral para corroborar a sua teoria da evolução das espécies. Apesar desta ideia não ser inédita, uma vez que o seu avô Erasmus Darwin (1744-1802) e Jean Baptiste Lamarck (1744-1829) (Fig.II-7) a tivessem proposto, só com os dados geológicos e paleontológicos recolhidos ao longo de anos e fruto de amadurecimento intelectual é que Darwin lançou a sua hipótese no seio da comunidade científica de então. Darwin tornou-se um dos fervorosos adeptos das ideias de Lyell, conhecendo-o em 1837. Só quando presenciou um sismo em Valdivia costa Chilena é que passou a compreender melhor e a aceitar os fenómenos de elevação das terras. Esse fenómeno natural elevou em vários centímetros a costa, e Darwin viu-se a concluir que era fulcral uma grande quantidade de tempo para que o mesmo se tivesse passado nas montanhas mais altas que se conheciam.

“In many parts of the coast of Chile and Peru there are marks of the action of the sea at successive heights of the land, showing that the elevation has been interrupted by periods of comparative rest in the upward movement, and of denudation in the action of the sea.” (Darwin, 1876)



Fig.II-7- Jean-Baptiste Lamarck (adaptado de Scientific American, 2005).

Chegou mesmo a propor cerca de 306 662 400 anos para a Terra, tendo como base para estes cálculos a desnudação de um vale em Weald no Sul de Inglaterra (Lewis, 2000). A apresentação pública destes valores foi como que o ponto de partida à corrida do cálculo do tempo da Terra. Phillips foi um dos primeiros a responder aos cálculos de Darwin realizando os seus próprios cálculos, James Croll a criticá-los por considerar outros parâmetros nos cálculos para a idade da Terra e William Thomson (1824-1907) (a partir do ano de 1892, foi-lhe atribuído o título de Lorde, passando a ser chamado desde então por Lorde Kelvin) a discordar igualmente, em parte devido às enormidades de tempo por ele propostas, como à frente se verá.

Lyell recebeu ainda gratificações por parte de Georges Poulett Scrope no seu livro de 1872, em parte devido à influência que aquele teve no seu trabalho dedicado ao estudo de vulcões e forças telúricas actuantes na Terra. Contudo, Scrope considerou que havia dúvidas na comunidade científica no que respeita aos processos uniformistas. Esses revelavam-se incompatíveis com as ideias de arrefecimento da Terra, responsáveis pela origem de fenómenos externos, que acreditava terem sido mais intensos no passado. Apesar disso, os argumentos de Lyell sobre a origem dos vulcões e sismos não eram totalmente concordantes com as suas, pois acreditava que a matéria quente dos vulcões já continha água. Lyell acreditava que esses fenómenos se iniciavam pela entrada de água por fissuras até ao material fundido. Contudo, e dentro da temática em questão, Scrope era defensor de um grande período de tempo para que os fenómenos não só vulcânicos como também erosivos e sedimentares se processassem, tendo a sua intensidade variado ao longo do tempo (Scrope, 1872).

A Ciência do século XIX era caracterizada por um florescer de temáticas que se queriam a todo o custo provadas através de factos irrefutáveis. A partir do momento em que os investigadores surgiram com valores reais para o Tempo Geológico, os conflitos entre os cientistas intensificaram-se, denotando-se uma separação entre os geólogos e os físicos. Enquanto que os primeiros se basearam essencialmente no registo estratigráfico, os segundos basearam-se em especial no arrefecimento planetário. São estas controvérsias e conflitos que dão o sentido histórico-epistemológico a este Capítulo.

É nesta dinâmica da Ciência que referimos mais alguns trabalhos levados a cabo por geólogos, que vieram engrossar a lista de estudos numa perspectiva que se pretendia contrapor à seguida pelos físicos, se bem que por vezes fosse difícil a compreensão numa dinâmica de metodologias distintas. Assim, Samuel Haughton, professor de Geologia no Trinity College de Dublin, em 1878, tentou provar que a idade da Terra no mínimo seria cerca dos 200 milhões de anos. Na base desta dedução estiveram cálculos que envolveram análises aos climas passados da Terra, intimamente relacionados com o arrefecimento não só da Terra como também do Sol.

“We are thus driven to the conclusion that the geological climates are due to the combined cooling of the earth and the sun (...)” (Haughton, 1878)

Desta forma, a deposição dos estratos e a sua espessura articulavam-se proporcionalmente. Além dos estudos paleoclimáticos dos períodos Jurássico levados a cabo em Parry Islands, Triássico (também se escreve: Triásico) no Spitzbergen e Jurássico e Triássico no Alaska, fez cálculos das espessuras dos estratos e da desnudação dos terrenos, chegando ao valor de 152 675 000 anos. Contudo, o desejo de se aproximar dos 200 milhões de anos semelhantes aos propostos por Kelvin induziu-o em malabarismos matemáticos que o conduziram a um valor global de erosão, que não contemplava apenas os períodos considerados.

“This gives for the whole duration of geological time a minimum of two hundred millions of years.” (Haughton, 1878)

Assim, os geólogos centravam-se preferencialmente nos cálculos sedimentares, influenciados por outros factores, enquanto que os físicos cingiam as suas atenções e cálculos na perspectiva de arrefecimento da Terra e do Sol. Sendo que, os estratos sedimentares constituíam, para os geólogos, a sua base para os cálculos temporais da Terra, e Charles D. Walcott baseou-se igualmente no registo estratigráfico para apresentar um

cálculo. Segundo as suas estimativas, o Tempo Geológico era definido e não indeterminado, não excedendo os 60 a 70 milhões de anos (70 000 000).

“It is my purpose to-day to take up the consideration of the evidence afforded by the sedimentary rocks of our continental area, and largely of a distinct basin of sedimentation, with a view of arriving, if possible, at an approximate time-period for their deposition.” (Walcott, 1893)

Walcott foi um naturalista que nos finais do século XIX seguiu a linha de pensamento oposta à dos físicos de então. Sugeriu períodos de tempo que se situavam entre os 25 a 30 milhões de anos (20 000 000) como limite inferior e 60 a 70 milhões de anos como limite superior. Na sua proposta de cálculo tomou em consideração os valores de erosão e sedimentação bem como da espessura dos estratos continentais, inferindo os valores de deposição.

Os geólogos eram considerados por uma grande parte da comunidade científica da época como dotados de iliteracia numérica. Ou seja, os cálculos por eles elaborados eram considerados simples, e em virtude dessa quase ingenuidade não poderiam, segundo muitos, ser tidos em consideração. As disputas desenroladas em torno de valores confere a este período da Ciência um aspecto atractivo e que se revela pertinente conhecer, a fim de compreender a construção do conhecimento científico. Por outro lado, o empreendimento da Ciência reveste-se de teorias marginais que fundamentam as bases do paradigma que será eventualmente adoptado pela comunidade científica.

“The growth of knowledge can be studied best by studying the growth of scientific knowledge.” (Kuhn in: Hacking, 1981)

Assim, um dos personagens que se revelou mais importante nesta trama de conflitos associados a cálculos algo complexos e reveladores de criatividade foi, sem dúvida, Lorde Kelvin (Fig.II-8).

Era uma das figuras mais fantásticas da altura, um génio da matemática, licenciado pela Universidade de Cambridge, e realizara trabalhos na área da Física, leis da Termodinâmica, que vieram revolucionar a sociedade científica de então. O quebra-cabeças que lhe ensombrou a reputação foi o cálculo para a idade da Terra, questão que lhe ocupou uma grande parte do final da sua carreira, não chegando a aproximar-se do valor actualmente aceite.

A sua primeira publicação sobre este tema ocorreu no ano 1862, tendo baseado os seus cálculos nas leis da Termodinâmica, justificativa de que toda a energia do universo tinha uma origem gravitacional e estava em constante diminuição. Considerava o Sol como um corpo fluído que perdia continuamente calor, tendo, por isso, um tempo limitado de libertação calorífica. As leis da Termodinâmica fundamentavam as posições de Kelvin, o que lhe dava enorme segurança nas suas afirmações.

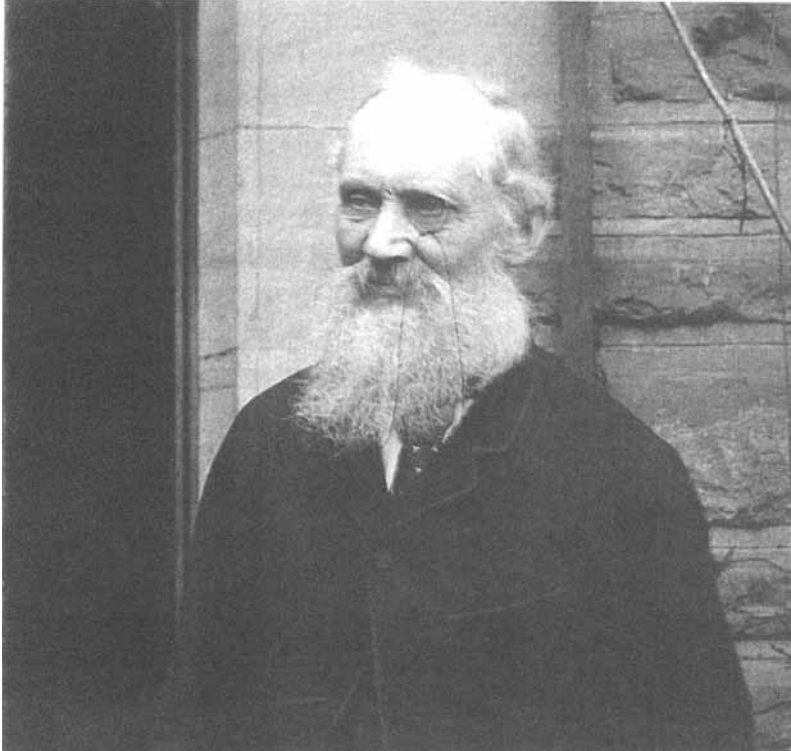


Fig.II-8- Lord Kelvin, com a idade de 75 anos (In: Lewis, 2000).

Por outro lado, a comunidade científica foi aceitando sem muitas interrogações as suposições do grande mestre, mas há mentes inquietas que não aceitam de fácil agrado tudo o que é publicado nas conceituadas revistas científicas. De referir, contudo, que cerca de vinte anos antes do primeiro estudo sobre o arrefecimento da Terra, um físico de Cambridge, William Hopkins, havia sugerido o mesmo. Ora isto implicava valores concretos, indo de encontro com as ideias atemporais do Uniformismo.

Pese embora Lorde Kelvin tivesse em consideração o arrefecimento do Sol, não descurou o mesmo processo ocorrido na Terra. É que ao observar dados empíricos como os provenientes de minas, verificava-se um aquecimento das rochas com a profundidade. Assim, isso era sinal de um indubitável arrefecimento do planeta na medida em que os

primórdios do planeta tinham sido de um estado geral de fusão. Com efeito, a noção de contracção da Terra, à medida que ia arrefecendo, foi o passo chave para mais um conjunto de cálculos. Nestes, determinava o tempo a que a Terra estava a arrefecer desde o início da sua formação. O seu valor proposto para este processo foi de 98 milhões de anos, com 20 e 400 milhões de anos como limites inferior e superior, respectivamente (Hallam, 1985). Apesar de Lorde Kelvin ser um homem religioso, não aceitava o Catastrofismo como processo actuante no planeta. Considerava, sim, que o arrefecimento secular da Terra se ia processando através da libertação de calor pelos vulcões, tendo estes e outros fenómenos como a evaporação, a precipitação e a erosão variado ao longo do tempo. A sua reputação na área da Física fez com que as suas ideias não fossem, pelo menos inicialmente, postas de lado como acontecera com outros investigadores. No entanto, a constante mudança nos valores por ele apresentados começou como que a levantar suspeitas sobre a valia da sua teoria da idade da Terra.

Embora Lorde Kelvin discordasse do Uniformismo, porque contrariava as leis da Termodinâmica, não negava a importância da Geologia na ruptura das antigas ideias bíblicas sobre a idade do planeta. Mas mesmo assim, os cálculos sedimentares não o convenciam de todo.

“Yet the concordance of results between the ages of sun and earth, certainly strengthens the physical case and throws the burden of proof upon those who hold to the vaguely vast age, derived from sedimentary geology.” (Kelvin, 1895)

Apesar de prodigioso, Lorde Kelvin, com o decorrer do tempo, tornou-se mais ousado nas suas observações e menos correcto também. O facto de criticar tão abertamente a posição dos geólogos veio dar um novo impulso para que a averiguação da veracidade dos seus cálculos fosse posta à prova. Com efeito, um dos seus mais directos colaboradores, John Perry, em 1895, chegou a colocar em questão a energia solar e a sua evolução ao longo do tempo, sugerindo, numa carta escrita ao próprio Lorde Kelvin, que deveria haver algo de errado nos seus cálculos.

“I do not know that this speculation is worth much, except to illustrate in another way augmented answer when we have higher conductivity inside. It would evidently lengthen the time if I assumed that the temperature-gradient was not uniform in the shell, but the exact mathematical calculation is so troublesome that I have not attempt it.” (Perry, 1895)

Lorde Kelvin viu-se envolvido numa trama de cálculos que se revelaram pouco proveitosos no final de contas. James Geikie, presidente da British Association, também se sentiu ofendido com a arrogância dos físicos para com os geólogos. Geikie havia feito vários estudos estratigráficos que, tal como outros geólogos, apontavam para um planeta que sofrera fenómenos constantes desde o início da sua formação. Neste sentido, estudos levados numa secção exposta em “Kilmarnock and Crofthead Extension Railway” (Geikie, 1870), perto de Glasgow, confirmavam as suas convicções dos fenómenos actantes no nosso planeta, contrapondo-se às ideias de Lorde Kelvin e de Peter Tait (seu directo colaborador) de uma Terra muito mais activa no passado. Porém, Lorde Kelvin não escondia o seu embaraço nas constantes revisões temporais que ia fazendo.

“So far as underground heat alone is concerned you (Perry) are quite right that my estimate was 100 millions, and please remark that that is all Geikie wants; but I should be exceedingly frightened to meet him now with only 20 million in my mouth.” (Kelvin, in: Perry, 1895)

Nesta fase da Ciência que, de acordo com a perspectiva epistemológica de Kuhn (ver Anexo I), se insere na “Fase de Competição entre Teorias Rivals”, não será descabido apresentar mais uma teoria que também teve um certo impacto e foi proposta por Thomas Chrowder Chamberlin (1843-1928), um catedrático da Universidade de Chicago (Fig.II-9). Este e outros geólogos acusaram Lorde Kelvin de ser pouco preciso nos valores que apresentara, além de os mudar constantemente. Segundo Chamberlin, a Terra foi formada a partir da lenta e fria acreção de planetesimais, discordando de uma Terra primordial no estado fundido. Muito embora considerasse que Lorde Kelvin não tivesse sido muito preciso nas suas propostas para a idade da Terra, chegou a concordar com a sua ideia de formação do planeta, ideia que já remontava aos tempos de Laplace.

“The hypothesis of a primitive molten earth is chiefly a deduction from the high internal temperature and from the nebular hypothesis. But it remains to be shown that the high internal temperature may not also be a sequence of an earth which grew up by meteoric accretion with sufficient slowness to remain essentially solid at all stages.” (Chamberlin, 1899 a)

Chamberlin reconhecia a importância dos estudos de Lorde Kelvin, nomeadamente a nível da Física, e mesmo ao impulso que estes deram à Geologia. Ou seja, a Geologia, ao receber críticas tão acutilantes, teve de criar um corpo progressivamente mais forte, sólido

e amplo para que pudesse vingar enquanto Ciência autónoma e dotada de um corpo próprio de conhecimentos.



Fig.II-9- Thomas Chrowder Chamberlin (adaptado de Wood, 1986).

Clarence King, primeiro director do Serviço Geológico dos Estados Unidos, ajudou a Geologia a constituir-se e, neste contexto, escreveu um artigo em 1893 para o *American Journal of Science*, onde refere o carácter atractivo dos cálculos da idade da Terra levados a cabo por Lorde Kelvin, não concordando porém com eles. Contudo, aceitava como fiáveis os valores apresentados por Lorde Kelvin para a idade do Sol.

Segundo aquele, o problema das determinações de Lorde Kelvin estava relacionado com os pontos de fusão e congelação das rochas e a sua plasticidade relativa. Os estudos levados a cabo por King e seus colaboradores indicavam que a pressão aumentava com a profundidade até ao centro, mas a temperatura atingia um máximo a partir do qual se mantinha constante até ao centro da Terra. Era esta uma das bases de estudo para determinar a idade da Terra, tendo em consideração o seu período de dinâmica geológica.

Além do mais, depararam-se com problemas no que respeitava ao arrefecimento da camada mais superficial da Terra. A aceleração desse processo poderia ser devido a fenómenos convectivos e, pela sua relação directa entre o calor, a pressão e a condutividade da matéria, igual em qualquer dos estados físicos. Mas o ferro não fundido é mais denso e, sob pressões tão grandes adquiria, uma maior densidade, em tudo comparável à do ferro arrefecido. Desta forma originara-se uma conversão isotérmica, de tal forma que o núcleo rico em ferro se encontrava no estado sólido. Discordara ainda das ideias lançadas por Lorde Kelvin no que respeita à rotação terrestre mais lenta e com mais

energia centrífuga, devido aos estado de total fusão do planeta nos seus primórdios. Apesar desta postura perante as ideias de Lorde Kelvin, discordava ainda da ideia de um vasto tempo para o planeta, tal como defendido pela maioria dos geólogos.

King criticava os geólogos em geral, por rejeitarem as conclusões dos físicos e usarem fontes de erro como a Estratigrafia. De qualquer forma, não excedeu os valores de 24 milhões de anos para a idade da Terra, concordantes com os 50 ou 20 milhões de anos para o Sol. Salientara também, a importância de se realizarem novos estudos que poderiam aumentar estes valores.

“Yet the concordance of results between the ages of sun and earth, certainly strengthens the physical case and throws the burden of proof upon those who hold to the vaguely vast age, derived from sedimentary geology.” (King, 1893 pp.20)

Da mesma forma que King e os seus colaboradores discordaram dos cálculos de Lorde Kelvin, igualmente chegaram à conclusão que as ideias defendidas por James Croll (1821-1890), que trabalhara no Serviço Geológico da Escócia, poderiam constituir uma boa base para a determinação da idade geológica da Terra.

Croll, por volta de 1875, defendia que as glaciações e as variações climáticas encontravam-se intimamente associadas à posição do planeta no movimento de translação. Esta posição ilustra a sua concordância mais estreita com a Física do que com os dados estratigráficos, defendidos por uma grande parte dos geólogos.

“At present, geological estimates of time are little else than mere conjectures.” (Croll, 1875)

Antes da publicação do seu livro “*Climate and Time*” em 1875, Croll publicou vários artigos, nos quais expunha as suas ideias acerca da idade da Terra e a forma de a calcular. Com efeito, as conclusões a que neles se referiu vieram ao encontro dos argumentos utilizados no seu livro, que tão profusamente tratava as alterações climáticas sofridas pela Terra ao longo dos tempos, o que, em seu entender, permitiam calcular a idade da Terra. Para Croll, a excentricidade da Terra permitia estudar as glaciações que haviam ocorrido no planeta e como tal estimar a sua idade. Os períodos de excentricidade estudados na época pela Astronomia e pela Física forneciam dados temporais desses períodos mais frios. Por outro lado, os valores de desnudação das montanhas, em especial da América do Norte, também constituíam um factor de peso nos cálculos para a idade da Terra.

No período em que Croll tentava solucionar este problema iam surgindo outros, e novas vozes insurgiam-se contra os métodos adoptados pelos diferentes investigadores. Neste sentido, o estabelecimento dos limites para os períodos do Tempo Geológico iniciou o seu longo trajecto. A título de exemplo, houve diferenças de opinião entre Croll e Lyell ao tentarem estabelecer a idade do Período Câmbrico. É que, para Croll, os cálculos da excentricidade da Terra levaram-no a concluir que tinham ocorrido três grandes eventos destes entre os 950 000 e os 750 000 anos e outros dois mais pequenos ocorridos entre os períodos de tempo de 200 000 e 100 000 anos. A última glaciação, para este investigador, ocorrerá há cerca de 80 000 anos. De acordo com os seus cálculos o período Câmbrico não teria mais dos 240 milhões de anos, valor contestado por Lyell. Este, por sua vez, argumentou com a impossibilidade das revoluções biológicas (mudança total) ocorrerem nesse período de tempo, atribuindo para a última glaciação a idade de 750 000 e 850 000 anos. Segundo Lyell houve mais de 12 revoluções biológicas desde o Câmbrico, cada uma decorrida em 20 milhões de anos.

“(…) Sir Charles Lyell concludes, that the beginning of the Cambrian period will require to be placed 240 million of years back. But we have evidence of physical nature which proves that it is absolutely impossible that the existing order of things, as regards our globe, can date so far back as anything like 240 millions of years.” (Croll, 1868)

Para afirmar tão redundantemente a sua oposição a Lyell, Croll tomou em consideração os cálculos de Lorde Kelvin para a idade do Sol. Sugeriu a existência de dois corpos, cada um dos quais com metade da massa actual do Sol, afirmando que se moveram um em direcção ao outro e a energia resultante desse fenómeno ainda hoje seria visível.

Numa altura em que se vivia no quadro epistemológico do Uniformismo, Croll tentou conciliar os dados da Física com os vindos da Geologia de então, no respeitante à erosão e à lentidão desses processos.

“(…) when we reflect that with such extreme slowness do these agents perform their work, that we might watch their operations from year to year, and from century to century, if we could, without being able to perceive that they make any very sensible advance, we are necessitated to conclude that geological periods must be enormous.” (Croll, 1868)

Como seria natural numa época em que a Ciência era predominantemente empirista, como aliás é bem patente em escritores tão conhecidos como Sir Conan Doyle e o seu personagem perspicaz e factual, Sherlock Holmes, as opiniões contrárias e acutilantes não

se faziam esperar muito. É que uma postura que tentasse tocar dois lados científicos teoricamente opostos suscitava dúvidas a muitos níveis. Neste contexto, o geofísico Osmond Fisher (1817-1914) (Fig.II-10) foi uma das vozes que se insurgiu, lançando críticas aos diferentes cálculos para a idade da Terra, nomeadamente de Hutton e Croll. Fisher aceitava o arrefecimento da Terra a partir do seu interior e conseqüente contracção da zona mais superficial como causa principal da formação de montanhas. Discordava das ideias de soerguimentos dos fundos oceânicos na formação de montanhas, defendidas por Hutton e, por outro lado, criticou os cálculos de desnudação de montanhas realizados por Croll, referindo-se à teoria do Uniformismo num tom algo jocoso.

“(...) those uniformitarian doctrines, which are supposed to be of paramount value in geological speculation.” (Fisher, 1873)



Fig.II-10- Rev. Osmond Fisher (adaptado de Wood, 1986).

Lorde Kelvin também não foi poupado à crítica de Fisher no que se refere ao estado físico do interior da Terra, supostamente de forma e composição homogénea e com constante perda de calor. Mas, e se o interior da Terra não fosse sólido? Nessa situação, a perda de calor iria adquirir resultados diferentes e conseqüentemente alterar os valores obtidos para a idade do planeta.

As críticas não se ficaram, contudo, por esses três cientistas, mas chegaram a atingir King cerca de vinte anos mais tarde. Na sua postura de crítica relativamente aos cálculos apresentados por King, inclui-se a sua má interpretação dos cálculos de Lorde Kelvin. Segundo Fisher, King errou nas suas estimativas, uma vez que o problema da hidrodinâmica nunca fora abordado com suficiente profundidade e solução de problemas,

pelo que de acordo com resultados de outros investigadores, o interior da Terra encontrava-se no estado líquido. Por isso, a determinação da idade da Terra baseada na influência das marés de curto período e sua acção variável consoante o estado físico do interior da Terra não lhe parecia razoável.

Fisher não deixou de criticar igualmente John Joly (1857-1933) (Fig.II-11) e os seus cálculos para a idade da Terra baseados no teor de sódio presente nos oceanos. De acordo com este investigador, se fosse calculado o valor de sódio anualmente transportado pelos rios até ao mar, chegar-se-ia à idade da Terra com relativa facilidade. Fisher não poupou Joly a críticas e considerou esse cálculo ingénuo.

“The foregoing gives the pith of Professor Joly’s very ingenious theory of the age of the earth.” (Fisher, 1900)



Fig. II-11- John Joly (adaptado de Wood, 1986).

Joly foi um dos investigadores que no início das suas pesquisas tentou determinar a idade da Terra pelo teor de sódio presente no mar, mas que mais tarde aceitou os resultados fornecidos pelos isótopos. Não abandonou, porém, os seus cálculos geológicos dos teores de sódio e outros elementos, argumentando que estes dados não permitiam atribuir uma idade para a Terra superior aos 150 milhões de anos.

Os cálculos de Joly tinham lacunas a nível do suprimento de elementos às águas meteóricas vindos da própria atmosfera, para além dos graus de dissolução também serem variáveis, o que afectava os resultados obtidos. Fisher foi um bom avaliador das diversas teorias propostas para a determinação da idade da Terra, não sugerindo ele próprio uma estimativa. É visível, contudo, uma certa relutância relativamente aos métodos utilizados

pelos geólogos, não desprezando, mesmo assim, os novos dados aportados por esse grupo de investigadores.

“In this important essay Professor Joly has opened up an entirely new line of investigation of geological time. It is too soon to pronounce whether his numerical estimate is fully to be relied upon, until it has been a little while before the scientific world. His period of between 80 and 90 million years will perhaps satisfy geologists as being sufficient. The leading physicists, on the other hand, are disposed to grant us a good deal less time.” (Fisher, 1900)

Assim, podemos dizer que a Física tentava baixar os valores da idade da Terra sugeridos pelos geólogos. Isto sucedeu porque os factos apresentados denotavam um carácter mais especulativo, daí os entraves colocados a períodos de tempo muito grandes.

As teorias que vão surgindo no decorrer da emergência de um novo paradigma são fulcrais para que o assunto em questão tenha várias perspectivas de ser olhado, o que lhe confere vantagem sobre outros que eventualmente não suscitam as mentes. Só assim se podem conhecer os conceitos que se revelaram infrutíferos para o evoluir da Ciência, dando um carácter verdadeiramente dinâmico ao empreendimento científico.

Neste sentido, acreditamos que no início do século XX se iniciou a fase de “Revolução Científica” deste tema. Foi durante a primeira década que se fizeram as mais importantes descobertas sobre a radioactividade do chumbo e o seu decaimento, com emissão de partículas rádio.

Mellard Reade, um geólogo interessado, cuja actividade profissional era a engenharia e a arquitectura, fora Presidente da Sociedade Geológica de Liverpool, tendo realizado importantes estudos no que se refere à geomorfologia e emitiu também o seu parecer sobre a idade da Terra. Baseou-se em exclusivo nos valores de erosão e sedimentação, não esquecendo o que Hutton e Lyell já haviam feito neste campo, uma vez que os fenómenos que actuavam na Terra tinham carácter uniforme. O método seguido por Reade lembrava o de Phillips, ao qual voltou novamente, anos mais tarde, devido a dados recentes sobre a deposição de sedimentos no fundo marinho (Hallam, 1985). Segundo os seus cálculos, um pé³ de sedimentos acumulava-se ao longo de 4000 anos pela acção das águas meteóricas, rios ou por acções químicas ou mecânicas, que provocaram a erosão da superfície do planeta (Reade 1903). Foi ainda o primeiro cientista a ter em consideração a

³ Clarificando as medidas: 1 pé = 0,3048 metros; 1 metro = 3,2808 pés.

erosão química como factor determinante da erosão em termos globais. No fundo, concordava com a morosidade dos fenómenos geológicos actuantes no planeta.

“The importance of time as a factor in geology has, in relation to denudation, been more or less understood and admitted by geologists since the days of Hutton and Playfair. Not so, however, is it realised that time plays an equally important part in geological dynamics.” (Reade, 1903)

As ideias geológicas de grandes períodos para o tempo da Terra vieram a ser corroboradas pelos dados da Física. Em 1896, Henri Becquerel, um físico francês, havia descoberto que o urânio emitia raios misteriosos (raios X) que activavam placas fotográficas no escuro. Esta característica, conhecida por radioactividade, foi o início de uma nova fase nas investigações para a determinação da idade da Terra (Eicher, 1976). Seis anos depois, Ernest Rutherford, que estudara a radioactividade em Cavendish, Cambridge, fora convidado para a ser professor de Física na Universidade de McGill em Montreal, Canadá. Em 1902, este notável professor e o seu assistente Frederick Soddy afirmaram que de facto os elementos radioactivos transformavam-se noutros elementos durante a emissão de radioactividade.

No ano de 1903, Rutherford afirmara que o Rádio emitia três tipos distintos de radiação que penetravam na matéria com diferentes intensidades. Nestas investigações, utilizaram-se diversos materiais incluindo rochas e minerais, permitindo chegar a conclusões relacionadas com a absorção, desvio e emissão das referidas radiações. A conclusão foi inevitável. A Terra não era um corpo que simplesmente perdia energia, mas tinha a sua própria fonte de energia interna!

“It is of interest to consider the probable part that α rays play in the radioactive bodies on the general view of radioactivity that has been put forward by Mr. Soddy and myself in (...) 1902.” (Rutherford, 1903)

As ideias de Rutherford acerca da desintegração dos elementos radioactivos da Terra impediam que se aceitassem as concepções de Lorde Kelvin sobre o arrefecimento da Terra, vista como um corpo que perdia calor de forma constante. A avançada idade de Lorde Kelvin também poderá estar na origem de uma obstinação marcada sobre este assunto, não alterando os seus valores mesmo perante os avanços da Física.

De um momento para o outro, a radioactividade era a base para a teoria do decaimento dos átomos. Estava dado o passo para novas conclusões relacionadas com a

idade absoluta da Terra. J.C. McLennan e E.F. Burton assumiram que metais tal como o alumínio emitiam mais radiação do que seria de esperar, indo ao encontro do que Robert Strutt, filho de Lord Rayleigh (Holmes faz referência a Strutt como sendo ele próprio Lord Rayleigh), um ano antes, em 1902, havia publicado num trabalho realizado sobre electrificações de metais aquecidos (McLennan e Burton, 1903; Strutt, 1902). Strutt empregou o seu tempo na investigação da radioactividade das rochas que compunham a crosta terrestre. Desta feita, os resultados foram tais que as concepções defendidas por Lorde Kelvin caíram por terra. As rochas ígneas indicavam valores radioactivos cerca de 50 a 60 vezes superior à concentração precisa para manter a temperatura da Terra (Hallam, 1985).

Georges Darwin, um conceituado físico, filho de Charles Darwin, refere-se a Rutherford como ponto de partida para criticar as ideias de Lorde Kelvin acerca da idade do Sol. Segundo este investigador, as novas fontes de energia poderiam solucionar o problema de Kelvin e do fim do Sol.

“The object of the present note is to point out that we have recently learnt the existence of another source of energy, and that the amount of energy available is so great as to render it impossible to say how long the sun’s heat has already existed, or how long it will last in the future.” (G. H. Darwin, 1903)

A radioactividade dos materiais poderia então, segundo G. Darwin, constituir a solução para a determinação da idade da Terra, passando esta tarefa definitivamente para as mãos da Física e não da Geologia, onde continuava a aceitar-se em primeira mão a ideia de grandes períodos de tempo bem patentes no registo estratigráfico. Joseph Barrell (1869-1919), geólogo de Yale, não é excepção disso, quando em 1907 refere a necessidade de muito tempo para a Terra, por forma e justificar o arrefecimento magmático e suas intrusões na região de Montana (Barrell, 1907).

“Such as has been the nature and succession of the principal geologic events which in the course of many million years have in the southern part of the district built up the girdle of mineral wealth around the border zone of the granite and excavated in the batholith itself the picturesque Marysville basin (...).” (Barrell, 1907)

Contudo, cerca de dez anos mais tarde, Barrell publicou um artigo onde chamava a atenção, em especial dos geólogos, para o facto da Física já ter falhado muitas vezes na questão da determinação do Tempo Geológico. Os novos dados vindos da radioactividade

forneciam valores bastante elevados, pelo que também se tratava de um método que poderia ter alguma falha, tal como o Uniformismo havia esquecido os ritmos da natureza. Mas aos poucos Barrell foi-se convertendo ao método isotópico de determinação das idades dos minerais, processo iniciado anos antes por Bertram Boltwood, químico americano. No ano 1907, Boltwood verificou que os minerais das rochas também emitiam radioactividade, estabelecendo ligação entre a quantidade de elemento pai e de elemento filho ao longo do tempo.

“In unaltered primary minerals of the same species from the same locality, that is, in minerals formed at the same time and therefore of equal ages, a constant proportion must exist between the amount of each disintegrated product and the amount of the parent substance with which it is associated.” (Boltwood, 1907)

No mesmo estudo foram elaboradas datações de minerais de diversas localidades do globo, sendo a mais antiga referente a rochas do Ceilão, com 2200 milhões de anos. Estes valores já satisfaziam mais os geólogos, deixando o resto da comunidade científica apreensiva para tal antiguidade de minerais formados no planeta. Por outro lado, Boltwood referiu que o chumbo era o produto de desintegração do urânio, o que fomentou a investigação nesta área e as investigações não cessaram (Boltwood, 1907).

É a partir desta altura que se passa a utilizar o decaimento radioactivo para determinar as idades das rochas e consequentemente da Terra. Dos avanços da ciência na época desenvolveram-se novas investigações que permitiram afirmar com relativa certeza a idade absoluta da Terra. Com efeito, um dos principais protagonistas desta fase, que apelidamos de “Ciência Normal”, foi sem dúvida Arthur Holmes (1890-1965) (Fig.II-12), discípulo de Srutt e professor de Geologia na Universidade de Durham. Foi um investigador de alto gabarito, publicando em 1913 um livro intitulado “*The age of the Earth*”, onde teceu várias considerações acerca da idade do nosso planeta.

Neste livro, Joly e os seus inovadores cálculos não deixaram de ser re-analisados à luz dos conhecimentos de Holmes. Assim, partindo do princípio que as principais rochas fornecedoras de sódio eram as ígneas, então a superfície da Terra nos seus primórdios deveria ter estado totalmente coberta por este tipo de rocha. Contudo, cerca de $\frac{3}{4}$ da superfície terrestre exposta estava coberta com rochas sedimentares, tendo Joly sugerido uma idade de 70 milhões de anos para a Terra, acrescentando a esse valor 10 milhões de anos para o mar (Holmes, 1913). Por outro lado, o cálculo total dos sedimentos acumulados

implicaria uma desnudação que sugeria 3 milhões de anos, valor inflacionável pelo cálculo dos efeitos de absorção dos sedimentos. Os fenómenos vulcânicos e as águas juvenis também não podiam ser descurados, nestas considerações do teor de sódio dos oceanos. Com muitos pontos críticos que Holmes encontrou na teoria de Joly, afirma “(...) we can only conclude that our knowledge of the part played by sodium and chlorine in the constant redistribution of the materials of the Earth’s crust is lamentably imperfect (...)” (Holmes, 1913)



Fig.II-12- Arthur Holmes (In: Lewis, 2000).

Outros cálculos de determinação da idade da Terra foram igualmente alvo de análise por parte de Holmes. Com efeito, os geólogos, constantemente atacados por Lorde Kelvin, utilizavam o conceito de erosão e sedimentação como prova cabal sobre a antiguidade da Terra, elaborando cálculos que forneciam valores muito criticados pelos seus opositores. Mas estas posições tinham justificação baseada nos diferentes tipos de rochas e seus valores de erosão diferenciados, afectando, em consequência, os valores

apresentados. Além do mais, os geólogos não consideraram as inconformidades⁴ do registo estratigráfico, causando maior descredibilidade no meio científico acerca deste método.

“This figures, however, have but little value, for there is no single law for deposition.” (Holmes, 1913)

Por outro lado, a maioria das rochas sedimentares era rica em carbonato de cálcio, pelo que Mellard Reade, entre outros geólogos, como James Dana (Holmes, 1913), usaram como medida do tempo geológico a sua acumulação desde o início da Terra. Os resultados, no entanto, que rondavam as 3 centenas de milhões de anos, foram pouco considerados por Holmes, que os classificou de pouco certos.

Com efeito, o interesse pela teoria da desintegração dos átomos radioactivos, proposta por Rutherford em 1902, foi o passo decisivo para a determinação da idade das rochas. Os cálculos de meio tempo de vida dos minerais iniciou a datação absoluta de amostras rochosas. Holmes mostrava-se muito interessado com os novos dados da Física no que respeita à radioactividade de vários elementos presentes nos minerais, de tal forma que enalteceu os trabalhos levados a cabo por Rutherford, Soddy, Boltwood, Marie Curie (a conhecida física que estudou de forma sistemática os misteriosos raios emitidos pelo urânio) e Becquerel, em especial.

A meados da segunda década do século XX, Holmes referiu que, com os cálculos da história termal da Terra, adoptados há anos por Lorde Kelvin, seria difícil chegar correctamente à idade da Terra (Holmes, 1915). Desta feita e após um longo período de experiências e de vários valores propostos, em 1946 Holmes apresentou como idade da Terra 3000 milhões de anos. Este valor foi corrigido um ano depois para 3350 milhões de anos, baseado nos isótopos de chumbo acumulados nas rochas graníticas (Holmes, 1947).

A meados do século XX parecia então certo que a Terra tinha pelo menos 3000 milhões de anos. Estudos de minerais ricos em chumbo levaram Holmes a continuar a afinar os valores para a idade o mais correcta possível para a Terra. Nesta altura outros investigadores como Fritz Houtermans, físico austríaco, e Harrison Brown, geoquímico americano, cingiram as suas atenções para outros registos geológicos, possivelmente mais antigos do que a própria Terra: os meteoritos. Estes, pobres em urânio e ricos em chumbo

⁴ Inconformidades em Geologia- são quebras na sequência temporal do registo estratigráfico, que resultam na mudança de um determinado regime que cessou a deposição por períodos de tempo que podem ser vastos. Em geral, nestes períodos ocorre erosão e levantamento dos terrenos com eventual perda de alguma sequência anteriormente depositada. Na actual terminologia encontramos para esta definição termos como desconformidade, paraconformidade e discordância.

original, poderiam constituir os relógios isotópicos ideais para a determinação da idade do planeta. Foi então que em 1953 interveio Claire Patterson com a sua equipa, George Tilton e Mark Inghram, todos geoquímicos americanos, na determinação das idades dos meteoritos que haviam caído na superfície terrestre. Patterson, apresentou os resultados numa conferência na Pensilvânia na qual postulou a idade de 4510 milhões de anos, reajustada a 4560 milhões de anos devido a mais estudos de sedimentologia associados a vulcões. Todo este trabalho de Patterson foi reconhecido pela comunidade científica, de tal modo que a meados do século passado aceitava-se os 4500 milhões de anos para o nosso planeta (York, 1999; Lewis, 2000).

Não podemos, contudo, deixar de fazer referência a Sir Harold Jeffreys (1891-1989) (Fig.II-13), conceituado matemático e físico forte, opositor da questão da Deriva dos Continentes, que também teve um papel importante na dinâmica desta fase de Ciência Normal, criticando os métodos antigos de determinação da idade da Terra. Apontou a radioactividade, em 1921, como a evidência física que permitiu que a idade da Terra fosse contada em centenas de milhões de anos. Assim, verificou-se como que um acalmar dos geólogos no que respeita à idade estimada para a Terra. É que, valores tão elevados para a idade do planeta, ainda por cima comprovados com dados da Física, só deixaram os geólogos cientes de que afinal tinham razão: a Terra era mesmo muito antiga. Pese embora nesta fase já não se verificassem grandes conflitos, Jeffreys discordava dos valores propostos por Holmes no respeitante ao arrefecimento inicial da Terra, que se aceitava como fluida (Jeffreys, 1925).



Fig.II-13- Sir Harold Jefferys (adaptado de Wood, 1986).

“The above calculations are based on numerical data differing somewhat from those used by Holmes, and also from those used by myself in previous work.” (Jeffreys, 1925)

No seu livro “*The Earth*”, editado pela quinta vez em 1970, Jeffreys admitiu como fiáveis para a determinação da idade da Terra os métodos como o da radioactividade dos elementos e seu decaimento e o da análise das nebulosas que se afastavam continuamente. Sugeriu o valor de 4000 milhões de anos para que todas as nebulosas estivessem muito próximas, altura correspondente à da formação do Universo, assunto que, veio a ser alvo de novos estudos que conduziram à idade do Universo os cerca de 13 a 15 mil milhões de anos. É que, segundo os cosmólogos, não se consegue inferir o que se terá sucedido antes do Big-Bang, pois os dados da Física que conhecemos não permitem especular muito mais sobre o assunto. São, pois, as constantes da Física que permitem um estabelecimento temporal que tanto nos agrada, pois pensar num, *sem tempo*, assusta tal como o Catastrofismo dos séc. XVIII e XIX.

Mas, voltemos a Jeffreys. Os métodos como os da desnudação das montanhas, a idade dos oceanos, a radiação do Sol, a solidificação da Terra e as colisões de meteoros não lhe mereceram confiança, muito pelo contrário foram sujeitos a duras críticas. Holmes, que havia investido algum do seu tempo a tentar confirmar os cálculos dos valores de sódio dissolvidos e conseqüente idade dos oceanos, recebeu assim a desapreciação de Jeffreys no que respeita aos cálculos e aos valores apresentados. Os outros cálculos de Holmes que se baseavam na análise isotópica de depósitos de chumbo e que lhe permitiram atribuir a idade de 3350 M.a. para a crosta da Terra mereceram igualmente a análise crítica de Jeffreys. Este viu-se a discordar dos métodos levados a cabo por Holmes e seus mais directos colaboradores.

Jeffreys considerou que os valores da idade da Terra não deviam andar longe dos 4000 M.a., mas referiu que havia a ter em atenção os intervalos de tempo que provavelmente existiram entre a formação do Sistema Solar e a formação do nosso planeta. Neste contexto, fez referência aos estudos realizados por investigadores como Fred Hoyle, um dos físicos que propôs um modelo para a formação do Universo que puderam ajudar a clarificar o problema da antiguidade do nosso planeta e restante Sistema Solar, que considerava não estar satisfatoriamente resolvido.

“Many theories of this (Solar System origin) have been proposed, and although considerable ingenuity is being devoted to the problem I do not think any theory existing at present quite satisfactory.” (Jeffreys, 1970)

A meio do século XX, surgiram novas fases revolucionárias relativas à Deriva dos Continentes. É bem visível que a pesquisa científica progride, e J. Hospers vem dar um novo incentivo a essa temática, abordando pontos de contacto com os da idade da Terra. Ou seja, foi descoberto que as rochas ígneas adquiriam a polarização da Terra aquando da sua solidificação (Hospers, 1951). Como iremos ver, no tema da Deriva Continental e Tectónica de Placas, esta descoberta teve um grande impacto na emergência e aceitação da mobilidade dos continentes.

Chega-se então a um ponto da história em que o conceito do Tempo Geológico está como que resolvido, graças à contribuição dada pela descoberta da radioactividade latente de elementos presentes nos minerais das rochas. A transposição das controvérsias geológicas para a didáctica prende-se com a sua maior relevância no contexto educativo e de construção de conhecimento científico escolar. Parece-nos que há, ao longo da história do Tempo Geológico descrita desde o início, pontos que se apresentam com características didacticamente relevantes.

Neste contexto, as inovadoras ideias de Hutton sobre um vasto tempo para a Terra são pertinentes pelo facto de contradizerem as ideias da época. Por outro lado, Hutton foi criticado por muitos investigadores, não só da sua época, mas de épocas seguintes. Salientamos, como oposição directa e durante o seu período de vida, Kirwan, com ideias divergentes das suas.

Lyell e Darwin actuaram na mesma perspectiva de Hutton, apresentando porém dados temporais. A oposição a estes dois investigadores fez-se sentir em especial pela voz de Lorde Kelvin, discordante de datas obtidas pela espessura de estratos sedimentares. Lorde Kelvin foi sem dúvida o cientista mais marcante desta dinâmica da controvérsia gerada em torno da concepção do Tempo Geológico. Todavia, apesar de ser um grande investigador, sofreu duras críticas não só de seus oponentes, mas também de alguns colaboradores como Perry. Em artigos escritos para a *Science*, G. Darwin critica abertamente Lorde Kelvin. King, além de não concordar com dados usados por Lorde Kelvin, também criticou em especial Croll.

Croll, que se baseara essencialmente nos períodos glaciares que a Terra sofrera, viu-se atacado por um dos grandes críticos da época, Fisher, que não poupou também King à sua análise acutilante. Além destes dois investigadores, Fisher conseguiu abalar as ideias de Joly sobre a determinação da idade da Terra pelo teor de sódio contido nos oceanos.

A partir do momento em que Rutherford e Boltwood iniciaram estudos de datação de minerais pelo decaimento radioactivo, Holmes surgiu como figura principal num conjunto de cálculos, contra os quais surge Jeffreys, por apresentar valores algo distintos no início deste empreendimento. A meados do século XX, o problema da idade da Terra encontrava-se praticamente resolvido.

A dinâmica apresentada ao longo destes parágrafos ilustra que há teorias consideráveis centrais, sendo essas as relevantes para a utilização didáctica (ver Anexo I). Todavia, não se pode esconder a existência de teorias marginais que, na necessidade de um estudo mais profundo, são relevantes e mesmo fulcrais para a sua total compreensão. A ligação entre investigadores é também muito interessante, seja ela de amizade ou de docência, deixando antever o carácter humano da Ciência. Acreditamos ser desta forma que estaremos a incutir uma ideia melhorada de Ciência aos jovens, futuros investigadores do nosso País.

1.2- DERIVA CONTINENTAL E TECTÓNICA DE PLACAS

A Ciência caracteriza-se por ter curtos períodos de rápido crescimento seguidos de longos períodos de estabilidade, onde se denota consolidação daquelas ideias que estiveram no seio da revolução científica. É esta postura crítica cheia de conflitos e discussões que mais interessa ao nosso estudo, no qual estabeleceremos posteriormente a ligação com a didáctica.

No ponto anterior, vimos o emergir da ideia de um longo período para o Tempo Geológico que triunfou sobre o tempo limitado e curto. O conflito gerado inicialmente entre os Catastrofistas e os Uniformistas foi posteriormente conduzido a uma fase antagónica entre geólogos e físicos. Trata-se de um assunto cujo objecto se acreditou resolvido durante um período de estabilidade que havia antecedido o levantar da polémica. As antigas concepções marcaram de forma indelével uma grande parte de cientistas que construiu o seu conhecimento científico nessa base epistemológica, dificultando a evolução do conceito. Da mesma forma, no contexto que agora abordamos, o conflito estabeleceu-se essencialmente entre aqueles que concebiam a imutabilidade dos continentes e outros que os julgavam móveis. Vejamos então este atribulado evoluir de ideias, muito rico em conflitos e duras posições de cientistas que se dispuseram a estudar assuntos cujo resultado se afigurava de difícil aceitação.

Estruturamos, nas páginas que se seguem, o longo percurso da emergência do actual paradigma da Tectónica de Placas aceite pela comunidade científica. Salientamos, no entanto, o facto de se estar a criar uma nova Fase de Especulação (de acordo com Kuhn) nos dias que correm sobre a verdadeira estrutura da litosfera e o papel das plumas na dinâmica da Tectónica de Placas.

No século XIX não se abordava a questão da Deriva Continental. A questão central prendia-se com a formação de montanhas e os processos a elas inerentes. Este sim, era o ponto à volta do qual começaram a surgir dúvidas que, aos poucos, produziram hipóteses relacionadas com a mobilidade continental.

Com efeito, a meados do século XIX, época em que decorria a Controvérsia entre Catastrofistas e Uniformistas, outros assuntos como a formação de montanhas eram também alvo de aceras discussões e análises atentas. Por um lado, havia os defensores da formação de montanhas pela contracção da Terra, por outro a teoria geosinclinal defendia a

elevação das terras de bacias sedimentares, com a conseqüente formação de cadeias montanhosas.

O primeiro geólogo a sugerir que as montanhas não se tinham formado pela intrusão subterrânea de magma, como defendia Hutton, foi Elie de Beaumont (1798-1874) (Prado, 1998). Este investigador, apesar de aceitar as catástrofes provocadas por dilúvios e inundações, via as montanhas como resultado de compressões laterais, ideia que mais tarde veio a ser novamente usada. Beaumont tentou dar um novo impulso à Geologia fazendo a ponte com a Geometria. Procedeu, então, à elaboração de um mapa da Europa em 1852, no qual tentava estabelecer simetrias entre as várias estruturas superficiais. Os cálculos foram tais que chegou à conclusão de que as forças contractivas dominaram a Terra, tendo esta sofrido literal implosão (Wood, 1986).

A crise que se foi desenvolvendo ao longo dos anos foi ajudada pelos estudos de vários cientistas. A visão de James Dana (1813-1895), que ditava a permanência dos continentes e dos oceanos, ficou como que fechada sobre si mesma, após Clarence Dutton (1841-1912) ter realizado proveitosos trabalhos sobre a isostasia. Os seus estudos basearam-se nas observações feitas por John Henry Pratt (1809-1871) e George Everest (1790-1866), decorridas entre 1820 e 1850, e de George Biddell Airy (1801-1892) em 1855, tendo formulado o conceito de *isostasia* em 1888. As analogias feitas com os blocos de gelo flutuantes também revelava a sua posição perante a aceitação de movimentos verticais das montanhas. Esta analogia foi utilizada muitas mais vezes durante os estudos que se seguiram. Segundo Dutton, a isostasia poderia ser classificada como sendo uma condição de equilíbrio pela qual a gravidade tendia a reduzir a massa do corpo planetário, independentemente da sua homogeneidade presente ou não. Ou seja, a crosta como que flutuava num substrato líquido. Este é um dos conceitos que ainda se utiliza nos tempos que correm.

Os estudos que Pratt realizara foram importantes na medida em que, através da Física, pôde sugerir o estado fluido do interior da Terra. Usando os princípios gerais da hidrodinâmica e da hidrostática numa figura em tudo semelhante à da Terra, considerou que a mesma poderia ter passado por um estado de semi-fusão (Pratt, 1845). Segundo este investigador, as variações de densidade detectadas na subsuperfície deviam-se à compensação isostática. Estas ideias do interior da Terra num estado de fusão parcial não ficaram esquecidas ao longo dos anos, tanto que Fisher também partilhava desta concepção

de interior do globo. Argumentava, em 1889, que os fenómenos geológicos que se observavam à superfície faziam crer que a crosta estava assente num substrato fluido. Por outro lado, a crosta assim não poderia ter uma fina espessura subindo e baixando de forma elástica, como apregoava a teoria geosinclinal. Fisher afirmava-se contra esta teoria de grande importância na época. Além do mais, não lhe parecia plausível que o arrefecimento da Terra provocasse um enrugamento da crosta terrestre, como defendia a Teoria Contraccionista.

“(…) geological phenomena require us to suppose that the crust of the Earth rests upon a fluid substratum, and this belief has led to examination and rejection, of a second theory, that the crust is thin, and is so far flexible that the fluid may rise into the anticlinals formed by the corrugations of the crust (…)” (Fisher, 1889)

Como já se havia visto no tema anterior, Fisher era um homem dado à reflexão e análise das diversas teorias que iam surgindo na comunidade, emitindo depois o seu parecer. Assim, neste mesmo artigo, concordou com os estudos realizados por Airy, nos quais detectara anomalias gravitacionais nas montanhas da Índia e cuja justificação estaria em profundidade. Pode-se dizer que Airy explicou de forma diferente e melhorada os resultados que Pratt havia justificado para as anomalias do fio de chumbo, detectadas nas montanhas dos Himalaias. Pratt concebia essa região como tendo um meridiano longitudinal mais alongado do que o resto do planeta. Para Airy, os efeitos verificados à superfície deviam-se a diferenças na espessura crustal, sendo esta maior nos continentes e mais fina nos oceanos, estando estes a flutuar na lava, ou seja, assumiu uma plasticidade dos materiais densos por baixo da crosta continental (Fig.II-14) (Wood, 1985).

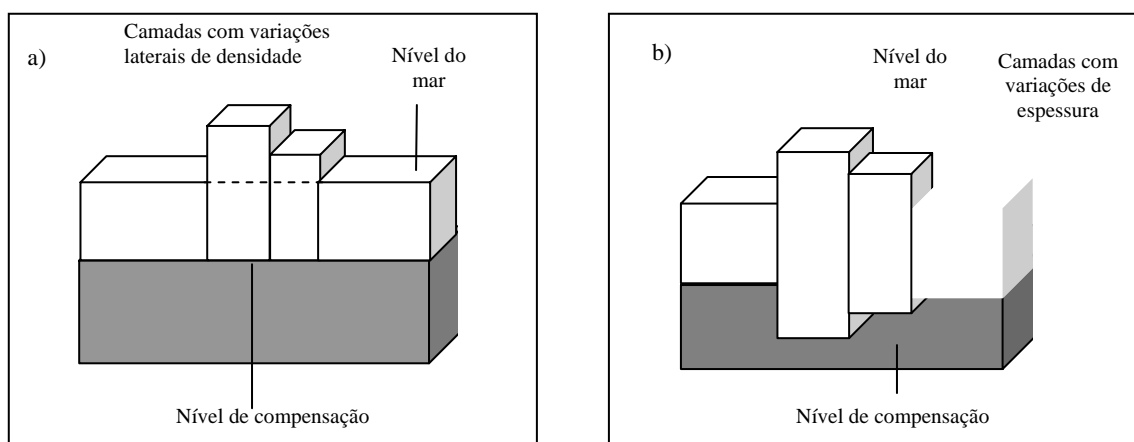


Fig.II-14- Esquemas que ilustram equilíbrio isostático, segundo Pratt (a) e segundo Airy (b) (adaptado de Prado 1998).

Eduard Suess (1831-1914) (Fig.II-15), na sua obra traduzida de Alemão para Francês em 1897, “La face de la Terre”, concordou com as ideias de Fisher quando este disse que as massas continentais exerciam uma atracção sobre os mares vizinhos, que se elevava para os continentes. Suess afirmou que a crosta terrestre já sofrera muitas transformações desde que se formou, aceitando pois, movimentos e variações crustais. Neste contexto, reconheceu haver dois domínios essenciais onde os limites das bacias oceânicas afectaram as cadeias montanhosas vizinhas.

“(…) sur cette planète, on peut distinguer deux domaines, où les limites des bassins maritimes affectent une allure essentiellement différente à l’égard des chaînes de montagnes des continents voisins. “ (Suess, 1897)



Fig.II-15- Eduard Suess (adaptado de Wood, 1986).

O investigador ainda acrescentou, sobre a contracção da Terra, que esta provocava deslocções das massas continentais em várias direcções, desde as horizontais às verticais. Como consequência, surgiam as fracturas e dobras das rochas, fenómenos bem visíveis em determinadas zonas do globo. Os movimentos estavam relacionados com quebras que ocorreram devido a forças dotadas de uma determinada orientação que se reflectia na orientação dessas falhas.

“(…) qui résultent de la contraction des parties extérieures du globe terrestre, se décomposent en plissements tangentiels et en affaissements verticaux. “ (Suess, 1897)

Tal como Suess, Dana também aceitava a contracção da Terra como resultado do arrefecimento da massa fundida que já a constituía. Realizou vários estudos em rochas onde determinou os efeitos nelas provocados devido ao aquecimento e seu consequente arrefecimento. Chegou então à conclusão que havia alterações físicas que eram visíveis em

muitos locais do globo. A título de exemplo, o caso mais apelativo era provavelmente o das colunas de basalto encontrados no sudeste da Austrália. Dana também se referiu a Fisher e às suas aceções referentes ao interior da Terra no estado fluido e dotado de correntes de convecção termais.

Os principais pontos da teoria de Sir James Hall (1761-1832) referentes à gravitação e acumulação de sedimentos foram publicados de uma forma simplificada em 1859, no *American Journal of Science*. Este investigador acreditou que o afundamento de sedimentos nas bacias oceânicas associadas aos geosinclinais, provocava alterações nas rochas no que respeita à sua contracção e expansão. Hall não explicava contudo, o processo de formação de montanhas, sendo este facto apontado por Dana em 1873.

“(...) the explanation which Professor Hall has made of his views offers nothing in explanation of the elevation of mountains (...) we may with reason pronounce the theory seriously deficient and defective.” (Dana, 1873)

Dana que, como já foi referido anteriormente, também aceitava a contracção da Terra desde o início da sua formação, como um processo que a ela está inerente, uma vez que se encontrava em arrefecimento. A pressão que resultava dessa contracção era lateral e provocava as elevações montanhosas. Já Suess havia feito referência a essas deslocações laterais em muito visíveis nas grandes cadeias montanhosas com intrusões nas massas movimentadas segundo determinadas direcções. Porém, estas deslocações pareciam ser desiguais, ou seja a contracção não se processara de igual forma ao longo do globo terrestre.

Referindo-se a Dana, J.W. Powell disse a seu respeito palavras de grande admiração não só como homem mas também como cientista que teve muita influência nos Estados Unidos da América.

“Dana as a zoologist was great, Dana as a mineralogist was greater, but Dana as a geologist was the greatest, and Dana in all three was a philosopher, hence Dana’s great work is enduring.” (Powell, 1896)

Um outro cientista que também concebeu o interior da Terra num estado fluido foi John Hayford, tendo posto por escrito as suas ideias num livro publicado em 1909. Segundo este geólogo, a parte mais exterior da Terra, a crosta, encontrava-se no estado sólido, flutuando num substrato líquido de maior densidade. Para melhor explicar a sua ideia fez uma analogia usando a ideia do gelo flutuante na água.

“It is assumed that this crust floats in the denser liquid substratum in the same manner that a large field of ice of variable thickness floats on water.” (Hayford, 1909)

Os estudos levados a cabo por Hayford levaram-no a concluir que o material que se encontrava por baixo da crosta não era considerado um líquido perfeito, mas como sendo dotado de alguma viscosidade, daí o ajustamento gravitacional ser imperfeito. Havia assim um equilíbrio isostático. Estas considerações, bem como novos estudos e medições, levaram-no a afirmar que a rigidez da crosta poderia não ser tão elevada quanto se pensara de início, uma vez que os reajustamentos mesmo de sedimentos revelou uma certa plasticidade dos mesmos.

Diferentes destas ideias estiveram as concepções de cientistas que, como Richard Owen e António Snider-Pellegrini, na década de 50 do século XIX, não abordaram a questão do interior da Terra fundido, apesar de terem considerado possível alguma forma de movimentação continental por razões diversas. Assim, Owen afirmava que a Terra se dilatou por uma série de convulsões, enquanto que Snider considerava que na altura do Dilúvio de Noé ocorreram muitos fenómenos vulcânicos. Em ambos os casos, o resultado seria a deslocação de grandes massas continentais.

Esta riqueza de argumentos utilizados pelos diferentes actores da Ciência veio dar sentido à Fase de Especulação sobre alguma forma de movimentação continental que toca outros assuntos, como o interior da Terra e a formação de montanhas. Só quando se considera estas ideias antigas se pode compreender a verdadeira evolução de conceitos que hoje são aceites, mas que, no entanto, carregam uma história rica e que importa conhecer para o contexto em que estamos a trabalhar.

Apesar das especulações serem importantes na emergência de um determinado paradigma, consideramos a Fase de Competição entre Teorias Rivals como a mais rica em controvérsias e conflitos, o que só vem dar luz e orientação a este estudo. Neste sentido, acreditamos que esta fase tem o seu início com a publicação de uma hipótese por um dos protagonistas desta trama de conceitos e investigações. Referimo-nos a Alfred Wegener (1880-1930) (Fig.II-16) autor de um livro publicado em 1915, “*Die Ehtstehung der Kontinente und Ozeane*”, que explicava a disposição dos continentes e oceanos com base em antigas deslocações que foram decorrendo ao longo do tempo geológico. Wegener, antes de escrever esse livro, havia apresentado as suas ideias 3 anos antes na Associação Geológica de Frankfurt, sob o título “The geophysical basis of the evolution of the large-

scale features of the Earth's crust (continents and oceans)". Uma segunda apresentação seguiu-se, desta vez sob o título "Horizontal displacements of the continents" (Wegener, 1966⁵).



Fig.II-16- Alfred Wegener (In: Schwarzbach, 1986).

Este Professor de astronomia e meteorologia numa universidade Alemã (Marburg) apesar de lançar uma ideia que veio abalar os conceitos da comunidade científica de então verificou, anos mais tarde, que não havia sido totalmente inédita. Green, em 1857, havia sido quem falara de fragmentos de crosta que flutuavam num núcleo líquido, responsável pelos deslocamentos desses fragmentos, em virtude da rotação terrestre (Wegener, 1966). H. Wettstein, Pickering e Mantovani mereceram também a sua apreciação, tendo verificado algumas semelhanças e outras quantas diferenças nas suas opiniões. Com efeito, o investigador que Wegener refere como sendo o que mais se aproximou da sua ideia foi Frank Taylor (1860-1938) (Fig.II-17), cujas ideias vieram ao público no ano de 1910. Os Americanos atribuíram frequentemente à Teoria da Deriva dos Continentes dois "pais", Wegener e Taylor. O primeiro não concordava com esse estereótipo que lhe foi conferido,

⁵ A publicação utilizada neste trabalho refere-se à tradução para Língua Inglesa da 4ª Edição (1929) Alemã, publicada pela primeira vez nos Estados Unidos da América em 1966, o que pode ter atrasado em algumas décadas a discussão deste assunto naquele país.

uma vez que encontrou diferenças nos objectivos de Taylor não coincidentes com os seus, muito embora as conclusões gerais a que chegaram tenham sido as mesmas. O segundo tentava justificar que as grandes cadeias montanhosas tinham sido formadas devido aos movimentos das massas continentais dos pólos para as regiões equatoriais.

Wegener teve o cuidado de investigar antes de proferir uma hipótese que focasse um assunto tão complexo, apresentando vários argumentos em defesa da sua teoria. Mas o cenário envolvente da Ciência que se vivia na época contemplava as pontes continentais que, com uma simplicidade fantástica, justificavam a existência de espécies de seres vivos semelhantes em continentes muito distantes uns dos outros. Com todas as suas peculiaridades, as pontes continentais não conseguiam justificar muitas questões, dentro das quais não haver evidências físicas. Por outro lado, a questão do desaparecimento dessas estruturas também levantava grande celeuma entre os defensores. Mesmo assim, a unanimidade dos cientistas da Europa imperava, no sentido em que as Pontes Continentais eram um facto irrefutável.

“Obviously, there are many individual questions which are insufficiently explained by this theory.” (Wegener, 1966)



Fig.II-17- Frank Taylor (adaptado de Wood, 1986).

As pontes estabelecidas entre os diferentes continentes num determinado ponto da história afundaram-se devido à constante contracção do globo, em virtude do seu arrefecimento. A ideia do arrefecimento da Terra, proposta inicialmente na Europa, e desenvolvida por Dana, Albert Heim e Suess, dominava os livros de geologia. Tratava-se de uma teoria que justificava não só a formação das montanhas, como também servia de argumento para a ideia das Pontes Continentais.

Durante muito tempo aceitaram-se estas concepções da Terra, mas os estudos sobre hidrodinâmica e equilíbrio hidrostático revelaram-se de grande importância para a aniquilação da Teoria Contraccionista da Terra e das Pontes Continentais. É que, de acordo com o princípio de isostasia, há relação entre o peso de um corpo imerso e o volume de fluido deslocado, verificando-se uma igualdade destes dois factores. A ideia de que a crosta estava assente sobre um substrato fluido e dotado de uma certa viscosidade veio questionar o reajustamento crustal após os referidos afundamentos das pontes. O exemplo dos lençóis de gelo demonstrava a lentidão do processo, mas confirmava-o. Isto é, após a fusão dessa capa de gelo, a posição original é reassumida de forma lenta e gradual.

“(…) it seems impossible, in view of the isostatic principle, that a continental block the size of a land bridge of required size could sink to the ocean bottom without a load or that the reverse should happen. Isostasy is therefore in contradiction not only to contraction theory, but in particular to the theory of sunken land bridges as derived from the distribution of organisms.” (Wegener, 1966)

Podia-se afirmar com certa certeza que a teoria da isostasia comprovava a impossibilidade de os actuais oceanos serem continentes afundados. Não é descabido contudo, referir que também havia a aceção da imutabilidade dos continentes, em muito defendida por Bailey Willis, de origem americana, que trabalhava no U.S. Coast and Geodetic Survey. Havia, então, duas correntes contraditórias na altura. Uma defendia as Pontes Continentais causadas pela contracção da Terra com consequente deslocação das massas continentais, a outra a imutabilidade dos continentes, que parecia mais lógica para os conhecimentos geofísicos da altura.

É então que Wegener questiona a veracidade destas duas teorias que circulavam no meio científico, considerando este o ponto de início para a sua Teoria da Deriva.

“This is the starting point of displacement or drift theory. The basic “obvious” supposition common to both land-bridge and permanence theory (...) must be wrong.” (Wegener, 1966)

As pesquisas que permitiram fundamentar a teoria da Deriva iniciaram-se no local onde anos mais tarde viria a morrer, a Gronelândia. Foi lá que começou e terminou numa fatídica expedição científica que lhe tirou a vida quando tinha apenas 50 anos, em 1930.

Quando Wegener iniciou as pesquisas que lhe permitiram fundamentar a sua hipótese corria o ano de 1912, apresentando-a em Frankfurt (Schwarzbach, 1986). A sua

principal ideia era a de que os continentes tinham estado todos unidos num único continente, a Pangea. Este, no princípio do Mesozóico, iniciou o processo de fragmentação, provocando deslocações de massas continentais que actualmente assumem as posições conhecidas (Fig.II-18).

O investigador alemão, antes de se expor publicamente, munuiu-se de 5 argumentos que considerou suficientemente fortes e bem elaborados. Neste contexto, passamos a explicitar o que cada um deles abordava, por forma a compreendermos as críticas e oposições que surgiram após a sua explanação.

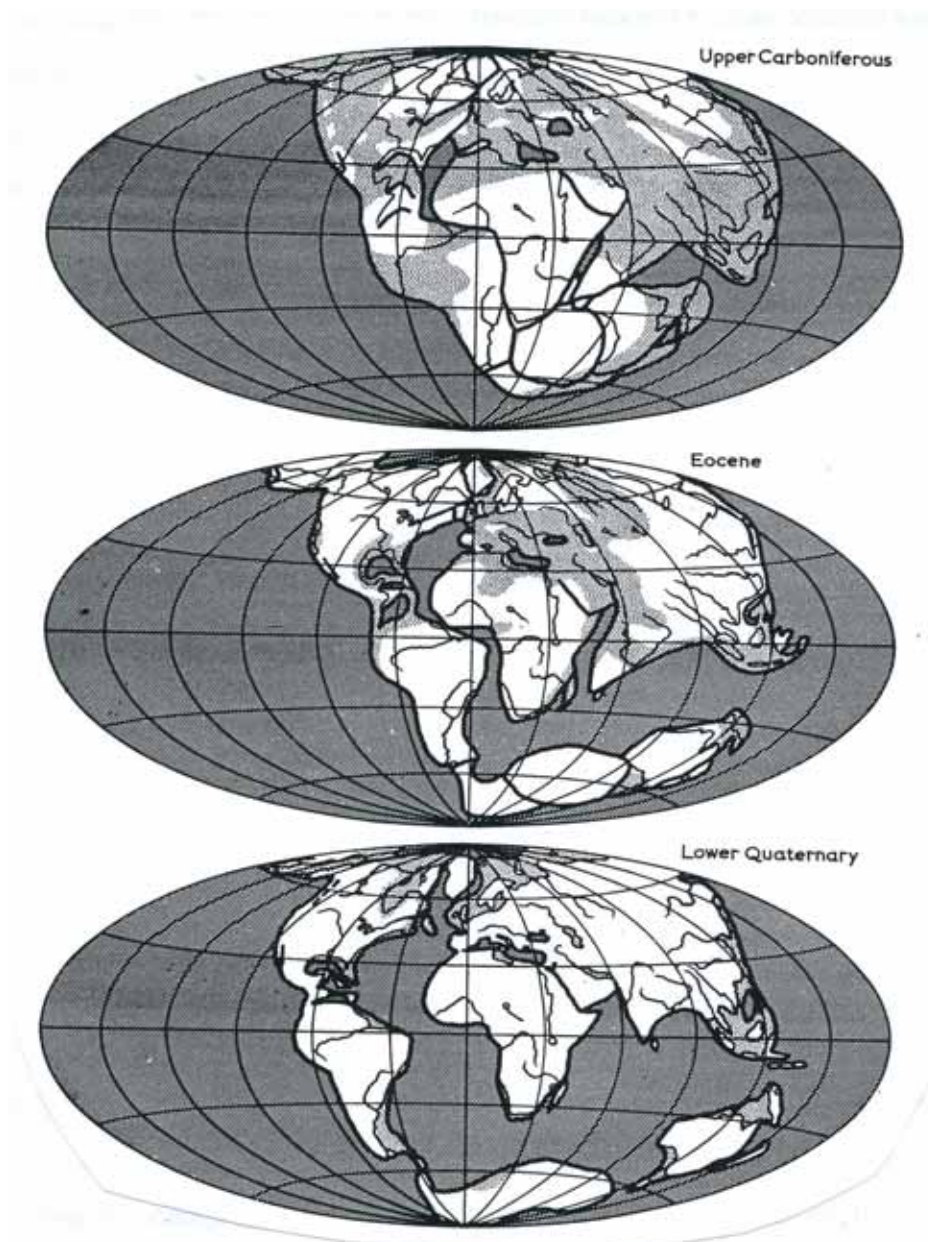


Fig.II-18- Reconstrução do mapa do mundo, de acordo com a teoria da Deriva Continental, em três épocas distintas (In: Wegener, 1966).

1- Assim, como primeiro argumento, Wegener apresentou dados geodésicos que demonstraram que a Gronelândia se tinha vindo a afastar da Europa. Chegou a comparar dados antigos de medições com dados que ele e colaboradores obtiveram, tendo verificado grandes discrepâncias, só justificadas com a movimentação das massas continentais. Sobre este assunto chega mesmo a sentir algumas dificuldades de argumentação, sem recorrer a outras ideias como a deslocação dos pólos da Terra.

“It is hard to interpret these latitudinal shifts because they could be caused by continental drift as well by polar wandering, and the latter does not have to be connected to the former.” (Wegener, 1966)

2- Um segundo argumento por ele defendido baseou-se em dados vindos da geofísica. Chegou a fazer gráficos hipsométricos da superfície da Terra, concluindo que existem dois patamares distintos. Isto é, a crosta dos continentes é distinta da dos oceanos, sendo a primeira mais profundamente afundada no substrato mais denso, a crosta oceânica.

“(..) we conclude that there were at one time two undisturbed primal levels, and it seems an inevitable deduction that we are dealing with two different layers in the crust when we refer to the continents and the oceans. To put it in rather picturesque terms, the two layers behave like open water and large ice floes.” (Wegener, 1966)

Para melhor explicar este conceito, utilizou um esquema que passamos a reproduzir na Figura II-19.

Margem continental que flutua num substrato que constitui o fundo oceânico, em semelhança ao gelo que flutua na água.

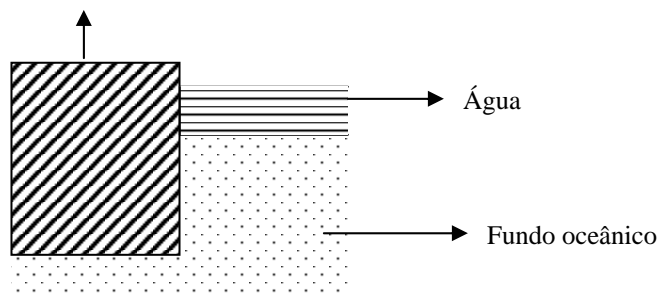


Fig.II-19- Secção de um diagrama de uma margem continental (adaptado de Wegener, 1966).

Wegener tinha consciência da insuficiência de dados disponíveis sobre a viscosidade, daí que tenha assumido que não se podiam tirar conclusões dogmáticas. Contudo, o que já se estudara dava-lhe uma certa segurança para fundamentar a Deriva dos Continentes. A ideia da isostasia proposta por Pratt é a que sustentava os argumentos da

geofísica para esta teoria da Deriva dos Continentes. De facto, as anomalias gravimétricas obtidas nos Himalaias aquando de estudos feitos por Pratt conduziram à ideia de alguma forma de compensação por debaixo das montanhas. Por outro lado essas medições feitas nas bacias oceânicas correspondiam ao esperado. A teoria da isostasia permitia que se concebessem como possíveis os movimentos horizontais dos continentes e como consequência a Teoria proposta por Wegener.

3- O argumento geológico constituiu o terceiro apoio em que o investigador em questão se baseou para defender a sua ideia. Com efeito, as estruturas geológicas dos dois lados do oceano Atlântico pareciam ter sido cortadas, apresentando contornos complementares. Por outro lado, estruturas geológicas como dobras levavam a supor uma continuidade nos dois lados tão distanciados pelo oceano. Existiam outras localidades, em especial na África e na América do Sul, que vinham corroborar com esta hipótese de deriva, uma vez que as estruturas eram as mesmas nos dois lados do oceano. A título de exemplo, os granitos de Minas Gerais e Goiás, eram intrusivos e ricos em depósitos de ouro. No outro lado do oceano, na África, havia correspondência nos granitos de Erongo em Hereroland e de Brandberg no noroeste de Damaraland (Wegener, 1966). Por outro lado, as rochas básicas e as ricas em diamantes (kimberlitos, por exemplo) do lado do Brasil encontravam a sua correspondência no lado africano.

No que se refere a estruturas como falhas e alinhamentos montanhosos, também se verificava uma grande correspondência entre os dois lados do Atlântico. Na verdade James Alexander du Toit (1878-1948) (Fig.II-20), um geólogo sul africano, contribuiu preciosamente com estudos levados a cabo na África e América do Sul, dando força à teoria da Deriva dos Continentes. Foi este um dos grandes apoiantes de Wegener, como iremos ver mais à frente.

Voltando às ideias defendidas por Wegener, as similitudes geológicas não foram encontradas somente nos continentes do Atlântico Sul. Ao longo da Europa também foram encontrados vestígios de moreias⁶ de fundo. As montanhas com amplas dobras da Europa, encontravam-se desde a Noruega até à Escócia, correspondendo ao agrupamento montanhoso designado de Caledónico, formado entre o Silúrico e o Devónico. Parecia, pois, que a América do Norte sofrera uma rotação ao afastar-se da Europa o que estava patente nos gneisses de idades concordantes nos dois locais.

⁶ Moreias- acumulação de material rochoso transportado por um glaciar. Existem vários tipos de moreias consoante a sua posição em relação ao glaciar.

Outro defensor da Deriva, Emile Argand (1879-1940) (Fig.II-21), estudou os Himalaias e, de certa forma, antecipou a Teoria da Tectónica de Placas ao estabelecer relação entre o choque da porção continental actualmente correspondente à Índia com a Ásia na formação da maior cadeia montanhosa do mundo. Considerava que a compressão da Ásia se teria iniciado durante o Terciário. Argand havia olhado para os Alpes pelas ideias de Suess, tendo-se apercebido de deslocções horizontais das camadas rochosas e colocou em dúvida a Teoria Contraccionista. Foi então que passou a apoiar entusiasticamente as convicções de Wegener, considerando a crosta como sendo antiga e alvo de lentos movimentos.



Fig.II-20- James Alexander du Toit (adaptado de Wood, 1986).

“If one surveys the results of this chapter, it is impossible to escape the impression that the drift theory can today be regarded as well founded geologically, even in its detailed pronouncements.” (Wegener, 1966)



Fig.II-21- Emile Argand (adaptado de Wood, 1986).

4- O argumento baseado na paleontologia e biologia pode dizer-se o mais sólido de todos, tendo contribuído com dados difíceis de contestar. Contudo, Wegener não deixou de fazer referência às pontes continentais como sendo impossíveis perante os novos dados da geofísica. A ligação entre a América do Sul e África era a mais notória quando se estudava a distribuição dos fósseis da flora *Glossopteris* e do réptil da família Mesosauridae. Além do mais, muitos investigadores concordavam com a Deriva dos Continentes, uma vez que se tratava de uma teoria que conseguia justificar inúmeros factos relacionados com fósseis. No seu livro, Wegener fez referência ao que esses investigadores proferiram acerca da sua Teoria, o que lhe veio dar mais força e entusiasmo nas suas pesquisas. Os vários estudos realizados com a fauna existente nos diferentes continentes e ilhas vieram pôr de lado a teoria permanentista, bem como a das pontes continentais. A Deriva dos Continentes explicava satisfatoriamente as semelhanças encontradas entre as espécies asiáticas e as australianas, e as norte americanas e as europeias. Contudo, não convinha esquecer que, se os continentes estiveram todos unidos num só, a sua latitude foi variando ao longo do tempo geológico, conferindo diferentes tipos de climas. Com efeito, a teoria das Pontes Continentais não explicava a biogeografia implícita nesta teoria.

5- O último argumento apresentado por Wegener prendia-se um pouco com o anterior, abarcando, no entanto outras disciplinas científicas, como a meteorologia e a climatologia. Foram os argumentos paleoclimáticos. Em termos gerais, a flora e a fauna distribuem-se latitudinalmente pelo globo consoante a sua resistência à temperatura e humidade. Ao estudar os fósseis da flora nos vários continentes, chegou à conclusão que, os continentes estiveram obrigatoriamente unidos no passado. É que, ao analisar a distribuição fossilífera de uma determinada espécie tipicamente equatorial, a união continental parecia ser o único argumento possível. Por outro lado, o estudo de regiões áridas, de depósitos de linhas de costa de mares quentes, de vestígios de glaciares nas regiões continentais, levou à conclusão de que os continentes estiveram noutras posições. Tratava-se de um argumento que abarcava várias áreas de especialização e que defendiam de forma genial a nova teoria da Terra.

Apesar de ter tido um grande impacto na comunidade científica, esta teoria passou por um período de tempo em que não foi tomada em consideração, pelo menos em grande parte da Europa e América, em muito devido à Segunda Guerra Mundial, que decorreu entre os anos 30 e 40 do século passado. Wegener morreu em 1930, mas a sua obra havia

sido publicada muitos anos antes e só nessa altura é que começou a ser abordada em quase todo os continentes. Houve pois, muitos opositores e muitos defensores da teoria da Deriva Continental. No entanto, como é que a ideia foi recebida no seu país natal? Segundo Buffetaut (2003), entre os anos 1933-1945, altura do Terceiro Reich, foram publicados vários documentos referentes à ideia de Wegener e não foram totalmente rejeitados, como aconteceu por quase todos os países. A conjuntura política que se vivia na época poderá ter ajudado a tal antipatia pelos argumentos de Wegener.

“(…) and that the nazis were not unsympathetic to continental drift, at a time when it was almost universally rejected.” (Buffetaut, 2003)

As críticas a esta inovadora Teoria, se bem que a ideia não fosse inédita, cedo se fizeram sentir. No ano 1922, Philip Lake, após analisar a hipótese de Wegener, admitiu ter sérias dificuldades em aceitá-la devido às imperfeições das evidências (Lake, 1922). Abordou a questão da isostasia tecendo algumas críticas a Airy, uma vez que este assumia uma certa plasticidade para o substrato que se encontrava por baixo dos continentes. Segundo Lake, Wegener utilizou essa concepção de Airy para justificar os movimentos laterais necessários para a referida teoria. Por outro lado, era inadmissível a falta de detalhes explicativos sobre o facto de as linhas de costa, em especial dos continentes Africano e Sul Americano, parecerem complementares. A acrescer a estas dúvidas, Lake referiu que os dados paleontológicos e paleoclimáticos não eram propriamente conclusivos como Wegener desejava que fossem. No final do artigo, a última frase por ele escrita, ilustra bem a postura deste investigador perante o meteorologista alemão.

“He (Wegener) has suggested much, he has proved nothing.” (Lake, 1922)

Sir Harold Jeffreys foi outra das vozes oponentes à Deriva dos Continentes. Tal como a maioria dos que defendiam a Teoria Contraccionista, Jeffreys também foi contra a ideia das movimentações horizontais dos continentes. As estruturas superficiais da Terra, para este cientista, deviam-se à contracção da Terra a partir do arrefecimento iniciado no seu interior, fracturando a parte superficial do globo.

“(…) and in particular there must be fractures at the surface of sufficient extent to enable the surface to fit the contracted interior.” (Jeffreys, 1929) (editado em 1970)

Jeffreys considerava, no entanto, que era necessário um equilíbrio dessas massas após a contracção. Propôs um processo de equilíbrio num fluido viscoso de uma camada inferior, onde a temperatura não era constante devido a correntes de convecção. Sem saber,

estava a propor um mecanismo que anos mais tarde serviu para explicar a deslocação das Placas Tectónicas.

Na década de 20 tinha-se realizado um debate sobre a complementaridade das linhas de costa de África e América do Sul, pelo que Jeffreys afirmou tacitamente que havia um desvio de quase 15° pelo que este argumento não era aceitável. Sucede que nessa conferência, Samuel Warren Carrey (1911-2002) (Fig.II-22), um geólogo Australiano, defensor da Deriva dos Continentes, elaborara moldes dos contornos destes dois continentes, demonstrando que se encaixavam perfeitamente. Carrey propôs que os movimentos do globo estavam interligados de tal forma que as cadeias montanhosas poderiam ter idades semelhantes, consoante o movimento decorrido. A acrescentar às ideias de deslocação continental, Carrey defendia que esse processo era mais facilmente explicado considerando a expansão da Terra (Wood, 1986).



Fig.II-22- Samuel Warren Carey (adaptado de Wood, 1986).

Tal como Jeffreys, A.P. Coleman, que trabalhava no Royal Ontario Museum (Toronto), também se insurgiu contra a teoria de Wegener no sentido em que as justificações paleoclimáticas não eram de todo fiáveis e conclusivas sobre a Deriva dos Continentes. Talvez não houvesse nada que justificasse tão bem a sua posição como as dúvidas por ele levantadas no seu artigo publicado em 1933 no *Journal of Geology*. Como seria de esperar, os argumentos apresentados por Wegener foram analisados minuciosamente e Coleman prendeu-se com alguns deles, que lhe colocaram sérios entraves à aceitação da Deriva em detrimento da imutabilidade continental. Com efeito, criticou a pobreza de dados no que se refere às glaciações Permo-Carboníferas nas regiões que actualmente são tropicais. O autor da nova teoria justificava este facto pela deslocação

dos continentes que nessa época se situavam nos pólos. Na glaciação do Pleistocénico, deslocou os pólos da Terra na ordem dos 20° da sua posição actual, não tendo em consideração um arrefecimento geral da Terra. Além disso, havia vestígios de glaciação desta época por todo o globo. Esta necessidade de deslocar os continentes para as regiões polares levou o oponente da Deriva a questionar a lógica dessa acepção.

“Are we to suppose that the countries huddled together to be near the pole in a glacial period spread apart again for the inter-glacial time and then crowded together once more for the next glaciation, and that this contraction and expansion took place four times in the Pleistocene? The mere statement of the case shows how inadequate Wegener’s theories are to account for the Pleistocene glaciation round the North Atlantic, where the most careful studies of the subject have been made.” (Coleman, 1933)

Além das dúvidas lançadas acerca das glaciações da Terra, o autor colocou o problema da origem dos gelos, salientando, segundo o Professor Hobbs, que os lençóis de gelo eram geralmente focos anticiclónicos, não ocorrendo por isso tempestades nessas regiões. Ora se não existiam tempestades, de onde vinha a água para a formação dos flocos de neve? Se não havia evaporação devido às baixas temperaturas, o natural seria haver um deserto frio como na Sibéria, onde não se verificavam grandes quantidades de gelo (Coleman, 1933). Assim, a suposta gigantesca massa de gelo iria encontrar-se numa região árida e desértica como se encontra na Ásia Central (Gobi), uma vez que Wegener considerava a união de vastas massas continentais.

Coleman considerou então mais apropriado considerar a imutabilidade dos continentes como correcta em vez de aceitar teorias que lhe pareciam apenas especulações (Coleman, 1933).

É considerável a riqueza de pesquisa científica nesta altura, na qual várias teorias vão emergindo de factos, e Joseph Barrell (1869-1919), professor na Universidade de Yale, fez parte de um grupo de pessoas que não se inibiu de as apresentar a público. Apesar de não se apresentar a favor da Teoria da Deriva dos Continentes, considerou que por baixo da crosta terrestre se encontrava uma camada que apelidou de *astenosfera*.

“Below this (outer crust) lies a thick, hot, basic, rigid yet weak shell, the asthenosphere, or sphere of weakness.” (Barrell, 1927) (o artigo é uma parte inserida de uma publicação de 1918)

A crosta granítica, segundo Barrell, era a crosta exterior da Terra sendo a mais interior básica e mais densa, sustentada pela astenosfera, cujo calor interno não conseguia escapar. Assim, a origem das bacias oceânicas e das plataformas continentais estaria relacionada com estas diferenças de densidade. Na astenosfera, nova rocha era fundida, porque esta camada não perdia calor. Em virtude disso, a rocha fundida e menos densa, subia pela litosfera sendo o resultado deste processo demonstrado pela actividade ígnea na superfície da Terra.

Este autor estabeleceu o funcionamento da Terra de forma muito equilibrada e que, de certa forma, poderia corroborar com a teoria da Deriva. Porém, o seu esforço investigativo não se dirigiu propriamente para essa área. Apesar disso, não deixou de referir as ideias de permanência dos continentes defendida por Dana e as suposições de fragmentação continental, ideia que já começava a ter alguma aceitação na Europa. A fim de ter uma opinião acerca de tão polémico assunto, Barrell fez análises das crostas e das margens continentais, chegando à conclusão que as fracturas constituem um factor importante na dinâmica das estruturas da superfície do globo. Por outro lado, dados paleontológicos, concordantes com os defendidos por Wegener, sobre espécies existentes nos diversos continentes sugeriam que podia ter havido fragmentação continental.

Curiosamente, o trabalho que Barrell fez para justificar alguma forma de fragmentação continental foi igualmente desenvolvido no sentido de negar esse processo. É neste sentido que refere a expedição “Challenger”, que teve como principal objectivo o estudo e análise do fundo oceânico. Esta demonstrou que o fundo oceânico se apresentava cheio de estruturas de origem vulcânica. Podemos dizer que este investigador, tal como outros, questionou-se acerca da origem e formação dos continentes e das bacias oceânicas, não excluindo de todo a movimentação das massas continentais. Depois de feito este trabalho sobre o nosso planeta, Barrell aplicou esses conceitos às estruturas da superfície da Lua. De um modo geral, argumentou que as estruturas da Terra e da Lua foram originadas por actividade ígnea e fragmentação das respectivas crostas iniciais ao longo do tempo.

O geólogo inglês Arthur Holmes (1890-1965) que havia sido um precioso elemento na resolução da ampla idade da Terra, também teve um forte contributo neste tema da Deriva dos Continentes. Nesta época em que havia grande disputa entre os teóricos da Europa e da América do Norte, Holmes levava uma certa vantagem na medida em que era

um excelente Professor, que explicava as suas ideias de forma tão clara que os que o ouviam ficavam fascinados e convencidos do que ouviram.

Os seus trabalhos sobre a radioactividade proporcionaram-lhe a base teórica necessária para compreender que no interior da Terra actuavam correntes de convecção que redistribuíam o calor pelo planeta. Por outro lado, este mecanismo seria indutor da Teoria de Wegener. Em teoria concordava com a dinâmica da deslocação continental, porém, não deixou de fazer uma análise minuciosa, em conceituadas revistas científicas, dessa recente Teoria e dos seus apoiantes e opositores, a fim de que não restassem dúvidas aos leitores sobre este tema tão globalizante. Muito embora os opositores tivessem argumentos bem estruturados, os apoiantes não fugiam também a essa tendência. Com efeito, os oponentes Longwell, Schuchert e White, questionaram o mecanismo de deriva, bem como da existência do supercontinente Pangea. Willis, por sua vez, duvidou que a força relativa do *sima*⁷ e do *sial* permitisse deslocações continentais. Gregory apesar de não se opor à Deriva, aceitava de melhor agrado a Teoria Contraccionista da Terra. Pode-se dizer que o que mais levava à não aceitação da teoria de Wegener era o facto da Deriva ter uma tendência oposta à exercida pela força das marés. Por outro lado, o próprio mecanismo não estava esclarecido, o que constituía uma forte barreira à sua aceitação. Por outro lado, du Toit, forte defensor das deslocações continentais, argumentava no sentido das movimentações dos pólos para as regiões de baixas latitudes. Taylor olhara para a estrutura do meio do Atlântico como uma cicatriz deixada pelo afastamento dos continentes que o limitam. Joly, ao conceber um substrato fluido, permitia o deslizar relativamente fácil dos continentes.

Porém, seria só este géneros de argumentos que impediam a aceitação da Deriva? Holmes, em 1928, na revista *Nature*, aceita a movimentação dos continentes, mas não deixa de referir que por vezes os ataques parecem ser mais dirigidos a Wegener do que à sua hipótese.

“The impression that remains with me after considering all the adverse criticism is that the latter is mainly against Wegener, and that when all has been said, there remains a

⁷ *Sima*- refere-se a rochas subjacentes às rochas pertencentes ao *sial* e de maior densidade, como o basalto, gabro e peridotito, ricas em silicatos de ferro, cálcio e magnésio. *Sial*- refere-se a rochas menos densas, que se encontram mais à superfície e abarcam rochas do tipo granítico, metamórfico e sedimentar, ricas em silicatos de alumínio com sódio e potássio.

far stronger case for continental drift than either Taylor or Wegener has yet put forward.” (Holmes, 1928b)

Esta visão clara e sem preconceitos caracterizava Holmes, pelo que considerava serem necessários mais estudos a fim de resolver o problema do mecanismo da Deriva, tendo salientado o papel das correntes que eventualmente existiam por baixo da crosta.

“Admitting that the continents have drifted, there seems no escape from the deduction that slow but overwhelmingly powerful currents must have been generated in the underworld at various times in the earth’s history.” (Holmes, 1928a)

A ideia de correntes de convecção não é uma original de Holmes; foi A.J. Bull que denominou estes movimentos que ocorrem numa camada inferior, como sendo resultado de aquecimento diferencial radioactivo (Holmes, 1928a).

Este geólogo inglês é quase sempre associado a um dos defensores da teoria de Wegener. Contudo, convém referir que o seu apoio não era total e incondicional, uma vez que, de acordo com os seus estudos, também lhe surgiram dúvidas sobre o seu funcionamento. Com efeito, anos mais tarde, em 1953, admite que a Deriva Continental se tratava de uma hipótese fantástica, mas as Pontes Continentais constituíam uma solução óptima para os problemas biogeográficos. Além do mais, discordava da localização que Wegener havia proposto para a Índia, e as idades das partes que “encaixam” na América do Sul e África ainda não haviam sido alvo de determinação cronológica.

“While so many contradictory voices confuse judgement, one cannot do better than commend Dunbar’s wise dictum that “it is unsafe to reject, a priori, either continental drift or foundering of broad land bridges.” (Holmes, 1953)

Beno Gutenberg, conhecido pelos seus estudos sobre sismos e estrutura da crosta terrestre, também teve a sua opinião sobre a Deriva dos Continentes. Nesta longa fase de competição entre teorias rivais, torna-se importante conhecer os diversos estudos realizados em volta da temática em questão. Curiosamente, são abrangidos diversos campos do saber, e o contributo fornecido por este investigador revelou-se mais tarde como tendo exercido grande influência na solução do problema. Pese embora as suas investigações focassem outros problemas, Gutenberg era senhor das suas próprias ideias sobre a proposta de Wegener, chegando a propor alterações que lhe pareceram mais lógicas.

Com vários conhecimentos sobre a estrutura da crosta terrestre, Gutenberg sugeriu que os continentes não se quebraram, como defendia Wegener, mas que se afastaram flutuando. Esta hipótese comprovava-se pelo facto dos continentes estarem ligados pelo sial no fundo do oceano Atlântico e Índico. Ou seja, tratava-se de uma versão algo diferenciada da hipótese de Wegener.

“Wegener assumed that the continents were drifting, like icebergs; the writer (Gutenberg) postulates plastic flow in both the continents and the sima.” (Gutenberg, 1936)

O nome com que a hipótese de Gutenberg foi apresentada, “Teoria do Fluxo Continental” (tradução do original “Theory of continental flow”) veio enriquecer o mar de investigações que se realizavam ao longo do globo. Vivia-se uma altura em que a tecnologia sofrera um grande avanço, pelo que investigações nos fundos oceânicos passaram a ser uma realidade comum. Assim, a Teoria dos continentes que se separam diferia da dos continentes que flutuam no seguinte: enquanto que na primeira o sima formava o fundo dos oceanos constituindo este facto uma descontinuidade entre os continentes e o fundo dos oceanos; a segunda afirmava que essa descontinuidade só se verificava na bacia do Pacífico. Gutenberg baseara-se em dados obtidos pela propagação de ondas sísmicas para afirmar com tanta certeza que a crosta terrestre composta por sial englobava não só os continentes como também os oceanos Atlântico, Índico e a Polinésia. Por outro lado, afirmava que os continentes, devido a esta estrutura da crosta, nunca poderiam ter estado tão juntos como Wegener afirmava. Contudo, não descurava as mudanças de distâncias relativas dos continentes, mas só se aproximava muito vagamente à ideia original de Wegener sobre a formação dos continentes e dos oceanos. Em conjunto com C.F. Richter, outro investigador dos sismos, concordou com as ideias desenvolvidas por Holmes no que se refere à mecânica subcrustal, defendendo que devia haver um mecanismo de correntes responsável pelos diversos fenómenos geológicos da Terra (Gutenberg, 1945).

Du Toit também fazia parte dos defensores da Deriva Continental, tanto que no ano 1937 publicou um estudo que corroborava com as ideias de Wegener. Chegou a conhecer um dos poucos Americanos que aceitava a mobilidade continental, Reginald Daly (1871-1957) (Fig.II-23), quando este se deslocou a África do Sul a fim de compreender o significado de Gondwanaland proposto por du Toit. Este último defendia que, para se

começar estudar a deriva dos continentes, tinha de se conhecer as propriedades da crosta e da litosfera.



Fig.II-23- Reginald Daly (adaptado de Wood, 1986).

Grande parte da base científica que fundamentou a sua defesa da Deriva estava relacionada com dados fisicogeográficos, estratigráficos, tectónicos, paleoclimáticos e geodésicos. Diferia em alguns pontos do que Wegener havia proposto. São pois argumentos que só faziam sentido quando tidos em consideração de forma global, uma vez que não se tratava de um simples jogo puzzle no qual se uniam as peças. As causas dessas deslocções estavam provavelmente relacionadas com forças compressivas, distorção interna, alterações do nível do mar e desenvolvimento de uma plataforma continental. A margem continental não significava que fosse o local onde se iniciara a fragmentação continental.

Du Toit concebeu que as posições que Wegener havia proposto não correspondiam ao supercontinente Pangea, mas sim a duas massas continentais independentes, Laurásia e Gondwana. Cada um destes grandes continentes primitivos abrangia partes dos actuais continentes. Por um lado, Gondwana situava-se no hemisfério Sul, tendo unidos o Brasil, Guiana, Uruguai, África, Arábia, Madagáscar, Índia peninsular, Austrália Ocidental e Central e Antárctica. Por outro lado, a Laurásia compreendia a porção Norte do Planeta, abrangendo o Canadá Central e Oriental, Greenland, Báltico, Sibéria Norte e Central, Sibéria Oriental, Sul da China e Indonésia (du Toit, 1937) (Fig.II-24).

“This conception of a primitive, double land-mass is the logical outcome of Taylor’s Hypothesis and is also that of Argand and Staub, and thus differs radically from the single Pangea pictured by Wegener.” (du Toit, 1937)

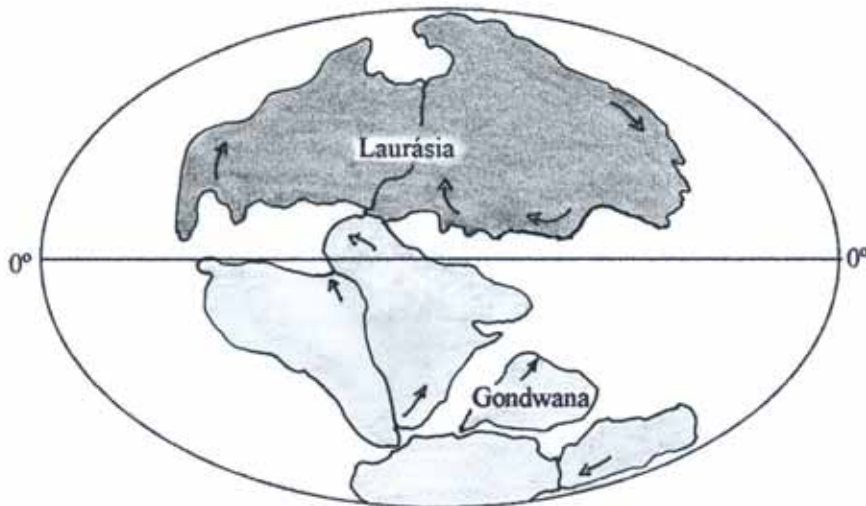


Fig.II-24- Mapa que ilustra a localização da Gondwana e da Laurásia (adaptado de Stanley 1999).

Apesar dos argumentos de du Toit, George Gaylord Simpson, um geólogo interessado no assunto, num artigo publicado em 1943 no *American Journal of Science*, critica-o, bem como a Wegener, pela teoria da Deriva dos Continentes. Porém, chegou a apresentar as outras duas teorias justificativas das posições continentais, referindo, para além da Deriva, a hipótese dos Continentes Transoceânicos (em que os segmentos continentais e as bacias oceânicas variam de tempos a tempos) e a hipótese da Estabilidade Continental. Para fundamentar a sua posição, que defendia a estabilidade continental, baseou-se nos dados paleontológicos e botânicos, afirmando que as espécies deveriam ser muito mais semelhantes se os seres tivessem sido originados ao mesmo tempo e no mesmo local.

“The evidence definitely opposes drifting or transoceanic continents and favours stable continents.” (Simpson, 1943)

Em resposta a estas fortes críticas, du Toit respondeu na mesma revista no ano seguinte num tom que fazia crer aos leitores que Simpson não havia estudado “a lição” antes de tecer as críticas apresentadas.

“Doctor Simpson’s positive assertion, that “the known past and present distribution of land mammals cannot be explained by the hypothesis of drifting continents”, can be met with a not less emphatic contradiction.” (du Toit, 1944)

Contudo, Wegener e du Toit não receberam críticas só de opositores à Deriva dos Continentes. Com efeito, Chester R. Longwell, do Departamento de Geologia da

Universidade de Yale, foi um dos críticos dos dois investigadores citados, mas achava este tema profundamente interessante. Apesar das falhas que encontrou nos argumentos de Wegener, de du Toit e a crítica de Simpson, refere que deu atenção a este assunto por abranger diversos conceitos que necessitavam de ser clarificados.

“(…) I have devoted time to the discussion only because of a genuine interest in the hypothesis of continental drift.” (Longwell, 1944)

Contra esta postura de Longwell estava Willis, que não aceitava sequer como considerável a Deriva dos Continentes. Referindo-se a Longwell, chamou-o de céptico que não se decide por que lado optar na discussão científica em questão. Segundo o autor, a hipótese devia ser colocada de lado por não apresentar provas que fossem explicativas do que apregoava.

“I confess that my reason refuses to consider “continental drift” possible. This position is not assumed on impulse.” (Willis, 1944)

Nas críticas apresentadas à Deriva, referiu que as grandes massas deslocadas deveriam ter deixado uma espécie de rasto de sucção, o que não se verificava. Relativamente ao argumento das linhas de costa coincidentes, segundo Willis, não era correcto, para além de Wegener, du Toit, Suess (aluno de Wegener) e Charles Schuchert (aluno de Suess) não justificarem o mecanismo que separara os continentes.

“Thus the theory of continental drift is a fairy tale, *ein Marchen*.” (Willis, 1944)

No seu artigo, este investigador parece ser mais acutilante nas suas afirmações do que muitos outros que já referimos nesta parte do trabalho.

Entretanto, outros trabalhos iam sendo desenvolvidos e Lord Patrick Blackett (1897-1974), da Universidade de Manchester, publicou um artigo na *Nature*, em 1947, no qual explicitava que os corpos com propriedades rotativas adquiriam magnetização. Ou seja, a Terra era um corpo dotado de campo magnético devido ao seu movimento de rotação e de translação à volta do Sol. Este estudo forneceu indicações sobre a origem e a conexão entre os fenómenos gravitacionais e electromagnéticos, o que se revelou importante no estudo dos fundos oceânicos. A partir da Segunda Grande Guerra, despontou um interesse pelo magnetismo, sendo Blackett um dos investigadores que estudou o assunto.

David Griggs também foi um dos fervorosos investigadores da importância das correntes de convecção como processo de formação das cadeias montanhosas.

“(…) that convection currents may have operated in the earth’s substratum to cause the development of our mountain systems.” (Griggs, 1939)

Este argumento defendido por Griggs permitiu que fenómenos compressivos e intermitentes da formação de cadeias montanhosas fossem explicados. Tratava-se de uma postura que se revelava pertinente no desenvolvimento posterior da Teoria da Tectónica de Placas. Anos depois, Edward Bullard (Fig.II- 25), em 1943, fez estudos relacionados com a física newtoniana e da aceleração de corpos. Neste contexto, em análises da gravidade medida à superfície da Terra revelaram-se variações, em especial nas montanhas que estão mais afastadas do centro planetário. Não só devido a estes resultados, mas também devido ao facto da Terra ser mais achatada nos pólos, Bullard sugeriu que o interior da Terra poderia estar no estado fluido, ou pelo menos o comportamento levava a supor tal.

“The polar flattening of 13 miles is almost exactly the amount that would occur if the earth were a fluid; and this suggests that the main bulk of the earth behaves as a fluid to forces lasting for long periods.” (Bullard, 1943)

Aplicando a analogia, já utilizada por Pratt, dos continentes se assemelharem a icebergs que flutuavam num fluido mais denso, Bullard concordou que as raízes das montanhas eram mais leves do que as rochas que estavam em profundidade. Estas deveriam estar no estado fluido devido às elevadas pressões que se faziam sentir nestas regiões, a cerca de 40 km de profundidade (Bullard, 1943). Outros estudos levaram-no a concluir que o fluxo térmico nas zonas de rifte era cerca de 5 ou 6 vezes superior ao encontrado no resto dos fundos oceânicos. Desta feita, as correntes de convecção, se existissem, deveriam subir nas zonas de rifte. O acumular de provas e as interpretações que os cientistas sobre elas faziam parecia que a ideia daquilo a que viria a chamar-se Tectónica de Placas emergia em cada investigação realizada.

Pese embora o conhecimento do interior da Terra estivesse a levar um franco impulso no sentido de estabelecer uma estrutura compreensível e aceitável, em termos científicos as ideias da Teoria Geossinclinal não desapareceram. Sofreram, sim, modificações, e Hans Stille, contemporâneo de Wegener, defensor a contracção da Terra sugeriu a existência de subtipos geossinclinais: os ortogeossinclinais, que originaram montanhas do tipo Alpino, e os eu e mio-geossinclinais, que diferiam de acordo com a sua actividade vulcânica. Anos mais tarde, Francis Wells sugeriu novos termos para a referida teoria. Focou ideias como as de geossinclinal ensimático e ensiálico, para distinguir os

diferentes tipos de depósitos que deram origem às cadeias montanhosas do lado do Atlântico e do lado do Pacífico (Wells, 1949).



Fig.II-25- Edward Bullard num momento de descontração (In: Oreskes, 2003).

Nos finais da década de 40, Hugo Benioff, geólogo americano, estabeleceu um método que permitia estudar o reajustamento da crosta após a ocorrência de fenómenos sísmicos. Neste sentido, podia-se determinar se um sismo constituía um fenómeno isolado associado a falhas ou não. Verificou, pois, que o impulso da falha no fundo do oceano podia surgir vários minutos depois do início do sismo (Benioff, 1949). Alguns anos mais tarde, afirmou que as fossas oceânicas eram sistemas de falhas inversas, ocorrentes em dois tipos de locais, sendo eles os oceânicos e os das margens continentais. Estas ideias foram desenvolvidas e utilizadas quando se estabeleceu a Tectónica de Placas e a sua dinâmica global. Por outro lado, Benioff sugeriu que a existência de falhas associadas a vulcões se justificava pela fonte de energia gerada nas rochas da zona de contacto de falha onde se estabeleciam pressões e condições que provocam a produção de magma. Para além disto, e

em conformidade com outros investigadores referidos anteriormente, a ideia de um substrato viscoso por debaixo da crosta era prevalecente (Benioff, 1954).

Ainda dentro desta ideia, Harry Hammond Hess (1906-1969) (Fig.II-26), petrólogo, geofísico, Almirante da Armada Norte-Americana durante a Segunda Grande Guerra e professor de um brilhante aluno, Walter Alvarez, ao estudar os “guyots”⁸, concluiu que a sua origem era vulcânica e a estrutura originada por erosão. Esta conclusão foi o culminar de vários estudos levados a cabo nos arcos insulares, onde a actividade sísmica e vulcânica se manifestava de forma intensa. Considerando o que Griggs havia referido sobre as correntes de convecção, Hess concluiu que a formação de ilhas vulcânicas em bacias oceânicas eram fruto de movimentos verticalizados enquanto a actividade estava em alta. Neste sentido, eram zonas algo instáveis, onde se verificava extrusão e ascensão de material magmático de uma fonte subcrustal. Este facto poderia ter conduzido à ideia de alastramento dos fundos oceânicos por Hess, mas foi proferida em forma de teoria por Robert Dietz, oceanógrafo naval função que lhe facilitou o estudo dos fundos oceânicos. Hess não publicara sobre o assunto (Menard, 1986). Este investigador acreditava que nas cristas oceânicas se formava fundo oceânico que era constantemente empurrado até às fossas, onde passava a ser incorporado no manto. Pode-se dizer que defendia a Deriva dos Continentes movida por acção de correntes de convecção, como já havia sugerido Holmes (Hallam, 1983).



Fig.II-26- Harry Hammond Hess (adaptado de Wood, 1986).

⁸ Guyots- ilhas vulcânicas submersas com cume aplanado.

No fundo, considerava-se que a crosta sofria movimentações sem se referir a questão da Deriva dos Continentes proposta por Wegener. Esta ideia esteve presente, não directa, mas indirectamente durante a “Fase de Competição entre Teorias Rivais”. Neste contexto, V.V. Belousov (1958), geólogo de Moscovo, também admitiu a movimentação da crosta terrestre, quer no sentido ascendente, descendente ou mesmo oscilatório nas zonas de falha.

A fase de “Competição entre Teorias Rivais” pode caracterizar-se como um evoluir das investigações num sentido convergente. Se analisadas isoladamente não dão essa ideia, porém, ao analisar de uma forma global, parece haver um padrão de tendência que conduz inevitavelmente a um destino. Consideramos que a partir da década de 50 do século passado se entrou na “Fase de Revolução Científica” propriamente dita, porque os resultados obtidos constituíram provas que vinham ao encontro da mobilidade da crosta terrestre. A confirmar esta ideia estão as descobertas de J. Hospers no ano 1951, nas quais afirmava que a magnetização das rochas é a mesma do campo geomagnético, tendo verificado a existência de aparentes inversões deste (Hospers, 1951). Estava dado o passo para novas conclusões sobre os fundos oceânicos, local onde estava a prova de uma Terra dinâmica com uma crosta móvel.

Com efeito, Ron Mason geofísico e professor no Imperial College de Londres, fez parte de um trabalho de pesquisa do fundo do mar utilizando um magnetómetro do qual estava responsabilizado. Esta missão decorreu entre Setembro de 1952 e Fevereiro de 1953 e tinha como missão detectar anomalias magnéticas nas estruturas do fundo oceânico do Pacífico. Em 1955, Bill Menard, geólogo marinho do barco da referida missão, disse-lhe que ia haver uma nova investigação do fundo oceânico, desta vez promovida pela U. S. Coast and Geodetic Survey a bordo de um barco chamado Pioneer, e Mason juntou-se à missão. Após 11 meses de investigação e depois de analisar cuidadosamente os resultados é que Mason apresentou o mapa dominado por contornos com uma tendência predominante norte-sul e nordeste-sudoeste. O mapa final mostrava bandas com anomalias positivas e negativas, e análises cuidadosas permitiram verificar que em determinadas zonas havia falhas no fundo oceânico. As lineações magnéticas deram aso a muitas especulações e anos mais tarde fizeram sentido.

“I started the project described here with no thought of its possible relevance to continental drift. The discovery of sea floor magnetic stripes was serendipitous: we were

not looking for them, nor could we have been, because no one knew they existed!” (Mason, in: Oreskes, 2003)

Dietz, outro investigador que trabalhava na área da oceanografia, no ano 1961 publicou um artigo na revista *Nature* onde fazia referência ao afastamento do fundo oceânico. A questão dos movimentos convectivos de células termais do manto era abordada com algum pormenor. O autor chegou mesmo a salientar que a crosta do oceano era bem mais simples do que a dos continentes, mas para tal havia que aceitar que os continentes tinham uma densidade baixa, flutuando hidrostáticamente no sima. Assim, a convecção do sima não poderia entrar no sial. Propôs a Teoria do Alastramento dos Fundos Oceânicos, referindo que a litosfera não era dotada de correntes de convecção. O próprio fundo oceânico marcava o topo das células convectivas, constituindo os continentes o controlo do padrão convectivo. Desta forma, era aceitável de forma algo restrita a Deriva Continental (Dietz, 1961).

“The sea floor is linked to a conveyor belt, driven by thermal convection cells in the Earth’s mantle, so that it is movable even though not mobile.” (Dietz, 1966)

Diversos estudos feitos em torno da ideia da mobilidade continental conduziram a conclusões que constituíram a base da nova teoria global que se avizinhava. Jason Morgan, geofísico de Princeton, trabalhou nos movimentos das placas tectónicas, bem como forneceu as bases para a descrição geométrica dos seus movimentos, em especial do caso de Tonga-Figi, em 1967 no American Geophysical Union em Washington. O termo “placas tectónicas” passou a ser comumente empregue nos trabalhos subsequentes (Oliver, in: Oreskes, 2003).

Robert Dietz e John C. Holden, em 1970, apresentaram uma reconstrução do supercontinente Pangea, datado do Pérmico, seguido por uma sequência de 5 mapas do mundo onde ilustram claramente a fragmentação e dispersão dos continentes até ao presente (Fig.II-27). Estava-se numa fase em que a mobilidade continental era tida como um facto indestronável.

“Plate tectonics and sea-floor spreading are accepted as the guiding rationale.” (Dietz e Holden, 1970)

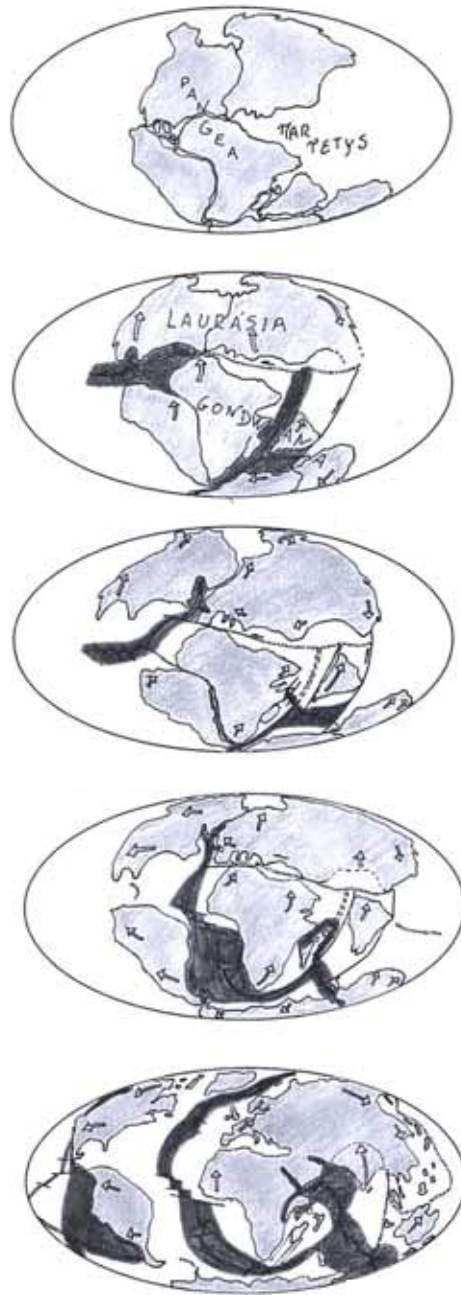


Fig.II-27- Fragmentação e dispersão dos continentes até ao presente (adaptado de Dietz e Holden, 1970).

Para além destes investigadores, outros também tiveram um forte contributo na evolução da nova teoria da Placas Tectónicas. Com efeito, Allan Cox e Richard Doell, do Geological Survey dos Estados Unidos, e G. Brent Dalrymple, da Universidade da Califórnia, ao estudarem as propriedades magnéticas de fluxos lávicos em 1963, verificaram que metade deles tinha magnetização inversa à actual. Além do mais, a

inversão de polaridade era um fenómeno da Terra como uma entidade única, afectando todas as rochas formadas num determinado período.

“Because the geomagnetic field is a global phenomenon, the field reversal theory requires that transitions from one magnetic polarity to another must occur at exactly the same time over the entire Earth.” (Cox, Doell, Dalrymple, 1963b)

Esta visão da Terra como um corpo permitiu-lhes determinar as idades radiométricas com fiabilidade, apontando como períodos de inversão do campo magnético cerca de 1 milhão de anos. Os períodos de magnetização normal pareciam durar mais cerca de 25% desse valor, e as alterações eram algo inesperadas. Esta característica da magnetização planetária, segundo os autores, devia-se ao efeito dínamo gerador de energia, em parte devido a um interior com características fluidas.

Coube a dois investigadores da Universidade de Cambridge, Drummond Matthews e um antigo aluno seu Fred Vine (Fig.II-28), a tarefa de conciliar os dados que foram sendo obtidos aqui e ali, na formulação de hipóteses explicativas para o funcionamento da Terra. Com efeito, metade do fundo do oceano estava magnetizado inversamente. Segundo estes cientistas, se a camada principal da crosta oceânica era formada pela onda de uma corrente convectiva ascendente do manto então, no centro do rifte havia a formação de nova crosta oceânica que ficaria magnetizada com o campo actual da Terra. Este facto poderia explicar o padrão aproximadamente linear das anomalias observadas no Pacífico Este e no Norte da América (Vine e Matthews, 1963).

Vine também trabalhou em conjunto com Tuzo Wilson (Fig.II-29) e chegaram a conclusões igualmente relevantes em 1965. Os movimentos horizontais que se verificava existirem na crosta terrestre foram o início de uma pesquisa que se revelou pertinente para a elaboração da estrutura da Terra. Neste contexto, o estudo das falhas constituía a fonte mais directa dos movimentos horizontais das massas rochosas, e a tão conhecida Falha de Santo André, era uma falha a que apelidaram de transformante. Contrariamente às falhas transcorrentes, o seu movimento terminava abruptamente numa região ligada por um rifte, uma compressão num cinturão montanhoso ou uma fossa (Vine e Wilson, 1965) (Fig.II-30).

Noutros estudos elaborados por estes dois investigadores, verificou-se que os dados obtidos vieram corroborar com a ideia de Dietz, do Alastramento dos Fundos Oceânicos. As anomalias magnéticas dos fundos oceânicos poderiam ser relacionadas com esta teoria

o que dava mais sentido à mesma. Dietz tinha conhecido Darlymple no ano 1965, tendo conversado com ele sobre as anomalias magnéticas e as inversões do campo magnético. Neste proveitoso encontro abordaram o padrão simétrico do rifte de Juan de Fuca, o que veio dar nova luz para o desvendar desse mistério. Provavelmente o Alastramento dos Fundos Oceânicos seria constante, e não com escalas de inversão de polaridade como chegaram a publicar (Wood, 1986).



Fig.II-28- Fred Vine (In: Oreskes, 2003).



Fig.-II-29- Tuzo Wilson (adaptado de Wood, 1986).

“The recent speculation that the magnetic anomalies observed over oceanic ridges might be explained in terms of ocean-floor spreading and periodic reversals during the past 4 million years and the newly described Juan de Fuca Ridge.” (Vine e Wilson, 1965b)

No ano de 1966, Vine estabeleceu relação entre as anomalias magnéticas registadas no fundo oceânico com a hipótese da convecção mantélica, sugerindo a relação entre esse fenómeno e a ideia de Wegener e da Deriva Continental. Para este investigador, a convecção do manto era originadora das deslocações continentais. A ideia de uma correia distribuidora, ou passadeira rolante, como sendo a convecção do manto e as bandas deslocadas os continentes veio dar novo impulso à Revolução Científica que estava a decorrer notoriamente. Note-se, contudo, que esta ideia já havia sido imaginada muito antes por Arthur Holmes, nos finais da década de 20.

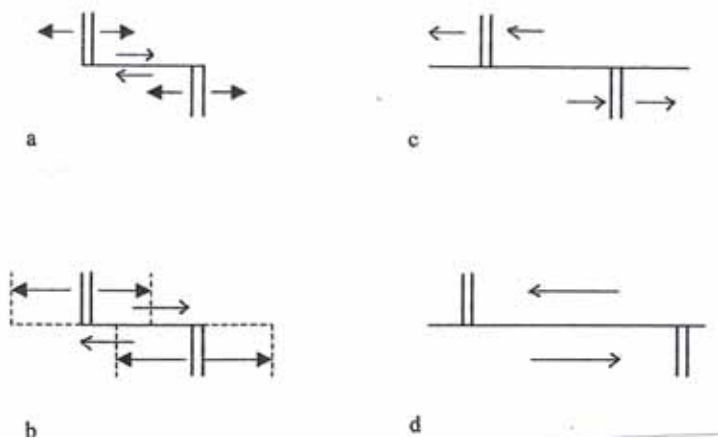


Fig.II-30- Falhas transformantes: a- falha transformante direita, ligando dois riftes de alastramento; b- falha *a* depois de um período de movimento; c- falha transcorrente esquerda contrabalançada por um rifte, com movimento oposto ao da falha em *a*; d- falha mostrada em *c* após um período de movimento (In: Vine e Wilson, 1965).

“The hypothesis invokes slow convection within the upper mantle by creep processes, drift being initiated above an upwelling, and continental fragments riding passively away from such a rift on a conveyor belt of upper-mantle material (...)” (Vine, 1966)

James R. Heirtzler, líder de um grupo de investigação magnética marinha, e Walter C. Pitman III, seu aluno, partilhavam a concepção fixista para os continentes. Esta ideia foi posteriormente abandonada, pelos trabalhos que desenvolveram e que vieram dar franco impulso na defesa da movimentação dos continentes. Em 1966 haviam notado uma simetria das anomalias magnéticas dos dois lados do rifte do Pacífico –Antártico, apoiando o que Vine e Matthews tinham dito uns anos antes, inferindo um afastamento dos fundos oceânicos na ordem dos 4,5cm/ano.

“We feel that these results strongly support the essential features of the Vine and Matthews hypothesis and ocean-floor spreading as postulated by Dietz and Hess.” (Pitman III e Heirtzler, 1966)

Foi então que se aperceberam que tinham acabado de provar a hipótese de Alastramento dos Fundos Oceânicos (Fig.II-31).

Estes investigadores, em conjunto com M. Talwani, um colega da Universidade de Columbia, publicaram no ano 1971 o resultado de novos estudos, desta vez realizados no Atlântico Norte. Propuseram que os dois lados continentais do Atlântico estiveram unidos, tendo-se iniciado a separação da África e da América do Norte há cerca de 180 milhões de anos.

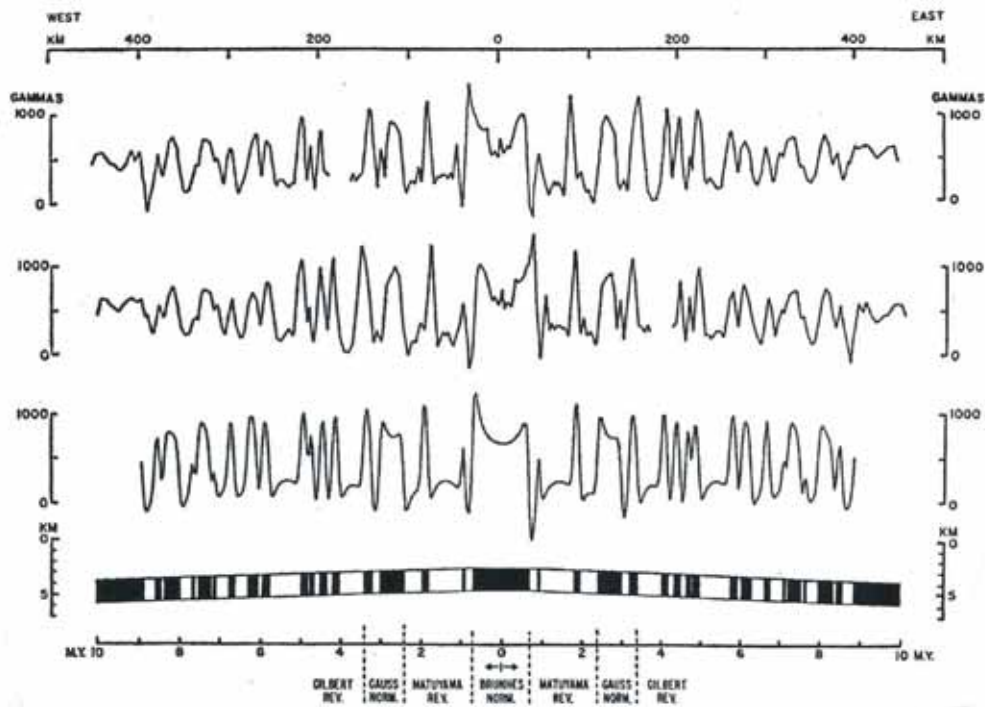


Fig.II-31- Perfil de anomalia magnética, obtido por Pitman e Heirtzler em 1966 (In: Pitman e Heirtzler, 1966)

Nesta altura também tinha sido descrito o perfil topográfico dos riftes oceânicos e sua relação com as anomalias magnéticas. Este foi um trabalho desenvolvido por Heirtzler e Xavier Le Pichon (Fig.II-32), que os levou à conclusão pertinente de que nas zonas axiais do rifte havia um afluxo maior de temperatura. Com efeito, estes cientistas trabalharam com outros, no sentido de determinar a idade dos sedimentos do fundo oceânico. John e

Maurice Ewing (1906-1974) (Fig.II-33), geólogos da Universidade de Columbia, continuaram nesta linha de investigação, realizando um trabalho que lhes permitiu afirmar que o Alastramento dos Fundos Oceânicos era intermitente.



Fig.II-32- Xavier Le Pichon (In: Oreskes, 2003).



Fig.II-33- Maurice Ewing (adaptado de Wood, 1986).

“The preferable interpretation of the data is that the process of spreading of the sea floor is intermittent and that the present cycle of spreading commenced around 10 million

years ago, following a long period of quiescence during which most of the observed sediments were deposited.” (Ewing e Ewing, 1967)

Hess e Maurice Ewing, ambos americanos, mantiveram uma relação de amizade, que ao poucos se foi tornando mais uma questão de rivalidade. Como seria natural de inferir, essa relação inicialmente cordial tornou-se cada vez mais azeda e insustentável, no que respeita à convivência por questões que se prendiam com as descobertas de determinados factos científicos (Wood, 1985).

Começou a notar-se uma convergência das conclusões no que respeita ao funcionamento do planeta. Os vários estudos realizados permitiram que se voltasse a considerar como pertinente a questão levantada há mais de 30 anos da Deriva Continental de Wegener, apresentando agora novos contornos. Com efeito, em 1968, Le Pichon apresentou no *Journal of Geophysical Research* um modelo estrutural da superfície da Terra. Este investigador considerou os movimentos relativos de blocos rígidos que constituíam a superfície da Terra. Estava dado mais um passo para a formulação da Teoria que passou a explicar o funcionamento do planeta.

“A geometrical model of the surface of the earth is obtained in terms of rigid blocks in relative motion with respect to each other.” (Le Pichon, 1968)

Curiosamente, os irmãos Ewing também faziam parte do grupo de cientistas que se diziam fixistas. Não aceitavam a mobilidade dos continentes, realizando expedições com o intuito de provar que a ideia que estava a emergir com muita força estava errada. As correntes de convecção ascendiam na região do rifte, mas não chegavam à superfície, pelo que eram só causadoras de vulcanismo e extensão do fundo oceânico.

Apesar de terem realizado investigações nos fundos oceânicos e de os resultados conduzirem à ideia de mobilidade continental, tanto os Ewing como Le Pichon, inicialmente fixistas, acharam que os resultados eram compatíveis com a teoria do Alastramento do Fundo Oceânico.

“We thought that these anomalies were not compatible with the idea of steady sea floor spreading.” (Le Pichon in: Oreskes, 2003)

Posto que as investigações realizadas não só por estes investigadores como também por outros, como Pitman e Heirtzler, conduziam à ideia de mobilidade dos continentes e Alastramento dos Fundos Oceânicos, a conversão do fixismo para o mobilismo tornou-se

inevitável. Referindo-se a novos dados obtidos por estes investigadores no ano 1966, Le Pichon chega mesmo a dizer:

“This extremely painful “conversion” experience has been crucial in shaping my own vision of what science is.” (Le Pichon in: Oreskes, 2003)

Nestas grandes oscilações de opinião, compreendemos melhor como se processa a construção do conhecimento científico. É cheio de alterações, revoluções e muitas vezes dilemas pessoais. Ao analisar o percurso travado por Le Pichon, apercebemo-nos da subjectividade a que a Ciência está sujeita. A partir do momento em que nos deparamos com explicações mais simples e plausíveis, apoiadas por dados obtidos por experimentações, somos levados a questionar a veracidade das ideias que defendíamos antes. É neste sentido que nos referimos ao carácter dinâmico e, dependente do contexto, algo subjectivo da Ciência enquanto construção fruto da reflexão humana. Com efeito, a partir de 1966, a aceitação da mobilidade dos continentes tornou-se generalizada. Contudo, os continentes eram parte integrante da litosfera, termo sugerido por Barrell na primeira década do século XX, referente à camada rígida externa da Terra, ou seja, crusta em estreita ligação com uma porção do manto superior.

Esta ideia da mobilidade da litosfera havia sido referida também em 1967 por Jack Oliver e Bryan Isacks, geólogos da Universidade de Columbia, conclusão a que chegaram devido a estudos sismológicos na região de Tonga (Nova Zelândia). Ainda dentro desta ideia, no Oeste de África e no Norte do Brasil foram efectuados mais estudos que vieram dar mais um suporte para a Teoria que estava prestes a ser formulada. Hurley *et al.*, investigadores do Instituto de Massachusetts e da Universidade de São Paulo, colaboraram num trabalho que lhes permitiu estabelecer a relação de possíveis ligações em três localidades de África ocidental e da América do Sul.

“About 150 age analyses made to date show that these three correlations exist, giving evidence in support of the hypothesis that the continents were at one time joined together.” (Hurley *et al.*, 1967)

Numa altura em que todos os dados se encaminhavam para a Deriva dos Continentes como efectiva e provada, eis senão que A.A. Meyerhoff, geólogo da American Association of Petroleum Geologists, em 1968, questiona a legitimidade de Dietz e Hess como sendo os criadores da ideia das correntes de convecção como factor fundamental para a movimentação dos continentes. Este autor reivindicava essa ideia a Holmes. Nesse

mesmo ano, os investigadores responderam em artigos separados, no *Journal of Geophysical Research* de 1968 (ver bibliografia), à questão tão existencialista de Meyerhoff, argumentando que as suas ideias diferiam das de Holmes, uma vez que esse grande geólogo não possuía na altura os dados por eles obtidos, naturalmente. Além do mais, Dietz remete para Hess o crédito dessa ideia, tendo este último feito o mesmo em relação a Dietz.

“I cannot see that Holmes “fathered” sea-floor spreading, although perhaps he in some ways anticipated it.” (Dietz, 1968)

“The idea of sea-floor spreading was derived largely from new geophysical and topographic data on mid-ocean ridges, none of which were available to Holmes.” (Hess, 1968)

H.W. (Bill) Menard também foi um dos cientistas que contribuiu para o avanço da ideia do Alastramento dos Fundos Oceânicos. Tendo pertencido ao corpo de investigação do Scripps (*Scripps Expedition Downwind*) como geólogo marinho, elaborou mapas do fundo oceânico do Pacífico. Na década de sessenta chegou a conclusões semelhantes às de Wilson no que respeita ao Atlântico. Menard pertencia aquele grupo de cientistas que não aceitava as ideias fixistas. Tinha a virtude de ser uma mente aberta e que considerava novas hipóteses como a da Deriva dos Continentes. Os estudos levados a cabo no Pacífico levantaram-lhe questões que só na década de setenta passaram a ser explicadas pela Tectónica de Placas. Este cientista, tal como muitos outros, não descurou resultados obtidos por outros, nomeadamente de Ewing e Bruce Heezen. Estes haviam verificado a existência de várias elevações marinhas, as dorsais oceânicas, no Atlântico e também no Índico, propondo que os sismos se originavam na depressão a elas associadas, os vales de rifte. A expedição do Scripps trouxe a Menard dados semelhantes, mas referentes ao Pacífico. Mas a relação destas estruturas submarinas com a dinâmica da Terra ainda não se conseguia explicar paulatinamente, muito embora tenha sugerido que as correntes de convecção ascendiam na região do rifte.

“What is the origin of the rise? (...)”

With rises bordering the Pacific and penetrating Africa, it appears more probable that most rises are centred because the margins of the basin have been adjusted by convection currents moving out from the centre.” (Menard, 1960)

O cientista em questão, apesar de aceitar a convecção, tinha forte convicção de que esse processo não ocorria de forma constante. Nesta altura havia três hipóteses no meio científico. Uma delas era a do próprio Menard, de uma convecção sequencial e não constante, outra a da expansão da Terra nas zonas de rifte e por fim, a que veio a mostrar ser mais consistente, a hipótese de Alastramento dos Fundos Oceânicos.

No fundo, os resultados obtidos corroboraram com a hipótese de Alastramento do Fundo Oceânico, o que na época ainda não estava totalmente aceite pela comunidade científica. Faltava convencer os mais resistentes, o que se veio a verificar no final da década de sessenta.

“Local sea floor topography and also the thickness of the second layer of the oceanic rise-ridge system appear related to the spreading rate in the region.” (Menard, 1967)

Heezen, apesar do excelente trabalho realizado na topografia do fundo oceânico, não aceitava a ideia da Deriva Continental, uma vez que as rochas graníticas dos continentes não apresentavam deformações provocadas pela sua deslocação do fundo oceânico basáltico. Com efeito, preferia inserir-se no grupo dos Expansionistas, que defendiam o aumento do raio da Terra.

“In an attempt to overcome this dilemma (if the rift is opening, or closing in other side) I have recently suggested that the earth is neither shrinking nor remaining at the same size; rather, it is expanding. If the earth were expanding and the continents remained the same size, additional crust would have to be formed in the oceans. This is apparently just what is happening in the mid-ocean rift valleys. It can be shown, moreover, that expansion of the earth would change the relative positions of the continents (...).” (Heezen, 1960)

Segundo Heezen, havia riftes que proporcionavam a formação de nova crosta oceânica com o conseqüente aumento do raio da Terra. As zonas de fossa e de reabsorção da crosta velha, pura e simplesmente não faziam parte do esquema elaborado pelo investigador. De acordo com Menard (1986), provavelmente Heezen baseou-se no trabalho que S. Warren Carey havia desenvolvido anos antes sobre o mesmo assunto. Carey estava ciente de que a sua ideia estava correcta, tecendo comparações com a Deriva dos Continentes de Wegener. A expansão da Terra explicava com relativa facilidade a existência de riftes activos nos fundos oceânicos do Atlântico e Pacífico. Muito embora não fosse uma ideia inédita, referimos a título de curiosidade que em 1927 B. Lindemann

escreveu sobre este assunto e Edwin Hubble abordou o assunto em 1929, extrapolando os conhecimentos que tinha sobre a expansão do Universo para o nosso planeta (Menard, 1986).

As ideias de Carey, apesar de não serem referidas com muita profundidade nos livros de estudo dos cursos universitários, são muito bem fundamentadas, para além de sugerirem propostas para determinadas dificuldades que a teoria actualmente em vigor apresenta. Contudo, aceita a mobilidade continental, mas não numa Terra de diâmetro constante. Segundo o seu exaustivo estudo, Carey referiu que a junção dos continentes era perfeita se considerarmos o raio do planeta menor no passado. Por outro lado, encarou a deslocação continental noutros termos. Ou seja, não era uma deslocação horizontal de blocos rígidos, mas sim uma permanência desses blocos continentais, aumentando a dimensão oceânica.

“According to the plate-tectonic theory, the continental units are “plates”, relatively thin (100km or so) compared with their surface area, and they move horizontally large distances relative to each other, detached from the underlying mantle. In contrast, the expansion theory regards the continental units as polygonal prisms some 3000km thick, nearly as thick as they are wide, and continents still rest on the same mantle as they did at the outset; their separation is due to the growth of new oceanic crust between them as the earth has expanded. Which is right?” (Carey, 1988)

Com efeito, a teoria Expansionista, apesar de actualmente não ser muito referida, ainda continua viva, pela voz de vários cientistas cujos argumentos se apresentam tão válidos como os de outras teorias. Lester C. King, geólogo ligado à Universidade de Natal, em África do Sul, também apoia esta causa que, segundo ele, pode ter alguma ligação com a Teoria formulada nos anos 70, como veremos a seguir.

Mas dando seguimento ao emergir da nova teoria da Terra, Dan McKenzie (Fig.II-34), que havia sido aluno de Bullard na Universidade de Cambridge, e W. Jason Morgan, da Universidade de Princeton, em 1969 sugeriram o conceito de *placas tectónicas* e de *pontos triplos*, o que veio constituir a base da “Revolução Científica” propriamente dita. Segundo os autores, as estruturas rígidas a que apelidaram de placas tectónicas moviam-se, muito embora não tenham explicado o mecanismo que as mantinha em dinâmica, lançando no entanto, a ideia de que as correntes de convecção poderiam constituir a resposta (McKenzie e Morgan, 1969).

“By 1969 the present theory was essentially complete. The only important new idea that has been required is that of propagating ridges, which Dick Hey of the University of Hawaii suggested to explain the shapes of magnetic anomalies in eastern Pacific.” (McKenzie, in: Oreskes, 2003)



Fig.II-34- Dan Mckenzie (In: Oreskes, 2003).

Por outro lado, sugeriram o conceito de ponto triplo, assunto que foi trabalhado em 1974 por Robert L. Parker, também aluno de Bullard, e antes por John Dewey, da Universidade de Cambridge. Contudo, em 1967, McKenzie e Parker haviam experimentado, numa esfera que pretendia simbolizar a Terra, as movimentações de placas rígidas, verificando que se na zona de rifte era formada nova crosta oceânica, então teria de haver limites de placas em que se verificava destruição de crosta. Foram estes trabalhos que, posteriormente serviram de fundamento experimental daquela que se revelou a nova teoria da Deriva dos Continentes, a Teoria da Tectónica de Placas.

McKenzie, investigador da Universidade de Cambridge, actividade que ainda hoje mantém, tendo como colega de laboratório James Jackson, interagiu com outros cientistas, nomeadamente C.A. Williams, no sentido de continuar a descortinar a dinâmica da teoria global da Terra. Verificava-se que, nesta altura, não só as anomalias magnéticas como o Alastramento dos Fundos Oceânicos para além da Tectónica de Placas estavam a

conquistar terreno no campo científico. Como prova disto, havia inúmeros trabalhos realizados à luz destas novas ideias.

Com efeito, William R. Dickinson, geólogo da Universidade de Stanford, tendo por base a Teoria da Tectónica de Placas, estudou os cinturões orogénicos, chegando à conclusão que estavam relacionados com os movimentos das placas.

“Successions of orogenic events can be understood within the logic of plate tectonic theory.” (Dickinson, 1970)

No ano em que Mckenzie e Parker tinham realizado a experiência na esfera, Warren Hamilton, geólogo do Geological Survey dos Estados Unidos (Denver), considerou que as deformações que se verificavam no arco do Pacífico estariam relacionadas com o facto da crosta vulcânica ter sido incorporada no continente. Ou seja, os estudos que se realizavam conduziam à aceitação de uma teoria globalizante, passando esta fase epistemológica a classificar-se de Ciência Normal, de acordo com Kuhn.

Podemos referir nomes como William Kaula, da Universidade da Califórnia, que propôs que o fluxo astenosférico (termo referente a movimentações dos materiais constituintes da astenosfera) era o responsável pela formação das estruturas litosféricas (Kaula, 1970). Foi então, que John F. Dewey, da Universidade de Cambridge, e John M. Bird, da Universidade de New York (Albany), corroboraram estas opiniões, cimentando ainda mais a tectónica global.

“Analysis of the sedimentary, volcanic, structural, and metamorphic chronology in mountain belts, and consideration of the implications of the new global tectonics (plate tectonics), strongly indicate that mountain belts are consequence of plate evolution.” (Dewey e Bird, 1970)

É nestas alturas de acalmia que se vão realizando estudos que, à luz da nova teoria, a completam em muitos pormenores. Alan Gilbert Smith, da Universidade de Cambridge, é um exemplo disso mesmo quando se questiona sobre a Tectónica de Placas ocorrida no Arcaico (Smith, 1976). Outros investigadores, como por exemplo A.E. Ringwood, da Universidade Nacional da Austrália, Matthew H. Salisbury e Nicolas I. Christensen, da Universidade de Washington, pesquisaram sobre a geoquímica nos limites das placas tectónicas, o que só veio enriquecer a “Fase de Ciência Normal” que, em nosso ver, se estendeu até finais dos anos 90 do século passado. Como seria de esperar, também começaram a surgir dúvidas e problemas que não se conseguiam resolver à luz da nova

teoria. Richard J. Blakely, geólogo do Geological Survey dos Estados Unidos, em 1979, questiona-se como poderá explicar anomalias magnéticas que não se inserem na polaridade normal ou inversa, justificadas pela hipótese de Vine e Matthews.

Por outro lado Wilson, em 1963, lançou a público uma ideia de difícil entendimento que se iniciou e prolonga até aos dias de hoje. Com efeito, Wilson utilizou este conceito para explicar a existência de cadeias de ilhas vulcânicas, como as do Havai, com idades progressivamente mais recentes ao longo dessa cadeia. A sua proposta consistiu na existência de um ponto quente (hotspot) fixo sobre o qual se deslocava a placa litosférica. Contudo, as razões para o surgimento de plumas mantélicas, originárias dos pontos quentes, e a sua origem são alvo de estudos levados a cabo por vários investigadores em vários pontos do globo. Este interesse prende-se, para além de outros factores, com a sua possível articulação ou ligação com a fragmentação continental, que parece relacionar-se com a ascensão de colunas de material quente, as plumas mantélicas, que se prolongam pelas camadas terrestres até à litosfera.

Esta questão das plumas mantélicas e dos pontos quentes, que foi lançada na década da Teoria da Tectónica de Placas, ainda se prolonga nos dias de hoje. Com efeito, P.R. Vogt, do Instituto Oceanográfico dos Estados Unidos, em 1972 sugeriu que as descargas basálticas dos hotspot, identificadas em associação com as plumas mantélicas, afectaram a vida na Terra, podendo ter exercido alguma influência no que respeita às extinções, assunto que será referido no ponto seguinte.

“Extinction crisis of faunal evolution may reflect trace-element pollution occurring during intervals of intense volcanism reflecting active plume convection.” (Vogt, 1972)

S. Thomas Crough, investigador da Universidade de Princeton, por seu lado, considerou que os pontos quentes podiam ser processos tectónicos relevantes, tal como o aparecimento de magmas kimberlíticos em África, América do Sul e América do Norte (Crough, 1980).

Este interesse pelas plumas mantélicas prosseguiu ao longo dos anos, tanto que já em 1971 W.J. Morgan, colega de Crough na Universidade de Princeton, considerou que as correntes de convecção seriam as responsáveis pela formação de pontos quentes fixos pelos quais as placas tectónicas rígidas se iam movendo. Dessa forma verificava-se um alinhamento de pontos vulcânicos no globo que reflectiam esta forma de encarar o interior do planeta.

“I know that these hotspots are manifestations of convection in the lower mantle which provides the motive force for continental drift.” (Morgan, 1971)

O estudo dos pontos quentes e da sua relação com as plumas mantélicas tornou-se um dos assuntos a ser estudado ao longo dos seguintes anos, para além da estrutura da litosfera e sua relação com o manto. Neste contexto, Geoffrey F. Davies, investigador da Universidade Nacional da Austrália, associa a configuração topográfica com o ponto quente, atribuindo a causalidade deste último a uma pluma. Contudo, verificava-se a existência de um influxo inicial de convecção mantélica, seguida por ascensão de plumas vindas do fundo do manto (Davies, 1988). Cerca de 10 anos mais tarde Davies continuou a comprovar estas ideias inicialmente sugeridas acrescentando, como seria de esperar, novos dados. Os cálculos por ele efectuados levaram-no a afirmar com maior convicção que a subida das plumas afectava a configuração topográfica de uma determinada região. Usou, inclusive, um dos modelos determinados por Ian H. Campbell, da mesma Universidade, para a formação das plumas, que passamos a reproduzir na Figura II-35 (Davies, 1999).

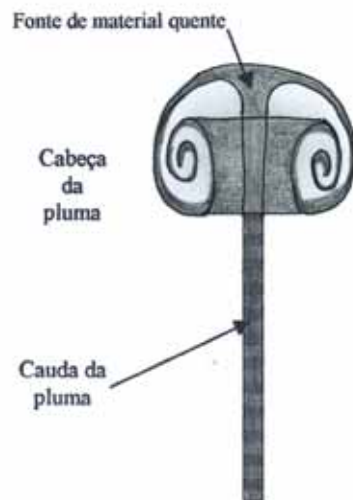


Fig.II-35- Esquema que ilustra o limite termal de uma pluma ascendente (adaptado de Davies, 1999).

Em 1984, Luce Fleitout, da Universidade de Paris-Sul, e David A. Yuen, da Universidade Estatal do Arizona, construíram um modelo termomecânico para ilustrar a convecção do manto superior, a fim de mostrar que a espessura e a estrutura da litosfera são determinadas pela actividade térmica da convecção. Demonstraram que havia uma estreita relação entre a litosfera e o manto superior, estando nesta relação implicados a viscosidade, a temperatura e a fragilidade da litosfera. Anos mais tarde, e sobre o mesmo assunto, Yuen e David Burnet, da Universidade do Minnesota, realizaram estudos que

contemplavam a circulação do manto superior como factor de produção de plumas. Por outro lado, consideraram haver dois tipos principais de plumas. As estáveis estendiam-se pelo manto por vários milhões de anos, produzindo vulcanismo que demonstrava uma progressão temporal. As plumas não estáveis, moviam-se relativamente à circulação geral, produzindo estruturas superficiais caóticas. Nesta perspectiva, se duas plumas colidissem, originam uma superpluma, que se formava a partir do limite núcleo-manto (Burnet e Yuen, 2000).

A partir da década de 90, apesar da Teoria da Tectónica de Placas ser aceite em termos gerais, notou-se um questionar constante do processo que fazia mover as placas tectónicas. Neste sentido, estudos do manto e de pontos quentes levaram um franco avanço, se bem que a dificuldade em tirar conclusões definitivas deixou em aberto um vasto leque de interpretações. Assim, as estruturas da superfície da Terra constituíam a base deste género de estudos, em especial as zonas continentais e de ilhas de origem presumível de um ponto quente. Este facto devia-se ao estudo intensivo realizado ao longo de algumas décadas aos fundos oceânicos, a partir dos quais se formulou o paradigma vigente. Contudo, são precisamente estas questões que também são feitas por aqueles que não concordam inteiramente com a Tectónica de Placas. Em que medida é que a rotação da Terra afectava as correntes de convecção e a formação de pontos quentes, por exemplo? Porque concebemos a litosfera como tendo um comportamento rígido, se estamos a abordar estruturas com centenas de quilómetros assentes num substrato aquecido? Será que o comportamento físico se mantém? Poderíamos pensar que hoje já não se colocavam dúvidas sobre o funcionamento da tectónica global, mas Martin Pickford, tal como Keith, atreveram-se a fazê-lo.

Campbell e R.W. Griffiths, este último da Universidade Nacional da Austrália, em 1992, publicaram um artigo no *Journal of Geology*, no qual especificam as suas convicções acerca dos pontos quentes mantélicos. Segundo estes autores, a temperatura constituía o factor principal na mudança de composição dos pontos quentes, pelo que a questão térmica dominava a convecção, que foi variando ao longo do tempo geológico. A Deriva dos Continentes e conseqüente subducção de Placas Tectónicas a partir do Arcaico proporcionou o manto que hoje se caracteriza por uma composição diferente da que eventualmente se verificava nessa altura. Kent Condie (2001), Professor de Geoquímica no New Mexico Institute of Mining and Technology, assumiu como certa a existência de

plumas antes dos cerca de 2,5 giga-anos ou seja, durante o Arcaico. Segundo o autor, havia vestígios nos actuais riftes, nos pontos quentes e nas zonas cratónicas de que houve e ainda há estas ascensões mantélicas que poderiam estar relacionadas com alguma forma de actividade litosférica. Porém, não se especulou muito sobre uma eventual Tectónica de Placas no Arcaico, devido à pouca informação recolhida na Terra com que actualmente nos deparamos. Mesmo assim, há quem conceba uma Terra Arcaica dotada de Tectónica de Placas.

A questão dos fluxos basálticos continentais também se associa à existência de pontos quentes. Com efeito, Martin Menzies, da Universidade de Londres, chegou a afirmar que todas estas estruturas continentais eram constantemente fornecidas por uma pluma sublitosférica, cuja composição foi alterada devido a uma certa contaminação continental (Menzies, 1992). A.D. Saunders *et al.*, da Universidade de Leischester, também corroboram com os estudos de Menzies, salientando contudo que a litosfera estreitava na região de subida da pluma, estando pois justificada a grande quantidade de magma presente nas províncias ígneas. Por outro lado, Don L. Anderson *et al.*, um grupo de investigadores adepto das plumas, do Instituto de Tecnologia da Califórnia e da Universidade da Califórnia, acresceram a estes estudos o facto das plumas e das células quentes serem estruturas fixas e robustas.

Nos anos que se seguiram a 1992, realizaram-se mais estudos no sentido de determinar as movimentações relativas dos pontos quentes e a sua ligação com a fragmentação da Pangea. Neste sentido, investigadores como Gary Acton, da Universidade de Nova Inglaterra, e como Richard G. Gordon, da Universidade de Northwestn (Estados Unidos), sugeriram que as deslocações relativas dos pontos quentes enquanto precursores da Tectónica de Placas foi pouco notória em relação às posições iniciais (Acton e Gordon, 1994). Noutra perspectiva, outros dois investigadores da Universidade do Havai emitiram o parecer de que os fluxos continentais pareciam ter sofrido dois influxos ao longo do tempo, separados por cerca de 20 a 90 M.a., o que reflectia a presença de uma pluma aparentemente fixa que provocou essas extrusões magmáticas (Bercovici e Mahoney, 1994). Bryan C. Storey, da Universidade de Cambridge, acresceu a estas ideias um ponto que se prendia com a questão do volume de magma basáltico aportado pelas plumas antes da fragmentação dos continentes (Storey, 1995). Andreas Prokoph *et al.*, investigadores do Geological Survey do Canadá, uns anos mais tarde corroboraram com uma ciclicidade para

a formação de províncias ígneas induzidas por plumas. Uma vez que persistiam incertezas nos padrões da ciclicidade, os investigadores sugeriram que também poderiam estar relacionados com o assunto os impactos de cometas, o ano galáctico, o ciclo supercontinental e as oscilações do núcleo terrestre (Prohoph *et al.*, 2004).

Por conseguinte, a questão da origem e formação das plumas permanecia como foco central de investigação. D.V. Helmberger, L. Wen e X. Ding, investigadores do Laboratório de Sismologia da Califórnia, fizeram estudos exaustivos na Islândia, chegando à conclusão que esta ilha foi formada pela ascensão de uma pluma mantélica vinda do limite entre o núcleo e o manto. Este estudo incluiu essencialmente medições sísmicas, que os levaram a inferir a origem profunda da pluma em questão. No mesmo ano da publicação deste estudo e na mesma revista científica, *Nature*, Cecily J. Wolfe, a trabalhar no Carnegie Institution de Washington, fez referência ao estudo levado a cabo por Helmberger e os seus colaboradores, e de Russell *et al.*. Ambos os grupos de investigação haviam postulado a origem profunda, no limite núcleo-manto, das plumas que deram origem à ilha da Islândia e às ilhas do Havai, respectivamente. A estas teorias interessantes, Wolfe questionou até que ponto podiam as conclusões ser fiáveis, uma vez que devido à natural convecção do manto, as plumas podiam ser deslocadas (Wolfe, 1998).

Mas, o facto do manto estar em constante convecção levou M. Stein, da Universidade The Hebrew (Israel), e A.W. Hofmann, do Instituto de Max-Planck (Alemanha), a proporem que as camadas convectivas alternavam com episódios de convecção global do manto, daí as diferenças que se encontravam nas estruturas continentais do globo. Na primeira hipótese não havia a formação de plumas, na segunda forma convectiva, segundo os autores, iniciava-se a formação destas estruturas termais. William M. White, da Universidade do Ithaca (Nova Iorque), responde a este artigo publicado em 1994 na *Nature*, dizendo que, apesar de se tratar de um modelo que conseguia explicar problemas há já muito levantados, não passam de especulações. Wegener também sofreu críticas do género na altura da Deriva. Será que há sempre uma oposição que argumenta dessa forma?

“(...) there is more speculation here than hard evidence. There is much work yet to be done and many questions still to be answered before crust and mantle evolution can be understood.” (White, 1994)

Nota-se então, que a questão das plumas e dos pontos quentes passou a constituir o foco de análise de uma grande parte dos investigadores da área da Geologia. Ainda permanecem muitas questões por resolver, por isso, novos estudos devem ser iniciados, apesar das dificuldades que as Ciências da Terra acarretam no que respeita a factos. Estes, quando relacionados com os depósitos auríferos como os de Yellowstone suscitaram, como seria natural, a investigação geológica, tanto que em 1997 Gary L. Oppliger, do Kennecott Exploration Inc no Nevada, J. Brendan Murphy, da Universidade do Canadá, e George H. Brimhall Jr., da Universidade da Califórnia, num trabalho conjunto afirmaram que a concentração mineralógica desta região dos Estados Unidos da América tinha origem num ponto quente. Elaboraram ainda um esquema detalhado da ascensão da pluma originária do limite núcleo-manto, responsável por esta estrutura. Novos estudos desenvolvidos por outros cientistas do Canadá e do Reino Unido levaram-nos a questionar a origem de Yellowstone, pondo em questão a génese de pluma mantélica (Schissel e Smail, 2001). Condie apoiou e esquematizou a origem de Yellowstone com base numa pluma, que também terá sido a responsável por estruturas encontradas nos basaltos do Rio Columbia e no planalto do Rio Snake (Condie, 2001).

Estas estruturas, ao chegarem à superfície, perdiam calor, constituindo assim uma das formas de empobrecimento termal da Terra. Mas Stéphane Labrosse, do Instituto de Física do Globo de Paris, considerou que o afastamento das placas, para além das plumas frias, produziam o mesmo efeito (Labrosse, 2002). Campbell concordou com a perda de calor provocada pela subida da pluma, mas afirmou que, antes desta se manifestar à superfície ocorria um levantamento da crosta, onde os diques tenderiam a uma determinada orientação, para além de terem uma composição química característica. Esta, por sua vez, era responsável pela classificação dos picritos, komatitos, kimberlitos entre outros, como originários de plumas (Campbell, 2001).

Norm Sleep, do Departamento de Geofísica da Universidade de Stanford, em 2003, afirmou que não se podia ignorar o conceito de plumas mantélicas, pelo que estas encontravam-se intimamente relacionadas com os pontos quentes, resultantes da deslocação das Placas Tectónicas. Segundo os seus estudos, as plumas ascendiam, não em forma de cogumelo como havia sido proposto por Campbell, mas com uma forma esférica. Apesar dos estudos feitos por este investigador conduzirem à ideia concreta das plumas, Gill Foulger, uma geóloga autora do artigo “Plumes or plate tectonic processes?”, criticou-

o nas suas concepções. Para além disso, também não concordou com a ideia de pluma mantélica como originária de Yellowstone, afirmando que havia evidências não só geológicas como sismológicas contra essa ideia.

“It is curious that the best defence of plumes, after 30 years of study, is that they are not understood, cannot be seen, and have unobservable consequences. The lack of evidence for hot plumes is matched only by the lack of doubt that they exist.” (Foulger, 2003)

Apesar de se estar em franca “Fase de Especulação”, as investigações prosseguem e novas concepções vão surgindo. Anders Scherstén *et al.*, em 2004, propuseram uma nova ideia para a origem das plumas. Segundo estes investigadores, as plumas não tinham origem no núcleo, uma vez que a sua composição não permitia que a mesma tivesse “viajado” pelo manto sem se perderem determinados elementos (Scherstén *et al.*, 2004). À medida que o conhecimento vai evoluindo, as pesquisas científicas vão-se prendendo com questões inexplicadas. Neste sentido, as plumas continuavam a ser foco de pesquisa, sem haver consenso nas conclusões chegadas pelos diversos intervenientes no processo.

Apesar disso, aquando da emergência da Teoria da Tectónica de Placas, foram surgindo assuntos para os quais não havia respostas satisfatórias, pelo menos para alguns. É então que em 1977 Richard Hey afirmou que o padrão de anomalias magnéticas no rifte de Juan de Fuca se mostrava incompatível com a ideia de Placas Tectónicas rígidas.

“(…) the pattern of magnetic anomaly offsets striking obliquely to the Blanco fracture zone near the Juan de Fuca spreading center has resisted simple explanation and appears to be incompatible with the rigid-plate hypothesis.” (Hey, 1977)

A questão estava lançada e anos mais tarde voltou a ser considerada. James Jackson, da Universidade de Cambridge, que trabalha com McKenzie, publicou em 2002 um artigo na revista *GSA Today*, no qual questionou se não era altura de abandonarmos a velha ideia da estrutura da crosta e do manto. Segundo este investigador, nas últimas duas décadas imperou a ideia de uma litosfera continental semelhante a uma sandwich, com uma base resistente de manto superior, uma crosta inferior dúctil e por cima uma crosta superior resistente. Ora, esta concepção não era compatível com os estudos feitos por Jackson no Sul do Tibete. A crosta inferior não podia ser tão dúctil, nem o manto superior podia ser tão resistente.

“Overall, this new view suggests that continental tectonics and mechanics are controlled by strength that resides mainly in the crust, rather than in the mantle.” (Jackson, 2002)

A questão da geoquímica também trouxe a Jackson e seus colaboradores novos conceitos sobre as raízes das cadeias montanhosas. O estudo realizado em 2004 ainda no Tibete conduziu-os a afirmar que a presença ou ausência da água nas raízes das grandes montanhas afectava a sua evolução. Se a água estivesse ausente, o granulito formado no início das fusões era estável e resistente, aguentando muitos milhões de anos de forma estável. Se porventura a água estivesse presente, dava-se a transformação de rochas metamórficas de elevado grau (elevadas pressões e temperaturas), designadas por granulito, noutras rochas de elevado grau de metamorfismo (de elevada pressão e temperatura moderada), designadas por eclogito, de forma rápida, acompanhada pela perda de resistência. Segundo os autores, no Sul do Tibete pode estar a ocorrer infiltração de água devido a fracturas provocadas pela ocorrência de sismos profundos (Jackson *et al.*, 2004).

John Grocott *et al.* também são investigadores que percorrem a mesma linha de investigação de Jackson, chegando a conclusões algo semelhantes no que respeita à necessidade de Placas Litosféricas não rígidas.

“Continental tectonics, and the formation of mountain belts, do not adhere to the plate tectonic paradigm. Mountain belts at plate boundaries are areas of diffuse deformation in which geologists have recognized that not only are the plates not rigid (...)” (Grocott *et al.*, 2004)

Durante muito tempo, pensou-se que as placas litosféricas constituíam estruturas rígidas que se deslocavam num substrato mais maleável, a astenosfera. Este foi, pois, um dos pilares da estrutura do paradigma da Tectónica de Placas, que conseguiu justificar não só a dinâmica a nível sísmico e vulcânico como também das cadeias montanhosas ao longo do globo.

Parece-nos que neste século XXI a Tectónica de Placas vai evoluir, uma vez que novas questões são lançadas e novos estudos desenvolvidos, emergindo a controvérsia no meio científico. Em nosso entender, neste momento estamos em nova “Fase de Especulação”, onde há grande pesquisa a nível das plumas mantélicas e sua influência na

fragmentação continental e na estrutura da litosfera e crosta continental que, segundo últimos estudos, não poderá ser rígida.

A razão pela qual esta abordagem histórica foi focada prende-se com a sua apropriação pela didáctica. Em nosso entender, as fases epistemológicas das “Revoluções Científicas” proporcionam uma riqueza de factos de que só após cuidada reflexão se consegue extrair os pontos que consideramos fundamentais. Trata-se de uma tarefa algo complexa porque, na emergência de um determinado paradigma, todos os intervenientes são fulcrais e tiveram o seu contributo. No entanto, e posto a aplicação dos materiais didácticos apresentados no Capítulo IV ter a necessidade de cumprir rígidos horários e de ser acessível para os destinatários desta investigação, procedemos à selecção dos investigadores que irão constar nos referidos materiais.

Ao longo da “Fase de Especulação”, parecem-nos pertinentes os estudos realizados por Pratt, Snider-Pelegri, Owen, Dana e Taylor. Estes cientistas foram os que mais marcaram a geração de conceitos que se vieram a revelar importantes na emergência de um paradigma que poderá estar em vias de mudar. Com esta selecção são focados os assuntos base do pensamento de uma geração de geólogos, nomeadamente a ideia de um substrato no estado líquido por debaixo da crosta, a ideia das deslocações continentais provocadas por expansão, por acção de um dilúvio universal ou para justificar as cadeias montanhosas e a ideia contraccionista da Terra.

A riqueza das rivalidades e discussões sobre o assunto cinge-se em especial à “Fase de Competição entre Teorias Rivais”, que consideramos ter começado com Wegener e a sua Hipótese de Deriva dos Continentes. O que se seguiu após a apresentação desta nova visão da Terra foram uma série de investigações e leituras que inevitavelmente conduziram à fase seguinte. Wegener, ao desenvolver uma hipótese fundamentada, levantou celeuma na comunidade científica. Apareceram os defensores da hipótese como Du Toit, Argand, Holmes e Guttenberg. Porém, este último, apesar de concordar com a Deriva propôs algumas alterações. Por outro lado, os opositores como Lake, Jeffreys, Coleman, Longwell e Willis parecem-nos ter sido muito incisivos nas críticas, o que torna mais interessante a aplicação didáctica da questão.

Os estudos intermédios que prosseguiram e que conduziram à “Fase de Revolução Científica” podem aqui ser referidos e, como nomes mais sonantes, apresentamos Hess, Mason e Ewing. Este último que, apesar de inicialmente ser contra a ideia de Deriva, após

a apresentação de Mckenzie e Morgan viu-se forçado pelas evidências a ceder. Além destes nomes, para esta fase apresentamos nomes como Dietz, Vine e Matthews, Wilson e Parker.

Por volta do ano 1969, pensamos que se entra na “Fase de Ciência Normal”, a partir da qual os investigadores trabalham sobre a luz de uma nova Teoria, fundamentada e que explica satisfatoriamente o funcionamento global do planeta. Neste contexto, para além dos vários trabalhos realizados nessa perspectiva, há pontos que nos suscitaram a atenção por serem a semente de dúvidas que se vêm mais desenvolvidas na actual Fase de especulação. Assim, nomes como Vogt, Cox e Morgan são fundamentais para a questão de plumas mantélicas e pontos quentes. Por outro lado, Hey aborda a questão que foi desenvolvida por Jackson na fase seguinte e que se relaciona com a estrutura litosférica e a geoquímica dessas zonas de limite entre placas.

A nova “Fase de Especulação” tenta resolver questões iniciadas anteriormente e apontamos nomes como Stein e Hofmann, White, Sleep, Foulger e Jackson, já referido acima. Em síntese, estrutura da litosfera e manto, a convecção do mesmo, a sua relação com a formação de plumas e a responsabilidade destas na fracturação continental são as questões em que mais se especula nesta fase que vivemos hoje em dia.

Por fim, referimos que, ao contrário do tema anterior, o assunto foi resolvido parcialmente, uma vez que já ocorreu uma “Revolução Científica” mas, as investigações prosseguem no sentido de explorar pontos não clarificados, o que, em nossa visão irá alterar a Teoria da Tectónica de Placas.

1.3- EXTINÇÕES EM MASSA

Neste subcapítulo vamos abordar a temática das Extinções em Massa que, na dinâmica deste trabalho, faz fronteira com os outros temas do segundo capítulo. A controvérsia gerada em torno deste assunto continua acesa, e as perspectivas de uma finalização do assunto ainda não parecem estar assim tão tangíveis. Será útil, nesta perspectiva, fazer uma recapitulação do pensamento geológico nos finais do século XVIII e século XIX, relativamente à corrente Catastrofista que se viveu na época e a sua posterior aniquilação pelo Uniformismo. Consideramos ser pertinente fazer esta prévia abordagem para que possamos compreender por que razão nos encontramos no momento presente em “Fase de Revolução Científica”, de acordo com as ideias de Kuhn. Sobre este assunto, verificamos que houve uma primeira Revolução Científica a meados do século XIX, seguida por um período de estabilidade. No entanto, em especial a partir de meados do século XX, a temática acendeu-se novamente e, apesar de levar um outro rumo científico, a conclusão é algo semelhante. Ou seja, vivemos num tempo em que se aceitam novamente as catástrofes. Será este o tempo do *Novo Catastrofismo*? Vejamos então o longo percurso histórico-científico rico em debates e opiniões fortes daqueles que fizeram e ainda fazem Ciência.

Há muito que os primeiros geólogos haviam registado falhas de registo fóssil em diversas sequências estratigráficas, pelo que esse foi um dos primeiros indícios para a classificação do Tempo Geológico. As ausências ou mudanças bruscas na fauna e flora fóssil constituíram assim os limites das eras. Os mitos de dragões, unicórnios e gigantes estavam intimamente relacionados com fósseis de grandes animais que se iam encontrando em diversas partes do mundo. Mas os seres a que correspondiam não se encontravam na actualidade, estavam extintos. Curiosamente, o desaparecimento desses animais mitológicos estava quase sempre associado a fenómenos catastróficos. Por outro lado, a antiga ideia cristã de um Deus castigador levava a que a concepção do Dilúvio libertador das impurezas persistisse nas mentes da generalidade dos cidadãos até ao século XVIII. Esta era a explicação mais plausível, numa altura em que a imensidão do Tempo Geológico não estava resolvida, e nem sequer as investigações tinham uma base epistemológica que não fosse a descrita na Bíblia.

Esta concepção Catastrofista teve muitos adeptos como Thomas Burnet (1635-1715) e John Woodward (1665-1728). As ideias destes dois filósofos naturais exerceram grande influência na forma de pensar dos filósofos naturais da Europa, de tal modo que durante muito tempo os fósseis foram interpretados como sendo restos de seres vivos pré-diluvianos. Depois desta catástrofe bíblica seguiu-se a criação de novas espécies vivas, dentro das quais o Homem (San Román, 2002).

Estas ideias foram colocadas em questão a partir do momento em que as *pedras figuradas* (ver ponto 1.1 do Capítulo II) foram vistas como restos de seres vivos. A polémica foi também fomentada pelo facto da Ciência passar a constituir um corpo de conhecimentos dotado de regras internas próprias e de uma comunidade que a constituía. Este processo de viragem iniciou-se com particular desenvoltura no século XVIII. Muito embora continuassem a existir as ideias diluvianas, baseadas nos escritos bíblicos, a sua designação passou a ser de Catastrofismo, que se contrapôs às ideias emergentes do Actualismo, antecessor do Uniformismo.

Abraham Gottlob Werner (já referido no ponto 1.1 deste Capítulo) estudou na Academia de Minas de Freiberga, na Saxónia, prosseguindo os estudos na Universidade de Leipzig. Em 1775 foi nomeado professor da Academia de Minas, cargo que manteve por quarenta anos. O facto ter estado ligado à exploração de minério permitiu-lhe verificar que as concentrações anómalas de minério só poderiam ser justificadas se tivesse havido precipitação química desses materiais. Porém, para que tal acontecesse, seria necessário uma Terra primordial coberta por um fluido, uma água de características particulares que continha em solução, ou em suspensão, todo o material necessário à formação da crosta terrestre. Formara-se assim a corrente dos Neptunistas que imperou durante vários anos e que foi destronada com decorrer do tempo; porém, tratava-se de uma visão que não acorria à alusão bíblica do Dilúvio Universal.

“Mountains have been formed by a successive accumulation of different beds or layers placed or heaped upon one another. The mass of these beds was at first wet, and possessed little solidity (...). As the waters which formerly assisted in supporting the mass of the mountain began to lower their level (...). The same precipitation, which in the humid way formed the strata and beds of rocks (...) furnished and produced the substance of veins.”- Werner, 1809

George-Louis Leclerc, mais conhecido por conde de Buffon (1707-1788), contemporâneo de outro grande nome das ciências desse século, Carl Von Linné ou Linneu (1707-1778), considerava que as condições ambientais eram responsáveis pela modificação dos caracteres e mesmo pela extinção dos seres vivos. Além do mais, Buffon, aceitava também que o Dilúvio era apenas uma das causas das extinções de espécies que, de certo modo, vinham a ser substituídas por outras. Todos estes processos ocorriam numa Terra que já fora muito mais quente no passado e discordava do Actualismo de James Hutton (1726-1797), que concebia um planeta no qual os fenómenos foram continuamente actuantes. Por sua vez, Linneu não aceitava evoluções biológicas, sendo portanto fixista e criacionista, colocando Deus como criador imediato de todos os seres vivos à face da Terra, tentando encerrar os fenómenos geológicos nas dimensões temporais bíblicas.

Georges Cuvier (1769-1832) (Fig.II-36), tal como Linneu, não aceitava a evolução biológica das espécies, apesar de ter sido o fundador da Paleontologia moderna, realizando importantes estudos no que respeita à anatomia comparada.



Fig.II-36- Georges Cuvier (adaptado de Adams, 1938).

Nestes mesmos estudos, verificou que algumas espécies desapareciam do registo fóssil, surgindo outras completamente distintas. Como tal, para ele as alterações biológicas deviam-se a catástrofes que ocorriam ao longo dos tempos, sendo a última catástrofe, uma

revolução que correspondia ao Dilúvio descrito no Génesis. No entanto, o estudo pormenorizado de estratos deformados em França levou-o a concluir que a formação por levantamentos de tão altas montanhas, como os Pirinéus, poderia ter causado as extinções repentinas. Para Cuvier, estas ocorrências tinham lugar em épocas distintas da Terra, provavelmente de tendência cíclica, tal como os estratos Terciários que a Bacia de Paris apresentavam, resultantes de uma alternância entre água doce e água salgada.

“To demonstrate that the most recent revolution had indeed been a “catastrophe”, Cuvier first had to argue that the modest processes or “causes” that are now active were insufficient to explain its observable effects.” (Rudwick, 1977)

O interesse pelos fósseis começou quando este naturalista estudou a bacia de Paris em 1796, ano em que recebeu restos de fósseis gigantes do Paraguai. O ser a que pertenciam e que fora designado por *Megatherium* havia desaparecido da face da Terra, o que levou Cuvier a sugerir 3 possíveis causas para este acontecimento. Uma delas prendia-se com a extinção da espécie, outra com a evolução e a última com a sua migração. Mas sendo Cuvier oponente à evolução, ou transformação, como se designava na altura, só lhe restavam duas hipóteses. Com efeito, a extinção parecia-lhe a mais plausível, tendo como causa uma catástrofe natural gigantesca, como por exemplo uma inundação global e repentina. Nesta época caracterizada como florescente em ideias, as críticas tornaram-se comuns, tal como as caricaturas cortantes sobre os assuntos que mexiam com a comunidade científica. Apresentamos de seguida na Figura II-37 um desses desenhos, no qual está ilustrado o *Megatherium* a ser puxado por várias vertentes científicas, o que ilustra bem o fervilhar de ideias.

As concepções surgiram devido às exaustivas investigações que realizou na bacia de Paris, onde verificara a alternância de estratos de água doce e de água salgada com uma certa ciclicidade, o que de certo modo, veio abalar as ideias defendidas por Hutton. Este naturalista que havia tido um importante papel no desenvolvimento da Geologia como Ciência dotada de um corpo característico, defendera a ideia de que a Terra era muito antiga e sujeita a factores naturais actuantes de forma gradual e contínua. Foi muito criticado pelos Catastrofistas, e neste contexto Richard Kirwan (1733-1812) foi um dos seus opositores, chamando-o de supérfluo e ateu, discordando das suas principais ideias. Kirwan defendera acerrimamente a formação das montanhas pela acção de águas iniciais, onde houve a transformação de restos de seres vivos em minerais.

“(…) in some shells converted into agates, the siliceous impregnation is partial and gradual.” (Kirwan, 1799)

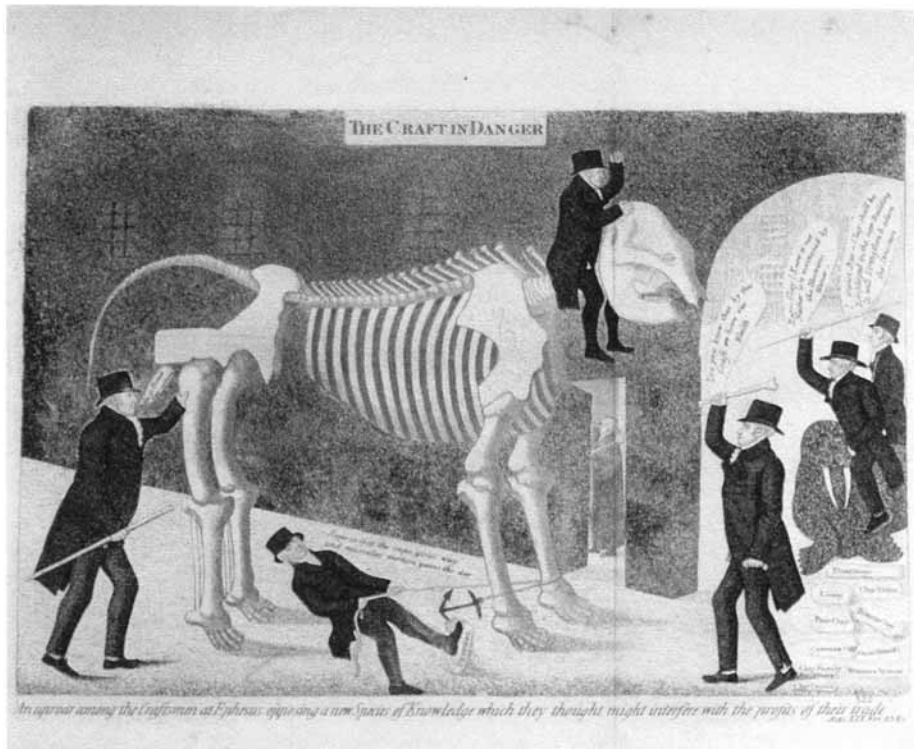


Fig.II-37- Caricatura de 18__ no qual o Megatherium constitui o centro da disputa (imagem gentilmente fornecida pelo Museu da História da Ciência, Whipple Museum, da Universidade de Cambridge).

Cuvier, tal como Kirwan, acreditava que uma invasão global de água doce ou salgada nos continentes teria causado um abaixamento do nível do mar. Contudo, a maioria das catástrofes não tinham carácter global.

“Thus the various catastrophes which have disturbed the strata, have not only caused the different parts of our continents to rise by degrees from the bosom of the waves, and diminished the extent of the basin of the ocean, but have also give rise to numerous shiftings of this basin.” (Cuvier, 1827)

Este forte defensor das catástrofes estudou fósseis de vertebrados terrestres, utilizando-os como prova de desaparecimento de espécies de forma abrupta e inexplicável. Ou melhor, um desaparecimento somente explicado tendo em consideração um acontecimento catastrófico, uma vez que actualmente já não se encontravam esses seres vivos do passado. Ainda no mesmo contexto, este investigador revelou-se muito descritivo

e pouco causal, tendo as novas espécies simplesmente começado a existir, sem nenhum acontecimento prévio e ligado a fenómenos naturais.

Jean Baptiste Monet, também chamado de Barão de Lamarck (1744-1829) influenciado pelas ideias de Linneu, e apesar de ser companheiro de laboratório de Cuvier, não sentia que a explicação catastrofista do desaparecimento de espécies fosse de ter em consideração, uma vez que era totalmente a favor da geração espontânea, de maneira que não havia sentido para nenhum tipo de extinção.

Com efeito, Hutton, considerado um dos pais da Geologia, havia surgido com a ideia do Actualismo, no qual as causas actuais eram as responsáveis pelas estruturas à superfície da Terra. Além do mais, para Hutton a Terra era um sistema em constante renovação e decaimento que estabelecia uma relação uniforme entre estes processos.

“(…) that it produces seas and continents, not by accident, but by the operation of regular and uniform causes (…).” (Hutton, in: Playfair, 1802)

É visível que não aceitava as catástrofes, nem os acidentes como causas para os fenómenos naturais do planeta. Por volta da década de 1820, havia em Inglaterra várias ideias que pairavam nas mentes dos cientistas entre as quais o Catastrofismo, o Actualismo, o Plutonismo e o Neptunismo. De referir sumariamente que a corrente do Plutonismo era claramente oposta à do Neptunismo, defendendo que o granito era uma rocha primitiva, de origem ígnea, tal como o basalto, sendo Hutton um dos fortes defensores desta ideia.

“...(…) from whence it appears that those variously alternated strata had been gradually formed by the various superposition of materials deposited in water.” (Hutton in: Geikie, 1899)

O período de “Competição entre Teorias Rivais” centrava-se, na altura em que Hutton e Cuvier lançaram as suas ideias sobre o funcionamento do planeta. Desta forma, os defensores e os oponentes de cada hipótese entraram em conflito que se estendeu até à altura em que Charles Lyell (1797-1875) (Fig.II-38) e Charles Darwin (1809-1882) (Fig.II-39) vieram revolucionar as concepções da Terra que se aceitavam como fidedignas até então. A partir daí, a “Fase de Ciência Normal” passou a constituir uma realidade, pelo que as ideias Catastrofistas entraram no esquecimento.



Fig.II-38- Charles Lyell (imagem gentilmente fornecida pelos laboratórios Bullard do Departamento de Geologia da Universidade de Cambridge).

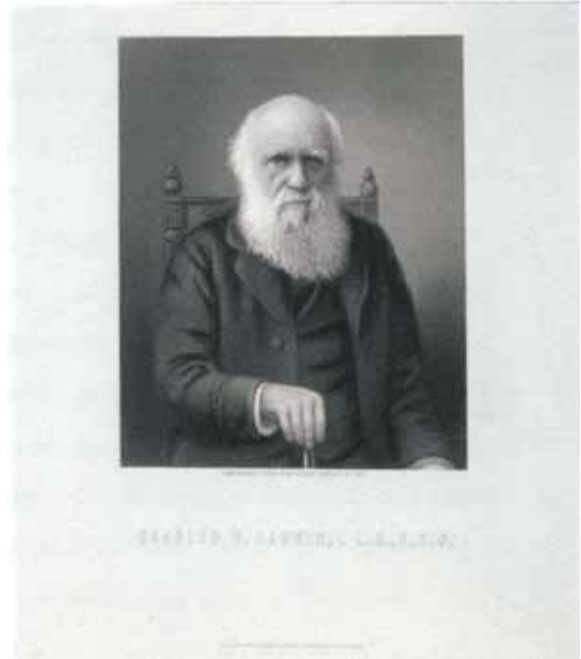


Fig.II-39- Charles Darwin (imagem gentilmente fornecida pelo Museu da História da Ciência, Whipple Museum, da Universidade de Cambridge).

William Buckland (1784-1856) (Fig.II-40), professor na Universidade de Oxford, foi um dos principais defensores do catastrófico Dilúvio Bíblico, argumentando que a superfície terrestre era ela própria a prova de que tudo o que existia era fruto da criação divina.



Fig.II-40- Retrato de William Buckland (imagem gentilmente fornecida pelos laboratórios Bullard do Departamento de Geologia da Universidade de Cambridge).

“...(...) the grand fact of an universal deluge at no very remote period is proved on grounds so decisive and incontrovertible, that, had we never heard of such an event from Scripture, or any other authority, Geology itself must have called in the assistance of some such catastrophe, to explain the phenomena of diluvian action which are unintelligible without recourse to a deluge existing its ravages at a period not more ancient than that announced in the Book of Genesis.” (Buckland, 1820)

Buckland havia sido professor de Lyell e de Adam Sedgwick (1785-1873) (Fig.II-41) e, após ter conhecido em profundidade as ideias inovadoras do primeiro, mudou a sua opinião sobre o assunto, já no final da sua carreira. O mesmo sucedeu com Sedgwick, que havia sido um forte defensor do diluvianismo bíblico. Mas detenhamo-nos em mais alguns pormenores. Com efeito, esta ideia de que o livro dos Génesis explicava a Geologia Física com que se deparavam dia a dia foi posta de lado por Lyell, quando aperfeiçoou o Actualismo de Hutton e surgiu com mais ideias que mais tarde foram apelidadas de Uniformismo. Lyell aceitava as extinções associadas a mudanças climáticas, mas nunca aceitou a ideia de catástrofes, sendo por isso um dos fortes oponentes de Cuvier. As extinções ocorriam lentamente e de forma gradual, rejeitando as catástrofes repentinas. Por outro lado, concebia a ciclicidade da Terra, no sentido em que as espécies desaparecidas poderiam retornar, não havendo um processo linear de progresso (Gould, 1991).



Fig.II-41- Retrato de Adam Sedgwick (imagem gentilmente fornecida pelos laboratórios Bullard do Departamento de Geologia da Universidade de Cambridge).

“It may appear inconceivable to a beginner how mountains, several thousand feet thick can have become filled with fossils from top to bottom; but the difficulty is removed when he reflects on the origin of stratification, as explained in the last chapter, and allows sufficient time for the accumulation of sediment. He must never lose sight on the fact that, during the process of deposition, each separate layer was once the uppermost, and covered immediately by the water in which aquatic animals lived.” (Lyell, 1838)

Lyell foi um dos grandes geólogos que agitou as formas de pensar da comunidade científica daquela época. Para além de aceitar vastos períodos de tempo para o planeta, bem ilustrado nas sequências estratigráficas, acreditava que no momento actual os fenómenos vulcânicos eram tão intensos como no passado. Para além do mais, a uniformidade dos processos geológicos era a sua máxima, o que veio a constituir uma base para que outro ilustre naturalista, Darwin formulasse a sua teoria da evolução das espécies.

“We have considered (...) many of the most popular grounds of opposition to the doctrine, that all former changes of the organic and inorganic creation are referrible to one uninterrupted succession of physical events, governed by the laws now in operation.” (Lyell, 1830)

Louis Agassiz (1807-1873), discípulo de Cuvier, seguiu as suas ideias, porém não considerava os dilúvios, mas sim as glaciações, como causas catastróficas das extinções. Este cientista suíço que se tornou no mais famoso professor de Harvard, e Elie de Beaumont (1798-1874) contestaram as opiniões de Lyell. Aqueles consideravam como certas as causas modernas repentinas e abruptas, concepções que se opunham ao Uniformismo Geológico. Mas Lyell tinha a vantagem de ter o dom da palavra e com uma destreza fantástica argumentava sobre a uniformidade dos processos actuantes na Terra, rebaixando de forma exímia as ideias Catastrofistas da época. No seu livro *Principles of Geology*, Lyell elabora mais do que uma definição para uniformidade nos processos da Geologia. A sua metodologia foi geralmente aceite pelos cientistas, num argumento difícil de contestar, no qual a Ciência era o estudo dos processos observáveis. Era o domínio do empirismo.

“(...) must depend entirely on the degree of confidence which we feel in regard to the permanency of the laws of nature. Their immutable constancy alone can enable us to reason from analogy, by the strict rules of induction, respecting the events of former ages,

or, by a comparison of the state of things at two distinct geological epochs, to arrive at the knowledge of general principles in the economy of our terrestrial system.” (Lyell, 1830)

Tal como hoje, vivia-se uma época em que a experiência e a recolha de factos era fundamental e sem eles nada era aceitável. Posto isto, os processos do passado, apesar de não serem observáveis, deixaram vestígios que, quando comparados com os actuais, forneciam a chave do passado. Neste contexto, Agassiz discordava desse comportamento da Terra ao longo dos anos, muito embora tivesse valorizado o trabalho de Lyell, que tentara criar um método infalível de compreender o funcionamento do planeta. Para os defensores do Catastrofismo, o arrefecimento secular do globo estava na base de catástrofes passadas que erradicaram espécies, conducentes ao aparecimento da espécie mais perfeita, o Homem.

As ideias de Lyell não contemplavam a pertinência de utilizar causas drásticas para a explicação de fenómenos como a erosão, que demoram grandes períodos de tempo para que se visse um resultado físico. Contudo, foi na Sicília, Itália, que concluiu que os fenómenos actuais continuavam a imperar como o haviam feito no passado, após ter visto o vulcão Etna em actividade. A espectacularidade de um vulcão em actividade rebatia qualquer ideia que tentasse afirmar que o planeta já não era detentor de grande calor interno. Posicionava-se, então, contra a ideia de uma Terra em constante arrefecimento e, consequentemente, contra a diminuição de actividade ígnea e tectónica.

“This cause (earthquakes), so often the source of death and terror to the inhabitants of the globe, which visits, in succession, every zone, and fills the earth with monuments of ruin and disorder, is, nevertheless, a conservative principle in the highest degree, and, above all others, essential to the stability of the system.” (Lyell, 1830)

Lyell foi o primeiro investigador europeu a fazer conferências nos Estados Unidos da América, durante os anos 1841 e 1845, a convite de Longwell, um emblemático investigador daquele país. Numa carta pessoal escrita entre dois naturalistas pertencentes à comunidade científica dos Estados Unidos da América no ano de 1841, está bem patente o que pensavam sobre Lyell, cuja formação inicial o deveria ter colocado como advogado nos tribunais. Provavelmente a sua capacidade de argumentação necessária a um advogado tenha sido um abonador para a defesa das suas ideias sobre o funcionamento da Terra. Contudo, um deles achava-o pouco carismático nas suas intervenções na *Geological Society of London*, da qual foi membro honorário.

“He (Lyell) always takes part in the discussions at the meetings of the Geological Society, but he has not facility in speaking (...).” (Mantell, in: American Journal of Science, 1875)

Este artigo sobre Lyell, publicado no ano da sua morte, 1875, foi como que um tributo ao cientista que marcou irreversivelmente o trajecto da Ciência numa época de grande desenvolvimento científico e tecnológico.

Mas havia sido em Abril de 1829 que as rivalidades se iniciaram com maior destaque. Lyell escrevia a Mantell com certa regularidade, e numa carta desta altura fez referência ao forte choque que se tinha desenrolado entre Catastrofistas e os defensores, como ele, do Uniformismo.

“Murchison and I fought stoutly, and Buckland was very piano. Conybeare’s memoir is not strong by any means. He admits three deluges before Noachian; and Buckland adds God knows how many catastrophes besides; so we have driven them out of the Mosaic record fairly.” (Lyell, in: Willis, 1896)

Sedgwick, por seu lado, antes de se converter ao Uniformismo, realizou estudos paleontológicos notáveis, hoje expostos no Museu de Geologia da Universidade de Cambridge, que alberga o seu nome. Considerava que as distribuições das espécies indicavam desaparecimentos abruptos que rapidamente eram substituídos por novas espécies. A sua distribuição no registo estratigráfico levou-o a inferir que a espessura dos estratos se relacionava com a duração da época em que essa deposição ocorrera, estabelecendo estreita ligação com o número de espécies aí encontrada.

“(...) if the development of Paleozoic organism be considered relatively to the thickness of the beds or duration of the Epoch, we shall see, 1st, that the total number of species always increases from below upwards; 2nd, that the progression is even frequently inverse, either in the different orders of the same class or in various genera of the same order.” (Sedgwick, 1842)

Sedgwick, bem como Agassiz e Cuvier, fizeram parte do grupo de oponentes às ideias de Uniformismo. Segundo Lyell, o Homem e o seu aparecimento constituíam a excepção à regra da uniformidade de aparecimento e desaparecimento de espécies, uma vez que foi a última espécie a aparecer. Não eram a favor da evolução, mas Sedgwick e os outros cientistas referidos acima afirmavam que a história da Vida era marcada por

episódios de criação que cessou aquando do aparecimento do Homem, o resultado vivo mais perfeito (Gould, 1970).

G. Poulett Scrope (1797-1876) apesar de não ser apologista dos conceitos de Lyell, não deixou de lhe dedicar amistosamente o seu livro “*Volcanoes. The character of their phenomena, their share in the structure and composition of the surface of the globe, and their relation to its internal forces*” de 1872, uma vez que já haviam trabalhado em conjunto.

“(…) I by no means propose to claim you (Lyell) as sponsor for the opinions it contains (...) but only to be allowed to record my admiration of the perseverance with which you have so long devoted your high powers to investigating (...)” (Scrope, 1872)

Este investigador não concebia, contrariamente a Lyell, que os fenómenos actuantes no presente fossem equivalentes aos que imperaram no passado. A ideia de que o calor interno da Terra estava em constante decaimento levou-o a conceber que a actividade vulcânica, nomeadamente, tinha sido francamente superior.

“We know, too, that heat is perpetually escaping outwards from within this thin crust, not only by slow conduction through its substance from a more heated interior, and radiation into space (...)” (Scrope, 1872)

O processo de formação de sismos e vulcões também contrastava vivamente com as opiniões do seu antigo colega de trabalho. Porém, o que salientamos do trabalho deste investigador, no âmbito do tema em questão, é que aceitava fenómenos catastróficos como os responsáveis por inúmeros acontecimentos do presente. Ora, se a actividade geológica havia sido superior no passado, então deveria ter sido verdadeiramente avassaladora, e conseqüentemente destruidora.

“It is therefore quite in accordance with the analogy of known modern events, referable to existing causes, that some still more extraordinary occurrences of this kind, originating in subteluric disturbances far exceeding in violence all that are recorded in our brief annals, may have taken place from time to time at rare intervals in former geological periods, and produced correspondingly vast denudation effects.” (Scrope, 1872)

William Whewell (1794-1866), professor de Mineralogia em Cambridge, não concordava com as ideias de Lyell, no entanto foi quem introduziu os termos *Catastrofismo* e o *Uniformismo*, que passaram a ser utilizados na comunidade científica até aos dias de hoje (Hallam, 1985). Lyell foi igualmente criticado por Whewell, mas num tom

menos simpático do que Scrope. Também teceu críticas a Hutton e às suas concepções, apelidando-as de prematuras, e a Darwin, que não escapou ao seu olhar acutilante.

“But though Hutton’s theory was premature, as well as Werner’s, the former had a far greater value as an important step on the road to truth.”

“ Connected with the secular rise and fall of large portions of the earth’s surface, another agency which plays an important part in Geological Dynamics has been the subject of some bold singularly persuasive speculations by Mr. Darwin.” (Whewell, 1847)

Nos anos subsequentes, as ideias Catastrofistas foram postas de lado e até mesmo ridicularizadas, ficando o mundo da Geologia dominado pelo paradigma Uniformista. Com efeito, Darwin também contribuiu para que se passasse da “Fase de Revolução Científica” para a “Fase de Ciência Normal” (ver Anexo III). Além de ser um grande geólogo, formulou uma das mais importantes teorias biológicas, que contrapunha a noção de criação pura e simples das espécies, como defendia em geral o paradigma Catastrofista, defendendo a ideia da Evolução das Espécies. Segundo Darwin, os seres vivos evoluíam para outras formas de vida com diferentes características. Ou seja, não aceitava as extinções de espécies, mas a sua lenta e gradual evolução, daí que o registo fóssil apresentasse seres que já não existissem, porque evoluíram. É de notar que nas suas acepções se nota que Darwin foi influenciado pelas ideias de Lyell, tal como já referimos no ponto 1.1 deste Capítulo.

Também estabeleceu a noção de caracteres hereditários, pelo que estas ideias tão avançadas para a altura mereceram a atenção de toda a comunidade científica da época. O seu livro “*Descent of Man*” mereceu uma curiosa caricatura (Fig.II-42) na altura em que foi publicado, onde o autor faz um jogo de palavras com o título.

“We have now seen that man is variable in body and mind; and that the variations are induced, either directly or indirectly, by the same general causes, and obey the same general laws, as with the lower animals.” (Darwin, 1871)

Pese embora as ideias estivessem no caminho que hoje nos parece certo, as caricaturas sociais não se faziam esperar muito. Por outro lado, a forte influência da Igreja e as suas ideias criacionistas contrapunham os dados recentemente obtidos pela Ciência, o que veio acender a chama do conflito. A Figura II-43 ilustra uma dessas críticas sociais onde está bem patente a influência que a teoria biológica de Darwin teve na sociedade de então. Nesta “Casa dos Macacos” estão representados cientistas de várias áreas do

conhecimento, aprisionados numa jaula como se fossem considerados seres perigosos. Por outro lado, a mais célebre caricatura de Darwin, na qual se assemelha a um macaco, está difundida em toda a comunidade científica como se todos fizessem parte do mesmo clã.



Fig.II-42- Caricatura do livro de Darwin, onde se brinca com o nome do livro (imagem gentilmente fornecida pelo Museu de História da Ciência, Whipple Museum, da Universidade de Cambridge).



Fig.II-43- A casa dos macacos (imagem gentilmente fornecida pelo Museu da História da Ciência, Whipple Museum, da Universidade de Cambridge).

O Uniformismo tornou-se então a corrente epistemológica dominante na comunidade científica a partir da última década do século XIX, passando o Catastrofismo a ser considerado uma velha relíquia do pensamento científico e alvo de chacota. Após a vitoriosa ascensão das ideias de Lyell, as Ciências Geológicas, em particular, adquiriram um outro estatuto que nunca antes tinham atingido. Foco de respeitosos olhares e dominando a “Fase de Ciência Normal” que se seguiu durante cerca de 5 décadas, eis que Stephen Jay Gould vem questionar esta forma de Ciência em 1965 (ver Anexo III). Se por um lado os cientistas interpretam o termo Uniformismo à sua própria vontade, o próprio criador do termo também não deixou de ser um pouco instável nas suas concepções. Com efeito, Gould admitiu que existiam dois tipos de Uniformismo, o substantivo e o metodológico. Enquanto que o primeiro se baseava nas teorias geológicas testáveis pela uniformidade das condições ou dos materiais, o segundo tratava-se de um princípio processual, no qual havia a invariância das leis naturais não sendo pois, exclusivo da Geologia (Gould, 1965).

Pretende-se, com esta bordagem inicial, focar o pensamento que dominou as correntes do pensamento geológico durante os finais do século XIX, para melhor compreendermos o que se passou no decorrer do século XX e ainda passa no século XXI. Desta forma, estaremos em condições para analisar os dados recolhidos sobre as controvérsias geradas no assunto das *Extinções em Massa*, em especial no período do século XX.

Apesar de considerarmos que a nova “Fase de Especulação” teve início a meados do século XX, nos finais do século XIX foram surgindo dúvidas que se revelaram pertinentes no ressurgir da questão das catástrofes que assolam, ou assolaram, a Terra. Neste contexto, G.K. Gilbert, no ano 1896, questionou a origem da cratera do Arizona, conhecida na altura por Coon Mountain ou Coon Butte, colocando uma hipótese para a sua formação. Segundo este investigador americano, existiam várias anomalias naquela cratera, considerada até então como tendo origem explosiva, uma solução fácil que o autor não aceitava. Esta sua posição não se deveu a um impulso de contradição, mas a factos que considerou invulgares, como a questão das rochas não serem vulcânicas no local e existirem massas de ferro disseminadas associadas à própria cratera. Ao especular sobre as ideias da formação da Terra associadas à colisão de vários corpos celestes, Gilbert

extrapolou as suas concepções para a origem da referida cratera. Assim, propôs que a colisão de um asteróide com a Terra provocaria as anomalias descritas atrás.

“So when Dr. Foote describe a limestone crater in association with iron masses from outer space, it at once occurred to me that the theme of my speculation might here find its realization. The suggested explanation assumes that the shower of falling iron masses included one larger than the rest, and that this greater mass, by the violence of its collision, produced the crater.” (Gilbert, 1896)

Como seria de esperar, esta ideia foi contestada com novos dados, vindos de estudos levados a cabo no local, que referiam a origem vulcânica dos produtos encontrados nas imediações da cratera.

Em 1927 E.H. Sellards focou este assunto, que anos mais tarde veio a ser considerado uma das causas para a extinção de vários grupos de seres vivos. Com efeito, este cientista americano afirmou que a estrutura de High Plains no Texas teria origem colisional.

“At this locality some meteorite fragments have been found, which, together with the form and character of the depression, suggest the possibility of this crater having been formed by a meteorite striking the earth.” (Sellards, 1927)

A ideia da Terra ser bombardeada por corpos vindos do espaço parecia tão estranha que outras justificações eram atribuídas a estas estruturas da superfície. Porém, a sua aceitação parecia mais próxima do que há aproximadamente vinte anos antes. Cerca de trinta anos depois de Sellards sugerir a colisão de um asteróide com a superfície da Terra, esta ideia já se via como um dado adquirido nas palavras de H.H. Nininger, na revista *Science* de 1951. Nesta altura, a Coon Mountain ou Coon Butte já passara a ser conhecida por Meteor Crater.

Provavelmente já se aceitava a colisão de corpos extraterrestres com a Terra, quando aquele investigador do American Meteorite Museum escreveu, em 1951, sobre um meteorito que em 1908 colidira na Sibéria, provocando grande destruição. O evento de Tungusta, como ficou conhecido, não afectou vidas humanas, devido ao local inabitado em que caiu, contudo a devastação foi enorme o que sugeriu um evento súbito e catastrófico.

As altas temperaturas que se faziam sentir aquando da colisão de um corpo com outro foram parte da justificação que M.W. de Laubenfels, professor no Oregon State College, atribuiu para o desaparecimento dos dinossauros. No seu artigo publicado em

1956 no *Journal of Paleontology*, argumentou como principal causa para a extinção destes grandes animais a colisão de um asteróide seguida de subida repentina das temperaturas. Focara ainda, contudo, outras hipóteses explicativas para o sucedido durante o período Cretácico.

“The survivals and extinctions at the close of the Cretaceous are such as would be generated by extra large meteoritic or planetesimal impacts. (...)”

There is, however, logical reason to believe that heat was the doom of the dinosaurs; not long continued, but brief.” (de Laubenfels, 1956)

Estas ideias foram precursoras de outras que seriam formuladas anos depois, mas não foram aceites redundantemente pela comunidade científica, tanto que, em 1963, Walter H. Bucher, professor e investigador na Universidade de Columbia, escreveu as suas ideias no *American Journal of Science*. Segundo este professor, as estruturas de criptoexplosão não especificavam a sua origem, se terrestre, se extraterrestre. Os vários argumentos contra a sua origem extraterrestre foram rebatidos no mesmo jornal por Robert Dietz, aquele que havia desempenhado um importante papel na temática anterior. Com efeito, Dietz defendeu a sua posição perante o problema, assumindo que a cratera a que se referiam, nomeadamente a Meteor Crater, tinha origem meteorítica. Contudo, não descurou a necessidade premente de se realizarem mais estudos, a fim de que se compreendesse a verdadeira natureza destas estruturas.

“The writer (Dietz) agrees with Bucher that there are many puzzling and unresolved aspects of cryptoexplosion structures and that we are still far from a definitive understanding of their nature. These fascinating structures, which may be terrestrial analogs of lunar craters, deserve scrutiny.” (Dietz, 1963)

Pelo ano 1971, Peter M. Millman, investigador no National Research Council do Canadá, aceitou que os planetas mais próximos da Terra, como a Lua e Marte, tinham nas suas superfícies marcas de impactos de corpos celestes. Então, não havia motivo para se acreditar numa Terra livre dos mesmos acontecimentos naturais. De facto, várias estruturas na superfície terrestre foram identificadas como tendo origem meteorítica.

Vivia-se uma época que consideramos como sendo a nova “Fase de Especulação” (ver Anexo III). Era visível o surgir de ideias e hipóteses explicativas do desaparecimento de espécies do registo fóssil. Um dos períodos que mais chamou a atenção refere-se à passagem do Cretácico para o Terciário, e Norman D. Newell, investigador e professor na

Universidade de Columbia, sugeriu em 1965 causas para as Extinções em Massa desse período. Evocou causas associadas a alterações de salinidade e de alterações das concentrações de nutrientes nas águas do mar como causas prováveis para esse fenómeno, uma vez que os desaparecimentos pareciam ser algo selectivos, não afectando todas as espécies.

Estava iniciado o percurso de especulações sobre um assunto que suscita muita curiosidade, não só à comunidade científica, mas ao público em geral. Assim, outras sugestões foram lançadas e mais tarde constituíram um ponto de referência para aqueles que construíram teorias. K.D. Terry e Wallace H. Tucker, investigadores das Universidades do Kansas e de Rice (Texas), respectivamente, propuseram em 1968 que a explosão de supernovas⁹ ocorridas ao longo da história da Terra poderiam ter causado efeitos na comunidade biótica. Contudo, segundo estes investigadores, as espécies vegetais não saíram afectadas pela exposição à intensa radiação. Por isso, esse facto constituiu a causa para as extinções da fauna. Nestes estudos também verificaram que parecia haver uma certa periodicidade nas extinções, rondando todos os 60 milhões de anos desde o Câmbrico.

“The (...) considerations suggest that cosmic radiation from exploding supernovae could have caused the extinction of many exposed animals, including some marine organisms, without the simultaneous extinction of plant life.” (Terry e Tucker, 1968)

Três anos mais tarde Tucker, em parceria com Dale Russell, que pertencia ao corpo de investigação do National Museum of Natural Sciences no Ottawa, trabalhou novamente a questão da radiação emitida pelas supernovas como causa das extinções. Os dinossauros foram os actores da cena dramática que consideraram ter sido alvo de “efeitos catastróficos”. As alterações climáticas induzidas pelo aporte de radiação extraterrestre pareciam constituir a principal causa para os desaparecimentos em massa de animais. Outros estudos, em anos seguintes, abordaram a possibilidade da redução drástica da camada de ozono, o que colocaria em questão a sobrevivência de várias espécies. Além do mais, a possibilidade da radiação ultravioleta causar mutações genéticas suscitou ainda mais atenção sobre esta possibilidade que considerava uma transmissão hereditária das mesmas, causadoras de alterações biológicas graves e, com consequências desconhecidas, confundíveis até com extinções.

⁹ Supernova- corresponde ao fim violento de uma estrela, no qual as camadas exteriores ficam suficientemente finas e uma porção de energia escapa-se na forma de uma torrente de luz.

“In our case the effect must be catastrophic, for the energy deposited in the upper atmosphere (...).” (Russell e Tucker, 1971)

Sobre este assunto, em 2003, Charles S. Cockell, microbiólogo associado ao estudo do Antártico em Cambridge e da vida extraterrestre na NASA, admitiu que a especulação era maior sobre a questão das supernovas do que perante outros cenários de extinção. A emissão de grandes quantidades de raios ultravioleta, letais à Vida, provenientes de uma estrela no final da sua vida era provada como certa. No entanto, o ser humano nunca presenciou um fenómeno destes para poder inferir com tanta certeza a sua culpa nas Extinções em Massa. Por outro lado, o registo fóssil de um fenómeno destes é muito difícil de ser encontrado, não sendo o único processo de emissão de radiação dentro da nossa Galáxia.

Numa outra perspectiva, segundo o investigador, a Terra alberga seres vivos, como as plantas, que estão continuamente expostos à radiação ultravioleta, mas têm protecções naturais que impedem a sua degradação. Há ainda seres vivos que são nocturnos, vivendo durante o dia abrigados em tocas ou esconderijos subterrâneos. Estes cenários aqui descritos têm a função de chamar a atenção para o facto da Vida no nosso planeta ter, aparentemente, estratégias de sobrevivência que impedem a sua aniquilação pura e simples pela exposição à radiação em questão.

“So could elevated ultraviolet radiation be a motor for evolution, increasing mutation rates and increasing either the rate of change of organisms or diversity of life?” (Cockell, 2003)

As explicações para o desaparecimento maciço de seres vivos levanta, como aliás é natural, muitas especulações. Neste contexto, Thomas J.M. Schopf foi um dos primeiros a estabelecer relação entre esses acontecimentos e o Alastramento dos Fundos Oceânicos, assunto que veio a ser referido e aprofundado anos mais tarde. Segundo este investigador do Departamento de Geofísica da Universidade de Chicago, a extinção do Permo-Triássico atingiu indiscriminadamente todas as espécies marinhas. Este fenómeno pode ter sucedido devido a um possível abaixamento do nível do mar provocado pela deslocação das Placas Tectónicas e diminuição do afastamento do fundo oceânico. Extrapolando estes resultados para as relações bióticas estabelecidas nos mares, o autor defendeu a ideia que aumentou a competitividade entre espécies, pelo que as espécies de águas profundas também sofreram e acabaram por não resistir. Por outro lado, a redução do oxigénio, bem como a diminuição

do espaço de sobrevivência das espécies, resultou na sua susceptibilidade à extinção. Schopf teceu neste artigo, publicado em 1974, algumas críticas às ideias de extinção provocadas pela colisão de corpos extraterrestres, sugerindo hipóteses, segundo ele, mais plausíveis como a que acabamos de referir.

“With significant lowering of sea level, shallow epicontinental seas would become limited to continental margins. Geographic ranges of shallow marine species would correspondingly be reduced, and the probability of extinction therefore increased.” (Schopf, 1974)

Havia e há cientistas que se preocuparam e preocupam com a necessidade de encontrar aquelas que serão as provas cabais para acabar com a dúvida se as Extinções em Massa foram ou não repentinas. É então em 1978 que Stefan Gartner, investigador na Universidade do Texas, e John Keany, a trabalhar no Phillips Petroleum Company Research and Development, apresentaram as suas ideias. Para além de concordarem com as ideias de Schopf no que respeita à influência das placas tectónicas nas extinções, referiram ainda que o evento do final do Cretácico foi relativamente rápido. A eliminação do Catastrofismo do século XIX, parece ter durado pouco tempo, pois o ressurgir nesta altura fruto de novos estudos como estes levanta a ideia de acontecimentos súbitos, repentinos e causadores do desaparecimento de várias espécies.

“In the Late Cretaceous time a highly diversified coccolithosphere and planktonic foraminifer community became extinct within what must be regarded geologically as an instant in time.” (Gartner e Keany, 1978)

Em Ciência pouco é definitivo e as investigações prosseguem a um ritmo muitas vezes difícil de acompanhar. Queremos com isto dizer que novos factos vão surgindo, passando a fazer parte do rol de argumentos que muitas vezes são invocados pelos defensores de teorias, muitas vezes apenas hipóteses, que abalam o seio da comunidade científica. A fim de demonstrar esta nossa ideia, referimos o estudo realizado em 1978 por R. Ganapathy, D.E. Brownlee e P.W. Hodge, que se revelou importante anos mais tarde. Estes cientistas americanos que trabalhavam na área da química, em geologia planetária e em astronomia, respectivamente, verificaram a existência de esférulas de sílica em sedimentos marinhos cuja origem parecia estar relacionada com o impacto de um corpo extraterrestre. Um facto destes tem de ser comprovado com dados fidedignos, e os investigadores em questão utilizaram a técnica de activação de neutrões a fim de detectar a

composição dos elementos traço não voláteis das amostras. Com efeito, o resultado aproximou-se dos do material primitivo do Sistema Solar, apontando desta forma para uma origem extraterrestre das esférulas silicatadas. Após ter surgido no meio científico a teoria das extinções em massa associada com a colisão de um meteorito, Ganapathy foi um dos defensores da ideia, em parte devido a estes estudos realizados em 1978. Ganapathy também trabalhou com Gartner e Ming-Jung Jiang, corroborando anos mais tarde com a hipótese de Luís e Walter Alvarez, da qual ainda não falamos, trazendo novos dados.

“The major extinction of life on the earth at the end of the Cretaceous Period may be related to the meteorite impact.” (Ganapathy , 1980)

“A fifty-fold increase in the iridium content precisely at the Cretaceous-Tertiary boundary over background values has been found in the Brazos river section in Texas.” (Ganapathy, Gartner e Jiang, 1981)

Dewey M. McLean, um professor associado de Geologia na Universidade Estatal e Instituto Politécnico de Virgínia, sugeriu antes que a causa das extinções centrava-se na capacidade das espécies em se adaptarem a novas condições climáticas. Um aquecimento súbito da temperatura global provocaria alterações nos ciclos de carbono e, conseqüentemente, na sobrevivência das espécies. Deu como exemplo as extinções ocorridas no final do Mesozóico (McLean, 1978).

A partir do momento em que os factos passam a fazer parte dos argumentos que constituem teorias, entra-se na “Fase de Competição entre Teorias Rivalis”. Foi o que sucedeu no ano 1980, quando Luís Alvarez, um prestigiado físico nuclear que recebera o Prémio Nobel da Física na década de 60, e o seu filho Walter Alvarez, geólogo que havia sido aluno de Harry Hess, publicaram a sua teoria sobre o que causou as extinções do Cretácico-Terciário (K/T). A notícia publicada na conceituada revista *Science* causou um terramoto na comunidade científica, não só pela notícia em si mas também pelas qualificações académicas dos envolvidos. Walter Alvarez era o único geólogo do grupo liderado pelo seu pai, físico, e os restantes membros da equipa, Frank Asaro e Helen Michel, químicos nucleares (Fig.II-44). Ou seja, para a comunidade de geólogos, a ideia partiu logo sem grandes bases científicas.

Mas, passemos a ver o trajecto levado na formulação desta ideia. Numa saída de campo perto de Gubbio, na Itália, nos anos 70, Walter deteve a sua atenção numa camada de argila vermelha que separava duas camadas de calcário. Uma pertencia ao Cretácico e a

outra ao Terciário. Na tentativa de determinar o período de tempo que havia decorrido na deposição dessa camada, Walter pediu ajuda ao pai para tentar solucionar a questão. Luís Alvarez sabia que Asaro tinha desenvolvido uma nova técnica que permitia estabelecer com rigor a composição química das argilas. Foi então, em parceria com Michel que o grupo de químicos nucleares em 1978 detectou a presença de irídio em concentrações anormais para amostras terrestres.



Fig.II-44- Da esquerda para a direita: Luís Alvarez, Walter Alvarez, Frank Asaro e Helen Michel (In: Alvarez, 2000).

“(...) fomos ao laboratório de Frank para ver qual era o problema e Frank mostrou-nos os seus resultados. Estávamos à espera de cerca de 0,1 ppb de irídio, se a camada de argila se tivesse depositado lentamente, e esperávamos que fosse zero, se a argila se tivesse depositado rapidamente. Nunca tínhamos previsto o que Frank realmente encontrou- 3 ppb de irídio (...). (...) o valor final era de 9 ppb.” (Alvarez, 2000)

As suspeitas foram levantadas a ponto de formularem uma teoria que explicasse uma concentração de um elemento que não existia em quantidades apreciáveis na Terra, mas que em corpos provenientes do Sistema Solar era relativamente abundante. Os dados estavam lançados e a notícia teve diferentes recepções.

“(…) finally, we found that an extension of the meteorite impact hypothesis provided a scenario that explains most or all of the biological and physical evidence. In brief, our hypothesis suggests that an asteroid struck the earth, formed an impact crater, and some of the dust-sized material ejected from the crater reached the stratosphere and spread around the globe. This dust effectively prevented sunlight from reaching the surface for a period of several years, until the dust settled to earth. Loss of sunlight suppressed photosynthesis, and as a result most food chains collapsed and the extinctions resulted.” (Alvarez *et al.*, 1980)

Neste mesmo artigo argumentaram as razões que os levaram a acreditar que a sua teoria era correcta. Com efeito, estudos geoquímicos noutras regiões do globo revelaram igualmente a anomalia de irídio, tendo o grupo colocado duas outras hipóteses para a origem deste elemento. Uma delas implicaria que na altura das extinções houvesse alterações químicas na água do mar, levando à extracção deste elemento residente nas águas do mar. Isto implicaria que a anomalia positiva de irídio fosse compensada por uma anomalia negativa imediatamente acima, o que não se tinha verificado. O outro cenário estava relacionado com a redução na deposição de todos os componentes de sedimentos pelágicos excepto para o pó meteorítico rico em irídio. Este também era um cenário pouco plausível devido ao facto de várias regiões no planeta terem essa característica (Alvarez *et al.*, 1980).

Jan Smit conheceu Walter após este ter publicado a notícia da anomalia de irídio com a sua equipa. O investigador do Instituto Geológico de Amsterdão verificara que em Espanha, Caravaca, também havia esta mesma anomalia na passagem entre os períodos Cretácico-Terciário. Para além disso, o intrigante desaparecimento abrupto de foraminíferos em tudo semelhante ao de Gubbio indicava que algum fenómeno global se poderia ter passado. Smit, a fim de validar as suas pesquisas, contactara Jan Hertogen, um analista belga de activação neutrónica. Os valores eram idênticos aos do grupo Alvarez, pelo que Smit publicou os seus resultados numa perspectiva de confirmação do que os Alvarez haviam teorizado. Em 1980 emitiram assim o seu parecer na revista *Nature*, onde acrescentaram aos dados de Alvarez os seus. Formara-se uma aliança de fortes defensores da Hipótese Colisional para o desaparecimento abrupto de espécies no limite K/T.

“Reports of gradual extinction lose their credibility on more detailed inspection. There remain the catastrophic models which do not have a pre-extinction signal. (...)”

Extraterrestrial influences (...) are geologically speaking instantaneous and in particular the latter explains the high amounts of iridium and osmium.” (Smit e Hertogen, 1980)

Estavam lançados os dados para que novas teorias surgissem no meio científico. Além do mais, esta hipótese vinha levantar o velho fantasma do Catastrofismo, erradicado há anos pelo triunfo do Uniformismo de Lyell. Contudo, as vozes de cientistas faziam-se ouvir em publicações e conferências que ocorreram nesta altura.

Frank Kyte, Zhiming Zhou e John Wasson, todos investigadores em Geofísica na Universidade da Califórnia, neste mesmo ano, diga-se cheio de novidades, publicaram um novo estudo no qual utilizaram amostras provenientes da Dinamarca e de sedimentos do fundo do Pacífico Central. Os resultados revelaram que também tinham valores anormalmente elevados para este grupo de elementos, só justificáveis como tendo uma origem extraterrestre.

“Nevertheless, we tentatively conclude that most of the Ir in the CT sediments is of extraterrestrial origin. Concentrations of Ir are higher than expected from the surficial impact of a comet or an asteroid of chondritic composition; a metal-sulphide asteroidal core is marginally possible, but it seems more likely in the atmosphere.” (Kyte, Zhou e Wasson, 1980)

Noutros trabalhos desenvolvidos por Kyte e Wasson analisaram-se mais amostras da planície abissal do Oceano Pacífico, na tentativa de abranger idades desde os 67 aos 33 milhões de anos. Desta forma a passagem do limite K/T ficaria bem representada. Por outro lado, os resultados revelaram um pico de concentração anómala de irídio neste limite (Kyte e Wasson, 1986). Em conjunto com Lei Zhou concluíram, em 1988, que os detritos do corpo extraterrestre se espalharam por uma vasta área do fundo do Oceano Pacífico, que rondaria os 600km. Estes investigadores da Universidade da Califórnia também não deixaram de apontar uma dimensão provável para o bólido que colidiu com a Terra, referindo que deverá ter sido um dos maiores nos últimos milhões de anos (Kyte, Zhou e Wasson, 1988). Kyte e outros investigadores viram-se anos mais tarde envolvidos na defesa de que esférulas de sílica encontradas em diversos locais do globo, para além de estarem depositadas em locais ricos em irídio e sem vestígios vulcânicos, teriam origem numa colisão (Lowe *et al.*, 1989; Margolis, Claeys e Kyte, 1991).

Um outro defensor das ideias de impacto foi Richard A. Kerr, investigador americano, que no ano 1979 expôs as suas ideias na revista *Science*. No artigo, o autor fez

referência ao poder destruidor de uma colisão extraterrestre, tomando como exemplo o evento de Tungusta e a cratera Meteor no Arizona (Kerr, 1979). Já após a hipótese do grupo Alvarez ter surgido ao público, Kerr emitiu o seu parecer sobre o assunto, fazendo referência aos trabalhos que abordavam a questão da ciclicidade das extinções e das colisões de corpos celestes. Em 1987, quando já havia forte controvérsia entre a Hipótese Colisional e a Vulcânica, Kerr volta a fazer uma abordagem pelo assunto onde foca os pontos críticos de cada defesa de posição. Após a localização da suposta cratera de impacto do limite do K/T, Kerr volta novamente a fazer uma resenha científica, apresentando os argumentos de cada grupo científico. Contudo, a descoberta da estrutura de Chicxulub veio dar nova força à hipótese do grupo Alvarez, muito embora considerasse que seria melhor se fossem encontradas outras crateras associadas a outras extinções em massa (Kerr, 1992).

A questão das esférulas revelou-se importante nesta dinâmica da Teoria de Impacto, no sentido em que, constituíam provas de uma forte colisão, com conseqüente fusão e solidificação de gotículas. Não se conheciam na Terra côndrulos análogos aos de meteoritos e da Lua até 1981, altura em que Gunther Graup, mineralogista e petrologista de uma Universidade alemã (Tubingen), afirmou que na cratera Ries, Alemanha, havia não só côndrulos como esférulas de vidro. Ora este facto indicava a origem colisional destes materiais, e a probabilidade que esses côndrulos e esférulas fossem encontrados noutras regiões de impacto.

“By analogy with the Ries impact crater, it is possible that the chondrules also will be detected in other terrestrial impact craters where ejecta masses are preserved, and where impact were of sufficient size to have generated impact rock melts.” (Graup, 1981)

Smit e G. Klaver também abordaram a questão das esférulas que, segundo os investigadores, solidificaram a partir de uma fusão originada pela colisão de um bólido e que deixou vestígios disso mesmo nos materiais (Smit e Klaver, 1981). Três anos depois, Smit trabalhou com Kyte na questão das esférulas nos sedimentos do limite K/T, continuando com a mesma convicção acerca da sua origem, para além de acrescentarem mais pormenores à defesa desta tese.

“These spheroids contain higher concentration of Ir and probably other siderophiles than the bulk sediment and may have been an important carrier for these elements at 65 M.yr. this discovery supports evidence for a major accretionary event at the end of the Cretaceous.” (Smit e Kyte, 1984)

Uma vez numa fase que, de acordo com Kuhn, se denomina de “Competição entre Teorias Rivais”, é natural que as vozes oponentes surjam relativamente aos argumentos dos primeiros investigadores. Assim, e no que respeita à questão da anomalia de irídio provocada pela colisão de um corpo extraterrestre, em 1983 William H. Zoller, Josef R. Parrington e Janet M. Phelan Kotra, investigadores da Universidade de Maryland, publicaram um artigo que, de certo modo, foi o lançar de dúvidas quanto a este argumento do grupo Alvarez. Falava da abundância de irídio em produtos vulcânicos do recente acordado vulcão Kilauea. Por outro lado estabeleceram relação entre este género de actividade vulcânica e os basaltos do Decão, na Índia (Fig.II-45).

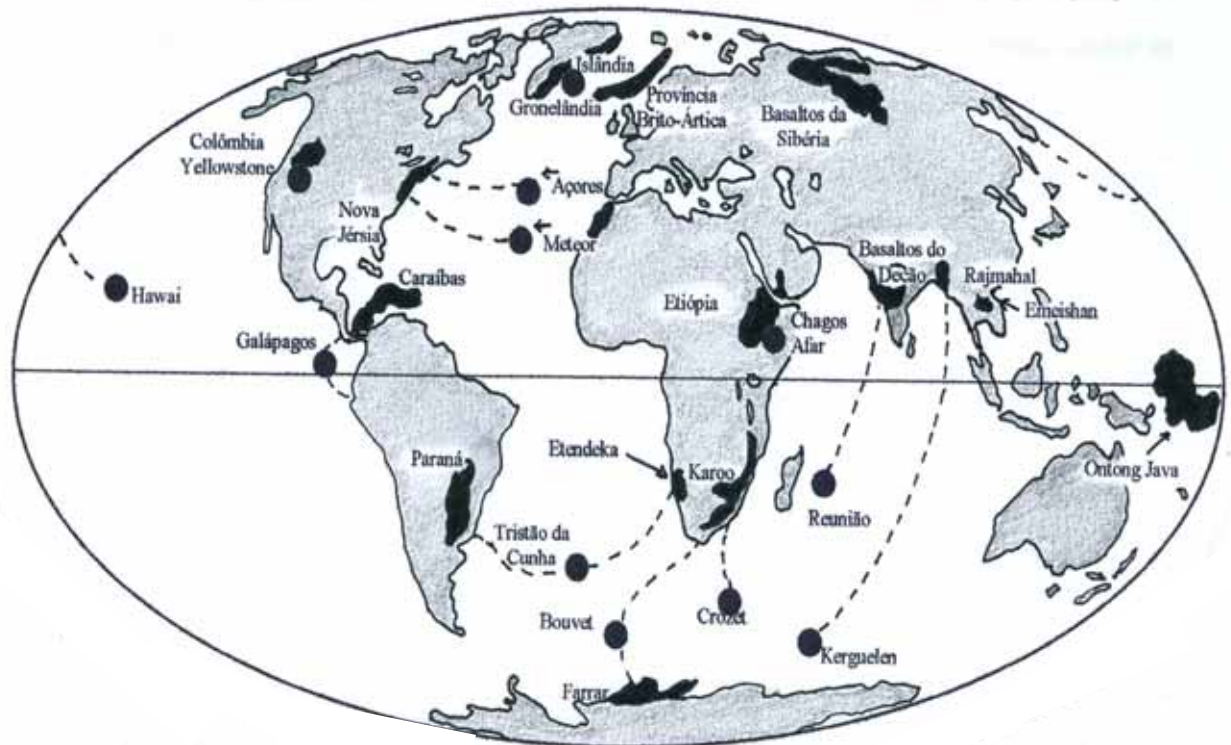


Fig.II-45- Localização de províncias basálticas continentais (adaptado de Courtillot, 1999).

“If volcanism was instrumental in producing the K-T boundary layer, the volcano was certainly not Kilauea but may have been similar to the one that formed the Deccan Flood basalts.” (Zoller, Parrington e Kotra, 1983)

Este assunto dos basaltos do Decão foi abordado uns anos mais tarde, de forma aprofundada e relacionada com as plumas do manto, pelo professor de Geofísica da Universidade de Paris, Vincent Courtillot. Mas não foi só este investigador que se opôs às ideias da colisão de um corpo celeste como causa da rápida extinção em massa do K/T.

Charles B. Officer e Charles L. Drake, ambos geólogos, afirmaram em 1983 que as anomalias de irídio encontradas por outros investigadores se poderiam relacionar com fenómenos terrestres. Segundo estes, o extenso vulcanismo, regressões marinhas e alterações geoquímicas, paleoclimáticas e paleoceanográficas seriam os verdadeiros responsáveis pelas extinções no famoso limite K/T. Por entre estes argumentos, salientaram ainda que as extinções foram lentas e graduais, o que contrastava inteiramente com as opiniões proferidas em 1980 pelo grupo Alvarez.

“The vanishing nanoplankton species disappear gradually from the last few centimeters in the marlstone through the lower half of the boundary shale; the new species become dominant in the middle of the slate.” (Officer e Drake, 1983)

A meados da década de oitenta, um grupo de investigadores liderado pelo geólogo do U.S. Geological Survey (Colorado) Bruce Bohor descobriu que uma camada do K/T de argila da região Este do Montana, para além de conter anomalia de irídio, continha também fracções clásticas de quartzo e feldspato. Estes minerais apresentavam estruturas superficiais planares com orientações precisas, típicas de metamorfismo de choque, constituindo evidências de uma colisão de alta velocidade entre um corpo extraterrestre e a Terra. Bohor e os seus colaboradores argumentaram que a orientação das estruturas planares era indicadora de metamorfismo de choque (Fig.II-46). Este facto apoiou fortemente a Hipótese Colisional de Alvarez, para além dos estudos nesta área terem sofrido um grande incremento.

“Our quartz grain showed very noticeable asterism in its pattern, confirming its exposure to high shock pressures.” (Bohor *et al.*, 1984)

A ideia de uma catástrofe que aniquilara grande parte da Vida na Terra num determinado período da sua existência ainda soava nesta altura a algo distante. Mas os dados que surgiam de investigações audaciosas faziam atrair novos conceitos e teorizações. Dentro desta linha de pensamento, salientamos dois paleontólogos da Universidade de Chicago que, no ano 1984, sugeriram que as extinções ocorreram num ciclo regular de cerca de 26 milhões de anos (Raup e Sepkoski, 1986). Estes dois cientistas, Dave Raup e Jack Sepkoski, foram a base para que outros, como Daniel P. Whitmire e Albert A. Jackson IV, dos Estados Unidos da América, procedessem a estudos nesta área. Com efeito, estudaram a ciclicidade das extinções em massa segundo um modelo que contemplava a articulação com o período orbital de uma estrela companheira do Sol. A

passagem da companheira do Sol pela nuvem de cometas¹⁰, teria interferido com as suas órbitas normais, causando dessa forma uma chuva de cometas contra os planetas, incluindo a Terra, e as extinções (Whitmire e Jackson IV, 1984).

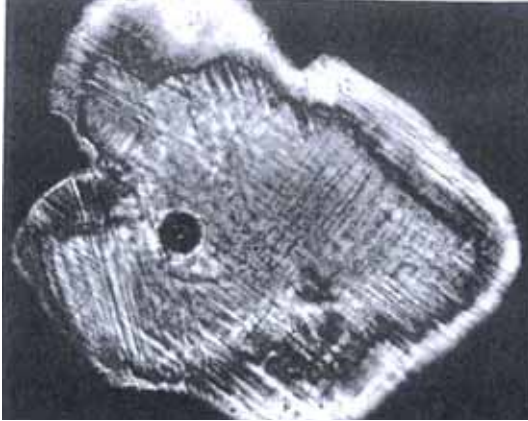


Fig.II-46- Grão de quartzo de choque visto ao microscópio óptico de luz polarizada (a figura tem 1mm de largura) (In: Courtillot, 1999).

Mar Davis, Peit Hut e Richard Muller, no mesmo ano e na mesma revista em que Whitmire e Jackson IV haviam publicado o seu estudo, também emitiram o seu parecer sobre o assunto. Muller, amigo de Luís Alvarez, já havia analisado a ideia de Raup e Sepkoski e concluíra que, de facto, havia uma periodicidade nas extinções. O grupo de Muller veio corroborar com as ideias atrás descritas. Acresceram que a referida companheira do Sol, não visível, existia e perturbava a “nuvem de Oort” provocando inúmeras colisões, em especial com os planetas interiores. A designação atribuída a esta estrela pequena e escura, ainda não descoberta, foi de Némesis.

“During each passage this unseen solar companion perturbs the orbits of these comets, sending a large number of them (over 1×10^9) into paths which reach the inner Solar System.” (Davis, Hut e Muller, 1984)

Num trabalho conjunto levado a cabo em 1984, Walter Alvarez e Muller chegaram à conclusão que as extinções ocorreram com uma periodicidade que rondava os 28,4 milhões de anos, baseados no registo de crateras de impacto da Terra.

¹⁰ Nuvem de cometas- estima-se que seja um reservatório de cometas situado a distâncias superiores a cerca de 49,39 Unidades Astronómicas (UA) (sendo 1 UA equivalente à distância entre a Terra e o Sol, que se aproxima dos $149,6 \times 10^6$ km) até cerca de 50 000 UA. Este reservatório, por sua vez, subdivide-se em dois grupos, consoante o período de translação dos cometas. Os de período curto encontram-se na chamada Cintura de Kuiper, entre as 49,39 UA até cerca de 500 UA. Os cometas de período longo, encontra-se na Nuvem de Oort, entre os cerca de 500 UA e os 50 000 UA.

Anos mais tarde, Raup fez um estudo exaustivo sobre as extinções publicado no seu livro de 1991 “*Extinction, bad genes or bad luck?*”. Nele concluiu que havia várias hipóteses explicativas para as extinções, sendo a mais plausível a Colisional, podendo ser responsável pelo menos por uma das 5 grandes extinções em massa de que havia conhecimento. Fez ainda referência à sua ideia conjunta com Sepkoski e analisou o impacto que havia causado na comunidade científica. A conclusão foi de que metade dos cientistas aceitava a periodicidade dos 26 milhões de anos, outra metade não aceitava ciclicidade, mas uma grande parte dos astrónomos rejeitava a ideia de uma estrela companheira do Sol. No fundo, apesar deste cientista aceitar a Hipótese Colisional, também admitia que houve um pouco de má sorte para a Terra, uma vez que sofreu colisão. Por outro lado, e de acordo com estudos paleontológicos e de populações actuais, a questão da competição e alterações genéticas também contribuiu e ainda contribui para o desaparecimento de certas espécies. Ou seja, a má sorte também se aplica nestas situações.

“Extinction is evidently a combination of bad genes and bad luck. Some species die out because they cannot cope in their normal habitat or because superior competitors or predators push them out. But, as is surely clear from this book, I feel that most species die out because they are unlucky. They die because they are subjected to biological or physical stresses not anticipated in their prior evolution and because time for Darwinian natural selection to help them adapt.” (Raup, 1991)

Para além da ideia da estrela companheira do Sol, outras opiniões surgiram nesta altura. Michael Rampino, investigador ligado à pesquisa espacial e professor na Universidade de Nova Iorque, e R.B Sothers, um colega seu, aceitavam a ideia de extinções periódicas, mas no entanto sugeriram outros períodos para estes acontecimentos globais, propondo os cerca de 30 ± 1 milhões de anos. Basearam-se na questão do ciclo terrestre estar relacionado com o tempo necessário para o Sistema Solar oscilar verticalmente no plano da galáxia, correspondente a aproximadamente a este valor. Além disso, nuvens interestelares próximas poderiam afectar o reservatório de cometas, causando um aumento do seu influxo para a Terra (Rampino e Sothers, 1984).

O estudo estatístico de ocorrências colisionais foi feito por Clark R. Chapman, investigador do Instituto de Ciência Planetária do Arizona, e David Morrison, ligado à pesquisa na NASA, em 1994, estabelecendo relação directa entre a dimensão do objecto e a probabilidade de uma colisão. As conclusões foram interessantes, apesar de não terem

causado grande surpresa naquela época. Assim, os asteróides do tipo de Tungusta, com cerca de 50m de diâmetro, ocorriam uma vez entre aproximadamente 500 anos, enquanto que o provável corpo que colidiu com a Terra no limite K/T teria um diâmetro superior a 3×10^3 km, ocorrendo num período superior aos 10^7 anos (Chapman e Morrison, 1994). Anos mais tarde Chapman admitiu que as colisões por si só poderiam ter sido as grandes responsáveis pelas extinções que ocorreram na Terra.

“Therefore, since the NEA (Near-Earth Asteroids) impacts inevitably happened, it is plausible that they- and chiefly they alone –caused the mass extinctions in Earth’s history (...), even though proof is lacking for specific extinctions. (...) And even if one or more extinctions do have other causes, the largest asteroid/comet impacts during the Phanerozoic cannot avoid having left traces in the fossil record.” (Chapman, 2004)

O que se verificava, contudo, era que a ideia da colisão ia ganhando cada vez mais adeptos, surgindo inevitavelmente dados novos interpretados como mais provas a favor da mesma. Smit e A.J.T. Romein, investigador de uma Universidade holandesa, em 1985, procederam à realização de estudos litológicos e biológicos no limite K/T a nível global. As conclusões a que os dois cientistas chegaram foi a de que as esférulas se encontravam no meio da sequência com elevada anomalia de irídio. As análises paleontológicas apontavam para resultados explicáveis pela colisão de um bólido, na qual as espécies sofreram de stress por todo o globo. Era visível a sua discórdia em relação às conclusões apresentadas por Officer e Drake, que contestaram as conclusões de Smit e seus colaboradores, quando estes afirmaram que os vestígios litológicos e paleontológicos do limite K/T apareciam de forma sincrónica por todo o globo. Por outro lado, esses cientistas oponentes à ideia de uma colisão afirmaram que o fenómeno responsável pelas extinções foram intensas erupções vulcânicas.

“The available geologic evidence favours a mantle rather than meteoritic origin for these elements. These results are in accord with the scenario of a series of intense eruptive volcanic events occurring during a relatively short geologic time interval and not with the scenario of a single large asteroid impact event.” (Officer e Drake, 1985)

Peter Ward, da Universidade de Washington, e seus colaboradores da Alemanha e da Califórnia publicaram, em 1986, estudos biostratigráficos realizados em Zumaya, Espanha, em secções do K/T e verificaram que as extinções de diversas espécies foram abruptas e rápidas. Contudo, os opositores deste conceito desenvolviam hipóteses

contrárias evocando os fenómenos da bioturbação como responsável pela modificação do registo sedimentar.

Os fenómenos de bioturbação dos sedimentos no limite K/T, tal como a distribuição do irídio, parecia não ser concludente, em virtude da sua distribuição apresentar dois padrões temporais, além de não haver grande anomalia do elemento. Estes serviram de argumentos a Officer e Drake para contestarem a Hipótese Colisional. A questão centrava-se, em especial, na dimensão temporal da deposição do irídio. Por outro lado, a possível origem vulcânica desse elemento também veio acender a controvérsia, tal como as esférulas que poderiam ter uma origem ígnea.

Em 1986, Carter, Officer e um grupo de cientistas chegaram à conclusão que os microtectitos, argumento usado pelos defensores da Hipótese Colisional, afinal poderiam ter origem em explosões vulcânicas muito intensas, como a de Toba. A sílica deformada podia estar ligada a um tipo de vulcanismo ácido, não precisando de ser invocada a causa extraterrestre para a existência dessas pequenas estruturas.

“Peak shock stresses from explosive silicic volcanism and other endogenous processes may be high and if so would obviate the need for extraterrestrial impacts to produce all dynamically deformed structures, possibly including shock features observed near Cretaceous/Tertiary boundary.” (Carter *et al.*, 1986)

Numa resposta a este trabalho, Bohor e G. Izett, um geólogo americano, contestaram as aceções de Carter *et al.*, afirmando que seria muito pouco provável encontrar uma grande abundância de minerais de choque provocados por uma erupção vulcânica. Segundo Bohor, esses investigadores não tiveram em consideração que a falta de minerais típicos de erupção vulcânica simplesmente não se encontrava nas amostras do limite K/T. Por seu lado, Carter e Officer responderam dizendo precisamente o contrário, ou melhor, que não encontraram quartzo de choque nas amostras desse período (Izett e Bohor, 1987; Carter e Officer, 1987).

Em 1987, Bohor e colaboradores realizaram mais estudos sobre este assunto das esférulas de quartzo deformado. Vários locais do globo serviam de amostras, revelando ter também estas estruturas em associação com o irídio. Nesta altura, a questão também se prendia com a necessidade de se saber onde tinha ocorrido o impacto, se em terra ou no mar. Bohor defendeu a ideia de que a colisão se teria processado na terra, devido à natureza das esférulas do limite K/T (Bohor, 1987). Por outro lado, Bohor, em trabalho

com outros colaboradores, analisou sequências estratigráficas datadas do final do Cratácico, no Wyoming. O resultado da reconstrução do perfil estratigráfico está representado na Figura II-47, onde se vê patente a dita “camada mágica” (do inglês “magic”layer) que continha uma forte anomalia positiva de Irídio. Além do mais o aparecimento desta camada era abrupto, o que sugeriu um evento, que segundo os autores, corroborava a ideia do grupo Alvarez.

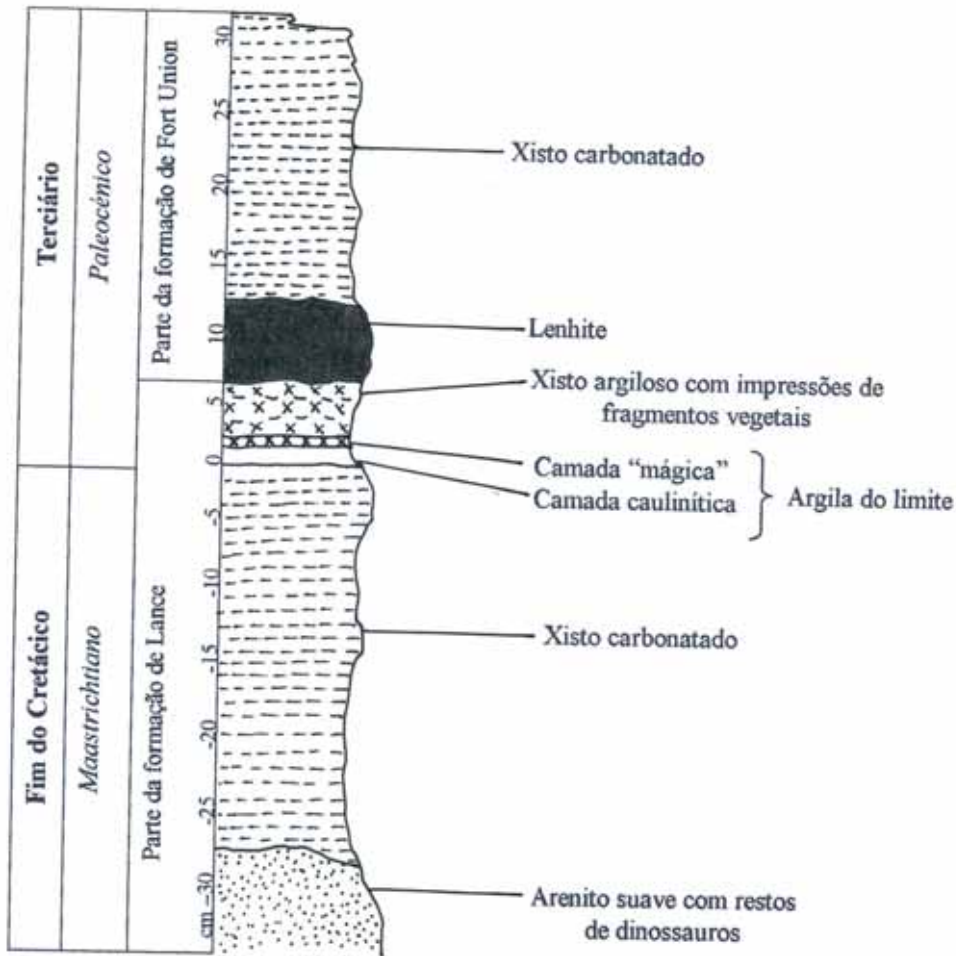


Fig.II-47- Perfil estratigráfico do Wyoming (adaptado de Bohor *et al.*, 1987).

“The Alvarez hypothesis of an earth-girdling dust cloud of ejecta from the impact of a large extraterrestrial body is strongly supported by these data.” (Bohor *et al.*, 1987)

Quaisquer que fossem os argumentos utilizados pelos cientistas envolvidos na questão, uma coisa era certa, as planícies basálticas continentais tratavam-se de uma realidade. Assim, o estudo em especial dos basaltos do Decão, veio a ser mais um argumento da hipótese vulcânica para a extinção em massa, nomeadamente a do limite

K/T, cuja duração não fora instantânea. Smit e Romein não partilharam destas ideias, tecendo críticas aos estudos feitos nesse sentido.

“Contrary to the conclusions of Officer and Drake, the K/T boundary appears synchronous worldwide. Only a major impact with all its environmental consequences seems capable of explaining all lithological, trace element, and biological evidence.” (Smit e Romein, 1985)

As equipas das quais fazia parte Officer chegavam inevitavelmente às mesmas conclusões. O vulcanismo era o responsável pelas extinções em massa, mais concretamente da do limite K/T. Em 1987, publicaram na *Nature* um artigo que associava um intenso vulcanismo com alterações climáticas, causadoras de uma certa selecção das espécies que pereceram, verificada no padrão de extinção desse limite. Ou seja, uma época com muitas rivalidades e artigos publicados na imprensa científica, o que vinha revelar o carácter por vezes criativo dos cientistas. Isto porque, com os mesmos argumentos conseguiam-se construir hipóteses distintas e aparentemente oponentes.

A década de 80 revelou-se francamente rica em controvérsias, e neste contexto Robert Sloan, geólogo da Universidade do Minnesota, e o seu grupo de trabalho de 1986 criticaram a hipótese de Alvarez por ser muito simplista perante os factos que lhe serviam de argumento. Este grupo veio contestar o cariz catastrófico patente na ideia Colisional e forneceu novos dados que mostravam o desaparecimento gradual e progressivo dos dinossauros.

“Alvarez argued that there is no reduction in dinosaur density within the Hell Creek Formation. But the largest body of information available to us suggests strongly that just such a reduction in density did occur.” (Sloan *et al.*, 1986)

Outras perspectivas da Hipótese Colisional foram apresentadas por Donald R. Lowe e Gary R. Byerly, ambos geólogos da Universidade de Louisiana. Estes cientistas encontraram camadas de esférulas silicatadas de idades que rondavam os 3,2 a 3,5 mil milhões de anos, não apresentando relação com actividade vulcânica. Neste sentido, sugeriram que estas ocorrências foram o resultado de uma colisão de meteorito ou cometa, constituindo estas esférulas os produtos de colisão mais antigos de que há registo. O resultado deste estudo só veio dar mais força à Hipótese Colisional, continuando a alimentar o fogo da competição entre ideias rivais.

“The layers and particles appear to be unrelated to volcanic activity, and we suggest that both occurrences may represent melt droplets formed during meteorite or comet impacts.” (Lowe e Byerly, 1986)

Rampino contribuiu com novas ideias para esta temática. No ano 1987, fez um ponto da situação da questão das extinções em massa, pelo que questionou se as colisões não poderiam estar associadas ao vulcanismo. Argumentou ainda que a colisão de um grande corpo com a superfície da Terra poderia causar transtornos geológicos significativos. Além disso, referiu o curioso facto dos basaltos do Decão terem a idade do limite K/T.

“Perhaps the target area(s) for the largest K/T impactor(s) lies beneath the Deccan Traps, the Iceland hotspot (...), or some other hotspot or oceanic plateau. The extinctions at the K/T boundary might therefore be related both to impact and volcanic phenomena.” (Rampino, 1987)

Mas anos mais tarde, Rampino chegou à conclusão que, de facto, o papel das colisões de corpos extraterrestres com a Terra era um factor de grande peso na história das extinções. Os ciclos da nossa galáxia e os fluxos de material, segundo o autor, pareciam estar geralmente aceites por uma grande parte dos cientistas, pois a coerência dos argumentos era nítida.

“Discrepancies in the periodicities detected in the extinctions and cratering may be the result of a combination of dating errors, mixtures of periodic and nonperiodic events, and true irregularities in the underlying cycle.” (Rampino, 1999)

Contudo, a visão conjunta de duas causas para as extinções do K/T viria a ser utilizada alguns anos mais à frente, como se verá. Naquela altura, Luís Alvarez continuava na investigação sobre o assunto, pelo que em 1987 surgira com uma análise dos trabalhos que já haviam sido realizados nesta área. Criticou Officer e Drake quando referiram a origem terrestre do irídio tal como o encontrado nas lavas do Kilauea. Teceu igualmente comentários acerca de uma das mais fortes oponentes à Hipótese Colisional única, causadora de extinções rápidas e globais. Trata-se de Greta Keller (Fig.II-48), uma paleontóloga que também entrou em choque com Smit (Alvarez, 1987).



Fig.II-48- Greta Keller (In: Keller *et al.*, 2003).

Courtillot e Jean Besse, seu colega de equipa da Universidade de Paris, fizeram importantes estudos que vieram funcionar como impulsionadores da formulação daquela que viria a constituir a hipótese oponente à dos impactos. Tratava-se de uma teoria defendida igualmente por argumentos plausíveis. Neste sentido, argumentaram que existia uma relação estreita entre a convecção do manto superior e os movimentos da litosfera. As extinções em massa estavam relacionadas com as inversões de polaridade da Terra, tendo ocorrido após longos períodos em que não se verificou essa inversão magnética. Segundo os autores, possivelmente esse fenómeno provocou instabilidades do manto inferior, sendo o resultado um intenso vulcanismo. Este, ao libertar grandes quantidades de cinza para a atmosfera, mudou todo o padrão climático e bioquímico da Terra, conduzindo às extinções. Neste sentido, convém referir que Courtillot não rejeitava a ideia catastrofista do sucedido. Apenas não concordava com a Hipótese Colisional.

“It has become generally accepted that major extinction events correspond to impacts of large extraterrestrial bodies on earth. However, one can argue that the case for a volcanic cause cannot be ignored. It would be particularly appropriate, in the light of the data and model proposed here, to further test the idea that catastrophic extinctions are related to catastrophic volcanism with primary internal sources.” (Courtillot e Besse, 1987)

A crítica mais levantada à ideia de Courtillot e seus colaboradores residia na determinação correcta das idades dos fluxos basálticos. Na tentativa de minimizarem o risco de descrédito, foram actualizando as suas investigações, no sentido de se aproximarem o máximo daquilo que esperavam ser a verdade. Ou seja, que esses basaltos

datassem do limite K/T, 65 milhões de anos. Em 1988 o valor apresentado foi entre os 69 e os 65 milhões de anos (Courtillet *et al.*, 1988). Um ano mais tarde cingiram o vulcanismo a 1 milhão de anos de duração, o que já se vinha a apresentar mais próximo do pretendido (Gallet *et al.*, 1989).

Em 1990, Courtillet, Alvarez e Asaro expuseram as suas ideias num mesmo artigo da *Scientific American*. Nele dão conta dos seus argumentos aos leitores, deixando a opção final aos mesmos. Porém, ambos os grupos de investigação concordam com um acontecimento dramático que ocorreu no limite K/T, permitindo o crescente domínio dos mamíferos em detrimento dos répteis.

“Murder suspects typically must have means, motive and opportunity. An impact certainly had the means to cause the Cretaceous extinction, and the evidence that an impact occurred at exactly the right time points to opportunity. The impact hypothesis provides, if not motive, then at least a mechanism behind the crime.” (Alvarez e Asaro, 1990)

“Magnetic reversal’s in the earth’s core and eruptions of large plumes in the mantle may be manifestations of the fact that the earth is a chaotic system. Variations in the frequency of magnetic reversals and breakup of continents over the past few hundred million years hint that the system may be quasi-periodic: catastrophic volcanic episodes seem to occur at intervals of 200 million years, with lesser events spaced some 30 million years apart.” (Courtillet, 1990)

Steven Stanley, conceituado investigador e autor de vários livros e artigos científicos, no seu livro “Extinction”, de 1987, compilou os dados existentes em relação às várias extinções em massa que ocorreram no planeta. Ao analisar a ideia proposta por Raup e Sepkoski e tendo em consideração o que James Quin havia referido sobre o assunto, chamou a atenção que houve muito poucas extinções em massa para se poder concluir que havia uma ciclicidade nas mesmas e causadas por colisões regulares de corpos celestes.

“It has been proposed that mass extinctions have occurred every 26 million years. The validity of this assertion is not as easily assessed as one might expect. First, the dates of the mass extinctions are not precisely known. Second, there is some question whether some intervals characterized by relatively high extinction rates constituted true mass extinctions or only times of slightly elevated background rates.” (Stanley, 1987)

O autor referiu várias causas como responsáveis pelas extinções e apontou não só a colisão de um corpo extraterrestre como a geografia do planeta, considerando sempre estes acontecimentos como catastróficos. Sobre este assunto, anos antes, em 1984, W.A. Berggren e John A. Van Couvering, editores de um livro onde estão compiladas algumas opiniões de cientistas envolvidos na temática, apelidaram à época actual como sendo do *novo uniformismo*.

Keller, da Universidade de Princeton, Nova Jérсия, a grande opositora das extinções repentinas contestou os resultados das análises biostratigráficas levadas a cabo por outros investigadores como Smit. Nos seus estudos em El Kef, Tunísia, Keller concluiu que a extinção dos foraminíferos planctónicos não ocorrera apenas no limite K/T da anomalia de irídio. Isto porque havia fósseis destes seres acima desse limite, o que indicava a sua sobrevivência, estando Alvarez e o seu grupo errados. O desaparecimento parecia ser antes sequencial e selectivo, sendo a sua recuperação após a maioria da extinção começado logo após o acontecido. Além disso, verificou-se o aparecimento de espécies novas e maiores, o que não era explicável se tivesse ocorrido um fenómeno único de impacto. Pese embora se verificasse um fenómeno de extinção, este iniciara-se bem antes do limite K/T, por isso recusou a ideia Colisional. Aceitava sim, alterações ambientais com consequente variação das correntes marinhas o que causaria sérios transtornos na oxigenação e aporte de nutrientes às espécies marinhas. O facto da extinção ser selectiva e ter-se iniciado pelas espécies mais complexas, menos tolerantes, era indicador de alterações ambientais. Keller sugeriu causas múltiplas para as extinções que se iniciaram antes do limite K/T.

“The present study suggests a multi-cause scenario including pre K/T boundary extinctions possibly related to production of warm saline bottom waters and its geochemical consequences, (...)” (Keller, 1988)

Apesar de não colocar de lado a ideia de uma colisão neste artigo, um ano mais tarde e novos estudos realizados em Brazos River fizeram-na mudar de opinião relativamente a essa Hipótese. Keller baseara-se em estudos realizados pela equipa de Joanne Bourgeois, todos geólogos de várias universidades dos Estados Unidos da América (Washington, Western Washington e Colorado), na mesma localidade. Esse grupo havia concluído que a acumulação de sedimentos tinha resultado de um tsunami originado pela colisão de um bólido no água (Bourgeois *et al.*, 1988). Contudo, Keller neste estudo, referiu que os dois pulsos de extinção ocorreram cerca de 310 000 anos antes e 50 000

anos depois do limite K/T. Por este motivo, discordou da hipótese de uma catástrofe global que tenha causado a extinção do K/T.

“The hypothesis of a global catastrophic mass extinction at the K/T boundary caused by a large extraterrestrial impacts is not supported by the Brazos River planktonic foraminiferal data.” (Keller, 1989)

Um ano depois reforça a sua convicção, baseada nos isótopos de carbono, pelo que afirmou que houve uma aumento da sedimentação de carbonatos e diversificação dos foraminíferos plactónicos, estando este facto associado com a recuperação do ecossistema, cerca de 230 000 anos depois do evento do limite K/T.

“(…) stable isotopic data unequivocally show the survivorship of many Cretaceous species well into the early Tertiary.” (Keller e Barrera, 1990)

A ideia de que a extinção do final do Cretácico não foi súbita também teve o apoio de Anthony Hallam, conceituado professor de geologia da Universidade de Birmingham e autor de vários artigos e livros científicos, e K. Perch-Nielsen, geólogo sediado em Surrey, em 1990. O estudo desenvolvido por estes dois cientistas levou-os a afirmar com grande certeza que, apesar de muitas espécies de plâncton terem desaparecido durante esse período, não era sinónimo de um acontecimento repentino e drástico. Além do mais, muitas espécies já se encontravam em declínio muito antes da catástrofe ter tido lugar (Hallam e Perch-Nielsen, 1990). Todos estes factos apontavam para a ideia de que algum outro acontecimento se tinha iniciado e que condicionara a sobrevivência de espécies planctónicas.

Nesta altura, inícios dos anos 90, a questão prendia-se com a falta de uma dita gigantesca cratera de impacto que tivesse sido a responsável pela extinção do K/T. Em Maio de 1990, Alan R. Hildebrand (Fig.II-49) e William V. Boynton, colegas do Departamento de Ciências Planetárias da Universidade do Arizona, publicaram na *Science* um artigo no qual já se dava a entender onde poderia estar a referida cratera. A sua localização geográfica rondaria entre as Américas do Norte e do Sul. Os estudos anteriores em Brazos River tinham lançado a ideia de ser um depósito de uma onda gigantesca provocada pelo impacto. Hildebrand e Boynton consultaram mapas topográficos da região das Caraíbas e verificaram haver indícios suspeitos.

“Three lines of evidence indicate that the K/T impact was located near, and probably between, North and South America:

- 1) The maximum concentration of shocked mineral grains and the largest grains occur in North America.
- 2) Probable impact-wave deposits have been reported at the K/T boundary only from the Caribbean and southern North America. (...)
- 3) The ejecta layer is known only from North America locales, and this distribution suggests a nearby impact. (...)" (Hildebrand e Boynton, 1990)



Fig.II-49- Philippe Claeys (esquerda) e Alan Hildebrand (direita) (In: Alvarez, 2000).

Bohor, um dos defensores da ideia da colisão de um corpo extraterrestre, neste mesmo ano e conjuntamente com Russell Seitz, investigador de Massachusetts, realizou estudos na região de Cuba e afirmou que o local do evento catastrófico teria ocorrido a cerca de 1350km do local proposto por Hildebrand e Boynton. Segundo o investigador, os dados estratigráficos ricos em esférulas de colisão e apresentando anomalia de irídio era o local que se procurava.

“We propose that the Big Boulder Bed is an impact ejecta blanket proximal to a large, complex impact crater lying to the south of the western half of Cuba. This location for the K/T crater is ~ 1,350km from the site proposed by Hildebrand and Boynton in the Colombian basin.” (Bohor e Seitz, 1990)

Mas em 1991, Hildebrand em conjunto com outros chegaram à conclusão que a cratera poderia estar localizada na península do Yucatão, México (Fig.II-50).

Argumentaram em sua defesa usando dados gravimétricos, registros estratigráficos e evidências petrológicas.

“We suggest that a buried 180km diameter circular structure on the Yucatán Peninsula, Mexico is an impact crater. (...) We describe geophysical, stratigraphic, and petrologic evidence indicating that this structure is a large impact crater of possible K/T boundary age.” (Hildebrand *et al.*, 1991)



Fig.II-50- Península do Iucatão – México.

Os mesmos investigadores chegaram mesmo a estabelecer um perfil estratigráfico em zonas circundantes à suposta cratera, a fim de confirmar as suas suposições. Neste contexto, analisaram três locais a distâncias por eles estabelecidas e que se encontram clarificadas na Figura II-51. Segundo os dados recolhidos, uma importante fração de minerais apresentava características de choque, o que só vinha ao encontro do que defendiam.

Foi a altura provavelmente mais importante da Hipótese Colisional. Já havia um local provável para a referida colisão extraterrestre. Como seria de esperar numa situação destas, a comunidade científica procedeu a novos estudos, uns no sentido de defender a ideia, outros na tentativa de a destituir do alto posto que havia alcançado. Porém, as evidências, por vezes, são difíceis de rebater.

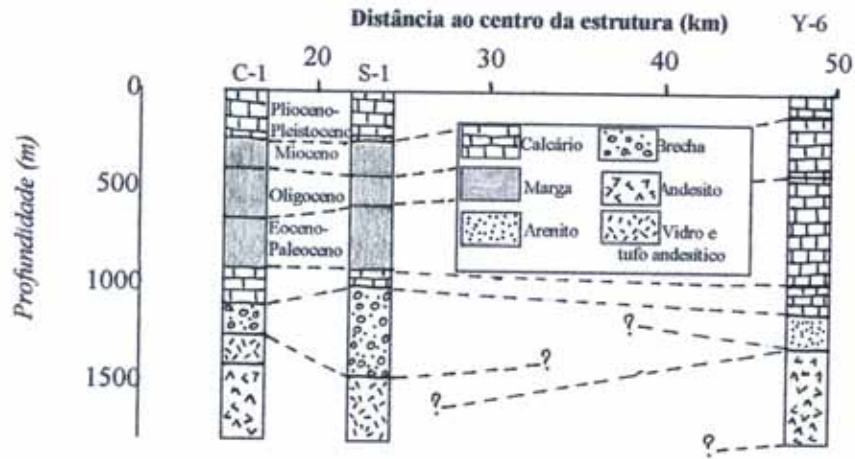


Fig.II-51- Colunas estratigráficas de três locais na cratera de Chicxulub (adaptado de Hildebrand *et al.*, 1991).

A descoberta da *cratera da destruição*, como lhe apelidou Walter Alvarez no seu livro de 2000, levou-o a realizar estudos sobre a trajetória do impacto e consequentes efeitos. Anteriormente, no ano 1996, Alvarez lembrara que o movimento de rotação terrestre ajudou na dispersão do ejecta pelo globo, para além de o ter propagado essencialmente para Oeste (Alvarez, 1996). Elisabetta Pierazzo e H. Jay Melosh seguiram esta linha de estudo no ano 1999, num estudo em que consideraram a colisão do objecto em vários ângulos. Tratou-se de um estudo pertinente e interessante a fim de se compreender como de facto poderia ter sido o evento catastrófico que afectou o planeta. Estes investigadores da Universidade do Arizona procederam à realização de modelos computacionais ilustrativos dos efeitos em cada situação de impacto. A onda de calor gerada num impacto oblíquo era um ponto a ter em consideração para o sucedido em Chicxulub, uma vez que havia vestígios de incêndios no Norte da América, datados do K/T.

“An important difference between vertical and oblique cases is the development, in the oblique impacts, of an atmospheric “heat wave”, a region extending several tens of kilometres downrange of the opening cavity with temperatures well above 5000K, that does not seem to have a counterpart in the vertical case; this “heat wave” may have played an important role in producing widespread fires in the downrange direction of the Chicxulub structure.” (Pierazzo e Melosh, 1999)

Curiosamente, no ano da descoberta do provável local do impacto, o investigador do Geological Survey do Canadá, Richard A.F. Grieve, fez um estudo no qual apoiava a

teoria de impacto, chegando a apresentar diversos esquemas representativos de colisões. Com efeito, defendeu a existência de minerais, tal como os estudados por Bohor, que se mostravam exclusivos de serem produzidos num impacto. Todos os dados apontavam inevitavelmente num sentido, apesar das críticas e oposições se fazerem sentir.

“Impact melt rocks differ from volcanic rocks in several respects, however. (...) In general, an impact rock is a chemical mixture of the various target rocks that have been shocked above their melting point. In contrast, volcanic rocks have compositions determined by the melting of selected minerals under the conditions of pressure and temperature found beneath the earth’s crust.” (Grieve, 1990)

Bohor não deixava, porém, de prosseguir com as suas investigações mineralógicas tão importantes neste contexto da Hipótese Colisional. Apostava os seus argumentos nos minerais de quartzo com deformação planar, cuja origem se explicava pela acção de choque dinâmico. Considerava também as esférulas ocas associadas às argilas, que apresentavam estruturas originais e não formadas por crescimento secundário de algas, como argumentavam os opositores. Por outro lado, estas esférulas de impacto assemelhavam-se a microtectitos em forma e tamanho.

“All of these features of the boundary clay are uniquely associated with impact, and cannot have been formed by volcanic or other terrestrial processes.” (Bohor, 1990b)

Os estudos sobre a dinâmica interna prosseguiram a um ritmo notável. Neste contexto, os geólogos Ian H. Campbell e Ross W. Griffiths, da Universidade Nacional da Austrália, na tentativa de estudar a reconstrução das placas tectónicas, estabeleceram relação com os fluxos basálticos continentais. A possível origem mantélica destes basaltos levou-os a supor que foram os responsáveis pela fragmentação continental. Estudos magnetoestratigráficos desses basaltos levaram os investigadores a concluir que estes poderiam ter extruído durante um período de tempo inferior a 1 milhão de anos, apontando a idade de 67,4 M.a. para a secção perto de Bombaim. Este género de estudos vinha em defesa da Hipótese Vulcânica como responsável pelas extinções em massa mais mediáticas (Campbell e Griffiths, 1990).

Robert Rocchia, investigador na área da Mineralogia numa Universidade francesa (Gif-sur-Yvette), e um grupo de investigadores, dentro dos quais Courtillot, voltaram ao local que se pode considerar ter iniciado esta controvérsia. Foram a Gubbio a fim de detectar novamente as concentrações de irídio e determinar a polaridade magnética

naquelas camadas. A conclusão a que chegaram nesse ano de 1990 revelou-se ser contra o que Walter Alvarez havia detectado, pelo menos no que se refere à concentração de irídio. Estes investigadores verificaram que a existência desse elemento às vezes aparecia distanciado do limite K/T. Por outro lado, parecia que a inversão de polaridade da Terra ocorrera durante aquele que consideraram ser o local de transição do K/T (Rocchia *et al.*, 1990).

A competição estava francamente acesa e Alvarez, Asaro e Montanari utilizaram em 1990 uma técnica melhorada para determinar com maior precisão a anomalia de irídio nas rochas do limite K/T em Gubbio. Os resultados vieram corroborar o que já haviam detectado anos antes, reforçando a ideia de que só houve um pico anômalo desse elemento.

“Analysis of a 57-meter-thick, 10 million-year-old part of the Gubbio sequence using improved NAA techniques revealed that there is only one Ir anomaly at the KT boundary, but this anomaly shows an intricate fine structure, the origin of which cannot yet be entirely explained.” (Alvarez, Asaro e Montanari, 1990)

Em 1992, Alvarez e seus colaboradores empenharam-se em novas análises ao fundo oceânico da região do Golfo do México vindo a confirmar, segundo eles, que as unidades estratigráficas iam ao encontro da ideia de um tsunami na altura do K/T. Apesar dos novos dados obtidos pelos defensores da colisão na zona centro-americana, C. Jéhanno e um grupo de cientistas, dentro dos quais Rocchia, todos a investigar em França, contestaram a ideia de que a colisão tenha ocorrido na área das Caraíbas. Com efeito, os investigadores procederam a estudos na região de Beloc, Haiti, e afirmaram que as partículas vítreas lá encontradas tinham origem vulcânica e não colisional. Por outro lado, havia vestígios de dois acontecimentos distintos, porque as anomalias de irídio e as camadas ricas de espinelas assim os levavam a crer. Segundo os cientistas, as duas hipóteses eram conciliáveis, e podia ter ocorrido um evento vulcânico que precedeu o colisional (Jéhanno *et al.*, 1992).

Contudo, no ano 1993, Rocchia publicou um artigo na *La Recherche*, no qual dava conta das duas hipóteses rivais sobre o fim da era secundária, passando a defender a ideia de Alvarez.

“Il ne serait surprenant que les études en cours démontrent que l’ensemble des extinctions qui se sont produites au voisinage de la limite C-T sont dues à une seule et même cause : la collision cosmique de la fin du Crétacé. “ (Rocchia, 1993)

Um outro ponto que levantava dúvidas residia no facto de não se saber ao certo que corpo havia colidido com a Terra, se um asteróide se um cometa. Na tentativa de resolver esta questão, David Brez Carlisle, em 1992 propôs a sua ideia. Segundo o investigador, os diamantes encontrados no limite K/T poderiam ter sido trazidos por um meteorito que colidiu com a Terra. Por outro lado, os diamantes podiam ter sido formados no processo de metamorfismo de choque de rochas carbonatadas. Mas a determinação isotópica do carbono dos diamantes revelou uma origem extraterrestre. Ou seja, as associações mineralógicas encontradas nos sedimentos do limite K/T e as concentrações médias de oxigénio e de carbono previram que a colisão pode ter sido de um cometa, porque os materiais rochosos tinham maior concentração de oxigénio, o que não se verificava na amostra (Carlise, 1992).

Estas ideias vinham fornecer mais dados que apoiavam a teoria do grupo de Alvarez. Os geólogos do Dartmouth College (Hanover), Joel D. Blum e C. Page Chamberlin, também realizaram estudos centrados na composição das esférulas vítreas do Haiti, datadas do limite K/T. Estes investigadores concluíram que esses materiais continham alta concentração de sílica e de cálcio, só explicável por uma fusão heterogénea de rochas durante o impacto (Blum e Chamberlin, 1992).

Mas, ao contrário de muitos, Officer e o seu colega John Lyons analisaram as rochas do limite K/T no Haiti e afirmaram que as sequências interpretadas como sendo depósitos de tsunami não eram mais do que resultantes de correntes de turbidez¹¹ (Lyons e Officer, 1992). Estes cientistas, em conjunto com Arthur A. Meyerhoff, geólogo de Oklahoma, também estudaram a estrutura de Chicxulub, interpretada pelos defensores da hipótese colisional como sendo a cratera da colisão. O resultado de pesquisas permitir-lhes afirmar que, se aquela fosse a cratera de impacto, teria de estar a mais de 10km de profundidade. Mesmo assim, as sequências clásticas representavam depósitos vulcânicos, cujas estruturas lamelares do quartzo são típicas de locais terrestres onde tenha ocorrido vulcanismo ou tectonismo.

“There have been later thermal events in the Chicxulub volcanic sequence. (...) We conclude that the interpretation, (...), of the Chicxulub structure as a volcanic sequence of Late Cretaceous age is correct.” (Meyerhoff, Lyons e Officer, 1994)

¹¹ Correntes de turbidez- massa de água e sedimentos que desce por uma encosta abaixo até ao fundo de um oceano ou lago porque é mais densa do que a água circundante. Pode atingir altas velocidades e tem forte poder erosivo.

As críticas a novas hipóteses surgem sempre e por vezes com estudos reveladores de grande empenho por parte dos cientistas. Estamos cientes desta afirmação ao analisarmos os estudos quase rocambolescos levados a cabo pelos opositores da Hipótese de Impacto na região do México. Neste contexto, W. Stinnesbeck e outros cientistas, dentro dos quais Keller, Lyons, Officer e Rocchia, propuseram que os vestígios interpretados como sendo originários de um tsunami não o eram. Pelo contrário, faziam parte de um depósito formado em condições absolutamente normais durante longos períodos de tempo. Apesar de terem encontrado camadas sedimentares com esférulas, não encontraram o mesmo tipo que Smit havia exumado. Ou seja, as esférulas estavam associadas a outras e continham carbono em proporções que sugeriam uma origem orgânica das mesmas, não estando por isso, relacionadas com constituintes extraterrestres ricos em espinelas níquelíferas (Stinnesbeck *et al.*, 1993).

As vozes dos defensores do impacto insurgiram-se contra estas provas, que consideraram descabidas. Smit e mais quatro cientistas publicaram em 1994 um comentário sobre o assunto, tal como Stinnesbeck e outros pelo lado contrário. Com efeito, o grupo de Smit analisou o que Keller havia dito sobre os depósitos clásticos na região do México. Ela havia-os classificado como sendo correntes de turbidez. A este respeito os investigadores em questão responderam que esse género de correntes era unidireccional, o que não se verificava. À luz dos cientistas, as correntes eram sim bidireccionais. Este facto indicava oscilações de corrente explicáveis por movimentos ondulatórios produzidos por um tsunami. Por outro lado, a camada de esférulas encontrada nos clastos do K/T, interpretada como sendo vidros resultantes de solidificação de uma fusão provocada por impacto, tinha a idade do referido limite. Além do mais, os opositores à ideia de impacto utilizaram bibliografia de outros oponentes, o que na perspectiva de Smit não lhe parecia o mais idóneo.

“Stinnesbeck *et al.* (1993) showed a spherule that appears to contain a foraminifer (...), which would be incompatible with an origin as a drop of impact melt. We find foraminifers only inside bubbles that have broken open (...), and we suspect that their picture shows a slice cut at a high angle to the plane that would show a bubble broken open.” (Smit *et al.*, 1994)

A juntar a estas críticas, o grupo de Smit salientou a questão das datas de aparecimento e desaparecimento de espécies planctónicas no limite em estudo. Por um

lado, Stinnesbeck considerava que o desaparecimento da maioria das espécies ocorrera antes do limite, o que vinha contrariar a tendência biostratigráfica na qual os desaparecimentos de espécies marcavam os limites de períodos. Por outro, quando os foraminíferos estavam presentes, deslocavam o limite para o do aparecimento das primeiras espécies do Terciário.

Este artigo, de comentários dos autores a intervenções de outros, também contém a defesa de Stinnesbeck *et al.*, na qual assumiram que o único argumento que Smit *et al.* tinham para afirmar que houve um tsunami era o das correntes oscilatórias. Ainda dentro deste assunto, para Smit *et al.*, os primeiros sedimentos seriam de origem colisional, tal como os sedimentos clásticos trazidos pelo tsunami. Este, segundo esses investigadores, teria chegado 2 horas após o impacto do corpo extraterrestre em Chicxulub. Para Stinnesbeck *et al.*, esses sedimentos de origem colisional não tinham grandes fundamentos, pelo que as camadas de zeólitos que se encontravam entre esses supostos sedimentos de origem colisional tinham, sim, uma origem inequivocamente vulcânica. Segundo estes defensores da Hipótese Vulcânica, as camadas de sedimentos deviam-se a períodos normais de sedimentação hemipelágica. As esférulas ocas que Smit *et al.* interpretaram como tendo origem numa fusão originada por colisão, raramente se encontravam, além de serem diferentes das encontradas a noroeste do México, muitas esférulas não quebradas continham foraminíferos.

“Smit *et al.* (1992) interpreted all spherules as altered impact-melt glass, although preserved glass is very rare and present only in vesicular glass Shards found only at two locations (Lajilla and Mimbral). The few glass fragments reported by Alvarez *et al.* (1992) from site 536 (...) could not be confirmed by Keller *et al.* (1993).” (Stinnesbeck *et al.*, 1994)

A controvérsia gerada em torno da ideia de que os depósitos do Golfo do México tiveram origem num tsunami parece-nos ser uma das mais difíceis de resolver. Smit e um grupo de colaboradores, dentro dos quais Alvarez, decidiram estudar áreas afastadas do dito local de impacto, a fim de confirmarem ou não a presença de vestígios da onda gigante. Como seria de esperar deste grupo, esses vestígios foram encontrados e os cientistas agruparam as unidades sedimentares em 4 conjuntos, que passamos a caracterizar sumariamente. A primeira, a contar de baixo, continha partículas milimétricas, consideradas o ejecta resultante do impacto. A seguir, continha uma sequência de areias

gradadas, com bioclastos. A terceira sequência albergava ripple marks e sedimentos finos e, por cima desta, a unidade 4 estava com a anomalia de irídio e espinelas ricas em níquel concentradas nos finos sedimentos (Smit *et al.*, 1996).

As regras da luta científica incluíam ataques e tentativas de contradizer os resultados obtidos por equipas que não corroboravam com as ideias opostas. E o ponto que Keller e os seus colaboradores encontraram para criticar foi a questão dos depósitos de tsunamis. Com efeito, em 1997, este grupo investigou novamente a sequência estratigráfica e sugeriu que o sucedido não ocorreu num único evento, mas sim durante um longo período de tempo, para além da extinção se ter iniciado antes do final do Cretácico. Nesta perspectiva, lançaram uma nova ideia para o evento passado na região. Segundo este grupo, provavelmente houve dois grandes acontecimentos. O primeiro correspondente à colisão e o segundo ligado a vulcanismo ou a colisão, eventualmente ligado ao fenómeno de Chicxulub, que teve lugar antes do final do K/T (Keller *et al.*, 1997). Em 2003, esta investigadora e mais um grupo de cientistas, dentro dos quais Stinnesbeck, propuseram um novo cenário para o sucedido no limite K/T. De acordo com os dados de registo sedimentar obtido em várias localidades, havia a possibilidade de um cenário de impactos múltiplos associados com vulcanismo basáltico continental. Um primeiro impacto estaria relacionado com o vulcanismo do Decão, alterando a temperatura média das águas, o que teria afectado a produtividade planctónica. O impacto do limite K/T marcara a diminuição da produtividade primária e a extinção de todas as espécies tropicais e subtropicais. O impacto do início do Terciário contribuíra para a recuperação já tardia da produtividade e da diversidade evolutiva.

“A sequence of three impact events and one volcanic event can be identified in the Gulf of Mexico, Caribbean and Central America (...). The oldest ejecta (...) layer in northeastern Mexico provides strong support for a pre-K/T impact about 65.27 ± 0.03 Ma. Closely associated with this time interval is a major pulse in Deccan volcanism (...), coeval major greenhouse warming (...), decrease in productivity and decline in planktic foraminiferal populations (...). A third impact is tentatively identified based on an iridium anomaly (...) indicates an early Danian impact event (...) about 100 ky after the K/T boundary.” (Keller *et al.*, 2003)

Temos vindo a referir até agora a apelativa extinção do K/T. Contudo, houve pelo menos mais 4 extinções em massa durante o Fanerozóico. Uma delas ocorreu há

aproximadamente 439 milhões de anos. Sobre este assunto, Peter M. Seehan, geólogo no Departamento de Geologia do Museu de Milwaukee (Wisconsin), publicou em 2001 um estudo sobre a extinção do final do Ordovícico, que aniquilou cerca de 85% das espécies marinhas (braquiópodes, conodontes, trilobites, briozoários, nautilóides e corais). Este fenómeno caracterizou-se por ter sofrido dois patamares de extinção relacionados com o período glacial que ocorreu nessa altura. O primeiro pulso de extinção iniciou-se quando o clima frio chegou, e o segundo quando o período glacial terminou. Ou seja, a causa para esta ocorrência que afectou tantas espécies foi essencialmente a glaciação e as consequências que esse evento aportou. Salientamos, como alterações, as mudanças nas correntes oceânicas, diminuição das áreas epicontinentais e o arrefecimento geral do clima que afectou as espécies da base da cadeia alimentar.

“Two environmental changes associated with the glaciation were responsible for much of the Late Ordovician extinction. First, the cooling global climate (...). Second, sealevel decline, caused by sequestering of water in the ice cap (...).” (Sheehan, 2001)

Este acontecimento parece ter sido relativamente rápido em termos geológicos, e além disso a deslocação das massas continentais prosseguia de forma notória. O continente Gondwana deslocou-se para o Pólo Sul, tendo proporcionado a acumulação de grandes massas de gelo numa vasta área continental. Este evento teria baixado o nível geral do mar (Fig.II-52).



Fig.II-52- Mapa de Gondwana no final do Ordovícico, mostrando o Pólo Sul e a área de glaciação, a branco (adaptado de Stanley, 1987).

Mas antes desta extinção do final do Ordovícico parece ter havido uma outra mais pequena, no final do Câmbrico. Nesta altura, as espécies mais afectadas foram as trilobites,

que só se extinguíram totalmente no final do Pérmico, há cerca de 248 milhões de anos. Porém, esta crise pela qual a vida passou pode ter sido ocasionada por um possível abaixamento do nível do mar, em parte devido à formação de massas de gelo.

O final do Devónico, há aproximadamente 353 milhões de anos, também é caracterizado pelo desaparecimento de espécies de forma abrupta. Um geólogo da Universidade de Ciência e Tecnologia de Lille, Hugues Leroux, e seus colaboradores propuseram que a causa desta extinção poderá centrar-se num fenómeno colisional tal como o proposto para o final do Cretácico. A presença de brechas expostas em Alamo, numa área de 4000km², levantou a suspeita de um fenómeno colisional de alta velocidade, além de haver microestruturas com padrões planares sugestivas de metamorfismo de choque (Leroux, 1995). Contudo, tratou-se de uma extinção que também afectou uma grande parte de espécies marinhas (braquiópodes, trilobites, amonites, conodontes e corais). Stanley considerou que ocorrera, em semelhança com o evento do Ordovícico, um fenómeno de arrefecimento geral do planeta. Para fundamentar as suas afirmações, este investigador verificou que de acordo com estudos de James Hall, havia espessas sequências de arenitos e xistos nos estados Unidos da América, justificáveis pela erosão das montanhas dos Apalaches. A causa de tão grande erosão deveria ter sido a fusão de glaciares que se haviam formado na região (Stanley, 1987) (Fig.II-53).

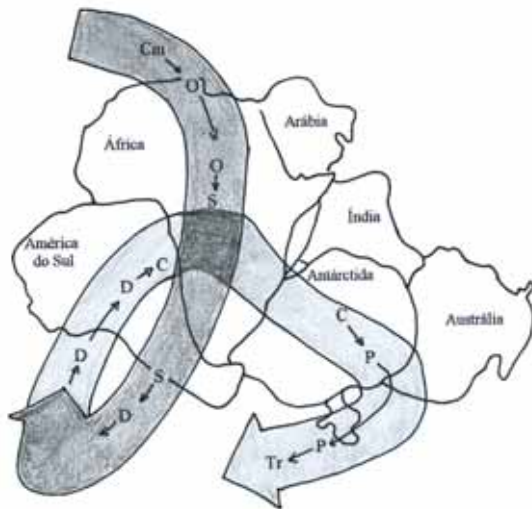


Fig.II-53- Movimento da posição do Pólo Sul durante a era Paleozóica. A movimentação é, na verdade do continente Gondwana (adaptado de Stanley, 1987).

A extinção que ocorreu no final do Pérmico, há cerca de 248 milhões de anos, provocou o desaparecimento de cerca de 90% das espécies oceânicas, e em terra 2/3 dos

répteis e anfíbios e 30% dos insectos pereceram. Douglas H. Erwin, paleobiólogo que trabalhou sobre os fósseis do Paleozóico do Burgess Shale e investigador do Museu Nacional de História Natural de Washington, considerou esta a “mãe das extinções em massa”, pela dimensão atingida. Segundo este investigador a causa para esta extinção não é uma única. Considerou, sim, causas múltiplas, estando elas associadas à quebra da Pangea e à diminuição do nível do mar em muitas regiões. Além disso, deve ter havido muito vulcanismo na altura, com conseqüente anóxia das águas, e os três factores conciliados provocaram alterações climáticas causadoras do colapso biológico (Erwin, 1996). Anos mais tarde, Erwin e outros cientistas associaram esta extinção com os basaltos continentais da Sibéria, que datavam da mesma altura. O facto da extinção do final do Pérmico ter sido selectiva, afectando em primeira instância determinadas espécies, revelava que as condições ambientais sofreram mutações. Estas poderão ter sido induzidas pelo vulcanismo em larga escala, alterações ambientais e até mesmo uma colisão de um corpo extraterrestre, havendo dados recentes que corroboravam com esta ideia.

“An extraterrestrial impact is consistent with the geochronological and paleontological data from southern China and elsewhere, and some possible evidence for impact has recently been advanced.” (Erwin, 2002)

Rampino e um grupo de cientistas estudaram, em 2002, a extinção do final do Pérmico, tendo-a classificado de abrupta. Ora, um registo biostratigráfico que guardava um padrão de extinções repentinas com menos de 10 milhões de anos levantava novamente a suspeita de uma catástrofe nessa transição (Rampino *et al.*, 2002).

Relativamente à extinção do final do Triássico, há cerca de 205 milhões de anos, Hallam, em 1990, havia argumentado que as extinções do final do Triássico não se deveram nem a fenómenos glaciários, nem a fenómenos colisionais, mas sim a fenómenos transgressivos e regressivos do mar, originados por actividade vulcânica intensa.

“There is, however, strong evidence of a sea-level change at the boundary in the form of a regressive-transgressive complet that appears to be associated with the inception of tensional tectonics and volcanicity in the central part of Pangaea.” (Hallam, 1990)

Contudo, L.H. Tanner, da Universidade de Bloomsburg, e mais cientistas de outras Universidades norte americanas postularam que o sucedido nesta altura esteve relacionado com grandes alterações climáticas, possivelmente induzidas por colisões de corpos celestes e por extenso vulcanismo. Salientaram ainda, que não havia vestígios de crateras de

impacto que datassem desta altura, mas encontraram-se fortes locais candidatos a estarem relacionados com o sucedido. Nesta extinção, os autores sugeriram que teria havido uma série de factores associados que contribuíram para o desenlace final, a extinção generalizada.

“The mechanisms described above are not mutually exclusive. Late Triassic environmental stress from changing sea level or climate change may have been exacerbated by one or more impacts of bolides of modest size, and results compounded by the climatic effects of volcanism.” (Tanner *et al.*, 2004)

Na Austrália, parecia haver vestígios de glaciação datada do final do Triássico, o que só veio dar mais sentido à ideia de que as extinções dessa época foram ocasionadas por um período muito frio atravessado pela Terra (Spenceley, 2001).

Também no Sul da Austrália havia vestígios colisionais datados de 595 milhões de anos, responsáveis por uma grande catástrofe. Acraman era a grande estrutura que se julgava ser o local de colisão, onde ainda existem vestígios de ejecta que se poderá ter estendido até 1000km em diâmetro (Hill *et al.*, 2004). Estudos sedimentares indicaram que se tratou de uma grande colisão, podendo ter trazido alterações a nível biológico, e evolutivo.

É visível a associação de vários factores para explicar a extinção desta altura. Contudo, esta atitude também foi seguida por outros investigadores para as outras extinções, durante o período que consideramos ser o de “Revolução Científica” (ver Anexo III) e que estamos notoriamente a atravessar.

A ligação estabelecida entre outras extinções e fenómenos colisionais foi abordada em 2004 por Bernd Bodiselitsch, um investigador da Universidade de Viena da Áustria, e outros dois de Itália. Ressaltaram a extinção do final do Eocénico, há cerca de 38 milhões de anos, como tendo sido causada por impactos múltiplos. Estes foram os causadores de alterações climáticas drásticas, que se reflectiram na alteração dos níveis de oxigénio nas águas marinhas, para além de algumas porções continentais passarem a estar rodeadas de água. As modificações assim induzidas causaram uma das grandes extinções em massa de que há registo na história da vida na Terra.

“The Late Eocene is a period of major changes, characterized by an accelerated global cooling (...), with a sharp temperature drop of about 2°C near the Eocene/Oligocene (E/O) boundary (...). However, multiple bolide impact events (...), possibly related to a

comet shower over a duration of 2.2 million years, may have played an important role related to the deterioration of the global climate at the end of the Eocene Epoch.” (Bodisielitsch *et al.*, 2004)

M. MacLeod, investigador da Universidade de Michigan, havia estabelecido esta relação em 1990. Segundo este geólogo não havia vestígios de que no final do Eocénico tivessem ocorrido impactos de corpos celestes com a superfície da Terra. Os foraminíferos plactónicos iniciaram a extinção antes do final do Eocénico, pelo que não via relação possível com impactos, apesar das mudanças climáticas poderem ter sido induzidas por fenómenos colisionais (MacLeod, 1990). De outra opinião partilhava Alessandro Montanari, investigador da Universidade da Califórnia, que viu uma relação mais próxima entre as colisões deste período e as extinções (Montanari, 1990).

Dentro desta ideia colisional, mas retomando a extinção mais mediática, uma coisa era certa. Nos finais da década de 90 já se aceitava cada vez mais a ideia da colisão na Península de Yucatão como responsável pela extinção em massa do limite K/T. Courtillot, apesar de ser um dos que atribuía essa extinção a causas vulcânicas, em 1996, em conjunto com outros cientistas, viu-se a concordar que os impactos eram uma realidade que ocorreu e ainda ocorre na Terra. No caso concreto de Chicxulub, aceitou que a colisão tinha sido coincidente com o limite K/T, apesar de na maioria das colisões não ter havido qualquer tipo de coincidência. Foi aí que a sua hipótese vulcânica emergiu novamente. Para esta equipa de investigadores, a maioria das extinções estaria relacionada com os fluxos basálticos continentais.

“In conclusion, CFB (continental flood basalt) volcanism is the main candidate for causing most extinction events. Other internal processes, such as regression and continental breakup, can be associated with volcanism without having to resort to multiple causes.” (Courtillot *et al.*, 1996)

No seu livro *Evolutionary catastrophes* publicado pela primeira vez em 1999, o autor fez uma apresentação completa das duas principais hipóteses para as extinções em massa, particularmente a do K/T. Voltou então novamente a vincar a sua hipótese, fornecendo contra-argumentos aos utilizados pelos defensores do impacto. Podemos dizer que se notou uma tentativa de fazer o leitor acreditar que uma extinção iniciada antes do limite K/T era mais plausível, muito embora o efeito catastrófico fosse também contemplado. No que respeita a outras extinções, fez a ponte com outros fluxos basálticos

continentais como justificação da aniquilação da vida. Associado a estes fenómenos vulcânicos maciços estavam alterações dos ciclos terrestres e a sobrevivência das espécies. Ao estabelecer a relação gráfica (Fig.II-54) entre os fluxos basálticos continentais e as Extinções em Massa, ressaltou à vista do leitor uma coincidência espantosa.

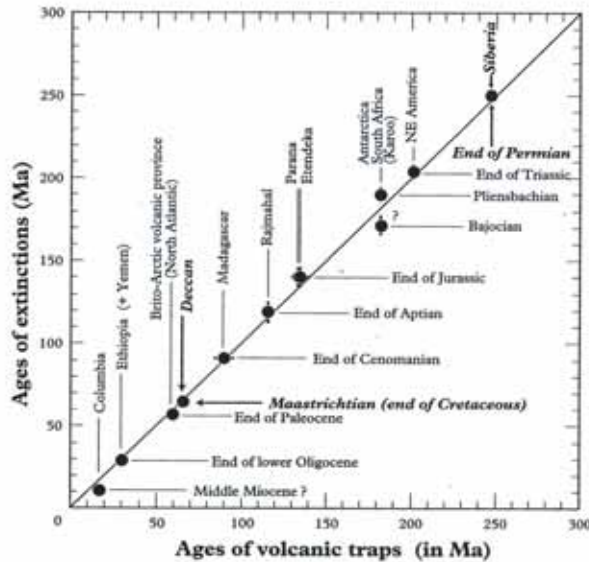


Fig.II-54- Comparação das idades dos fluxos basálticos continentais e as extinções em massa (In: Courtillot, 2002).

Segundo Courtillot, ambos os cenários de extinção pareciam estar no caminho certo e a comunidade a viver uma espécie de Novo Catastrofismo. De qualquer forma, a relação estabelecida entre os fluxos basálticos e as oscilações no interior da Terra, relacionadas com plumas e instabilidades mantélicas (Fig.II-55), era responsável pelos fenómenos registados à superfície e que se relacionavam intimamente com as extinções.

“(...) that impacts are geological agents that we can no longer ignore, although their role was doubtless far more decisive early in the Earth’s history than it has been more recently.

The second catastrophist theory, volcanism, invokes colossal eruptions of continental basalts. (...) These two types of catastrophe certainly existed, and the two schools, however irreconcilable they may have seemed at times, are undoubtedly both on a right track.” (Courtillot, 2002)

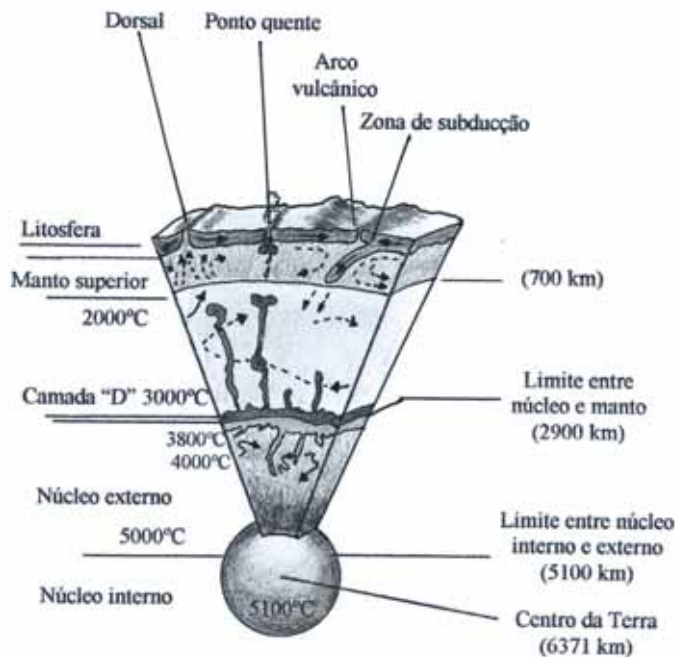


Fig.II-55- Plumias mantélicas segundo Courtillot (adaptado de Courtillot, 2002).

Em 2003, Courtillot e Paul R. Renne, um geólogo da Universidade da Califórnia, estabeleceram a relação entre as idades da formação das grandes províncias ígneas, continentais e oceânicas, e o tempo da sua formação, que segundo os autores apontava para o milhão de anos, ou chegando aos 10 milhões de anos no caso da fragmentação continental. Por outro lado, as alterações climáticas induzidas por estes tão catastróficos eventos poderia ter causado também extinções em massa. Neste contexto, os investigadores sugeriram que existia correlação entre pelo menos quatro extinções e quatro fluxos basálticos.

“The four largest mass extinctions in the last 260 Ma coincide to the best resolution available with four traps, making a causal connection between the two through some form of catastrophic climatic perturbations the most likely hypothesis.” (Courtillot e Renne, 2003)

Relações semelhantes também foram estabelecidas por Scott W. Hassler e Bruce M. Simonson, geólogos das Universidades da Califórnia e Ohio, respectivamente, quando verificaram existir depósitos de ejecta originados de impactos múltiplos, datados de 2,49 e 2,63 giga-anos (mil milhões) de anos. Todo este trabalho vinha corroborar com a ideia de que a Terra sofreu impactos ao longo da sua história. Muitas das crateras de impacto foram erodidas e outras entraram na dinâmica das Placas Tectónicas. Contudo, havia locais como

a Hamersley Basin (Austrália) e Transvaal Supergroup (África do Sul) ainda detentores de vestígios de ejecta, de cratera e de depósitos de tsunami (Hassler e Simonson, 2001). Prosseguindo esta linha de investigação, Simonson, em parceria com Billy P. Glass, um colega da Universidade de Delaware (Newark), viram em 2004 os seus dados corroborar as ideias de um impacto no limite K/T de Alvarez. Os cientistas centraram os seus esforços no estudo das camadas de esférulas, que consideram ser um dos melhores marcadores de idade estratigráficos. Se se conseguissem identificar estas camadas, poder-se-ia estabelecer uma relação entre os impactos e a evolução da vida após esses fenómenos.

Actualmente trabalha-se numa época em que já se aceita de forma menos conflituosa a existência de colisões com a Terra, que inevitavelmente acarretaram consequências múltiplas.

“Impacts by large extraterrestrial objects are slowly but surely gaining acceptance as a process that needs to be reckoned with in the interpretation of Earth history (...).” (Simonson e Glass, 2004)

Pese embora todos os factos conduzam à aceitação de que os impactos poderão ter sido causadores de Extinções em Massa, há dados novos que lançam questões para as arenas dos debates científicos. No seguimento desta ideia, referimos os trabalhos desenvolvidos por Fassett e seus colaboradores e Brenda Buck e outros cientistas, nos quais nos dão conta de que há vestígios, em várias partes do globo, de dinossauros que sobreviveram ao fenómeno K/T. A dinâmica induzida por estes estudos permite que as investigações prossigam e que novas hipóteses surjam a fim de se compreender melhor a história da evolução da Terra como um todo (Fassett *et al.*, 2002; Buck *et al.*, 2004).

Victor R. Baker, investigador na Universidade do Arizona, também partilhou da ideia que estamos a viver novamente numa época em que a visão catastrófica ocupa as perspectivas epistemológicas da comunidade científica. Mas não é só a Ciência que se vê com esta tendência. O mercado cinematográfico e televisivo, em particular, vivem internamente uma época na qual só a notícia espantosa e dramática tem aceitação pelo público. A humanidade encontra-se numa atitude antropocêntrica, talvez mais rebuscada do que no passado. Toda esta conjuntura afecta a dinâmica científica que, neste caso concreto, se reflecte no tipo de teorias formuladas (Baker, 1998). As notícias publicadas nos finais dos anos 90 sobre as extinções do K/T davam conta de que a comunidade científica já aceitava a ideia Colisional como causa única do sucedido. Charles R. Marshall

foi um cientista, da Universidade da Califórnia, que escreveu sobre este assunto em 1998, dando como facto adquirido a colisão de um corpo extraterrestre. Mas, o ponto de toque do investigador são as alterações a nível ambiental e de aporte nutritivo às espécies que se seguiram a esse fenómeno catastrófico (Marshall, 1998).

Noutros contextos, as investigações prosseguem no sentido de confirmar a existência de eventos catastróficos. William B.F. Ryan, investigador na Universidade de Columbia, e outros cientistas franceses fizeram estudos no Mar Negro e concluíram que houve fluxos de água muito intensos há cerca de 8,4 milhões de anos. As regressões e transgressões nesta região pareceram ser modeladas pelo clima, revelando forte inter-relação entre os fenómenos apreciáveis no dia a dia e fenómenos de grandes dimensões (Ryan *et al.*, 2003).

O surgimento da Vida na Terra também tem constituído foco de debate entre os cientistas de várias áreas, incluindo a Geologia. A ideia da colisão de um corpo extraterrestre com o nosso planeta e a criação de condições ditas ideais para a sua origem e evolução são a base teórica para pesquisas feitas no nosso Sistema Solar.

Relativamente à Vida, persiste a polémica sobre a “explosão do Câmbrico” e a tentativa da sua explicação. Como é que antes do Câmbrico não há praticamente vestígios fósseis, e a partir daí tenham surgido em grande quantidade e diversidade? Terá havido um forte bombardeamento da Terra que proporcionou condições favoráveis? (Grey, Walter e Calver, 2003). Como justificar a “explosão de vida” a partir desse período? Não há consenso ainda, mas os cientistas não se inibem de lançar as suas ideias e teorizações. Neste sentido, N.J. Butterfield, numa palestra proferida a 16 de Novembro de 2004 no Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Cambridge, defendera que houve realmente um aumento exponencial de seres vivos mais complexos. Segundo o investigador daquela Universidade, a explicação da evolução reside na existência de mamíferos, responsáveis pelas tendências evolutivas.

“I will argue here that the Cambrian explosion is real, that it was both triggered and fueled by evolution of (non-sponge) animals, and that biospheres with animals differ fundamentally from those without.” (In: resumo de palestra de Butterfield- Nov. 2004)

Por outro lado, Simon Conway Morris, também investigador naquela Universidade, apesar de ser um opositor das ideias de Butterfield, foi quem deu início à palestra. Segundo Morris, a evolução da vida conduziu inevitavelmente à origem dos seres humanos e faz

prova disso no livro publicado em 2003 “*Life’s solution- inevitable humans in a lonely universe*”. Além disso, a vida antes do Câmbrico existiu como a que existe agora, mas as estruturas físicas dos organismos não permitiam que a fossilização decorresse da melhor forma e levassem o mesmo desenvolvimento dos seres fanerozóicos. Esse trajecto evolutivo, de acordo com as ideias do cientista, conduziu à existência humana, única e isolada no Universo.

“What was impossible billions of years ago becomes increasingly inevitable: evolution has trajectories (...) and progress is not some noxious by-product of the terminally optimistic, but simply part of our reality.” (Morris, 2003)

Bom, a questão é que hoje já se aceita de forma genérica que a vida começou a existir há cerca de 3500 milhões de anos. Para se poder fazer uma afirmação tão redundante têm de existir provas. Elas existem na Austrália. Porém, antes de se descobrir o local onde há vestígios da vida anterior ao período Câmbrico, passamos a contar sumariamente como se descobriu o local onde havia uma grande concentração de fósseis que datavam do Câmbrico.

Em 1909 Charles Doolittle Walcott descobriu um local no Canadá, rico em xistos do Câmbrico, repleto de fósseis. Esse local, Burgess Shale, lançou a intriga sobre a vida e a sua evolução uma vez que, naquela época, não se conheciam vestígios fósseis assim tão antigos. De acordo com uma versão romântica da história, foi numa viagem a cavalo pela região xistosa que tudo aconteceu. O cavalo da sua mulher escorregou e deixou a descoberto um espécime fóssil muito bem preservado. Contudo, esta versão não é confirmada pelos seus diários. Mas o que é certo é que o cientista passou muitos dos dias que se seguiram a um provável evento inicial a procurar a rocha-mãe originária de tão bem conservado fóssil. E lá conseguiu atingir o seu objectivo. A partir daí, não só ele mas a sua família passaram a recolher amostras fósseis, após o que se seguiu a minúcia do desenhar e do classificar, como está bem patente no trabalho de Gould “*Wonderful Life*” de 2000 (1ª edição de 1988).

“I think that Charles and Sidney Walcott located the phyllopod bed on this very first day, because Walcott wrote for his next entry, of August 2: “Out collecting with Helena, Stuart and Sidney. We found a fine lot of lace crabs and various odds and ends of things.” “ (Gould, 2000)

Os estudos na região foram prosseguindo ao longo dos anos com descobertas notáveis que permitiram reconstruir o tipo de vida que existiu há tantos milhões de anos atrás (Fig.II-56).

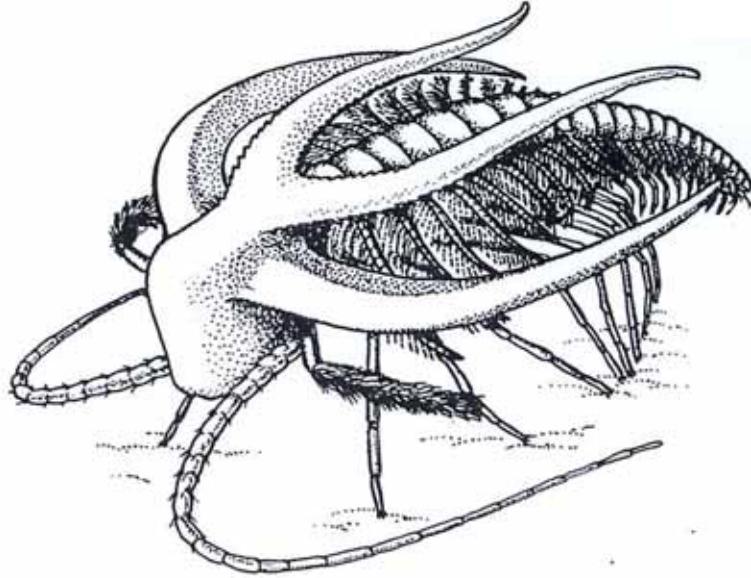


Fig.II-56- Reconstrução de Marrella (In: Selden e Nudds, 2004)

Em 1946, na Austrália, nos Montes Ediacara, um geólogo chamado Reginald C. Sprigg, explorava aquela região. Nos resultados das pesquisas registou fósseis de organismos aparentemente de corpo mole, preservados em arenitos e quartzitos. Após estudos de datação, verificou-se pertencerem ao Pré-Câmbrico. Este constituiu o primeiro local onde se encontraram vestígios tão antigos da Vida na Terra (rondando entre os 670 e os 540 M.a.). A partir desta altura, outros locais no globo também se revelaram detentores destes vestígios primordiais de seres vivos (Selden e Nudds, 2004).

Actualmente vivemos uma época em que o Homem tenta salvar inúmeras espécies da extinção completa. Por um lado, trata-se de uma atitude correcta, por outro talvez não o seja. As espécies ameaçadas devido a erros humanos, como a caça exagerada, a moda das peles e de determinadas partes do corpo de um ser vivo, devem ser alvo de leis próprias de protecção. Porém, as extinções também são um fenómeno natural que sempre ocorreu na história do planeta. Será que deveremos interferir nestes casos ou, pelo contrário assistimos ao desaparecimento de espécies, das quais só iremos recordar por fotografias ou documentários?...

Finalmente, importa referir as nossas opções no que se refere aos actores desta dinâmica da construção do conhecimento científico, tendo por base a organização de Kuhn. Neste tema verificamos que há actualmente como que o emergir de uma nova visão Catastrofista do funcionamento do planeta. Nesta perspectiva, salientamos Buffon, que no século XVIII foi uma das figuras importantes na “Fase de Especulação”. Segundo esse naturalista o Dilúvio Universal foi uma das causas para o desaparecimento de espécies ao longo do tempo. Esta ideia prolongou-se pelo século XIX, em que na Fase de Competição entre Teorias Rivais, Cuvier foi um dos fortes defensores dessa ideia. Por outro lado, Hutton e as suas ideias Actualistas opunham-se às de Cuvier, pelo que anos mais tarde Lyell e as suas ideias Uniformistas contrariavam a visão ainda Catastrofista. A partir do momento em que as ideias de Lyell imperaram e depois de Darwin explicar a sua ideia da evolução das espécies, a Revolução Científica processou-se, devido à forte argumentação em favor da uniformidade de processos da Terra.

A partir dos finais do século XIX, o Catastrofismo foi banido até que nova “Fase de Especulação” se inicia a meados do século XX. Questões levantadas sobre as Extinções em Massa levam a ideias explicativas que a partir de 1980 surgem em forma de hipóteses, com dados que suscitam a investigação. Alvarez e o seu grupo protagonizaram o lado dos defensores de uma Hipótese Colisional, apoiados por Smit e Bohor, em especial. Do outro lado, surge a Hipótese Vulcânica, encabeçada por Courtillot, apoiado por Officer, Drake, Lyons e até mesmo Keller, que discorda constantemente de Smit. Nesta “Fase de Competição entre Teorias Rivais”, verifica-se que há uma nova tendência para a aceitação de catástrofes que assolam, ou assolaram o planeta. Assim, estes parecem ser os intervenientes mais fortes nesta trama de conflitos. Na “Fase de Revolução” (ver Anexo III), que nos parece ter-se iniciado a partir do momento em que Hildebrand e o seu grupo de trabalho encontraram a suposta cratera de impacto, os protagonistas mantêm-se. Actualmente encontramos-nos ainda nesta fase, na qual novos estudos vão sendo feitos e novas hipóteses corroboram com as apontadas por Alvarez e Courtillot. Além disso, Extinções em Massa que não as do limite do K/T merecem também hipóteses que vão sendo apoiadas ou não, numa perspectiva de um futuro que, de qualquer forma, aceita as catástrofes.

2- DAS EPISTEMOLOGIAS CONTEMPORÂNEAS E CONTROVÉRSIAS CIENTÍFICAS ÀS INCIDÊNCIAS DE ÂMBITO DIDÁCTICO

2.1- PERSPECTIVAS EPISTEMOLÓGICAS CONTEMPORÂNEAS

A Filosofia que está na base da cultura ocidental, sofreu profundas mudanças ao longo dos vários séculos que constituem a nossa civilização. A Grécia foi o país onde o pensamento filosófico emergiu (séc.VI-V a.c.), considerando-se por isso o berço da Filosofia. Desde a ideia da *razão*, considerada como actividade racional, passando pelo *arquê*, como princípio de todas as coisas e pelo *apeiron*, ou o indeterminado, a Filosofia desde há muitos séculos até hoje, continua a ser um conceito intimamente relacionado com a actividade intelectual do homem. É, assim, a actividade mais natural do Homem e todas as questões que emergem do seu pensamento são uma característica que o distingue de todos os outros seres vivos.

Contudo, o conceito de Filosofia ainda é alvo de inúmeras definições, nem sempre consensuais e de fácil percepção. Em nosso entender, e dito de uma forma simples mas não simplista, a Filosofia é conhecimento que a razão humana exige, não pelo acumular de factos, mas pelas relações causais. Ou seja, é a ciência da totalidade das coisas “adquirida pela luz da razão” (Gambra, 1978), que estuda o objecto pelas suas razões. Nas suas origens, a Filosofia correspondia à Ciência, na medida em que tentava conhecer a realidade enquanto objecto de estudo. Por sobre a enorme proliferação das ciências independentes, em especial a partir do séc. XVII, permanece como tronco e base a Filosofia que tenta dar sentido ao complexo mundo do conhecimento. Mas, muitos dos nossos conhecimentos não são científicos, como o conhecimento de factos vulgares. Para concretizar esta ideia, vejamos o exemplo da existência de vulcões. Ocorrem em determinadas zonas da Terra, entrando em erupção de quando em vez. Contudo, quem conhece a origem dos vulcões como reflexo de uma Terra com um interior dinâmico, conhece as coisas pelas suas causas, ou melhor dizendo, é detentor de um *conhecimento científico*.

Neste contexto, podemos afirmar que a Filosofia e a Ciência têm uma grande afinidade por assentarem no pensamento humano. Porém há algumas considerações a ter em conta. Assim, ambas tratam de um objecto, que na Filosofia se dedica ao chamado “objecto material” (Gambra, 1978), caracterizado por ser aquele que aborda a totalidade

das coisas, estudando as razões últimas ou mais gerais. Por seu lado, a Ciência cinge-se ao “objecto formal” (Gambra, 1978), correspondendo ao ponto de vista do qual é estudado o objecto, pelas razões imediatas e próprias desse sector da realidade. Torna-se portanto, pertinente a compreensão universal do objecto, para se chegar à realidade que cada Ciência estuda e à qual se dedica. Esta nova fase da Filosofia, designada de Filosofia Moderna, iniciada a partir do séc. XVII esteve associada à Revolução Científica na qual se produziu uma nova imagem do mundo, com contornos racionalistas. René Descartes (1596-1650), foi o Filósofo da modernidade que alicerçou esta corrente de pensamento, e a sua famosa obra *Discours de la Méthode* (...), serviu de base para a emergência de outras formas de pensar e de entender o mundo e as ciências. Convém, todavia, distinguir o racionalismo da Filosofia da antiguidade do racionalismo da Filosofia Moderna. O racionalismo dos Gregos considerava a razão como meio de chegar à realidade circundante. Esta não era compreendida pelo imediatismo das informações provenientes do sensível, mas sim pelo poder clarificador da razão. Por seu lado, o racionalismo moderno, vai mais longe. Concebe-se como uma forma concreta de entender o Universo, uma estrutura em si racional. A existência de algo é, em si mesma, um desenrolar de natureza racional da qual emerge a sua própria essência. A razão só pode “compreender a natureza se a obriga a responder às suas próprias perguntas” (Luz, 2002).

O quadro do racionalismo da filosofia moderna e as suas características gerais, estabelece-se como base de outras visões da ciência e da natureza. Com efeito, a procura de uma unidade para as ciências, constituiu o fundamento do empirismo, iniciado com Bacon (séc. XVI/XVII). Por esta sua preocupação com a Ciência, foi-lhe associada a designação de Pai da Filosofia das Ciências que a considerava de carácter, não só empirista, como também positivista. As ideias empiristas e positivistas da Ciência, corroboradas por diversos filósofos além de Bacon, como Hume, Locke, Berkeley entre outros apoiavam-se na constante procura da verdade, tendo por base a razão. Porém, denotam-se diferenças na maneira de encarar o mundo nestas correntes da filosofia moderna.

Os empiristas afirmam que tudo o que procede da experiência, dos dados sensíveis, conduz ao conhecimento científico. Este, só resulta de uma actividade que valoriza a experiência, caso contrário não se trata de conhecimento. A actividade científica caracterizada pela articulação entre a experiência e a mente esclarecida constitui a base

essencial do empirismo, a indução. Ou seja, é o único modo seguro de inferir teorias, uma vez que a observação de um determinado número de ocorrências leva à elaboração de um enunciado geral, muito embora Hume não partilhasse as ideias dos restantes empiristas, no que respeita à indução. Esta preocupação geral com a unidade dos conhecimentos gerou, uma outra forma de encarar a Ciência. Para Comte (1830) (In: Carrilho, 1991) “(...) no estado positivo, o espírito humano, reconhecendo a impossibilidade de obter noções absolutas, renuncia a procurar a origem e o destino do universo e a conhecer as causas íntimas dos fenómenos, para se dedicar apenas à descoberta, pelo uso bem combinado do raciocínio e da observação, das leis efectivas, isto é, das suas relações invariáveis de sucessão e de similitude.” Para este filósofo, o desenvolvimento das ciências depende da ligação aos factos concretos e de uma previsão racional, ou seja é uma forma de legitimar a actividade intelectual do homem.

O racionalismo em termos gerais, apesar das inúmeras formas, imperou nas hostes científicas durante quatro séculos, e a passagem do séc.XIX para o séc.XX regista uma crise neste movimento, que põe em causa toda uma Filosofia que já se encontrava como que cimentada. Os argumentos passavam pela acepção de Ciência contemporânea e suas recentes descobertas (de Einstein, por ex.) e teorizações de sucessivos fenómenos naturais. A aparição deste novo espírito científico acarretou o renascimento de uma nova Filosofia associada à Ciência, que aceitava o carácter por vezes indeterminado da Ciência. A ideia de um Universo sem limites observáveis, levantou muitas dúvidas sobre a existência do ser humano e sua actividade enquanto factor de importância e finalidade.

Por entre os meandros do existencialismo do século passado, assistiu-se ao renascimento da Filosofia, que visava uma *Ciência Unificada* (Echeverría, 2003). Em 1929, surge então o Círculo de Viena que reunia diversos filósofos e cientistas, salientando-se Reichenbach (1891-1953), Carnap (n 1891) entre outros. As suas ideias centravam-se numa Filosofia das Ciências, intimamente associada à Epistemologia, encarada como a teoria do conhecimento. As suas raízes empiristas e positivistas permitiram que se atribuísse a esta nova forma de entender o conhecimento a designação de positivismo lógico, ou neopositivismo que conjugava duas tradições. A empirista, que valorizava a experiência do sensível onde tudo era dado imediatamente e a positivista que concebia o mundo por uma aplicação metodológica, a análise lógica. Como refere Echeverría (2003) “Para o Círculo de Viena, e posteriormente para muitos outros filósofos

da ciência, o essencial do saber científico é a sua capacidade de prever exactamente fenómenos naturais.” Denota-se que a actividade filosófica passou a ter um domínio definido no que respeita às Ciências. Clarificamos aqui a nossa aceção sobre o termo Epistemologia referente à teoria do conhecimento (Carrilho, 1991).

Por conseguinte, a Filosofia das Ciências surge como uma tentativa de determinar as características daquilo que se pode considerar científico. Nesta medida corroboramos com Carrilho (1994) quando se refere à Filosofia das Ciências dizendo que “opera-se com a tentativa de determinação das características do que é específico da cientificidade.” Esta disciplina, instituída nos finais do séc.XIX e princípios do séc.XX, ocupa-se dos problemas que são suscitados pelo conhecimento científico, na sua diversidade metodológica e de objectivos. O aparecimento da teoria da evolução das espécies, associada à mobilidade continental, nos domínios da Biologia e da Geologia, respectivamente, para além de outras teorizações em disciplinas como a Química e a Física, vieram modificar por completo as concepções filosóficas dominantes sobre a Ciência. Surge a necessidade de uma reflexão sobre o que é a Ciência e as suas inúmeras relações com o exterior, tendo em consideração a natureza da própria Ciência, cujo desenvolvimento lhe está implícito e dependente. Então, e referindo-nos à Epistemologia, podemos considerar que esta faz parte da Filosofia das Ciências enquanto corpo que está mais próximo da Ciência.

A Ciência carrega uma carga emocional e de significado muito intensa. Além disso, o estudo que desenvolvemos está intimamente relacionado com a Ciência e o seu “ethos”. Por um lado, a Ciência é um tipo de actividade humana relacionada com outros tipos de actividades humanas. Será por esta aceção que se verifica a relação entre a Ciência e a História, a Literatura, a Arte, entre outras, o que a torna única. A fim de conseguirmos compreender a sua natureza, concordamos com Gale (1979) quando diz que a Ciência tem duas tarefas principais; “The first goal is prediction and control. The second is explanation and understanding.”

A articulação entre a predição e a explicação constitui a verdadeira natureza da Ciência, uma actividade eminentemente humana. A noção de se poder controlar e prever o possível comportamento de algo é uma forma manifesta de conhecimento científico. Porém, é na sua forma mais simples, tal como foi feito pelos Egípcios ao olharem para os corpos celestes durante séculos. Esta atitude observacional permitiu-lhes formular generalizações que de certa forma condicionaram as suas atitudes por forma a controlar um

determinado resultado. Já a explicação e o conhecimento constituem a forma mais avançada e subtil do empreendimento científico. Como refere Gale (1979), “Scientific explanations necessarily involve metaphysical schemes of one sort or another.” Ou seja, há uma interacção entre os diferentes objectos alvo de explicação, de tal forma que se procede a um exercício que se pode classificar de empírico. A explicação científica resulta num conhecimento dotado de justificações correlacionáveis com uma experiência. A elaboração de teorias é que torna o corpo da Ciência tão bem fundamentado. Ao dar a resposta a um determinado fenómeno, está-se a explicá-lo e a compreender cientificamente o sucedido.

“(...) science aims to provide an account of what’s going on behind the phenomena we experience.” (Kosso, 1992)

Para que essa justificação seja considerada científica, tem de se revestir de evidências ditas objectivas e independentes. Embora se considere a actividade científica como sendo dotada de uma certa criatividade, quando se passa à parte de explicação, é crucial a escolha das teorias que fornecerão a base para a interpretação dos dados observados.

Neste contexto, consideramos que a relação existente entre o conhecimento científico associado às suas práticas e aos seus problemas, constitui o corpo da Epistemologia. Como refere Praia (1996), o delineamento “epistemológico intenta reflexionar sobre los problemas suscitados por el conocimiento científico en la diversidad de sus dominios, métodos y objetivos. En la Ciencia se actúa, en la epistemología se reflexiona acerca de cómo, para qué y por qué se hace.” No fundo, a Epistemologia interessa-se por toda a actividade científica, incluindo os processos cognitivos e processuais, ou seja, o pano de fundo onde se desenrolam as controvérsias e conflitos, um dos objectivos deste trabalho. Concordamos igualmente com Carrilho (1991) quando refere que “(...) se não existisse conhecimento científico certamente não existiria a epistemologia; esta disciplina, (...) emerge e desenvolve-se numa grande proximidade temática das ciências, das suas práticas, dos seus discursos, dos seus problemas.”

Todavia, a reflexão sobre o científico é o que mais demarca a Epistemologia. E julgamos que essa reflexão se desenvolve de formas diversificadas uma vez que as diferentes ciências têm não só distintos objectos e formas de encarar a realidade. Assim, a Epistemologia ao ser uma forma de filosofar sobre a Ciência e a forma de fazer a Ciência implica um conhecimento interno e externo da Ciência em questão. Ou seja, o facto de

interrogarmos como é que se faz e quais são os critérios de cientificidade de uma determinada teoria científica, levanta a questão da estrutura interna dessa Ciência. É nesta questão que levantamos a pertinência da reflexão associada à Ciência, uma vez que ela não é sempre progressiva nem cumulativa. Há que compreender os mecanismos que regem os investigadores ou filósofos (amantes da sabedoria) de um determinado campo do saber.

O panorama epistemológico contemporâneo contempla os processos cognitivo e científico, tendo em consideração as várias posições conflituais que deram “forma às controvérsias” (Carrilho, 1991). As pressuposições que guiam a actividade científica permitem o conhecimento da essência da actividade científica enquanto corpo de desenvolvimento. Com efeito, a Ciência é uma actividade complexa, multifacetada cujas teorias são dotadas de informação difícil de ser decifrada por elementos mesmo pertencentes à mesma classe científica. A Epistemologia defronta-se com a tarefa de analisar as teorias a partir das controvérsias descritas em textos, livros e outras publicações, por forma a averiguar o possível padrão da construção do conhecimento científico.

A linha de orientação que rege o nosso trabalho cinge-se à área da Geologia enquanto campo científico ligado à Terra e ao seu funcionamento. No entanto, pretendemos estudar este campo pelo seu interior e compreender o modo de emergência de teorias que hoje são geralmente aceites, mas cujos caminhos se revelam cheios de conflitos e controvérsias, sendo estas muito relevantes para o estudo a que nos propomos. Encarando as teorias como versões da natureza que se vão construindo ao longos dos tempos, então os materiais didácticos que intencionalmente foquem a sua atenção nesse processo, ajudam a compreender o caminho percorrido desde a sua concepção até à sua substituição. Sendo a nossa intenção articular a investigação com a inovação, parece-nos que a abordagem das teorias científicas faz todo o sentido. É que a Ciência apresenta-se como o resultado de processos de construção arduamente pensados por investigadores que diversas vezes se vêm em discórdia com outros.

Esta conquista humana visível num percurso histórico, revela que a conquista de uma nova teoria é um trajecto muito difícil, pois a novidade é encarada constantemente de forma céptica e acutilante por olhares contrários. Como que podemos afirmar que a “(...) Ciência é uma actividade em que o acordo nem sempre é possível, nem fácil.” (Cachapuz, Praia e Jorge, 2002). Assim, analisar não só os êxitos, bem como os fracassos da

construção de uma teoria possibilita a nossa compreensão da sua degeneração quando ocorre o embate com problemas empíricos e conceptuais, e do seu avanço, quando os ultrapassa. O estatuto das teorias é mutável com o tempo, de acordo com a sua capacidade heurística de resolver problemas, de tal forma que o papel de teorias marginais e periféricas importa salientar num estudo como este (Fig.II-57).

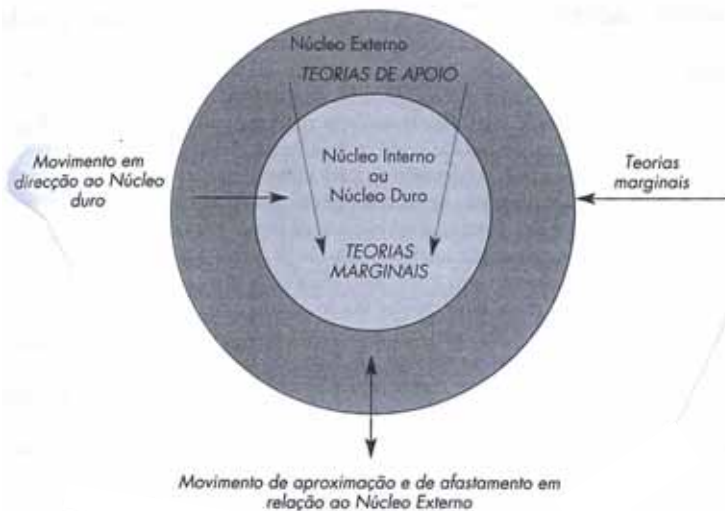


Fig.II-57- Metáfora da bola para classificar e hierarquizar as teorias científicas (In: Cachapuz, Praia e Jorge, 2002).

Assim, no círculo central encontram-se as teorias centrais sustentadas por ideias que constituem a corrente principal da Ciência, fortes e coesas. No círculo seguinte temos o nível fronteiro, que fazendo parte do corpo de uma disciplina reconhecida pela comunidade científica, baseia-se em provas científicas sólidas, onde emerge o espectro das anomalias. Num último nível, já fora do segundo círculo, estão as teorias marginais muito especulativas, carecendo constantemente de uma comprovação vinda de dados empíricos. É aqui, neste nível, que algumas teorias ascendem a revolucionárias, podendo atingir o círculo central, enquanto que outras convertem-se em excêntricas, ainda mais afastadas do estatuto superior. A análise destes percursos é fundamental para que os estudantes adquiram uma verdadeira compreensão científica.

No presente contexto, entendemos ser necessário proceder a uma breve recapitulação das várias correntes epistemológicas, fazendo o enquadramento das controvérsias científicas na Geologia, objecto do nosso trabalho. Assim, pela perspectiva

do investimento, uma base epistemológica bem fundamentada permite-nos uma conformidade intelectual que se irá reflectir nos contornos práticos do Capítulo IV.

Durante os séc. XVII e XVIII, articulava-se o conhecimento com duas vertentes filosóficas principais, sendo elas o *racionalismo* e o *empirismo* (ver Tabela II-I). Se a primeira corrente tem como base a razão enquanto fonte de conhecimento, na medida em que é observada de modo racionalizado, a segunda considera como fundamental e imprescindível o método científico onde imperam as experiências cruciais. Podemos, contudo afirmar que muitas vezes a posição racionalista tem um sentido que lhe advém de uma metodologia empírica, uma vez que segundo aquela perspectiva, o verdadeiro conhecimento está associado em alguns pontos, a correspondências e consequências empíricas.

Contudo, o conhecimento científico, apesar de fazer parte de uma construção, está ligado, em alguma altura, aos sentidos humanos. Há a ligação empírica da Ciência com a sua construção baseada na razão. É por isso, que ao longo do trabalho adoptamos a posição epistemológica do *racionalismo contemporâneo* (Fig.II-58) que não descarta estas conexões intrincadas e fundamentais, dentro do âmbito das controvérsias científicas. Estas vão ser fundamentais para que se entenda a Ciência e todo o seu empreendimento, como fruto de ligações complexas decorrentes de uma actividade mental elaborada e não surgida do acaso, como ainda é ministrada geralmente nas escolas. A polémica gerada em torno das observações científicas é, em nosso entender, sustentada por uma explicação mais profunda por parte dos intervenientes directos da Ciência. Ao compreender esta forma de estar, iremos desenvolver as estratégias de ensino que foquem o valor da observação em Ciência, que nos parece intimamente relacionado com a reflexão. Esta postura, permite-nos avançar para a noção de que as teorias que se aprendem e que foram formuladas pelos cientistas fizeram parte de um longo processo construtivo e que terá passado pela formulação de hipóteses. O pendor racionalista contemporâneo que defendemos insere-se nos objectivos deste trabalho, onde a “crítica, a argumentação e o consenso constituem elementos de racionalidade científica que importa passar para os alunos.” (Cachapuz, Praia e Jorge, 2002)

Karl Popper é um dos mais importantes filósofos do século XX e a sua visão epistemológica da Ciência passou a constituir um marco pelo qual todos os estudos, que envolvam a Epistemologia das Ciências passam. Este filósofo, apesar de não ter pertencido

ao Círculo de Viena, estabeleceu relações estreitas com Carnap, um elemento desta sociedade fervorosa adepta do neopositivismo. Esta corrente organiza-se por ser herdeira empirista e positivista. E entretanto, Popper inicia as suas críticas rompendo com o indutivismo. Diverge dos propósitos indutivistas e adopta como critério de cientificidade a *falsificabilidade*, em detrimento da verificabilidade (ver Tabela II-II). Isto é, uma teoria só passa a ser verdadeira, quando resiste ao teste pela negativa, além de que, o que caracteriza uma ciência empírica é a sua capacidade de ser falsificável.

“(...) como é que se podem distinguir as teorias das ciências empíricas das especulações pseudocientíficas, não científicas ou metafísicas?”

Este é o problema da demarcação. Ele resolve-se, sugiro eu, aceitando a testabilidade, a refutabilidade ou a falsificabilidade como sendo a característica distintiva das teorias científicas.” (Popper, 1983 in: Carrilho, 1991)

A grande importância dada às teorias científicas constituiu a sua metodologia científica. Com efeito, a justificação de uma teoria pela sua veracidade, em seu entender, levava a afirmações gratuitas e argumentadas pela experiência perceptiva. Popper, insurgia-se contra esta postura neopositivista, manifestando o seu descrédito pela indução. Echeverría (2003) afirma que “(...) Popper sempre afirmou que o princípio de indução não pode ser uma lei lógica no sentido da lógica formal do século XX, quer dizer, uma tautologia ou um enunciado analítico. Teria de ser um enunciado sintético e, por isso, um enunciado universal.” A universalidade dos enunciados é o cerne desta grande dúvida que assola o espírito crítico de Popper, francamente influenciado pelas ideias de Hume. Chegou a considerar que a indução conduzia a um ciclo vicioso cujo fim não se afigurava fiável e lógico. Ou seja, o facto de algo ser verdadeiro e comprovável a nível imediato, não queria dizer que o fosse sempre. Então, era impossível fazer afirmações generalizáveis a partir de enunciados particulares porque eles não abarcavam a totalidade de casos que podiam existir, não só agora, como também no futuro, uma vez que não estaríamos cá para o comprovar. Nesta acepção, o valor de um enunciado científico não podia ser decidido com base no observável. Ele só poderia ser científico se fosse falsificado por meio da experiência, ou pelo seu carácter contraditório. A função do empírico era ser capaz de refutacionar uma determinada teoria. Não se podia verificar uma determinada teoria a partir da experiência de dados particulares e formular uma teoria de carácter universal, pois havia sempre a possibilidade de haver um contra-exemplo. Ou melhor, a experiência não

funcionava como algo comprovatório pela positiva mas sim pela negativa, refutando a teoria científica, está-se-lhe a conferir o carácter de cientificidade.

Popper designou de *realismo crítico* a sua forma de entender a Ciência e a actividade científica, opondo-se ao *empirismo (positivismo) lógico* que dominava as perspectivas epistemológicas da sua época. Assim, para Popper o problema residia essencialmente na verdade das teorias que seriam contestadas pela experiência crítica, da qual também se retiravam conhecimentos. Contudo, não se esqueceu que não havia um método que permitia descobrir teorias científicas, nem que garantisse a verdade de uma hipótese. Além do mais, o que mais interessava eram as experiências cruciais, excluindo do “(...) seu horizonte as abordagens à psicologia ou à história da ciência (...)” (Luz, 2002).

O confronto com o positivismo lógico foi um marco na ideologia de Popper, que não conseguiu ser totalmente superado pelas suas argumentações. Vejamos que a sua rejeição ao indutivismo pressupôs a introdução de um conceito que se pretendia simples, a verosimilhança, mas que no fundo o conceito era semelhante. Para Popper “a verosimilhança de uma proposição depende da quantidade de verdades e de falsidades que essa proposição implica.” (Echeverría, 2003) Ou seja, era como que uma medida para averiguar a capacidade de uma proposição em resistir aos argumentos que a pudessem abalar.

Popper marcou de forma indelével uma geração de Filósofos do Conhecimento, constituindo as suas ideias uma alternativa à concepção herdada, mas um outro autor que não passou despercebido nas altas esferas da Filosofia foi Thomas Kuhn (ver Tabela II-III). A publicação da sua obra “*A Estrutura das Revoluções Científicas*”, veio agitar novamente o pensamento filosófico. A sua postura contra o dedutivismo de Popper foi uma característica preponderante, porém, o que mais caracterizou a obra de Kuhn foi a ideia de que a Ciência era descontínua e sofria revoluções e com elas alteravam-se ideias que dominavam a comunidade científica. Foi, sobretudo, sobre a actividade e o trabalho dos cientistas que ele se interessou.

Apesar do seu livro ter demorado alguns anos a ser difundido, pode ser considerado uma obra de referência na metodologia da Ciência dos anos 60/70. Com efeito, consideramos de grande importância referir com alguma profundidade este autor, uma vez que neste trabalho abordamos com especial relevância as controvérsias científicas na Geologia do século XIX e XX. Neste contexto, faremos sempre que possível e sempre que

se revele pertinente, um ponto da situação do nosso entendimento com o pensamento de Kuhn.

São, pois, as novas visões da Ciência que permitem agora interpretar a História da Ciência como um factor fundamental na construção do conhecimento científico.

“Como poderia a História da Ciência deixar de ser uma fonte de fenómenos, aos quais podemos exigir a aplicação das teorias sobre o conhecimento?” (Kuhn, 1989¹²)

Já Bacon e Comte haviam valorizado a História da Ciência, apesar de a utilizarem numa perspectiva que valorizava apenas os percursos bem sucedidos de uma determinada teoria. Desta feita, os resultados da investigação histórica apresentavam certas insuficiências que Kuhn tentou superar pela importância dada à História da Ciência. Como este autor refere no início da Introdução do seu livro atrás citado, “Se a História fosse vista como um repositório para algo mais do que anedotas ou cronologias, poderia produzir uma transformação decisiva na imagem de ciência que actualmente nos domina.”

Kuhn, então, preconizou uma revalorização da História da Ciência que respondia a questões mais exigentes que as respondidas pelos seus antecessores. Ou seja, pretendia um estudo mais aprofundado da forma de pensar da época em questão, averiguando os debates emergentes nos contextos próprios e não em referência à ciência actual. A História da Ciência, tornou-se ela própria um factor de reflexão metodológica, o que vai ao encontro do que Echeverría (2001) refere: “Fazer uma história ou uma metodologia da ciência baseada apenas nos momentos estelares da mesma (as grandes revoluções, as grandes teorias) supõe perder de vista aspectos que só podem tornar-se claros para quem investigue minuciosamente as diversas épocas históricas, desprovido de preconceitos metodológicos.”

A importância que Kuhn deu à História da Ciência e em especial à controvérsia, fê-lo chegar à conclusão que os factores sociais eram conducentes na emergência daquilo a que apelidou de *paradigmas*. A esse respeito, Kuhn diz que “(...) esses e muitos outros trabalhos que serviram (...) para definir implicitamente os problemas e métodos legítimos de um campo de pesquisa para as gerações posteriores (...)” (Kuhn, 1989). Paradigma é, então, o modelo vigente na comunidade científica que rege inclusive, a formação de novos cientistas. Os manuais utilizados no ensino corroboram com o paradigma vigente e actuam como difusores das ideias científicas dominantes. É aqui que se desenvolve o período de *ciência normal*, intimamente relacionado com a emergência de um paradigma triunfante.

¹² O livro utilizado neste trabalho é uma tradução do original Inglês “*The structure of scientific revolutions*”- 3ª Edição, de 1989.

Todas as investigações desenvolvidas durante este período, têm por base as ideias aceites pela comunidade científica da época. De salientar que durante esta fase, não há formulação de novas teorias, mas sim a resolução de problemas não solucionados, notando-se uma progressiva especialização.

Seja como for, ao longo das investigações decorridas à luz do paradigma vigente, surgem factos cuja explicação não corresponde à pretendida. Surgem as anomalias que não se enquadram no quadro conceptual que se havia imposto há certo tempo.

“Se a consciência de uma crise é, sem dúvida, grande fonte motivadora de inovação, outras fontes podem surgir no caminho da ciência.” (Formosinho, 1988)

Neste contexto Sebastião J. Formosinho explicita aquilo que Kuhn também referiu, se bem que por outras palavras. Estas “*outras fontes*” eram as anomalias intransponíveis e que podiam ser conducentes a um novo paradigma para Kuhn. Porém, para haver uma mudança de paradigma havia forçosamente uma *revolução científica*, da qual emergiam as incompatibilidades entre os paradigmas rivais. Daí também se falar em *crises* e *controvérsias* durante esta fase cujo avanço era “(...) somente possível porque algumas crenças ou procedimentos anteriormente aceites foram descartados (...)” (Kuhn, 1989).

As anomalias podiam ser conhecidas durante muito tempo sem que, por isso, um paradigma fosse logo colocado de lado. Só quando se revelavam completamente insanáveis é que o paradigma entrava em crise, acabando por dar lugar à revolução que faria triunfar o novo paradigma. Este avanço só era possível quando havia um paradigma novo que pudesse ocupar o lugar do antigo, caso contrário este permanecia inalterável. Nas alturas de crise, diz Kuhn, os cientistas aproveitavam para propor novas hipóteses que se encontravam arquivadas, mas não esquecidas, e à espera de uma oportunidade de alguma perturbação na comunidade científica.

“Na manufactura, como na ciência- a produção de novos instrumentos é uma extravagância reservada para as ocasiões que o exigem. O significado das crises consiste exactamente no facto de que indicam que é chegada a ocasião para renovar os instrumentos.” (Kuhn, 1989)

A substituição de um paradigma por outro era um processo que podia ser mais ou menos moroso, passando o último a constituir a Ciência vigente dotada das características que se conheciam no anterior. Mas, “Decidir rejeitar um paradigma é sempre decidir simultaneamente aceitar outro e o juízo que conduz a essa decisão envolve a comparação

de ambos os paradigmas com a natureza, bem como sua comparação mútua.” (Kuhn, 1989). É então que se verificava a *incomensurabilidade* entre os dois paradigmas, uma análise dos seus quadros de referência, não só a nível empírico como também a nível teórico e a nível linguístico. O problema nestas mudanças científicas residia na incompatibilidade entre as respectivas concepções, para além de não existir uma experiência totalmente neutra e objectiva, como a defendia Popper na experiência falsificacionista. Esta relativização que Kuhn se apercebeu existir levantou-lhe alguns problemas no que respeita à sua explicação para a mudança de paradigma que se pretendia total.

“(…) algo mais do que a incomensurabilidade dos padrões científicos está envolvido aqui. Dado que dos novos paradigmas nascem os antigos, incorporam comumente grande parte do vocabulário e dos aparatos, tanto conceituais como de manipulação, que o paradigma tradicional já empregara. Mas raramente utiliza esses elementos emprestados de maneira tradicional. Dentro do novo paradigma, temos, conceitos e experiências antigos a estabelecerem novas relações entre si.” (Kuhn, 1989)

Kuhn (1989) remeteu este problema para o problema da “tradução”, chamando-lhe de “mal-entendido entre as duas escolas competidoras”. Ou seja, a linguagem dos cientistas é relativa, e para que possa haver comunicação cada lado tem de conhecer a significação atribuída à Ciência e aos seus conteúdos.

Com a viragem de paradigma reinante, o cientista passaria a ver o mundo de forma diferente, se bem que ele permanecesse o mesmo.

Uma última posição epistemológica que fazemos questão de abordar é a que foi sugerida por Imre Lakatos e também está relacionada com o que temos vindo a focar ao longo deste ponto do Capítulo II. Com efeito, a posição de Kuhn face à importância da História da Ciência marcou de modo irrefutável uma geração de filósofos, constituindo Lakatos um dos que reconhece plenamente a pertinência da História da Ciência para a Filosofia da Ciência.

Este ponto comum com Kuhn não esconde a influência que Lakatos herdou de Popper. O falsificacionismo deste autor, segundo Lakatos, podia ser aperfeiçoado e, então, optou por um falsificacionismo, que designou de *metodológico sofisticado*. Este, por sua vez tinha contornos próprios diferentes do falsificacionismo popperiano, na medida em que

as regras de funcionamento não eram coincidentes. Por outras palavras, segundo Lakatos, uma teoria só era considerada científica se tivesse um excedente de conteúdo empírico corroborado relativamente à teoria rival. Denota-se então, a sua postura dentro da tradição empirista sendo, porém, o seu critério de demarcação uma novidade, uma vez que havia a comparação entre teorias. Uma teoria acabava sempre por ser substituída por outra que incluísse o que era fundamental da anterior e que estabelecesse novas predicções empíricas, experimentalmente confirmadas. Contudo, há que notar o seguinte, não era a experiência que refutava, por si só, uma teoria, ela orientava os cientistas na sua escolha.

Uma vez que se verificava a possibilidade de comparação entre duas teorias, a mais antiga tentava sempre preservar o seu núcleo duro, construindo para esse efeito, uma cintura protectora de hipóteses auxiliares, modificação dos significados de termos, entre outras. Mas, uma teoria devia ser avaliada tendo em consideração as hipóteses auxiliares e a sua ligação com as teorias predecessoras apreciando que tipo de mudança originou a nova teoria. Deste modo, eram as sucessões de teorias, ou *programas de investigação científica (PIC's)*, que constituíam a base do seu “corpus” epistemológico. Estabeleceu-se assim uma relação entre a noção de Ciência e de progresso, uma vez que a escolha de uma teoria considerava em primeiro lugar a inovação e o progresso científico que acarretava consigo.

Um programa de investigação científico implicava que transportasse consigo um determinado potencial heurístico. Isto é, um determinado conjunto de técnicas para a solução dos problemas científicos, que tanto correspondiam a pistas de investigação que deviam ser evitadas (heurística negativa) como a pistas que deviam ser seguidas (heurística positiva). Se a primeira impedia que as anomalias afectassem o núcleo duro de uma teoria, a segunda evitava que o cientista se perdesse no seio de várias anomalias e resolvesse tarefas que pudessem contribuir para a ampliação e o desenvolvimento do programa. Porém, descurava o método empírico como fonte única de comprovação ou refutação de teorias. Considerou que havia uma forte articulação entre a prática e a teoria, o que vem ao encontro do que defendemos. Por outro lado, para Lakatos, “Uma teoria, por si própria, nunca proíbe seja que acontecimento empírico for, porque há sempre outros factores que podem exercer sobre ele a sua influência (...)” (Echeverría, 2003). O critério racionalista foi adoptado por este filósofo da ciência, considerando teorias rivais, das quais escolhas criteriosas teriam de ser elaboradas, a fim de que a Ciência fosse considerada válida em

termos gerais. Como desfecho da etapa competitiva, seria a emergência daquela que foi substituir a outra, de alguma forma semelhante ao defendido por Kuhn.

Por outro lado, Lakatos, concebeu o conhecimento científico como englobante de várias teorias, interligadas pelos programas de investigação, onde as teorias eram avaliadas pela sua capacidade de conduzirem ao surgimento de novos factos. Desta forma, o novo conteúdo, poderia ser incorporado no já existente, estabelecendo relações que se reportavam, de alguma maneira, para a História da Ciência que se estuda. Foi esta avaliação do processo de evolução ou regressão de um novo programa de investigação, que proporcionou a articulação com a análise histórica. Lakatos (In: Hacking, 1981) parafraseia uma citação de Kant, “Philosophy of science without history of science is empty; history of science without philosophy of science is blind.” Dentro deste contexto, ao estudar o desenvolvimento do conhecimento científico considerou dois momentos fundamentais, designados *de história interna e história externa*. Enquanto que o primeiro “contempla os problemas relativos à consolidação e justificação lógica da objectividade do conhecimento científico” (Luz, 2002), o segundo “procura reconstruir os cenários que serviram de fundo às reconstruções da história interna (...)” (Luz, 2002). Só estudando a História da Ciência se pode compreender a sua verdadeira natureza, a forma como evolui e a sua importância na construção do conhecimento científico, como objectivo final.

CORRENTE FILOSÓFICA	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS
EMPIRISMO	<ul style="list-style-type: none"> - Observação dos factos conduz à teoria; - Conhecimento é cumulativo e existe a verdade absoluta; - Indutiva- a ciência constrói-se do exterior para o interior.
RACIONALISMO	<ul style="list-style-type: none"> - O conhecimento científico é condicionado pela razão; - A natureza é fonte de conhecimento; - A razão é a verdadeira fonte de conhecimento.
RACIONALISMO CONTEMPORÂNEO	<ul style="list-style-type: none"> - Tem em consideração as rupturas e discontinuidades do empreendimento científico e do senso comum; - As hipóteses são susceptíveis de serem reformuladas, a partir de pontos não explicados pela teoria; - A comunidade científica desempenha um importante papel na aceitação de novas teorias.

Fig. II-58- Esquema das principais correntes da filosofia das ciências.

Assim, jamais podemos pensar na História da Ciência desenquadrada de uma orientação epistemológica. E é desta articulação que pretendemos estabelecer a ponte com o Ensino das Ciências na sala de aula. Esta forma de aprender a natureza da Ciência motiva a participação activa e deixa para trás os alunos que meramente são alvo de uma informação jornalística. A forma como se elaboram as hipóteses, os conflitos entre os cientistas e os seus valores pessoais e da sociedade em que estavam inseridos é o que está por detrás do cenário que se pretende neste estudo.

Com efeito, a partir dos anos 80, notou-se a necessidade de articular a História e a Epistemologia das Ciências com o Ensino das Ciências por várias razões. Uma delas está relacionada com a necessidade de valorizar a prática e a investigação da Educação em Ciência. Uma outra tem a ver com o facto dos professores darem mais ênfase aos “objetivos relacionados con la adquisición del conocimiento que en aquellos relacionados con la comprensión de la naturaleza de la ciencia o con el desarrollo de las actitudes” (Hodson, 1986). Ou seja, para que os alunos tenham uma adequada compreensão destes assuntos, é pertinente dar maior importância às considerações filosóficas aquando da construção dos desenhos curriculares das Ciências.

O facto é que muitos, ou até, quase todos os professores de ciências são produto de uma Educação em Ciência com raízes positivistas/empiristas, demonstrando actualmente uma visão indutiva há muito abandonada pela filosofia. Porrúa (____) chega mesmo a dizer:

“La positivización y tecnificación de la enseñanza, convertía la evaluación educativa en una acción técnica, reducida a la medición y cuantificación de resultados, lo que le daba apariencia de objetividad a la dimensión técnica de aplicar métodos o programas diseñados por expertos externos ajenos a la vida del aula.”

Deste modo, a sala de aula ainda é o local de descrições lineares, sem contextos estruturantes e de justificação das teorias/conceitos onde o aluno não chega a compreender a diferença entre a Ciência e uma outra disciplina.

De qualquer forma, pretende-se contrariar esta tendência actual das ciências e há que formar os professores, quer a nível da formação inicial, quer a nível da formação contínua, e fazer compreender que é fulcral conhecer questões sobre a Filosofia da Ciência que ministram e a sua importância para a educação científica. Ao fomentar o

desenvolvimento do conhecimento científico, vai haver articulação com múltiplos factores, o que lhe confere um carácter particular.

Efectivamente, a prática docente rege-se por pressupostos epistemológicos. Consequentemente, os professores ao tomarem consciência de que o conhecimento científico é passível de construção e que as suas próprias construções influenciam a forma de ensinar, a reflexão é um meio percursor da melhoria das práticas lectivas. Considerando, como verdade incontestável que o docente dá muito de si próprio nas práticas a nível da sala de aula, será natural que as suas acepções da Ciência influenciem os alunos a elaborar o seu conhecimento científico. Pelo próprio conceito de filosofia se compreende que, a nível do ensino, haja a necessidade de conhecer a Filosofia da Ciência que se ensina, pois só assim se constitui uma base de análise que fundamenta e incentiva a explicitação da própria natureza da Ciência. Contudo, ela implica a construção do seu campo de conhecimentos ajustados a uma comunidade inserida no seio da sociedade e influenciada por factores culturais e tecnológicos.

É a necessidade constante de articular o método de ensino de uma Ciência com o seu processo de produção de conhecimento, que justifica a fundamentação epistemológica do Ensino das Ciências. Para além disso, ajuda a estabelecer relações entre o senso comum e o conhecimento científico e as práticas didácticas onde se tem em consideração as especificidades desses dois tipos de conhecimento. Como refere Kosso (1992), a Ciência é como que o senso comum consciente. O processo de justificação na Ciência pode demorar vários dias, semanas ou mesmo anos, uma vez que não são procedimentos que se tomem rapidamente. No entanto, e concordando com o mesmo autor, os movimentos da Ciência são mais lentos, mas em tudo semelhantes aos do senso comum, apesar de ser uma actividade comunitária. Muita da argumentação do senso comum é de carácter interno, sendo o oposto na Ciência, amplamente dependente de teorias que orientam a observação. Não queremos com isto dizer que o senso comum é atóxico. Apenas que as crenças básicas inerentes ao nosso pensamento regem as nossas observações, tal como a teoria orienta a observação na Ciência.

“Our observations are theory-dependent just as our theories are observation-dependent.”- Kosso 1992

Não obstante, uma orientação filosófica com pendor racionalista revela-se necessária pelas suas características implícitas. Neste sentido, o docente tem de ser um

facilitador do processo de aprendizagem, fornecendo condições que fomentem o diálogo e a exposição de ideias entre os alunos, sem receios nem hesitações. Por outro lado, e é aqui que se centra o nosso estudo, a utilização da História da Ciência permite que tiremos partido do poder heurístico da ciência na construção do conhecimento científico dos alunos.

2.2- SOBRE AS CONTROVÉRSIAS CIENTÍFICAS

A natureza da Epistemologia permitiu-nos estabelecer as ligações com o objecto deste estudo, as controvérsias científicas. Iremos, ao longo deste ponto, explicitar de que forma as controvérsias estabelecem ligações com a Epistemologia e a sua importância para este estudo. Por isso, colaboraram alunos do Ensino Secundário que nos permitiram confirmar uma hipótese que se centrava essencialmente numa possível articulação entre as controvérsias científicas com incidência na Didáctica das Ciências.

Abordar as controvérsias com incidência na Didáctica foi elucidativo, na medida em que estabelecemos a multiplicidade de relações que daí emergiam. Antes, porém, convém que nos detenhamos um pouco sobre a problemática da controvérsia. O que podemos entender por controvérsia e em que medida ela constitui um objecto de estudo, são questões sobre as quais iremos de seguida passar a explorar.

Vários foram os autores que se referiram às características das controvérsias, aportando cada um deles uma nova postura sobre este conceito que tão frequentemente iremos utilizar ao longo do presente estudo. Com efeito, apresentamos de seguida algumas referências/definições proferidas por autores que, de alguma forma se referiram à controvérsia, mesmo que nalguns casos não se tenha tornado explícito através dos seus escritos:

“A transição para um novo paradigma é uma revolução científica (...).” (Kuhn, 1989)

“A substituição de um paradigma por outro pressupõe uma revolução científica.” (Echeverría, 2003)

“Uma controvérsia é uma série de argumentos visando mudar uma opinião sobre um estado de coisas; ela compreende um pólo subjectivo e discursivo e um pólo referencial.” (Gil, 2001)

“La coexistencia- no siempre pacífica- de varias teorías en competencia durante determinados períodos de la historia de la ciencia há provocado controversias importantes.” (Suárez, 1996)

“En este nuevo marco teórico y metodológico, las controversias, en lugar de considerarse obstáculos accidentales o procesos anómalos causados por la intromisión de factores externos o irracionales (...) han sido concebidas como elementos nucleares en el desarrollo de la ciencia y, secundariamente, puertas de acceso privilegiado para el estudio de la actividad científica.” (Albar, 2003 in: URL1)

“(...) controversy analysis is a thriving field of study, no doubt due, in part, to the human drama and social implications associated with many controversies.” (Scott *et al.*, 1990)

“In scientific debate, there are various potential asymmetries worthy of note, since such imbalances can have a strong influence on debate dynamics.” (Martin, 2000 in: URL2)

“(...) a dialética chamada subjectiva (o pensamento dialético) é unicamente o reflexo dos movimentos através de contradições que aparecem em todas as partes da natureza e que, (num contínuo conflito entre os opostos e sua fusão inicial, formas superiores) condicionam a vida da natureza (Egels, 1991).” (Peloggia, 1995 in: URL3)

Os autores que citamos, tendem a utilizar não só a expressão *revolução científica*, *controvérsia*, *assimetria* como também *dialética*. Esta pluralidade de expressões converge para a concepção que incide na natureza específica daquilo que consideramos ser a controvérsia científica, referente à situação de confronto de ideias na qual são apresentados argumentos a favor de cada uma delas. Esta realidade repleta de pontos de argumento e contra-argumentos caracteriza-as e torna-as uma força que ilustra a natureza do conhecimento diferente daquilo que aparentemente se poderia pensar. Ou seja, com elas tomamos consciência que muitas vezes o conhecimento científico é imperfeito, se não mesmo uma tarefa, por si mesma, inacabada.

Consideramos que a controvérsia é uma forma de contradição e de contraponto de uma determinada situação, ou até mesmo convicção. Uma ideia que construímos sobre um assunto das ciências torna-se uma convicção que forma raízes no nosso entendimento. Porém, a constante pesquisa e procura leva inevitavelmente ao encontro de situações mal explicadas que abalam essa nossa postura firme e certa. Nessa altura, a nossa convicção

não é mais do que uma crença abalada e que irá sofrer um processo revolucionário. As controvérsias científicas são, neste sentido, inerentes à própria Ciência. Como a Ciência se constrói a partir do seu próprio movimento, e tendo em consideração que há inúmeros movimentos, também somos levados a concluir que existem diversas comunidades científicas regidas pela sua própria forma de entender e de fazer Ciência. Ora, o fazer-se a Ciência supõe que esta emerge do seu movimento, dotado de vida própria, caracterizada pela procura de uma possível verdade que se descreve na forma de teoria, apoiada por factos e experiências e tendo em conta múltiplos factores de cumplicidade. A contribuição de várias teorias explicativas de um mesmo fenómeno, leva a uma competição que implica escolhas quase nunca pacíficas. O ónus da prova científica permite que se chegue à demonstração, quando é possível, e à verificação da suposta realidade. Porém, há inúmeros factores que contribuem para a aceitação de uma teoria, para além da sua capacidade de explicação prática.

As operações cognitivas conduzem-nos a hipóteses que, como que intrinsecamente à sua existência, serão testadas, ou melhor dizendo, sujeitas a provas que poderão alterar as então seguidas. A controvérsia surge aqui como um ponto inerente ao facto de, como estamos a lidar com seres humanos a subjectividade e, conseqüentemente, as vontades dos cientistas, tenderem a sobrepor-se à realidade, que se pretende objectiva e neutra na perspectiva positivista que não é o nosso posicionamento. Daqui surge a necessidade de quantificar, de recorrer a uma linguagem que fuja à subjectividade humana. Porém, como diz Gil (2001) “a objectividade não é dada mas conquistada” utilizando factores extrínsecos aos do trabalho científico. Normalmente considera-se que as controvérsias só surgem no âmbito das ciências humanas, consideradas mais subjectivas. Tal como acabamos de explicitar ao longo deste parágrafo, esta ideia mudou graças à contribuição da História e à Filosofia da Ciência, que aportaram o carácter humano, de complexidade e de incerteza das próprias ciências naturais, fugindo, aliás, ao modelo do positivismo, para que pareciam estar “talhados”.

“El reciente énfasis de los estudios de la ciencia en analizar la práctica científica (...) ha puesto de manifiesto, en cambio, el papel omnipresente de las controversias y las disidencias en el proceso de producción del conocimiento científico.” (Albar, 2003 in: URL1)

As controvérsias científicas são, então, muito diversas no que respeita às suas origens. Contudo, todas elas remetem para oposições aparentemente intransponíveis mas que permitem conhecer o verdadeiro funcionamento das comunidades científicas como também da sociedade em geral e dos seus interesses. Entendemos a controvérsia não como uma forma de aporética filosófica, mas como um meio onde se revelam os verdadeiros interesses pessoais e sociais, que muitas vezes conseguem passar despercebidos da opinião não especializada. Esta resistência e oposição à novidade soam a estranho, pelo facto de se conceber os homens da Ciência como aqueles com a mente mais aberta a mudanças e alterações de um determinado estado das coisas. Contudo, é nestes pormenores que denotamos o carácter humano do empreendimento científico, traduzido por ideias, valores e crenças pessoais. Há sempre, diríamos, uma epistemologia pessoal que está presente e que se torna necessário vigiar. Desta forma, ao estudar a História da Ciência podemos, de uma forma mais próxima, conhecer a realidade dos caminhos que se seguem dentro da comunidade científica. Como ficou ilustrado nos pontos anteriores do presente capítulo, a evolução científica não é linear e totalmente objectiva. É antes, uma teia de relações estabelecidas entre os cientistas, as suas pesquisas, a tecnologia e a própria sociedade, com as suas múltiplas vertentes a interagirem.

É certo que o cientista se apercebe do que o motiva e rege nas suas pesquisas, fruto das quais surgem os conflitos e controvérsias que consideramos pertinente fazer passar para o domínio da Didáctica e das práticas lectivas. Neste contexto, Silverman (1992), faz uma referência que nos parece de ressaltar o papel dinâmico da investigação científica e com a qual concordamos inteiramente:

“(...) to the practicing scientist who understands the subtle complexities of collecting and interpreting data, drawing inferences, and testing hypotheses, science is not a stock-piling of absolute facts, but self-correcting mode of inquiry. And in that process of self-correction can arise the passion and ferment of controversy. (...)”

Quando uma nova teoria entra em contradição, ou em polémica apenas, com a dominante, são-lhe levantadas de imediato barreiras na aprovação pela comunidade científica. Verificámos isso, nos três temas por nós focalizados neste estudo. Notou-se o emergir de dificuldades que perduraram anos, ou até mesmo décadas, em alguns casos. Houve, como que, a necessidade da nova ideia incubar num mar de pesquisas retomadas, umas no sentido de apoiar, outras no sentido contrário, a desaprovar e rebaixar. A

resistência à mudança não é, contudo, uma atitude irracional. Quantas vezes na nossa vida quotidiana não nos deparamos com situações às quais nos opomos à partida, mas que depois de uma análise cuidada e mais consciente nos vemos a alterar a posição inicial? É que uma mudança implica alterações de múltiplos aspectos. A nossa dependência dos conceitos já estabelecidos e cimentados durante anos, é multiresistente, por analogia com as novas estirpes de bactérias já adaptadas a um determinado antibiótico. Ao entrar em campos desconhecidos, e ao afectar as concepções de alguns cientistas parece que se lhes está a atacar o *ego* e conseqüentemente, a colocar em causa a sua capacidade intelectual, se não mesmo a própria pessoa do cientista.

Esta postura dos investigadores não erradica as novas teorias por si só, de maneira que o conflito é inevitável. Acreditamos que o dualismo de posições, vem enriquecer a Ciência com novos estudos, apesar de muitos se revelarem infrutíferos para a disputa em questão. E é desta oscilação que surge o resultado final do confronto. Revela-se desta forma, o esforço humano em descobrir ou ordenar uma pequena parte do mundo que nos rodeia.

A imagem convencional de que só os peritos podem emitir juízos de valor, no seio de uma comunidade especializada que à partida não é afectada por questões de índole política e social, começa a cair em descrédito. Por outro lado, e uma vez que este estudo se insere no âmbito da Didáctica, a comunidade leiga e que não toma partido nas decisões da comunidade científica que acarretam conseqüências políticas e sociais, deve ser mais informada. Ou seja, a educação científica nas Escolas e Universidades deverá ter em consideração que a alfabetização científica do público é uma necessidade das sociedades actuais. Não se pretende, contudo, no Ensino Básico e até mesmo no Secundário, formar cientistas, pretendemos sim formar cidadãos informados e que, perante determinadas decisões, sejam capazes de emitir juízos de valor, emergentes de reflexão consciente e não devida a mediatismos que caracterizam uma sociedade empobrecida culturalmente. Neste contexto, cremos que o estudo das controvérsias científicas irá não só permitir alargar os horizontes e aprofundar o seu conhecimento, como também a reflexão patente na Epistemologia seguida. Este facto irá ter incidências na perspectiva de ensino/aprendizagem que, conseqüentemente, desenvolvemos na fase empírica do estudo.

Tal como vimos, as controvérsias inserem-se na prática da Ciência. Esta, dá primazia à discussão dos assuntos que vão constituir o corpo da Ciência que é ensinada aos alunos.

A aceção da Didáctica com a qual concordamos e que fundamenta um ensino construtor de conhecimento científico, demarca-se pela utilização de estratégias de ensino intencionais e que sejam capazes de induzir mudanças de atitudes. Com efeito, esta ideia de ultrapassar o ensino transmissivo passa, em nosso entender, pela utilização das controvérsias geradas ao longo do tempo na emergência de um paradigma (para utilizar a terminologia de Kuhn) actualmente aceite pela comunidade científica. Desta forma reconhecemos a mais valia da contribuição das controvérsias para uma incidência didáctica que transcenda o carácter, por vezes redutor, das disciplinas de Ciências vistas como um simples acumular de factos que se vão substituindo paulatinamente ao longo dos tempos. Utilizaremos a controvérsia de forma a que os alunos fiquem com a ideia que dentro da comunidade científica há variação e uma divergência de opiniões sobre assuntos que se acreditavam totalmente resolvidos. Por exemplo, para explicitar um caso concreto, acreditava-se que a visão Catastrofista do século XIX havia sido, como que, aniquilada, em especial, pelas ideias de Lyell. Porém, verificamos um lento emergir das ideias Catastrofistas adornadas de novas tendências, mas cujo cerne é o mesmo. Queremos com isto dizer que a Ciência, e mais concretamente a Geologia, não se aprende do exterior, mas do seu interior enquanto um corpo complexo e dotado de inúmeras relações.

Ainda dentro deste assunto, mas numa outra perspectiva, como já dissemos anteriormente, a controvérsia liga-se ao racionalismo contemporâneo no sentido em que transparece o meio no qual se inserem os cientistas e por arrastamento também os alunos e os professores. Queremos dizer então que a controvérsia denota a natureza psicossociológica na qual estão os actores deste processo. Assim, a controvérsia quando apropriada pela Didáctica, nomeadamente no âmbito da História da Ciência, também neste contexto, a História da Ciência torna-se imprescindível para se estudarem as controvérsias científicas.

Em síntese, a articulação da epistemologia por nós adoptada e as controvérsias fundamenta-se por um lado, pela suma importância que os factores sociais, políticos e pessoais têm na emergência de uma determinada teoria científica. Por outro, o facto de se conhecerem as controvérsias compreende-se que a construção do conhecimento científico é

um processo de rupturas, o que quebra com a ideia de uma Ciência intocável e imutável. Daqui decorre que a prática lectiva em que apostamos, integra as controvérsias na medida em que pressupõe a pesquisa de documentos antigos, nos quais os alunos ao indagar e ao discutir em conjunto acabam por se tornarem os principais intervenientes do processo ensino/aprendizagem.

Realçamos neste ponto, o posicionamento epistemológico que optamos, o racionalismo contemporâneo, e que é coerente com os nossos propósitos. As epistemologias racionalistas contemporâneas são terreno fértil para a discussão das controvérsias pois abrem espaço para discussão mais ampla, que não se centram apenas nas vertentes bipolares. Há um campo de discussão onde não se exclui a dúvida e trabalha-se sobre ela própria. Numa perspectiva grupal, e fazendo uma analogia cautelosa, a discussão pode ajudar a simular aspectos sociológicos (de crítica, de argumentação e de consenso) da comunidade científica. E são estes elementos da racionalidade científica que importam passar aos alunos. Acreditamos tratar-se da vertente epistemológica que melhor permite a utilização da História da Ciência numa perspectiva de conhecer a dimensão humana e social do empreendimento científico. Ao exaltarmos os períodos de revolução estamos, de certa forma, a estabelecer pontes de conhecimento científico, o que vem mostrar o seu carácter dinâmico. A nível didáctico pretendemos dar particular relevância aos confrontos que decorreram ao longo dos anos na emergência dos temas em questão. Com esta atitude acreditamos que os alunos conseguirão problematizar, questionar, argumentar, corroborar ou mesmo compreender o refutar das posições dos cientistas, enquanto actores desta trama e que, por analogia cautelosa, nós professores desejamos incentivar tal exercício na sala de aula.

Sem dúvida que a Ciência tal qual a conhecemos é fruto de um processo evolutivo, ou seja, tem uma história cheia de episódios que permitem um melhor conhecimento do que ela é. Não se pode compreender algo que não se conhece. Neste sentido, o estudo de uma determinada Ciência não faz sentido sem que se conheça o seu percurso histórico-epistemológico. Concordamos, pois, com o que refere Aymerich (1994), “(...) Por qué se les habla sólo del “cuerpo de conocimientos” e nunca de su construcción, si ambas cosas son Ciencias? Haciéndolo así, creo que se niega al alumnado una información mucho más importante: que, así como tienen un pasado, las Ciencias tienen un futuro.”

No processo de aprendizagem dos alunos, a noção de Ciência e o propósito da teoria importam ser clarificados, já que a simples memorização é a via mais fácil e muitas vezes salientada como sendo a eficaz. A compreensão do que é uma teoria, ganha sentido numa perspectiva epistemológica contemporânea, uma vez que aquela só surge fruto de um vasto enquadramento de razões. Com efeito, o papel da hipótese, não provada, mas desaprovada por observações e experiências orienta-se segundo um conhecimento teórico anterior. Importa-nos então, articular esta postura com as controvérsias, elas próprias emergentes de tramas de conceitos, de provas e mesmo de observações como já se verificou ao longo do ponto 1, do presente capítulo.

No fundo, queremos apostar nos alunos enquanto cidadãos com uma formação em Ciência que lhes permita ser activos, empreendedores e com uma visão adequada do que é a Ciência e a sua construção. Por isso é tão fundamental compreender a prática científica e as suas múltiplas relações estabelecidas por ela e a sociedade, a política, para além dos conflitos dentro da comunidade científica. Estas disputas e discórdias internas, ao constituírem-se em objecto deste estudo, implicam que escolhamos uma metodologia coerente com os propósitos já defendidos.

2.3- DIDÁCTICA E PERSPECTIVAS DE ENSINO

O emergir da Didáctica como corpo autónomo de conhecimentos, deve-se ao seu carácter específico, à existência de problemáticas relevantes e a condições externas que permitem o seu destaque. Ao longo dos anos, foi-se tornando claro que o papel desempenhado pela inovação científica e tecnológica no ensino, não surtiram o efeito pretendido. A necessidade de se estabelecer um novo corpo de conhecimentos que renovasse a concepção dos conteúdos específicos conduzidos por uma teoria, que orientasse a pesquisa científica, levou à emergência deste corpo científico.

Assim, a construção e a mobilização de saberes em Didáctica está dependente de uma mudança de atitudes intencional e específica que se recusa a conceptualizar um ensino transmissivo, universalista e generalista.

O estatuto da Didáctica faz dela um marco privilegiado nos estudos que envolvem a sala de aula e a construção do conhecimento científico. A Didáctica relaciona não só a

Epistemologia das Ciências, como também a abordagem dos processos de ensino/aprendizagem e ainda a Psicologia do Conhecimento. Além disso, a abertura a outras áreas do saber como a Epistemologia das Ciências é uma mais valia que faz ressaltar os seus modelos de argumentação e as suas ideologias. Esta conjugação de factores joga a favor daquilo que consideramos ser a característica mais imediatista (que não significa fundamental) da Didáctica, o ensino/aprendizagem. É neste sentido que corroboramos com Cachapuz *et al.* (2001) quando afirmam que “O desenvolvimento da Didáctica das Ciências está estreitamente ligado à possibilidade de enriquecimento da actividade docente, e a uma aprendizagem mais estimulante e satisfatória.” A força do melhor argumento nesta área, a intervenção dos professores, foi amplamente apoiada por vários autores e ao longo de vários anos. Alarcão (1991) chega mesmo a referir que “A preparação do professor como mediador entre o aluno e o saber é um dos objectivos da Didáctica.”

Em consonância com este entendimento, acreditamos que os problemas, as ideias e conceitos sobre o ensino/aprendizagem no contexto da sala de aula, onde se toma em consideração o mundo envolvente dos actores da Ciência, para além das realidades com que os professores e os alunos se deparam no dia a dia, inerentes a uma metodologia própria constitui o corpo da Didáctica em si. Alarcão (1989) refere que o “(...) âmbito da Didáctica aponta para a compreensão dos processos e produtos da aprendizagem dos conteúdos das várias disciplinas e sua relação com os processos de ensino como a preocupação fundamental dos seus autores.” Neste espaço, vemos marcado o carácter da investigação que a nós alude e onde “não se poderia (...) conceber a prática educativa à parte dos processos sóciopolítico-económico-culturais amplos que tipificam nossa sociedade” (Silva, 1995). Note-se que o papel desempenhado pela sociedade é consensual com uma acção que ocorre no quotidiano da sala de aula onde os intervenientes são afectados pelo meio sociológico envolvente.

Por outro lado, à concepção que hoje temos da Didáctica das Ciências, forma-se na corrente inerente à própria concepção de Ciência que, entretanto, actualmente se encontra condicionada por factores de índole variada. Salientamos, então, os factores ideológicos, políticos, económicos e tecnológicos que constituem o património cultural de toda uma sociedade enquanto instrumento de política educativa. Esta situação, em si mesma, arrasta uma Epistemologia à qual estamos estreitamente ligados à qual já fizemos referência no

ponto anterior. A vertente epistemológica, permite à Didáctica constituir-se como num domínio teórico que relaciona não só os contextos da complexa articulação entre o ensino e a aprendizagem, como também a ligação a uma sociedade dotada de múltiplas ligações com os factores já descritos neste parágrafo. Esta questão põe em evidência a necessidade de constituir a Didáctica um corpo emergente e de conhecimentos com características próprias dotado de potencialidades para a investigação. A necessidade de tornar a Didáctica um corpo coerente determina, em grande parte, a investigação que se pretende realizar e que, no nosso estudo, se direcciona para as controvérsias científicas.

Por outro lado, a Didáctica encarrega-se de abordar e reflectir sobre os processos de ensino/aprendizagem tendo por base uma fundamentação metodológica que pressupõe a evolução de ideias ao longo destes últimos 30 anos. Assim, a Didáctica ao utilizar a controvérsia científica no Ensino das Ciências a alunos do Ensino Básico/Secundário, está a fundamentar aquilo que advogámos inicialmente. Ou seja, as controvérsias enquanto instrumento e propósito inserido na perspectiva de *Ensino Por Pesquisa* (EPP) serão apropriadas por uma didáctica activa que pretende uma melhoria indelével da intervenção do professor no ensino/aprendizagem das Ciências. Esta perspectiva de ensino pretende desenvolver, até onde for possível e desejável, a problematização, a argumentação, suscitando a dúvida e a curiosidade.

A perspectiva de ensino utilizada na sala de aula é um ponto muito importante para que os propósitos sejam atingidos plenamente, já que os materiais que se foram elaborando têm de ter em consideração o contexto da prática lectiva. A nossa perspectiva de ensino valoriza uma interacção do professor e do aluno numa dinâmica que permita a reflexão sobre os assuntos. No nosso contexto, utilização da controvérsia como um veículo de mudança de visão da Ciência implica metodologias de ensino activas e onde ressalte a interacção dos discentes com o docente de tal modo que se proceda a saltos qualitativos nas concepções do que é a Ciência.

Neste sentido, ao analisar as várias perspectivas de ensino, optámos pelo *Ensino por Pesquisa* (EPP), uma vez que se trata de uma nova orientação para o Ensino das Ciências onde se pretende, de forma genérica, uma mais adequada compreensão da Ciência, enquanto campo de interacção com a Tecnologia e a Sociedade. Porém, as perspectivas de ensino, que iremos de seguida referir de forma sumária, ainda são seguidas por diversos professores, muito embora em diferentes graus de utilização.

Com efeito, a perspectiva de Ensino por Transmissão (EPT) reduz tudo ao professor, com a finalidade máxima de transmissão de conhecimentos, ou melhor, de informação a alunos passivos e tidos como meros receptores. Trata-se de um modelo linear de ensino que corresponde a um percurso *para* professores, centrado neles, que aprenderam a Ciência do mesmo modo, ou seja, reducionista e marcado pela verdade inquestionável.

Uma outra perspectiva é o Ensino por Descoberta (EPD), onde as atenções passam a centrar-se *sobre* o aluno, visto como cientista. Nesta forma de ensinar, é convicção de que os alunos aprendem por si próprios qualquer conteúdo científico, tendo por base, quase só a observação de actividades experimentais. Dessa forma, o aluno faz raciocínios indutivos e, pretensamente, age como o cientista aquando da descoberta de uma realidade com suporte científico.

O designado Movimento das Concepções Alternativas, está intimamente associado ao Ensino por Mudança Conceptual (EMC) onde se dá ênfase à mudança das ideias prévias dos alunos. Para o professor exige-se o papel de organizador de estratégias intencionais e que provoquem conflito, de tal forma que os alunos abandonem as suas ideias anteriores e dêem saltos qualitativos na sua reorganização cognitiva. É pois, uma perspectiva dirigida *para* o aluno, que o ensina a pensar sobre a Ciência escolar. Contudo, verifica-se uma sobrevalorização dos conteúdos considerados como fins e não como meios para a Educação em Ciência.

Com esta breve passagem pelas várias perspectivas de ensino, pretende-se justificar, pela negativa, a opção pelo Ensino por Pesquisa (EPP) (ver Fig.II-59). No seguimento do que já foi dito, a nossa opção pelo EPP não significa que as outras três perspectivas não merecessem valor didáctico, não tivessem sido importantes ao tempo em que a investigação as valorizou. A questão está em que não dão ênfase àquilo que consideramos pertinente num Ensino das Ciências, ou seja, à construção não só de conceitos, mas também de atitudes e valores em ensino por competências, essencial a pôr em acção (Fig. II-59).

Desta maneira garante-se, não uma aprendizagem de informação, mas a sua transformação em conhecimentos que se deverão revelar úteis na vida quotidiana. Trata-se de mobilizar os alunos para uma sociedade em constante desenvolvimento tecnológico, uma sociedade em mudança e também de incerteza.

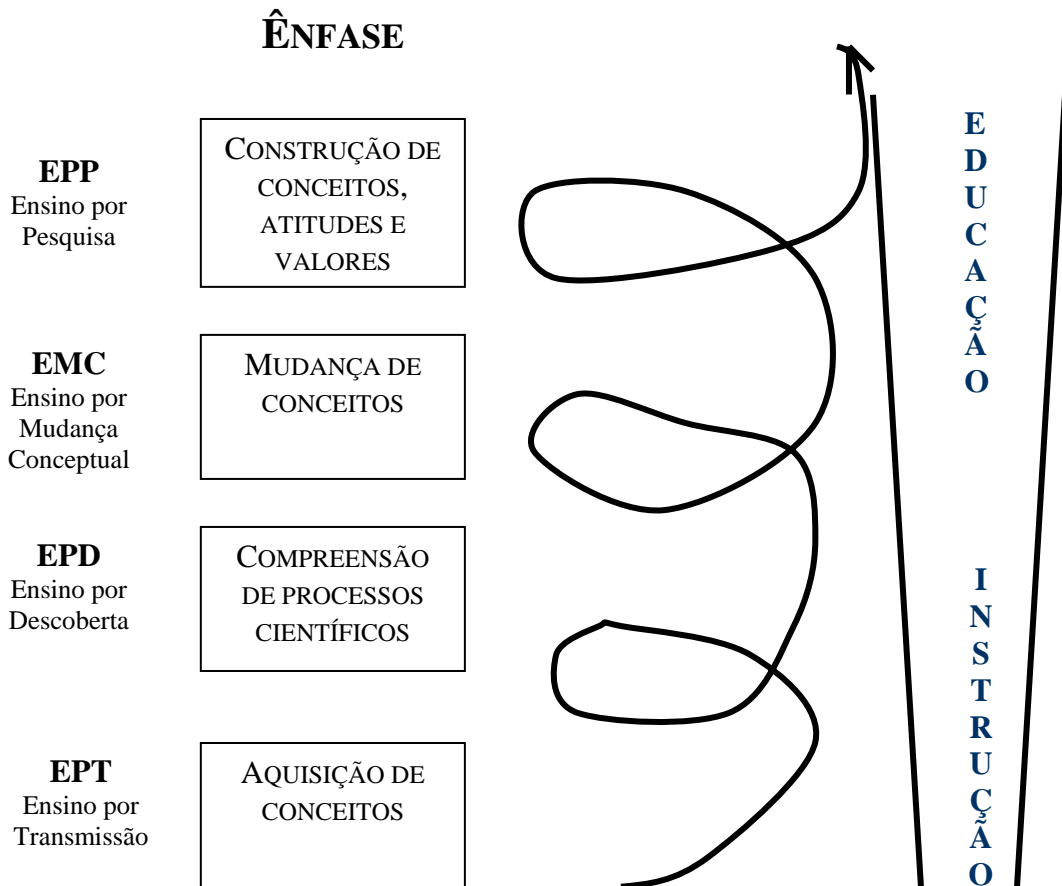


Fig. II-59- Principais perspectivas de ensino das Ciências (In: Cachapuz, Praia e Jorge 2002).

O movimento Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) articula-se com a Educação em Ciência ao permitir uma múltipla variedade de abordagens. Ao ressaltar os contextos reais dos alunos, a aprendizagem torna-se ela própria uma necessidade inerente à resolução de problemas concretos. A diversidade de situações-problema abrange os domínios CTS implicando-os na sua intervenção, numa lógica de complementaridade. É então, que há uma maior possibilidade das soluções dos problemas serem transpostas para o dia-a-dia do aluno, isto é, *com e para* os alunos. No desenrolar deste percurso os alunos perspectivam a construção do conhecimento como um processo complexo em que a História da Ciência ajuda a compreender essa rede de complexidade, onde está bem patente a evolução da Ciência na sua intrincada ligação à Tecnologia e à Sociedade, bem como à época dos cientistas durante as controvérsias, sem esquecer a sua dimensão humana. Utilizando esta riqueza didáctica, o professor deverá promover situações que ajudem à reflexão, gerando e utilizando materiais didácticos, adequadamente construídos, ou seja, congruentes com os objectivos intencionalmente pretendidos.

É verdade que as controvérsias serão um objecto de estudo pleno de inter-relações na vertente da História da Geologia, onde não se poderá deixar de abordar as faces científica, tecnológica, social, política, e mesmo pessoal.

Ao conhecerem-se os inúmeros problemas que foram surgindo ao longo e até à emergência dos paradigmas, viabiliza-se uma pesquisa partilhada com os alunos. Por outro lado, o levar à prática lectiva materiais didácticos variados, referentes às controvérsias seleccionadas para este estudo, será mobilizadora de situações dilemáticas, onde os alunos poderão intervir numa reflexão participada. É, pois, desta forma que os jovens tomam conhecimento das diversas implicações da Ciência, contribuindo para uma mais verdadeira consciência da construção do *conhecimento científico escolar*.

Por último, o papel do professor é fundamental, uma vez que é ele o impulsionador de todo este processo educativo. Contudo, a sua segurança a nível dos conteúdos científicos deverá ser muito grande para que a inter e pluridisciplinariedade, para além da história e dos contextos de produção do conhecimento, não sejam utilizados indevidamente. No fundo, é uma perspectiva de ensino mais exigente no que respeita ao ponto de vista didáctico e científico do que as vertentes de Ensino por Transmissão, Ensino por Descoberta ou Ensino por Mudança Conceptual, que valorizam, quase só a instrução em detrimento da educação. Nessas perspectivas, o professor assume o papel central de transmissor de conteúdos, de direccionador de descobertas ou tenta criar um conflito cognitivo para promover aprendizagens. Porém, no Ensino por Pesquisa, o professor deverá adoptar a postura de problematizador, organizando processos de partilha e interacção sobre os temas em estudo, envolvendo os alunos. Por outro lado, o facto desta perspectiva do Ensino das Ciências se situar numa visão externalista da Ciência, global e onde a valorização da História da Ciência e dos contextos a ela subjacentes estão vivamente presentes, vem relevar preocupações com a necessidade de intervir, na formação inicial de professores.

De acordo com Cachapuz, Praia e Jorge (2002), considera-se que o Ensino por Pesquisa é caracterizado por três momentos (Fig.II-60), caracterizados pela inexistência de uma sequencialidade rígida, ou seja, há uma articulação entre elas que permite retornos, sempre que estes se demonstrem necessários.

Neste contexto, um primeiro momento corresponde à problematização de questões. Importa salientar que para concretização desta primeira etapa, há a ter em consideração

vários aspectos relacionados entre si. Um dos três aspectos é o do currículo intencional através do qual se definem quadros de referência para as aprendizagens. Estas, por sua vez interagem com o segundo aspecto a considerar, os saberes pessoais, académicos e culturais que cada aluno traz (nota que não se está a falar de concepções prévias do EMC). É nesta diversidade de saberes que se enriquece esta perspectiva de ensino, uma vez que permite abordagens diversificadas ao mesmo problema. O último aspecto a considerar, neste primeiro momento do EPP, foca o domínio CTS que deverá estar sempre presente em diálogo com o círculo, uma vez que dá um sentido mais coerente ao Ensino das Ciências actual, de acordo com problemáticas no quotidiano.

No segundo momento, quando já definidas as questões-problema, passa-se à metodologia de trabalho onde devemos revelar o pluralismo metodológico. É justamente neste sentido que procuraremos desenvolver as controvérsias geológicas dos temas seleccionados. Pretende-se fomentar debates, gerar mesmo dilemas, sobre os principais problemas aquando da implementação de um determinado paradigma na comunidade científica, como que fazendo da sala de aula uma micro-sociedade, onde se reconstruem ideias, atitudes e valores. Isto é, tornando os alunos cidadãos críticos, criativos e pensantes.

Um último momento do EPP, comporta a avaliação. No final há que haver apreciação dos resultados para melhorar o que não correu da forma prevista e desejada, o que aliás pode ser feito ao longo do processo de ensino/aprendizagem. Uma avaliação não é feita isoladamente, nem é, ou pelo menos não deve ser, o que fica no final de um processo tão elaborado. Deseja-se uma avaliação formadora ao longo de todo o percurso, que se considera ter duas vertentes essenciais. Uma relativa aos produtos, ou melhor dizendo, às mudanças ocorridas na forma de pensar e agir dos sujeitos deste processo, outra referente aos processos, ou seja ao modo como o percurso ensino-aprendizagem decorreu.

Na verdade, devem existir diversos momentos avaliativos ao longo de todo o caminho, por forma a facilitar a reflexão e conseqüente compreensão por parte dos alunos sobre as suas próprias estratégias cognitivas e metacognitivas. Através, de acção prática desta perspectiva de ensino, promove-se o enriquecimento intelectual dos alunos, pois as actividades são (ou devem ser) quase sempre realizadas pelos próprios, ainda que mediadas pelo professor, o que confere uma maior significância ao Ensino das Ciências.

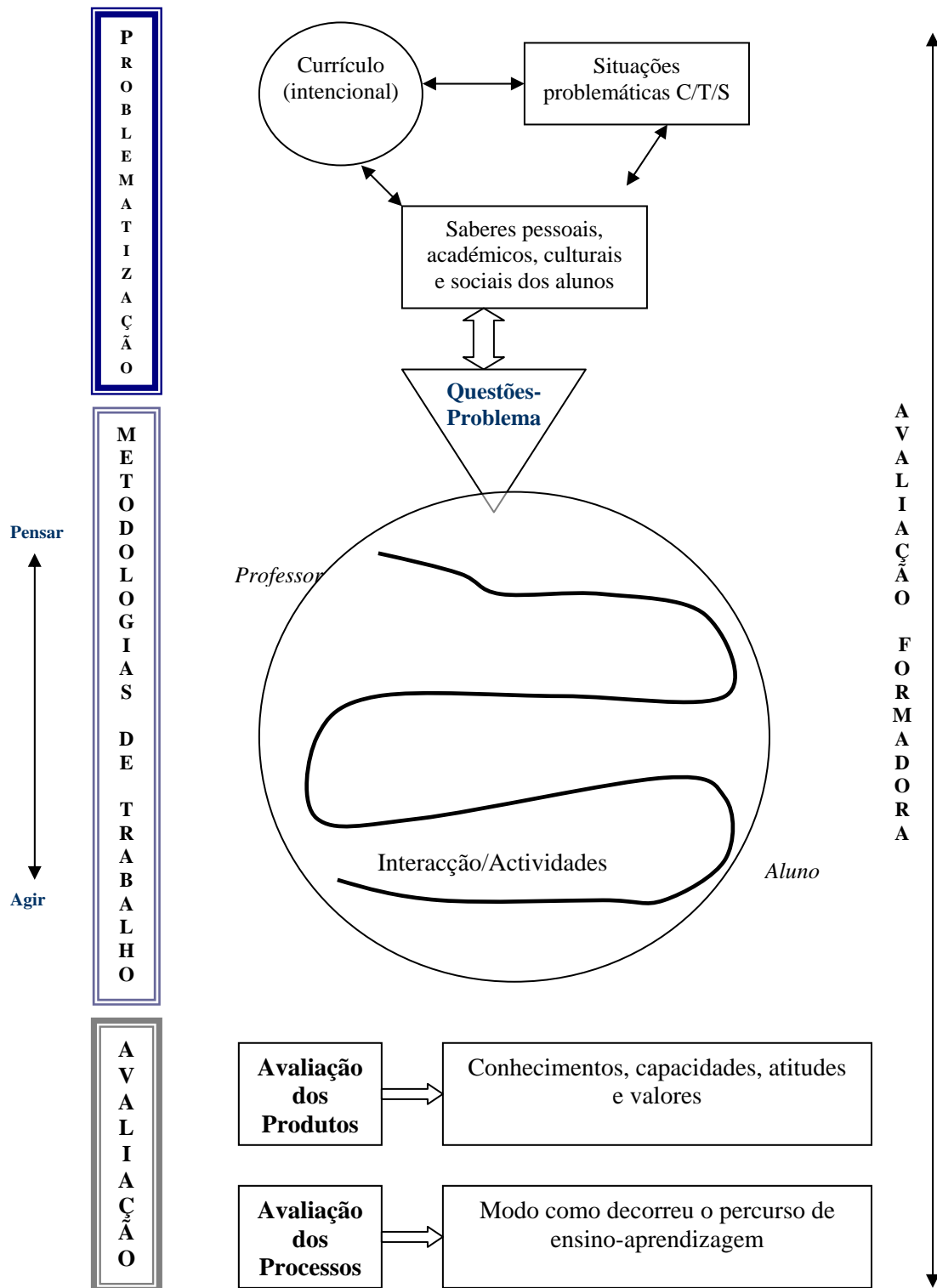


Fig. II-60- Ensino Por Pesquisa (In: Cachapuz, Praia e Jorge, 2002).

Consideramos que o EPP ao ser bem sucedido, fornece aos alunos uma ideia como que tridimensional, onde se ilustram relações, questões microcientíficas e padrões de uma sociedade num contexto educacional. Os alunos ao experimentar a participação activa numa perspectiva de pesquisa irão, talvez, erradicar os receios que uma grande parte da sociedade vive em relação a tudo o que *é científico* (O'Neill e Polman, 2004). A constante procura de novas estratégias didácticas de Ensino das Ciências fomentou o nosso estudo, no sentido de utilizar a História da Ciência, mais concretamente das controvérsias, de forma mais atractiva, mais interessante, mais pertinente e exigente.

Acreditamos que na sala de aula a utilização de materiais que permitam alguma interpretação livre por parte dos alunos, será conducente a um desenvolvimento raciocínio que facilitará a utilização da controvérsia como ponto para a construção do conhecimento científico escolar. Ou seja, o aluno é, como que, obrigado a raciocinar sobre materiais não totalmente explícitos e simplistas. Neste sentido, Negrete e Lartigue (2004), salientam que “(...) introducing stories about history of science would help to create a popular scientific culture that could benefit pupils understanding of the humanist nature of scientific theory, as well as various controversial concepts.” Por isso, num dos temas por nós abordado, utilizaremos como estratégia inicial o sumário de uma película cinematográfica recente, que aborda de uma forma particularmente interessante o assunto, como será explorado no capítulo IV.

Por outro lado, julgamos que com esta perspectiva de ensino, estaremos a formar cidadãos mais informados, capazes de tomar decisões futuras com uma maior facilidade e desenvoltura do que aqueles que não usufruíram e não foram envolvidos nestas estratégias. Ao fomentarmos a construção de valores, facilitamos juízos mais apropriados e relevantes numa sociedade que se pretende cientificamente culta. Como referem Jiménez-Aleixandre e Pereiro-Muñoz (2002) sobre o seu trabalho, “(...) students constituted a knowledge-production community (...)” Este é também um dos nossos intuitos, ao utilizar o EPP nos temas por nós seleccionados e suas controvérsias. Será ainda aceitável supor, que os alunos construirão melhor o seu conhecimento, após a atribuição de significados às várias estruturas da Ciência, que de acordo com as nossas expectativas passam pela utilização das controvérsias na História da Ciência (Al-Weher, 2004).

Ambicionamos que os nossos alunos atinjam uma literacia científica de carácter *multidimensional* (Murphy *et al.*, 2001), na qual se compreende as estruturas envolventes

da Ciência, tal como a História da Ciência. Desta forma estabelecem-se relações entre a Ciência, a Sociedade e a Tecnologia, enquanto objectivo educacional e não meramente científico. Num estudo realizado por Murphy *et al.* (2001) as conclusões a que chegaram passaram pela introdução obrigatória das Ciências até ao Ensino Secundário. Concluíram que esta medida havia favorecido a compreensão da dimensão multidimensional da Ciência, questão muito pertinente. Extrapolando para o nosso estudo, acreditamos, que os alunos que usufruírem dos materiais que desenvolvemos terão atitudes mais correctas, mais sensatas e reflectidas, face a questões científicas, do que aqueles a quem não foram dadas tais oportunidades.

Tabela II-I- Síntese de perspectivas epistemológicas tradicionais (CHALMERS, A. F., 2000; CACHAPUZ, PRAIA E JORGE, 2002; LUIZ, 2002, ECHEVERRÍA, J., 2003)

Autor	Obra(s) de referência	Posição central/ Princípios gerais	Produção de conhecimento/ Método científico	Posição perante a realidade (verdade e erro)	Progressão do conhecimento	Imagem dos cientistas e da comunidade científica
Bacon	1620- Novum Organum	-Empirismo/ Indutivismo A experiência e a técnica são a base e o objectivo do conhecimento científico, único reconhecido	-Método experimental: etapas sequenciais	-realismo ingénuo -Deduzir as verdades acerca da natureza a partir da evidência sensorial -Conhecimento da natureza: domínio sobre ela	-Progressivo -Cumulativista	-Cientista trabalha individualmente
Descartes	1637- Discurso do Método	-Racionalismo clássico Valor ao pensamento e à razão. Imagem de supremacia e autoridade da ciência sobre as outras formas de conhecimento e de actividade humana	-Faz nascer as ideias no espírito humano mas valoriza sobretudo um método uniforme de pensar. -Conhecimento como meta e domínio da natureza	-Realismo -Seguindo o método de dúvida metódica é possível distinguir o verdadeiro do falso. As regras do método são a intuição e a dedução	-Progressivo -Cumulativista	-A comunidade científica começa a ver-se como paradigma da racionalidade. Os cientistas aplicam desinteressadamente o método científico
Locke	1660- Ensaio sobre o entendimento humano	-Empirismo não radical -Atribui valor ao sujeito, no conhecimento, com contaminações empíricas	-'O espírito aplica, quando pensa, as ideias que nele estão' Como se chega a essas ideias: 'o espírito é como uma folha branca de papel, sem nenhuma ideia. As ideias vêm da experiência'. -A observação, quando aplicada, quer aos objectos sensíveis externos quer às operações internas fornece o entendimento. -Vias para chegar ao	-Ambicioso propósito de delimitar o que pode ser conhecido pelo homem	-Progressivo -Cumulativista	-A comunidade científica é nascente mas principalmente desinteressada. -Trabalho dos cientistas não é visto como profissão

			conhecimento: intuição, demonstração e sensação			
Hume	1740- Tratado da natureza humana (fundador da teoria do conhecimento)	-Epirismo clássico -Indução na perspectiva da sua justificação racional e lógica- todas as percepções da mente humana se reduzem a duas classes distintas: impressões (objectos imediatos de consciência de que temos experiência) ideias (objectos dos quais temos consciência quando reflectimos)	-Empirismo observacionalista: natureza hipotética da justificação da passagem de observações particulares a lei geral	-Experiência como garantia de objectividade	-Progressivo -Cumulativista	-Investigação não é ocupação de cientistas mas busca e prazer
Stuart Mill	1843- Sistema de lógica	-Indutivismo Os factos colhem-se na natureza, generalizam-se em leis, acumulam-se mais factos, inferem-se leis, deduzem-se factos	-Método experimental baconiano Procedimento indutivo como método de descoberta de leis e do estabelecimento da verdade	-Realismo ingénuo Indução com base na "regularidade da natureza"	-Progressivo -Cumulativista	-Cientistas como obstinados "colectores de factos"
Comte	1830- Catecismo positivista 1883- Opúsculo de Filosofia Social	-Positivismo Intenção é explicar os fenómenos reais Princípio da homogeneidade das ciências	-A explicação reduz-se a termos reais e consiste em pôr em evidência o elo que une os fenómenos particulares a alguns factos gerais que se podem chamar leis e cujo número diminui à medida que a ciência progride. Método dependente das suas aplicações	-Realismo dogmático -Não há conhecimentos reais para lá dos que se baseiam em factos observados. Todos os fenómenos estão sujeitos a leis naturais invariáveis	-Progressivo -Cumulativista	-Comunidade científica como paradigma da racionalidade
Círculo de Viena Hahn;	1929- Manifesto do Círculo de Viena	-Empirismo lógico -Movimento de reformulação da compreensão e análise do	-Método de verificação (determinação de sentido de uma proposição)	-Realismo dogmático	-Progressivo -Cumulativista	-O cientista trabalha enunciados em termos empíricos e racionais

Neurath; Carnap		conhecimento humano com destaque para o conhecimento científico (concepção científica do mundo = construção lógica do mundo) Valorização da experiência: os enunciados consistem de constantes lógicas e de termos construíveis com base na experiência	Confirmação- só se pode de facto proceder à observação (princípios empíricos) -Método de análise lógica da linguagem			-Comunidades científicas organizadas
--------------------	--	--	---	--	--	--------------------------------------

Tabela II-II- Síntese de perspectivas epistemológicas de crítica ao indutivismo- Internalistas (CHALMERS, A. F., 2000; CACHAPUZ, PRAIA E JORGE, 2002; Luz, 2002, ECHEVERRÍA, J., 2003)

Autor	Obra(s) de Referência	Aspecto central/ Princípios gerais	Âmbito Internalista/ Externalista	Produção de conhecimento/ Método científico	Posição perante a realidade (verdade/ erro)	Progressão do conhecimento/ Visão da História da Ciência	Imagem dos cientistas e da comunidade científica
Popper	1934- Lógica da descoberta científica	-Racionalismo (toda a observação está impregnada de teoria) -Procura de critérios de demarcação (uma teoria só é científica se for falsificável)	-Internalista (as revoluções são puramente científicas)	-Conjecturas e refutações -Critério da falsificabilidade -Abordagem crítica das teorias para saber se são verdadeiras ou falsas	-Realismo crítico -Objectivo da Ciência: conseguir explicações cada vez melhores	-Descontinuista e não cumulativista (microrevoluções) -HC: evolutiva articulação e transformação de problemas que através de tentativas e erros se vão solucionando ou abandonando	-Comunidade científica gerida por princípios lógicos de racionalismo
Bunge	1967- A Investigação Científica	-Racionalismo -Objectividade: especulações com controlo -As ideias científicas são conjecturas que por serem contrastáveis se chamam hipóteses; as hipóteses podem ascender a leis: as leis sistematizam-se em	-Internalista	-Método: atitude problematizadora e não conjunto de instruções mecânicas e infalíveis que prescindam da imaginação -Experiência como	-Realismo crítico	-Fracá referência ao papel da HC -Evolucionismo não cumulativista/ descontinuismo	-Comunidade científica gere racionalmente a metodologia científica e pugna pela objectividade da Ciência

		teorias		meio de contrastação das teorias			
Bachelard	1928-Ensaio sobre o conhecimento aproximado	-Racionalismo materialista -Racionalidade assente nas categorias lógicas do processo científico	-Internalista (critérios racionais e não de ordem histórico-social) e regionalista	-Método dialético-espírito científico: caracteriza-se pela dúvida, pondo em causa sistematicamente o conhecimento	-Materialismo racional -Procura do erro (obstáculo epistemológico) para o rectificar e superar	-Importância ao momento de ruptura/ períodos de confronto -Atenção às considerações de mudança de teorias, procurando compreender a superação dos obstáculos epistemológicos	-Metáfora da "cidade científica" -Cientistas não dogmáticos -Aprendizagem científica com "os mestres"

Tabela II-III- Síntese das perspectivas epistemológicas externalistas- Nova filosofia da ciência (CHALMERS, A. F., 2000; CACHAPUZ, PRAIA E JORGE, 2002; LUZ, 2002, ECHEVERRÍA, J., 2003)

Autor	Obra(s) de referência	Aspecto central/ Princípios gerais	Âmbito internalista/ externalista	Produção de conhecimento/ Método científico	Posição perante a realidade Verdade/Erro	Progressão do conhecimento/ Visão da História da Ciência	Imagem dos cientistas e da comunidade científica
Kuhn	1962- A estrutura das revoluções científicas	-Epistemologia social -Natureza teórica do conhecimento científico -Teoria como sistema de enunciados (com estrutura) -A ciência é subjectiva e contextualizada	Externalista (revolução ideológica)	-A Ciência constrói-se com uma realidade que se conhece e com um quadro teórico de interpretação -Pluralidade metodológica -Existência de um "paradigma" não julgado nem testado em ciência normal: resolve problemas -Não separa a Ciência do contexto de produção	-Relativismo epistemológico -A verdade procura-se no consenso intersubjectivo dos contextos históricos	-HC como trama de ideias e de valorizações que fornece uma visão do mundo -Progresso revolucionário: não cumulativo e descontínuo (crescimento de poder explicativo) -Processo sem fim: pré-ciência; ciência normal; crise-revolução; ciência normal; crise-revolução	-Importância central à comunidade científica (controla o que é a prática da ciência e o que é aceite como conhecimento) -Ciência como profissão -Cientistas não imparciais

Lakatos	1970- Crítico e o crescimento do conhecimento	-Programa de Investigação Científica (PIC) como sequência de teorias formado por núcleo central, heurística positiva e negativa -Núcleo: postulados ou axiomas	Externalista	-Heurística negativa: princípio que estipula que os componentes do núcleo duro não devem abandonar nem modificar, em caso de anomalias -Heurística positiva: direcções de desenvolvimento do PIC -Metodologia: consiste em juntar e reformular hipóteses submetidas independentemente a testes	-Entre o convencionalismo e o realismo crítico -A metodologia do PIC constitui uma via para a verdade	-Consideração de PIC progressivos, estacionários ou regressivos -Descontinuidade: mudança de PIC -A HC deve ser crítica e ter papel de fazer reconstruções racionais e não meras descrições -Vista como luta entre teorias rivais com o mundo por árbitro	-Importante a existência de um PIC aceite e defendido por toda a comunidade científica -crença da comunidade na verdade ou na verdade aproximativa do núcleo central
Feyerabend	1975- Contra o método	-Pluralismo cultural: a ciência não tem o exclusivo do conhecimento e todas as tradições devem gozar de direitos iguais -O conhecimento só tem significado no contexto -O conhecimento é condicionado por experiências precedentes e por elementos teóricos	Externalista	-Pluralismo metodológico: "tudo vale" -Não há métodos válidos para todas as situações -Qualquer critério tem eficácia limitada e contexto preciso -A conquista do saber não acontece de modo ordenado e linear	-Anarquismo epistemológico (Não existem valores absolutos) -Não há realidade objectiva	-Valorização do processo histórico -O progresso implica renúncia à razão -A Ciência acompanha as mudanças das condições sociais	-Cientistas conservadores -Comunidade científica seguidora de uma "religião científica" dominada e influenciada pelos poderes

Capítulo III

FUNDAMENTAÇÃO METODOLÓGICA

INTRODUÇÃO

Ao longo do presente capítulo, iremos especificar a fundamentação metodológica da investigação. De um modo geral, a sua análise refere-se às opções metodológicas no contexto da investigação que propomos e que foram seguidos ao longo do trabalho. Só assim poderemos justificar os caminhos levados na resolução das questões-problema, inicialmente formuladas, por forma a perseguir os objectivos deste trabalho. Daí que, um capítulo dedicado à Metodologia se justifique, já que nos possibilita um esclarecimento fundamentado das opções tomadas ao longo do projecto.

O desenvolvimento da Ciência faz-se por saltos qualitativos e não apenas quantitativos que quando, ambos, estudados a fundo nos permitem uma visão histórica da mesma. Este facto, fez com que ao longo do tempo a disciplina de História da Ciência passasse a constituir um corpo de conhecimento dotado de particularidades que o caracterizam. Neste contexto, pretendemos neste Capítulo enquadrar a nossa trajectória na análise histórico-científica dos assuntos por nós escolhidos. Em boa verdade, uma vertente de estudo Historiográfica reveste-se, numa primeira instância, de uma procura de informação original, seguida de análise criteriosa que não pode descurar os contextos da época, nem tão pouco os conhecimentos actuais. Este dualismo fornece uma visão global e profunda das controvérsias científicas, objecto do nosso estudo.

Por outro lado, a elaboração dos materiais didácticos a serem utilizados constituiu uma outra etapa deste trabalho. Para que a sua concretização seja um facto, foi realizado *a priori* um trabalho de revisão bibliográfica dos temas em questão e desenvolvidos ao longo do Capítulo II. Desse estudo inicial, surgiram as principais controvérsias geológicas, com maior interesse para um ensino que pretende valorizar a História e a Epistemologia das Ciências.

Nesta perspectiva, estamos perante um estudo centrado no âmbito de uma pesquisa com carácter qualitativo, dado o estudo envolver a escolha criteriosa de documentos, recolha bibliográfica extensa sobre as controvérsias, recolha de informação e sua respectiva análise. Faz-se notar ainda, que o estudo, pela sua natureza percorre várias

décadas. Com isto, pretende-se abordar um conjunto de problemas concretos, que se adequem a uma metodologia de Investigação-Acção, onde se poderão regular os passos dados, por forma a que, se necessário, se proceda a ajustamentos. A natureza reflexivo-prática da Investigação-Acção, enquadra-se bem no contexto educativo, uma vez que o surgimento de problemas leva à reformulação das questões-problema a serem investigadas e que só ressaltam ao longo do próprio trabalho. A Investigação-Acção é assim adequada a um contexto em que “seja requerido um conhecimento específico numa situação específica, ou sempre que se queira aplicar uma nova abordagem a um sistema existente” (Bell, 1997).

Sendo um dos objectivos deste estudo a articulação entre a Investigação Histórica em Geologia e a Educação em Geologia, o presente capítulo pretende dar uma resposta à questão do enquadramento teórico e à especificação da metodologia de investigação utilizada. Não obstante, acentuamos, no segundo ponto, o papel desempenhado pelo investigador enquanto instrumento, ou melhor, recurso de investigação. Descrevemos ainda, o carácter fundamental da validação num trabalho com as características daquele que apresentamos inicialmente. Uma outra abordagem, aqui explicitada, consiste na caracterização dos principais meios utilizados na obtenção dos dados que serviram de base às conclusões e que apresentamos no Capítulo V. O último ponto deste capítulo consiste numa esquematização temporal da Investigação dedicada à possível melhoria das práticas lectivas.

Entretanto, vejamos de seguida uma análise mais pormenorizada das vertentes e do percurso metodológico acima citado, por forma a proporcionar um enquadramento do presente trabalho.

1- VERTENTE HISTORIOGRÁFICA

Neste subcapítulo passamos a explicar de que forma se procedeu à elaboração da revisão bibliográfica seguida da selecção dos autores relevantes para o estudo didáctico das controvérsias científicas seleccionadas.

O trabalho que desenvolvemos aborda, sem dúvida, um estudo histórico. Não só de História vista como acontecimentos do passado ou fenómenos reais que ocorreram tempos

atrás, mas como o estudo do resultado desses mesmos acontecimentos. Da mesma forma que não pretendemos estudar unicamente a sequência de factos passados na Geologia do século XIX e XX, é nosso objectivo estabelecer ligações entre os factos, os cientistas e a sociedade, por forma a interpretar, analisando teoricamente estas relações. Concordamos com Kragh (2001) quando a este respeito refere que “O termo História (H_2) é também usado no sentido da análise da realidade histórica (H_1), isto é, no sentido da investigação histórica e seus resultados. Assim, o objecto da história (H_2) é a história (H_1), do mesmo modo que o objecto das ciências naturais é a natureza.”

É nosso entender que a Ciência historicamente relevante é multifacetada, estando relacionada com os próprios cientistas e a sua postura perante a sociedade. O cientista é um ser humano e como tal, cheio de comportamentos (e não só) carregados de sentido que, de certa forma, tentamos interpretar à luz do conhecimento científico da altura. A nossa atenção centrou-se também na escolha daqueles cientistas considerados relevantes para as controvérsias seleccionadas na História da Geologia, em particular dos três temas em questão. Com efeito, seleccionámos aqueles que nos pareceram importantes para que a dinâmica da emergência de um paradigma se tornasse clara. Temos, contudo, consciência que muitos outros investigadores não citados ao longo do Capítulo II poderão ter tido alguma importância, enquanto numa questão epistemológico-sociológica de enriquecimento das designadas teorias marginais. Contudo, e dentro deste contexto, pensamos ter construído a História da Ciência deste trabalho com os elementos mais importantes para o fim didáctico a que se destina. É, justamente, neste sentido didáctico que reside o critério fundamental para tal escolha.

Os problemas que ladeiam a elaboração de materiais didácticos e que têm por base a História de um determinado ponto da Ciência, prendem-se com a imparcialidade do investigador enquanto historiador. As duras discussões estabelecidas entre cientistas ou grupos de cientistas e a emergência de um determinado paradigma, levanta problemas de ordem pessoal que se pretendem, não só problematizar e gerar discussões inter-pares, mas também até certo ponto erradicar. Tal como advoga Kragh (2001), “É de facto possível escrever a história (...), isto é, ter um conhecimento objectivo das partes do passado histórico.”. O historiador/investigador, no fundo não pode estar directamente envolvido nas tramas científicas, o que lhe deverá permitir uma postura imparcial, como que estando a assistir a um filme que não é o seu.

Senão vejamos, Stephen Gould no seu livro *Wonderful Life* (2001), reconstruiu a história da descoberta de um local rico em fósseis do período Câmbrico de uma forma exímia, apesar de estar relacionado de certa forma com os cientistas protagonistas da história. Mesmo assim, não se coíbiu de realizar um estudo, baseado em pesquisas de artigos e manuscritos dos investigadores. Gould tentou articular a sua amizade para com os actores da referida trama científica, com uma procura de imparcialidade na reconstrução histórica da descoberta dos fósseis do Câmbrico.

“I am not a reporter or “science writer” interviewing people from another domain under the conceit of passive impartiality. I am a professional palaeontologist, a close colleague and personal friend of all the major actors in this drama.” (Gould, 2001)

Esta postura de procurar um distanciamento crítico é fundamental num estudo com as características que este apresenta. É que os dados históricos podem ser tornados em factos históricos se esses mesmos dados vierem a constituir em factos reais. Ora, a história não se pode construir sem factos e estes só fazem sentido se puderem ser enquadrados dentro de uma trama histórica, carregada de ideias e razões. Sem fugir ao contexto, relembremos que para que um acontecimento seja considerado um facto, tem de haver fontes fidedignas que suportem o estudo que se desenrola.

“A fim de transformar os seus dados em história, o historiador tem de fazer uma nova escolha de acordo com as prioridades que pretende respeitar.” (Kragh, 2001)

Nesta medida, o objectivo e a própria visão do mundo do que e como se constrói a história fica a descoberto. Isto é bem visível nas várias interpretações elaboradas, mesmo tendo como base as mesmas fontes. É esta coloração subjectiva que poderá, de certa forma, dar um brilho diferente a cada estudo. Pretendemos, contudo, desprezar a paleta de cores que se nos depara, por forma a tornar-se mais proveitosa a elaboração de materiais didácticos cujo objectivo é apresentar uma realidade da comunidade científica aos alunos. Não negamos a dificuldade que sentimos em evitar tomadas de posição nas controvérsias da Geologia do século XIX e XX. Porém, temos plena consciência que a nossa função é compreender o passado por forma a extrapolar esse conhecimento para o presente, tornando-o mais simples e claro, afinal reconstruindo-o. Ao conseguir atingir estes propósitos, parece-nos que as teorias que apelidamos de marginais, dentro da dinâmica da emergência de um paradigma, serão encaradas de forma diferente. Queremos com isto dizer que, ao aprender a lidar com os desvios científicos, os alunos compreenderão bem

melhor de que forma a Ciência se foi construindo, se construiu, se constrói e se vai construindo.

As questões factuais fazem parte da História da Ciência e permitem estabelecer ligações causais, não lineares, entre ocorrências. Quando afirmamos que a descoberta do grupo Alvarez da anomalia de irídio nas argilas de Itália foi uma das causas para a formulação da Hipótese Colisional, é um postulado que refere ocorrências reais. Mas, se não tivesse sido descoberta nessa altura, a hipótese poderia nem ter sido formulada, ou então seguido outro rumo. Daí que o estudo real da história científica não permite conclusões contrafactuais descuidadas do tipo, se “A” não é “B”, então “B” não é “A”. Os motivos variam consoante os factos, mas é necessário conhecê-los para que não se incorra em erros desnecessários.

No estudo por nós desenvolvido, consideramos a fonte como o elemento chave, objectivo e material. As controvérsias e a própria História são dependentes das fontes ao dispor e que permitem o estabelecimento de relações e avaliações fundamentais num estudo como este.

“A história das ciências continuará a depender das fontes que estão ao seu dispor em cada momento, mas a avaliação e o uso correcto das fontes dependerão, por sua vez, da capacidade do historiador em conduzir a crítica histórica. Tal como a própria ciência, a história é um processo que nunca termina.” (Julius Ruska in: Kragh, 2001)

Este carácter da Ciência como algo inacabado, é pertinente no sentido em que estão sempre a surgir novos estudos, hipóteses, teorias e inerentemente controvérsias, patentes nas fontes. No nosso caso, as fontes por nós obtidas em grande parte na University of Cambridge, reportam-se a “labor científico” (Kragh, 2001), onde incluímos livros de texto e artigos científicos. O intuito de analisar as fontes é o de lhes conferir fiabilidade. Ou seja, ao retirar a informação nelas contida deve-se ter em consideração as motivações do autor, bem como avaliar o contexto geral da publicação da referida fonte. Como o nosso objecto é estudar as controvérsias científicas, também teremos de comparar artigos de vários cientistas por forma a tornar claro os pontos de discórdia, igualmente tão importantes na evolução do conhecimento científico.

Ainda neste âmbito, ao considerar o que o cientista escreveu, não podemos esquecer que muito de si está nas palavras que, entretanto, analisamos. As suas concepções diferem em muitos pontos de contemporâneos seus que escreveram sobre o mesmo

assunto. Neste sentido, a dificuldade prende-se em saber se determinadas experiências ou até mesmo descobertas conduziram à elaboração de uma determinada teoria ou, se por outro lado, tiveram um papel importante na emergência da referida teoria. Pese embora seja uma tarefa minuciosa, não é de todo impossível chegar a conclusões consideradas fidedignas. É por esse motivo que, ao longo do Capítulo II, apresentamos inúmeras vezes as citações dos próprios cientistas, por forma a clarificar as nossas interpretações das diversas situações. Como referimos, a existência de diferentes opiniões nas fontes revela-se fundamental para o nosso estudo das controvérsias e estas fontes são verdadeiramente valiosas para a compreensão da dimensão mutável e factual-interpretativa da Ciência.

As flutuações do desenvolvimento da Ciência articulam-se fortemente com a história económica e social. No nosso estudo, sempre que achamos pertinente, procuramos estabelecer esta ponte a fim de melhor enquadrar e compreender as reacções dos vários envolvidos. Como que temos um objecto de estudo delimitado por uma decisão daquilo que consideramos ser dotado de interesse e importância.

É principalmente em relação às publicações que o nosso olhar recai, a fim de estudarmos os pontos em que os cientistas entram em controvérsia. Esta, nem sempre é clara e explícita, de modo que só considerando a sociedade da época e a forma de escrever de então é que se apreendem muitas das situações que interessam ao nosso estudo. Ao utilizarmos, na sua grande maioria, artigos científicos pretendemos, através das palavras dos cientistas, compreender a verdadeira dinâmica do empreendimento científico. Compilamos pois, muita informação, que trabalhamos no sentido de produzir conhecimento com vista a uma melhor compreensão da natureza da Ciência (Fig. III-1).

Devemos “mergulhar no que escreveram cientistas de épocas anteriores” (Cohen in: Kragh, 2001), sem contudo esquecer de estabelecer a preciosa e necessária ponte com o presente. Ou seja, temos como tarefa final a elaboração de um texto que se quer científico-didáctico e cuja atmosfera se torne “familiar” para quem aprende.

No fundo, pretendemos explicar as motivações e pensares dos cientistas sem os tornar simplistas, o que tornaria redutores os dados factuais que possuímos. Por outro lado, não nos devemos cingir aos critérios de significação das épocas passadas, uma vez que damos uma certa prioridade ao presente, enquanto época de mudanças científicas intimamente intrincadas nas ideias do passado. Pensamos que com esta postura é possível o estabelecimento de questões do presente formuladas com bases assentes no passado.

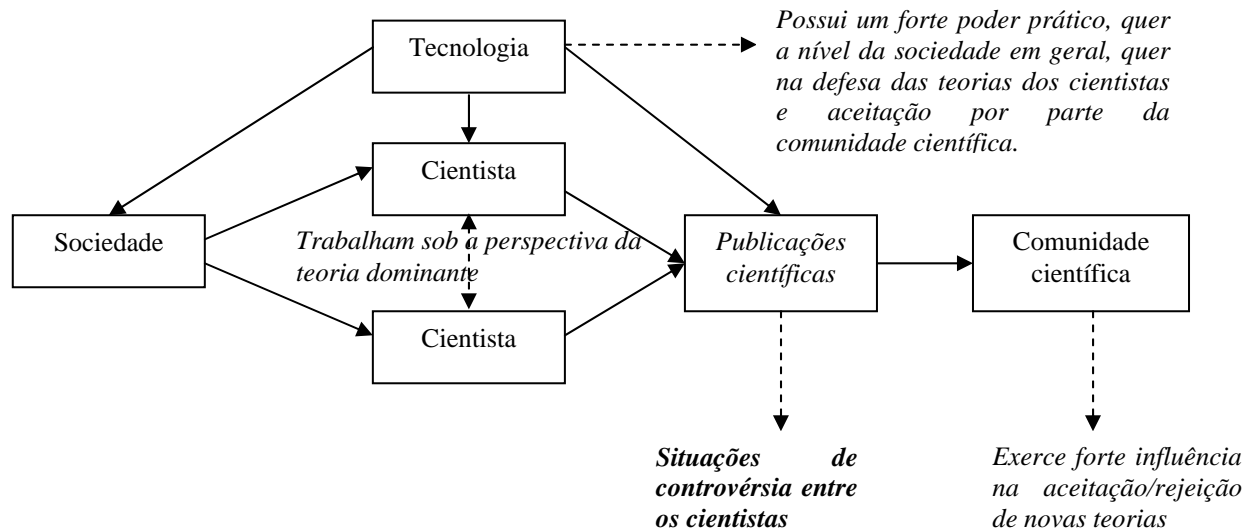


Fig. III-1- Esquema que ilustra o papel da controvérsia na comunidade científica.

A este respeito, tomamos como exemplo a nova época Catastrofista em que nos encontramos. Mas ao compreender o que se passou no século XVIII e XIX sobre o mesmo assunto, poderemos estar mais bem preparados para analisar e explicar esta nova tendência. Tendo esta perspectiva temporal, estamos pois, em condições de responder a questões como, por exemplo; porque foi tão criticado o Catastrofismo desde a altura de Lyell e actualmente o aceitamos, se bem que encarado de diferente forma?

Na tentativa de tornarmos as explicações mais concretas, pretendemos responder à questão do que faz realmente sentido. Se dentro da análise das acções dos cientistas não encontramos explicações que se justifiquem, teremos de procurar uma razão mais profunda que pode estar de alguma forma camuflada. Esta necessidade de uma explicação mais aprofundada, emerge da nossa constante procura do *porquê* das coisas. No contexto por nós estudado, tal torna-se ainda mais necessário, uma vez que ambicionamos uma visão holística e justificada das controvérsias em Geologia, com uma finalidade Didáctica, onde respostas como o “porque não” são imediatamente excluídas. É nesta perspectiva que ressaltamos a nossa posição no que se refere à explicação individualizada dos assuntos. Ou seja, consideramos mais proveitoso e consistente, uma explicação que abarque uma visão colectiva, já que assim conseguimos explorar e explicar melhor os fenómenos históricos.

Por outro lado, a tendência para estabelecer limites estanques entre as diferentes áreas científicas é uma postura que deve acabar. Não queremos com isto dizer que a Biologia vai interferir e manipular a Geologia, por exemplo. Apenas defendemos que a História da Ciência tem também a tarefa de retirar o carácter artificial que muitas vezes a maquilha. A articulação dos saberes, já não é, de todo, coisa actual. Ao estudarmos a História da Ciência e mais em concreto as controvérsias, verificamos que muitos conceitos tiveram influência em diversos campos se bem que, por vezes, isso seja visto em recipientes sectorizados e, conseqüentemente, descontextualizados. Ora, é isto que queremos combater. Charles Darwin é visto na maior parte das vezes como um biólogo, mas a verdade é que realizou importantes estudos na área da Geologia. Por esse facto, tomou contacto com as ideias de Charles Lyell, geólogo, o que lhe deu força para fundamentar a sua teoria da evolução biológica. Ou seja, os campos científicos devem ser estudados de forma a tornar claras as diversas ligações estabelecidas entre os actores da história, no nosso caso, no âmbito da Ciência.

Em tom de síntese, podemos dizer que enquanto (re)construtores da História da Ciência, temos em consideração as ideias envolventes das épocas focadas, mas não as separamos dos conhecimentos do presente, dando a cada lado uma importância ajustada à situação. Com tal, como que pretendemos reconstruir a história da cristalização de um magma, que não se dissocia dos vários minerais e suas temperaturas de arrefecimento, ou, melhor dizendo neste contexto, reconstruir a história de um conceito a partir de múltiplas histórias. Ao considerarmos que a Ciência não tem um percurso linear, estamos a facilitar a construção da História da Ciência na sua mais verdadeira concepção. O caminho é sinuoso, com desvios, impasses e retrocessos, com várias vias mesmo. Por isso, é nossa intenção seguir estas vias que na sua realidade irão confluir numa História da Geologia dos séc. XIX e XX enriquecida e que fará sentido numa perspectiva Didáctica.

Será oportuno referir que para chegarmos às acepções que vamos apresentando ao longo deste capítulo, houve uma gestão de tempo em equilíbrio com reflexão sobre os assuntos. Contudo, para que pudéssemos conhecer os principais intervenientes nos episódios conflituais dos assuntos escolhidos, muita pesquisa bibliográfica foi feita em Portugal e em Inglaterra. A Ciência é multifacetada e, como tal, centramos os nossos esforços no sentido de analisar artigos originais dos investigadores que foram parecendo centrais nos assuntos em questão. De cada artigo lido, de cada livro estudado e de cada

conferência assistida, tentamos discernir as diversas partes que os compunham. É imperioso afirmar que nem sempre foi fácil manter uma desejada neutralidade, pois afinal de contas também somos humanos dotados de capacidades múltiplas e influenciados por outros tantos factores.

Além disso, o facto de termos estado em intercâmbio com a *Faculty of Education* da *University of Cambridge*, parece-nos que só veio enriquecer este estudo. Num local em que se respira a construção do conhecimento científico, foi-nos impossível esconder emoções e não sermos influenciados pelos investigadores que nas suas palestras criticavam frontalmente e de forma acutilante todos os detentores de ideias mais ou menos ousadas e diferentes da imperativa. É aqui, neste contacto próximo, que nos apercebemos de forma directa do carácter humano do mundo científico e das influências que se denotam em cada frase que é proferida. No entanto, com os textos escritos podemos reler e ler novamente cada frase e parágrafo. Ainda nesta linha de pensamento, uma grande parte de artigos e livros do século XIX utilizados neste trabalho foram obtidos naquela conceituada instituição universitária. No fundo, o contacto com os materiais originais pode ter-nos influenciado num sentido de análise humana daqueles que fazem a Ciência e concluir que, também, uma antipatia pessoal pode ser tornada numa antipatia científica num pequeno lapso de tempo.

Por outro lado, este género de contactos internacionais e de oportunidades fazem-nos reflectir e analisar outros estudos conjuntamente com os nossos, numa tentativa de averiguar a sua pertinência. Neste contexto, o feedback que recebemos do nosso trabalho e das nossas intenções mereceu crédito e suscitou interesse, já que em Geologia, a transposição de controvérsias científicas para materiais didácticos, com a finalidade de desenvolver e impulsionar a construção do conhecimento científico é inovadora.

2- VERTENTE EMPÍRICO-QUALITATIVA

2.1- A VERTENTE QUALITATIVA NO CONTEXTO DAS CONTROVÉRSIAS CIENTÍFICAS

Ao longo da realização do presente capítulo deparámo-nos com a preocupação em estabelecer orientações teóricas consideradas, por nós, guias de um caminho que fomos

percorrendo e às quais pudemos recorrer sempre que foi pertinente. A mobilização do corpo teórico que se apresenta neste capítulo e que, além do mais, é conducente desta investigação sobre as controvérsias em Geologia, permitiu um percurso investigativo rico e adequado a uma visão de Ensino que quer valorizar a Educação científica.

Pela natureza (amadurecida) do conceito de Educação podemos considerar que a vertente Qualitativa, que ao longo de várias décadas foi ganhando corpo e tradição, é de facto adequada a este estudo. No sentido de enquadrar o que anteriormente foi referido, especificamos a seguir algumas das características deste estudo no que respeita ao corpo teórico que rege as metodologias de abordagem do problema. Com efeito, na base da vertente Qualitativa está a constante procura da compreensão não só do comportamento humano, mas também dos processos, mediante os quais as pessoas constróem significados. Porém, uma das tarefas difíceis da abordagem investigativa reside na compreensão da asserção que cada indivíduo tem acerca desses significados, que só fazem sentido quando enquadrados no seu contexto natural de ocorrência, sem contudo deixarem de estar muito atentos às questões da validação.

Esta referência ao ambiente natural reforça a prática lectiva corrente dentro da sala de aula. Este estudo não altera nem recria as condições que se pretendem estudar. Insere-se pois, ele próprio, no contexto de uma realidade, onde se vão analisar comportamentos de pessoas que, no nosso caso, são em primeiro lugar os alunos e, em segundo lugar, os alunos colaboradores. Bogdan e Biklen (1994) chegam mesmo a dizer “Na investigação qualitativa a fonte directa de dados é o ambiente natural (...).” Ainda que uma grande parte dos investigadores passe muito tempo no local de estudo, recolhendo o máximo de informação possível, utilizando instrumentos, ou mesmo o bloco de apontamentos, estes só fazem sentido pelo facto de existir o contacto directo com uma realidade que está a ser o foco do investimento investigativo.

Posto que os investigadores qualitativos frequentam os locais de estudo, a recolha de dados pode ser feita através da observação empírica de situações concretas onde nada pode ser descurado. Ou seja, há uma colecta exaustiva de palavras ou imagens que permitem uma abordagem do mundo de forma minuciosa. Só depois de uma fase de recolha de informação e de convivência com os sujeitos é que o investigador qualitativo pode elaborar uma “teoria fundamentada”(Glaser e Strauss, 1967, in: Bogdan e Biklen, 1994) sobre o seu objecto de estudo. A análise de dados assemelha-se a um “funil”

(Bogdan e Biklen, 1994) onde inicialmente a informação e os dados recolhidos parecem dispersos mas, com o decorrer do tempo e através de uma análise cuidada e reflexiva, se vai chegando ao cerne da questão (Fig. III-2).

Nesta perspectiva os investigadores preocupam-se com as múltiplas atitudes e vivências dos sujeitos, na esperança de chegar a uma conclusão que lhes permita fundamentar a pesquisa a que se propuseram.

É, pois, no âmbito da nossa investigação que a vertente qualitativa pretende adquirir e tornar-se a melhor forma de recolha de dados observacionais. Só assim, poderemos obter dados fiáveis que nos permitam compreender a complexidade dos processos que movem os alunos na construção do *conhecimento científico escolar*.

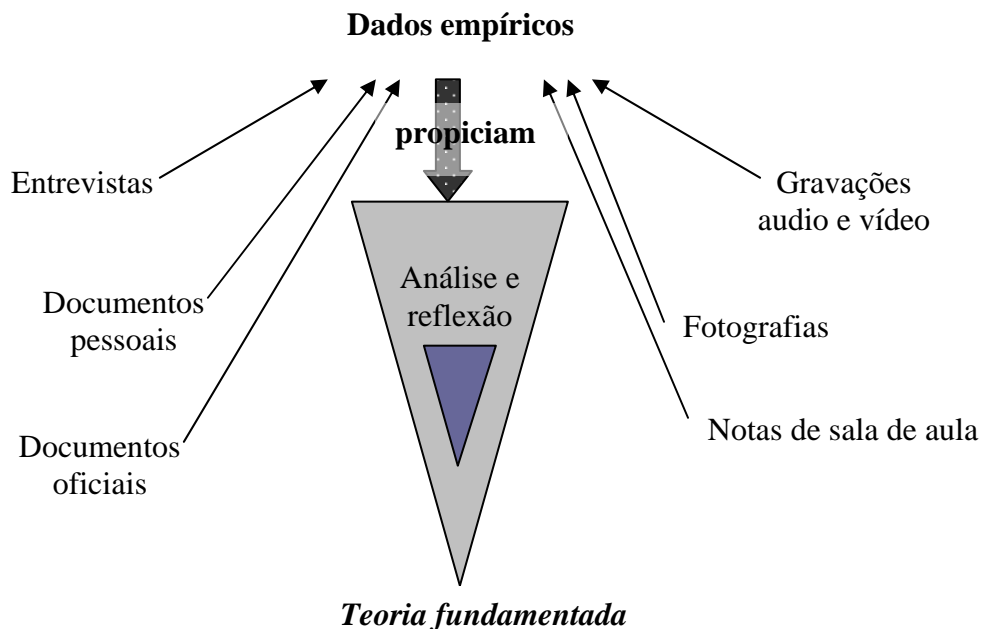


Fig. III-2- Esquema do processo de análise, na vertente qualitativa.

Como referem Bogdan e Biklen (1994), “Em Educação, a investigação qualitativa é frequentemente designada por naturalista, porque o investigador frequenta os locais em que se verificam os fenómenos nos quais está interessado, incidindo os dados recolhidos nos comportamentos naturais das pessoas...”. Sendo esta uma das principais características da perspectiva qualitativa, convém salientar que o estudo a que nos propusemos implicou a observação directa da aplicação de materiais didácticos a alunos do Ensino Secundário.

Esta deslocação ao local em estudo é fundamental para uma recolha de dados que se pretende “objectiva” e objectivada, e que irá constituir a nossa fonte de reflexão. Nesta abordagem de recolha de informação, como instrumento da construção do conhecimento teremos o cuidado de agir de forma natural e não intrusiva, de modo a evitar o “efeito do observador” que nos poderia alterar os resultados. Porém, não podemos ter a pretensão de erradicar totalmente este efeito, mas é nosso desejo minimizá-lo utilizando estratégias de preparação iniciais. Ou seja, a gravação audio e a fotografia das aulas será o método de recolha de informação utilizado, mas iniciaremos gravações para que os intervenientes se habituem à presença constante do equipamento, no sentido de evitar retracções perante o gravador audio. Por outro lado, essas gravações iniciais servirão como que um estudo prévio dos efeitos com que nos iremos deparar ao longo da investigação, permitindo-nos posteriormente uma melhor interpretação dos resultados.

Pensamos que a pesquisa detalhada de artigos de décadas anteriores e actuais, com características qualitativas, para averiguação de controvérsias geradas na comunidade científica se revelem frutíferas no âmbito da Didáctica. “...em educação, investigar começa por ser definir questões de interesse e elaborar conjecturas preliminares que irão sendo sucessivamente modificadas com o decurso do processo investigativo.”(Ponte ____). Neste contexto, apontamos como ponto de partida a pesquisa de controvérsias geológicas, que depois de criteriosamente filtradas e seleccionadas serão posteriormente aplicadas no ensino-aprendizagem para a resolução de problemas relacionados com desenvolvimento socio-cognitivo dos alunos. No fundo, fomos construindo um quadro que foi ganhando forma à medida que se recolhiam e analisavam as partes, conduzindo a investigação para uma permanente articulação da teoria com a prática, ou seja, para uma melhoria indelével da intervenção didáctica.

Do que aqui foi dito, há ainda a salientar que não se pretende obter uma solução, ou melhor, um “modelo” com características rígidas e inflexíveis. É nossa intenção chegar a respostas parciais, soluções viáveis e não generalizáveis sustentadas pela prática e pela reflexão. Com isto queremos dizer que se procede, necessariamente, a uma análise interpretativa dos dados recolhidos. A opção pelo qualitativo apoiada pela e na interpretação, favorece o estabelecimento de articulações entre a teoria e a prática, assumidas ao longo de todo este trabalho. Contudo devemos sublinhar, cuidadosamente, que as interpretações, por vezes, são carregadas de intenções pessoais, que se pretende que

não influenciem o estudo. Corroboramos com Bogdan e Biklen (1994) quando referem que “(...) o objectivo principal do investigador é o de construir conhecimento e não o de dar opiniões” cheias de pré-conceitos.

Da mesma forma, a natureza interpretativa da investigação pressupõe fazer a ligação entre a teoria e a prática de modo a formar um conhecimento didáctico válido, plausível e passível de evidenciar a evolução do processo de construção do conhecimento. O posicionamento especificado na frase anterior, tem consequências a nível da progressão do trabalho, cujo objectivo é compreender e, de certa forma, melhorar a nossa visão de uma realidade, bem como fundamentar teoricamente essa melhoria. Consideramos, pois, que a visão interpretativa irá enriquecer o estudo, na medida em que confere uma natureza mais holística ao problema de investigação devido ainda ao facto de estarmos perante uma realidade sócio-cultural, que se pretende melhorar. Por outro lado, a própria natureza Qualitativa intende avançar para as situações do quotidiano, captando os múltiplos contextos do Ensino das Ciências. Além disso, são esses dados recolhidos de forma pensada e reflectida, que serão alvo de posterior interpretação. Os esforços que neste trabalho se dirigem para este processo de evolução, irão permitir a produção de um conhecimento válido, susceptível de revelar e de elucidar alguns aspectos no próprio contexto educacional.

Porém, acreditamos que cada estudo se considera como único, não só pelos problemas que são levantados, pelo seu próprio objecto da investigação e metodologia desenvolvidos, mas também pelos objectivos que se intentam pesquisar. Não nos podemos esquecer, no entanto, que esta fundamentação metodológica nos ajuda a enquadrar a investigação num conjunto de pressupostos teóricos que “fornecem os parâmetros, as ferramentas e uma orientação geral para os passos seguintes” (Bogdan e Biklen, 1994). Adaptado ao contexto escolar há dois aspectos que não podemos descurar no que respeita aos estudos qualitativos. Um deles está relacionado com a capacidade de ultrapassar a simples descrição, caracterizada por um acomodamento acrítico. Por outro, é o real comprometimento do investigador em tomar uma postura face ao seu estudo, mesmo que isso implique questionar os pressupostos iniciais e que se pretendiam ideais (como que ideias “feitas”).

Na abordagem qualitativa não há opções estanques e definitivas sendo, por isso, feita uma avaliação dos passos que vão sendo dados ao longo do processo investigativo.

Há, então, uma recolha minuciosa de “detalhes” que ajudam a essa postura, que tentativamente se pretende mais objectiva.

Independentemente das características de uma determinada vertente, tem de se ter em consideração que toda a investigação tem fundamentos teóricos. Na investigação qualitativa a fundamentação também passa por pressupostos que ajudam à coerência dos dados recolhidos, pois permite ao investigador organizar de forma sistemática e coerente os acontecimentos. A perspectiva fenomenológica é a que melhor se ajusta a esta vertente qualitativa e baseia-se no facto de que tudo depende do ponto de vista em que nos encontramos. Ou seja, o investigador parte do princípio que não conhece os significados que as pessoas atribuem às diferentes coisas e enfatiza a componente subjectiva dos sujeitos. Não se pretende, contudo, negar a existência de uma realidade exterior que os afecta, mas sim a forma como a realidade é percebida. Concordamos com o que Bogdan e Biklen (1994) afirmam: “Os investigadores fenomenologistas tentam compreender o significado que os acontecimentos e interacções têm para pessoas vulgares, em situações particulares”. Ora, o contexto de sala de aula constitui por si só a nossa situação particular. Por outro lado, e não menos importante é o facto de nos centrarmos no ensino-aprendizagem de assuntos basilares da Geologia que aportam significados, o que implica uma análise muito completa, para que os possamos interpretar e consequentemente compreender.

Ainda nesta abordagem, podemos referir que a significação do que se passa só pode ser interpretada pelo próprio investigador, uma vez que é ele que dia-a-dia compreende as orientações e os processos (o que está a acontecer) que estão subjacentes à construção de um significado. Este, pode-se considerar como sendo emergente de interacções geradas nos ambientes naturais em que um determinado estudo decorre. É esta preocupação que leva a vertente qualitativa a basear-se nestes pressupostos teóricos que, de certa forma, orientam as abordagens a serem seguidas no trabalho que aqui se apresenta.

2.2- INVESTIGAÇÃO-AÇÃO E O PAPEL DO INVESTIGADOR

Partindo do princípio que o conhecimento didáctico está subjacente à melhoria das práticas de ensino, então a metodologia de Investigação-Ação é a que mais beneficia os

estudos qualitativos no sentido de uma pesquisa activa e com maior significado para a educação. Concordamos neste aspecto, com o que Elliot (1991) diz a este respeito: “La mejora de una práctica consiste en implantar aquellos valores que constituyen sus fines; por ejemplo (...) la “educación” en la enseñanza” (Elliott, 1991).

Por outro lado, um traço característico da Investigação-Acção é o de desenvolver, a partir de intervenções no terreno educacional, uma inovação gerida pelos participantes constituindo um processo regulador da actividade em construção da informação-conhecimento, em transformação. Digamos que, o professor desempenha o papel de prático reflexivo que através do processo de ensino-aprendizagem, chega ao conceito unificador da Educação, também através da comunicação oral e escrita, como elemento essencial. Tal, por sua vez, encara-se como uma prática de cariz reflexivo que só assim possibilita a clarificação e o desenvolvimento de ideias, que estão subjacentes à prática docente.

A ideia do prático reflexivo desenvolve-se no corpo da Investigação-Acção e impõe-se contra o ponto de vista em que o ensino apenas serve para reproduzir conteúdos teóricos. Neste aspecto também concordamos com o mesmo autor quando diz que: “El objetivo fundamental de la investigación-acción consiste en mejorar la práctica en vez de generar conocimientos.” (Elliott, 1991)

De facto, as citações anteriores referem-se ao âmbito da metodologia da Investigação-Acção e exprimem entendimentos consonantes com os que nós apoiamos. Ainda nesta perspectiva, o investigador é como que um agente de mudança, dotado de capacidade reflexiva e aberto à reinterpretação não esquecendo, porém, a preocupação de ser rigoroso naquilo que observou. Ao fazer da prática educativa uma actividade reflexiva estamos a fomentar a implementação de qualidades que a tornam um processo educativo passível de melhorar o conhecimento do aluno. Ou seja, está-se a valorizar conjuntamente não apenas os processos e os produtos, mas também a mudar atitudes e a mobilizar valores sobre quais se vai ter em consideração na qualidade dos resultados da aprendizagem.

A reflexão é a estratégia que permite um contínuo enriquecimento da prática, vista como uma tradução dos valores, que toma como finalidade concreta a acção. Os valores considerados enquanto normas, podem ser levados à prática onde mais facilmente se pode proceder a reinterpretações e reajustamentos que se revelem pertinentes.

Acreditamos que a Investigação-Acção aperfeiçoa a prática uma vez que as capacidades de juízo em situações concretas são desenvolvidas, unificando a própria investigação. Não obstante, as situações concretas com que nos deparamos servem de base a uma crescente prudência prática, ou seja, a uma acção mais cuidada face a situações complexas e até problemáticas. O princípio da parcimónia torna-se uma exigência investigativa. Desta forma, há um verdadeiro reconhecimento da complexidade que é, por certo, a realidade educacional em que nos encontramos inseridos.

Convém salientar que ao utilizar esta metodologia, nos comprometemos enquanto investigadores, a ultrapassar os limites da simples descrição e a tomar posições relativamente ao estudo que nos empenhamos desenvolver. Com efeito, pensamos que se trata de uma metodologia que nos permite chegar a (re)soluções que melhorem a articulação entre teoria e a prática.

Em termos de resultados, como a Investigação-Acção obriga a manusear conceitos, hipóteses e o conhecimento passa a ter uma significação que anteriormente não se verificava. No fundo, desenvolvem-se competências e valores que se revelam decisivos para um espírito crítico e de autonomia. Sem a investigação em “...Didáctica das Ciências, parece difícil conceber, sustentar e avaliar um processo permanente de inovação no ensino das Ciências que se não restrinja a modificações pontuais e dispersas, fruto de intuições de momento e eventualmente de cariz reprodutivo” (Cachapuz *et al.*, 1997). Por isso, a Investigação-Acção só faz sentido em situações onde se verifique uma necessidade de mudança de aspectos ligados à prática. “La investigación-acción propicia la reflexión del profesorado sobre su práctica docente, conduciéndole a introducir cambios con el fin de mejorarla.” (Ángel, 1996)

No nosso caso, acreditamos que a utilização das controvérsias geológicas no contexto educacional, permite uma melhor compreensão do que é a Ciência e de como ela se constrói, para além de procurar eliminar obstáculos à construção do próprio *conhecimento científico*. É um estudo que implica, como já referimos, uma pesquisa detalhada de épocas anteriores à actual, estudando-as e olhando-as à luz dos conhecimentos da época, sem contudo, excluirmos a perspectiva crítica de investigadores contemporâneos dessas épocas. Ou seja, o aluno irá adquirir uma visão interna e externa da Ciência, através da utilização da controvérsia científica, enquanto como recurso para atingir este fim. No fundo, a metodologia da Investigação-Acção e a sua vertente

qualitativa contribui, no campo da Educação, para uma análise mais aprofundada da realidade escolar, com vista a compreendê-la melhor.

Neste sentido, a controvérsia geológica foi a base escolhida para realizar a ponte entre a teoria e a prática. A partir das controvérsias estudadas construímos materiais didáticos que as evidenciavam, procedendo a ajustamentos didáticos, já que não se trata de isomorfisar a própria controvérsia científica. Neste processo temos de tomar em consideração que numa discussão histórica ocorrida na sala de aula de um tema científico, por vezes é difícil encontrar equilíbrio entre a própria investigação histórica e o que os alunos deverão ficar a compreender dele. Esta poderá ser, porventura, uma das dificuldades com que nos deparámos aquando da preparação dos materiais didáticos. Estes, foram alvo de um estudo primeiro com alunos do Ensino Secundário. Desta forma a realização do trabalho, como um todo, permite que as conclusões sejam mais fiáveis e, posteriormente, venham a ser mais adequadas ao contexto educativo no âmbito da formação dos alunos do Ensino Secundário e, mesmo possam vir a servir para uma formação inicial e contínua de professores.

É por este caminho que a nossa investigação se desenrola e se desenvolve. O acto de ensinar é, na sala de aula, um acto intencional cuja responsabilidade cabe ao professor. Além da nossa intenção ser a de melhorar a prática, é também nosso objectivo interpretar os resultados dessa mesma prática e convertê-los para um corpo de conhecimentos teóricos. Não obstante, é esse campo teórico que serve de base à actividade reflexiva que caracteriza o investigador. Desse modo, a prática aperfeiçoa-se notando-se uma crescente capacidade de discriminação e de juízos profissionais face a situações concretas. No quadro desta forma investigativa -opção fundamentada- pretendemos uma unificação da prática e o desenvolvimento das pessoas no seu exercício profissional. A Investigação-Acção, como já clarificámos no parágrafo anterior, decorre num articular espaço de acção, uma vez que é relativo ao ensino-aprendizagem, que decorre na sala de aula. Por um lado, há o papel do investigador, por outro, há o papel dos alunos colaboradores. Passamos, de seguida, a especificar as tarefas de cada um destes actores no pano de fundo da Investigação-Acção regida, para além das concepções anteriormente especificadas, num quadro racionalista contemporâneo, de acordo com o apontado no Capítulo II.

Neste trabalho que se reporta à prática lectiva, realizada por um professor, existem intencionalidades que imprimem à intervenção uma evolução que não cabe simplesmente a

uma linearidade de actos mais ou menos sequenciais. Falamos sim de uma investigação para a acção e na própria acção. Ora, no presente estudo irei tomar ainda a posição de investigadora. Tendo em consideração que o investigador, como referimos em parágrafos anteriores, pressupõe que seja um profissional reflexivo que explora, esquematiza e indaga dentro de um quadro de referência profissional e sistemático, expomos de seguida a forma detalhada de Investigação-Acção que nos propomos seguir.

Com efeito, enquanto investigadora deste trabalho trabalhei ainda no mesmo quadro metodológico do professor reflexivo. Porém, ao assumir unicamente o papel de investigadora vi-me na posição de poder questionar o que estava a ser desenvolvido e, assim, mais facilmente tentar proceder a reajustamentos, que se revelassem necessários para que o processo da construção do *conhecimento científico escolar* (pelos alunos) se processasse da melhor forma. Isto é, utilizando a controvérsia científica como fonte fundamental desse processo. Por outro lado, como professora agi sob coordenadas fornecidas não só pelo resultado da reflexão enquanto investigadora, mas das opiniões dos alunos colaboradores, sendo estas últimas alvo de profunda atenção tal como advoga a metodologia de Investigação-Acção, que reportamos ao longo deste ponto.

Pela riqueza das tarefas do investigador e do professor e ao assumir os dois papéis, não podemos desprezar o papel desempenhado pelos alunos colaboradores. Pretendemos potenciar e conciliar os papéis desempenhados por cada um para que haja um entendimento tal, que a prossecução das tarefas propostas permita atingir os objectivos inicialmente formulados. Com efeito, tendo por base a reflexão inerente à Investigação-Acção construímos materiais didácticos que se referem às três controvérsias seleccionadas.

As controvérsias científica, focadas no Capítulo anterior, foram seleccionadas tendo em consideração não só a sua importância a nível da Geologia enquanto disciplina, mas também, e com mais destaque, no currículo académico com que hoje nos deparamos. A actualidade dos temas e a sua importância nos programas escolares do Ensino Secundário, constituiu o nosso principal meio de selecção dos mesmos (Fig.III-3).

Com efeito, o *Tempo Geológico*, trata-se de um conceito que, para além de ser abordado no 10ºano e 12ºano de escolaridade (dentro dos temas gerais 10ºano: “*As rochas, arquivos que relatam a História da Terra*”; “*A medida do tempo e a idade da Terra*”; “*A Terra, um planeta em mudança*”; 11ºano “*As rochas sedimentares, arquivos históricos da Terra e recursos geológicos*”), é fundamental para o entendimento de uma grande maioria

de conceitos da Geologia. Para além disso, a evolução deste conceito iniciou-se no século XIX, prolongando-se até meados do século XX, encontrando-se actualmente numa fase estável. Por outro lado, a problemática da *Deriva Continental* é um conceito cujas ideias precursoras já se iniciaram nos finais do século XIX, sendo posteriormente conducentes à *Teoria da Tectónica de Placas*, constante nos programas do 10º e 11ºanos de escolaridade (dentro dos temas gerais: 10ºano “*Vulcões e Tectónica de Placas*”; “*Sismos e Tectónica de Placas*”; “*Estrutura interna da geosfera*”; 11ºano “*Dinâmica Sublitosférica e Tectónica de Placas. O ciclo de Wilson*”), e toda a controvérsia à sua volta gerada. No entanto, nos finais da década de 70, tornou-se um conceito difundido e parcialmente aceite, mas a ideia do motor gerador da tectónica, inclui os pontos quentes e as plumas mantélicas, continuando esta temática actualmente em franca fase de controvérsia, daí o seu interesse, para além do atrás referido. Por fim, o tema das *Extinções em Massa*, aborda-se dentro de um dos temas estudados no 10ºano de escolaridade (“*As rochas, arquivos que relatam a história da Terra*”). O grande interesse, pela actualidade e pelas controvérsias geradas na comunidade científica, justificam a sua inclusão neste estudo.

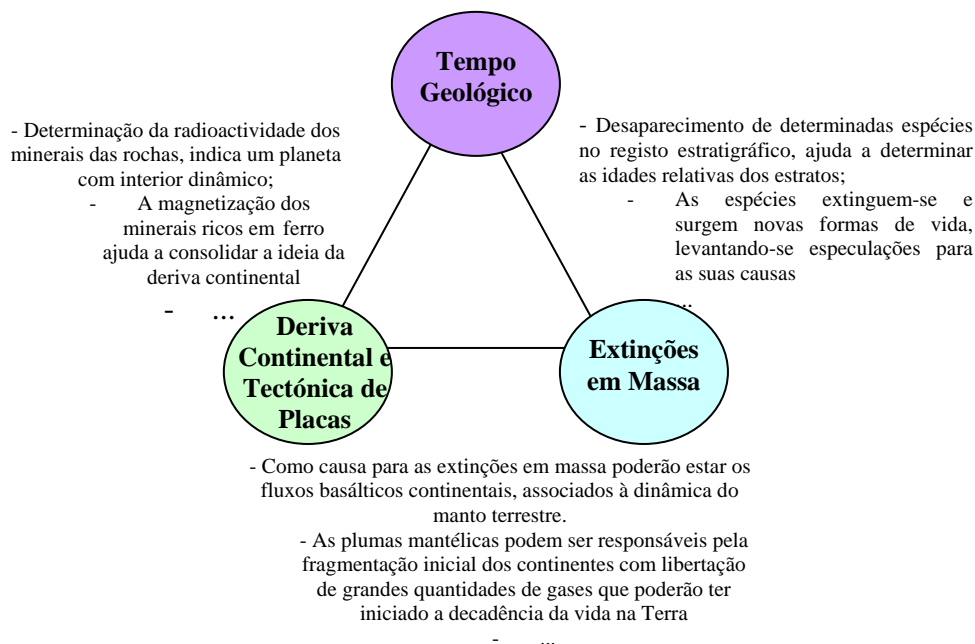


Fig.III-3- Carácter transversal dos temas do presente trabalho.

Foram elaborados materiais didácticos onde estão patentes as controvérsias científicas geradas ao longo da emergência dos paradigmas de cada um dos temas

seleccionados. Desta forma, estaremos a inquirir e mesmo a avaliar até que ponto a História da Ciência, mais concretamente as controvérsias funcionam como *trampolins* para a construção do conhecimento científico. Articulando a Investigação em Ciência com o Ensino das Ciências, estaremos a proporcionar um processo de mudança. Muito embora todas as mudanças sejam lentas, pois requerem maturação de ideias e de atitudes, estamos dispostos a iniciá-la dentro do contexto da construção do *conhecimento científico* de alunos do Ensino Secundário e, quem sabe, sugerir um prosseguimento de estudos no âmbito desta área científica. Dentro desta perspectiva a prossecução deste trabalho reveste-se de uma necessidade premente de melhorar o processo de ensino/aprendizagem que, muitas vezes, esquece episódios que se podem revelar significativamente importantes para uma contextualização dos conteúdos científicos visando uma ideia de Ciência mais consentânea com as epistemologias contemporâneas (Fig.III-4).

A História das Ciências enquanto parte integrante da Educação em Ciência integra o seu próprio campo de investigação em Educação. Neste contexto, e mais especificamente, o estudo das controvérsias delimita a problemática o que permite o desenvolvimento de uma metodologia de investigação própria. O quadro teórico da Epistemologia das Ciências que adoptamos, e à qual fazemos novamente referência, enquadra-se nas teses racionalistas contemporâneas, de cariz sócio-construtivista aquando da elaboração dos materiais didácticos a serem utilizados e implementados.

Estamos perante uma vertente epistemológica e psicológica verdadeiramente justificadas, visto tratar-se de uma investigação que implica uma reflexão teórica para uma aplicação na prática, na sala de aula. E posto que a melhoria das práticas lectivas implica um constante crescimento, uma visão holística da Ciência e das suas múltiplas relações, estamos perante as directrizes que nos guiaram na preparação dos referidos materiais que passamos a ilustrar no Capítulo IV.

Contudo, não nos ficamos pela elaboração de materiais sobre as controvérsias geológicas que julgamos pertinentes para perseguir os nossos objectivos. Pretendemos, sim, a conexão entre os dados obtidos e a teoria que ilustram a necessidade de considerar este estudo como um todo orientado por linhas teóricas, explícitas neste ponto.

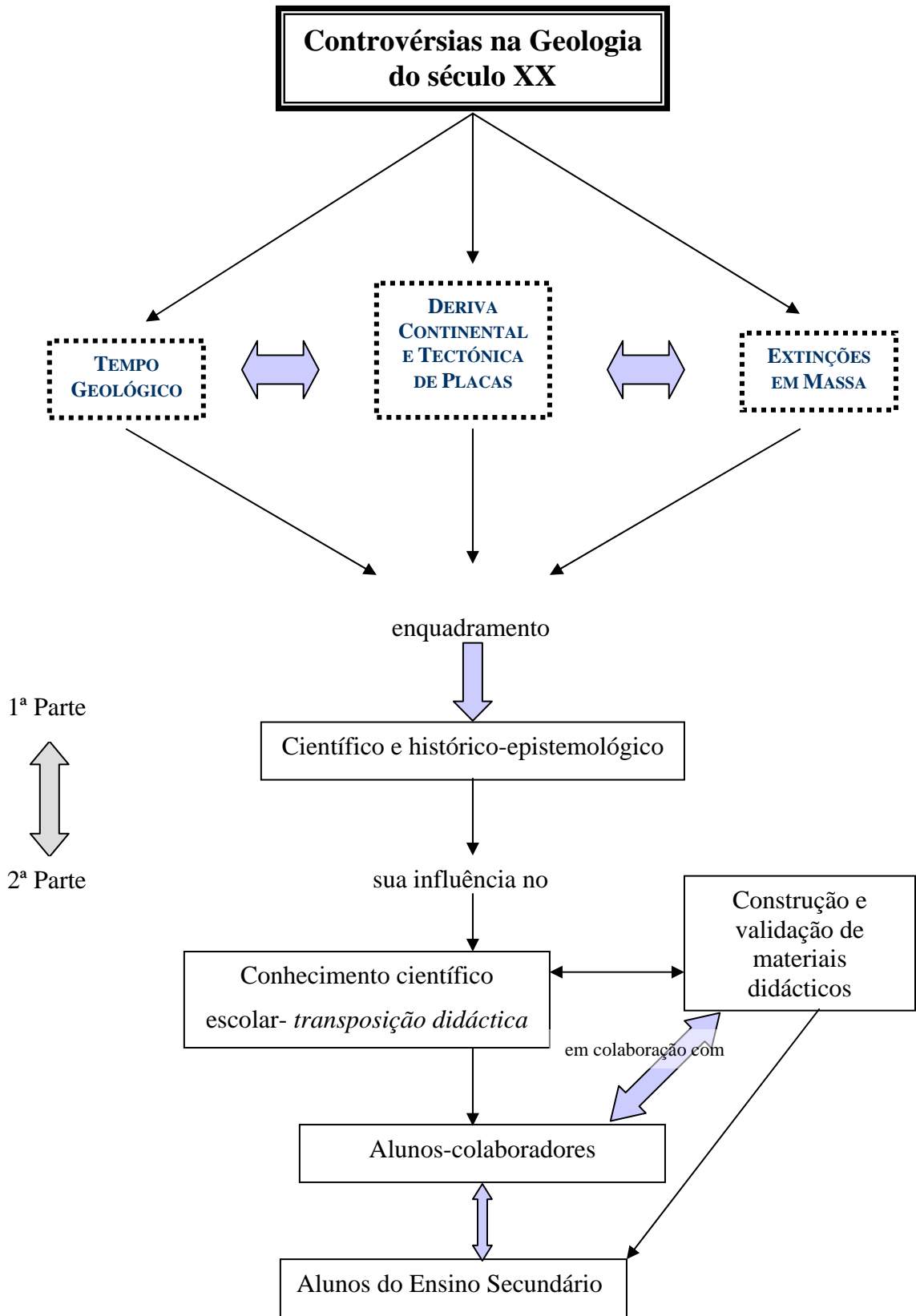


Fig.III-4- Esquema geral da organização do trabalho.

2.3- A VALIDAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO

Ao longo deste ponto fazemos referência aos processos de validação da investigação, estando conscientes que o papel do investigador é um dos instrumentos principais da investigação qualitativa. Ou seja, a pessoa que investiga pode ser considerada como detentora de um papel que, simultaneamente, passa pelo estudo e pela tomada de decisões. Adicionalmente, o investigador observador depara-se com a característica intrínseca a todos os seres humanos, que é a da subjectividade. Ora, aquilo que se pretende é, precisamente, um estudo que seja tendencialmente objectivo na análise dos estados subjectivos dos sujeitos.

Por outro lado, o investigador investe muito do seu tempo na recolha e análise de dados, que carregam o peso de interpretações que as terá que necessariamente confrontar as suas próprias opiniões. O modo como o investigador pensa é tomado como fazendo parte do plano de estudo, porque só assim temos uma parte do seu contributo pessoal no trabalho. Além disso, enquanto observador directo da actividade prática na sala de aula, não poderá erradicar toda a sua subjectividade nem ser totalmente neutro, apesar de se procurar tentativamente sê-lo. Ao conhecer bem a subjectividade do investigador poderemos utilizá-la para o desenvolvimento da investigação. É neste sentido que anteriormente classificamos este estudo de Qualitativo e de Interpretativo, tendo em consideração esta vertente da subjectividade que não se consegue eliminar definitivamente, como se de um ficheiro informático se tratasse.

A situação, porventura, ideal e quase inócua seria a de um estudo objectivo, desprovido de características subjectivas mas, se encararmos esta última numa perspectiva inerente à própria investigação, considerando-a positiva e não depreciativa, o presente trabalho só tem a fortificar-se. É que não podemos olvidar que estamos perante uma situação concreta de relações sociais e como tal dotadas de subjectividade, que não é necessariamente negativa ou de intenções subreptícias. Como pretendemos identificá-las aquando das conclusões, aceitamos que nos facilitarão o estabelecimento de relações causais tão importantes no contexto que escolhemos. Não descuamos, no entanto, que é de capital importância detectar de facto quais são as subjectividades que afectam o nosso trabalho investigativo. Defendemos pois, que é esta subjectividade que torna o estudo

inigualável e único. Contudo, o objectivo principal do investigador é o de gerar conhecimento válido e validado e tal deve ser sempre perseguido.

Ao constatar a emergência do carácter social do meio sobre o qual incide o nosso estudo, deparamo-nos com a necessidade de validar esses mesmos materiais. Consideramos que a validação leva dois caminhos, que poderão de alguma forma, fazer com que o trajecto da investigação volte a um novo ponto de reflexão e consequente acção. Queremos com isto dizer que a base metodológica da validação se enquadra novamente na Investigação-Acção. Concordamos com Ángel (1996) quando diz que as características da Investigação-Acção passam por ser “*Colectiva(...); Encuentro entre teoría y práctica(...); Ecológica (...); Flexible (...); Creativa (...); Dinámica (...); Formativa (...); Crítica (...)*”. Nesta etapa da investigação, focamos com especial destaque esta última característica, que pensamos fundamental para a validação dos materiais. Só assumindo uma atitude crítica e criativa poderemos evoluir naquilo que estamos empenhados em desenvolver.

Neste contexto, os materiais didácticos sobre as controvérsias geológicas serão passíveis de utilização quando passarem por um processo de *validação* que, de acordo com Ángel (1996), significa obter um certificado de qualidade, firmeza e consistência. Com efeito, entendemos que a equipa inicial da investigação formada pelos orientadores e pela própria investigadora, constitui a primeira linha de validação interna dos materiais didácticos. Por outro lado, especialistas das áreas da Didáctica e da Geologia constituíram a nossa segunda força de validação interna e que consideramos fundamental. Isto, porque estão alheios, em parte, do processo, não sofrendo por isso, influências, vindas de um trabalho desenvolvido ao longo de vários meses. Para sermos mais concretos, na validação interna pretendemos corroborar ou não a coerência dos elementos utilizados na construção dos materiais, averiguando se a teoria é congruente com a prática, cingindo-se ao resultado da primeira avaliação da qualidade do estudo.

No entanto, os alunos colaboradores desenvolveram uma parceria que, para nós, constituiu um ponto de referência pois o *feedback* por eles dado, veio a influenciar a construção final dos materiais didácticos. Estes alunos, foram seleccionados para esta investigação pelo facto de frequentarem os anos lectivos nos quais são abordados os conteúdos geológicos onde se poderão inserir as controvérsias que seleccionamos, em especial do 10º anos de escolaridade. Além disso, os mesmos alunos colaboradores ao serem convidados e ao aceitarem participar voluntariamente num trabalho de investigação

na área da Didáctica da Geologia, permitiu-nos que os considerássemos os nossos elementos de apreciação da e na primeira prática. Neste contexto, os seis alunos ao contactarem com a realidade da elaboração de materiais didácticos e a dinâmica da preparação de aulas sobre os temas em questão, tomaram contacto com as suas próprias dificuldades nessas áreas. O feedback estabelecido com a investigadora foi bem necessário para reajustamentos dos materiais a serem utilizados no contexto ensino-aprendizagem.

Esta faceta da Investigação-Acção, a de ser dinâmica e actuante, é quase tão importante como a própria aplicação prática efectiva dos materiais didácticos, pois só assim vemos uma sua primeira transposição, dar frutos importantes para as conclusões apresentadas no último capítulo deste trabalho. Por outro lado, deparamo-nos com dificuldades que, porventura, não tinham sido consideradas aquando da elaboração inicial dos materiais, já que os elementos que os validaram internamente possuíam uma base científica e didáctica mais “profundas” e que já foi alvo de reflexão. Mas, será que este estudo inicial conducente à produção dos materiais, centrados numa metodologia de Investigação-Acção, com uma base qualitativa e também interpretativa, ao ser alvo de uma implementação prévia, pode correr o risco de se tornar generalizável? “Será que os resultados qualitativos são generalizáveis?” (Bogdan e Biklen 1994). Ou seja, aplicáveis a outros locais e a sujeitos diferentes. Em nosso entender, é possível que assim seja, ainda que problemático, porém não é de todo um facto descabido pensar em tal sem, contudo, deixar de estar consciente de tais dificuldades. Importa que não fique apenas por um estudo interessante, mas que seja aplicável a outros contextos físicos, ou melhor dizendo, a outros contextos de sala de aula onde se intenta provocar alterações na forma da construção do conhecimento que se quer científico escolar. Então, essas análises devem ser cuidadosas e fundamentadas, servindo-nos os elementos recolhidos e desenvolvidos a impulsionar as práticas numa melhoria lectiva efectiva.

Não descuramos as descrições dos avaliadores internos e do feedback inicial dos alunos colaboradores porque acreditamos que algo particular tem valor por si só e além disso, a teoria deve explicar os acontecimentos, independentemente de serem previstos inicialmente. É isto que enriquece uma investigação como a nossa, inserida num contexto multifacetado do ensino-aprendizagem das Ciências. A recolha de informações provenientes dos actores internos, externos e dos próprios alunos desta investigação, permite ao triangular tais elementos comparar diferentes perspectivas da realidade,

contribuindo dessa forma para a maior autenticidade do estudo (Fig.III-5). Aumentamos, assim, a sua validade.

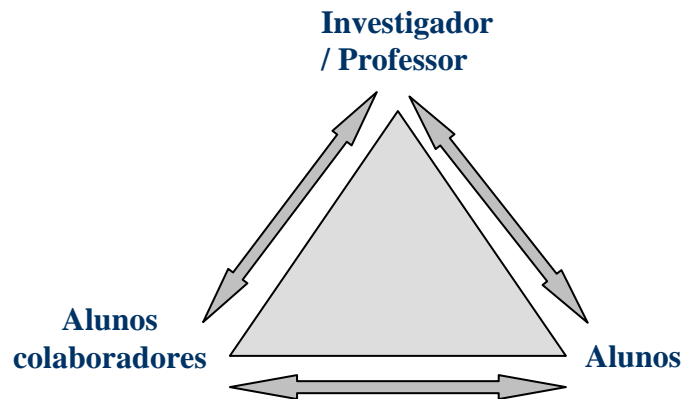


Fig.III-5- Relações estabelecidas com os actores da investigação.

Ao ser investigadora/professora e ao mesmo tempo trabalhando na validação dos materiais didácticos com os alunos colaboradores estabeleceu-se uma forma particular de interacção não só com os sujeitos por si mesmos, mas também pelo feedback, atrás referido, estabelecido com o investigador. É nesse contexto da Investigação-Acção que os materiais poderão ser melhorados, para uma melhor aprendizagem dos conteúdos. Isto é o que se passa ao longo do lado esquerdo da triangulação ilustrada na Fig.III-5. Por outro lado, após a implementação dos materiais na sala de aula, o investigador deverá avaliar até que ponto os resultados obtidos corresponderam às expectativas iniciais. Estamos a falar do lado direito do triângulo, onde se estabelece um feedback com o próprio investigador. Só assim, teremos uma base mais fiável, já que poderemos trabalhar com vista a melhorar os materiais por forma a atingir os objectivos a que nos propusemos.

Com isto pretendemos diferenciar e identificar as relações estabelecidas aquando da validação dos materiais didácticos. A triangulação ilustrada na Figura III-5 e que esquematiza de forma sucinta a rede complexa de relações estabelecidas entre: a) *o investigador/professor e os alunos colaboradores*. Nesta relação foram sendo ressaltados os problemas e dúvidas dos alunos colaboradores perante as questões didácticas e científicas, conducentes a novas reflexões e consequentes reorganizações dos materiais didácticos; b) *o investigador/professor e os alunos*. Aqui, o investigador irá avaliar até que ponto os seus objectivos são atingidos, podendo ainda proceder a reajustamentos, tendo por base a Investigação-Acção. Faz-se ainda no âmbito de um ensino que segue a perspectiva

de Ensino por Pesquisa, que também tem nas suas raízes uma perspectiva da Investigação-Acção. Caracterizando as turmas envolvidas poderemos dizer que a Turma A, tinha alunos provenientes quer do meio rural quer do meio urbano, com maior incidência deste último. As suas aspirações eram na sua maioria o Ensino Superior e tratava-se alunos que pretendiam obter muito boas classificações às disciplinas. Relativamente à outra turma, Turma B, os alunos na sua maioria provinham do meio rural e também pretendiam, em geral, prosseguir estudos superiores. Porém, estes alunos eram mais distraídos, mas muito espontâneos, não se inibindo de expor as suas dúvidas, mesmo parecendo descontextualizadas. Na outra turma, A, já se notou um cuidado maior nas dúvidas que colocavam sendo, talvez, mais cautelosos nos seus pareceres. Por sua vez, notámos que os alunos da Turma B não estavam tão centrados em obter as melhores classificações às disciplinas, pois as aspirações não eram tão altas como as da Turma A; c) *os alunos colaboradores e os alunos*. Os alunos colaboradores foram o primeiro aval de uma metodologia que se pretende activa, participativa e reflexiva dando as suas opiniões enquanto alunos do ensino secundário, conhecendo a realidade dos seus colegas porventura, ainda melhor do que o investigador. Dessa forma, os materiais foram melhor ajustados, conduzindo a uma aplicação didáctica mais significativa e eficiente, para os objectivos propostos.

Com efeito, a melhoria da prática poderá, assim, surgir mais congruente. Esta é uma estratégia pensada e intencional, para que tenhamos tempo de avaliar os resultados da aplicação dos materiais didácticos e os possamos repensar caso vejamos necessidade de tal. Mais uma vez, a reflexão inerente à Investigação-Acção será a orientação metodológica que irá permitir uma melhoria na qualidade nos materiais didácticos desenvolvidos.

Como já referimos, um dos objectivos deste estudo é o de articular a investigação histórica em Geologia com a Educação da Geologia. Em consonância com tal finalidade, a relação estabelecida na base do triângulo entre os alunos colaboradores e os alunos, pressupõe dar uma resposta à questão da importância das controvérsias na construção do conhecimento científico. Escolhemos como alunos colaboradores, seis alunos do Ensino Secundário que frequentam a área científico-natural. Por um lado, convinha que assim fosse porque são alunos ligados, de alguma forma, às temáticas em questão. Por outro, também faz todo o sentido uma vez que os materiais didácticos construídos se destinam ao trabalho na sala de aula. Assim, ao serem os alunos o primeiro alvo deste trabalho,

acreditamos que a sua colaboração activa e interessada é muito pertinente, num assunto que poderá acarretar melhorias significativas a nível da sala de aula, num futuro quanto mais próximo melhor. Com efeito, uma vez que o Ensino das Ciências pode ser olhado por várias perspectivas, propusemo-nos realizar este estudo tendo por base o Ensino por Pesquisa (ver Capítulo II).

Esta nova perspectiva para o Ensino das Ciências, foi, entretanto, criteriosamente seleccionada para este trabalho, tendo como critério base o seu afastamento de um ensino de natureza transmissiva, estritamente centrado nos conteúdos considerados como fins. É neste quadro que focamos a necessidade crescente de “compreender o mundo na sua globalidade e complexidade” (Cachapuz, Praia e Jorge, 2002). Trata-se de uma nova orientação para o Ensino das Ciências onde se pretende a compreensão da Ciência, enquanto campo de interacção entre a Tecnologia e a Sociedade. Garante-se, então, não apenas uma apreensão da informação, mas, antes, a sua transformação em conhecimentos escolares que se deverá revelar útil na vida quotidiana. Trata-se de mobilizar os alunos para uma sociedade em constante desenvolvimento tecnológico, uma sociedade em mudança e também de incerteza. Por último, o papel do professor é fundamental, uma vez que é ele o impulsionador de todo este processo educativo. No Ensino por Pesquisa, o professor deverá adoptar a postura de problematizador, organizando processos de partilha e interacção sobre os temas em estudo, envolvendo os alunos.

Em síntese, trata-se de uma metodologia (Fig.III-6) que implica uma nova abertura a processos e experiências que, de forma consciente, nos vão permitir um crescimento a nível profissional, como também pessoal.

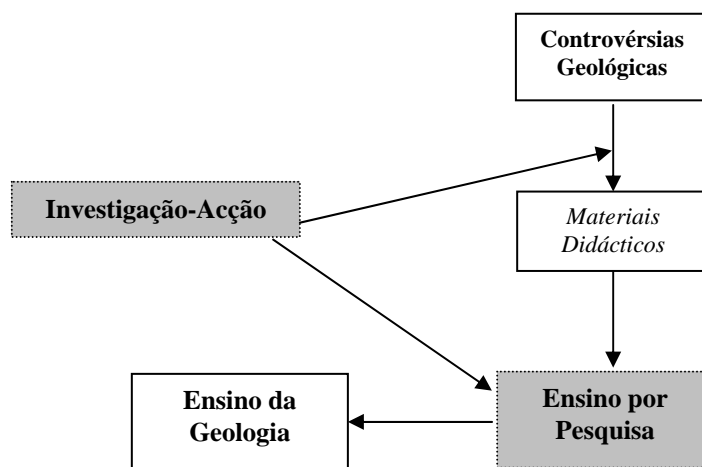


Fig.III-6- Esquema síntese das metodologias utilizadas ao longo deste trabalho.

2.4- RECOLHA DE DADOS

Ao longo deste ponto especificamos a nossa forma de recolha de dados que é importante como referência para o que se segue. Consideramos pois, que é necessário enquadrar as técnicas de obtenção de dados de acordo com as características da presente investigação, inserida no âmbito educacional. Por este facto, e pressupondo uma constante reflexão aliada à acção, consideramos que os métodos seguidos são os que melhor nos permitiram chegar às conclusões que apresentamos no Capítulo V.

Assim, apresentamos de seguida as técnicas de recolha de dados utilizadas, no contexto da Investigação-Acção que esteve sempre presente ao longo das várias fases que constituem este trabalho. Salientamos como técnicas, as gravações audio, a fotografia, as entrevistas e os diários de registo pessoal do investigador. Passamos de seguida a explicitar com mais pormenor cada uma delas.

No contexto educacional que pretendemos estudar, esteve sempre presente a preservação do ambiente natural da ocorrência da acção propriamente dita, se bem que nem sempre se tenha conseguido atingir este fim na sua totalidade, devido a alguns factores. De facto, durante a gravação audio das aulas em que os materiais didácticos foram aplicados houve o factor distractivo da presença do aparelho. Isto é, houve uma influência que já havia sido detectada aquando da gravação inicial de aulas nas quais não foram aplicados os materiais construídos. O facto de procedermos a gravações iniciais, onde não estavam a ser aplicados os materiais que havíamos construído, facilitou-nos a identificação de eventuais pontos problema e de factores que, de certa forma, poderão ter alterado o comportamento dos actores deste processo. Podemos dizer que, se houve alguma pressão sobre a investigação, esta encontra-se devidamente contemplada no último capítulo, mas que pensamos não alterar os resultados finais deste estudo. Ainda neste contexto, consideramos que a gravação audio e a fotografia das aulas é a única forma de estarmos imbuídos na própria acção do ensino-aprendizagem. Isto, porque como somos humanos temos as nossas limitações e, muito embora tenhamos utilizado um diário pessoal, há pormenores que nos escaparam e que até se poderão revelar pertinentes para as conclusões que apresentamos. No entanto, a gravação das aulas com um aparelho de som, pode incorrer na falha de registo de pormenores que se poderão ter passado num diálogo

entre o professor e os próprios alunos. Em relação a este facto optámos, mesmo sabendo deste risco, gravar as aulas, procedendo à sua posterior transcrição.

Por outro lado, os alunos colaboradores também contribuíram para a recolha de dados, uma vez que eles funcionaram como orientação da acção propriamente dita. Assim, e após a apresentação dos materiais e da sequência desenhada para as aulas, seguiu-se uma apreciação escrita em forma de entrevista com a investigadora/professora, por forma a ter um feedback. Ora, a reflexão e o conseqüente reajustamento das directrizes estipuladas para a aplicação dos materiais pôde ser uma realidade, que procurou melhorar a prática e a dinâmica ensino-aprendizagem. Dentro deste assunto, concordamos com Ángel (1996) quando diz que “Seguindo la estructuración de toda investigación-acción, su desarrollo se caracteriza por un proceso cíclico o un proceso de peldaños en espiral (...)”. Ou seja, a Investigação-Acção está presente em todo este trabalho, pela sua própria natureza (Fig.III-7).

Este ciclo de Investigação-Acção desenrolou-se a partir do plano de acção traçado por nós e iniciado com a acção didáctica e científica estabelecida com os alunos colaboradores, acrescida da elaboração dos materiais didácticos, que posteriormente, levou à prática lectiva. Ao recolhermos os dados e os efeitos obtidos, chegámos a algumas conclusões primeiras que nos impulsionaram a nova reflexão e alteração da própria planificação inicial. Desta forma, prosseguiu-se o trabalho com uma outra (re)orientação que pretendeu melhorar o que verificámos não funcionar ou não estar, de facto, bem. Em tom de síntese, podemos dizer que a fase de reflexão e planificação é uma etapa destinada à investigadora, enquanto que a acção está mais vinculada à actividade docente, uma vez que o estudo se insere neste contexto.

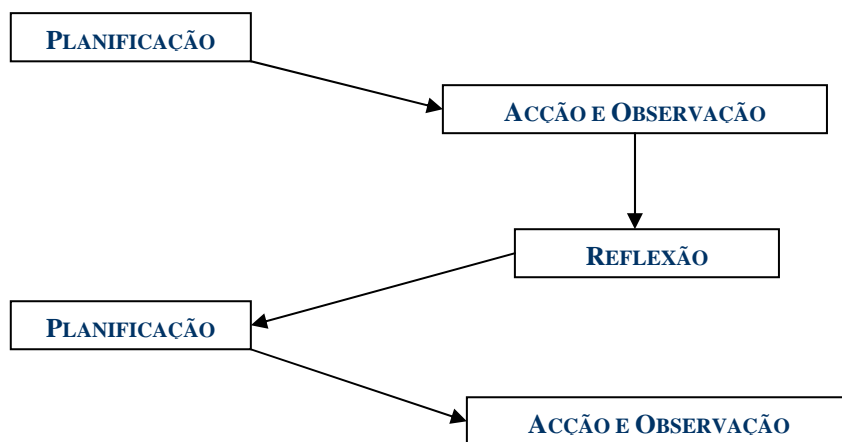


Fig.III-7- Processo cíclico da Investigação-Ação (In: Ángel, 1996).

Assim, pelas dificuldades que passámos e pelas exigências deste estudo, consideramos que os métodos de recolha de dados que melhor se lhe enquadram são, como já referimos, a gravação audio das aulas, a fotografia, a utilização de um diário de registos e a entrevista audio gravada.

3- PLANO DA INVESTIGAÇÃO

As metodologias atrás descritas convergem para uma finalidade coerente de inovação e mudança a nível das práticas do processo ensino-aprendizagem. As questões-problema referidas no Capítulo I são, desta forma, alvo de uma investigação baseada numa opção metodológica reflexiva que pressupõe dar ênfase ao processo da construção do *conhecimento científico escolar*.

As fases que se estruturam de seguida, no Quadro III-I, ainda que sendo distintas, contudo articuladas, isto é, possuem fios condutores de investigação/formação conducentes a uma melhoria significativa do Ensino das Ciências. Apresenta-se ainda, com uma calendarização sequencial das fases que o constituem, bem como das orientações metodológicas criteriosamente seleccionadas para cada uma.

Quadro III-I- Plano da Investigação

Fase do Estudo	Caracterização	Objectivos	Caracterização Metodológica	Participantes	Local	Data
Fase Inicial	Quadro epistemológico e construtivista do conhecimento	- Construção de um quadro teórico de referência	- Análise de documentos científicos de várias décadas (séc. XIX, XX e XXI) sobre os três temas seleccionados. - Análise dos conteúdos escolares.	Investigadora	Uni. Avei e Uni. Cambridge	2004
Fase 1	Seleção criteriosa e fundamentada das controvérsias	- Identificação das controvérsias geológicas com maior interesse didáctico	<i>Metodologia de Investigação-Acção:</i> - Seleção das controvérsias que irão ser utilizadas na construção dos materiais didácticos. - Elaboração de materiais didácticos tendo em consideração as necessidades, os saberes pessoais, as dificuldades na construção do conhecimento científico dos alunos. - Observação e análise de aulas a partir de gravações audio das práticas lectivas	Investigadora	UA UC	2004 Ano Lect. 2004/05

Fase 2	Implementação	Desenvolvimento do processo da construção do conhecimento científico-didático à luz das controvérsias	- Desenvolvimento dos materiais de ensino, no contexto da sala de aula tendo em consideração o EPP. - Reflexão sobre as controvérsias para a construção do conhecimento científico na ideia de Ciência.	Professora/ Investigadora	Esc. Sec. Alcides de Faria	
	Análise e avaliação	- Análise da evolução dos alunos na própria construção do conhecimento científico. Contribuição para uma melhoria do processo ensino-aprendizagem das Ciências e de imagem de Ciência.	- Análise das aulas nas quais foram transpostos materiais didáticos centrados nas Controvérsias Geológicas.	Investigadora		2006/ 07
Fase 3	Redacção da tese			Investigadora		06/07

Capítulo IV

MATERIAIS DIDÁCTICOS

INTRODUÇÃO

O estudo que desenvolvemos tem como principal objectivo utilizar a História da Ciência como um recurso no âmbito do contexto educativo com vista a uma melhoria da Didáctica das Ciências. Pensamos que não há melhor forma de valorizar o que são e o que significam as teorias, do que pela análise significativa de algumas controvérsias históricas. O seu poder explicativo, leva-nos a reflectir sobre aquelas teorias que manifestamente desempenham um papel preponderante para Ensino das Ciências. Em nosso entender, esta será a via que evitará, eficazmente, uma visão dogmática e definitiva da Ciência. A substituição das teorias e as controvérsias travadas na emergência de novos quadros paradigmáticos revela-se como uma fonte, a partir da qual conseguiremos ajudar a organizar melhor as ideias de alunos, não esquecendo que as suas idades se encontram numa fase de grande desenvolvimento intelectual.

Assim, ao utilizarmos a História da Ciência, tomá-la-emos como um recurso de forte pendor heurístico, rico de significado que ajuda à compreensão das mudanças que se querem mais efectivas na forma como se constrói o conhecimento científico. Por isso, a apropriação da Didáctica das Ciências pela História da Ciência permite uma articulação de informação, aquando da discussão da controvérsia, que se transforma, progressivamente, em conhecimento. Desta forma, os alunos conseguem melhor entender a realidade da comunidade científica como um corpo imperfeito e também rico de disputas e conflitos, em que se inserem, por vezes, disputas pessoais. O que é mutável é o conhecimento que se vai aperfeiçoando, que ao ser realizado por homens e mulheres inclui um carácter conflitual. Neste contexto, a atitude do cientista deve ser considerada na perspectiva daquele que tem a tarefa de gerar hipóteses que se querem testáveis e, daí a que se deva ter o devido cuidado para não se cair em generalizações fáceis que possam induzir os alunos em erro. Apesar da controvérsia, enquanto exercício epistemológico-didáctico e histórico, os estudantes devem ter em consideração o que é aceite hoje pela comunidade científica.

Neste capítulo e numa primeira parte, pretendemos clarificar as nossas opções no que respeita à selecção dos episódios da controvérsia que melhor são apropriadas para o

fim didáctico a que se destinam. A opção metodológica dos acontecimentos marcantes na história das teorias é uma tarefa complexa, uma vez que não podemos contemplar todos os envolvidos na trama conceptual e social. Isto deve-se a vários factores, sendo um deles o *tempo lectivo* de que dispusemos para a aplicação dos materiais didácticos e, por outro, a própria *faixa etária* dos alunos alvo deste estudo. Apesar de se tratar de alunos do Ensino Secundário, entre os 15 e os 17 anos, não podemos incorrer no risco de fornecer demasiada informação que depois será, porventura, um vector de confusão, distorção e desinteresse, sobretudo, no que diz respeito à História da Ciência em questão. Por isso, a reflexão cuidada e a análise realizada aquando Capítulo II, constituiu a base para um adequado e criterioso desenvolvimento do presente capítulo.

Na segunda parte deste Capítulo apresentamos os materiais didácticos com a sua devida explicação, por forma a que todos os que tiverem contacto com este trabalho, fiquem ao corrente das nossas aspirações e dificuldades no que se refere às finalidades do estudo. Pensamos que a diversidade metodológica dentro da sala de aula foi facilitadora de uma boa compreensão da existência de Controvérsias dentro da comunidade científica e de que não há verdades absolutas, nem perenes. Além do mais, as próprias controvérsias são o veículo de marcha para que os nossos objectivos sejam perseguidos. A controvérsia, ao ser uma etapa real dos acontecimentos, torna os nossos propósitos mais efectivos e inseridos na dinâmica da construção do conhecimento científico escolar, que queremos que extrapole da comunidade científica para a sala de aula e para cada um dos alunos envolvidos, com as necessárias e cuidadas adaptações e transposições didácticas.

1- JUSTIFICAÇÃO DIDÁCTICA NA SELECÇÃO DOS EPISÓDIOS DA CONTROVÉRSIA

1.1- TEMPO GEOLÓGICO

O conceito de Tempo Geológico não é de fácil abordagem mas é, sem dúvida, um conceito nuclear e, por isso, uma das bases firmes para uma aprendizagem mais actual da Geologia. A sua transversalidade confere-lhe suma importância, estabelecendo ainda relações com os outros dois temas escolhidos para este trabalho.

É pelo seu forte poder heurístico que o consideramos pertinente para a introdução à Geologia, favorecendo a compreensão do papel da História da Ciência na construção do conhecimento científico escolar. A especificidade da Geologia fica, neste tema, nomeadamente ligada a outras áreas científicas como a Física, a Química e a Biologia, o que lhe confere um carácter interdisciplinar. Trata-se de uma característica presente, que se revela vantajosa para uma aprendizagem mais global. Defendemos esta ideia, pois vemos que se trata de um tema potenciador de uma visão holística, pois não só favorece a problematização, como a discussão intra e inter-pares e permite diferentes olhares para a construção da Ciência (escolar), a Controvérsia é um exemplo.

Por outro lado, a temática relativa à Idade da Terra e na qual focamos o nosso olhar, incide nas ocorrências do século XIX e XX permitindo o estabelecimento de relações, numa dinâmica rica de controvérsia científica. E neste sentido, fica a descoberto a complexidade deste tema, que se pretende apropriável pelos alunos a respeito da construção do conhecimento científico escolar. Daí que se possam formular problemas e reflectir sobre as metodologias base usadas para a determinação da Idade da Terra.

A evolução do conceito de Idade da Terra conduziu à formulação do conceito instrumental do Tempo Geológico. Aquele conceito estabelece ligação entre vários conhecimentos fundamentais para a noção de Tempo Geológico. Com efeito, a maioria dos conceitos em Geologia necessita de uma percepção correcta deste, o que o torna verdadeiramente essencial. Pela sua multivalência, é um tema que pode ser utilizado em diversos conteúdos porque não se trata de um assunto fechado em si mesmo, facilitando a nossa intervenção em contexto educativo escolar.

Numa outra perspectiva, a importância do tema também se prende com o seu papel, desempenhado na emergência da Geologia enquanto Ciência autónoma, com métodos próprios e uma determinada evolução histórica. Hoje encaramo-la como uma Ciência com história e histórica, com características hermenêuticas, dotadas de uma metodologia própria. Desta forma, a nível didáctico torna-se desta forma, exigente, não só devido a constituir-se em fenómenos transdisciplinares, como também devido ao seu domínio interpretativo e explicativo. Pretendemos contribuir para que os alunos possam crescer qualitativamente, realizar uma aprendizagem significativamente importante para a compreensão da história do planeta.

A discussão que se segue prende-se com as tomadas de decisão sobre os episódios que considerámos mais facilmente apropriados pela Didáctica. Assim, a ideia estruturante

em torno da qual as nossas opções se centraram foi a de poderem ser uma adequada selecção de episódios da Controvérsia sobre o Tempo Geológico. Ou seja, para nós, importou que os alunos interiorizassem a dinâmica da Ciência enquanto corpo de conhecimentos que lhes chega não só pelas aulas na Escola mas também pelos meios de comunicação social. E neste sentido, era nossa intenção modificar uma visão de Ciência estática e linear, como aliás, ainda é apropriada por muitos alunos.

Dentro do primeiro tema, Tempo Geológico, procedemos à escolha de situações que nos pareceram relevantes para que a dinâmica de ensino/aprendizagem progredisse no sentido que julgámos ser facilitador de uma adequada construção do conhecimento científico escolar. Assim, passamos a clarificar as nossas opções e a justifica-las num cenário de Didáctica da Geologia, onde se contempla a controvérsia. Porque, tal como já o acentuámos, o critério das nossas escolhas recaiu no claro conflito entre posições dos intervenientes na emergência de um novo paradigma. Vejamos, pois, de seguida a nossa linha orientadora na elaboração dos materiais didácticos.

Começamos por sublinhar que nesta, tal como nas outras temáticas, tomaremos como ponto de partida duas posições opostas, tendo cada uma delas um grupo defensor. Porém, não deixamos de salientar a importância que todos os envolvidos têm na trama, tal como está documentado no Capítulo II. Mas, e visto este trabalho ter uma vertente de Ensino das Ciências houve que seleccionar adequadamente os episódios que supostamente melhor seriam compreendidos pelos alunos e que os fizessem dar o salto qualitativo, cognitivo e social. Podemos afirmar que utilizámos em particular os intervenientes na “Fase de Competição entre Teorias Rivais”, tal como ilustrado no Anexo I do Capítulo II. Apesar de termos seguido este critério em termos gerais, casos houve em que não o fizemos devido a dificuldades de carácter didáctico na recolocação da posição dos cientistas intervenientes. Não queremos dizer que os estudos desses elementos não tenham sido válidos, apenas não houve conflito suficiente para que os considerássemos no âmbito das controvérsias.

Além do mais, as posições anteriores às da fase na qual os conflitos são mais evidentes não serão utilizadas de forma completamente explícita, se bem que não poderão ser descuradas. Isto deve-se, em parte, pela sua capacidade de compreender a introdução e o enquadramento fundamentais, para que, o processo nos surja didacticamente claro e, assim, os nossos fins sejam atingidos. Por outro lado, a partir do momento em que ocorreu a Revolução Científica, protagonizada em especial por Rutherford, cessaremos a nossa

abordagem à questão das Controvérsias ligadas ao Tempo Geológico, pois acreditamos que o conceito já passou a constituir conhecimento científico e como tal, afirma-se como uma referência para os alunos. Contudo, assinalamos as disputas travadas no sentido da determinação da idade absoluta da Terra, nas quais Holmes tomou um papel de relevo pelos seus cálculos, baseados na emissão radioactiva dos elementos.

Cabe-nos, desta forma, referir e argumentar as nossas escolhas que, em termos gerais, foram as seguintes: por um lado, os que defendiam os cálculos dos físicos e, por outro, os apologistas dos cálculos levados a cabo pelos geólogos. Mas, vejamos entretanto com maior pormenor os argumentos e os intervenientes nesta Controvérsia que consideramos fundamental para quem aprende Geologia.

Com efeito, um dos que defendera a idade da Terra, baseado em cálculos obtidos por dados vindos da erosão foi Darwin (1831). Este naturalista, fervoroso adepto das ideias Uniformistas de Lyell (1830), ocupou um lugar de destaque nesta dinâmica de conflitos já que se “atreveu” a sugerir um valor, considerado na época muito elevado, para a antiguidade da Terra. Os seus argumentos passaram pelos cálculos da desnudação de um vale em Weald, Sul de Inglaterra. Esta postura, de certa forma irreverente e destemida, foi o ponto de partida a uma corrida ao cálculo da idade do planeta. Parece-nos que esta atitude de Darwin constitui, ela própria, um espelho para os alunos, cujas idades se caracterizam por uma certa vontade de independência e de ter as suas próprias opiniões. Por isso, decidimos colocar Darwin como o porta-voz dos Geólogos (ver Quadro-Síntese do Tempo Geológico). Naquele final de século, as ideias fervilhavam e mais estudos eram desenvolvidos, tendo Walcott (1893) feito parte dos que consideraram a erosão como factor primordial no cálculo da idade da Terra. Por sua vez, Reade (1903) também contabilizou a antiguidade do planeta estabelecendo relações entre a sedimentação de cerca de 30cm de sedimentos e uma dimensão temporal que chegava aos 4000 anos. Walcott e Reade seguiram em muito a dinâmica proposta pelos Geólogos nos seus cálculos, daí que os tenham considerado pertinentes, pois realizaram estudos que tinham a sua lógica, para além de fazerem parte de um dos grupos de opinião oposta à dos físicos.

Mas, ainda dentro do grupo dos geólogos, não podemos de deixar de referir nomes que encabeçaram métodos muito diferentes e cujo raciocínio revelava, mentes verdadeiramente engenhosas. Esta característica, julgamos ser importante transmitir aos alunos, por forma a abrir os seus horizontes no que se refere à criatividade que também

reina no meio científico. Neste contexto, salientamos Joly (1899), que tentou determinar a idade da Terra com base no teor de sais dissolvidos nas águas do mar, levando-o a realizar cálculos algo complicados que chegaram a convencer muitos dos que o ouviam. Por outro lado, Croll (1875) associara dados da Geologia e da Física. Ou seja, tentou estabelecer uma relação temporal entre o clima da Terra, as suas glaciações e a excentricidade do planeta, por forma a determinar a sua antiguidade. O facto de Croll ter inicialmente criticado os geólogos e de mais tarde apoiar os dados vindos da leitura feita sobre a erosão confere-lhe um particular interesse didáctico, no aspecto de que as opiniões fundamentadas, no sentido de hipóteses científicas mudam, o que faz dos cientistas seres humanos assolados por dificuldades concepcionais, incertezas e mesmo dúvidas, afinal como qualquer um de nós.

No outro pólo, encontra-se o físico Lorde Kelvin (1862, 1895), que havia formulado as leis da Termodinâmica. Este feito tinha-lhe conferido grande reputação o que facilitara, em muito, a sua posição na questão do Tempo Geológico. Ou seja, a comunidade científica da época aceitou sem grandes questões os cálculos propostos pelo mestre. Neste contexto, vemos como fundamental a postura de Lorde Kelvin e dos que o rodearam, pois estávamos perante uma grande autoridade da Física dos finais do século XIX. Ao que se acrescenta que na altura os cálculos dos geólogos eram considerados pouco complexos e, por isso, os levados a cabo por Lorde Kelvin levavam vantagem, pois abarcavam os próprios conceitos de termodinâmica. Não podemos esquecer que Lorde Kelvin foi um dos principais opositores às ideias desenvolvidas por Darwin, o que por si também revelava naturalmente algum conflito pessoal. Consideramos essencial esta situação conflitual interpessoal para a compreensão do contexto da controvérsia.

Assim, os dados do arrefecimento do Sol e da Terra eram a base para o cálculo temporal da Terra que tanto se procurava. Mas, as incertezas também chegaram ao grande físico, o que desencadeou uma cascata de reacções dos geólogos e também de alguns dos seus colaboradores contra os valores propostos que, aliás, mudavam constantemente.

Vejamos agora os intervenientes que também consideramos desempenhar um importante papel para que o assunto das Controvérsias a nível didáctico. Perry (1895), um dos mais directos colaboradores de Lorde Kelvin, a dada altura começou a questionar os cálculos do seu professor, a partir do momento em que não lhe pareciam fazer muito sentido. É por este motivo que vemos como pertinente a utilização da posição de Perry, que ilustra as dúvidas de um discípulo em relação aos cálculos do seu mestre. Este tipo de

relação revela, em nossa visão, que os cientistas não são (intelectualmente) fiéis seguidores de uma doutrina, sem se questionarem acerca das descobertas dos seus professores. Pensamos que desta forma estaremos a facilitar a consciencialização da natureza humana, patente não só nos cientistas, como em todos nós.

Uma outra perspectiva que decidimos ainda focar, foi a de diversos naturalistas que foram críticos em relação às duas posições opostas na determinação da Idade da Terra. Por exemplo, Fisher (1893) foi, sem dúvida, um dos personagens de forte posição neste aspecto. A sua postura extremamente crítica em relação às várias formas de determinar a Idade da Terra, apesar de ele próprio não sugerir nenhuma estimativa é, para nós, fonte de importância didáctica. É que Fisher não criticou sem que antes se tenha debruçado empenhadamente e estudado os assuntos. Isto é muito importante para que se tome consciência da pertinência de uma crítica fundamentada e não lançada por puro espírito de contraditar e confrontar. Nesta medida é didacticamente interessante abordar a questão por este ângulo.

Sem fugir a este assunto (das posições críticas), referimos como uma outra escolha relativa às posições críticas, a de Chamberlin (1899). No entanto, este investigador propôs uma ideia para a formação da Terra, onde discordava do estado fundido inicial, tal como defendia Kelvin. Sendo crítico também em relação aos cálculos dos geólogos, por considerá-los de certa forma extravagantes, foi uma personagem que apresentou uma outra hipótese de formação do planeta que não passava obrigatoriamente pela fusão primordial do mesmo. Por isso, decidimos fazer esta referência na apropriação da didáctica por episódios relevantes da História da Ciência.

Por último, uma outra voz crítica que se ergueu nesta época de controvérsia, foi a de King (1893). Este opôs-se, de certa forma, aos cálculos de Lord Kelvin no que respeita aos gradientes de arrefecimento e também teceu críticas aos cálculos baseados na sedimentação, defendidos pelos geólogos. Ou seja, a crítica com fundamento torna-se uma crítica construtiva, pelo que didacticamente é relevante. No fundo, estamos a formar cidadãos que não podem, de forma alguma, alhear-se do conhecimento científico que lhes é propiciado no Ensino Secundário. Mas, só tomando contacto com a realidade do corpo de cientistas e a forma como se constroem e tecem as teorias, bem como o papel desempenhado pelos conflitos é que podemos ter estas aspirações. Por este motivo, estamos convictos de que as nossas opções têm um carácter intencionalmente didáctico e

que foram desenvolvidas e materializados da forma mais apropriada em materiais, que passamos a explicar e a apresentar no ponto seguinte.

Quadro IV-I- Elementos-síntese

OBJECTIVOS	ESTRATÉGIAS	ACTIVIDADES
Consciencializar os alunos da importância do tema Tempo Geológico	Colocar situações problemáticas	Lançar a questão aos alunos sobre o porquê de se estudar o Tempo Geológico
Ajuizar a imensidão do Tempo Geológico comparando com outros acontecimentos na Terra	Confronto com a imensidão do Tempo Geológico e os acontecimentos ocorridos na Terra ao longo do tempo	Exploração da caixa acrílica, dispendo a turma em semi-círculo, rodando a caixa. Fornecimento de um mapa semelhante ao da caixa a cada aluno no final da aula
Fomentar o interesse pela História da Ciência	Levantar as principais ideias do texto, no que se refere a antigas concepções acerca da Idade da Terra	Documento 1: leitura e diálogo sobre as antigas ideias sobre a antiguidade da Terra e especulações lançadas no século XVIII e XIX
Sensibilizar para a época em que se travaram as controvérsias sobre o tema em questão	Revelar algumas características sociais que, de certa forma, dificultavam a construção social da Ciência	Documento 2: reforço sobre entraves surgidos às novas ideias sobre a idade da Terra
Suscitar a curiosidade sobre os conflitos ocorridos na comunidade científica da altura sobre a temática em questão	Confronto de ideias entre Geólogos e Físicos sobre a Idade da Terra	Documento 3: Fichas que contêm elementos de defesa/oposição aos Geólogos e Físicos, com a intervenção dos alunos na ordenação das fichas (pode ser feito em placard ou em powerpoint)
Reflectir na importância das controvérsias na evolução das teorias científicas	Relevar algumas das dificuldades da construção social da Ciência e aceitação de novas ideias	Quadro-resumo das controvérsias entre as duas vertentes
Modificar a representação da Ciência	Intervenção do professor, acentuando o carácter das controvérsias na construção do conhecimento científico	Síntese dos conhecimentos adquiridos pelos alunos sobre a importância de compreender as controvérsias decorridas durante a emergência de uma teoria científica
Interiorizar o sentido dinâmico de Ciência e conceber o Cientista como uma pessoa que pode errar e discute opiniões com fundamentos	Dinâmica centrada nas aprendizagens dos alunos	Documento 4: Role-play entre dois grupos de alunos que protagonizam “o lado dos Geólogos” e “o lado dos Físicos”

Documento 1

TEMPO GEOLÓGICO

A estratégia planificada é concretizada com a ajuda do Documento 1 e prende-se com a necessidade de sensibilizar os alunos para a importância de conhecer antigas teorias explicativas de fenómenos naturais. Assim, tendo em vista dar uma visão geral das ideias que predominaram antes do século XVIII acerca da Idade da Terra, uma Ficha de Trabalho seguida de algumas questões parece-nos a melhor forma de abordar o problema.

Trata-se de uma estratégia que se serve da História da Ciência para que seja fomentado o interesse pela própria História da Ciência, a fim de introduzirmos a questão da controvérsia científica.

No que se refere à estratégia dentro da sala de aula, procede-se à utilização da Ficha de Trabalho individualmente. Após a resolução das questões na forma oral, estimula-se o diálogo entre turma numa perspectiva de sensibilizar os alunos para a pertinência de se conhecerem as antigas ideias sobre a idade do nosso planeta. Desta forma estaremos a esclarecer que as antigas respostas às questões da Natureza estavam perfeitamente enquadradas no contexto sócio-cultural da época. É como que uma introdução que facilita a estratégia seguinte e que intende revelar algumas características sociais que, de certa forma, dificultavam a construção social da Ciência.

→ A IDADE DA TERRA ATÉ FINAIS DO SÉCULO XVIII

Lê atentamente os textos que se seguem onde se ilustra a forma como se pensava a Idade da Terra até aos finais do século XVIII.

A noção da Idade da Terra permaneceu até ao século XVIII muito associada às escrituras Bíblicas tanto que o Arcebispo Irlandês **James Ussher**, em 1650, tentou calcular a data em que Deus criara a Terra, sugerindo o valor de 4004 anos (a.c.). Ele tinha-se cingido aos episódios retractados no livro do Génesis, fonte a partir da qual uma grande parte dos estudos eram levados a cabo.

Porém, com a abertura do mundo ocidental às ideias vindas do Oriente, que também focavam diferentes concepções, as mentes dos naturalistas não paravam de se

questionar sobre a idade do planeta, começando a realizar estudos que se revelaram proveitosos.

O **Conde de Buffon** (1707-1788) estabeleceu uma dimensão temporal para a Terra de cerca de 75 000 anos. Este valor sobejamente mais elevado do que os 6000 anos para um máximo aceite pelos letrados do Clero, iniciou uma nova etapa na história da Idade da Terra. Buffon considerou que a Terra no seu início se encontrava no estado de fusão. Posto isto, aqueceu esferas de ferro de vários diâmetros até quase ao ponto de fusão e extrapolou os valores obtidos para uma esfera da dimensão da Terra (Fig.IV-1).

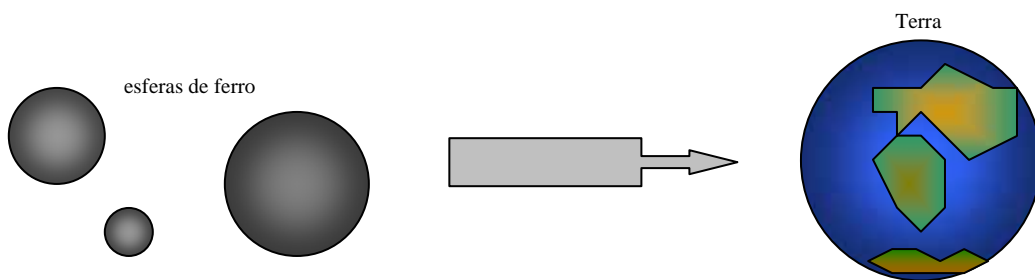


Fig.IV-1- Esquema da extrapolação feita por Conde de Buffon.

James Hutton (1726-1797), um ilustre homem da sua época, que havia estudado química e medicina, desempenhava uma actividade que muito lhe agradava: a agricultura. Foi precisamente por ter tomado contacto com a realidade física dos solos que se apercebeu que os mesmos são o resultado da desagregação das rochas. Mas estes processos demoram grandes períodos de tempo. Assim, o naturalista defendeu a ideia de que na Terra os processos que nela actuam são constantes e terão sido sempre iguais ao longo do tempo. Além do mais, o ciclo de erosão e deposição dos sedimentos incluía a elevação dos terrenos marinhos como forma de compensar o “desgaste” das rochas superficiais. Porém, pelo facto de não se visualizar em tempo de vida estes processos, Hutton foi levado a concluir que a Terra era infinitamente antiga. Um dos locais visitados por este naturalista em conjunto com Sir James Hall foi Siccar Point, um local onde os estratos sedimentares se apresentam em disposições perpendiculares (Fig.IV-2).

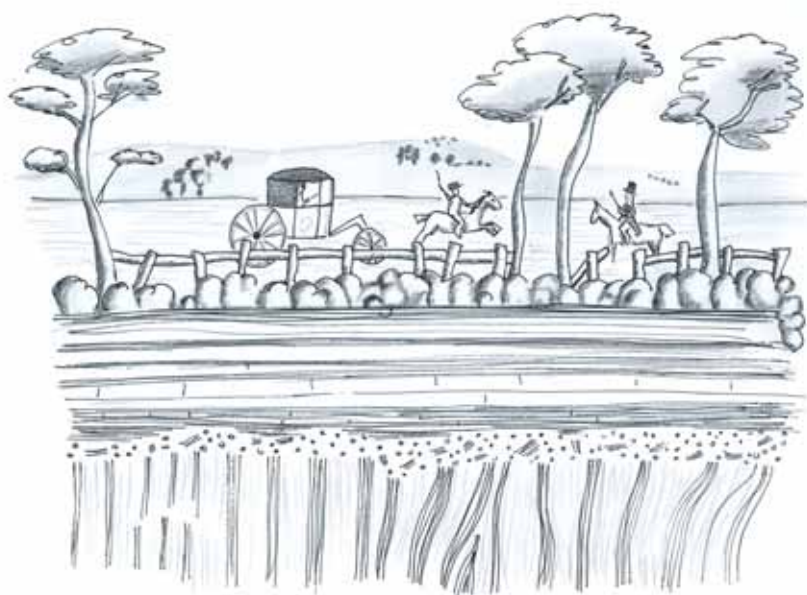


Fig. IV-2- Discordância de Siccar Point (adaptado de Gould, 1991).

As ideias de Hutton desagradaram a um dos principais defensores das concepções bíblicas, **Richard Kirwan** (1733-1812). Kirwan discordava da ideia de tempo indeterminado, para além de não compreender o ciclo de erosão proposto por Hutton. Além do mais, era muito mais fácil de perceber que a Terra tem uma idade que não excede os 6000 anos e que já sofreu inundações globais (Fig. IV-3) tal como descrito no livro do Génesis. As evidências de conchas no alto de montanhas vinham “comprovar” estas ideias.



Fig. IV-3- Figura ilustrativa do Dilúvio Universal.

William Smith (1769-1839) supervisionou os trabalhos de construção de canais no Sul de Inglaterra, apercebendo-se da sequência de estratos sedimentares e a sua relação com o seu conteúdo fóssil. Ao estudar mais sequências ao longo do país, concluiu que era possível estabelecer uma ligação entre os estratos, o seu conteúdo em fósseis e a dimensão temporal da Terra. O seu sobrinho **John Phillips**, pelo facto de ter tomado contacto com os estudos de seu tio, ganhou o gosto pelo assunto das sequências estratigráficas e prosseguiu as investigações, apresentando nas suas aulas na Universidade de Oxford a idade da Terra baseada na deposição das camadas de sedimentares nos mares e rios da actualidade. Foi o primeiro a usar a designação “Tempo Geológico”, em 1837.

1- Existe algum ponto de semelhança nas razões apresentadas entre os que defendiam uma Terra à semelhança da descrita nos livros Bíblicos e nas expostas por Hutton?

2- Porque razão Buffon, em semelhança com Hutton, defendeu que o calor interno da Terra deve ter desempenhado um importante papel na história da Terra?

3- De que forma Smith e Phillips vieram dar nova dinâmica à questão da Idade da Terra?

Documento 2

TEMPO GEOLÓGICO

O Objectivo deste documento é sensibilizar para a época em que se travaram as controvérsias sobre o tema em questão. Pela utilização de uma ficha de carácter informativo pensamos que estamos a fomentar as bases de um Ensino Por Pesquisa uma vez que se encontra intimamente ligada aos assuntos do quotidiano. Por esse motivo, a estratégia de revelar de forma simples e clara a maneira de pensar da época na qual se travaram controvérsias científicas, fulcrais para o Ensino da Geologia segundo a nossa perspectiva, permite uma organização metodológica do nosso trabalho.

Esta incidência social forte, permite que a problemática da controvérsia adquira um carácter quase físico e palpável para os alunos. Este exercício gera uma maior motivação para o centro do nosso estudo que é a controvérsia científica, apropriada pela didáctica.

A discussão inter-grupal que se seguirá à leitura dos documentos é como que uma pesquisa partilhada, fruto de reflexão, ajudando a transformar a informação em conhecimento base para as estratégias seguintes e que focam, com mais destaque, os conflitos gerados entre grupos de cientistas durante a emergência de um conceito que se revela de difícil compreensão.

—→ COMO SE PENSAVA NA SOCIEDADE DO SÉCULO XIX

“A Natureza pode ser conquistada desde que lhe descobramos o ponto fraco.”-
James Watt, 1765

O final do século XVIII ocidental foi protagonizado por revoluções que ocorreram quase em simultâneo. Por um lado, a Revolução Francesa e a Americana, por outro a Revolução Industrial que teve início na Grã-Bretanha. A possibilidade de usar máquinas a vapor que facilitavam a realização de determinadas tarefas e permitiam outras, modificou a forma de encarar não só a Ciência, como também a própria Sociedade.

À medida que as máquinas iam sofrendo alterações que as tornava mais complexas, implicava-se uma maior instrução para quem as manuseava. Nos finais do século XIX, a

Alemanha fomentou o ensino técnico enquanto que os Ingleses aplicavam a Ciência à indústria. O facto é que a industrialização abriu novos caminhos.

A Ciência passou a ser encarada como algo experimentalmente comprovável. Ou seja, realizavam-se experiências para quase tudo e, em boa verdade, houve um franco avanço da mesma.

Contudo, as novas perspectivas científicas vieram perturbar as crenças religiosas. As concepções temporais para o planeta vinham contra as ideias da formação da Terra em 6 dias, como afirmava a Bíblia, mas em milhões de anos. Porém, faltava descobrir em quantos milhões de anos. Foi essa dura batalha que se travou a partir dos meados do século XIX.

O facto de só se aceitarem como fidedignas as explicações baseadas em dados experimentais e experimentáveis tornava difícil o vingar de ideias fruto de reflexão. Os geólogos viam-se com a sua tarefa dificultada, pois naquela altura as suas conclusões implicavam raciocínio que não se podia provar experimentalmente nas rochas. A idade da Terra baseada em sequências de camadas sedimentares era difícil de compreender, por exemplo. Por outro lado, os fósseis de espécies que não existiam na actualidade só poderia ser explicado se esses tivessem pura e simplesmente desaparecido por alguma acção divina...ou por alguma forma de evolução das espécies. Esta ideia revelou-se muito controversa na época.

PORTUGAL

O nosso país a meio do século XVIII sofreu muito com os efeitos de um fenómeno natural. Referimo-nos ao terramoto de 1755 que destruiu não só Lisboa como também uma grande parte das nossas povoações costeiras, em especial a Sul do Tejo. O conhecimento científico da época não permitia ainda explicar o sucedido, de maneira que inúmeras vezes anunciaram o início dos fins dos tempos. As crenças religiosas dominaram os discursos sobre o grande sismo que abalou Portugal e o Norte de África. A busca para uma justificação passava pela Teologia, pela moralidade e também por fenómenos físicos, se

bem que o ambiente cultural que reinava apontava para um castigo divino. Por isso, as explicações mais arreigadas às questões físicas tronavam-se difíceis de aceitar.

No século XIX procurou-se criar instituições que poderiam constituir os alicerces de um empreendimento científico viável. Em 1837 criou-se a Escola Politécnica por Sá da Bandeira numa intenção de renovar o conhecimento científico não só do Exército mas também dos civis. Porém, esta revelou-se uma tarefa difícil de concretizar tal como se havia ambicionado pela falta de indivíduos de excelência que pudessem representar tais instituições.

Só em meados do século XIX é que se começou a regularizar a vida científica no nosso país e a partir da época de D. Carlos I (1863-1908) verificou-se um pequeno renascer da Ciência. É que D. Carlos I foi um cientista amador que contribuiu com actividades que deram um franco impulso à continuidade das Ciências.

Em 1876, os geólogos, Carlos Ribeiro e Nery Delgado publicaram o Mapa Geológico de Portugal. A Comissão Geológica formada nesta altura revelou-se de suma importância a nível científico e económico para o País, no que se refere à prospecção de jazidas minerais e de extracção de rochas ornamentais.

No que se refere à sociedade do tempo de D. Carlos I pode considerar-se algo inquieta, tanto que no ano 1908, o Rei foi assassinado, estando a Monarquia Portuguesa abalada, vingando nos anos seguintes a República.

Questões orais:

- Indica os entraves que se colocavam ao avanço da Ciência.

- Se vivesses naquela época e tivesses os conhecimentos típicos da maioria das pessoas, como julgas que seria a tua reacção perante as sugestões da Ciência?

Documento 3

TEMPO GEOLÓGICO

Nesta fase da prática lectiva entramos na questão controversa propriamente dita. Ou seja, é nosso objectivo suscitar a curiosidade sobre os conflitos ocorridos na comunidade científica da altura sobre a temática em questão. Por outro lado, a apresentação de textos originais (traduzidos) dos próprios intervenientes na dinâmica do conflito e da controvérsia é um factor que envolve cognitivamente e afectivamente os alunos. Como que se sentem uma parte da comunidade científica e a tarefa que lhes será proposta com esta estratégia é um culminar das nossas intenções.

Trata-se de uma estratégia a ser desenvolvida em grupo não superior a três elementos, pois acreditamos que o envolvimento dos alunos é mais intenso, gerando da mesma forma o ambiente ideal para o desenrolar de diálogos que não serão marcados pela mão do professor. É por esta qualidade que a construção do conhecimento científico será mais eficiente. Por um lado estão patentes as controvérsias e conflitos entre cientistas, por outro, os alunos é que determinam o fim da tarefa, estabelecendo diversas relações entre o conteúdo a aprender, a tecnologia e a sociedade. O movimento Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) domina as relações que se revelam complexas e interligadas.

A fim de tornarmos esta estratégia ainda mais motivadora, procedemos a ajustes de carácter material. Ou seja, a leitura das ideias dos cientistas que nos pareceram didacticamente relevantes na questão do Tempo Geológico, será feita em cartões e não numa ficha de trabalho usual. Com as ideias separadas em cada cartão, os alunos conseguirão proceder de forma mais simples a ajustes que lhes pareçam pertinentes. A tarefa que lhes é colocada é a de estabelecer quantos pontos de vista existem e quem toma a facção de quem. A vertente prática é estimulante e, por outro lado, garante que a aprendizagem seja mais eficaz, pela participação activa e pela reflexão e diálogo que exige.

No final da actividade grupal, parte-se para o diálogo entre a turma estabelecendo as relações de controvérsia entre os cientistas focados para esta temática. Para que seja mais facilmente visualizado pelo grupo turma, os cartões podem ser colados no quadro negro, ou mesmo num painel de cartolina, onde ficam clarificadas as vertentes sobre o assunto, bem como as relações estabelecidas entre os intervenientes.

→ CONTROVÉRSIAS SOBRE A QUESTÃO DO TEMPO GEOLÓGICO

Lê atentamente as fichas que a seguir se apresentam e tenta estabelecer as relações ocorridas no século XIX em torno deste assunto.

Sugestões de trabalho:

- Formar um grupo de trabalho com 3 elementos;
- Tenta averiguar quantos pontos de vista existem;
- Analisa a evolução levada ao longo das posições dos principais intervenientes no processo.

Charles Darwin- 1831

“Trouxe comigo o primeiro volume do livro *Princípios da Geologia* de Lyell, o qual estudei atentamente: este livro foi da maior importância para mim de várias formas. A primeira coisa que examinei mostrou-me claramente a maravilhosa superioridade com que Lyell trata a Geologia.”- *Darwin, 1831*, in: Lewis, 2000 (tradução)

Darwin publica em Novembro de **1859** a primeira edição do seu livro *Origem das Espécies*, onde afirma, referindo-se a um vale de Inglaterra: “A esta velocidade, a erosão do vale Weald deve ter demorado 306,662,400 anos; ou melhor 3 centenas de milhar de anos.”- *Darwin, 1859*, in: Lewis, 2000 (tradução)

Lord Kelvin- 1862

“Desde há 8 anos que tenho sido pressionado pela minha mente que os princípios essenciais da termodinâmica têm sido esquecidos pelos geólogos.”- *Kelvin, 1862*, in: Lewis, 2000 (tradução)

Nesta altura propôs a idade da Terra situada entre os 20 e os 40 milhões de anos.

Em **1895**, **Kelvin** afirma: “No entanto, a concordância de resultados entre as idades do Sol e da Terra fortalece certamente a causa da Física e atira a responsabilidade da prova para cima daqueles que se agarram ao tempo vagamente vasto, vindo da Geologia Sedimentar.”- *Kelvin, 1895* (tradução)

	Clarence King- 1893	
	Nesta altura King tentou considerar o estado físico do interior da Terra para a	
	determinação da sua idade.	
	“Dados que faltavam estão agora pela primeira vez disponíveis, e com eles é	
	proposto aplicar-se um novo critério ao gradiente de Lorde Kelvin e compará-lo	
	com outros casos de distribuição Terra-temperatura mais prováveis, que devem ter	
	o efeito de avançar o seu método de determinar a idade da Terra a uma ordem de	
	importância superior.”- *King, 1893 (tradução)*	
	“Todavia a idade fixada para o Sol por Helmholtz e Kelvin (15×10^6 ou 20×10^6	
	anos) foi como que um choque sobre o qual os geólogos nunca recuperaram. O	
	raciocínio da termodinâmica no qual a brevidade da vida do Sol é alcançada	
	mantém-se imperturbável, porém a influência do velho método uniformista é tão	
	poderosa em determinar a idade da crosta total estratificada que para muitos	
	geólogos parece mais simples rejeitar as conclusões da Física do que procurar a	
	fonte de erro nos próprios métodos muito vulneráveis.”- *King, 1893 (tradução)*	

|| **James Croll- 1875** ||

|| Procurou estabelecer uma relação de cálculo para a idade da Terra, considerando ||

|| o ritmo das glaciações sofridos pela Terra e a própria erosão, tentando ||

|| compreender a fonte do calor do Sol. ||

|| “(...) Os Geólogos não erram na forma em que concebem a extensão dos períodos ||

|| geológicos, mas no modo sobre o qual representam a dimensão desses períodos ||

|| em números. (...) Actualmente, as estimativas geológicas sobre o tempo não são ||

|| mais do que meras conjecturas.” (...) ||

|| “Mas felizmente há um método de averiguação com grande precisão, valor no ||

|| qual a erosão do globo é processada por factores aéreos. E é de certa forma ||

|| notável que este método tem sido usado pelos Geólogos há tanto tempo.”- *Croll,* ||

|| *1875 (tradução)* ||

|| “Se a época glacial fosse colocada num remoto período tal como 850 000 anos ||

|| atrás, seria muito provável, tal como Sir Charles Lyell concluiu, que o início do ||

|| período Câmbrico necessitava de ser colocado há 240 milhões de anos atrás. Mas ||

|| nós temos evidências de natureza física que provam a absoluta impossibilidade* ||

|| da existência desta ordem de coisas, centrada no nosso globo, a datar tão atrás ||

|| como 240 milhões de anos. Estes argumentos a que me refiro foram avançados ||

|| pelo professor Sir William Thomson (Lorde Kelvin) em variadas alturas.”- *Croll,* ||

|| *1868 (tradução)* ||

|| * explorar o significado desta afirmação ||

|| **John Perry- 1895** ||

|| Foi um colaborador directo de Lord Kelvin. ||

	“Mas as maiores autoridades em geologia e paleontologia estão satisfeitos com	
	evidências das suas ciências de uma maior idade do que cem milhões de anos	
	estabelecidos por Lorde Kelvin; e se eles têm razão, tem de haver algo de errado	
	nas condições de Lorde Kelvin.” (...)	

	“Não fiquei com a cópia da carta que mandei para o Prof. Tait (...). Nela expliquei	
	a minha dificuldade em levar Lorde Kelvin a reconsiderar a questão do calor	
	interno e pedi o seu conselho.” (...)	

	“O argumento do calor do Sol parece-me muito fraco. Até um geólogo sem	
	matemática pode ver que o tempo dado por Lorde Kelvin será aumentado se	
	assumirmos que no passado o Sol radiava energia a um valor menor que o	
	presente (...).”-Perry, 1895 (tradução)	

|| **John Joly- 1899** ||

	Concluiu que se passaram cerca de 90 milhões de anos desde que a água se	
	condensou no planeta. Para chegar a esta conclusão calculou o teor de sódio	
	presente no mar, extrapolando para a quantidade anual transportada dos rios para	
	o mar desse elemento.	

|| “(...) a desnudação da superfície terrestre por solução, desde a sua formação como ||
|| crosta terrestre sólida tem sido um fenómeno uniforme.” (...) ||

	“Estimando a quantidade de sódio dissolvido na água dos oceanos, e aquela que é	
	fornecida pelos rios, então conseguimos determinar a idade geológica da Terra.”-	
	adaptado de Joly, 1900	

|| Joly estimou cerca de $15\,627 \times 10^{12}$ toneladas de sódio, o que lhe permitiu atribuir ||
|| a idade entre os 80 e 90 milhões de anos para a Terra. (Joly, 1900) ||

	Em 1903, Joly afirmou que o Prof. Perry defende que o aumento da condutividade	
	para o interior da Terra implica que a idade da Terra seja superior ao apontado por	
	Lorde Kelvin. (Joly, 1903)	

|| **Charles D. Walcott- 1893**

|| Geólogo que tentou determinar a idade da terra usando a estratigrafia.

|| “(...) após cada tentativa que fiz e foi baseada em factos fiáveis da espessura,
|| extensão e características dos estratos, um resultado que não passa abaixo dos 25
|| 000 000 a 30 000 000 anos como um mínimo e 60 000 000 a 70 000 000 anos
|| como um máximo para o tempo pós-Arcaico.” (...)

|| “Em conclusão, o tempo geológico é longo mas não é de duração indefinida.”-

|| *Walcott. 1893 (tradução)*

|| **T. Chamberlin- 1899**

|| Chamberlin acredita numa Terra primitiva que não terá passado por um estado de
|| fusão total, tal como defendia Lorde Kelvin. Por isso, teceu-lhe algumas críticas.

|| “O que Lorde Kelvin enfoca é permeado com um ar de triunfo retrospectivo e um
|| tom de certeza profética. O anterior é fracamente comprovado do alcance que o
|| seu ataque se dirigia directamente à ala exagerada* da escola Uniformista das
|| décadas iniciais.” (...)

|| “(...) Lorde Kelvin sentir-se-ia livre para afirmar que a água agora na superfície da
|| Terra seria retida pelo controlo gravitacional se a Terra fosse aquecida de tal
|| forma que a substância rochosa fosse volatilizada? Que eu possa ser perdoado por
|| questionar se Lorde Kelvin não se terá juntado aos geólogos e negligenciado
|| algumas das considerações da Física que suportam pertinentemente o problema
|| nas mãos?”- *Chamberlin, 1899 (tradução)*

|| **Osmond Fisher- 1893** ||

|| Fisher criticou os argumentos usados por King tentando demonstrar que este havia ||
|| utilizado de forma menos correcta os dados por ele obtidos. ||

	“É impossível não admirar o engenhoso argumento pelo qual Mr. Clarence King	
	assume que o gradiente de temperatura tem de ser tal que, no mínimo entre as	
	primeiras centenas de milhas, não pode intersectar a curva que ele usa para	
	exprimir a fusibilidade das rochas ígneas sobre pressão correspondente à	
	profundidade.”- *Fisher, 1893 (tradução)*	

|| Fisher, referindo-se à teoria de Joly, critica-a em vários aspectos.

	“Neste importante estudo do Professor Joly foi aberta uma linha completamente	
	nova de investigação do tempo geológico. Ainda é muito cedo para pronunciar se	
	a sua estimativa numérica é fiável, até que o tenha sido um pouco antes do mundo	
	científico. O seu período entre os 80 e os 90 milhões de anos vai provavelmente	
	satisfazer os geólogos como sendo suficiente. Os destacados físicos, por outro	
	lado, estão dispostos a garantir-nos um período de tempo bem menor.”- *Fisher,*	
	1900 (tradução)	

|| **Mellard Reade- 1903** ||

|| Reade realizou estudos que envolveram cálculos de erosão química e mecânica ||
|| das rochas superficiais. Contudo, aceitava de forma equilibrada o Uniformismo. ||

	“A teoria do Uniformismo teve um grande valor trazendo a mente do homem para	
	um patamar mais baixo da região de imaginação pura, para a que é feita de factos.	
	Foi uma boa hipótese de trabalho, mas, tal como a maioria das generalizações,	
	tendia para um lado só. Representava quase exclusivamente um lado, o dos	
	fenómenos da história da Terra, para negligenciar o outro- o do desenvolvimento.	
	Não sou um daqueles que vê a doutrina do Uniformismo como um “fetish”, mas	
	como uma teoria que nos mantém na gama dos factos práticos.”- *Reade, 1903*	
	(tradução)	

Documento 4

TEMPO GEOLÓGICO

Este documento apresenta-se com o intuito de reforçar as informações que foram surgindo ao longo da prática lectiva, que se desenrolou numa perspectiva de Ensino Por Pesquisa. A panóplia de posições entre cientistas vai-se transformando em conhecimento que se cimenta com actividades práticas e criativas.

Assim, a participação pessoal e de carácter teatral é susceptível de ser muito eficaz, uma vez que não só os “actores” como o “público” sentem de forma mais intensa o conteúdo. O facto do Role-Play ter um carácter de discussão entre cientistas, confere-lhe um maior realismo, de tal forma que a controvérsia é apreendida com uma dinâmica própria e que, porventura, gera interesse. Este inserir dos alunos numa actividade que os envolva emocionalmente resulta num maior empenho e, por conseguinte, os objectivos serão alcançados de forma eficaz e perene.

A construção do Role-Play prendeu-se com escolhas criteriosas de factos temporais e de opinião verdadeiros, sendo tudo o resto fictício.

→ ROLE PLAY- GEÓLOGOS / FÍSICOS

A toda a turma será entregue o diálogo estabelecido entre Geólogos e Físicos sobre o Tempo Geológico. Trata-se de um diálogo fictício a ser interpretado por alunos voluntários.

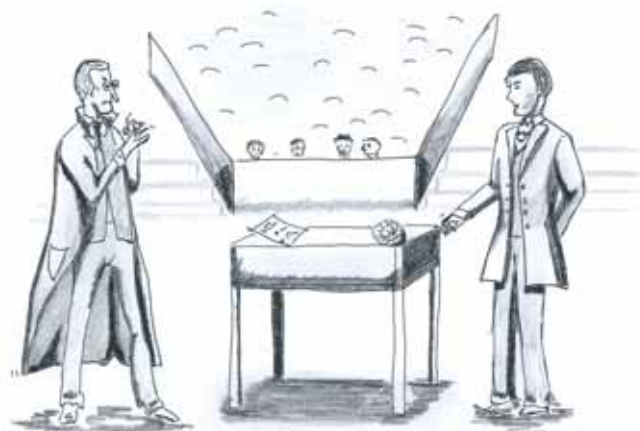


Fig.-IV-4 Debate entre físico e geólogo.

O diálogo ocorreu em Portugal no início do século XX, em 1902, após a descoberta da radioactividade.

Pedro Teixeira (PT)- Na qualidade de Presidente desta Academia, cabe-me a tarefa de dar início a esta sessão de esclarecimento da nossa comunidade científica sobre a idade do nosso planeta, ou melhor dizendo, sobre o Tempo Geológico pelos os senhores Professores Rodrigo Leão e António Luís Machado, da Universidade de Coimbra!

Dou então a palavra ao Professor Rodrigo Leão, um dos físicos mais conceituados desta Academia, passando depois para o Professor António Luís Machado o nosso geólogo mais eminente.

Rodrigo Leão (RL)- Sr. Presidente, agradeço-lhe as simpáticas palavras que me dirigiu e passo a apresentar a minha opinião sobre este assunto que não vai agradar, de certo, ao Dr. António Luís Machado.... (sorriso dirigido a António Machado)...

António Luís Machado (ALM)- Não se preocupe Dr. (sorriso retribuído). Pode ser que eu convença os seus colegas físicos com provas mais concretas.

(Gerou-se ruído na sala...)

RL- Sim, mas a Ciência não mente...

ALM- Não me diga que em seu entender a Geologia não é uma Ciência?

PT- Meus senhores, vamos dar a palavra ao senhor Professor Rodrigo Leão. E calma na sala!!

RL- Bom, como eu estava a dizer, todas as investigações científicas que têm sido feitas em especial nos últimos 50 anos levam à conclusão que a idade da Terra não excede as 4 dezenas de milhões de anos.

Os cálculos do arrefecimento do Sol e conseqüentemente da Terra desenvolvidos por Lorde Kelvin, essa grande sumidade do mundo da Física, não deixam margens para dúvidas.

Segundo Kelvin, o Sol formou-se como uma fonte de calor activa, que irradia energia há um determinado tempo, que é mensurável. A contracção da massa do Sol proporciona-lhe um tempo de vida mais longo do que a sua combustão simples, pois ao contrair aquece mais.

Por outro lado, a Terra no seu início encontrava-se totalmente fundida e foi arrefecendo posteriormente.

ALM- Dr.!! Dr.!! As rochas do nosso planeta não são todas de origem ígnea!! As mais antigas que conhecemos não o são! Como pode proferir uma afirmação dessas?? Que provas tem que aleguem um planeta mais quente no passado??

(ruído na sala)

PT- Professor Machado, deixe o Professor Leão prosseguir. Já lhe dou a palavra!

RL- Bem, as concepções da formação do Sistema Solar passam pela ideia também defendida por Chamberlin de que houve uma agregação de materiais que formaram o Sol e os restantes planetas, assumindo uma temperatura inicial bastante elevada!

Além do mais a Criação deste Universo é regida por leis que em parte foram estudadas por Lorde Kelvin e os seus mais directos colaboradores, como o Professor Perry...

ALM- Sim, mas Perry também questionou alguns aspectos defendidos por Kelvin!

RL- Esses pormenores foram já acertados dentro da sua equipa e a fluidez interna do planeta é nosso alvo de estudo neste momento!

PT- Professor Machado, tem a palavra!

ALM- Obrigado, Sr. Presidente e peço desculpa pelas intervenções fora do meu tempo de palavra, mas estes assuntos e algumas afirmações aqui proferidas deixam-me fora de mim!

PT- Pois sim, mas controle-se um pouco mais!

RL- O hábito de trabalhar no campo com o martelo na recolha de amostras não lhe trouxe benefícios a nível de relações pessoais! Nós nos laboratórios e rodeados de cálculos aos quais nem todos conseguem ascender, temos de ter um espírito reflexivo que nos confere esta calma que os presentes nesta sala vivenciam.

(ruído na sala)

ALM- Não me parece que os investigadores presentes nesta sala se deixem convencer por tão fracos argumentos. Mas, passemos ao mais importante, de facto.

Antes de mais, creio que todos os presentes já tomaram contacto com os argumentos de Charles Darwin sobre a evolução das espécies...

(alvoroço na sala)

RL- A ideia de que todos somos primos dos macacos!! Que ridículo! Desde quando a Criação permitia uma coisa dessas? Fomos feitos à imagem e semelhança de Deus!

PT- Silêncio na sala! Professor Leão dirija-lhe o mesmo conselho que ao Professor Machado! Calma!

ALM- Pois eu tenho consciência que só as mentes abertas e dispostas a reflectir, a actuar no terreno e a procurar factos, podem evoluir, contrariamente aos que estão enclausurados em salas de laboratório... (sorriso trocista)

Mas, sigamos o meu raciocínio. As rochas do Câmbrio são muito antigas e contêm vestígios de vida que hoje não encontramos. Para além do mais, as sequências de estratos rochosos ricos em vestígios de vidas passadas são bons indicadores de um tempo relativo para a Terra. Como a deposição dos sedimentos se processa de forma horizontal, somos levados a concluir que os que se encontram mais em baixo, são mais antigos.

RL- Então e as camadas que vemos na região de Peniche, no Baleal? Não estão na horizontal!! Umas estão na vertical, ou quase!

ALM- Esses casos mais anormais indicam que o planeta tem determinadas movimentações que elevam essas camadas na formação de montanhas!

RL- Sim, sim. Mas como?? Como, Dr.?

ALM- Então, se nuns locais há erosão, é natural que noutros ocorra o contrário, elevamentos! A Teoria Geosinclinal explica claramente isso!

Mas vou prosseguir com a questão que me trouxe até esta plateia. Para que a evolução, que está bem patente nas amostras de fósseis que recolhemos ao longo do nosso país e de países vizinhos se processe é minha convicção que pelo menos são necessários 350 milhões de anos para a história do planeta!

(ruído na sala)

Além do mais, de acordo com cálculos feitos por Walcott e corroborados por Reade para haver a deposição de 30 centímetros de sedimentos são necessários cerca de 4000 anos. Agora basta extrapolar esse valor para as camadas que o Dr. Leão referiu do Baleal.

RL- Quer dizer que a Terra pode chegar aos 500 milhões de anos?? Ridículo!! (risos)

ALM- Dr.! Então não nos temos de basear em factos e em cálculos, ditos científicos? Cá tem a prova! Não só a dos fósseis, bem como a das camadas de sedimentos que existem em grande quantidade no nosso planeta!

RL- Vai-me desculpar, Dr. Machado, mas toda a gente sabe que nem todos os rios transportam a mesma quantidade de sedimentos para o mar. O próprio Reade verificou isso, tanto que ele mesmo chegou a dizer que podia ser que Kelvin tivesse razão!

(ruído na sala)

PT- Muito bem, senhores Professores! Parece-me que ficamos com uma ideia clara das opiniões defendidas por Geólogos e Físicos nesta questão do Tempo Geológico! Contudo, devo salientar em primeira mão que recebi a minha habitual correspondência científica de

Inglaterra e devo informá-los que Ernest Rutherford e Frederick Soddy descobriram que os elementos radioactivos alteram-se noutros durante a emissão da radioactividade. Esta propriedade, aliás, já tinha sido detectada pelo francês Henri Becquerel em 1896, os famosos Raios X.

Bem, parece-me que tanto os investigadores da Física como os da Geologia ainda terão algumas surpresas no futuro, no que respeita a este assunto.

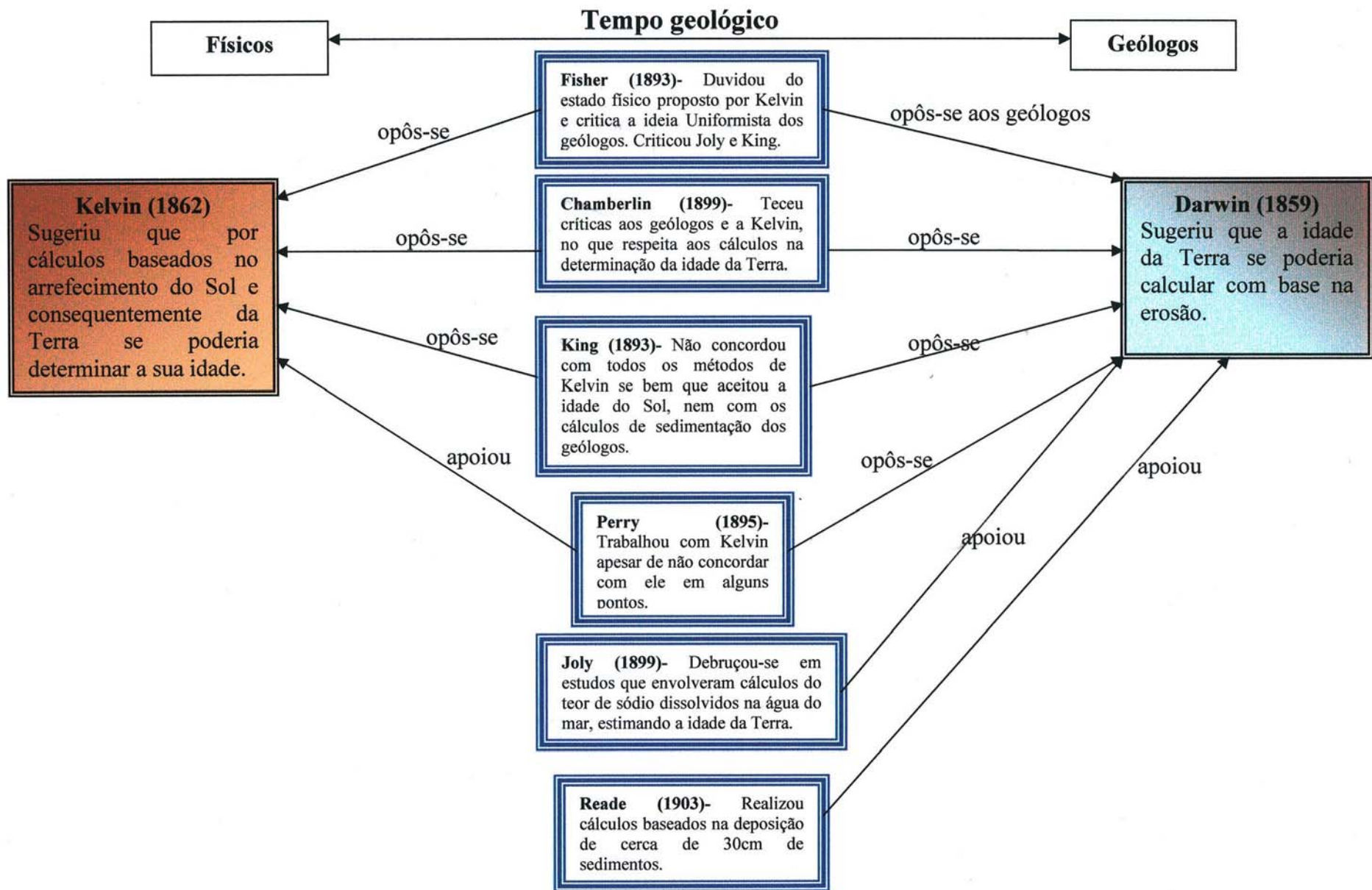
Por hoje é tudo, a próxima sessão tem lugar marcado no próximo dia 30 do corrente mês à mesma hora. Bom dia a todos!



A finalizar:

O facto é que se verificou, em 1903, que os minerais das rochas continham elementos radioactivos. O filho de Charles Darwin, George Darwin, um conceituado físico, foi um dos que iniciou críticas a Lorde Kelvin, partindo do novo conceito de que as rochas emitiam partículas e conseqüentemente alguma forma de energia, o que vinha contrariar as suas ideias. Em termos gerais, os físicos e os naturalistas tinham formas de raciocínio diferentes, daí os conflitos gerados em torno dos mesmos temas. Enquanto que os físicos centravam a sua actividade numa perspectiva dedutiva, ou seja, a partir de várias ideias individuais faziam emergir uma determinada teoria, os naturalistas centravam-se na indução. Isto é, a partir de um facto criavam uma teoria abrangente. Como será natural de concluir, nenhum dos métodos por si só é eficaz e correcto. Nas Ciências deve imperar um equilíbrio entre a indução e a dedução.

A partir de então seguiram-se diversos estudos que envolveram nomes como Arthur Holmes na determinação da idade absoluta da Terra, valor esse que até excedia o defendido pelos Geólogos. Actualmente é aceite o Tempo Geológico de cerca de 4500 milhões de anos.



Walcott (1893)- Efectuou cálculos baseados na deposição lenta dos estratos sedimentares.

Croll (1875)- Defendeu que pelas glaciações e a sua relação com a excentricidade da Terra, bem como pela erosão se pode determinar a idade

apoiou

apoiou

Descoberta da Radioactividade (1902). Os minerais e as rochas podiam fornecer o tempo de desintegração dos elementos iniciais noutros, estimando-se a idade da Terra em termos mais fiáveis. Os elevados valores estimados para o planeta aproximaram-se mais dos defendidos pelos geólogos.

1.2- DERIVA CONTINENTAL E TECTÓNICA DE PLACAS

A forte associação entre a temática da Deriva Continental e da Tectónica de Placas justifica a sua pertinência num estudo desta índole. É que tal como o tema anterior constitui uma base de conhecimento para quem estuda Geologia, também a Tectónica de Placas preenche tal requisito. Contudo, a emergência da Tectónica de Placas enquanto teoria, reveste-se de um percurso que passa pelas concepções mobilistas e fixistas da Terra. Ou seja, a Deriva Continental foi uma hipótese precursora de uma Revolução Científica que revelou, de facto, a natureza dinâmica da Ciência. A percepção de que, a partir de conceitos, algumas vezes nebulosamente formulados, vêm a nascer teorias complexas que regem uma grande parte dos estudos numa determinada área torna-se fundamental para que a construção do conhecimento científico dos alunos se desenvolva num sentido amplo e abrangente.

O Tempo Geológico ao apresentar-se como uma base sustentável do estudo da Geologia permite que a Teoria da Deriva Continental e, daí, a Tectónica de Placas apareça interligada pela determinação das idades dos fundos oceânicos. O desenvolvimento tecnológico que conduziu à determinação da idade absoluta de rochas ajudou à Revolução Científica que protagonizou a emergência do novo paradigma da Tectónica de Placas. Esta concepção domina actualmente os livros de estudo daí que seja um tema de grande interesse e actualidade no Ensino da Geologia. Porém, reveste-se de conceitos que se forem abordados sem uma prévia contextualização poderão dificultar a construção de conhecimento científico escolar e torná-lo em mais uma informação que se irá perder. Ora, é precisamente esse rumo que tentamos combater vivamente e ao utilizarmos episódios da História da Ciência estaremos a alargar os horizontes dos alunos, como também a estabelecer uma relação temporal e causal com a emergência das teorias actualmente vigentes. Esta nossa proposta de uma metodologia activa aparece concretizada na utilização de episódios de controvérsia científica, bem patentes na História da Ciência. De certa forma, ao transpor esses episódios para a Didáctica da Geologia estamos a seguir uma trajectória das ideias do próprio entendimento humano, ao longo dos tempos. A nossa tentativa de seguir o trajecto palmilhado pelos naturalistas/cientistas facilita, segundo pensamos, a consciencialização do que é a Ciência e como se constrói, bem com a complexidade e não linearidade da sua construção.

Por outro lado, outros assuntos que se interrelacionam, como as plumas mantélicas, surgem actualmente como um dos focos de novos estudos que poderão alterar as concepções que são aceites sobre o funcionamento do Planeta. Ainda dentro desta ideia, a concepção da estrutura da litosfera também se encontra em “revisão” ao serem assuntos relacionados com a Tectónica de Placas serão abordados para que os nossos propósitos sejam perseguidos.

Passemos então à nossa escolha de episódios relevantes na Ciência e que possam ser fonte de apropriação pela Didáctica da Geologia, foco do nosso estudo. Como já o fizemos para o Tempo Geológico, não vamos aprofundar o assunto na Fase de Especulação, muito embora não possa passar despercebido pelo seu poder heurístico e de enquadramento. Esta abordagem será o esqueleto que irá sustentar o resto do corpo científico que se pretende completo. Iremos, antes, incidir a nossa atenção na construção de materiais didácticos que estejam centrados na Fase de Competição entre Teorias Rivais (Kuhn, 1972). Por semelhança ao já feito anteriormente, pretendemos valorizar as controvérsias científicas que consideramos demonstrar algo sobre a natureza humana e o carácter eminentemente móvel e mutável da Ciência.

Já em meados do século XVIII diversos naturalistas haviam avançado com ideias sobre alguma forma de movimentação continental, porém, só nos inícios do século XX surgiu uma hipótese mais incisiva acerca da deslocação dos continentes. Wegener (1915) iniciou uma fase na Ciência em que as posições mobilistas se contrapuseram às dos fixistas, numa série de conflitos que se revelaram frutuoso no emergir de uma nova forma de pensar. Foi uma época que antecedeu a Revolução Científica da Teoria da Tectónica de Placas. As antigas formas de pensar também contemplavam a ideia de uma Terra em permanente contracção, à semelhança de uma maçã que vai perdendo a humidade natural e enrugando. Segundo os defensores desta ideia, esse processo seria responsável pela formação das cadeias montanhosas do planeta, permanecendo os continentes sempre nas mesmas posições.

Assim, seleccionamos como um dos principais oponentes às ideias mobilistas de Wegener, o conceituado geofísico Jeffreys. Os seus estudos nessa área permitiram-lhe criar forte oposição às ideias de mobilidade continental propostos pelo meteorologista alemão. Com a formação destas duas linhas opostas de pensamento, pensamos que nos será mais proveitoso em termos didácticos, clarificar conceitos que se criaram em torno destas ideias

centrais. Contudo, teremos o cuidado de não relativizar os conceitos de Ciência aquando da construção de materiais, isto é, teremos de, atentamente, clarificar conceitos e evitar a limitada visão unicamente a duas dimensões da Ciência e da sua evolução.

Dos apoiantes de Wegener e dos que o criticaram, seleccionamos aqueles que nos pareceram mais pertinentes a fim de que a construção dos materiais didácticos seja o reflexo real dos avanços e recuos havidos durante a controvérsia. Neste contexto, Barrell (1927) foi um dos intervenientes nesta trama de conflitos e opiniões que não se inibiu de apoiar a deslocação dos continentes, após a realização de alguns estudos que se revelaram importantes. Considerava, por exemplo, que por baixo da crosta se encontrava uma camada, que designou de astenosfera, e que facilitava a deslocação de grandes massas continentais. Esta posição consideramo-la de grande importância, uma vez que é introduzido um conceito (astenosfera) que na teoria da Tectónica de Placas desempenha um papel fundamental.

du Toit (1937) foi um forte defensor da Deriva dos Continentes, se bem que sugeriu alterações às iniciais ideias de Wegener no que se refere à existência de duas massas continentais iniciais e não apenas de uma. Contudo, defendia as movimentações desses continentes primitivos ao longo dos tempos, até às posições actuais. Explicou a separação dos continentes de uma forma que tentava superar a de Wegener. Foi, um geólogo de grande renome e pelo facto de ter sugerido algumas alterações à ideia inicial de Wegener é que consideramos oportuno citá-lo, aquando da transposição didáctica. Desta forma podemos dar aos alunos a noção de que, apesar de um cientista concordar com outro num determinado ponto, também o poderá tentar superar por inúmeras razões. E isso dá à Ciência um carácter verdadeiramente humano, vivo e dinâmico.

Dentro desta linha de pensamento, Gutenberg (1936) apesar de concordar com a mobilidade dos continentes desenvolveu um outro conceito diferente do de Wegener. A estrutura da crosta terrestre segundo Gutenberg levou-o a concluir que os continentes não se fragmentaram mas flutuaram. Esta postura parece-nos inovadora pelo que a decidimos incorporá-la aquando da apropriação pela Didáctica das Ciências. A posição que investigadores que se destacaram noutros temas, mas que não deixaram de tomar partido e de sugerir alterações a um assunto de grande polémica, parece-nos muito proveitoso para o fim que pretendemos atingir.

Outro interveniente da História da Ciência que consideramos pertinente incluir no nosso estudo foi Holmes (1928) que havia desempenhado importante papel na questão da determinação do Tempo Geológico com base nos isótopos radioactivos. Holmes concordava em termos gerais com as deslocações continentais, chegando mesmo a propor um mecanismo que poderia ser o causador das movimentações dos continentes- as correntes de convecção. Mas, a nível da Didáctica das Ciências e neste caso em concreto, vemos como fundamental a posição idónea que Holmes tomou num artigo que escreveu, questionando o porquê de tanta crítica a uma hipótese que não era de todo descabida. Uma posição destas pode-nos ajudar a conceptualizar uma postura de observador externo que não está imbuído directamente na trama de conflitos, o que lhe confere um poder superior de distanciamento crítico e consequentemente uma nova visão do problema.

Carey (1956) e a sua visão da expansão da Terra como causa da separação dos continentes também nos parece de incluir aquando da realização dos materiais, já que a ampla visão do problema fomenta a compreensão conceptual e consequentemente facilita a construção do conhecimento científico escolar. O contacto com realidades diferentes como é o caso da expansão da Terra, permite aos alunos referir por extrapolação eventuais pré-conceitos, que eles próprios ainda têm sobre a Terra.

Do outro lado encontram-se os opositores à ideia de mobilidade continental encabeçada por Jeffreys. Por sua vez, Coleman criticou os argumentos utilizados por Wegener de uma forma tão incisiva que o levou a aceitar como mais correcta e sensata a imutabilidade dos continentes. Tal como já referimos no tema anterior, vemos uma posição destas como indispensável para um estudo que se centre nas controvérsias científicas. A postura de alguém que se debruçou sobre a nova ideia e seus argumentos, mas que não foi capaz de aceitar como provável uma nova ideia e visão do mundo reflecte os entraves à aceitação da mudança. Desta forma, os alunos tomam consciência de que para apoiar, ou não, uma determinada ideia há a necessidade de a conhecer previamente e de a aprofundar, sobre os argumentos que se colocam a favor ou contra.

Seleccionamos ainda como opositores à hipótese da Deriva, um outro autor, Lake, em especial pela arrogância das suas palavras contra Wegener. Tal como outros que discordaram da ideia da mobilidade continental, também Lake (1922) considerou que os argumentos não eram conclusivos. Esta postura pouco aberta em relação à inovação revela-se fundamental para que fique a descoberto o carácter por vezes restrito dos que

directamente estão relacionados com o empreendimento científico. Mas, para que os alunos não fiquem com a ideia de que os conflitos ocorrem num curto período de tempo, também iremos considerar a postura de Simpson (1943) que já na década de 40 criticou Wegener e du Toit com grande veemência. Apesar de já se terem passado algumas décadas após a publicação original de Wegener, a problemática permanecia acesa e novas ideias surgiam a fim de contrariar a mobilidade continental. Simpson foi um dos que defendeu a existência de pontes continentais entre os diferentes continentes a fim de aniquilar os argumentos paleontológicos. Curiosamente, du Toit respondeu ao artigo no qual Simpson o criticara, o que também nos parece interessante incluir no contexto de sala de aula. Por fim, Willis (1944) é um interveniente que nos parece mais radical, pelo que nem sequer considerava aceitável pensar na Deriva Continental enquanto hipótese. Por esse motivo, decidimos inseri-lo na elaboração dos diversos materiais didácticos.

A articulação entre a Deriva Continental e a Tectónica de Placas estabelece-se através de uma série de investigações, em particular dos fundos oceânicos e suas idades. Podemos afirmar com certa convicção de que a Teoria da Tectónica de Placas formulada em 1969 por McKenzie e Morgan, constituiu *per se* uma Revolução Científica. Passou a encarar-se a Terra como um sistema interligado, onde a Teoria da Deriva dos Continentes constituiu-se como efectiva, só que a explicação e o mecanismo, nesta fase da investigação, já se apresentavam com mais dados, agora encarados como sinais de evidências. Mason, Dietz, Vine e Matthews ao conceberem um fundo oceânico jovem, patente na ideia de “alastramento dos fundos oceânicos”, fomentaram a base da teoria que se viria a formular nos finais da década de 60.

Feita a cuidada transposição didáctica desta etapa da construção da Teoria para a Didáctica da Geologia, podemos referir que a importância dos estudos realizados por estes investigadores é de salientar, não só pelo facto de se complementarem mas, para que fique também a ideia que muitas das teorias são construídas em vários locais e por diferentes pessoas. O conhecimento não se apresenta à comunidade científica como definitivo até que se reünam suficientes e validadas provas que possam permitir a construção de uma teoria. Neste caso em concreto, a problemática da emergência da nova teoria global, reveste-se de diversas e diversificadas investigações levadas a cabo por equipas constituídas por

elementos, por vezes, de mais do que uma área do conhecimento. É essa visão que pretendemos que os alunos construam ao abordar esta temática.

Contudo, apesar da Tectónica ser uma teoria com vários argumentos que a tornam digna de ser aceite, é nossa intenção referir pontos de fragilidade que constituem novos focos de investigação nesta área. Ou seja, ajudar a que os alunos pensem que se vive numa época muito activa no que se refere aos assuntos mais delicados da Tectónica de Placas. A propósito é importante destacar a posição de Jackson e Austrch que em 2004 questionaram a rigidez das placas litosféricas. Mas, apesar de apresentarmos uma ideia científica actual articulando-a com um propósito didáctico, não podemos descurar a posição que Hey, já em 1977, havia adoptado sobre a mesma questão. Desta forma, ser-nos-á mais fácil de fazer compreender aos alunos que muitas vezes as ideias e questões que se julgam inovadoras têm uma história que a tornam mais complexa e, conseqüentemente mais difusa e também. São, por isso, estas características que a tornam mais atractiva uma vez que é desafiadora para a sua compreensão.

Sem fugir ao assunto, a questão do funcionamento dos movimentos convectivos do material mantélico ainda é alvo de estudos e disputas entre cientistas que apresentam cálculos considerados, pelos seus críticos, como fiáveis apenas no papel. Estas posições de controvérsia aberta e de que ainda há muito campo para ser desbravado parece-nos de atender. É que ao seguir o trajecto recheado de conflitos, ataques e dúvidas à Deriva Continental, não faria sentido assumir a Tectónica como um dado adquirido sem mais discussão. Dessa forma estaríamos a provocar uma grande confusão nas concepções dos alunos. A coerência que seguimos é fundamental e, no fundo, não estamos a fugir à realidade, uma vez que estas dúvidas existem e as investigações prosseguem neste campo. Para materializarmos esta ideia, tomamos como exemplo as posições divergentes do grupo Stein e Hofmann e de White sobre os movimentos convectivos do manto.

Por fim, a questão das plumas também merece um breve destaque a fim de que os nossos objectivos sejam cumpridos. É que, nesta perspectiva, a dinâmica da Ciência constitui-se um corpo em constante mutação. Ou seja, e passando a justificar as nossas escolhas selectivas, a Tectónica de Placas está associada com a actividade das plumas mantélicas, segundo alguns autores. Na visão de outros, as plumas não passam de especulações porque não há provas concretas que consigam explicar a sua existência e o

seu modo de funcionamento. Para melhor conseguirmos passar a ideia de conflito seleccionamos Sleep e Foulger, de opiniões opostas e que se criticam mutuamente.

Cabe, por fim salientar que a dinâmica da Tectónica de Placas encontra-se, pensamos, numa “Fase de Especulação Reflexiva” e de novos estudos que, de certo, se vão tornar numa futura “Fase de Competição entre Teorias Rivais”, tal como sucedeu na Deriva Continental. Esta nossa percepção, parece-nos importante para que os alunos construam conceitos dinâmicos e não restritos a memorizações, inseridas num patamar não reflexivo que pretendemos combater.

QuadroIV-II- Elementos-síntese

OBJECTIVO	ESTRATÉGIA	ACTIVIDADE
Consciencializar os alunos da importância do tema da Deriva Continental	Colocação de situações problemáticas	Lançar a questão aos alunos sobre o porquê de se estudar a Deriva dos Continentes. Segue-se discussão, onde se salienta a sua relação com a Teoria da Tectónica de Placas
Ajuizar sobre a dinâmica da Terra e estabelecer relação com antigas concepções sobre o funcionamento da Terra	Levantar as principais ideias do texto	Documento 1: utilizar excertos do livro “Viagem ao centro da Terra” de Júlio Verne por forma a clarificar as concepções do século XIX sobre o funcionamento da Terra Documento 2: usar excertos de naturalistas do século XIX sobre a formação das montanhas, vulcões e sismos
Fomentar o interesse pela História da Ciência	Revelar algumas formas de concepção do interior da Terra no século XIX. Questionar como se constróem as teorias e qual o papel da observação	Imagem 1: esquema ilustrativo do interior da Terra
Suscitar a curiosidade sobre os conflitos ocorridos na comunidade científica da época sobre a temática em questão	Confronto de ideias entre mobilistas e fixistas	Documento 3: fichas de trabalho onde estão patentes as concepções dos dois principais grupos bem como dos seus respectivos apoiantes
Reflectir na importância das controvérsias na evolução das teorias científicas	Análise do contexto sócio-cultural dos inícios do século XX onde se relevam alguns	Documento 4: quadro-síntese das controvérsias analisadas Documento 5: cronograma dos conflitos

	dos entraves à construção social da Ciência e aceitação de novas ideias	travados no início do século XX
Ajuizar sobre conflitos que se estabelecem actualmente na comunidade científica sobre assuntos relacionados com o tema	Compreender o funcionamento do planeta segundo a Tectónica de Placas Confronto das ideias entre cientistas que actualmente entram em conflito	Exploração de um globo terrestre onde estão bem visíveis os limites das placas litosféricas Documento 6: Ficha de trabalho sobre os limites das placas tectónicas Exploração de imagem sobre a constituição do Interior da Terra onde se apontam os assuntos que ainda não estão muito estudados: plumas, convecção e a possível rigidez da litosfera
Prever o trajecto das investigações futuras sobre a temática	Exposição oral do professor acentuando, os pontos referidos anteriormente, que continuam a merecer a atenção da comunidade científica	Procurar um diálogo com os alunos no sentido de eles próprios concluírem ser necessário proceder a mais estudos sobre as questões referidas
Modificar a representação da Ciência	Utilização do quadro negro para esquematizar o trajecto seguido desde a Deriva até à actualidade da Tectónica	Procura de uma síntese de conhecimentos sobre o percurso da construção das teorias científicas
Interiorizar o sentido dinâmico de Ciência e conceber o Cientista como pessoa que discute opiniões	Participação dos alunos na consciencialização de que os cientistas também são pessoas	Trabalho em grupo no qual os alunos apresentam posteriormente um suposto diálogo ocorrido entre dois dos protagonistas envolvidos na emergência da hipótese da Deriva

Documento 1

DERIVA CONTINENTAL E TECTÓNICA

A actividade que passamos a clarificar segue-se a uma consciencialização de que o estudo da Deriva dos Continentes é fundamental para o estudo da Geologia, para além de ter implicações na actualmente aceite: Teoria da Tectónica de Placas.

Parece-nos ainda, que dessa forma será mais proveitosa a utilização da controvérsia científica que se encontra inserida num contexto social e tecnológico. É então, que se justifica a introdução ao tema utilizando livros científicos muito difundidos na época. Com efeito, o objectivo desta estratégia é o de ajuizar sobre a dinâmica da Terra e de estabelecer relação com antigas concepções acerca do funcionamento do planeta.

Os alunos, em pequenos grupos de três elementos, terão um papel activo na pesquisa das antigas ideias acerca da forma de entender o interior do nosso planeta. A possibilidade de diálogo permite uma reflexão crítica sobre as próprias maneiras de pensar. Dessa forma conseguem dar o salto qualitativo fundamental para que as estratégias seguintes prossigam da forma adequada e pretendida.

→ O FUNCIONAMENTO DA TERRA NO SÉCULO XIX- JÚLIO VERNE

Lê os excertos do livro de Júlio Verne intitulado “*Viagem ao centro da Terra*”, e centra-te as principais ideias de como se pensava ser o funcionamento do nosso planeta. Tenta extrair a parte ficcionada e centra-te nas bases científicas nas quais Júlio Verne se baseou para escrever a história.



Fig.IV-5- Viagem ao centro da Terra.

Excerto 1:

“De qualquer forma, o meu tio, e não será demasiado repeti-lo, era um verdadeiro sábio. Ainda que muitas vezes quebrasse as amostras por as manusear demasiado bruscamente, associava ao génio do geólogo o olho do mineralogista. Quando munido do martelo, do punção, da agulha magnética, do maçarico e do frasco de ácido nítrico, era um grande homem. Pela fractura, pelo aspecto, pela dureza, pela fusibilidade, pelo som, pelo sabor ou pelo cheiro, classificava um mineral qualquer entre as seiscentas espécies que a ciência hoje distingue.”

Excerto 2:

“- É que se nós tivéssemos avançado muito no interior da crusta terrestre, o calor seria muito maior.

- Segundo a tua teoria- respondeu o meu tio.- Quanto indica o termómetro?

- Apenas quinze graus, o que traduz um pequeno aumento de nove, desde que partimos.

- E o que concluis?

- A minha conclusão é a seguinte. Conforme observações o mais precisas possível, o aumento da temperatura no interior da Terra é de um grau por cem pés. Mas algumas condições locais podem alterar esse número. Assim, em Yakust, na Sibéria, verificou-se que o aumento do grau se produzia em cada trinta e seis pés. Esta diferença depende evidentemente da conductibilidade das rochas. Acrescentarei assim que, na proximidade de um vulcão extinto, e através do gnaisse, está provado que o aumento da temperatura é apenas um grau por cento e vinte e cinco pés. Podemos fazer os cálculos segundo esta última hipótese, que é a mais provável.

- Então calcula, rapaz.

- Nada mais fácil- disse eu pondo-me a fazer contas no bloco. Nove vezes cento e vinte e cinco pés, dá mil cento e vinte e cinco pés de profundidade.

- Exactíssimo.

- E então?

- E então que, segundo os meus cálculos, encontramos-nos a dois mil pés abaixo do nível da água do mar.

- Sim, ou os números mentem!

Os cálculos do professor estavam correctos. Tínhamos já ultrapassado em seis mil pés as maiores profundidades atingidas pelo homem, como as minas de Kitz-Bahl no Tirol e as do Vurtembergue na Boémia.

A temperatura, que deveria ser de oitenta e um graus naquele local, era apenas de quinze. Isto dava que pensar.”

Excerto 3:

“Esta espécie de caverna tinha uns cem pés de largura por cento e cinquenta de altura. O terreno tinha sido violentamente afastado por uma comoção subterrânea. O maciço terrestre, cedendo a poderoso impulso, deslocara-se, deixando aquele amplo vazio onde pela primeira vez entravam habitantes da Terra.

Toda a história do período do carvão estava escrita naquelas paredes escuras; um geólogo podia seguir facilmente as diversas fases. As camadas de carvão estavam separadas por compactos estratos de grés ou de argila, como que esmagados pelas camadas superiores.

Na idade do mundo que precedeu a época secundária, a Terra revestiu-se de imensa vegetação devido à dupla acção dum calor tropical e duma humidade persistente. O globo encontrava-se completamente envolvido por uma atmosfera de vapores que ainda lhe roubavam os raios de Sol.

Sendo assim, as altas temperaturas não provinham daquele foco. É possível mesmo que o Sol ainda não desempenhasse o papel de astro radioso. Ainda não existiam os “climas”, e um calor tórrido espalhava-se por toda a superfície do globo, sendo igual no equador e nos pólos. Donde provinha? Do interior da Terra.”

Excerto 4:

“Quando no princípio do mundo a Terra foi arrefecendo pouco a pouco, a diminuição de volume produziu na crusta deslocações, rupturas, contracções, fendas. O corredor por onde íamos passando era uma fractura desse género, por onde outrora saíra o granito eruptivo. As suas mil curvas formavam um inextricável labirinto através do solo primitivo.

À medida que descíamos a sucessão de camadas que compunham esse terreno apareciam com mais nitidez. A ciência geológica considera este terreno primitivo como a

base da crusta mineral, e reconhece que se compõem de três camadas diferentes- os xistos, os gneisses, os micaxistos- assentes sobre a rocha firme que se chama granito.

Nunca nenhum mineralogista se tinha encontrado em circunstâncias tão ideais para estudar a natureza. O que a sonda, máquina ininteligente e brutal, não podia trazer à superfície da Terra da sua textura interior, íamos nós estudar com os olhos, tocar com as mãos.”

Documento 2

DERIVA CONTINENTAL E TECTÓNICA

O Documento 2 deste tema difere do Documento anterior na utilização de excertos traduzidos por nós de textos escritos por naturalistas de grande importância na época em que a questão da formação de montanhas, sismos e vulcões imperava. Na verdade, a emergência da Deriva dos Continentes começou com a questão das montanhas e a sua formação. Por esse motivo consideramos necessário proceder a uma breve abordagem da questão, utilizando-a de uma forma quase que introdutória, para que passem a constituir os verdadeiros alicerces do conhecimento científico. Esta é uma das suas finalidades enquanto estratégia didáctica.

Da mesma forma que se formaram pequenos grupos na actividade anterior, também nesta se procederá da mesma forma. Pensamos que a dinâmica de pequeno grupo nesta fase, revela-se francamente positiva e que permite um emergir mais dinâmico das ideias contidas nos excertos de textos originais. Por outro lado, o facto de se depararem com as próprias palavras dos investigadores estimula, como que, o respeito pelos materiais com que se deparam.

→ FORMAÇÃO DE MONTANHAS- COMO SE PENSAVA NO SÉCULO XIX

No século XIX aqueles que se questionavam sobre o funcionamento do mundo natural procuravam respostas para uma vasta gama de fenómenos naturais, tal como os seus antepassados. Lê com atenção as seguintes traduções de excertos de textos de alguns naturalistas que marcaram a História da Ciência com as suas concepções.

|| **James Dana- 1873** ||

	“Para obter uma ideia adequada na qual a pressão lateral trabalhou, é necessário	
	lembrar que a elevação montanhosa teve lugar após imensos períodos de tranquilas	
	e suaves oscilações. (...)	

	Assim a *pressão lateral* resultante da contracção da Terra requeria uma era de	
	tempo excessivamente longa para que fosse acumulada força suficiente para	
	produzir um levantamento geral e deslocamento dos leitos, e recomeçar uma nova	
	cadeia montanhosa com elevações proeminentes na crosta terrestre.”- Dana, 1873 (tradução)	

Eduard Suess- 1875

“A força que actuou para produzir os resultados, que vemos hoje deve ter sido *horizontal*, sendo abundantemente provado nas pesquisas de todos os factos. O esforço desta força horizontal foi essencialmente influenciada pela resistência de quatro fontes diferentes: 1, da presença de massas externas de rochas mais antigas; 2, das próprias massas dobradas; 3, da introdução ocasional de rochas vulcânicas mais antigas, como o granito e pórfiro, nas massas que se deslocam; 4, finalmente, parece que uma massa montanhosa por si só, como Adamello ou pórfiro-vermelho, perto da região de Botzen, exerceu uma influência essencial no desenvolvimento da região montanhosa circundante.”- *Suess, 1875 (tradução)*

John Phillips- 1864

“Agora, estes resultados são tais como os que surgiriam se tivessem estado debaixo de todos os estratos quebrados pela pressão geral, como um vapor ou líquido em expansão, produzindo uma tensão em todo o distrito, que é ocupado por um dos sistemas de falha. A ideia geral da pressão interna, para a qual somos conduzidos, é fortalecida pela referência a outra forma de deslocamento dos estratos, a dos eixos dos *anticlinais*, um fenómeno observável em quase todas as cadeias montanhosas (...).” *Phillips, 1864 (tradução)*

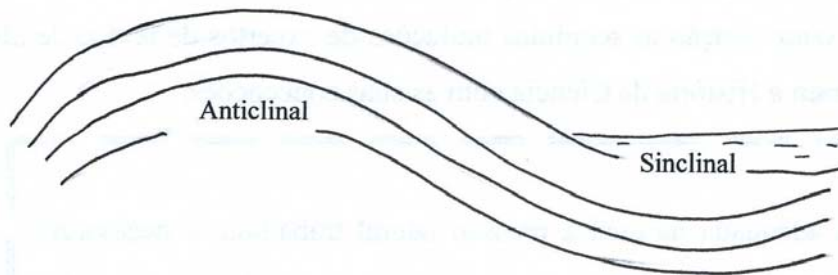


Fig. IV-6- Imagem de anticlinal e sinclinal (adaptado de Phillips, 1864).

John Pratt- 1845

Realizou estudos nos Himalaias entre 1820 e 1850, tendo detectado um desvio do fio de prumo, que habitualmente aponta para o centro da gravidade da Terra. Mas naquele caso desviou-se devido à presença de grandes massas de atracção, apesar de no caso dos Himalaias o desvio ter sido pequeno para o esperado. Este facto suscitou a curiosidade de George Airy, astrónomo real da Grã-Bretanha.

Para Pratt as rochas das montanhas são menos densas do que o resto da crosta, daí a diferença que lhe deu o resultado nos Himalaias. Para Airy, as rochas das montanhas têm a mesma densidade das outras rochas, mas apresentam como que raízes em profundidade, estabelecendo-se uma espécie de equilíbrio, designado de equilíbrio isostático (termo surgido em 1892 por Clarence Dutton).

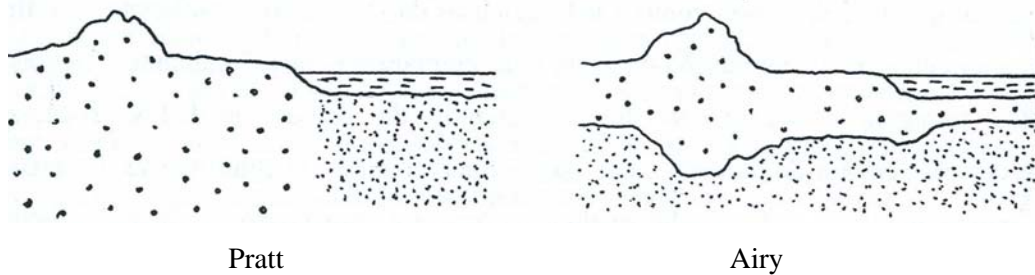


Fig. IV-7- Esquemas de equilíbrio isostático por Pratt e Airy (adaptado de Wegener, tradução de 1966).

Documento 3

DERIVA CONTINENTAL E TECTÓNICA

Neste documento entra-se na questão das controvérsias científicas propriamente ditas. Como é natural, a profundidade com que a questão é tratada não pode ser muita pois deparamo-nos com alunos do Ensino Secundário e que estão a iniciar a área opcional propriamente dita. Daí que, a informação contida nos documentos deva ser precisa e de preferência incisiva nas ideias dos diversos intervenientes.

Num ensino onde se preferem metodologias activas, de participação e de empenhamento parece-nos que esta estratégia se coaduna em perfeição com tais aceções. Os alunos também poderão continuar em trabalho de pequeno grupo de 3 elementos que, como já o referimos anteriormente, facilita a reflexão e a partilha de ideias e raciocínios. Neste enquadramento, os alunos conhecem à partida quais são os dois pólos opostos das ideias em questão, Wegener, como o lado defensor da Deriva dos Continentes e Jeffreys, enquanto defensor da contracção da Terra e da Permanência dos Continentes. Depois dos alunos tomarem conhecimento dos argumentos de ambos os lados, segue-se a apresentação, em forma de cartão, dos outros intervenientes na controvérsia. É então que nos parece que será dado o salto qualitativo para a compreensão da dinâmica ocorrida durante a emergência de um paradigma que após muitas lutas passou a imperar.

A nível de prática, os alunos estabelecem duas colunas distintas onde colocam os defensores de cada grupo no local devido, de modo que se possam compreender visualmente as disputas travadas em torno deste assunto.

→ CONTROVÉRSIAS ENTRE FIXISTAS E MOBILISTAS

Analisa as posições dos principais dois intervenientes na dinâmica conflitual sobre a movimentação dos continentes.

Harold Jeffreys e Alfred Wegener foram os dois intervenientes que constituíram os pólos opostos nesta trama de controvérsia. Apresentamos os seus principais argumentos e posições face ao problema em questão. Além disso, revelamos os nomes de outros intervenientes no assunto sem, contudo, revelar a sua posição em relação a Jeffreys e/ou

Wegener. Essa tarefa será realizada por ti e o teu grupo após a leitura de um sumário das conclusões dos seus estudos.

Harold Jeffreys-1970

Foi um grande pioneiro da matemática geofísica e um dos críticos mais importantes da Hipótese da Deriva Continental proposta por Wegener. Estudou na Universidade de Cambridge, onde mais tarde leccionou Astronomia.

Realizou importantes estudos na área do arrefecimento da Terra e as tensões formadas na crosta terrestre. Era defensor da *contração da Terra* pelo seu progressivo arrefecimento, sendo as montanhas resultado do ajuste da crosta ao seu interior arrefecido e de menor volume.

“Foi visto (...) que diferentes partes do interior têm arrefecido desde a solidificação por diferentes valores. No arrefecimento podem ter contraído o seu volume em variadas médias, e desta forma estabelecido um estado de tensão. (...)

O comportamento sob a tensão produzida dependerá da distribuição da força. Se for baixa, será um fluxo praticamente contínuo e as condições serão próximas das hidrostáticas. Se a força é considerável, a tensão subirá até que encontre a resistência, e aí haverá factura, que será reconhecida como um sismo. (...)Em qualquer um dos casos o resultado final será muito semelhante; a tensão hidrostática será mantida em todo o lado por entre os limites indicados pela resistência, e em particular deve haver fracturas na superfície de extensão suficiente para permitir à superfície a sua adaptação ao interior contraído.”-

Jeffreys, 1970 (tradução)

Alfred Wegener- 1929

Estudou astronomia e ciências naturais, concluiu o seu doutoramento em astronomia a 1904. Exerceu a profissão professor de meteorologia e geofísica no início da sua carreira. Desde muito novo explorou a Gronelândia, local onde viria a morrer com 50 anos de idade numa das suas pesquisas de campo.

Em 1912 apresentou a sua hipótese da Deriva Continental em Frankfurt., editando o primeiro livro sobre o assunto em 1915.

“Também descobri ideias muito similares às minhas num trabalho de F.B. Taylor que apareceu em 1910. Nesse trabalho, ele assume deslocções horizontais dos continentes individuais durante os tempos do Terciário, e ligou-os aos vastos sistemas Terciários de dobras. (...) Taylor tentou encontrar um princípio formativo para a disposição das cadeias de montanhas e acreditava que isso poderia ser explicado por uma deriva das terras a partir dos pólos.”

“A suposição óbvia e básica comum às duas teorias, das pontes continentais e do permanentismo -em que a posição relativa dos continentes nunca mudou, ignora a cobertura variável de água pouco profunda- tem de estar errada. A América do Sul tem de ter estado ao lado de África e formado um bloco único que se dividiu em dois no Cretácico (...). Os limites dos blocos são ainda hoje muito congruentes. (...) Da mesma forma, a América do Norte em alguma altura esteve junto da Europa e formou um bloco coerente com a Gronelândia (...).”- *Wegener, 1966* (tradução da 4ª edição (1929))

Wegener argumentou a sua teoria em várias frentes com dados:

-geodésicos; -geofísicos; -geológicos; -paleontológicos e biológicos; -paleoclimáticos

Nomes dos investigadores que tomaram posições face à nova Hipótese de Wegener: Barrell; Lake; Coleman; Holmes; Gutenberg; Alexander du Toit; Simpson; Willis; Carey

Lê com atenção excertos e resumos das posições dos cientistas que participaram activamente na dinâmica da Deriva dos Continentes e sua aceitação, se bem que apoiada por novos dados.

Joseph Barrell- 1927

Realizou estudos sobre a estrutura da crosta terrestre. Introduziu o conceito de astenosfera.

“A crosta exterior da Terra, granítica na sua parte superior e de alguma forma mais básica em profundidade, é segura por ter uma espessura de mais de 50 a 70 milhas. É muito forte, e é marcada por amplas variações de densidade que chegam aos 5 por cento, e por mais variações locais que chegam aos 10 por cento, correspondendo estas diferenças a um amplo relevo da superfície da Terra. Debaixo desta está uma camada espessa, quente, básica, rígida e fraca, a astenosfera, ou esfera de fraqueza. O problema da origem das bacias oceânicas e das plataformas continentais resolve-se por si, conseqüentemente, pela origem nas diferenças de densidade na litosfera e pela manutenção da condição quente e fraca da astenosfera.”

“A fragmentação em larga escala, se alguma vez ocorreu, deve ser antecedente ao desenvolvimento dos actuais sistemas montanhosos.”- *Barrell, 1927 (tradução)*

Philip Lake- 1922

Estudou a hipótese de Wegener e concluiu que:

“Com a liberdade que lhe foi atribuída por si próprio, Wegener acha que algumas das massas (continentais) encaixam umas nas outras perfeitamente; mas ele não ficou satisfeito. Ele considera que as configurações devem ter existido antes dos grandes movimentos da era Terciária, e avança em esticar as dobras dos Alpes, dos Himalaias, e outras cadeias montanhosas modernas.”

“Em conclusão, pode-se dizer que Wegener desempenhou um importante papel na chamada de atenção para o facto das massas de terra poderem ter-se deslocado umas em relação às outras. Ele não provou que elas se moveram de facto, e muito menos mostrou que se deslocaram do modo como ele imaginou. Ele sugeriu muito, mas não provou nada.”- *Lake, 1922 (tradução)*

A. Coleman- 1933

Analisou a nova hipótese de Wegener, apesar de pertencer à ala mais conservadora.

“Para atingir a sua posição actual, a Índia tem de se ter deslocado milhares de milhas para norte, atravessando o equador (...). Que forças poderemos considerar como eficazes para deslocar um subcontinente ao longo do equador?

(...) parece ao escritor (Coleman) que são apenas especulações e não teorias bem estabelecidas; e as antigas concepções de que os continentes se formaram e permaneceram num determinado local onde foram colocados parece a concepção mais razoável.”- *Coleman, 1933 (tradução)*

Arthur Holmes- 1928

Holmes desenvolveu importantes estudos na determinação da idade absoluta da Terra, mas emitiu o seu parecer sobre a hipótese de Wegener. Além disso, estudou com particular relevo o interior da Terra, nomeadamente a condição da viscosidade da astenosfera.

“Movendo as regiões continentais para onde as evidências sugerem, a reconstrução Permo-Carbonífera é similar à propostas pelos diagramas de Wegener (...). Conclui-se que há evidências concretas que apontam para a ocorrência de uma deriva continental numa escala da mesma ordem defendida por Wegener.”

“Admitindo que os continentes se deslocaram, parece que não há escapatória para a dedução de que correntes ascendentes, lentas, mas muito poderosas foram geradas no mundo inferior a variadas alturas da história da Terra.”- *Holmes, 1928 (tradução)*

Beno Gutenberg- 1936

Foi um dos nomes importantes no estudo da estrutura interna da Terra, realizando diversos estudos ligados à sismologia.

“(…) sem afectar as suas (Hipótese de Deriva Continental de Wegener) vantagens, o autor (Gutenberg), em 1927, sugeriu uma modificação do conceito, de que os continentes não se quebraram, mas flutuaram afastando-se, e que a conexão sílica entre eles continua a existir no fundo dos oceanos Atlântico e Índico.

Algumas das diferenças básicas entre a teoria de Wegener e a nova teoria “*Fliesstheorie*” do escritor são aqui discutidas. (...)

A hipótese de Wegener tem sido frequentemente chamada de “Teoria da Deriva Continental”. Em contraste, o autor determinou os termos do seu conceito como “*Fliesstheorie*”, ou “Teoria do Fluxo Continental.”- *Gutenberg, 1936 (tradução)*

Alexander du Toit- 1937

Geólogo sul africano de grande importância, tendo realizado diversos estudos de cartografia geológica dos continentes que formaram o continente Gondwana, apresentado um vasto leque de argumentos.

“Enquanto que o comportamento de ambas as massas de terra Laurásia e Gondwana tem sido maravilhosamente similar ao longo da história geológica, deveria ser particularmente notado que as suas respostas têm sido frequentemente deixadas fora da questão, tendo a Gondwana usualmente deixado durante o meio do Paleozóico e a Laurásia, durante o final do Paleozóico e início do Mesozóico.

Esta concepção de uma dupla massa continental primitiva é o resultado lógico da hipótese de Taylor e também a de Argand e Staub, e diferem radicalmente da única massa de terra, Pangea, desenhada por Wegener.”- *du Toit, 1937 (tradução)*

George Simpson- 1943

Analisou as ideias de Wegener e de du Toit, demonstrando a sua antipatia relativamente às inovações desse cariz com argumentos bem articulados. Na época existiam 3 hipóteses explicativas sobre a natureza dos continentes: fragmentos crustais que se foram deslocando; segmentos continentais e oceânicos alteram-se; continentes nunca se movem.

“Os amplos limites da distribuição dos mamíferos no passado e no presente nos continentes do norte e do sul são examinados separadamente, até onde é possível a escolha entre as três hipóteses básicas. (...) As evidências opõem-se definitivamente às hipóteses de deriva e alteração entre continentes e oceanos, favorecendo a hipótese da estabilidade continental.”- *Simpson, 1943 (tradução)*

Bailey Willis- 1944

Analisou o que outros autores haviam escrito sobre a Deriva Continental, e a sua conclusão não podia ser mais esclarecedora.

“Confesso que a minha razão se recusa a considerar a “deriva continental” possível. Esta posição não foi tomada num impulso. Trata-se de uma posição estabelecida ao longo de 20 anos de estudo do problema das ligações continentais apresentadas por Wegener, Taylor, Schuchert, du Toit e outros (...).

Qualquer engenheiro, confrontado com a tarefa de mover um continente, irá perguntar com que força será possível? (...)

Assim, a teoria da deriva continental é um conto de fadas, ein Marchen.”- *Willis, 1944 (tradução)*

Samuel Carey- 1956

Defende que os continentes se afastaram uns dos outros por expansão da Terra. Ou seja, segundo o autor o raio geral da Terra aumentou ao longo do tempo geológico. Os argumentos usados em defesa da sua hipótese são muitos e com fundamentos dignos de merecerem a atenção dos mais incrédulos.

“Então qual é a evidência para a expansão? (...) Fósseis e dados paleomagnéticos do Triássico (200-245 milhões de anos atrás) e do Cretácico (66-144 milhões de anos atrás) todos produzem independentemente o mesmo paradoxo: os continentes convergiram no Ártico desde cada um daquelas períodos, mas em graus progressivamente menores para cada período sucessivo. Cada dado prova que a expansão ocorreu progressivamente.” *Carrey, 1956 (traduzido e adaptado)*

Documento 4

DERIVA CONTINENTAL E TECTÓNICA

Este documento sintetizador, explicita de uma maneira visualmente agradável e perceptível a dinâmica das Controvérsias geradas em volta da questão da emergência do paradigma da Deriva Continental.

O facto de se apresentar esta síntese num painel, que em tudo lembra a tarefa realizada pelos alunos com o Documento 3, permite a estruturação do conhecimento dos alunos (ver no final da apresentação dos documentos referentes ao presente tema).

Documento 5

DERIVA CONTINENTAL E TECTÓNICA

Nesta fase, a estratégia pretende que se analise o contexto sócio-cultural da época na qual se travaram os conflitos científicos de tal modo que se compreenda o porquê de determinado tipo de entraves que se verificaram. Esta tomada de consciência permite que os objectivos por nós estipulados sejam prontamente atingidos. Desde logo importa que os alunos reflectam sobre o anteriormente compreendido e, ao analisar este Documento 5, estarão num nível epistemológico tal que poderão dar resposta às questões que o professor ou outros colegas de turma coloquem.

A dinâmica de turma nesta fase será fundamental, pois gerar-se-á um diálogo enriquecedor e que corrobora com as pretensões do Ensino Por Pesquisa. Esta apresentação cronológica será feita em forma de painel visível por toda a turma, para além de cada um ter o seu cronograma em formato A4.

→ CRONOGRAMA DAS GUERRAS DOS INÍCIOS DO SÉCULO XX

Ao analisar o contexto sócio-cultural das primeiras dezenas de anos do século XX, pode-se compreender melhor de que forma houve abrandamento no evoluir do conceito em questão.

- 1909- André Mohorovici localizou uma descontinuidade na crosta terrestre aos 30km de profundidade, constituindo a mesma a base da crosta
- 1912- Wegener expõe a sua ideia da Deriva dos Continentes
- 1914- *Início da 1ª Grande Guerra Mundial: Alemanha declara guerra à Rússia; Inglaterra declara guerra à Alemanha; França alia-se à Inglaterra*
- 1914- Gutenberg detectou outra descontinuidade no interior da Terra à profundidade de 2900km, que separa o manto do núcleo
- 1915- Wegener publica o livro “Origem dos continentes e dos oceanos”
- 1916- *Foi utilizado pela primeira vez o tanque de guerra*

- 1917- Partem para a França as primeiras tropas Portuguesas; EUA entram na guerra contra a Alemanha
- 1918- Em Novembro dá-se o cessar-fogo na frente ocidental- Fim da 1ª Grande Guerra
- 1922-1926- Reuniões sobre a Deriva dos Continentes, onde a hipótese de Wegener é posta de lado
- 1923- Charles Schuchert propõe a existência de pontes continentais para explicar a existência de fósseis similares em continentes muito afastados
- 1926- Harold Jeffreys e V. Conrad (em 1923) descobriram que a crosta terrestre está dividida em duas partes de diferentes composições. A parte superior de composição granítica (sial) e a parte inferior de composição basáltica (sima) que se estende pelos fundos oceânicos
- 1927- Barrell define o conceito de astenosfera
- 1928- Holmes sugere que o mecanismo da Deriva passa por correntes de convecção do manto
- 1930- Morte de Wegener
- Anos 30- Félix Vening Meinesz realizou estudos gravimétricos no Oceano Pacífico, detectando grandes anomalias nas zonas que posteriormente vieram a ser designadas por Fossas Oceânicas
- 1933- Adolfo Hitler é nomeado chanceler da Alemanha instalando-se a ditadura; a Alemanha retira-se da Sociedade das Nações
- 1936- Guerra Civil em Espanha
- 1939- Início da 2ª Grande Guerra - a Alemanha invade a Polónia; a Rússia invade a região leste da Polónia; a Rússia ataca a Finlândia
- 1940- A Alemanha ataca a Noruega e a Dinamarca, invade a Bélgica, a Holanda e o Luxemburgo; Itália declara guerra à Inglaterra e à França
- 1941- A Alemanha invade a Rússia; os Japoneses atacam Pearl Harbour e lançam-se à conquista das Filipinas, da Malásia e de Hong Kong
- 1942- Fuzileiros americanos desembarcam nas ilhas Salomão e iniciam os ataques às ilhas do Pacífico ocupadas pelos Japoneses
- 1943- O exército alemão começa a render-se; os Aliados desembarcam no Sul de Itália

- 1944- *Os Aliados desembarcam nas praias da Normandia*
- 1945- *8 de Maio é o dia da Vitória na Europa; 6 de Agosto foi lançada a bomba atómica em Hiroxima; 8 de Agosto a Rússia declara guerra ao Japão; 9 de Agosto é lançada a 2ª bomba atómica em Nagasáqui; 16 de Agosto o Japão capitula- Fim da 2ª Grande Guerra*
- Anos 50- Sob a supervisão de Maurice Ewing começou a exploração dos fundos oceânicos com a utilização de um sonar
- 1952- Marie Tharp descobriu no Atlântico Norte um canhão profundo sismicamente activo situado na cordilheira médio-Atlântica
- 1957- Bruce Heezen realizou um mapa detalhado da totalidade dos fundos oceânicos, com a colaboração de Marie Tharp
- 1960- Jacques Picard e Don Walsh iniciaram o estudo directo das fossas oceânicas a bordo do batiscafo Trieste, atingindo a profundidade de 10 916m na Fossa das Marianas
- *1961- Construção do Muro de Berlim*
- 1961- Robert Dietz surge com a Teoria de Alastramento dos Fundos Oceânicos, dando a ideia de um fundo oceânico recente
- 1962- Harry Hess escreve sobre a história do conceito de expansão dos fundos oceânicos, chamando ao que escrevera “Geopoesia”, que anos mais tarde se veio a revelar um “Geofacto”
- 1963- Frederick Vine e Drummond Matthews revelaram que cerca de 50% da crosta terrestre tem polarização inversa à actual
- 1965- Tuzo Wilson estudou a sismicidade da crosta e verificou que há zonas da crosta oceânica nas quais a actividade sísmica parece terminar abruptamente, mas que estão ligadas a um trabalho contínuo de movimentação. Designou tais estruturas de Falhas Transformantes. Wilson realizou ainda estudos de datação radiométrica de ilhas vulcânicas do Atlântico, considerando que as idades aumentavam à medida que se encontravam mais afastadas do dorsal médio-Atlântica. São realizados nesta altura estudos semelhantes às Ilhas do Havai e verifica-se que a sua origem está num foco térmico, supostamente fixo, o Ponto Quente ou Hot Spot

- 1967- Dan McKenzie e Robert Parker publicam um artigo no qual já se afiguram os contornos da Teoria da Tectónica de Placas. Referem que o fundo oceânico se comporta como uma placa rígida que interage com outras placas de forma sísmica e tectónica
- 1968- Wilson sugere o conceito de ciclo tectónico que ficou com o seu nome Ciclo de Wilson; Xavier Le Pichon elaborou um modelo de Placas Tectónicas numa forma esférica
- 1969- Dan McKenzie e Jason Morgan propuseram o conceito de Placa Tectónica e de pontos triplos- Teoria da Tectónica de Placas
- 1971- Morgan suspeita que os pontos quentes e as plumas mantélicas que lhes dão origem são os motores da Tectónica de Placas
- 1977- Richard Hey duvida que as placas litosféricas sejam rígidas

Questões:

- 1- Explica de que forma a ocorrência das guerras veio conduzir ao evoluir do conceito de Placas Litosféricas.
- 2- Porque motivo houve um retardar da aceitação da Deriva Continental de Wegener?
- 3- Em que medida a Teoria da Tectónica de Placas trouxe inovação à Hipótese da Deriva Continental?
- 4- Explica porque motivo se pode afirmar que a Teoria da Deriva Continental já faz parte de um passado e não é aplicável nos tempos que correm?
- 5- Será que vai ocorrer o mesmo à Teoria da Tectónica de Placas? Dá a tua opinião.

Documento 6

DERIVA CONTINENTAL E TECTÓNICA

É importante assinalar que os alunos devem compreender o funcionamento do interior do planeta. Por esse motivo, também consideramos necessário a resolução de Fichas de Trabalho que centrem a sua atenção nos conteúdos programáticos estipulados pelo Ministério da Educação. Ou seja, é nossa convicção que nesta altura os alunos estarão mais predispostos à realização de uma Ficha de Trabalho mais vocacionada para os conteúdos programáticos, mas que exige reflexão, tarefa que cremos não ser estanha aos alunos.

Com este género de estratégia estaremos a promover a integração de saberes e a introduzir uma forma de pensar a Ciência.

→ **LIMITES DAS PLACAS TECTÓNICAS**

1- Observa atentamente as seguintes imagens (Fig.IV-8) referentes a secções da crosta continental, de acordo com as antigas ideias do século XIX e início do século XX e as actuais concepções da estrutura da crosta continental.

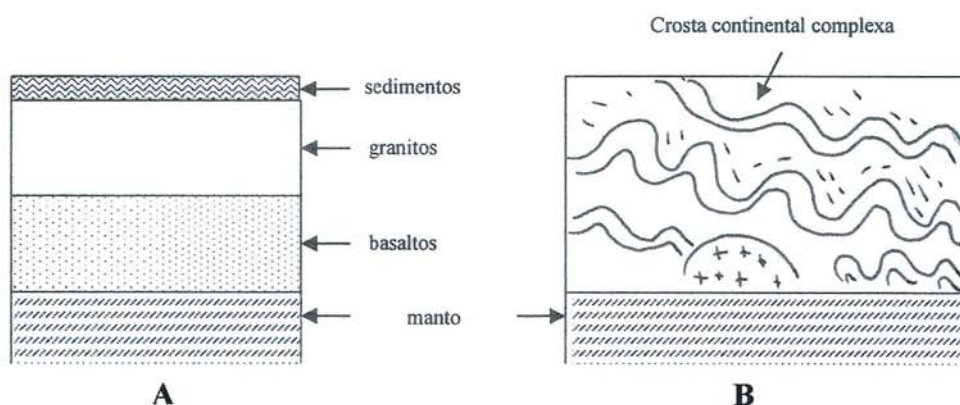


Fig.IV-8- Secção da crosta continental, segundo antigas concepções (A) e as interpretações actuais (B) (adaptado de Prado, 1998).

1.1- Explica em que medida as concepções acerca da constituição da crosta terrestre mudaram.

1.2- De que forma a Teoria da Tectónica de Placas ajudou a mudar as interpretações feitas em torno da estrutura do interior da Terra.

2- Observa o globo terrestre onde estão representados os limites das placas tectónicas.

2.1- Em que medida a Teoria da Tectónica de Placas parece explicar melhor a dinâmica da Terra em comparação com a ideia da Terra em contracção?

2.2- Explica o que acontece quando as placas litosféricas interagem umas com as outras.

3- Lê o excerto que Dietz e Vine e Wilson escreveram sobre a ideia de Alastramento dos Fundos Oceânicos.

“O fundo oceânico está ligado a uma correia distribuidora (passadeira rolante), conduzida por células termais convectivas no manto da Terra, sendo assim deslocável.”- *Dietz, 1966 (tradução)*

“A recente especulação de que as anomalias magnéticas observadas ao longo dos riftes oceânicos podem ser explicadas em termos de alastramento dos fundos oceânicos e inversões periódicas da polaridade do campo magnético da Terra pode ser agora reexaminada (...) no rifte de Juan de Fuca.”- *Vine e Wilson, 1965 (tradução)*

“Foi também postulado que a história de alastramento do fundo oceânico pode estar gravada no que respeita à magnetização permanente da crosta oceânica.”- *Vine, 1966 (tradução)*

3.1- De que forma a descoberta da idade dos fundos oceânicos veio dar um grande impulso no desenvolvimento da Teoria da Tectónica de Placas?

4- Analisa o esquema da Figura IV-9 referente aos diferentes tipos de contactos das placas tectónicas.

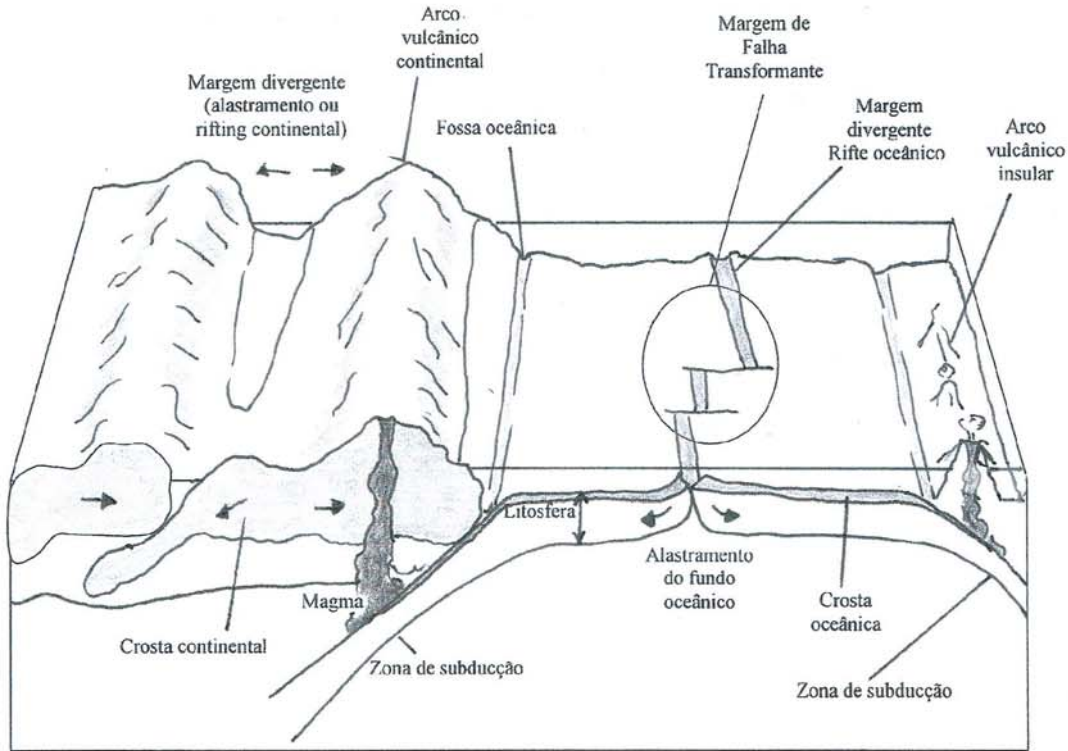
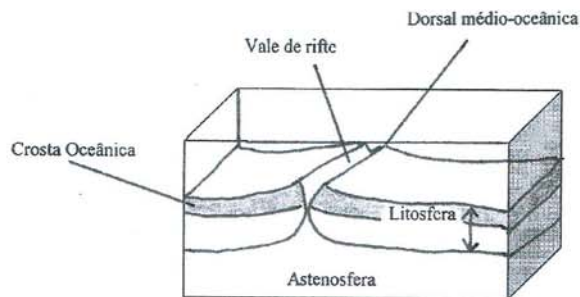


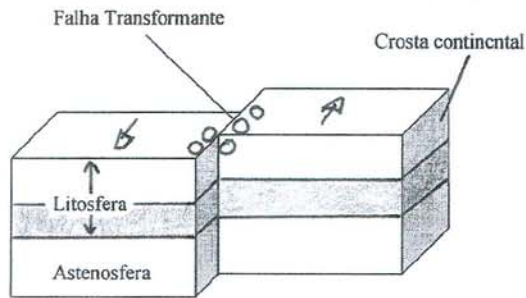
Fig. IV-9- Esquema dos diferentes tipos de contactos entre as placas litosféricas (adaptado de Murck e Skinner, 1999)

4.1- Quais são as estruturas terrestres que podem ser explicadas pela Tectónica de Placas e que não o eram por teorias anteriores?

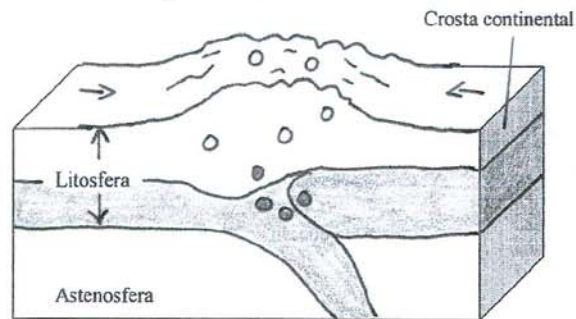
5- Analisa as seguintes figuras referentes a secções isoladas dos diferentes tipos de margens.



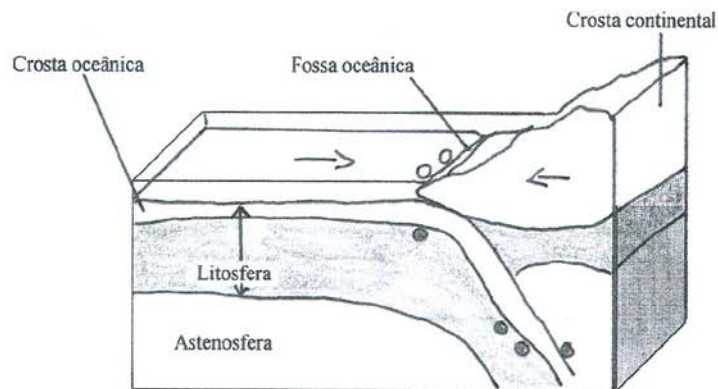
MARGEM DIVERGENTE



MARGEM DE FALHA TRANSFORMANTE



MARGEM DE COLISÃO CONTINENTAL



MARGEM DE SUBDUCÇÃO

- - sismos pouco profundos
- - sismos profundos

Fig. IV-10- Esquemas representativos das várias margens de placas, ilustrando os focos sísmicos (adaptado de Murck e Skinner, 1999).

5.1- Relativamente aos esquemas apresentados indica os locais onde os hipocentros (ou focos) sísmicos se formam em maior profundidade. Explica porquê.

5.2- Onde te parece mais propícia a formação de rochas de elevado metamorfismo?

5.3- Para além dos fenómenos sísmicos, que outros fenómenos poderão ocorrer ainda nalgumas margens?

6- Lê o que Holmes referiu acerca do funcionamento interno do planeta.

“Admitindo que os continentes se deslocaram, parece que não há escapatória para a dedução de que correntes ascendentes, lentas, mas muito poderosas foram geradas no mundo inferior a variadas alturas da história da Terra.”- *Holmes, 1928 (tradução)*

6.1- Como explicava Holmes o funcionamento da Terra?

Actualmente, também se aceita que existem correntes de convecção responsáveis pela movimentação relativa das placas litosféricas, tal como ilustrado na imagem da Figura IV-11. Ou seja, Holmes de certa forma foi um dos primeiros a introduzir a ideia de correntes giratórias no manto da Terra, responsáveis pela distribuição do calor no planeta.

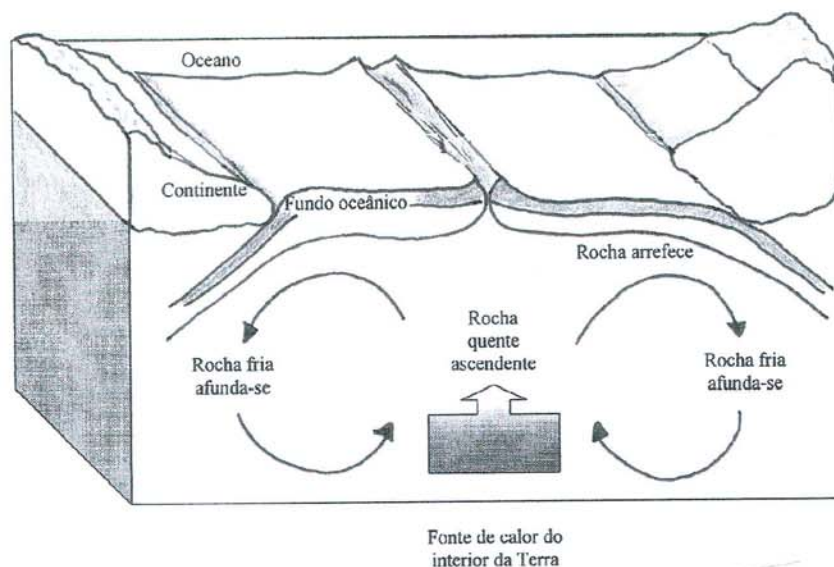
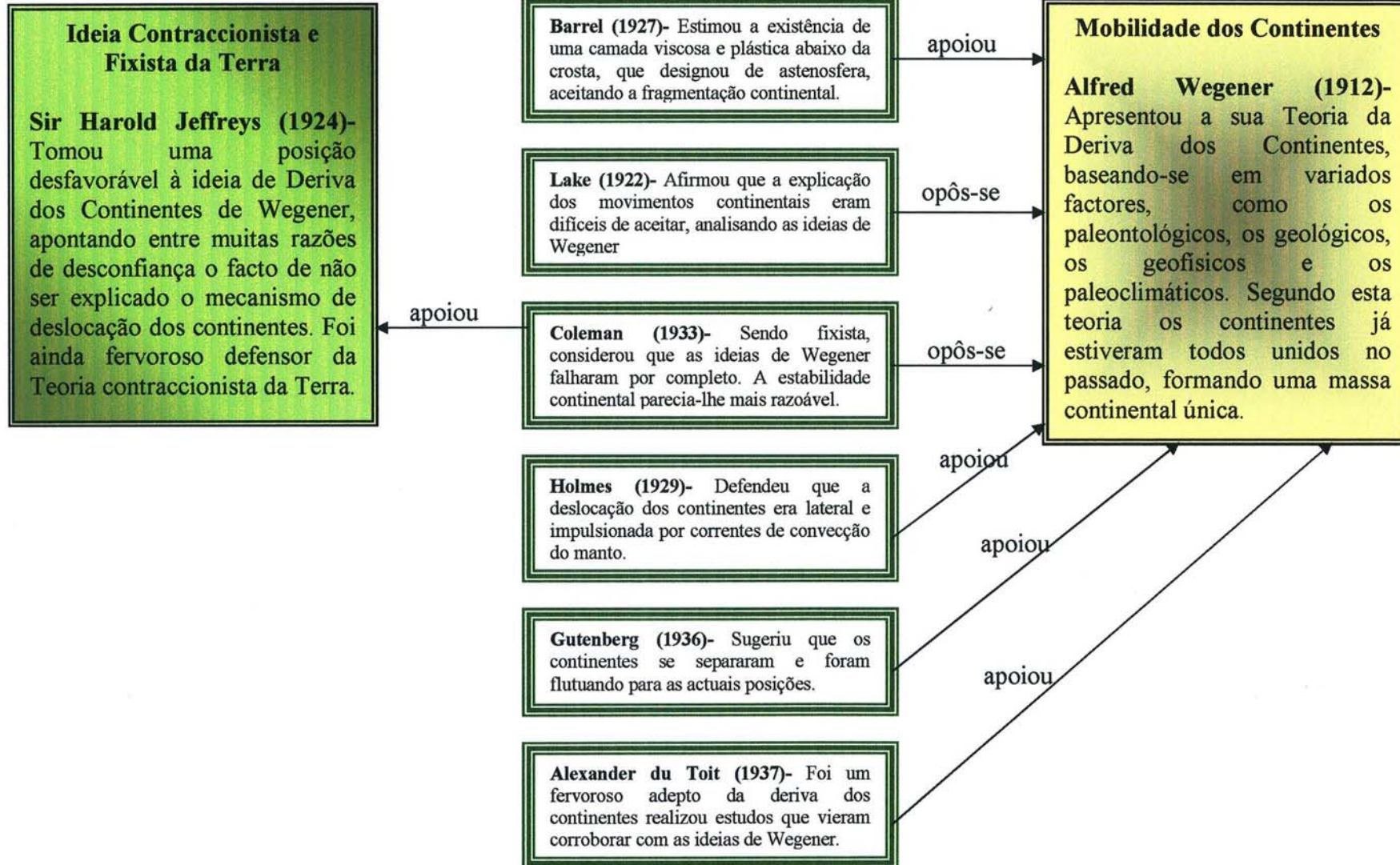


Fig. IV-11- Esquema das correntes de convecção do manto e a deslocação relativa das placas litosféricas (adaptado de Murck e Skinner, 1999).

6.2- A temperatura interna do planeta ascende aos 5000°C. De que forma te parece que a convecção liberta calor da Terra? (Murk, Skinner 1999)

Deriva Continental



apoiou

Simpson (1943)- Demonstrou a sua antipatia pela teoria da Deriva dos Continentes, opondo-se directamente a Wegener e a du Toit. Por outro lado, as evidências paleontológicas favoreciam a ideia de estabilidade continental

opôs-se

Willis (1944)- Não considerou sequer aceitável a Deriva dos Continentes.

opôs-se

opôs-se

Carey (1956)- Defendeu a mobilidade continental pela expansão do Globo.

apoiou

Tectónica de Placas

Estudos levados a cabo por **Mason (1957)** permitiram-lhe a construção de um mapa do fundo do oceano com um padrão riscado, devido às anomalias magnéticas encontradas.

Dietz (1961) estimou que a idade dos oceanos é recente, e propôs a Teoria do Alastramento do Fundo Oceânico, onde células convectivas actuavam no manto.

Foi detectado que cerca de 50% da crosta oceânica tem magnetização inversa à actual. Este facto, segundo **Vine e Mathews (1963)**, vem corroborar com as ideias apresentadas por Dietz.

Apesar de ser a favor da mobilidade continental, **Heezen (1960)** formulou uma nova versão da hipótese da Expansão da Terra, com dados recentes sobre o fundo oceânico.

Teoria da Tectónica de Placas

Em 1969 **McKenzie e Morgan** sugeriram o conceito de Placa Tectónica, emergindo a partir daí a teoria explicativa da tectónica global, tendo como ponto de partida a rigidez da litosfera.

Wilson (1956) sugeriu o conceito de Falha Transformante.

Ewing e Le Pichon (1966) duvidaram do afastamento continental pelo menos durante o Cenozóico.

Vogt (1972) sugeriu que parecia haver um certo sincronismo entre a actividade dos pontos quentes e a libertação de depósitos ígneos.

Hey (1977) expressou a sua opinião relativamente à rigidez das placas litosféricas, duvidando dessa característica.

Morgan (1981) associou os fluxos basálticos com plumas ascendentes, sendo estas os motores da deriva das placas litosféricas.

Stein e Hofmann (1994) afirmaram que existem duas formas de convecção do manto. Esta ideia foi criticada, no mesmo ano, por **White** uma vez que se trataram de puras especulações.

Sleep (2003) estabeleceu relação entre pontos quentes e plumas, defendendo que a sua forma é em bola e não em cogumelo. Esta ideia foi criticada por **Foulger**, uma vez que as evidências não eram palpáveis.

Jackson e Austrch (2004) após variados estudos, sugeriram que a litosfera não é completamente rígida.

1.3- EXTINÇÕES EM MASSA

O último tema deste trabalho é, pensamos, o que irá despertar uma maior curiosidade nos alunos. Este facto deve-se a vários motivos, sendo um deles a natural atracção que existe pelo desaparecimento, supostamente abrupto, de seres vivos como os dinossauros. A importância dada ao assunto das Extinções vem sendo ampliada desde os finais do século XX pelas diversas fontes de comunicação. Ou seja, além de ser um assunto que se aborda nos conteúdos programáticos do Ensino Secundário existem vários documentários animados sobre a causa provável para o seu desaparecimento do registo estratigráfico e também películas cinematográficas acerca de determinadas espécies desses grandes animais. Tudo isto constitui um grande foco de interesse, para além das exposições de fósseis que aqui e ali pontuam pelo nosso país.

Porém, para nós a pertinência deste tema não se restringe somente a estes pontos, o que se situaria manifestamente e apenas no campo da divulgação científica. A articulação entre o Tempo Geológico e a sua emergência como conceito estabelece pontos de conexão com as Extinções no registo estratigráfico. O desaparecimento, por vezes maciço, de espécies ao longo das sequências de estratos sedimentares levantou questões antigas no que se refere às causas para essas extinções. Emergente desta relação surge a datação relativa, que associava determinados estratos ricos em certo tipo de fósseis ao longo do globo, atribuindo-lhe a mesma idade na História da Terra. Por outro lado, uma das possíveis causas para tais acontecimentos poderia ser a aniquilação dessas formas de vida, surgindo a corrente Catastrofista para explicar tais factos.

Podemos ainda estabelecer conexões com o assunto das Extinções e a Tectónica de Placas. Segundo alguns autores existem determinados fenómenos mantélicos que podem ter provocado alterações ambientais de tal forma intensas, que aniquilaram a vida de determinadas espécies ao longo do Tempo Geológico.

Parece-nos que este é outro elemento que justifica a necessidade e a natural inclusão do assunto das Extinções em Massa num estudo com as características que este apresenta. Além do mais, o facto de pretendermos um ensino que não se fique pela teoria desarticulada, dá ainda mais sentido à dinâmica do nosso trabalho. Ou seja, ao abordarmos temas que se inter-relacionam, fomentamos um ensino que ajuda a desenvolver o raciocínio e a flexibilidade cognitiva. Por isso, o facto das Extinções em Massa se inter-

relacionarem com os dois outros anteriores temas deste trabalho, e ainda por constituírem uma temática actual, mediática, rica em Controvérsia e para além de fazerem parte do conteúdo programático do Ensino Secundário, levou-nos a escolhê-las para um estudo desta natureza.

Passemos de seguida a apresentar a nossa selecção de episódios da História da Ciência que melhor parecem adequar-se à Didáctica da Geologia, numa perspectiva de contemplar episódios de frontal confronto e Controvérsia.

Um aspecto que nos convém referir aqui, antes de passar à apresentação dos intervenientes seleccionados, é que este tema é vasto e abrangente pelo que nos vimos na obrigação de nos cingirmos ao verdadeiramente mais conflitual. Não o fizemos de ânimo leve, mas fruto de reflexão cuidada, porque a realidade em que operamos é diferente das condições ideais. Clarificando a nossa posição, referimos que o factor *tempo lectivo* foi uma das condicionantes que esteve sempre presente nas nossas escolhas. Os conteúdos programáticos do Ensino Secundário são vastos e abrangentes, de tal forma que os Professores se vêm impelidos a abordar resumidamente os assuntos, o que dificulta uma compreensão da Ciência como processo em construção. Por outro lado, o factor da *faixa etária discente* também teve o seu peso. Ou seja, os alunos não podem ser um alvo a atingir recheado de dificuldades. Eles são sim, o fulcral do nosso trabalho para que os ajudemos a mudar a sua construção do *conhecimento científico*, utilizando algumas controvérsias geológicas como justamente, veículo de marcha de aprendizagem. Por esse motivo, se tornarmos o alvo confuso e desfocado corremos o risco do nosso desenho não passar de um conjunto de linhas cheias de boas intenções. Daí que, e visto já se ter abordado a dinâmica da Ciência do século XIX com relativa profundidade nos temas anteriores, tenhamos seleccionado apenas dois intervenientes no conflito Catastrofistas/Uniformistas para a elaboração dos materiais didácticos. Não queremos, contudo, dizer que afastamos do panorama todos os outros naturalistas que realizaram importantes estudos sobre o assunto, apenas não serão focados com tanto destaque. Assim, e para dar seguimento à ideia, Cuvier (1927) e Lyell (1830) parecem-nos, sem dúvida, os protagonistas desta trama de conceitos e correntes que se geraram em especial no século XIX. Estes dois grandes naturalistas deram um forte contributo para a evolução na forma de pensar e é essa evolução que pretendemos evidenciar ao seleccioná-los para a construção dos materiais. As suas características enquanto investigadores parecem-nos ser

didacticamente relevantes. Para além de terem investido muito do seu tempo a estudar e a procurar dados que corroborassem as suas ideias, foram homens notáveis do seu tempo. Apesar do conflito não se ter travado directamente entre estes dois naturalistas, os que os apoiavam viram-se, eles sim, envolvidos em tramas pessoais que não iremos aprofundar grandemente.

Ainda que nos interessasse adiantar mais o percurso da História da Ciência no que se refere ao conflito Catastrofistas/Uniformistas, optamos por não o fazer, pois a dinâmica actual sobre o assunto merece, em nosso entender, uma relevância maior devido aos desenvolvimentos que têm surgido no meio científico. E para nós o que está em causa é a controvérsia científica e o seu papel na construção do conhecimento dos alunos. Por outro lado, esta dinâmica de voltarmos a viver numa época de um “Novo Catastrofismo”, faz com que a abordagem ao Catastrofismo do século XIX seja feita de uma forma incisiva e concisa, estabelecendo as já habituais ligações com os factores sócio-culturais da época.

Neste quadro, é exigido um esforço, da nossa parte, no sentido de estabelecermos uma ponte bem fundamentada entre conceitos com um fundo semelhante, mas dotados de um enriquecimento exterior contextualmente diferente. Por isso, teremos de tomar especial atenção para que não se confundam conceitos e para que a construção do *conhecimento científico* não dê lugar à memorização que poderá, numa situação destas, conduzir à confusão e à rejeição da História da Ciência e da própria Ciência.

Assim, e numa perspectiva temporal dos finais do século XX, vejamos de que forma nos parecem ser didacticamente relevantes as nossas escolhas. Em paridade com a estratégia seguida para os outros dois temas, também existem para esta matéria dois lados opostos cada um com o seu grupo defensor. No entanto, não deixaremos de referir que actualmente já há tendências a fundir as duas principais hipóteses sobre as Extinções em Massa ocorridas, em especial, no limite Cretácico/Terciário (K/T). As Extinções em Massa sobre as quais iremos concentrar as nossas atenções são precisamente as do limite do K/T, pelo facto de permitirem uma abordagem mais directa e que os alunos já conhecem pelos meios de comunicação. De qualquer forma, não poderemos desprezar as outras Extinções em Massa que foram ocorrendo ao longo do Tempo Geológico, mas sobre as quais não há um conflito tão marcante como o que se gerou em torno da extinção do K/T.

Neste sentido, Alvarez e o seu grupo (1980) protagonizam o lado que defende como causa para as extinções do K/T a colisão de um grande corpo extraterrestre com a

superfície da Terra. No outro lado da barricada encontra-se Courtillot (1986), que encabeça o movimento vulcanista da questão. Ou seja, defendem como causa das extinções do K/T, e não só, um intenso vulcanismo. Os argumentos utilizados por cada grupo de cientistas tem uma lógica inegável, tal como está bem claro no Capítulo II, mas a forte controvérsia centra-se entre os seus defensores e opositores.

Smit (1980, 1992) é um dos maiores defensores da Hipótese Colisional, argumentando em várias frentes a seu favor. Segundo este cientista, estudos paleontológicos e estratigráficos são conducentes à ideia de uma colisão gigantesca causadora da referida extinção. Contra a sua posição insurgiram-se várias vozes como a de Keller (1988), uma micropaleontóloga que discorda constantemente das posições de Smit, numa espécie de antipatia que também se verifica entre alguns minerais. É notório que em algumas circunstâncias, Keller ao analisar os mesmos materiais que Smit, tirou conclusões diferentes. Ora, este facto é muito relevante para uma aplicação didáctica, uma vez que ilustra claramente variados pontos a saber: um deles é o carácter de mudança que os próprios investigadores apresentam, tal como Keller ao mudar a sua opinião no que respeita às consequências provocadas pela queda eventual de meteoritos na superfície da Terra; um outro ponto liga-se com as interpretações de um mesmo fenómeno, ou material que podem ser conducentes a conclusões totalmente distintas, o que revela o carácter humano de quem constrói teorias. Isto vai criar nos alunos a sensação de que algumas teorias e mesmo, aplicando à vida do dia-a-dia, factos apresentados nos média podem não estar a ser bem interpretados. Teremos, pois, de ter o cuidado de evitar relativizações e generalizações que poderão ser nefastas num contexto de Ensino das Ciências. Porém, ao abordarmos a questão com a seriedade que lhe é devida e sem retirar o mérito aos investigadores em questão, os objectivos possam ser atingidos sem dar lugar a equívocos.

Mas vamos continuar a apresentação dos actores deste enredo. Bohor (1984) também defendeu a hipótese do grupo Alvarez pela análise de esférulas de quartzo formadas, segundo ele, por pressão de choque de um corpo com a superfície da Terra. Contra esta posição insurgiu-se um grupo de apoiantes da hipótese vulcânica, Officer e Drake (1983, 1985), com argumentos que os levaram a concluir que tais esférulas teriam antes uma origem vulcânica. Mesmo depois de Hildebrand e o seu grupo (1990) de trabalho terem encontrado a suposta cratera da colisão, apoiando assim Alvarez *et al.*, Lyons e Officer (1992) discordaram de que os vestígios por eles detectados fossem

conclusivos. Nestes conflitos vemos uma importante pertinência didáctica, pelo conflito aberto e pelo carácter mutante da Ciência. Por outro lado, utilizando estes episódios, os alunos verão o quão difícil é a elaboração de uma teoria dentro da comunidade científica, apesar da distinção que todos os intervenientes nos merecem.

Em boa verdade, esta trama de conflitos, que ultrapassa a barreira do choque científico, vem ao encontro dos nossos objectivos. A consciencialização de que construir ciência é mais do que ser um cientista aplicado e interessado é essencial, para que se veja o carácter humanista da Ciência, cheio de defeitos e virtudes, do empreendimento científico.

Cabe ainda salientar, que nesta questão da construção do conhecimento científico escolar do Ensino Secundário, a opção por episódios que abarquem diversos pontos é necessária para que não se ensine a pensar numa só direcção. As nossas preferências pelos episódios atrás referidos fornecem elementos que permitem a aquisição de atitudes de curiosidade, problematização e de questionamento essenciais em Ciência. Estamos convictos que as atitudes dos alunos face a um problema que lhes é colocado levará um rumo que passa pelo maior empenho, responsabilidade e respeito pelas opiniões dos outros. É que, pelo facto de se conhecerem diferentes pontos de vista na emergência de teorias que actualmente são aceites pela comunidade científica, confere esta capacidade de reflexão tão importante para quem está imbuído no espírito científico. De um modo mais específico, a informação que é transmitida aos alunos tem de sofrer um processamento que a vai converter em conhecimento, depois de uma compreensão inicial.

Porém, enquanto vectores do Ensino das Ciências deveremos proporcionar aos alunos as ferramentas com que trabalhar. Neste sentido, os episódios de controvérsia que seleccionámos parecem-nos evidenciar de forma correcta como se constróem as teorias tão importantes em Ciência e pela qual todos nos regemos, de alguma forma. O posicionamento crítico e de espírito aberto, que é facilitado ao conhecer as tramas que se passaram, é de suma importância numa sociedade em que há a tendência para fugir da Ciência por, pelo menos, dois motivos. Em primeiro lugar, as pré-concepções adquiridas ao longo dos anos de que os cientistas são todos génios inatingíveis, e onde não se conta com o gosto pessoal por um determinado assunto. E em segundo lugar, ainda reina à nossa volta a ideia de que os cientistas trabalham em laboratórios perfeitamente assépticos sendo aqueles desprovidos de ideias e opiniões próprias.

Por isso, o facto de abordarmos os temas anteriores, e este em concreto, está-se a fomentar a construção de mentes diferentes e também mais bem preparadas para o prosseguimento de estudos que se centrem, eventualmente, a via da investigação. Contudo, não nos esqueçamos que mesmo para aqueles alunos que não pretendam continuar os seus estudos, estamos convictos de que enquanto pessoas terão mentes mais abertas e que, devido ao hábito de reflexão, irão atingir um patamar superior aos dos que não tiveram esse tipo de experiências.

Quadro IV-III- Elementos-síntese

OBJECTIVO	ESTRATÉGIA	ACTIVIDADE
Sensibilizar para o problema do Novo Catastrofismo	Visualização do resumo de uma película cinematográfica	Discussão sobre a mensagem transmitida do que foi visto
Suscitar a curiosidade pela História da Ciência	Levantar as ideias do texto e contrapô-las às da película cinematográfica	Documento 1: Ficha de Trabalho onde estão clarificadas as ideias Catastrofistas do século XIX
Estimular o interesse sobre os conflitos ocorridos na comunidade científica da altura sobre a temática em questão	Analisar os confrontos de ideias entre catastrofistas e uniformistas, com teatralização	Documento 2: Fichas de Trabalho com teatro sobre um diálogo fictício entre Cuvier e Lyell
Reflectir na importância de conhecer as controvérsias passadas e a construção do conhecimento científico	Sintetizar as principais ideias sobre as extinções de espécies no século XIX	Exploração de um quadro-síntese sobre a evolução do conceito catastrofista para o uniformista, focando a atenção para os seus protagonistas e o contexto sócio-cultural da época
Modificar a representação da Ciência e extrapolar esses conhecimentos para as actuais teorias explicativas das extinções em massa	Colocar uma questão-problema sobre a nossa actual sociedade e a aceitação de teorias que passem por ideias de catástrofe	Diálogo entre turma após a colocação de questão-problema e análise do contexto sócio-cultural do século XIX e compará-lo com os séculos XX e XXI na construção social da Ciência e aceitação de novas ideias
Ajuizar sobre as duas principais hipóteses explicativas das extinções em massa do K/T	Colocação de situações conflituais e de controvérsia	Documento 3: dividir a turma em dois grupos. Cada um terá um tipo de ficha de trabalho diferente do outro. Um dos grupos conhecerá em profundidade a hipótese de impacto, o outro a do vulcanismo. Segue-se discussão inter e intra-grupal

		Apresentação de quadro-síntese da controvérsia gerada em torno da questão da extinção do K/T
Sensibilizar para a problemática da construção de teorias científicas	Averiguar os principais entraves na aceitação das duas hipóteses explicativas das extinções em massa do K/T	Da discussão intra e inter-grupal emergem os pontos de entrave à aceitação das duas hipóteses em questão, que serão escritos em transparência ou no quadro negro (ou eventualmente num powerpoint)
Relacionar a época do novo catastrofismo com a do catastrofismo do século XIX	Revelar algumas dos entraves à construção social da Ciência	Elaboração de um quadro comparativo do Catastrofismo do século XIX e do Novo Catastrofismo, numa perspectiva de compreender a evolução dos conceitos e o carácter, por vezes cíclico, da Ciência
Reconhecer a importância de conhecer as situações controversas, para a construção pessoal do conhecimento científico e interiorizar o sentido dinâmico da Ciência	Explorar em grupo sobre as causas das extinções em massa noutros períodos da História da Terra e realização de trabalho de pesquisa sobre as outras extinções	Documento 4: A turma é dividida em grupos que terão de realizar um estudo sobre a causa para outras extinções em massa. Será fornecido aos alunos mais material de trabalho, numa perspectiva de investigação

Documento 1

EXTINÇÕES EM MASSA

No seguimento da primeira estratégia, propomos a leitura de excertos de textos, traduzidos dos originais, escritos por naturalistas que desempenharam um importante papel na evolução do conceito Catastrofista. A estratégia será desenvolvida em pequenos grupos de três alunos para que mais facilmente se atinjam os objectivos propostos.

Ao ser compreendida a ideia do Catastrofismo defendida genericamente no século XVIII e XIX e ao contrapô-la com a visualizada no actual videograma, estimula-se a curiosidade pela abordagem histórica. Por outro lado, a discussão intra-grupal revela-se francamente proveitosa para uma estratégia que foca a análise de textos antigos e dos quais devem emergir as principais ideias, fundamentais para o prosseguir das outras estratégias.

→ COMO SE PENSAVA NO SÉCULO XIX- VISÃO CATASTROFISTA

Após a visualização do resumo da película cinematográfica “*O dia depois de amanhã*” (do original “*The day after tomorrow*”), lê atentamente os seguintes excertos traduzidos de textos de naturalistas do século XIX, onde se podem constatar as suas opiniões sobre a vida na Terra.

Barão Georges Cuvier (1769-1832) naturalista que fundou o estudo de anatomia comparada e realizou importantes estudos nessa área. Escreveu as seguintes linhas no seu livro de 1827 “*Theory of the Earth*”, traduzido do original “*Théorie de la Terre*”:

“A vida, no entanto, tem sido afectada na Terra por eventos terríveis.

Um número indeterminado de seres vivos foram vítimas destas catástrofes; alguns que habitaram terra seca, foram engolidos por inundações (...).”- *Cuvier, 1827 (tradução)*

“Neste sentido, vejo-me a tomar a posição de concluir que grandes acontecimentos foram necessários para trazer ao de cima as maiores diferenças que eu reconheci. (...)

(...) e a superfície do globo tem sido perturbada com sucessivas revoluções e variadas catástrofes. (...)”- *Cuvier, citado por Rudwick, 1977 (tradução)*

Richard Kirwan (1733-1812), um forte opositor das ideias de Hutton, que não contemplavam as concepções Bíblicas, escreveu em 1799:

“Hutton é supérfluo no que escreve no seu livro *Theory of the Earth*, e para além disso a ideia de que as montanhas estão a ser gradualmente destruídas e ficarão em equilíbrio plano, não me parece correcta. Por outro lado, as montanhas não são formadas com restos do fundo do mar como defende o Sr. Hutton. O que sucedeu foi uma inundação diluviana, tendo seres marinhos perecido, e após o abaixamento do mar encontramos os vestígios desses seres no alto das montanhas.”- *Adaptado de Kirwan, 1799 (com tradução)*

William Buckland (1784-1856) foi professor de Charles Lyell e defendeu o Dilúvio Universal quase até ao fim da sua carreira. Em 1820 publicou o livro “*Connexion of Geology with religion*”.

“(...) o grande facto do Dilúvio universal ter ocorrido num período não muito remoto é provado num pano de fundo muito decisivo (...) e a própria Geologia deve ter apelado para uma catástrofe, para explicar o fenómeno diluviano que nos foi universalmente apresentado e que é ininteligível sem o recurso a uma inundação que exerceu a sua força num período não mais antigo do que o anunciado no Livro do Génesis.”- *Buckland, 1820 (tradução)*

Questões:

- 1- Indica de forma sucinta como se pensava sobre o funcionamento do planeta no século XIX.
- 2- De que forma se pode comparar esta forma de encarar a Terra e a que visionou na película do filme “*O dia depois de amanhã*”?

Documento 2

EXTINÇÕES EM MASSA

A multiplicidade de abordagens constituiu o nosso fio condutor na elaboração destes materiais didáticos, que temos vindo a apresentar. É nossa convicção que se trata de uma postura que permite uma complementaridade num assunto de compreensão, não difícil, mas que implica um raciocínio e uma reflexão que devem ser estimuladas.

A apresentação da informação em forma de diálogo activo e que deverá ser lido em turma, com os papéis distribuídos é relevante para uma maior proximidade com o assunto. Numa outra perspectiva, as respostas prontas apresentadas no diálogo como que facilitam o salto qualitativo entre a informação e o conhecimento. É uma abordagem histórica que também foca o carácter social vivido na época em questão. Na verdade, experiências deste género proporcionam um ensino activo e no qual há uma maior participação dos alunos, estando por isso em consonância com os propósitos do Ensino Por Pesquisa.

Por fim, esta estratégia de retirar as ideias principais de um diálogo torna-se pertinente pois permite a manutenção da atenção e concentração dos alunos, uma vez que o diálogo intra-grupal e inter-grupal durante e após a realização das questões finais é uma constante. Exploração de quadro-síntese (ver no final da apresentação dos documentos deste tema).

→ CATASTROFISTAS VERSUS UNIFORMISTAS

Apresentamos de seguida um diálogo fictício travado entre **Barão Georges Cuvier**, um dos maiores defensores do Catastrofismo e **Charles Lyell**, sucessor do Actualismo de James Hutton, fundador do Uniformismo, doutrina que veio a dominar o meio científico a partir dos meados do século XIX.

Este encontro entre os dois grandes nomes da Ciência do século XIX ocorreu na cidade de Londres, na Geological Society of London em 1830, ano em que Lyell publicara o primeiro volume do seu livro *Principles of Geology*. Lyell conheceu Cuvier no ano 1823 em Paris, local onde Cuvier realizara uma grande parte dos seus estudos de anatomia comparada.

Naquela data realizava-se um encontro internacional de individualidades naturalistas, e Cuvier havia sido convidado para apresentar o resultado dos seus estudos de anatomia comparada de fósseis de mamutes e de elefantes actuais. Lyell, enquanto naturalista britânico, também estava presente, uma vez que pertencia aquela instituição (Fig. IV-12).

Cuvier, com os seus 61 anos, era um homem bem apessoado e o seu inglês era fluente, se bem que com um forte sotaque francês. Lyell, com 33 anos, já havia viajado por vários locais, o que lhe permitira uma visão tal que a ideia da uniformidade de processos passou a constituir teoria que veio a público nesse ano de 1830.



Fig. IV-12- Seminário na Geological Society of London em 1830.

Lewis MacDade (LM)- Cabe-me a honra, enquanto Presidente desta Academia, de dar início a este seminário no qual o prelector é o distinto Barão Georges Cuvier, naturalista em França na conceituada Académie de Paris. Aproveito para agradecer desde já a sua presença ...

Cuvier (C)- De nada, é um *plaisir*...

LM- ... obrigado em nome de todos os membros desta academia. Passemos então a dar a palavra ao Barão de Cuvier e no final da sua exposição, quem tiver alguma questão a colocar, não se iniba

Charles Lyell (CL)- De certo que terei algumas questões a colocar...

LM- (sussurrado) Dr. Lyell, deixe agora o Barão de Cuvier expor as suas ideias.

C- *Bon Messieurs*, quer dizer Excelentíssimos Senhores, *merci* a todos por estarem a assistir à minha exposição sobre um estudo que já realizei em 1796, mas sobre o qual as conclusões emergentes me parecem muito actuais e de grande pertinência para o conhecimento do funcionamento do nosso planeta.

Decidi focar esse meu estudo sobre os *éléphants* vivos e os fósseis, demonstrando que os *éléphants* conhecidos hoje- os Asiáticos e os Africanos- não pertencem à mesma espécie.

Ao analisar a morfologia de ambas as espécies, como vos mostro nestes painéis...

(Cuvier abre e pendura esquemas excelentes sobre a morfologia externa da espécie Africana- fez-se ainda mais silêncio na sala)

... A espécie Africana não é domesticável como a Asiática, apesar de alguns espécimes de África serem mais corpulentos, vivendo em regiões mais áridas e ...

(Cuvier continuou com as comparações entre as duas espécies vivas mostrando mais figuras da morfologia externa dos elefantes Asiáticos)

... E chego agora ao ponto que mais interesse irá suscitar aos presentes... (sorriso aberto e cheio de ânimo)

Falo-vos agora de uma terceira espécie, que não é conhecida entre nós actualmente. Trata-se de uma espécie de *éléphant perdu*, ou melhor *éléphant* perdido.

Todos conhecem o mamute encontrado na Rússia nos finais do século XVII, cujos grandes ossos, quase intactos, foram encontrados na Sibéria. A sua semelhança com os actuais *éléphants* levou a confusões que agora estão claramente esclarecidas. Analisemos em mais pormenor...

(Cuvier pega num outro painel que desenrola e pendura...)

...veja-se o formato do crânio, apesar de semelhante são visíveis diferenças que me levam a supor que se trata de uma outra espécie, totalmente distinta das duas anteriormente focadas. Repare-se no formato dos dentes, na mandíbula e localização das vias respiratórias superiores... (apontando para o esquema...)

...Ou seja, tal como há diferenças entre o *éléphant* Africano e o Asiático, também as há para com o Mamute. É o fóssil de uma outra espécie de *éléphant*, uma espécie perdida...

(começou algum burburinho na sala e Lyell agita-se na cadeira...)

Bien, estas espécies perdidas de Mamutes sobreviveram muito bem ao clima frio devido à adaptação com pelo espesso e quente... quanto ao seu desaparecimento, parece-me que deve ter havido uma catástrofe muito grande que poderá ter afectado todo o globo. Como é sabido, a superfície da Terra é marcada por cataclismos que aniquilaram por completo os seres vivos dessa altura. É como se existisse um outro mundo anterior ao nosso, e que foi completamente destruído por uma catástrofe.

(o ruído intensifica-se e Lyell prepara-se para intervir, mas é detido pelo Professor Lewis MacDade)

A história da Terra é descontínua, quebrada e marcada por súbitas rupturas brutas e mortais...

CL- Barão de Cuvier, peço desculpa pela minha intervenção fora de tempo, mas não lhe parece que essa postura é descabida, sabendo nós actualmente que há diversos fenómenos naturais responsáveis pela aparência do nosso planeta? Não me parece que as catástrofes expliquem de forma coerente os relevos, as formas da Terra nem tão pouco o desaparecimento de espécies.

C- *Professeur* Lyell, conheço a sua posição, mas veja, como se pode explicar estes desaparecimentos abruptos de espécies tão fortes? Não me diga que são as causas actuais...

CL- Barão Cuvier, no presente é que está a chave do passado.

C- Pois sim, mas parece-me que as causas actuais não explicam os movimentos das águas responsáveis pelas extinções...

CL- Quer dizer, os dilúvios? Massas de água repentinas, um planeta extremamente violento no passado?

C- Esses eventos *terribles* tiveram vários pulsos que foram destruindo os mundos anteriores, uma vez que os seres do passado não eram tão perfeitos como os actuais. E nós, os Humanos, somos a intenção última da Criação, pelo que me parece que não deverá haver mais catástrofes.

CL- Barão, peço-lhe desculpa, mas não posso concordar de forma alguma consigo. Os desaparecimentos das espécies que consideramos passadas processou-se de forma lenta e gradual, devido, por exemplo a alterações do clima e, conseqüentemente, do ambiente. Estes processos graduais não são catastróficos e repentinos.

(gerou-se ruído na sala e o Barão perdeu o semblante simpático. Afinal ele era o convidado de honra...)

E continuo o meu raciocínio. De onde viria tamanha massa de água responsável pelo dilúvio? Bem, nos dias que correm presenciamos alturas em que a pluviosidade é elevada, e que pode alterar os terrenos... mas daí a falarmos de uma catástrofe... não me parece racional. Por outro lado, os vulcões e os tremores de terra são uma constante no nosso planeta. Apesar de poderem tirar a vida a muitos seres, não significa que aniquilem todos os seres vivos como o Sr. defende.

LM- Professor Lyell, ainda não estamos no debate... por favor.

CL- Peço desculpa.

C- *Pas de problème*, não há problema. De qualquer forma já terminei a minha exposição e podemos continuar o nosso diálogo professor Lyell.

CL- Bem Barão, a minha posição é claramente oposta à das catástrofes. Não me parecem corresponder ao que se passou e, por outro lado, o nosso planeta tem fenómenos actuais que são capazes de induzir esse tipo de extinções...

C- Pois, eu já não concordava com Hutton e as suas ideias do actualismo, das causas actuais. Richard Kirwan sempre me pareceu mais correcto.

CL- Mas Kirwan foi diluvianista, ou seja também foi a favor das catástrofes. Não é de todo a minha posição. Eu penso que não vivemos num mundo de catástrofes destruidoras da vida, só por destruir.

C- *Bien*, não é só por destruir... as espécies seguintes são mais perfeitas... vivemos uma linearidade de progresso.

(ruído na sala)

CL- Os fenómenos actuais dão-nos uma visão do que se passou no passado do planeta. Daí que tenhamos uma Terra muito antiga...

C- *Mais*, quão antiga ilustre colega? Não me vai sugerir uma Terra infinitamente antiga como defendeu Hutton!

CL- Não partilho dessas ideias do Dr. Hutton porém, o nosso planeta manifesta estruturas que implicam uma grande idade para a Terra, e daí que as ideias de catástrofes não se coadunem com tal aceção.

C- *Monsieur* Lyell, repare no que está a dizer... como me pode então explicar o desaparecimento das antigas espécies do planeta? Desculpe mas só com eventos aniquiladores o podemos fazer!

CL- Bem, a meu entender as espécies vão sendo substituídas ao longo do tempo, numa espécie de ciclo... que se pode voltar a repetir muitos milhões de anos depois...
(ruído na sala)

LM- Meus senhores, parece-me que já ficou clara a posição de cada um. Será que mais alguém quer colocar alguma questão?

(as conversas entre os elementos da plateia cessaram, e ninguém quis colocar mais nenhuma questão)

Bom, então dou por terminada esta sessão. Um bom dia para todos.



Referimos ainda que a corrente Catastrofista encontrava provas físicas, ou mais concretamente geológicas, que vinham ao encontro das concepções sobrenaturais para o desaparecimento de espécies. De facto, até era possível datar a sucessão de estratos horizontais, tendo em consideração a descrição bíblica. As primeiras críticas ao Actualismo de James Hutton, vinham pelo facto deste último não tomar em consideração as descrições do Génesis sobre a formação da Terra.

Por outro lado, o Barão Georges Cuvier, grande defensor das Catástrofes, realizou estudos de grande monta na Bacia de Paris. Dedicando-se ao estudo do teor de fósseis nos estratos de Paris, chegou à conclusão que tinha havido como que uma periodicidade de desaparecimento de espécies, falando então em revoluções da superfície terrestre. Cuvier fora um homem dado à prática da experimentação, que naquela altura era o máximo que um naturalista poderia fazer. Além do mais, Cuvier não conhecia muito bem as ideias Actualistas do britânico Hutton.

Com efeito, Charles Lyell influenciado pela corrente Actualista começa a defender que as montanhas se formavam a partir de movimentos da crosta causados por terremotos,

actuantes ao longo dos tempos. As suas expedições ao Vesúvio, ajudaram-no a inferir a importância dos vulcões na dinâmica da Terra. Sem esquecer ainda, que a ferocidade do Etna, que visitara, também o impressionou de tal forma que começou a pensar nas causas actuais que imperam no planeta e nas que terão dominado no passado. O naturalista viu-se chegar à conclusão de que os processos devem ter sido uniformes ao longo dos tempos. Daí que Lyell atacava a ideia de uma Terra em arrefecimento, porque ele vira e sentira a grandeza da intensidade vulcânica do Etna. Nas suas viagens por Paris e por Itália, Lyell notou que os estratos do Terciário eram muito espessos implicando, segundo as suas concepções, vastos períodos de tempo, o que poderia ter permitido alterações orgânicas.

A partir dos meados do século XIX, o Catastrofismo foi sendo substituído pelas convicções Uniformistas. Lyell apresentava constantemente novos exemplos e com isso ganhava novos adeptos, contrariamente à ideia das catástrofes. Aquela corrente de pensamento científico passou então a imperar, tanto que alguns defensores das ideias do Catastrofismo passaram no final de suas vidas a aceitar a uniformidade dos processos naturais ao longo do tempo.

Questões:

- 1- O que te parece ter sucedido neste diálogo?
- 2- Relativamente às idades dos principais intervenientes, somos levados a supor que no futuro desta história dominou o Catastrofismo ou o Uniformismo? Explica a tua resposta.

Documento 3

EXTINÇÕES EM MASSA

A estratégia que a seguir apresentamos foca a questão da controvérsia científica gerada em volta da questão da causa das extinções do final do Cretácico para o Terciário. A forma que encontramos para a desenvolver passa por uma discussão entre a turma.

Metade da turma terá documentos relativos à Hipótese Colisional, onde os argumentos e os investigadores nela envolvidos são focados com relativa profundidade. A outra metade da turma terá os documentos relativos à Hipótese Vulcânica, onde também são abordados os argumentos bem como os principais intervenientes na defesa desta hipótese. Após ser dado o tempo necessário a cada grupo para ler individualmente os documentos e tirar notas, segue-se um período no qual o grupo discute entre si o que achar pertinente, por forma a que a compreensão do processo impere. A tarefa que será proposta depois ao grupo turma é a de se disporem frente a frente, mudando a estrutura da sala, e o professor como mediador dará início à discussão entre os dois grupos que defendem, ou pelo menos representam, hipóteses oponentes.

Esta estratégia carregada de intensa motivação e empenho pelos alunos, parece-nos ideal para um Ensino que dá preferência à Pesquisa, marcada pelo pluralismo metodológico, pela investigação-acção e espírito crítico. De qualquer forma, após a discussão entre a turma, será feita uma síntese na forma de quadro-síntese (ver no final dos documentos sobre este tema), para que nenhum aluno deixe de compreender ambas as hipóteses.

Documento 3

EXTINÇÕES EM MASSA

→ CONTROVÉRSIA NA EXTINÇÃO DO K/T- SÉCULO XX

Grupo 1:

Parte da Ficha Informativa sobre a hipótese de colisão de um asteróide com a superfície terrestre como causa para a Extinção em Massa entre o Cretácico e o Terciário-*Hipótese Colisional*.

Analisa os argumentos a favor da Hipótese Colisional referente às Extinções em Massa ocorridas no limite Cretácico-Terciário (K/T).

Luís Alvarez, um prestigiado físico nuclear que recebera o Prémio Nobel da Física na década de 60, e o seu filho Walter Alvarez, geólogo que havia sido aluno de Harry Hess, publicaram a sua teoria sobre o que causou as extinções do K/T em 1980. A notícia publicada na conceituada revista *Science* causou um “terramoto” na comunidade científica, não só pela notícia em si mas, também, pelas qualificações académicas dos envolvidos. Walter Alvarez era o único geólogo do grupo liderado pelo seu pai, físico e os restantes membros da equipa, Frank Asaro e Helen Michel, químicos nucleares. Ou seja, para a comunidade de Geólogos, o facto de naquela equipa só haver um geólogo, ainda por cima recém formado, suscitou dúvidas no que se refere a bases científicas. Faltava alguém com experiência em geologia. Para além do mais, os físicos e os geólogos já há muito que não tinham relações amistosas porque ambas as disciplinas ambicionavam total independência, o que hoje é quase impossível de acontecer.

Segundo estes cientistas, o que causou a Extinção em Massa do K/T terá sido a colisão de um corpo extraterrestre com a superfície do planeta. Este fenómeno terá causado a dispersão de material para a atmosfera terrestre, causando um obscurecimento da superfície o que inibiu as plantas de sintetizarem matéria orgânica. Desta forma, a escassez de alimento afectou toda a cadeia alimentar e verificaram-se extinções em larga escala.

A ideia de colisão de um corpo exterior à Terra veio de uma camada de argila encontrada em Itália (Gubbio), que datava precisamente dos cerca de 65 milhões de anos (limite K/T), muito rica em irídio. Este é um elemento que não se encontra em concentrações assinaláveis nas rochas do nosso planeta, mas existe em concentrações elevadas em meteoritos. Com efeito, o Grupo Alvarez concluiu que um grande impacto de um corpo rico em irídio provocaria a dispersão desse elemento por todo o globo, assinalável nos sedimentos do limite K/T.

“Argilas do fundo oceânico expostas em Itália, Dinamarca e Nova Zelândia mostram aumentos de Irídio de 30, 160 e 20 vezes, respectivamente, do limite base precisamente na altura das extinções do Cretácico-Terciário, há 65 milhões de anos. Estes dados levam-nos a indicar que o irídio é de origem extraterrestre, mas não veio de uma supernova. (...) O impacto de um asteróide que passou pela Terra iria injectar 60 vezes a massa do objecto na atmosfera como rocha pulverizada (...). A escuridão resultante iria suprimir a fotossíntese, e as consequências biológicas esperadas correspondem muito proximamente às extinções observadas no registo paleontológico.”- Alvarez et al., 1980 (tradução)

Como já referido, esta Hipótese Colisional veio a público em 1980 na revista científica *Science*, causando um conjunto de reacções. Por um lado, foi criticada, por outro foi apoiada com novos dados que lhe forneceram mais bases.

Jan Smit conheceu Walter após este ter publicado a notícia da anomalia de irídio com a sua equipa. Smit, investigador do Instituto Geológico de Amsterdão, verificara que em Espanha, Caravaca, também havia esta mesma anomalia no período Cretácico-Terciário. Para além disso, o intrigante desaparecimento abrupto de foraminíferos em tudo semelhante ao de Itália indicava que algum fenómeno global se poderia ter passado. Smit, a fim de validar as suas pesquisas, contactara Jan Hertogen, um analista belga de activação neutrónica. Os valores eram idênticos aos do grupo Alvarez, pelo que Smit publicou os seus resultados numa perspectiva de confirmação do que os Alvarez haviam teorizado. Em 1980 emitiram assim o seu parecer na revista *Nature*, onde acresceram aos dados de Alvarez os seus. Passaram a ser fortes aliados da Hipótese Colisional.

“Amostras próximas colhidas de um calcário ininterrupto, de uma sequência pelágica ao longo do limite Cretácico-Terciário, revelou que a extinção dos Foraminíferos planctónicos e de nanofósseis foi abrupta sem dar sinais de aviso prévio no registo

sedimentar, e que o momento da extinção está ligado com enriquecimentos de elementos traço, especialmente de irídio e ósmio. A raridade destes elementos na crosta da Terra indica que uma fonte extraterrestre, como o impacto de um grande meteorito pode ter fornecido as quantidades de irídio e de ósmio requeridas.”- Smit e Hertogen, 1980 (tradução)

A meados da década de oitenta, um grupo de investigadores liderado pelo geólogo Bruce Bohor descobriu que uma camada do K/T de argila da região Este do Montana, para além de conter anomalia de irídio, continha também fracções clásticas de quartzo e feldspato. Estes minerais apresentavam estruturas superficiais planares com orientações precisas, típicas de metamorfismo de choque, constituindo evidências de uma colisão de alta velocidade entre um corpo extraterrestre e a Terra. Bohor e os seus colaboradores argumentaram que a orientação das estruturas planares era indicadora de metamorfismo de choque. Este facto apoiou fortemente a teoria de impacto de Alvarez, para além dos estudos nesta área terem sofrido um grande incremento.

“A fina argila das rochas não marinhas no (...) limite Cretácico-Terciário a Este de Montana contém irídio anormalmente elevado. A fracção não argilosa é maioritariamente quartzo, e feldspato em menor quantidade, e alguns destes grãos apresentam estruturas planares. Estas estruturas planares estão relacionadas com direcções cristalográficas específicas no quartzo (...). Todas estas estruturas mineralógicas são características de metamorfismo de choque e são evidência obrigatória que os grãos de choque são o produto de um impacto de alta velocidade entre um grande corpo extraterrestre e a Terra. (...)”- Bohor et al., 1984 (tradução)

“Estas características das estruturas do quartzo de choque em vários locais do globo confirmam que o impacto no limite Cretácico-Terciário distribuiu produtos de ejecta numa nuvem de poeiras que circundou a Terra, como postulado pela hipótese de impacto de Alvarez.”- Bohor et al., 1987 (tradução)

Nos inícios dos anos 90, a questão prendia-se com a falta de uma dita gigantesca cratera de impacto que tivesse sido a responsável pela extinção do K/T. Em Maio de 1990, Alan R. Hildebrand e William V. Boynton publicaram na *Science* um artigo no qual já se dava a entender onde poderia estar a referida cratera. A sua localização geográfica rondaria entre as Américas do Norte e do Sul. Os estudos anteriores em Brazos River tinham

lançado a ideia de ser um depósito de uma onda gigantesca provocada pelo impacto. Hildebrand e Boynton consultaram mapas topográficos da região das Caraíbas e verificaram haver indícios suspeitos.

Em 1991, Hildebrand em conjunto com outros chegaram à conclusão que a cratera poderia estar localizada na península do Yucatão, México. Argumentaram em sua defesa usando dados gravimétricos, registros estratigráficos e evidências petrológicas.

“Sugerimos que a estrutura circular afundada de 180km de diâmetro na Península de Yucatão, México, é a cratera de impacto. O seu tamanho e forma são revelados por anomalias no campo magnético e gravimétrico (...). As rochas andesíticas têm composição química e isotópica semelhantes aos dos tectitos encontrados no ejecta do Cretácico-Terciário (K/T). (...) Porque a cratera está numa espessa sequência carbonatada, o choque produziu CO₂ que pode ter provocado um aquecimento causado pelo agravamento do efeito de estufa.”- Hildebrand et al., 1991 (tradução)

Em 1992 Smit e um grupo de investigadores publicaram o resultado de investigações que visaram o estudo da sequência sedimentar na Península de Yucatão, estabelecendo relação com a ocorrência de ondas gigantes causadas pelo impacto. De acordo com a disposição das várias camadas de sedimentos, concluíram que a colisão do K/T terá sido naquela localização geográfica.

“Interpretamos esta unidade clástica como sendo o depósito de uma onda gigante ou tsunami provocado por um impacto extraterrestre. A unidade clástica contém três subunidades principais. 1) o “leito de esférulas” basal que contém vidros na forma de tectitos e microtectitos (...) mostrando estruturas de choque, provavelmente; 2) “leito laminado” contém diversos detritos incluindo restos de plantas, podendo ser o resultado do retorno de uma onda gigante (...); 3) no topo, vários leitões de “ripples” compostos de finas areias, separados por argilas (...); são interpretados como depósitos de correntes oscilatórias (...). A anomalia de irídio (...) encontra-se por cima do leito de “ripples. (...)”- Smit et al., 1992 (tradução)

Documento 3

EXTINÇÕES EM MASSA

→ CONTROVÉRSIA NA EXTINÇÃO DO K/T- SÉCULO XX

Grupo 2:

Parte da Ficha Informativa sobre a hipótese de vulcanismo intenso como causa para a Extinção em Massa entre o Cretácico e o Terciário- *Hipótese Vulcânica*.

Analise os argumentos a favor da Hipótese Vulcânica referente às Extinções em Massa ocorridas no limite Cretácico-Terciário (K/T).

Os basaltos do Decão e a sua enorme espessura (mais de 1000 metros) chamaram a atenção a um professor de Geofísica da Universidade de Paris, Vincent Courtillot, nos inícios da década de 80. Em 1986 Courtillot e Jean Besse, seu colega de equipa da Universidade de Paris, fizeram importantes estudos que vieram funcionar como impulsionadores da formulação da Hipótese Vulcânica como responsável pela Extinção em Massa, nomeadamente da do limite K/T.

Estes investigadores argumentaram que existe uma relação estreita entre a convecção do manto superior e os movimentos da litosfera. As Extinções em Massa estavam relacionadas com as inversões de polaridade da Terra, tendo ocorrido após longos períodos em que não se verificou essa inversão magnética. Segundo os autores, possivelmente esse fenómeno provocou instabilidades do manto inferior, sendo o resultado um *intenso vulcanismo*. Este, ao libertar grandes quantidades de cinza para a atmosfera, mudou todo o padrão climático e bioquímico da Terra, conduzindo às extinções. Neste sentido, convém referir que Courtillot não rejeitava a ideia catastrofista do sucedido. Ele considerava que o vulcanismo tinha sido de tal forma intenso e com uma duração tais que provocaram a morte de muitas das espécies do planeta naquele período.

Por outro lado, considerava que havia a concentração anormal de um elemento chamado irídio nas lavas de certos vulcões, de maneira que a sua determinação nos sedimentos vinha ao encontro de erupções vulcânicas de grande porte.

“Tem sido geralmente aceite que os eventos de extinção estão relacionados com a colisão de um corpo extraterrestre com a Terra. Contudo, a ideia de uma causa vulcânica não pode ser ignorada. Seria apropriado, à luz dos dados e de modelos aqui propostos, testar a ideia de que as extinções catastróficas estão associadas com vulcanismo catastrófico, com fontes internas primárias.”- Courtillot e Besse, 1987 (tradução)

A crítica mais levantada à ideia de Courtillot e seus colaboradores residia na determinação correcta das idades dos fluxos basálticos. Na tentativa de minimizarem o risco de descrédito, foram actualizando as suas investigações, no sentido de se aproximarem o máximo daquilo que esperavam ser a verdade. Ou seja, que esses basaltos datassem do limite K/T, 65 milhões de anos. Em 1988 o valor apresentado foi entre os 69 e os 65 milhões de anos (Courtillot *et al.*, 1988). Um ano mais tarde cingiram o vulcanismo a 1 milhão de anos de duração, o que já se vinha a apresentar mais próximo do pretendido (Gallet *et al.*, 1989).

“Aqui tentamos testar a hipótese de que os basaltos do Decão podem ter sido os responsáveis pelos eventos observados no limite Cretácico/Terciário estudando as idades do $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de amostras com uma ampla distribuição geográfica. (...) Considerando resultados anteriores e os apresentados, os nossos dados confirmam que a maioria das erupções do Decão ocorreu num curto período de tempo, entre 65 e 69 milhões de anos, provavelmente coincidente com o limite Cretácico/Terciário.”-Courtillot *et al.*, 1988 (tradução)

Mas não foi só Courtillot que se opôs às ideias da colisão de um corpo celeste como causa da rápida extinção em massa do K/T. Charles B. Officer e Charles L. Drake, ambos geólogos, afirmaram em 1983 que as anomalias de irídio encontradas por outros investigadores se poderiam relacionar com fenómenos terrestres. Segundo estes, o extenso vulcanismo, regressões marinhas e alterações geoquímicas, paleoclimáticas e paleoceanográficas seriam os verdadeiros responsáveis pelas extinções no famoso limite K/T. Por entre estes argumentos, salientaram ainda que as extinções foram lentas e graduais.

“Em muitas áreas o limite K-T é marcado por uma inconformidade relacionada com a última grande regressão marinha. O final do Cretácico foi um tempo de grande actividade vulcânica por todo o Pacífico (...) Houve extinções de fauna no limite deste

período, desde corais e organismos plactónicos a dinossauros.”- Officer e Drake, 1983 (tradução)

“O registo geológico do final do Cretácico relacionado com o ambiente indica que o irídio e outros elementos associados não foram depositados instantaneamente, mas durante um intervalo de tempo entre os 10 000 e os 100 000 anos. As evidências geológicas disponíveis são a favor de uma origem mantélica destes elementos e não uma origem meteorítica. Estes resultados estão de acordo com um cenário de intensa actividade vulcânica (...)”- Officer e Drake, 1985 (tradução)*

* Explorar esta frase

A grande opositora das extinções repentinas é Greta Keller, micropaleontóloga da Universidade de Princeton, Nova Jérnia. Nos seus estudos em El Kef, Tunísia, Keller concluiu que a extinção dos foraminíferos planctónicos não ocorrera apenas no limite K/T da anomalia de irídio. Isto porque havia fósseis destes seres acima desse limite o que indicava a sua sobrevivência. O desaparecimento parecia ser sequencial e selectivo, sendo a sua recuperação após a maioria da extinção começado logo após o acontecido. Além disso, verificou-se o aparecimento de espécies novas e maiores, o que não era explicável se tivesse ocorrido um fenómeno único causador de extinção. Pese embora se verificasse um fenómeno de extinção, este iniciara-se bem antes do limite K/T, por isso recusou a ideia colisional. Aceitava, sim, alterações ambientais com consequente variação das correntes marinhas, o que causaria sérios transtornos na oxigenação e aporte de nutrientes às espécies marinhas. O facto da extinção ser selectiva e ter-se iniciado pelas espécies mais complexas, menos tolerantes, era indicador de alterações ambientais. Keller sugeriu causas múltiplas para as extinções que se iniciaram antes do limite K/T.

“O presente estudo sugere um cenário de causas múltiplas, incluindo as extinções do pré-Cretácico possivelmente relacionadas com a produção de águas quentes salinas de fundo e as suas consequências geoquímicas (...).”- Keller 1988 (tradução)

Apesar de não colocar de lado a ideia de uma colisão neste artigo, um ano mais tarde e novos estudos realizados em Brazos River fizeram-na mudar de opinião relativamente a essa hipótese. Keller baseara-se em estudos realizados por Joanne Bourgeois et al. na mesma localidade. Esse grupo havia concluído que a acumulação de

sedimentos tinha resultado de um tsunami originado pela colisão de um bólido na água (Bourgeois et al. 1988). Contudo, Keller neste estudo, referiu que os dois pulsos de extinção ocorreram cerca de 310 000 anos antes e 50 000 anos depois do limite K/T. Por este motivo, discordou da hipótese de uma catástrofe global que tenha causado a extinção do K/T.

John Lyons e Officer analisaram as rochas do limite K/T no Haiti e afirmaram que as sequências interpretadas como sendo depósitos de tsunami não eram mais do que resultantes de correntes de turbidez¹ (Lyons e Officer 1992). Estes cientistas, em conjunto com Arthur A. Meyerhoff, também estudaram a estrutura de Chicxulub, interpretada pelos defensores da hipótese colisional como sendo a cratera da colisão. O resultado de pesquisas permitira-lhes afirmar que, se aquela fosse a cratera de impacto, teria de estar a mais de 10km de profundidade. Mesmo assim, as sequências clásticas representavam depósitos vulcânicos, cujas estruturas lamelares do quartzo são típicas de locais terrestres onde tenha ocorrido vulcanismo ou tectonismo.

“A secção do Cretácico/Terciário do Havai consiste numa gradação sedimentar de correntes de turbidez ou de origem gravitacional. (...) A sedimentologia, a mineralogia e a petrologia das secções do Havai fornecem um registo de uma sequência de eventos provavelmente vulcânicos.”- Lyons e Officer, 1992 (tradução)

¹ Correntes de turbidez- massa de água e sedimentos que desce por uma encosta abaixo até ao fundo de um oceano ou lago porque é mais densa do que a água circundante. Pode atingir altas velocidades e tem forte poder erosivo.

Documento 4

EXTINÇÕES EM MASSA

A fim de que este tema das Extinções em Massa não fique restrito à extinção mais mediática do Cretácico /Terciário, propomos a análise e posterior investigação por pequenos grupos de trabalho das outras Extinções em Massa que foram ocorrendo ao longo do Tempo Geológico.

Para que este propósito seja atingido, analisar-se-á em turma o documento 4. Posteriormente, a turma será dividida em pequenos grupos que terão a tarefa de elaborar uma pequena pesquisa sobre uma das seis grandes Extinções, excluindo a já anteriormente abordada. De seguida, cada grupo irá propor uma causa para a extinção sobre a qual pesquisaram. A nível de apresentação oral, cada grupo poderá utilizar a Caixa Cronológica, material utilizado ao longo deste trabalho, por entre outros que os mesmos considerem pertinentes.

Parece-nos que este envolvimento dos alunos numa pesquisa para posterior apresentação “pública” lhes confere uma maior responsabilidade cognitiva e afectiva. Com isto, surgirão igualmente as naturais controvérsias da comunidade científica no respeitante às outras Extinções em Massa, reforçando o que vimos a defender desde o início deste trabalho.

→ EXTINÇÕES AO LONGO DO TEMPO GEOLÓGICO DA TERRA

Reunido com o teu grupo de trabalho, pesquisa nos livros fornecidos pela docente, na biblioteca da escola, na internet e nas seguintes fichas, a informação necessária para a elaboração de uma apresentação sumária sobre uma das grandes Extinções em Massa ocorridas na História da Terra.

Analisa a caixa acrílica e, em reunião de turma com a docente, escolhe a Extinção em Massa que te compete investigar conjuntamente com o teu grupo.

Sugestão de trabalho: não deixar nunca de reflectir sobre a informação recolhida e de dialogar com o resto do grupo. Não te esqueças que a Ciência é uma área que está sempre em aberto e não é fechada em si mesma.

Informação sobre Extinção em Massa do final do Câmbrico:

A primeira Extinção de espécies terá ocorrido há cerca de 505 milhões de anos, no final do Período Câmbrico. A extinção deste Período parece ter durado alguns milhões de anos, caracterizada pelo desaparecimento de trilobites, que após o fluxo degenerativo sofria um novo incremento e voltavam a prosperar nos mares do início do Paleozóico. De qualquer forma, a aparência destes seres foi sofrendo modificações ao longo do tempo, só se extinguindo totalmente no final do Pérmico, há cerca de 248 milhões de anos.

Procurou-se encontrar vestígios de irídio que datassem desta altura, por forma a justificar os vários pulsos de extinção no Câmbrico, mas não foi detectado tal anomalia. Foi contudo detectado a existência de uma superfície de erosão na América do Norte, o que indica uma forte superfície de drenagem nessa altura. Ou seja, parece ter havido uma descida do nível do mar. Para que tal suceda, é necessário que a água seja acumulada noutros locais e num diferente estado físico: a formação de glaciares. O clima começou a sofrer um arrefecimento de tal forma que a maioria dos mares pouco profundos desapareceu nesta passagem do Câmbrico para o Ordovícico.

Informação sobre Extinção em Massa do final do Ordovícico:

Esta Extinção ocorreu há cerca de 439 milhões de anos. Segundo um estudo realizado por Peter M. Seehan em 2001 a extinção do final do Ordovícico aniquilou cerca de 85% das espécies marinhas (braquiópodes, conodontes, trilobites, briozoários, nautilóides e corais). Este fenómeno caracterizou-se por ter sofrido dois patamares de extinção relacionados com o período glacial que ocorreu nessa altura. O primeiro pulso de extinção iniciou-se quando o clima frio chegou, e o segundo quando o período glacial terminou. Ou seja, a causa para esta ocorrência que afectou tantas espécies foi essencialmente a glaciação e as consequências que esse evento aportou. Salientamos, como alterações, as mudanças nas correntes oceânicas, diminuição das áreas epicontinentais e o arrefecimento geral do clima que afectou as espécies da base da cadeia alimentar.

Este acontecimento parece ter sido relativamente rápido em termos geológicos e, além disso, a deslocação das massas continentais prosseguia de forma notória. O continente Gondwana deslocou-se para o Pólo Sul, tendo proporcionado a acumulação de grandes massas de gelo numa vasta área continental. Este evento teria baixado o nível geral do mar.

Informação sobre Extinção em Massa do final do Devónico:

O final do Devónico, há aproximadamente 353 milhões de anos, também é caracterizado pelo desaparecimento de espécies de forma abrupta. Hugues Leroux e seus colaboradores propuseram que a causa desta extinção poderá centrar-se num fenómeno colisional tal como o proposto para o final do Cretácico. A presença de brechas expostas em Alamo, numa área de 4000km², levantou a suspeita de um fenómeno colisional de alta velocidade, além de haver microestruturas com padrões planares sugestivas de metamorfismo de choque (Leroux, 1995). Contudo, tratou-se de uma extinção que também afectou uma grande parte de espécies marinhas (braquiópodes, trilobites, amonites, conodontes e corais). Steven Stanley considerou que ocorrera, em semelhança com o evento do Ordovícico, um fenómeno de arrefecimento geral do planeta. Para fundamentar as suas afirmações, este investigador verificou que, de acordo com estudos de James Hall, havia espessas sequências de arenitos e xistos nos estados Unidos da América, justificáveis pela erosão das montanhas dos Apalaches. A causa de tão grande erosão deveria ter sido a fusão de glaciares que se haviam formado na região (Stanley, 1987).

Informação sobre Extinção em Massa do final do Pérmico:

A extinção que ocorreu no final do Pérmico, há cerca de 248 milhões de anos, provocou o desaparecimento de cerca de 90% das espécies oceânicas, e na terra 2/3 dos répteis e anfíbios e 30% dos insectos pereceram. Douglas H. Erwin considerou esta a “mãe das extinções em massa”, pela dimensão atingida. Segundo este investigador, a causa para esta extinção não é uma única. Considera sim, causas múltiplas, estando elas associadas à fragmentação da Pangea e à diminuição do nível do mar em muitas regiões. Além disso, deve ter havido muito vulcanismo na altura, com conseqüente anóxia das águas e os três factores conciliados provocaram alterações climáticas causadoras do colapso biológico (Erwin, 1996). Anos mais tarde, Erwin e outros cientistas, associaram esta extinção com os basaltos continentais da Sibéria, que datavam da mesma altura. O facto da extinção do final do Pérmico ter sido selectiva, afectando em primeira instância determinadas espécies, revela que as condições ambientais sofreram mutações. Estas poderão ter sido induzidas pelo vulcanismo em larga escala, alterações ambientais e até mesmo uma colisão de um corpo extraterrestre, havendo dados provenientes de estudos que corroboram com esta ideia.

Rampino e um grupo de cientistas estudaram, em 2002, a extinção do final do Pérmico, tendo-a classificado de abrupta. Ora, um registo biostratigráfico que guarda um padrão de extinções repentinas com menos de 10 milhões de anos levanta novamente a suspeita de uma catástrofe nessa transição (Rampino *et al.*, 2002).

Informação sobre **Extinção em Massa do final do Triássico:**

Relativamente à extinção do final do Triássico, há cerca de 205 milhões de anos, L.H. Tanner e outros cientistas postularam, em 2004, que o sucedido nesta altura esteve relacionado com grandes alterações climáticas, possivelmente induzidas por colisões de corpos celestes e por extenso vulcanismo. Salientaram ainda que não havia vestígios de crateras de impacto que datassem desta altura, mas encontraram-se fortes locais candidatos a estarem relacionados com o sucedido. Nesta extinção, os autores sugeriram que terá havido uma série de factores associados que contribuíram para o desenlace final, a extinção generalizada.

Na Austrália, parecia haver vestígios de glaciação datada do final do Triássico, o que só veio dar mais sentido à ideia de que as extinções dessa época foram ocasionadas por um período muito frio atravessado pela Terra (Spenceley, 2001). Hallam, em 1990, havia tomado uma posição diferente destas ideias, argumentando que as extinções do final do Triássico não se deveram nem a fenómenos glaciários, nem a fenómenos colisionais, mas sim a fenómenos transgressivos e regressivos do mar, originados por actividade vulcânica intensa.

Informação sobre **Extinção em Massa do final do Cretácico:**

Extinção em Massa na qual se extinguiram os Dinossauros para além de outras espécies aquáticas e terrestres. Foram propostos dois mecanismos de extinção distintos. Assunto abordado em maior profundidade em aulas anteriores- consultar.

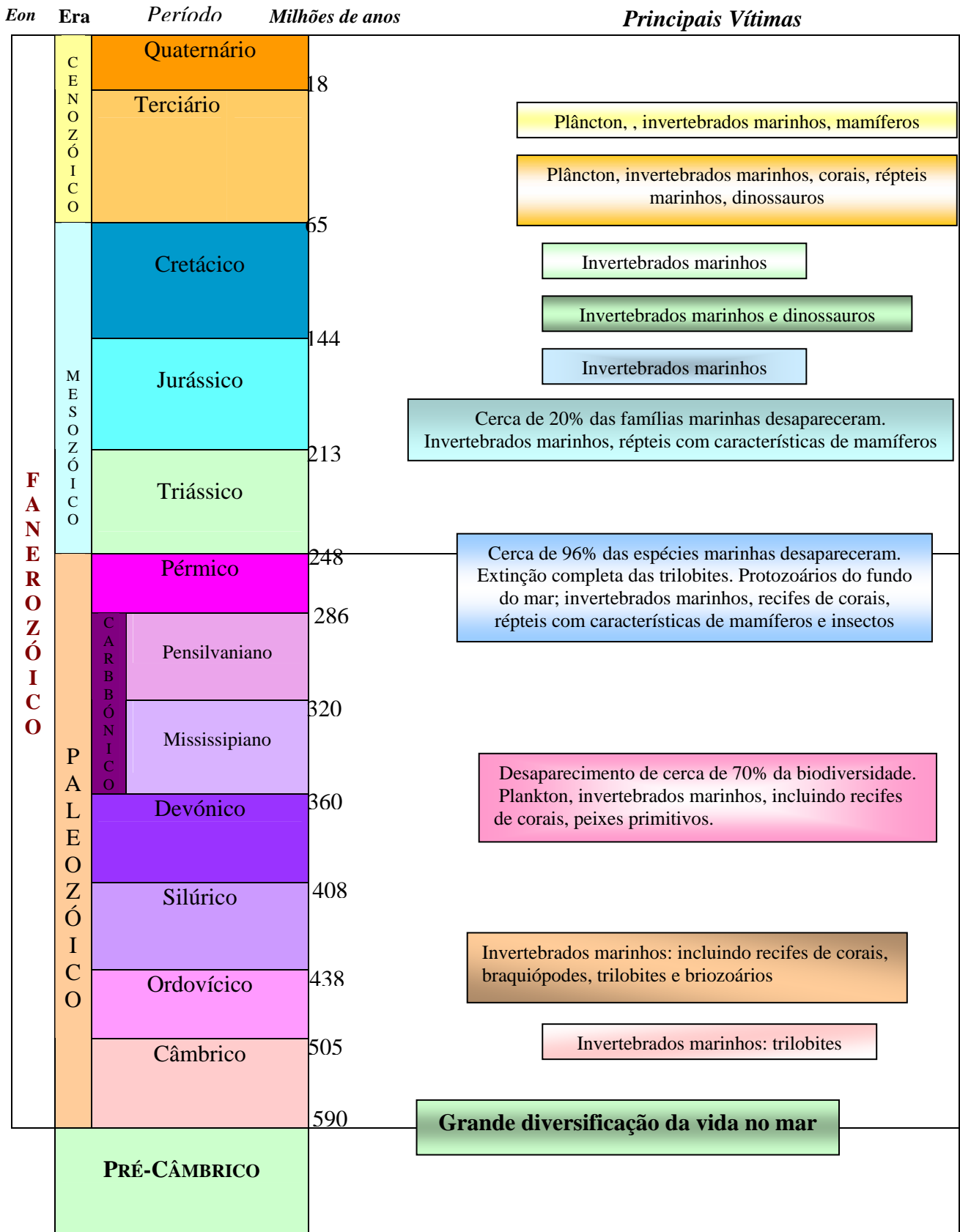
Informação sobre **Extinção em Massa do final do Eocénico:**

A ligação estabelecida entre outras extinções e fenómenos colisionais foi abordada em 2004 por Bernd Bodiselitsch e outros investigadores. Ressaltaram a extinção do final do Eocénico, há cerca de 38 milhões de anos, como tendo sido causada por impactos múltiplos, que poderão ter durado cerca de 2,2 milhões de anos. Estes poderão ter sido os

causadores de alterações climáticas drásticas, que se reflectiram na alteração dos níveis de oxigénio nas águas marinhas, para além de algumas porções continentais passarem a estar rodeadas de água. As modificações assim induzidas causaram uma das grandes extinções em massa de que há registo na história da vida na Terra.

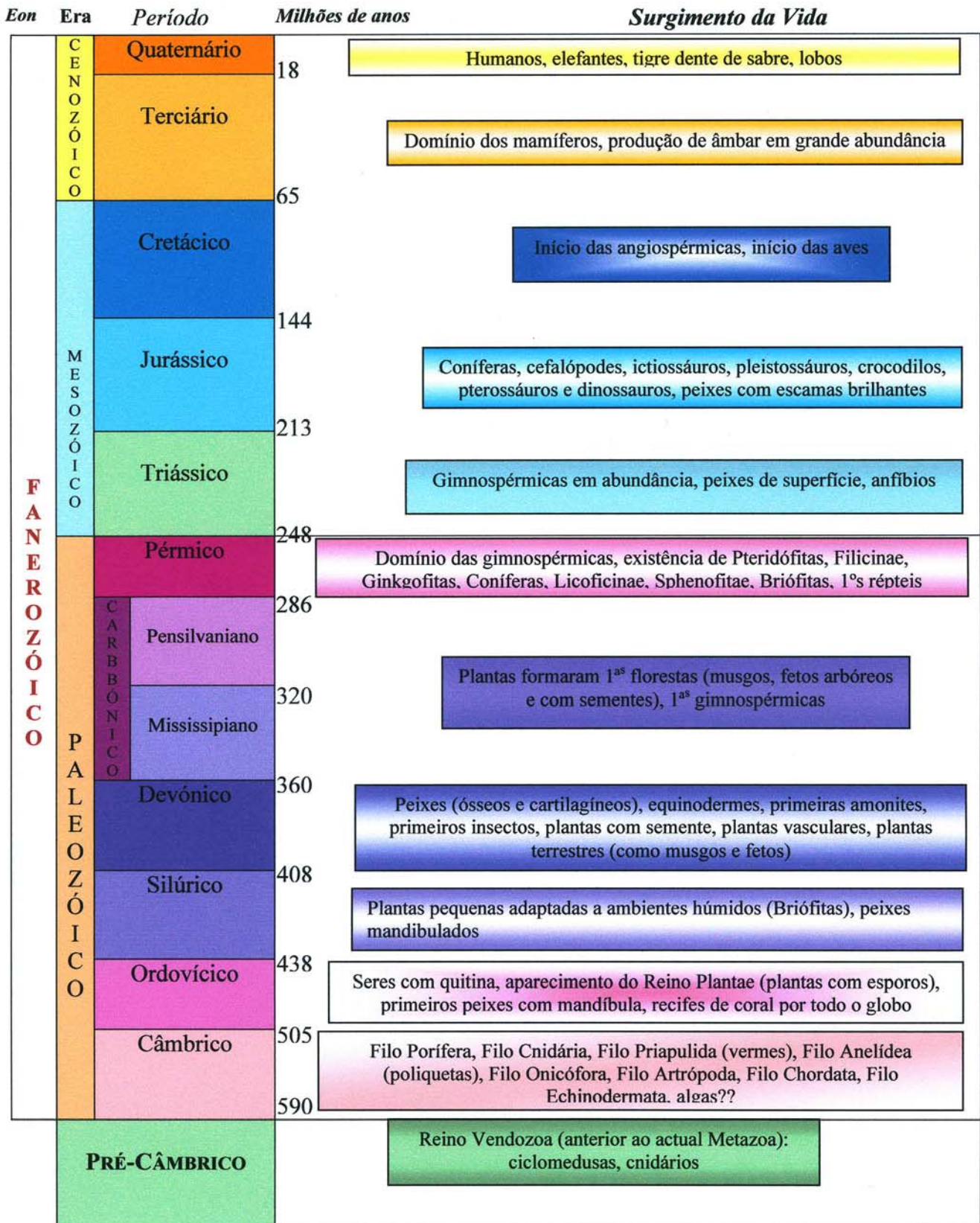
M. MacLeod havia estabelecido esta relação em 1990. Segundo este geólogo não havia vestígios de que no final do Eocénico tenham ocorrido impactos de corpos celestes com a superfície da Terra. Os foraminíferos plactónicos iniciaram a extinção antes do final do Eocénico, pelo que não vê relação possível com impactos, apesar das mudanças climáticas poderem ter sido induzidas por fenómenos colisionais (MacLeod, 1990). De outra opinião partilha Montanari, que vê uma relação mais próxima entre as colisões deste período e as extinções (Montanari, 1990).

CALENDÁRIO DAS EXTINÇÕES EM MASSA



(adaptado de Berggren, W., Van Couvering, J. A., 1984; Berry, W.B.N., Ripperdan, R.L., Finney, S.C., 2002, Hallam, Wignall, 1997; Sandberg, C.A., Morrow, J.R., Ziegler, W., 2002; Schopf, 1992; Sheehan, P. M. 2001; Stanley 1987, 1993)

CALENDÁRIO DO SURGIMENTO DAS DIVERSAS FORMAS DE VIDA



História das Ideias sobre as Extinções em Massa

**Werner
1749-1817**

- A Terra sofreu grandes revoluções;
- Houve um estado geral de inundação e posterior seca da superfície;
- Os fósseis de seres marinhos encontrados nas altas montanhas levam a supor que o referido oceano primitivo chegava a cobri-las.

**Hutton
1726-1797**

- Os processos que actuam na Terra são graduais;
- Fenómenos vulcânicos são dotados de grande intensidade. A ideia de um oceano primitivo parece descabida. Discorda de Werner;
- Os factores que actuam na Terra são os mesmos do passado.

**Cuvier
1769-1832**

- Fósseis de seres extintos no alto de montanhas, indicam que se extinguiram por fenómenos catastróficos;
- Estudou fósseis de vertebrados terrestres. Torna-se mais fácil argumentar, tendo por base a comparação, que uma catástrofe terminou com a sua existência;
- Discorda das ideias de Hutton.

**Lyell
1797-1875**

- Critica a teoria de Werner, argumentando que a lenta erosão origina as diferentes configurações topográficas;
- As causas actuais são as mesmas que actuaram no passado. Para tal é necessário muito tempo.

**Darwin
1809-1882**

- Concorda com Lyell no que respeita à dimensão do tempo geológico;
- Aceita igualmente que os processos actuais são os mesmos que actuaram no passado;
- Estudo dos fósseis leva-o à formulação da Teoria da Evolução Biológica das Espécies.

“(...) As the waters which formerly assisted in supporting the mass of the mountain began to lower their level (...)”.

“(...) Those variously alternated strata had been gradually formed (...)”.

“Numberless living beings have been the victims of these catastrophes (...)”

“(...) and the fact confirms the uniformity of the action of subterranean forces, instead of their greater violence in the primeval ages (...)”

“(...) was brought up to its present level by a slow and often uninterrupted movement (...)”.

Hipótese Colisional

Argumentos a favor de

Grupo Alvarez (1980):

Sugeriu a teoria da colisão de um corpo extraterrestre como causa da extinção em massa no limite Cretácico/Terciário. Uma anomalia de Irídio (Ir) encontrada nas argilas de Gubbio (Itália), elemento encontrado em pequena quantidade na Terra, mas em elevada concentração nos meteoritos, esteve na base da hipótese. A análise isotópica indicou que o Ir não se desviava do padrão dos corpos extraterrestres e o grupo concluiu que o elemento poderia ter origem no sistema solar e não no planeta Terra. Se a origem do Ir tivesse a ver com uma concentração do elemento nas águas do mar, então no passado deveria ter havido mais Ir, o que não lhes pareceu provável pois não havia indícios de tal ocorrência. O registo de fósseis apresentava uma alteração súbita de foraminíferos, substituída por outra, sendo compatível com uma extinção repentina.

Jan Smit (1980):

Fez estudos paleontológicos e verificou que houve um desaparecimento abrupto dos vestígios fósseis de foraminíferos planctónicos e nanofósseis, nas margas de Caravaca (Espanha). Segundo as suas investigações, o desaparecimento decorreu ao longo de, aproximadamente, 200 anos. A existência de irídio e de ósmio, nos registos datados do limite K/T, não poderiam ser coincidência, estando por isso, relacionados. Para Smit a origem destes elementos não parecia ser terrestre.

Bruce Bohor (1984):

Argumentou que foram encontradas anomalias de irídio não só em sedimentos marinhos como continentais. Dessa forma contrapôs a ideia de que a origem do irídio pudesse ser marinha. O quartzo encontrado nos calcários de idade K/T apresentava estruturas lamelares que não apareciam em tufo vulcânicos. Este tipo de estrutura lamelar do quartzo estava ligada a estruturas metamórficas de choque associadas a colisão de meteoritos e suas crateras de impacto. Nos seus estudos verificou que esse quartzo era do tipo Stishovite, um mineral de alta pressão, corroborando com a ideia colisional.

Bruce Bohor (1987):

Bohor verificou que as esférulas presentes no caulino eram ôcas, lisas e perfeitamente esferoidais. Ou seja, a sua formação esteve relacionada com um impacto, em que partículas foram projectadas na atmosfera e solidificaram rapidamente. No estudo dos fósseis de vegetais verificou que estes sofreram um desaparecimento acima da camada de caulino. Por outro lado, a presença de fósseis de esporos de um determinado tipo de fetos acima da camada de caulino indicava um repovoamento de um terreno desnudado.

Hildebrand et al. (1991):

Sugeriram que a estrutura circular da península de Yucatan no México, com um diâmetro de cerca de 180km, poderia ser a cratera de impacto do K/T. Segundo os autores, a sequência de rochas andesíticas com vidros intercalados com brechas, indicava metamorfismo de choque. A composição química e isotópica das rochas andesíticas era semelhante aos tectitos encontrados no ejecta com idade K/T.

Smit et al. (1992):

Analysaram os sedimentos e os fósseis da região do México e concluíram que eram da idade do final do Cretácico. Segundo os seus estudos verificaram que não houve correntes de turbidez nas sequências analisadas: na base, uma camada com esférulas e grãos de quartzo de choque; a seguir depósitos gradados com clastos e restos de plantas, o que parecia resultar do refluxo de uma onda, que trouxe detritos da zona costeira; no topo várias "ripple bed", de areia fina e de argilas, resultantes de correntes oscilatórias. Estes estudos corroboravam com a ideia de um impacto seguido de tsunami. Os autores detectaram que a anomalia de Ir encontrava-se por cima das "ripple beds". Sugeriram ainda que o impacto ocorrera perto da península de Yucatán.

C. Officer e C. Drake (1983):

Encontraram vestígios fósseis que indicavam uma transição faunística que implicava um longo período de tempo e não instantânea como defendia o grupo Alvarez e Smit.

Como exemplo, os autores referiram que os dinossauros extinguiram-se 400 K anos mais tarde do que a transição dos microfósseis do Gubbio.

Detectaram a associação do irídio e da platina com a pirite, o que os levou a supor uma origem marinha para esses elementos. Lançaram a ideia de que por um processo geoquímico, houve a concentração desses elementos nas argilas do Gubbio. Ou seja, o irídio não teve uma origem extraterrestre.

Argumentos a favor de

Hipótese vulcânica

Officer e Drake (1985):

Argumentaram que a deposição do material rico em irídio iniciou-se 40 cm abaixo do limite dito do K/T. Isto é, iniciou-se cerca de 7000 a 150 000 anos antes.

Os autores referiram que não houve deposição instantânea de irídio, para além das lavas do vulcão Kilauea (Havai) também apresentarem a presença desse elemento.

Em contraposição com Bohor, afirmaram que as esférulas apareciam acima e abaixo do limite K/T, não estando por isso relacionadas com um fenómeno único de colisão.

A grande crítica que os autores apresentaram ao grupo Alvarez foi a inexistência de uma cratera conhecida que preenchesse os requisitos para uma colisão de um corpo de grandes dimensões.

Greta Keller (1988):

Afirmou que as espécies plactónicas iniciaram o seu processo de extinção 25 cm antes do limite K/T, prolongando-se a extinção acima do limite K/T.

Segundo Keller, não houve extinção total das espécies planctónicas e verificou-se uma extinção selectiva das espécies, sendo a explicação catastrófica causada por impacto, ineficaz para justificar o fenómeno.

Verificou ainda que as primeiras espécies a desaparecer foram as do fundo do mar o que, segundo a autora, se devia a alterações geoquímicas dessas águas, causadas por fenómenos vulcânicos continuados

Lyons e Officer (1992):

Os autores argumentaram que se tivesse havido a colisão de um corpo que provocasse uma cratera com cerca de 200km de diâmetro, a profundidade da cratera deveria ser de 10km, o que não se verifica.

A acrescentar, salientaram que a sequência de sedimentos analisada não correspondia à original, pelo que poderiam ter ocorrido fenómenos gravitacionais (correntes de turbidez) que remexeram os sedimentos.

Por outro lado, o Irídio poderia ter origem vulcânica, uma vez que fora encontrado em vários locais vulcânicos do globo, tal como o quartzo deformado poderia ter origem tectónica.

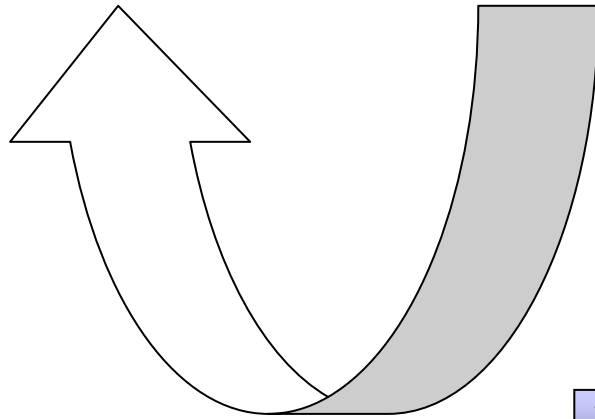
Segundo os seus estudos, as camadas de sedimentos que Hildebrand estudara no Haiti pareciam ter origem vulcânica e não colisional, como aquele defendera.

Vincent Courtillot e Jean Besse (1986):

Afirmaram haver relação entre o campo magnético terrestre e a ocorrência de fenómenos intensos de vulcanismo.

Segundo os autores, a relação estabelecida entre a convecção do manto superior e a litosfera poderia estar na origem da quebra dos continentes e sua posterior separação. As extinções em massa ter-se-iam seguido a longos períodos em que não houve inversão do campo magnético terrestre. Nestes períodos em que não ocorreu este fenómeno, o limite do núcleo com o manto pareceu atingir um espessamento invulgar, bem como um acréscimo termal, quebrando e conduzindo à formação de numerosas plumas mantélicas.

De acordo com os seus estudos, o resultado foi pois, um vulcanismo em larga escala, que pôde ter resultado em alterações do clima, conduzindo às extinções em massa. Os basaltos do Decão (Índia) constituíam um dos maiores depósitos vulcânicos da Terra e extruíram no limite K/T em menos de 0,5 milhões de anos, sendo esta a maior catástrofe vulcânica de que se tinha conhecimento nos últimos 200 M.A.. O ponto quente que gerou estes basaltos, possivelmente encontra-se agora em Réunion.



Erwin, Bowring e Yugan (2002):

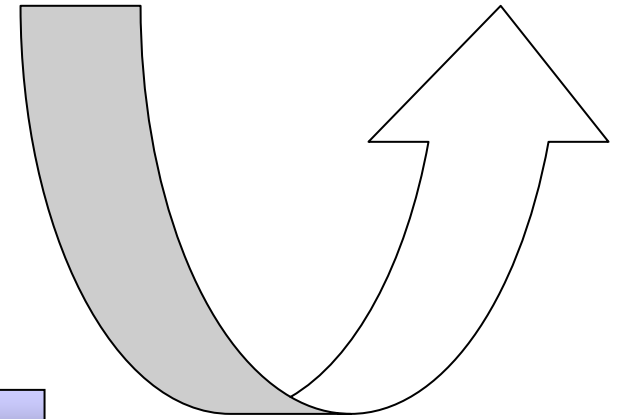
Afirmaram a existência de extinções catastróficas. Segundo os autores a extinção do final do Pérmico era coincidente com a erupção dos basaltos da Sibéria. Contudo, a anóxia dos mares também poderia estar relacionada com um fenómeno colisional.

Cockell (2003):

O autor associou os fenómenos colisionais aos vulcânicos, não excluindo a possibilidade de uma relação entre os dois acontecimentos.

Prokoph et al. (2004):

Os autores afirmaram que se podiam associar os fluxos basálticos com impactos de corpos extraterrestres.



Catastrofismo/Uniformismo

A EVOLUÇÃO DE UM CONCEITO NO SÉCULO XIX

CATASTROFISMO

Richard Kirwan (1733-1812)

Opôs-se às ideias de Hutton e defendia o Dilúvio Universal como explicação de evidências geológicas.

Barão de Cuvier (1769-1832)

Foi um grande naturalista, realizando importantes estudos de anatomia comparada de seres contemporâneos e de fósseis. Chegou à conclusão que a Terra sofrera revoluções catastróficas que provocaram o desaparecimento de espécies ao longo do tempo.

William Buckland (1784-1856)

Foi professor de Charles Lyell, defendendo durante a maior parte da sua vida a ideia do Dilúvio Catastrófico. Tentou conciliar os factos Geológicos com os descritos na Bíblia. Só no final da sua vida é que se rendeu ao Uniformismo.

UNIFORMISMO

James Hutton (1726-1797)

Considerado o fundador da Geologia Moderna. Defendeu o gradualismo, ou seja, as causas actuais foram constantes ao longo do vasto tempo geológico, sendo contra as catástrofes.

Charles Lyell (1797-1875)

Um eminente naturalista, opositor das catástrofes como explicação para determinados fenómenos terrestres. Fundador da corrente Uniformista que progressivamente foi dominando o meio científico dos meados do século XIX. O Uniformismo defende que os fenómenos naturais foram constantes e uniformes ao longo do tempo geológico.

Charles Darwin (1809-1882)

Influenciado pelas ideias de Lyell, realizou importantes estudos geológicos que corroboravam com as ideias do Uniformismo. Ao apresentar as suas ideias sobre a evolução das espécies, novo impulso foi dado no sentido da aceitação do Uniformismo e aniquilação do Catastrofismo.

Capítulo V

ANÁLISE- RESULTADOS E SUA INTERPRETAÇÃO A NÍVEL DAS PRÁTICAS

INTRODUÇÃO

Nesta fase propomo-nos realizar uma análise e interpretação dos resultados que obtivemos, após a intervenção a nível da sala de aula, quer no âmbito das estratégias quer no que se refere a documentos últimos às controvérsias das Extinções em Massa. Pretendemos traçar o panorama de todo um trabalho realizado ao longo de cerca de 9 horas com os alunos, num estudo que nos parece pertinente e cuja análise poderá ter repercussões futuras.

Embora tenhamos construído materiais para três temas que são fundamentais, sem dúvida, para quem estuda Geologia, não dispusemos das condições necessárias para o fazer em plenitude. Assim, vimos a necessidade de proceder à opção acima referida, aplicando apenas os materiais referentes às *Extinções em Massa*.

As ideias quando passam à prática ganham outra vida e sentido, pelo que superam, muitas vezes, as nossas intuições iniciais. Com efeito, os alunos enquanto indivíduos dotados de emoções e de capacidade reflexiva participaram com agrado, o que facilitou a aplicação dos materiais didácticos que construímos. Esta postura por parte dos discentes foi a desejável e reconhecemos que foi vantajosa. Não podemos, porém, esquecer a riqueza da controvérsia que se encontra patente e que é fundamental para manter a sua atenção e interesse. No fundo, essa foi a nossa intenção, permitir, ajudá-los na construção do *conhecimento científico discente*, de uma forma algo diferente, em que as emoções estão presentes e, como tal, fazem parte intrínseca, o raciocínio e a reflexão.

Clarificamos também a metodologia didáctica utilizada para a aprendizagem de conteúdos programáticos, utilizando controvérsias científicas criteriosamente seleccionadas. Faremos ainda referência às dificuldades que foram emergindo ao longo deste processo. O facto de terem participado alunos colaboradores nesta actividade, cuja tarefa foi fornecer um primeiro “feedback”, merece ser referida. A validade do processo passou inicialmente por aqui. Esta análise revela-se fundamental para que dela possam emergir conclusões que se desejam ver como uma possível realidade a ser utilizada, com mais frequência nas práticas dos professores.

I- ANÁLISE CRÍTICA DAS AULAS

Tendo como base de análise a aplicação dos documentos construídos para este estudo, antes de prosseguirmos, convém salientar que os materiais aplicados na sala de aula referem-se à questão das *Extinções em Massa*. Optámos por este caminho, uma vez que as dificuldades de tempo tomaram um papel preponderante. Por um lado, os alunos deparam-se com os exames estipulados pelo Ministério da Educação. Por outro, a complexidade dos conteúdos exige uma certa intervenção didáctica que pode exigir maior utilização de tempo de aula. Mesmo assim, será oportuno referir que, a limitação que nos foi imposta não impediu uma adequada concretização das tarefas a que nos propusemos.

Um outro aspecto que ainda não referimos é o facto do programa do Ensino Secundário para a disciplina de Biologia e Geologia ser muito extenso e, como tal, não poderíamos aplicar os documentos para as três controvérsias sem atrasar em demasia o normal percurso destas aulas. Não é de toda nossa intenção prejudicar o processo ensino/aprendizagem, mas sim melhorá-lo. É nossa convicção que mesmo aplicando apenas o conjunto de documentos referentes às Extinções em Massa, conseguimos recolher dados suficientes para as conclusões que apresentamos no Capítulo VI. Na verdade, a dinâmica tomou proporções tais que nos permitiram extrapolar, com cuidado, os resultados para as outras controvérsias então seleccionadas.

Também podemos referir que optámos pela questão das Extinções em Massa, porque se trata de um assunto menos explorado (nesta perspectiva da controvérsia), já que os restantes foram tratados em outros trabalhos da investigação. Apesar desta ser mais uma justificação a acrescentar à argumentação acima descrita, não podemos desprezar o facto de esta ser uma temática aliciante que, em nosso entender, trouxe conhecimentos mais apelativos aos alunos, suscitando maior curiosidade pela Geologia.

Em boa verdade, os meios de comunicação social “movem” muito as mentalidades. A ideia da colisão de um corpo extraterrestre com a superfície terrestre é tão falada que, mesmo para aqueles que não a consideram provável, o imaginário revela-a presente. A natureza humana, movida por desejos e paixões, gosta de tudo o que seja misterioso e inexplicável ou explicável, ainda que por causas catastróficas. Neste sentido, parece-nos ter sido felizes em optar por esta temática para apresentar, discutir, argumentar através dos materiais didácticos desenvolvidos em sala de aula.

Antes de passarmos à análise dos materiais propriamente ditos faremos uma breve caracterização dos alunos colaboradores e das turmas do 10º ano de escolaridade envolvidas no estudo. Assim, os alunos colaboradores foram seleccionados não só devido à afinidade com a docente, mas também pelo ano que frequentavam. Ou melhor, apesar de frequentarem a mesma escola não tinham tido a disciplina de Biologia e Geologia. Pensamos que desta forma igualamos as condições envolventes do meio escolar. As idades dos alunos colaboradores rondavam as dos alunos do estudo concreto, para além de terem as mais variadas aspirações futuras, que passavam pela finalização do 12º ano de escolaridade e pela continuação de estudos para o Ensino Superior. O empenho destes alunos foi notável, pelo que consideramos pertinente ressaltar um agradecimento especial aos mesmos, pela interacção que nos permitiu reflectir sobre a forma de aplicar os materiais.

Com efeito, nesta fase prévia do estudo, apresentamos os materiais dos três temas aos alunos colaboradores. O “feedback” que recebemos foi agradavelmente positivo. Ou seja, os alunos consideraram pertinente a utilização de controvérsias no estudo e aprendizagem de conceitos algo complexos como o Tempo Geológico, a Deriva Continental e Tectónica de Placas e as Extinções em Massa. Porém, o que mais lhes agradou foi a questão das Extinções em Massa.

Aluno A- “Gostei muito das Extinções em Massa. É um tema que chama a atenção e já ouvimos falar tanto dele que ao ver esta nova visão é bom!”

Aluno B- “Acho que nem temos consciência que existe história nas Ciências e é importante (...).”

Estes alunos referiram ainda que, devido à complexidade dos temas teria de ser permitido aos outros alunos a utilização de várias aulas para a boa concretização dos objectivos inicialmente propostos. De facto, foram utilizadas cerca de 9h para a aplicação dos materiais referentes às controvérsias estudadas na prática, as das Extinções em Massa. Sem dúvida, consideramos pertinente este estudo prévio, pois permitiu-nos reajustar não só as estratégias levadas a cabo nas aulas, referentes ao estudo principal, como também a questão do estudo em casa pelos alunos das turmas envolvidas.

Aluno C- “Acho que os seus alunos vão ter de ter mais tempo para conseguirem entender estes textos. São completos e nós aqui somos só seis, mas a professora vai ter mais. Se eles também estudassem os textos em casa, ajudava.”

Aluno D- “Os textos não são assim tão simples. É preciso tempo para se perceberem bem, e de preferência com a ajuda da professora.”

Os alunos colaboradores sentiram que era fundamental a leitura dos textos em casa para que as estratégias prosseguissem mais satisfatoriamente. Os novos termos e a nova informação tem de ser processada com o devido tempo para que sejam conseguidos os propósitos anteriormente definidos (Capítulo I). Vimo-nos numa encruzilhada aquando da aplicação dos materiais didácticos com mais tempo do que havíamos previsto inicialmente. Tendo presente que se pretendeu uma modificação duma determinada visão de Ciência, tivemos de nos cingir às evidências e reajustar a intervenção didáctica.

Muito embora os alunos tivessem gostado de realizar as tarefas semelhantes a puzzles (ver capítulo IV), o que mais salientaram foram os teatros e o debate sobre as Extinções do Cretácico/Terciário (K/T).

Aluno E- “Acho que a ideia do debate é muito boa! Podermos interagir uns com os outros e defender uma ideia como se fizessemos parte de um grupo que estuda este tema.”

Aluno F- “Gostei de ver os painéis onde víamos todos os autores. Ajudou a clarificar as ideias.”

Aluno C- “(...) os teatros também são formas agradáveis de aprender a matéria (...)”.

De seguida passamos à análise propriamente dita do nosso estudo em contexto de sala de aula, que como já o referimos no Capítulo III incluiu duas turmas do 10º ano de escolaridade. Assim, estas turmas envolvidas no estudo receberam muito bem a notícia de que iriam participar num trabalho de investigação ligado à Universidade de Aveiro, bem como os seus Encarregados de Educação que autorizaram a gravação áudio e o registo fotográfico das aulas. As duas turmas apresentavam algumas características diferentes, o que nos permitiu, como veremos adiante, evidenciar desenvolvimentos de estratégias diferenciadas. Entretanto, quanto à caracterização das mesmas, remetemo-la para o Capítulo III.

De seguida, analisamos os resultados obtidos aquando do desenvolvimento do estudo, que decorreu no mês de Outubro de 2005, aula por aula, cada uma com a duração de 90 minutos.

ANÁLISE DA PRIMEIRA AULA NAS TURMAS A E B

Na primeira aula foi utilizada a primeira estratégia e o Documento 1 (ver Capítulo IV). A dinâmica inicial foi induzida pela apresentação do resumo da película cinematográfica “*O dia depois de amanhã*” (do original inglês “*The day after tomorrow*”). Foi pela sua actividade constante, onde se abordavam assuntos mediáticos como as alterações climáticas súbitas e repentinas e uma comunidade científica inicialmente crítica face a um cientista, que se conseguiu a atenção dos alunos da turma, de tal forma que o diálogo que se seguiu, fluiu facilmente. Por outro lado, a utilização do filme tinha outra finalidade, a de estabelecer uma comparação da forma de encarar as situações na actualidade com a forma de pensar do século XIX. Além do mais, tudo o que é visual retém-se mais facilmente, pelo que a utilização do filme visava o não esquecimento da temática que se iria abordar, as *Extinções em Massa* e as suas causas catastróficas ou não.

Logo após o visionamento da película cinematográfica a investigadora estabeleceu um diálogo de análise do conteúdo da mesma, estando a partir desse momento iniciado o percurso de construção do conhecimento científico dos alunos. Pretendemos com esta estratégia introduzir o tema das “Extinções em Massa” e do Catastrofismo.

Pela participação dos alunos fomos levados a pensar que esta estratégia inicial surtiu o efeito introdutório que pretendíamos, ou seja, o de centrar as atenções nas mudanças catastróficas do planeta. Notámos que os alunos gostaram da estratégia inicial porque focava assuntos do seu interesse e que constituíam e ainda constituem foco de preocupação pela comunidade em geral.

Por outro lado, este foi um modo de se introduzir uma forma de pensar a natureza nos nossos dias, o que veio a revelar-se “semelhante” com a forma de pensar dos naturalistas do século XIX. Por outro lado, as consequências das mudanças climáticas, da poluição provocada pelo Homem e da destruição da Vida foram emergindo ao longo das conversas.

“Professora (Prof.)- Repararam que em Deli, na Índia, onde habitualmente faz calor, estava a nevar. Na China caiu pedaço do tamanho de bolas de ténis. Entretanto no mar do Norte a temperatura baixou 6°C, assim repentinamente. Ou seja houve alterações súbitas por todo o planeta.

Aluno 1- Mas é o que se está a passar na realidade. O clima está a mudar...

Prof.- Infelizmente devido a muitos erros do Homem, a atmosfera terrestre está com mais gases de efeito de estufa, o que tem vindo a alterar os climas...

Aluno 2- E muitas espécies estão em risco de desaparecer...

Prof.- Exactamente. Este filme retracta um pouco estas alterações, mas de uma forma ficcionada e francamente espectacular...

Este é um filme actual, foi feito há cerca de dois anos.”- Turma A

“Prof.- Após a visualização deste excerto de filme, que ideias é que vos ficaram?

Aluno 3- Que o planeta está a sofrer alterações climáticas...

Aluno 4- E que as alterações estão a ocorrer em todo o planeta.

Aluno 5- Parece que vai haver uma catástrofe!

Prof.- Repararam que o filme é uma produção actual, tem cerca de dois, três anos?! Esta forma de nós, nos tempos que correm, fazermos filmes que focam acontecimentos súbitos, repentinos e catastróficos, faz lembrar a forma como se pensava no século XIX?!

Aluno 5- Sim, já falamos que os cientistas do século XIX achavam que a Terra era recente porque a Bíblia também só falava de tempos recentes...

Prof.- Os cientistas dos inícios do século XIX chamavam-se naturalistas.(...)”- Turma B

No seguimento desta breve estratégia introdutória, passou-se à leitura do Documento 1 (ver Capítulo IV) com a participação dos alunos e exploração dos excertos dos textos originais dos naturalistas que se pretendiam conhecer, por forma a tornar claras as ideias Catastrofistas. O que se ambicionava com estas duas estratégias iniciais, pensamos ter sido conseguido, uma vez que os alunos chegaram à conclusão que actualmente se vive uma época na qual a palavra “Catástrofe” tem ganho nova dinâmica. Além do mais, abordaram-se questões como a poluição atmosférica e as suas consequências. Também se aproveitou para atribuir a terminologia dos cientistas do século XIX, designados naturalistas.

Este aspecto singularmente interessante da comparação entre a forma de pensar no século XIX e nos dias que correm, suscita grande atenção e estimula a nossa reflexão. Era, portanto, visível e notória a postura da comunidade actual face a vários acontecimentos, o

que contrastava com uma forma de pensar que no passado já fora considerada obsoleta. Em todo o conhecimento há uma participação do histórico e do empírico, sendo na relação destas duas estratégias que procurámos estimular os alunos. Por um lado, surgiu a palavra Catastrofismo referente a uma corrente de pensamento do século XIX, por outro a palavra Catástrofe que parecia fazer novamente parte da linguagem comum.

Vários conceitos foram sendo focados nestas estratégias. Tomemos por exemplo em consideração a noção de Extinção em Massa. Esta foi surgindo de forma implícita na ideia catastrófica do filme. Ou seja, as alterações climáticas, assunto tão conhecido dos alunos, traziam atrás de si a ideia das extinções de espécies. Por outro lado, a relação entre a Ciência, a Tecnologia e a Sociedade transparecia na primeira estratégia, o que vinha ao encontro das nossas intenções, inseridas numa perspectiva de Ensino por Pesquisa.

“Prof.- (...) Como podemos comparar a forma de pensar do século XIX com a ideia que nos transparece no filme actual?”

Aluno 1- A forma de encarar a Terra em ambos os casos é semelhante, a Terra é encarada de forma catastrófica. No filme que é actual há mudanças repentinas do clima, e nos textos apesar de mais antigos, esses acontecimentos são também referidos, mas não conseguiam explica-los.” - Turma A

“Prof.- (...) Então como se pensava que a Terra funcionava, no século XIX?”

Aluno 6- No século XIX as pessoas acreditavam no dilúvio e nas catástrofes ao longo dos tempos.

Prof.- E de que forma é que essa maneira de pensar se assemelhava ao filme actual?”

Aluno 7- Esta forma de encarar a Terra parece um pouco a do filme, porque no filme também estão a falar de mudanças bruscas do clima e das temperaturas da Terra, o que parece aquilo que estes cientistas disseram no século XIX.

Prof.- Naturalistas...” - Turma B

Acreditamos que esta forma inicial de abordar a questão das catástrofes foi mais apelativa e pelos resultados que fomos obtendo, podemos concluir que surtiram efeito. Porém, esta foi apenas uma parte da tarefa. Depois da leitura e interpretação conjunta dos

textos do Documento 1, surgiram diálogos na turma, revelando que a estratégia seguida se coadunava com os nossos propósitos. A própria curiosidade dos alunos transparecia mais com o evoluir das questões que iam surgindo e que já estavam antecipadamente pensadas. Ou seja, os alunos de certa forma foram mais rápidos do que prevíamos ao questionar determinados pormenores. Contudo, não é demais salientar que se tratou de um aluno numa das duas turmas que antecipou um ponto, que era nossa intenção aprofundar. Possivelmente, esta poderá ser uma questão a rever pois, não foram as duas turmas a terem a mesma atitude, o que nos parece tratar-se de um aluno um pouco mais curioso, o que nem sempre acontece. Podemos porém pensar em mudar parte da estratégia de tal forma que estimulemos esta questão de forma mais abrangente.

“Prof.- (...) O Barão Georges Cuvier...

Aluno 8- Fala de catástrofes!!

Prof.- Pois, sim. Mas o que é que ele refere como causa para tais cataclismos?

Aluno 9- Fala de inundações!!

Prof.- Lá está! As inundações referidas por Cuvier iam ao encontro dos escritos da Bíblia acerca da Arca de Noé. É que, naquela altura já se encontravam fósseis, ao quais chamavam pedras figuradas, de animais marinhos no alto de montanhas. E esse facto era mais facilmente explicado tendo em consideração uma grande inundação, uma verdadeira revolução, tal como refere Cuvier.

Aluno 10- S'tora, então as revoluções que ele fala são mudanças?...”- Turma B

As questões que iam surgindo, naturalmente, estimulavam a curiosidade e levavam os alunos a colocar novas questões, sendo o professor, neste caso, como que o detentor das respostas. Não é uma condição ideal, mas pode ser conducente a futuras questões que os levem a pesquisar por eles próprios algo, o que tem um pendor positivo.

“Aluno 10- Mas, porque falava ele de revoluções?

Prof.- Pois, é que na bacia de Paris foi onde ele realizou uma grande parte dos seus estudos de anatomia comparada. Cuvier verificou que de uns estratos para os outros, havia variações bruscas no tipo de seres vivos, o que o conduziu às ideias de catástrofes que causaram as extinções desses seres vivos.”- Turma B

Neste primeiro Documento (ver Capítulo IV) foca-se o pensamento de vários Catastrofistas e explora-se esta corrente de pensamento por forma a introduzir a visão dos seus opositores. Introduzimos nesta altura as ideias opostas e lançámos a controvérsia. A compreensão de que os naturalistas e toda a comunidade científica eram muitas vezes movidos por factores pessoais ficou bem claro, quando uma das alunas se referiu aos Geólogos da seguinte forma:

“Aluno 3- Oh!! Professora, dá ideia que os geólogos estão sempre a ser criticados! Já se passou algo semelhante com aquele da Deriva Continental...”

Prof.- Alfred Wegener...

Aluno 3- Sim, esse! É que ele até dizia coisas que pareciam certas, mas não conseguia justifica-las de uma forma que os outros o entendessem.”- Turma B

Sem fugir a este mesmo assunto, a ideia de uma sociedade que dita regras que, muitas vezes, são seguidas e adaptadas quer pelos naturalistas quer por outros cientistas foi sendo clarificada com diálogos entre a professora e os alunos, como também entre eles. Esta interacção facilitou a compreensão e as dúvidas foram esclarecidas. As ideias lançadas à professora colmataram o papel de mediadora de raciocínios. Numa perspectiva de Ensino Por Pesquisa onde se pretende a forte articulação entre a Ciência, a Tecnologia e a Sociedade é visível. A multiplicidade de campos onde há a interacção destas orientações e há que apelar a uma forte consciencialização dos alunos (e não só) vai contribuir para uma sociedade mais dinâmica e interventiva. Foi isso que tentámos realizar.

“Prof.- (...) Então o que nos falava Cuvier acerca da vida na Terra?”

Aluno 2- Que sofre mudanças bruscas e que faz várias espécies extinguirem-se. E o mais estranho é que nas zonas áridas, desérticas as catástrofes ocorrem por inundações o que não é normal. É uma mudança muito repentina.

Prof.- Uma mudança muito repentina. Reparem que no século XIX, a Bíblia era um dos livros de estudo. A Bíblia fala do dilúvio e então, era normal os homens naturalistas da altura tentarem articular o que se lia na Bíblia e os acontecimentos naturais.”-Turma A

“Aluno 5- Professora, parece que estamos hoje como estávamos antigamente... É como se voltássemos a pensar nas catástrofes de uma maneira moderna...”

Prof.- Sim, dá-nos essa sensação. Mas o que diziam as pessoas sobre esses acontecimentos?

Aluno 5- Por causa de Deus que ‘tava a castigar!

Prof.- Exacto, havia o fundamento religioso, bíblico! Mas isto era aqui no Ocidente onde somos maioritariamente Cristãos. Nas outras religiões, havia, com certeza, outras explicações diferentes...”- Turma B

Estas estratégias estabelecidas para a primeira aula centraram o início do tema das Extinções em Massa e a forma de uma tomada de consciência dos problemas em causa. Por outro, tentámos focar as atenções sobre o planeta Terra e sobre aquilo que os alunos já conheciam, não só da escola como doutros meios de comunicação como o videograma, estabelecendo, como referimos, uma ligação estreita entre a Ciência-Tecnologia-Sociedade. A questão da controvérsia surgiu, como já dissemos, na exploração dos textos do Documento 1, contrapondo às ideias Catastrofistas, as ideias Actualistas e Uniformistas.

Repare-se que nos diálogos havidos, intuiu-se uma reflexão momentânea daquilo que os alunos já conheciam através das suas experiências práticas em articulação com a nova informação.

“Prof.- O problema é que naquela época, a Terra era vista como um local com, não mais de 6000 anos.

Aluno 3- Que “totós”!

Aluno 9- Então se na Bíblia só falava de pouco tempo...

Prof.- O que a Joana disse está correcto, Sílvia. Aquilo que hoje é muito claro para nós, no século XIX não o era. De maneira que as ideias de Hutton, iam contra as concepções de um tempo curto para a Terra. Hutton, para conseguir explicar que a erosão demora tempos incalculavelmente vastos, mexeu com as ideias bíblicas.

Aluno 3- Oh!! S’tora, o padre da freguesia onde eu moro, parece esses do século XIX. Veja lá que, quando houve os furacões na América, ele disse que era castigo de Deus...

(risos na sala)

Prof.- Pois, mas vocês sabem que nas aldeias há pessoas mais antigas para as quais os fenómenos da natureza são causa directa do castigo de Deus. São ideias que, como perceberam remontam a séculos anteriores. E, cabe a vós, a mudança de

mentalidades dos vossos parentes mais próximos, uma vez que já possuem mais anos de escolaridade, nomeadamente no que respeita à ideia de ciência.”- Turma B

“Prof.- (...) Charles Lyell seguiu as ideias de Hutton, fundando uma outra corrente de pensamento, o Uniformismo. Lyell foi aluno de um outro defensor das catástrofes William Buckland.

Aluno 11- Mais uma vez defende as inundações!

Aluno 2- O que é o livro do Génesis?

Prof.- É uma parte da Bíblia que explica a formação da Terra nos 7 dias. Buckland tentou articular o que dizia na bíblia com o que se via na natureza.

Aluno 2- Acho que já ouvi isso na missa... mas não tem sentido!

Prof.- Oh! Joaquim! Não te esqueças que hoje em dia a informação sobre o funcionamento do planeta é muita, os meios são cada vez mais espectaculares... Naquela época em que se escreveu a Sagrada Escritura, o pouco que se sabia foi descrito da forma mais simples e compreensível por todos...

Aluno 2- É que, às vezes, parece que nos esquecemos disso. Mas há padres que ainda aceitam isso, não há?”- Turma A

Referimos ainda que nestas estratégias verificámos a aplicação de conceitos que os alunos já tinham compreendido em aulas anteriores e que, ao serem abordados assuntos que os implicavam, não hesitaram em demonstrá-lo. Apresentando textos originais facilitou-se a compreensão do que os “antigos cientistas” defendiam e provavelmente compararam-nos às suas ideias. Não esquecemos também que pretendemos despertar os alunos para o raciocínio sobre os assuntos, por isso, as questões colocadas no final de cada Documento serviram para, de certa forma, permitir uma nova atenção sobre o que se tinha abordado anteriormente.

“Prof.- (...) As causas actuais actuem e actuaram no planeta ao longo dos tempos. O problema é que naquela altura pensava-se que a Terra não tinha mais de 6 mil anos.

Aluno 2- Mas isso é muito pouco...

Prof.- Pois bem! Hutton, para justificar uma erosão lenta, necessitava de grandes períodos de tempo (...). Ora, aqueles que defendiam as catástrofes ficavam muito escandalizados com estas ideias.

O mais difícil de explicar era a presença de fósseis marinhos nos altos das montanhas.

Aluno 12- Era por causa dos dilúvios!!”- Turma A

Habilmente, estas intervenções foram sendo utilizadas para estabelecer pontes entre o que os alunos já sabiam e as novas informações que foram captando nesse dia. Estas conversas na sala de aula foram frutuosas na medida em que os alunos passaram a estabelecer ligações entre os conceitos já conhecidos e os novos e daí poderem surgir novas atitudes e relações, nomeadamente à Ciência e Religião. Foi um risco que decidimos correr ao explorar textos antigos de autores sobre os quais os alunos nunca tinham ouvido falar. Contudo, a utilização dos mesmos, enquanto estratégia de introdução de um novo assunto revelou-se pertinente, estando bem patente nas suas intervenções. Sem mudar de orientação, pareceu-nos que os alunos passaram a compreender melhor o contexto social do século XIX, e também o contexto científico que, então, se vivia.

A questão da controvérsia foi lançada com o Documento 1, ficando a curiosidade pendente até à actividade teatral do Documento 2 (ver Capítulo IV) que só veio a ser executada na segunda aula. Neste tipo de estratégias, a participação dos alunos foi muito proveitosa já que se manifestaram de uma forma diferente do habitual. Havia um maior envolvimento e, conseqüentemente, mais emoção o que fez deste tipo de ensino uma mais valia. Por outro lado, o facto de ser um teatro sobre duas personalidades com ideias opostas trouxe mais atenção porque, afinal, ali poderiam discordar uns dos outros de uma forma mais argumentativa.

“Prof.- (...) Para tentarmos reforçar estas ideias de uma forma alegre, vou precisar de três voluntários para fazer um pequeno teatro.

Aluno 13- Eu!

Prof.- Boa, Pedro. Mais dois. QuimZé e Paulo. Muito bem.

Cada um vai ter o seu papel. O Pedro faz de Cuvier. Vais ter de usar um sotaque francês! O QuimZé fará de Lyell e o Paulo de Presidente. Toda a turma vai levar para

trabalho de casa a leitura deste teatro, tal como os actores principais e depois na próxima aula dar-se-á início ao teatro.” - Turma A

“Prof.- (...) Agora, preciso de três voluntários para fazerem um pequeno teatro que nos vai dar a conhecer melhor as ideias de Cuvier e de Lyell. Voluntários?”

Aluno 5- A Joana e a Sílvia...

Aluno 10- É, elas têm jeito!!

Prof.- Mas preciso de mais um. E que saiba fazer sotaque francês!

Aluno 6- Então posso ser eu!

P- Ótimo! Tiffany, fazes de Cuvier, Joana, fazes de Lyell e Sílvia, fazes de Presidente!

Aluno 3- Eu sabia que ia lá chegar!!

Prof.- Como trabalho de casa leiam o diálogo, que depois será interpretado pelas vossas colegas na próxima aula.” - Turma B

ANÁLISE DA SEGUNDA AULA NAS TURMAS A E B

No segundo bloco de aulas de noventa minutos foi explorado o Documento 2 (ver Capítulo IV), do qual constam elementos referentes à representação do teatro e realizados através do diálogo entre o Barão de Cuvier e Charles Lyell. O Documento 2, foi fornecido aos alunos no final da primeira aula, tendo ainda sido feita a distribuição de papéis pelos mesmos.

Esta terceira estratégia na qual se concretizou o pequeno teatro decorreu durante a segunda aula. A participação dos alunos foi espontânea e bem aceite. Os restantes alunos, estiveram atentos, de forma pertinente e divertida, tendo desempenhado a tarefa da audiência do referido debate entre Cuvier e Lyell. Por fim, foi estabelecido novo diálogo com os alunos por forma a averiguar até que ponto foram compreendidos os propósitos do Catastrofismo e do Uniformismo. Notámos que o raciocínio dos alunos se foi “afinando” pouco a pouco e que o teatro fomentou uma maior atenção e concentração no texto em si e, conseqüentemente, na mensagem que se pretendia fazer transmitir. O teatro facilitou a

compreensão da mensagem porque houve um maior envolvimento dos alunos, para além dos diálogos serem acessíveis. Esta participação activa permitiu que conceitos complexos como, por exemplo, a corrente de pensamento da Ciência do século XIX fosse consciencializada. Parece-nos que a articulação entre a Sociedade e a Ciência foi sendo estabelecida e os alunos numa participação reflexiva também intervieram, revelando um raciocínio sobre o que os rodeia e sobre o que conhecem.

“Prof.- Pergunto, então, o que aconteceu ao longo deste diálogo? Sofia.

Aluno 14- O Barão e o Lyell estavam a defender posições diferentes sobre as extinções em massa.

Prof.- Quem defendia o quê? Ana.

Aluno 15- O Barão Cuvier estava a defender as extinções em massa, dizendo que havia catástrofes com dilúvios.

Prof.- E Lyell...

Aluno 14- Dizia que as extinções se passavam de forma lenta.”- Turma A (2º turno)

“Aluno 14- Mas, segundo a bíblia, já havia humanos, na altura de Noé.

Prof.- E foi através dessas descrições relatadas na bíblia que se acreditava que a Terra só tinha 6000 anos. E para Lyell, 6000 anos era muito pouco tempo para que os processos actuais exercessem o seu poder... “- Turma A (2º turno)

“Prof.- Esses cataclismos, segundo eles, eram causados por algum fenómeno em particular?

Aluno16- Eram causadas por influência divina, por Deus.

Prof.- E essas influências como se manifestavam?

Aluno 16- Por dilúvios universais...

Aluno 17- E só falavam de dilúvios? Não havia outras coisas que matavam?

Prof.- Sim, outros fenómenos naturais como sismos e vulcões também eram considerados, tendo em consideração a mão divina. Mas reparem no que Barão de Cuvier viu na bacia de Paris. Na altura, e embora já muito antes, tinha-se visto que os rios transportavam sedimentos e nas camadas sedimentares de Paris foi vista uma variação muito grande no teor de fósseis. Havia diferenças de espécies muito grandes, que só se poderiam explicar, segundo uma extinção repentina e abrupta. (...)”- Turma A (1º turno)

“Prof.- O que defende Georges Cuvier?”

Aluno 18- As catástrofes.

Prof.- As catástrofes. Como é que Cuvier explica o desaparecimento das espécies?

Aluno 4- Falava de catástrofes que mataram os seres vivos.

Prof.- Sim, e porque eram causadas essas catástrofes?

Aluno 4- Por dilúvios...

Prof.- E assim explicavam os desaparecimentos de espécies ao longo dos vários estratos sedimentares fossilíferos. E qual era a posição de Charles Lyell?

Aluno5 - Ele era naturalista...

Prof.- Naturalistas eram todos eles...

Aluno 3- Sim, mas ele defendia que eram as causas actuais e climatéricas que matavam os seres vivos e não as catástrofes.”- Turma B

Após um diálogo reflexivo que se seguiu à representação teatral, passou-se à leitura de um texto final do Documento 2 (ver Capítulo IV) e a uma nova interacção com os alunos. A nossa intenção com este último texto foi a de clarificar alguns conceitos que não haviam sido explorados no teatro, e que, entretanto, foram geradores de conflito de ideias. Mais uma vez, introduzimos a discussão sobre a controvérsia científica de uma forma susceptível de ser debatida de uma forma prática, assim como aprofundámos os conceitos científicos que, afinal de contas, se querem ver trabalhados pelos alunos, de forma a passarem a constituir conhecimento científico.

“Prof.- Vamos só clarificar alguns conceitos. Fala-nos o texto de provas físicas apresentadas pelos Catastrofistas para explicarem o dilúvio. Alguém quer avançar uma justificação?”

Aluno 17- Como a professora já tinha dito, os fósseis em cima das montanhas... diziam que o mar já tinha estado lá...

Prof.- E por isso, a justificação era que tinha havido uma grande inundação. Era uma prova de difícil contra-argumentação. Mas Hutton atreveu-se a explicar esses fenómenos, defendendo que os fundos dos mares eram elevados na formação de montanhas e estas desapareciam por erosão. Ou seja, Hutton defendia que os fenómenos

actuais actuem ainda hoje no planeta e são responsáveis pelo que vemos à superfície.(...)- Turma A (1º turno)

“Aluno 19- Mas no texto diz que Lyell não concordava com Hutton... e ele não era também Uniformista?

Prof.- Hutton foi o primeiro a sugerir a ideia das causas actuais como responsáveis pelo que sucede na Terra. Lyell seguiu estas ideias, mas não concordou com a questão do tempo indeterminado de Hutton...

Aluno 19- Ah! Então Hutton e Lyell estavam de acordo na...

Prof.- Na questão dos processos actuantes no planeta Terra.

Além do mais, Lyell era britânico e Cuvier francês.

Aluno 20- Ui, dão-se mal...”- Turma A (1º turno)

É notório o cuidado que os alunos revelavam quando falavam da sociedade do século XIX e quando tentavam prever o que iria suceder-se. Ou seja, aperceberam-se do carácter não estático da Ciência através dos conceitos que dominaram numa época mas que noutra foram abandonados. Revela-se, assim, a consciência de que nessas mudanças houve ideias controversas sobre o mesmo assunto e na mesma época, o que foi fundamental para que estas relações ao processarem-se da melhor forma tornem mais compreensíveis e capazes de melhor aprendizagem.

“Aluno 14- Daqui a 100 anos as pessoas também vão gozar com o que nós pensamos hoje em dia. Já estou a ver...

Prof.- Daqui a uns anos, se calhar aquilo que pensamos, não será tão certo quanto o que hoje julgamos.

Porém, não podemos criticar as pessoas que defendiam estes pontos de vista. Temos de nos inserir um pouco na sociedade da época e compreender os seus pontos de vista. (...)- Turma A (2º turno)

“Prof.- (...) Além do mais, os franceses não liam inglês e vice versa e, por isso, muitas vezes, não conheciam a fundo as ideias uns dos outros... Mas, não se esqueçam que tendo em consideração a época em que se vivia a aceitação de catástrofes diluvianas tinha a sua razão... não nos podemos rir de ideias passadas...

Aluno 17- Pois, se vivêssemos naquela altura se calhar também pensávamos assim.

Prof.- Sim. Afinal de contas, o que nós sabemos hoje é muito diferente do que se sabia na época. E o Homem era a criação última de Deus.”- Turma A (1º turno)

“Prof.- (...) Lyell ao tomar contacto com vulcões actuais como o do Etna extrapolou essas ideias para o passado.

Aluno 5- Se há agora vestígios de vulcões, é porque no passado também os houve!

Prof.- Então, segundo Lyell, se houve estes acontecimentos no passado, eles podem ter sido os responsáveis pelas extinções em massa das espécies passadas. Foram estas ideias que fizeram Lyell defendê-las também, que formaram uma corrente de pensamento chamada Uniformismo.

Aluno 5- Os processos uniformes ao longo do tempo...”- Turma B

Além do mais, o reflectir sobre assuntos controversos levou os alunos a posicionarem-se sobre uma questão nada fácil, embora isso já pertença ao passado. Esta atitude foi francamente vantajosa numa perspectiva de Ensino por Pesquisa, onde se pretende o desenvolvimento pessoal nas várias vertentes.

“Prof.- (...) Mas, apesar de tudo Cuvier, foi um grande naturalista. Fez importantes estudos de anatomia comparada com os elefantes e os mamutes.

Aluno 21- Então ele não era nenhum burro!

Prof.- Claro que não! No texto ele fala muito bem e defende com toda a seriedade a sua posição.

Aluno 21- Eu até concordo mais com o Catastrofismo do que com Lyell....se bem que não acho bem a parte de ser tudo provocado pela ira divina...”- Turma A (2º turno)

“Prof.- Os Uniformistas como Lyell defendiam que as extinções se processavam de forma lenta e gradual, enquanto que os Catastrofistas defendiam desaparecimentos abruptos.

Aluno 5- Então, qual deles é que está certo, S’Tora?

Prof.- A intenção é que vocês pensem nisto. Não há versões certas, nem erradas. Tudo depende da altura em que se vive.

Aluno 9- Mas eu aceito mais o Uniformismo.

Prof.- Se calhar, é por isso que ele foi dominando progressivamente, porque não invocava causas sobrenaturais e mais difíceis de explicar!”- Turma B

“Prof.- É um pouco complicado. Já me fizeram várias perguntas sobre este assunto dos Catastrofistas e Uniformistas, mas quem tem razão?

Aluno 14- Ninguém! São os dois lados, à sua maneira.

Prof.- Ambos têm a sua coerência e convém que vocês conheçam bem as duas posições e reflectam no assunto para poderem tirar ilações.

Convém que conheçam as questões como elas se passaram.

Aluno 14- É que, se nós também vivêssemos naquela altura... também podíamos pensar como a maioria. Afinal era o normal...”- Turma A (2º turno)

Estes diálogos estabelecidos com os alunos estimularam a reflexão sobre uma questão que tem a ver com a História da Ciência e com a História do Pensamento Geológico, centrado na controvérsia científica. Esta estratégia do Teatro, revelou-se frutuosa, pois foi seguida de uma conversa com os alunos após um último texto onde estava clara a evolução do pensamento geológico. O contacto com duas formas de pensar antagónicas, despertou a curiosidade. Porém, uma vez que a informação sofreu um processamento lento, até se converter em conhecimento, decidimos sintetizar as informações num painel onde os alunos visualizassem, por cronologia e justaposição, os assuntos abordados.

Sem fugir ao contexto anterior, fomos colocando questões que suscitassem algumas interrogações e, quase que conflitos no próprio raciocínio dos alunos, para que a evolução dos conteúdos científicos fosse mais notória. As questões colocadas no decorrer desta parte da aula foram, intencionalmente, provocatórias, para que os conceitos, anteriormente, abordados fossem utilizados em argumentações e clarificações muitas vezes, feitas pelos próprios alunos.

Por outro lado, constatámos que as estratégias seguidas na primeira aula surtiram um efeito tal, que os próprios alunos foram estabelecendo conexões e relações que, entretanto, foram discutidas. Os alunos ao lerem e, no fundo, participarem, activamente, nos diálogos, neste caso criados pelo docente, suscitou uma interacção onde notamos um raciocínio mais exigente.

“Prof.- (...) Analisando o quadro, o Catastrofismo foi posto de lado. Mas, então, o que vimos nós no filme?”

Aluno 9- Fala de catástrofes...

Prof.- E, então, não dá ideia que estamos a voltar outra vez à questão das catástrofes?”

Aluno 8- Então, em vez de evoluir, estamos a voltar aos antigos conceitos!!

Prof.- Digamos que...

Aluno 5- Mas o que ocorre agora não são catástrofes naturais?”

Prof.- Nós vemos esses acontecimentos como naturais e que podem ter consequências catastróficas.(...) Mas tenham em atenção que o catastrofismo do século XVIII e XIX tinha em consideração causas mais sobrenaturais... (...)”- Turma B

“Prof.- (...) Ou seja, esta forma de pensar de Lyell veio a constituir-se numa corrente de pensamento, o Uniformismo, que vinha contrapor o Catastrofismo, que foi marginalizado a partir de meados do século XIX. E as mentalidades passaram a aceitar o Uniformismo.

Mas, pergunto: lembram-se do filme do início? De que nos falava ele?”

Aluno 20- De catástrofes e mudanças climáticas repentinas.

Prof.- Então, nos séculos XVIII e XIX, aceitavam-se as catástrofes. Depois com Hutton e Lyell, surge o conceito de uniformidade dos processos, as causas actuais é que provocam as extinções. Mas hoje em dia voltamos a dizer: catástrofes!

Aluno 22- As catástrofes de hoje em dia, muitas vezes somos nós que as produzimos. As catástrofes ambientais.

Prof.- E as naturais?”

Aluno 22- Não somos nós, mas não é Deus para nos castigar.”- Turma A (1º turno)

“Aluno 6- Mas no filme eles dizem que as catástrofes acontecem por causa do Homem. É então diferente do que pensavam os Catastrofistas do século XIX.

Aluno 7- Então os Uniformistas não consideravam catástrofes.

Prof.- Consideravam que os desaparecimentos de espécies foram lentos e graduais.”- Turma B

“Aluno 5- Era Deus!

Prof.- Pois é! E como justificamos as catástrofes hoje em dia?

Aluno 8- São provocadas pelo Homem e pela Natureza.

Prof.- Reparem então na evolução da forma de pensar.

Aluno 8- Estamos a voltar ao antigamente... mas de forma mais clara. Explicamos as coisas de outra forma. Sabemos como é que a Terra funciona...ou achamos nós... (risos)

Prof.- De certa maneira, mas com outros conhecimentos.”- Turma A (1º turno)

O conceito de Extinção em Massa foi-se clarificando ao longo dos dois blocos de aulas para além dos conceitos de Catastrofismo e Uniformismo. Ao utilizarmos a controvérsia, suscitámos mais diálogos e interacções de conteúdos com que os alunos já estavam familiarizados.

“Aluno 2- Mas as catástrofes de que eles falavam não tinham muita lógica. De onde vinha tanta água para haver um dilúvio desses? Enquanto que a existência de um vulcão é possível. Como aquele de Yellowstone.

Aluno 21- Mas se na Bíblia fala de um dilúvio é porque deve ter havido alguma coisa na altura. Para eles escreverem... é porque houve...

Prof.- Não te esqueças que ainda há dois anos tivemos um inverno muito chuvoso e a ponte romana de Barcelos ficou quase submersa. Esses fenómenos ocorrem, sem dúvida.”- Turma A (2º turno)

Notámos que nestes diálogos estabelecidos durante a análise do painel síntese entre Catastrofistas e Uniformistas, foram sendo questionados assuntos que viriam a ser foco de análise posterior, como a questão da Extinção do final do Cretácico. Neste sentido, pareceu-nos que estes conteúdos temáticos estipulados pelo Ministério da Educação foram surgindo com naturalidade, o que nos indicou a pertinência da utilização da controvérsia.

“Aluno 14- Então, estamos a voltar novamente...a ser Catastrofistas?

Aluno 2- Mas tem razão no que se diz.

Aluno 21- Os dinossauros foram extintos por uma catástrofe!

Prof.- E vamos ver isso...”- Turma A (2º turno)

“Aluno 29- Houve o confronto entre os dois. Cada um defendeu a sua posição. Um era a favor das catástrofes e o outro dos processos lentos e graduais...”

Aluno 3- Houve um debate entre duas ideias opostas... Isto, porém, é antes da ideia do meteorito que matou os dinossauros...

Prof.- Calma! Estamos no século XIX. Mas vamos falar desse assunto.”- Turma B

Para além de estimular o diálogo a partir de textos antigos e fazendo o que designámos por teatro, representação, a visualização de um painel onde conste a evolução do pensamento da Geologia e o evidencie ao longo dos tempos geológicos revelou-se uma importante base para a progressão mental dos alunos. Assim, utilizámos um quadro comparativo que nos parece ter sido impulsionador de uma reflexão pelos alunos. Uma síntese final após o contacto com muitos nomes e conceitos, facilitou o raciocínio e erradicou dúvidas temporais que pudessem ainda subsistir. Efectivamente, o objectivo para esta estratégia possibilitou a reflexão dos alunos sobre a importância de tomar contacto com as controvérsias científicas entre Catastrofistas e Uniformistas, a fim de compreender o papel da sociedade e a evolução das ideias em Geologia ao longo dos séculos XIX e início do século XX.

A nossa pretensão era a de que os alunos adquirissem conhecimentos científicos escolares e que estes passassem a fazer parte do seu léxico cultural. Num painel síntese, no qual postulámos os nomes daqueles Catastrofistas e Actualistas/Uniformistas que nos pareceram fundamentais, incluímos Charles Darwin e a sua postura face ao Uniformismo. É que não podemos desligar a Geologia de outras áreas científicas e, como, Darwin é, sobretudo, conhecido pela sua Teoria da Selecção Natural (Biológica), focámos a necessidade de uma concepção temporal vasta, para que a teoria pudesse ter maior credibilidade.

“Prof.- (...) A questão da Uniformidade dos processos suscitou tanto interesse a Darwin, que em 1852 publicou a sua ideia sobre a selecção das espécies, que implicava uma grande idade para a Terra para que esses fenómenos se pudessem passar. Isto, porque Lyell também concebia uma Terra antiga para que os processos uniformes se passassem. Ou seja as ideias de Lyell foram uma base para a construção das ideias de Darwin.”- Turma A (1º turno)

“Prof.- (...) Charles Darwin está aqui representado pois ele fomentou a ideia da Selecção Natural e sua posterior ideia para a evolução das espécies. E para conseguir explicar a evolução das espécies, necessitava de um tempo geológico muito vasto. Ora, no livro de Lyell, onde se falava da Uniformidade dos processos da Terra estava a base sobre a qual ele pôde trabalhar. Darwin conheceu Lyell e fez uma viagem pelo globo durante dois anos, estudando as espécies de seres vivos nos vários locais por onde ia passando. Assim, Darwin recolheu provas que, mais tarde, em 1852, lhe permitiu escrever o seu livro sobre a evolução das espécies, incluindo a Humana.”- Turma A (2º turno)

“Prof.- A acrescentar a estas ideias, Charles Darwin, muito conhecido pelas suas ideias sobre a selecção natural e a posterior ideia da evolução das espécies, tomou contacto com o livro de Lyell. Ao ver que Lyell apontava um vasto tempo para a Terra, e as suas ideias Uniformistas ficou ainda mais fascinado pela Terra. Darwin, entretanto viajou pelo planeta durante dois anos e a dada altura, em 1852, apresentou a público as suas ideias de evolução das espécies. E para que tal fosse possível, a Terra tinha de ter um vasto tempo geológico, como defendia o Uniformismo.”- Turma B

Destaca-se ainda, neste ponto, o consistente diálogo com os alunos sobre a noção de Extinções em Massa. Quer dizer, tivemos de abordar novamente o conceito de Tempo Geológico, que já tinha sido estudado em aulas anteriores e proceder à análise histórica do conceito de Extinções em Massa, actualmente em estudo. Sustentámos estas ideias com a ajuda do quadro síntese do Documento 2 e passámos a centrar as atenções dos alunos noutras controvérsias, agora mais actuais, mas referentes à mesma questão- o desaparecimento catastrófico de espécies, mais, concretamente, do final do Cretácico.

O objectivo da estratégia seguinte era o debate entre duas posições controversas sobre a Extinção em Massa do final do Cretácico. Para tal as turmas foram divididas em dois grupos, cada um treinado para defender uma das duas hipóteses mais bem estudadas. Com efeito, no final desta segunda aula e na Turma A que estava dividida por turnos, foi feita a leitura e clarificação do Documento 3 (ver Capítulo IV) referente à hipótese colisional e à hipótese vulcânica. Na Turma B, que na segunda aula estava toda presente, optou-se por dividi-la em grupos correspondentes aos turnos, que, por sua vez, se reuniram, estando a docente com cada grupo para ir clarificando, com eles, o Documento 3, referente a cada uma das partes.

Para que esta estratégia associada ao Documento 3 fosse realizada conforme os nossos propósitos, solicitámos aos alunos que não explorassem nada sobre a Hipótese contrária (a vulcânica ou a colisional, consoante o caso) para que o efeito surpresa, no que se refere aos argumentos, actuasse como um impulso positivo, para um mais adequado raciocínio, em articulação com os conceitos já adquiridos anteriormente.

ANÁLISE DA TERCEIRA AULA NAS TURMAS A E B

A estratégia desenvolvida com o Documento 3 foi muito bem recebida pelos alunos, para além de ter comprovado as nossas suposições iniciais da sua adequação. A ideia que pudemos identificar como dominante, foi a de um profundo envolvimento dos alunos nesta estratégia, para o que referimos ainda o estudo que todos demonstraram ter realizado em casa para que o debate fosse possível. A utilização desta estratégia revelou-se frutuosa, pois foi como um elemento organizador da informação, que aos poucos e ao longo do debate, se foi consolidando em conhecimento.

O objectivo desta estratégia, *ajuizar sobre as duas principais hipóteses explicativas das extinções em massa do K/T*, ajudou-os a compreender melhor o conceito de dinâmica da Ciência, para além de lhes ter permitido uma outra visão sobre as Extinções em Massa deste período. Uma vez que a motivação constituiu um ponto central para a aprendizagem, acreditamos que a própria motivação do docente funcionou como que um trampolim para um bom empenho e uma boa receptividade para estratégias futuras.

Apesar do Documento 3 conter muita informação, ainda que cuidadosamente seleccionada para este efeito, os alunos leram-na com empenho, interiorizando como sua, a hipótese que lhes competia defender perante os outros colegas, supostamente apoiantes da outra hipótese. Ao analisar o resultado desta estratégia, vemo-nos perante um cenário muito positivo. Ou seja, os alunos aperceberam-se que ao defender uma determinada posição, se procuravam, constantemente, argumentos que rebatessem outros argumentos vindos de outras hipóteses, a fim de fazer vingar a posição.

A aula iniciou-se com um período de dez minutos, para que cada grupo dialogasse e estabelecesse estratégias interventivas no debate. A docente fez o papel de mediadora dos diálogos, para além de estabelecer pontos da situação, de quando em vez, para que os alunos tivessem uma linha orientadora e não se perdessem no debate.

Assim, e após a disposição na sala, agora com os alunos sentados frente a frente, no qual havia espaço para a docente se deslocar, deu-se início ao debate (Fig.V-1 e Fig.V-2). De salientar que todos os alunos levaram os documentos, muito sublinhados e com notas, a fim de terem um auxiliar de memória, caso esta falhasse por algum motivo e também porque lhes dava maior segurança pessoal. Deu-se início ao debate com uma das partes a tomar a palavra.



Fig.V-1- Turma A na estratégia do debate.



Fig.V-2- Turma B na estratégia do debate.

Propositadamente, iniciámos o debate numa turma com a Hipótese Colisional e na outra com a Hipótese Vulcânica, a fim de testar a utilização dos argumentos pelos alunos. Verificámos que em ambos os casos a apresentação foi séria e muito empenhada. Os alunos ao estudarem a sua Hipótese foram estabelecendo contactos com outros conhecimentos que já haviam adquirido. A questão da Terra como um sistema composto por vários subsistemas que se articulam entre si, foi, notoriamente, focada.

“Aluno 19- Bem, o que causou a extinção em massa dos dinossáurios foi a colisão de um asteróide com a superfície terrestre e que dispersou material para a atmosfera e provocou um obscurecimento da atmosfera que não permitiu a fotossíntese das plantas e causou uma extinção em massa porque...”

Aluno 20- Porque as plantas não realizaram fotossíntese e isso afectou a cadeia alimentar porque havia escassez de alimentos e...

Prof.- O que provocou isso?

Aluno 20- Afectou a alimentação dos herbívoros e os carnívoros deixaram de ter que comer!

Aluno 23- Esta ideia foi proveniente de uma camada de argila encontrada em Itália, em Gúbbio, que datava precisamente dos 65 milhões de anos. É a época de extinção dos dinossauros. Muito rico em Irídio, elemento que na Terra não é possível encontrar em grandes quantidades, mas é encontrado em grande quantidade nos meteoritos.”- Turma A

“Aluno 7- A Hipótese Vulcânica defende que foi um intenso vulcanismo que se gerou na Terra, devido a instabilidade ocorrida do manto, provocado pela mudança dos pólos da Terra. Isso provocou um grande vulcanismo e os gases libertados para a atmosfera foram-na poluindo. A precipitação começou a poluir as águas e os solos e os animais e as plantas foram afectados e morreram. As cadeias alimentares foram afectadas ao longo de muito tempo.

Prof.- Quanto tempo?

Aluno 7- Entre 10 000 e 100 000 anos.

Aluno 4- Os gases que foram libertados, o dióxido de carbono e outros, dos vulcões, foram para a atmosfera, provocando uma mudança de clima e tanto as plantas como os animais sofreram com essas alterações.”- Turma B

Claro que, após o início da exposição das primeiras ideias, começou a controvérsia entre os alunos. O outro grupo foi apresentando as suas “provas irrefutáveis” e a estratégia foi ganhando dinâmica, centrada em torno do porquê da Extinção em Massa dos dinossauros e outras espécies, há cerca de 65 milhões de anos.

“Prof.- Temos já dois de vós defensores da Hipótese Vulcânica que nos querem falar.

Aluno 2- Eu acho que essas provas não são suficientes, não têm fundamento para uma extinção em massa. Porque é só num local e não é com uma magnitude assim tão grande. E para além do mais as rochas da Terra também podem ter Irídio e não é só vinda do extraterrestre.

Aluno 13- As lavas de certos vulcões têm irídio e está provado que, na zona do Decão, na Índia, através do estudo dos estratos, foram encontradas rochas magmáticas com irídio. “- Turma A

“Aluno 24- A nossa hipótese diz que houve uma colisão de um meteorito com a Terra e que daí começaram a acontecer as extinções.

Aluno 6- Os animais não desapareceram só devido ao meteorito. Com a nuvem que se formou, a Terra ficou muito fria, sem que o Sol pudesse atingir a superfície. As plantas deixaram de realizar a fotossíntese e começaram a morrer, os animais herbívoros também começaram a morrer e os carnívoros a mesma coisa, começaram a não ter que comer. “- Turma B

A partir do momento em que os dois grupos expuseram as primeiras notas sobre cada uma das Hipóteses, instalou-se a agitação no debate e os grupos começaram a raciocinar sobre o que foi referido pelo grupo opositor, numa tentativa de rebater os argumentos e os resultados das “suas” ideias. Notámos a utilização dos nomes dos investigadores que mais tinham trabalhado sobre este assunto. O conflito era notório, pelo que os alunos iam ficando como que surpresos quando o grupo opositor apresentava dados novos. Nesta interacção de controvérsia científica, foi clara a utilização de conceitos já adquiridos, o que enriqueceu a própria controvérsia.

“Aluno 12- Antes de mais, boa tarde a todos, caros colegas. Quero acrescentar mais uma coisa ao que os meus colegas disseram. Courtillot e os seus colaboradores também fizeram vários estudos e descobriram que a idade dos basaltos, originados pelo intenso vulcanismo tinham entre os 69 e os 65 milhões de anos. O que faz com que a nossa hipótese de vulcanismo bata certa.

Aluno 13- Outros estudos efectuados por uma senhora, que era a grande opositora da teoria da colisão, Greta Keller, conseguiu provar que essa extinção não foi repentina e que até continuou para além do período dos 65 milhões de anos.

Aluno 23- Eu queria contestar a ideia do QuimZé, que diz que só num local é que encontrou o irídio. Mas como é que ele explica que também tenhamos encontrado a anomalia de irídio em Espanha- Caravaca? E para além disso, o intrigante

desaparecimento abrupto de foraminídeos, em tudo semelhante a Itália. Pergunto se não deverá ter sido um fenómeno global que se deverá ter passado!?”- Turma A

“Aluno 18- Mas o Irídio é encontrado nos meteoritos..

Aluno 7- Mas também existe nos vulcões!

Aluno 5- Não!!

Prof.- Sim, já foi encontrado esse elemento nas lavas de vulcões como os do Hawaii.

Aluno 5- Sim, é encontrado irídio em rochas terrestres, em elevadíssimas quantidades o que não é normal aqui e é normal em corpos exteriores à Terra, como cometas e asteróides. E mais, vocês dizem que a Terra devido à inversão de polaridade ... há provas em que isso aconteceu?

Aluno 7- Há. As rochas foram datadas e nós já aprendemos que se podem datar por isótopos radioactivos e saber a sua polaridade. Nos basaltos do Decão viu-se isso.”- Turma B

O debate foi-se desenvolvendo, cada vez mais ajuizado e após a apresentação de alguns argumentos, a interacção entre os alunos fluiu, estando sempre presente o forte envolvimento emocional dos mesmos, porque, afinal, a sua tarefa era a de defender uma das Hipóteses. Os conhecimentos dos alunos sobre vulcanismo e sobre as rochas, nomeadamente as magmáticas foi sendo também utilizado no debate.

“Aluno 23- Mas, não em tão grandes quantidades como nos meteoritos!

Aluno 2- Vocês falam da queda de um meteorito e lembram aquela cratera no México. Acham que é suficiente para uma extinção em massa? E não acham que no Decão há aqueles 1000 metros de basaltos... Imaginem os piroclastos que se libertaram, as cinzas não são mais do que suficientes para cobrir a Terra num inverno vulcânico?

Aluno 25- Primeiro, tu não sabes se o vulcão era explosivo para produzir essas nuvens e na cratera diz que houve uma onda gigante. Eram precisos muitos vulcões, como tu dizes, para defender essa teoria para arrasar, assim, tantos seres vivos...”- Turma A

“Aluno 4- É assim, vocês dizem que o Irídio está em corpos extraterrestres mas também existe em vulcões, em lavas de vulcões e por isso, nós temos 1km de espessura desse elemento químico nos basaltos da Índia.

Aluno 5- E está em grandes quantidades no basalto?

Aluno 4- Sim e também nos sedimentos! (...) em quantidades muito anormais...

Aluno 24- Nós também encontramos uma camada de argila que tinha esse elemento em grande quantidade, na Itália, precisamente da idade em que desapareceram os seres vivos, 65 milhões de anos.”- Turma B

Após terem sido utilizados os argumentos mais simples, como a questão da colisão de um meteorito, da existência de basaltos no Decão, da presença de Irídio não só nas argilas como também nos basaltos, para além, do obscurecimento da Terra, os alunos tiveram de utilizar argumentos mais complexos. Notou-se que a utilização dos dados vindos dos minerais, resultantes do metamorfismo de choque e a profundidade da cratera de impacto, foi usada mais tardiamente. Mesmo assim, pareceu-nos que apesar de ser uma questão algo complexa, graças à controvérsia entre as duas Hipóteses, os argumentos foram utilizados com destreza.

“Aluno 26- Nós podemos argumentar a nossa ideia pelo facto daquela camada de argila ter uma concentração muito elevada de Irídio, e toda a região da cratera foi analisada e viu-se que sofreu metamorfismo de choque, resultante da colisão.

E foram encontrados feldspatos e quartzo que mostravam...

Prof.- Estruturas planares de choque...

Aluno 27- E que indicavam que era metamorfismo de choque.

Aluno 28- Pode ser coincidência ou não, mas não sabemos se houve os dois...para causar esta extinção toda!

Aluno 7- Eu quero fazer uma pergunta. Como é que vocês explicam, para haver um meteorito assim tão grande, a cratera de impacto deveria ter cerca de 10km de profundidade e não tem.

Essa cratera pode ser não de uma colisão mas de depósitos vulcânicos. Como é que vocês provam?

Aluno 5- No Yucatão foi lá encontrada aquela cratera e sabemos que há camadas de sedimentos que provam que ao cair o meteorito naquela área, a terra tremeu, provocou

gigantescas ondas e os sedimentos apresentam-se como se tivesse havido uma onda e depois oscilações de águas, que permitiram a deposição dos sedimentos. Aí está a prova.”-

Turma B

“Aluno 12- Mas como na actualidade se diz, a força da natureza é incalculável. Pode haver muitos fenómenos que possam originar isso e vocês dizem que foi um meteorito que arrasou tudo. Nós estivemos a analisar a cratera encontrada no Yucatão e para a vossa teoria estar certa, era preciso que a cratera tivesse pelo menos 10km de profundidade. Coisa que não se verifica.”- Turma A

“Aluno 12- Voltando outra vez às crateras, em 1992, Officer e Drake, fizeram um estudo na cratera do México e repararam que havia sequências pelágicas que representam depósitos de vulcanismo e as estruturas tipo lamelares eram típicas de vulcanismo. O que acaba com as vossas ideias!!

Aluno 16- Também temos isso na cratera. Temos quartzo com estruturas de impacto!

Aluno 25- O meteorito vinha a alta velocidade e ao embater na Terra provocou metamorfismo de choque e isto foi verificado por Bohor em 1984.”- Turma A

No prosseguimento do debate foram surgindo questões muito interessantes, tendo sido articulados vários conteúdos programáticos, nomeadamente, numa base reflexiva por parte dos alunos. De facto, a situação controversa que foi lançada aos alunos surtiu efeito, não só na temática em questão, das Extinções em Massa, mas também e como já referimos sobre o vulcanismo, as atmosferas planetárias e a estrutura do interior da Terra. Da nossa análise decorre que o assunto abordado nas aulas anteriores também permitiu uma abertura à questão da controvérsia científica, como um fenómeno que existe e que faz parte de uma sociedade.

“Aluno 4- Segundo os nossos estudos, Keller diz que as extinções não começaram nos 65 milhões de anos, mas antes.

Aluno 28- Já vinha ocorrendo lentamente.

Aluno 4- Segundo vocês dizem, o meteorito causou essas extinções todas. Segundo os nossos estudos começou a haver extinções antes desse meteorito cair na Terra.

Aluno 5- Nós sabemos que não houve aviso prévio das extinções...

Aluno 7- Foram encontrados nos fósseis, dados que dizem que as extinções começaram antes dos 65 milhões de anos, as espécies começaram a morrer antes. Mas não foi de uma vez, foi muito lentamente.”- Turma B

“Aluno 19- O Joaquim disse que os piroclastos podem ter coberto a Terra. Um dos maiores vulcões do planeta Terra é o vulcão de Yellowstone que são fissuras, é um vulcão fissural e se entrasse em erupção só cobria 1/3 dos Estados Unidos da América.

Aluno 2- Atenção que formou 1000 metros de basaltos!!

Aluno 19- Não me digas que foi esse vulcão da Índia que cobriu a Terra toda!

Aluno 13- Mas como nós já demos nas aulas, há uma relação entre o manto superior e os movimentos da litosfera e através de estudos eles conseguiram ver que houve uma inversão da polaridade da Terra nessa altura o que provocou uma instabilidade no manto inferior e isso é que provocou um intenso vulcanismo.”- Turma A

“Aluno 16- Mas, é que o meteorito não levanta só pó. Também faz fogo! E faz levantar água pelo impacto e tremores de terra. Faz tudo!

Aluno 13- O vulcão pode afectar as estruturas terrestres e provocar sismos também!!”- Turma A

Esta questão revelou-nos que há uma consciencialização de que a Ciência é feita por pessoas como eles, o que é fundamental para que passem a encará-la como uma actividade interligada com a Tecnologia e com a Sociedade. Nesta fase da aula, a controvérsia estava instalada e os alunos tentaram argumentar com todos os seus argumentos, quer do Documento 3, quer provenientes do seu próprio conhecimento construído.

“Aluno 29- O facto de ter havido metamorfismo de choque não prova que ocorreu a queda do meteorito?

Aluno 7- Houve uma colisão, mas já pensaste que dos vulcões explosivos podem sair piroclastos também deformados?

Aluno 5- Mas em grandes quantidades?

Aluno 7- Não sabes o tipo de vulcão naquela altura...

Aluno 18- Mas temos de ter em consideração que nem todos os componentes da cratera são de vulcão, mas de meteoritos!! E esses materiais têm a ver mais com os meteoritos.”- Turma B

Nesta estratégia, o papel da docente foi o de fazer de mediadora e de fazer “ponto da situação”, sempre que se revelasse necessário. Ao longo dos debates houve intervenções da docente, clarificando a questão da idade da Terra no que se referia a um curto período de tempo em termos geológicos.

“Aluno 2- Mas foi imediato!!

Prof.- Atenção que a Hipótese Colisional aponta uma extinção que deve ter decorrido ao longo de cerca de 500 anos, que em termos geológicos é muito rápido.”- Turma A

“Prof.- Atenção que a anóxia dos oceanos pode também ter ocorrido. Anóxia é falta de oxigênio. Ponto da situação: Houve (...)”- Turma B

Esta visão dinâmica de Ciência e dos cientistas foi-se tornando cada vez mais clara, de tal forma que os alunos passaram a “encarar” as hipóteses como suas.

“Aluno 4- Segundo os nossos estudos, Keller diz que as extinções não começaram nos 65 milhões de anos, mas antes.”- Turma B

“Aluno 2- Mas vocês não têm provas de que esse meteorito existiu! E nós temos os basaltos!!”- Turma A

No decorrer do debate notou-se um evoluir dos raciocínios e alguma surpresa relativamente aos argumentos utilizados por ambas as partes, dado que nenhuma havia lido os documentos da hipótese contrária. Ou seja, o envolvimento foi aumentando quando cada grupo se apercebia da lógica argumentativa do grupo opositor. Afinal, as coisas em Ciência não eram tão lineares como muitas vezes se quer fazer parecer. Daí que, os alunos tenham visto a necessidade de utilizarem outros conceitos que já tinham compreendido, por forma a salvaguardar a sua posição, o que nos pareceu pertinente para este estudo. É que a discussão de assuntos desenvolve os raciocínios e fomenta o crescer para a Ciência.

Esta procura constante de argumentos para defender a hipótese que lhes tinha sido incumbida defender, tornou os debates francamente interessantes, pois verificámos que as ideias iam surgindo naturalmente e os alunos utilizavam-nas com mestria, argumentando relativamente à vontade. Parece-nos que a construção do conhecimento científico passa por aqui, com o estabelecimento de pontes, conexões com outros assuntos que os alunos já aprenderam. É que, perante uma situação em que se lhes pôde colocar a questão da “reputação de cientistas” em jogo, houve que usar do raciocínio, recorrer e, empregar conceitos que, entretanto, já faziam parte do conhecimento deles.

“Aluno 5- Professora, nós defendemos que a colisão ocorreu numa sequência carbonatada e quando houve a colisão, muito dióxido de carbono passou para a atmosfera e causou um agravamento do efeito de estufa (...).”

Aluno 7- Vénus também tem um grande efeito de estufa, e esse efeito de estufa não pode ser resultante de vulcões?”- Turma B

“Aluno 30- Não te esqueças que o meteorito antes de chocar com a Terra, precisa de passar pela atmosfera e podia desfazer-se.

Aluno 25- Mas ele poderia ser muito grande, tal como em Vénus! Também chegaram ao solo!?”- Turma A

A partir da análise destes resultados, somos levados a pensar a existência de uma certa relutância dos grupos em aceitar as ideias dos outros. Esta característica eminentemente humana tornou-se clara não só para nós enquanto docentes, mas também para os próprios alunos intervenientes no processo. Porém, os raciocínios em desenvolvimento abertos, maleáveis cognitivamente, de modo que foram surgindo novas questões, entretanto importantes para a boa progressão da estratégia. Particularizando a situação, alguns alunos começaram a levantar a questão de uma hipótese dupla para as extinções do K/T. Antecipou-se, desta forma, o quadro-síntese que foi apresentado aos alunos no final do debate.

“Aluno 31- Há alguma coisa que impeça que tenha havido as duas coisas?”

Aluno 23- Uma coisa não pode ter induzido a outra?”- Turma A

“Aluno 18- Os meteoritos ao caírem na Terra provocaram impacto e o magma “que está lá em baixo”, sofreu alterações e subiu formando muitos vulcões.”- Turma B

Com efeito, no final do debate passou-se à análise do quadro-síntese das duas hipóteses e seus principais apoiantes, com a respectiva cronologia. Na actualidade já se vê uma tendência para a formulação de uma hipótese que contempla as duas mais focadas neste trabalho. Mas, reconhecamo-lo, os alunos estão atentos à comunicação social e, assim, ao tomarem contacto com duas realidades, ou melhor, duas hipóteses explicativas de um mesmo fenómeno, questionaram-se, com toda a legitimidade, de só ser abordada uma delas. Contudo, o lançar de questões-problema facilitadoras da reflexão tornou-se pertinente numa estratégia centrada em controvérsias científicas, que se queriam como impulsionadoras da construção do conhecimento científico.

“Aluno 7- Mas por que é que nos livros só se fala de uma delas?”

Prof.- Não será a nossa tendência de gostarmos de catástrofes? E cá está: estarmos numa época de Novo Catastrofismo?

Aluno 3- Mas os vulcões são catástrofes naturais!!

Prof.- E a queda de meteoritos?

Aluno 3- Também...”- Turma B

Esta espontaneidade era fundamental para que se conseguissem atingir os nossos objectivos. As representações mais usuais cingiam-se à Hipótese Colisional, provavelmente porque foi a primeira a surgir e porque, por outro lado, era mais espectacular em termos de chamada de atenção do público em geral. Uma catástrofe produzida pela colisão de um corpo extraterrestre é algo que apela à nossa imaginação. Uma ideia apocalíptica apesar de nos tempos que correm já não ser aceite, continua a fazer-se sentir no imaginário colectivo. Contudo, as dúvidas que os alunos colocaram a este respeito foram fulcrais, para reforçar a mensagem de uma Ciência que muda e que se define por ser dinamizante.

Durante a exploração do quadro-síntese foi também ressaltada a questão pessoal de antipatia entre Greta Keller e Jan Smit, sem esquecer os outros intervenientes que decidimos tornar centrais nesta parte do trabalho. A análise cuidada de como se passaram as aulas e as opiniões finais dos alunos, relativamente à questão da controvérsia, levou-nos a concluir que este é um caminho adequado a percorrer. Também o debate desenvolveu novas ideias sobre o funcionamento da comunidade científica. A tomada de consciência de

que durante os tempos há ideias que vão sendo postas de lado por falta de argumentos ou por outras razões de inadequação, revelou-se francamente positiva para que evitemos e erradiquemos uma ideia de Ciência asséptica e intocável por outros factores que não os científicos.

“Prof.- (...) E com estes factores, as ideias Catastrofistas foram sendo ignoradas.

“Aluno 2- Professora, mas há uma tomada de posição pela comunidade científica?”- Turma A

A análise conjunta do painel, no final da estratégia do debate pareceu-nos que foi um bom elemento de síntese e de clarificação de posições. Por outro lado, o painel também apresentava posições mais actuais, nas quais os alunos se reviram um pouco, pois, tal como já o salientámos atrás, chegaram a questionar a legitimidade das duas Hipóteses se conciliarem. Neste contexto, foi uma boa opção, a tomada por nós, uma vez que os próprios alunos já se tinham questionado sobre esse ponto.

Tornou-se evidente a importância deste painel como síntese de uma aula rica em controvérsias científicas que envolveram os alunos não só a nível emocional mas, também, a nível da construção do conhecimento científico. Nesta última estratégia proposta para a terceira aula, salientamos, mais uma vez, o carácter humano da Ciência e de quem a constrói. Podemos dizer que foi uma tarefa aparentemente simples, já que os alunos, tendo participado de forma activa, simulando o papel do cientista num debate, aperceberam-se que há dúvidas, interesses e muitos dados que podem ser conducentes a Hipóteses, aceites ou não, pela comunidade científica.

ANÁLISE DA QUARTA AULA NAS TURMAS A E B

As imagens que os alunos carregavam sobre a Ciência e sobre os cientistas foi aos poucos sofrendo alterações, mudanças mesmo, que se revelaram muito proveitosas. Surgiram, ao longo do debate da terceira aula, comportamentos muito defensivos, face à inovação de ideias trazidas pelos grupos opositores. Contudo, a riqueza dos argumentos apresentados levou a que alunos menos abertos à discussão dos argumentos dos colegas se fossem abrindo, progressivamente, aos argumentos fornecidos pelos grupos defensores da outra hipótese.

A quarta aula no âmbito deste estudo, constituiu uma síntese dos principais elementos da aula anterior, revelando-se alguns pontos mais significativos, por forma a perseguir os nossos objectivos, ou seja, a controvérsia científica como um motor impulsionador da construção do conhecimento científico dos alunos.

Entretanto, foi ainda utilizado o quadro negro para fazer um apanhado geral dos assuntos focados ao longo das últimas aulas inseridas num estudo, incentivando-se sempre a participação dos alunos. É nossa convicção que um reforço activo estimula a reflexão em tudo relacionada com uma perspectiva de Ensino por Pesquisa, como se preconizou. Os alunos foram respondendo a questões colocadas pela investigadora-docente que focavam todo o percurso seguido ao longo das aulas anteriores e que se centravam sobre a corrente de pensamento geológico desde o século XIX, passando pelas Extinções em Massa do final do Cretácico e ainda as duas hipóteses abordadas neste tema. Fez-se, pois, uma análise retrospectiva sobre a evolução do pensamento geológico ao longo do século XIX e XX, tendo como ponto de partida as controvérsias científicas referentes às Extinções em Massa.

Em termos didácticos, podia haver o perigo dos alunos ficarem mais enraizados com uma só das hipóteses. Contudo, a estratégia seguida no debate revelou-se francamente vantajosa, já que se foram ouvindo outros argumentos também válidos e isso, implicou uma pausa e reflexão. A utilização de um quadro-síntese e a sua exploração parece-nos algo a salientar, quer pelos alunos defensores de uma hipótese e ainda ajudou a superar os contra-argumentos dos colegas, positivamente. A articulação dos conflitos entre as duas hipóteses em questão e a sua visualização em painel, estimula a reflexão sobre os argumentos utilizados nas suas defesas e ataques.

A utilização da última estratégia permitiu que os alunos se obrigassem a reflectir sobre os assuntos, de tal forma que, perante as novas situações que iam surgindo ao longo do debate, havia respostas adequadas, resultado não só do raciocínio que estava a ser realizado, como também da utilização de conceitos, já adquiridos anteriormente.

No final desta estratégia procedeu-se à auto-avaliação na qual se deu tempo aos alunos para reflectirem sobre os seus sentimentos, quer na preparação para o debate em casa, quer na própria actividade e mesmo nas outras estratégias. A consciencialização de que foi difícil ultrapassar a barreira da defesa cega da sua ideia, é sinal de evolução, ainda que não chegue. Os cientistas também são humanos e como tal possuem sentimentos que

denotam o seu investimento pessoal numa determinada ideia ou conceito que sempre demora anos a reformular-se.

“Aluno 5- Parece que, às vezes, nem os queríamos ouvir. Tentávamos arranjar logo uma ideia contra, só para salvar a nossa!”- Turma B

“Aluno 32- Nós sentimos como se a teoria fosse mesmo nossa.”- Turma A

A perspectiva com que os alunos ficaram sobre a construção de teorias foi melhorada, conseguindo, assim, dar voz a conceitos que são aceites, ou não, por comunidades construídas por outros homens e mulheres cheios de “humanismos”, tal como todos nós. E isso foi sentido por cada um deles nas tarefas que lhes foram propostas nestas estratégias.

“Aluno 16- Gostei desta forma de dar a matéria. Ajuda a compreender melhor, serve para facilitar a vida aos estudantes. Eu gostei muito do debate...quando estava a estudar senti que tinha de perceber melhor para defender melhor a minha teoria.”- Turma A

“Aluno 33- Gostei, achei uma maneira diferente de dar as aulas e não foi “seca”. E uma pessoa a confrontar as duas ideias percebe melhor as duas partes, não só a nossa, mas estamos a saber as coisas dos outros. E é interessante conhecer os dois lados porque existem os dois, afinal, não há só a Hipótese da Colisão.”- Turma A

“Aluno 25- Gostei de estudar e de ter argumentos para defender. Eu não conhecia muito bem a do Vulcanismo e no debate fiquei a perceber muito bem.”- Turma A

“Aluno 32- Gostei, porque se tivéssemos dado esta matéria na aula como se dá as outras... provavelmente, só íamos falar de uma teoria e não ficávamos tão curiosos com o que aconteceu e assim é bem melhor.”- Turma A

“Aluno 25- Também gostei, achei interessante e gostei de ficar com as ideias das duas teorias, e que as duas têm razão. E os cientistas também andam à guerra. (risos)”- Turma A

“Aluno 13- Gostei do debate, sendo uma boa maneira de nós ficarmos a conhecer as duas teorias e para começarmos a aprender a ir buscar argumentos para defender as nossas ideias. E também gostei do teatro e percebi bem as duas ideias do Cuvier (que fui eu) e assim não se torna tão maçador. Chama mais a atenção. Estamos mais atentos.”-
Turma A

“Aluno 3- Eu pertencia ao grupo da hipótese colisional e tinha que defender essa hipótese, mas eu acho mais provável a vulcânica. Daí eu estar sempre a fugir para a hipótese deles. Por isso é que eles estavam a dizer que eu estava quase a virar para o lado deles.

Prof.- Mas compreendeste as duas posições?

Aluno 3- Sim e gostei de conhecer as duas...”- Turma B

“Aluno 27- Eu gostei de conhecer as duas hipóteses (...) Apesar de não ter participado muito... fiquei a perceber muito bem tanto um lado como o outro.”- Turma B

“Aluno 34- Eu acho que devemos conhecer as duas hipóteses, porque só assim, podemos falar mais da Colisional, mas se a outra também é provável e se existem factos, devemos conhecer as duas, não devemos conhecer só uma, se a outra também é válida.”-
Turma B

“Aluno 6- Eu, a princípio, também achava que a minha é que estava certa, mas depois de conhecer a deles já fiquei a pensar. E acho que até foram as duas em conjunto... O debate serviu para nós desenvolvermos os nossos conhecimentos. (...)”- Turma B

Tal como já referimos acima, o envolvimento emocional, numa determinada questão, leva-nos a ter uma perspectiva diferente sobre essa mesma questão. Tomando em atenção os conteúdos programáticos, pensamos que esta foi uma estratégia cuja preferência foi notória de entre as outras utilizadas no contexto das Extinções em Massa. O envolvimento e a responsabilização dos alunos foi um ponto fundamental para que a aquisição e compreensão de conceitos fosse substancialmente melhor.

“Aluno 14- Eu achei interessante porque a gente debateu bem as duas questões. Ficamos a perceber bem as duas teorias e é importante vermos os dois lados da história, para termos as nossas próprias conclusões acerca do assunto.”- Turma A

“Aluno 7- Sou muito sincera, ‘Stora, se chegasse aqui e dissesse há duas hipóteses e tal e desse a matéria normal, se calhar eu não ia chegar a casa e ler aquilo tudo e não me ia preparar tanto! E se fosse de outra forma não ia saber a Hipótese Vulcânica dos pés à cabeça. Estudava só para o teste...(...)’- Turma B

“Aluno 29- Eu também pensei que a minha hipótese é que era mais válida. Como não li a outra, quando fomos para o debate fiquei a conhecer a vulcânica, discutimos as duas, acho que foi muito interessante.

Prof.- Achas que isto vos ajuda a pensar melhor?

Aluno 29- Isto exige mais. Temos de trabalhar mais.”- Turma B

O diálogo interactivo permitiu a aquisição lenta e gradual de conceitos num desenvolvimento de competências essenciais para a disciplina em questão. A compreensão da Geologia como Ciência relacionada com outras como a Biologia e a Química, por exemplo, provocou o alargamento dos horizontes intelectuais dos alunos. Afinal, esta noção de Ciência é transmitida pelo seu carácter dinâmico, essencialmente demonstrado nesta estratégia. A controvérsia reveste-se de múltiplas facetas a ser exploradas, mas sobre as quais os resultados nos parecem também eficazes quando se estimula o envolvimento emocional dos alunos. Ou seja, as estratégias que foquem as controvérsias necessitam do envolvimento pessoal dos alunos para que as mesmas sejam interiorizadas e para que os objectivos sejam alcançados. Pese embora defendermos a utilização das controvérsias científicas, enquanto motores ou catalisadores do conhecimento científico, não podemos esquecer a perspectiva de Ensino do Ensino por Pesquisa, enquanto instrumento mobilizador da estratégia desenvolvida.

“Aluno 17- Não tem nada a ver com as outras aulas. É bem melhor. Acho que nos envolvemos mais e percebemos mais.”- Turma A

“Aluno 23- Eu acho que este tipo de actividade é interessante e importante não só para adquirir conhecimentos, mas para usarmos esses conhecimentos como argumentos

para contrapor outros e, ao mesmo tempo, sermos obrigados a estudar para contrapor aos argumentos dos outros.”- Turma A

“Aluno 5- Acho que é uma forma de “brincar” com a matéria e uma pessoa aprende aquilo com mais gosto.(...). Ontem estava ali como se estivesse num grande debate. Eu estava-me a sentir mesmo envolvida naquilo e cheguei mesmo a compreender. (...)”- Turma B

“Aluno 4- É assim, a meu ver, foi importante conhecer os dois pontos de vista porque eu concordo com os dois. No livro fala mais da do impacto...mas eu acho que devemos conhecer as duas porque, se calhar, até actuaram em conjunto...”- Turma B

“Aluno 7- Eu, quando estava a ler, novamente, em casa, a ver aquilo, eu sentia-me um bocado insegura (...). Isto porque desde o 7ºano só nos falavam da Hipótese Colisional e na outra, uma pessoa chegava ali a ler os documentos e para o outro grupo era mais fácil porque já conheciam a ideia. Enquanto que para nós não. Foi totalmente novo, “caímos de pára-quedas”...

Prof.- Mas, foi importante teres conhecido esta Hipótese Vulcânica?

Aluno 7- Foi porque o saber não ocupa espaço e nós temos que querer saber sempre mais, não devemos ficar limitados pelo básico. (...).”- Turma B

No fundo, esta estratégia de ensino é a conduta possível que advém de uma forma de encarar o ensino e perspectivá-lo numa dinâmica professor/aluno que permita a reflexão ao longo do processo ensino/aprendizagem. E é essa postura que determina a natureza desta orientação para o Ensino da Geologia, na qual se vão estabelecendo interligações estreitas da Ciência com a Tecnologia e com a Sociedade.

Neste ensaio, prosseguimos com o Documento 4 (ver Capítulo IV), no qual se encontram resumos sobre as outras *Extinções em Massa*, decorridas ao longo do Tempo Geológico. A nosso ver, a realização de um trabalho de pesquisa é fundamental para que as informações que vão surgindo sofram um processamento informativo e passem a constituir conhecimento científico escolar. A última estratégia utilizada levou mais tempo, mas foi

ministrado à vontade de cada aluno, com a incumbência da realização, à sua escolha, de um trabalho de pesquisa sobre uma das outras Extinções em Massa.

A interpretação que os alunos fizeram dos materiais que conseguiram encontrar, foi feita à luz dos conhecimentos adquiridos ao longo destas aulas, pelo que é importante analisar, convenientemente, os resultados dos mesmos.

São nestes e noutros trabalhos levados a cabo, numa altura em que se deu alguma mudança, que a perspectiva de Ensino por Pesquisa revela alguma importância. Notámos o grande empenho dos alunos na realização das tarefas que lhes foram propostas. As dúvidas começaram a surgir não só a nível da bibliografia, mas também com o facto de haver já algumas hipóteses explicativas para as outras extinções, que não, apenas, as do K/T. Essa surpresa que se levantou é mais um elemento valorizador da estratégia que decidimos utilizar.

A actividade proposta passou para além dos limites da escola. Prolongou-se nas suas casas com um maior enriquecimento pessoal. Temos ideia de que os alunos reflectiram sobre os assuntos e estabeleceram conexões que, num futuro próximo, se irão revelar, francamente, vantajosas. A apropriação constante dos alunos sobre este assunto revelou-se nos trabalhos apresentados à docente, não só sob a forma escrita, mas também em conversa, fora do horário escolar. O “feedback” dos alunos foi muito gratificante para nós, que, cuidadosamente, reflectimos sobre as questões e que pretendemos uma melhoria do ensino/aprendizagem. Na busca de soluções para questões-problema que a experiência deixa antever, entram em conta os factores que se ligam ao próprio aluno. Daí a importância que este elemento tem no processo de ensino. Assim, acreditamos que o factor humano da relação *aluno-controvérsia-professor* é fundamental para o conhecimento que o aluno tem de si e dos outros que o rodeiam, não só colegas da turma ou dos professores, como também dos cientistas que têm uma vida igualmente humana.

Nesta mesma linha, devemos salientar que os alunos se revelaram muito adequados nas conclusões dos seus trabalhos, pois colocaram não só as ideias veiculadas pela comunidade científica sobre as extinções que eles pesquisaram, mas apresentaram também as suas próprias ideias. Os valores e os conhecimentos adquiridos foram transparecendo num pequeno trabalho de pesquisa, que se revelou de reflexão e de aprendizagem. A necessidade de se mudar a forma de ensinar, levou-nos a algumas inovações. São sobretudo as representações das aulas anteriores que parecem ter imperado na elaboração

do trabalho. A noção de que a Ciência é feita de controvérsias, permitiu que os alunos pudessem estabelecer possíveis relações entre cientistas de que já tinham ouvido falar e das causas para as extinções. Esta postura, de certa forma mais amadurecida, face a um novo problema, parece-nos mais um ponto de análise a salientar.

Assim, e neste contexto, foi com estas estratégias centradas nas controvérsias científicas que se foi construindo o conhecimento científico. A consciência das diferentes posições dos cientistas face a um mesmo problema, coloca os alunos num nível mais próximo deles. Postulamos esta ideia, porque os jovens, nestas idades, estão em franco desenvolvimento intelectual onde os conflitos internos e as dúvidas são uma constante. Ao constatarem que, afinal, a dita “Ciência asséptica” também se move por sentimentos e controvérsias, há um aproximar que permite uma melhor compreensão do que ela é, na realidade. No fundo, a mentalidade dos adolescentes parece aproximar-se da controvérsia, o que facilita a compreensão de novos conceitos, por vezes complexos.

Podemos ainda dizer, acerca desta última estratégia, que um trabalho de pesquisa, mediado e orientado pelo professor, é capaz de conduzir os alunos a uma maturidade libertadora. Ou seja, a construção do conhecimento científico, tal como toda a Ciência que diariamente se desenvolve é, por si só, inacabada. Porém, estas etapas que se vão passando e ultrapassando, pressupondo que há dificuldades, são fundamentais na construção do *ser* de uma pessoa. As estratégias iniciais desta parte do trabalho definiram, de forma intencional, o perfil do aluno que sabe investigar e procurar algo, quando se lhe propõe uma tarefa a cumprir. Esse perfil, permite o desenvolvimento de trabalhos interessantes e que, sem dúvida, vêm corroborar com o que já temos vindo a dizer ao longo deste capítulo de análise.

A questão que se nos colocava dizia-nos que a controvérsia inserida numa perspectiva de Ensino por Pesquisa revestia-se, contudo, de algumas dificuldades. Com efeito, a questão do tempo de aprendizagem não é de se descurar, havendo ainda a necessidade de introduzir o tema de uma forma apelativa e dinâmica, o que impede uma postura amorfa e inactiva. Por fim, a preparação teórica dos docentes também nos parece fundamental para que as estratégias sejam levadas a cabo, sem réstias de dúvidas ou falta de esclarecimento num determinado ponto.

Neste contexto, acreditamos que o diálogo final com cada aluno sobre o seu trabalho de pesquisa foi fundamental para que o delineamento de concepções dos alunos

ficasse claro e que a ideia de Ciência que pretendíamos passar viesse a permanecer ao longo do tempo.

“Foi bastante interessante desenvolver este trabalho porque enriquecemos a nossa cultura de uma forma pedagógica e gratificante para nós, (...).”- Alunos 6 e 29 – Turma B

“Na nossa opinião (...) o mais provável seria a junção de todas (as hipóteses).”- Alunos 7 e 34- Turma B

“Gostamos de realizar este trabalho de investigação porque aprendemos muito sobre o Tempo Geológico e, também, compreendemos que a vida tem sofrido grandes alterações.”- Aluno 31 e 23- Turma A

“Com este trabalho pedido para a disciplina de Biologia e Geologia, ficamos a perceber melhor que aconteceram muitas outras Extinções em Massa ao longo do Tempo Geológico e que, também, foram provocadas por acontecimentos como, por exemplo, os que mataram os Dinossauros.”- Aluno 21– Turma A

A controvérsia foi-se revelando, ao longo da aplicação dos materiais didácticos, uma ferramenta apropriada pela Didáctica detentora de uma tal força intrínseca, que consideramos fundamental para o Ensino da Geologia. Face a estas controvérsias e já no final do presente estudo vamos à sua avaliação geral. Com efeito, as perspectivas dos alunos sobre a Ciência e sobre aqueles que a fazem sofreram mudanças significativas de direcção. A velha imagem de Ciência que veiculava as concepções dos alunos foi como um véu que se levantou, pondo a descoberto a realidade da *pessoa do cientista*. Ao depararem-se com uma questão controversa, na qual eles próprios participaram de uma forma activa, a mudança foi mais eficaz. As atitudes e valores vão-se alterando e, se pretendemos formar cidadãos informados, temos de lhes fornecer, como que, pedaços da realidade, para que possam tirar ilações próprias, fruto de reflexão. Esta característica reflexiva enriquece os discentes para que um dia optem por um futuro, porventura, ligado à Ciência. Não pretendemos formar cientistas, mas, sobretudo, formar cidadãos informados e que se habituem a reflectir sobre o que os rodeia.

Assim, o corpo deste estudo passou por vários pontos. Desde a dicotomia entre Catastrofistas e Uniformistas, passando pelo Novo Catastrofismo até à actual Controvérsia gerada entre a Hipótese Colisional e a Hipótese Vulcânica das Extinções em Massa do K/T.

ANÁLISE DA QUINTA AULA NAS TURMAS A E B

Depois de apresentados os materiais didáticos construídos sobre esta temática, decidimos que seria conveniente obter respostas, por escrito, no que se refere a estas estratégias sobre as Extinções em Massa e as Controvérsias Científicas geradas em seu redor.

Desta forma, o inquérito anónimo (ver Anexo II) foi respondido na quinta aula, fora da agitação emocional que as aulas anteriores tinham proporcionado. Passemos à análise dos resultados do referido inquérito.

A evolução, na forma de pensar, sobre o desaparecimento de espécies ao longo do Tempo Geológico, parece-nos que ficou bem esclarecida, de tal forma que os alunos conseguiram estabelecer pontes de conhecimento, tendo por base as controvérsias do século XIX.

“No início do século XIX pensava-se que as extinções em massa eram o resultado de gigantescas catástrofes que ocorriam sem aviso prévio e eram o resultado dos castigos de Deus. Desde aí as mentalidades evoluíram e passou-se a acreditar que não existiam catástrofes repentinas, mas, sim, graduais, lentas e uniformes. Actualmente, século XXI, as tendências para explicar as extinções em massa voltam a inclinar-se para as catástrofes, mas com a justificação de factos actuais (poluição, tectónica...)”- Turma B

“No início, as pessoas pensavam que todas as transformações que ocorriam na natureza eram provocadas por catástrofes (...). Depois, veio a corrente do Uniformismo que dizia que todas as coisas que aconteciam na natureza ocorriam de forma gradual. Actualmente, volta-se a pensar em catástrofes, só que sabemos explicá-las de forma mais científica, antigamente, as pessoas pensavam que era Deus para castigar os pecadores.”- Turma B

“No século XIX pensava-se que as Extinções em Massa não eram fenómenos naturais, mas, sim, catástrofes que ocorriam por ordem divina, ou seja, as pessoas baseavam-se muito na Bíblia Sagrada. Mais tarde surgiu o naturalista James Hutton que contrariou estas ideias, afirmando que tudo acontecia de forma lenta e gradual, ou seja, actualismo e gradualismo. Depois surgiu Charles Lyell que defendia o Uniformismo,

baseado em Hutton. Actualmente as pessoas voltam a acreditar nas catástrofes, mas de uma forma diferente.”- Turma B

“Inicialmente, as Extinções em Massa eram explicadas por fenómenos catastróficos mencionados na Bíblia, tais como Dilúvios. O principal impulsionador desta teoria foi o Barão Georges Cuvier. Em meados de 1850, esta teoria foi substituída pelo Uniformismo cujo principal impulsionador foi Charles Lyell. Esta teoria dizia que as Extinções em Massa se deviam a fenómenos lentos e graduais, os quais não possuíam a intervenção divina. Actualmente, há uma tendência para voltarmos a ideias catastróficas, a qual se designa Novo Catastrofismo.”- Turma A

“Há muitos anos pensavam que as espécies eram extintas por acção de catástrofes que atingiam a Terra por ordem divina (...), mais tarde Lyell fez com que as pessoas vissem que talvez as espécies não tivessem sido extintas de uma vez, mas uniformemente, dando origem ao Uniformismo. Hoje estamos a voltar ao Catastrofismo, tentando, no entanto, arranjar explicações para as catástrofes que ocorrem, não as ligando, pura e simplesmente, a Deus.”- Turma A

Claro que, conhecer duas posições controversas sobre um mesmo assunto tem de surtir efeitos reflexivos. Neste contexto, decidimos colocar uma segunda questão mais pessoal e que se refere à importância de conhecer bem as duas posições controversas entre Catastrofistas e Uniformistas.

“Sim, foi importante, (...) e fez-nos ver que pode haver várias maneiras de ver a mesma coisa.”- Turma A

“Sim (...) porque ficamos a conhecer a perspectiva em que os naturalistas do século XIX acreditavam, fundamentaram.”- Turma A

“Foi importante, pois ficamos a saber que nem sempre todos os cientistas e os naturalistas estão de acordo.”- Turma A

“Sim, porque ficámos a perceber que os cientistas nunca concordam uns com as ideias dos outros.”- Turma A

“Sim, pois ficamos a ter um conhecimento mais amplo, o que nos leva a formarmos uma opinião mais fundamentada.”- Turma A

“Sim, pois ao ficarmos a saber os dois pontos de vista, ficamos a conhecer mais sobre os naturalistas do século XIX.”- Turma B

“Sim, pensamos que foi importante devido ao facto de ainda hoje muitas pessoas pensarem que tudo acontece pela lei divina.”- Turma B

“Sim, uma vez que ficámos a conhecer geólogos de outros tempos bem como o que eles pensavam, as suas ideias e teorias.”- Turma B

As respostas do inquérito, deram-nos um “feedback” não só dos conhecimentos que os alunos foram trabalhando, mas também sobre as próprias estratégias e a sua pertinência. Assim, a estratégia preferida de uma grande parte dos alunos foi, sem sombra de dúvida, o debate, se bem que na sua generalidade todos tenham considerado agradável a designada estratégia do teatro. Analisando o que os alunos disseram acerca desta última estratégia, pudemos concluir que, parecendo mais fácil, ela era rica em conteúdos (e não só), que foram passando para os alunos de uma maneira “discreta”, mas que acabou por gerar um efeito positivo.

“(…) o teatro foi representado de uma maneira simples e directa, a compreensão foi mais rentável.”- Turma A

“(…) nós participávamos, ou seja, estávamos mais atentos e assim podíamos aprender melhor e perceber com mais facilidade.”- Turma A

“Sim, foi uma actividade problematizadora e crítica que visou as duas formas de pensamento e facilitaram a compreensão.”- Turma A

“Sim. Porque a partir deste mini teatro conseguimos compreender facilmente e de uma forma divertida, as duas posturas.”- Turma A

“(…) se fossemos nós a ler apenas o texto, sem interacção de personagens, tornava-se cansativo para nós e podíamos até perder a vontade de ler, e aí não conseguiríamos perceber.”- Turma A

“(…) foi uma forma mais divertida de se explorar e conhecer temas da matéria, o que fez com que despertasse mais interesse e curiosidade por explorar estes temas.”- Turma B

“(…) estávamos a aprender de forma descontraída.”- Turma B

“(...) foi uma forma mais “divertida” de se explorar e conhecer temas da matéria, o que fez com que se despertasse mais interesse e curiosidade por explorar estes temas.”-

Turma B

“Sim, porque tentamos observar as duas ideias de forma diferente e divertida.”-

Turma B

“O teatro foi uma maneira diferente de associarmos a matéria com a realidade.”-

Turma B

“(...) através da diversão conseguida durante as aulas tomamos conhecimento do modo de pensar dos naturalistas.”- Turma D

No que se refere ao debate, os alunos argumentaram a preferência pelo envolvimento que sentiram não só no debate em si, mas na sua preparação. Ao buscar mais argumentos para justificar uma determinada preferência, verificámos que todos passam pela melhor compreensão dos assuntos, para além de permitir comparações e tomadas de posição de modo mais activo e seguro.

“(...) foi mais fácil compreender o assunto debatido, devido a uma grande interacção e o uso de uma linguagem simples entre os alunos.”- Turma A

“(...) Ambos o grupos se aplicaram na “sua” teoria. E até nos colocamos na pele dos cientistas (...).”- Turma A

“Sim, adorei. Com o debate eu precisei de ler e reler novamente os textos com a devida informação, para ter argumentos para defender a minha teoria, o que fez com que eu estudasse com muita vontade e o que facilitou a compreensão da matéria.”- Turma A

“(...) fomos, como que, obrigados a saber a “nossa” teoria para que pudéssemos argumentar contra a “outra” teoria e ao mesmo tempo adquiríamos conhecimentos. (...) os alunos ficaram entusiasmados e com os sentimentos à flor da pele.”- Turma A

“(...) os alunos tiveram de estudar uma das teorias e, de seguida, argumentar, questionar, clarificar, duvidar e criticar, facilitando a compreensão das duas hipóteses (...).”- Turma A

“(...) ajudou-nos, bastante, a conhecer as duas hipóteses, assim como, fez com que vivêssemos uma (ótima) experiência no campo dos debates.”- Turma B

“(...) defendemos a “nossa” teoria e os prós e contras, como se fossemos nós os verdadeiros defensores de uma das teorias.”- Turma B

“(...) entrámos mesmo naquele clima de debate, o que fez com que estivéssemos ali como naturalistas e/ou cientistas, que tinham que defender a sua hipótese. (...) foi divertido e uma forma muito mais agradável de conhecer a matéria.”- Turma B

“(...) devido ao seu interesse, obrigou-nos a estudar (...)”- Turma B

“(...) desenvolvemos a nossa capacidade de raciocínio e, a partir daí, compreendemos melhor o tema.”- Turma B

O indício mais claro de que as controvérsias foram, sem dúvida, o centro deste estudo. A sua reacção foi positiva e fez que os alunos demonstrassem querer saber sempre mais. O conhecimento das controvérsias de forma aprofundada, para a faixa etária em que trabalhamos, permitiu que testemunhassem uma Ciência imperfeita e feita por pessoas. Este foi o assunto de uma outra questão do inquérito, ou seja o interesse da controvérsia científica, enquanto impulsionadora da construção do conhecimento científico escolar.

“(...) adquirimos os conhecimentos mais facilmente.”- Turma A

“(...) A matéria “entra” mais facilmente na nossa mente e conseguimos ficar com uma ideia acerca do assunto.(...)”- Turma A

“(...) ficamos a conhecer todas as hipóteses e as razões para crer nessas hipóteses.”- Turma A

“(...) essas “guerras” de ideias demonstram bem as diferenças entre as duas teorias (...)”- Turma A

“(...) é mais atractivo e animador uma “guerra” de ideias, do que ouvir a (o) professor(a) a falar sobre o assunto.”- Turma A

“(...) quando só existe uma hipótese não dá para fazer comparações, enquanto que com duas ou mais hipóteses dá para compará-las e compreendê-las melhor.”- Turma B

“(...) estas “pequenas guerras” de ideias despertam em nós mais interesse e uma enorme curiosidade em conhecermos os dois lados das questões.”- Turma B

“(...) é muito mais fácil aprender os conceitos utilizando pequenas “guerras” de ideias. Eu acho que os alunos preferem aprender os conceitos, utilizando debates e teatros (...)”- Turma B

“(...) por exemplo, no debate, cada um defendia a sua tese, trocando ideias e estando sempre a aprender.”- Turma B

“(...) à medida que os cientistas se confrontam, nós vamos conhecendo as ideias de cada um. (...).”- Turma B

Numa interpretação que pudemos fazer acerca deste assunto é que os conflitos cognitivos não têm uma essência própria, nem possuem uma existência de per si, são sim, um existir que é o princípio de uma realidade que se quer ver alargada e francamente inserido no Ensino da Geologia.

Por outro lado, a controvérsia também trouxe inovação na forma de ver o cientista, enquanto pessoa que se rege igualmente por emoções. Queremos com isto dizer que os alunos conseguiram estabelecer novas pontes de conhecimento, onde não se desprezava o carácter eminentemente humano, daqueles que constróem a Ciência, assunto abordado em duas questões interligadas do questionário.

“(...) Acho muito interessante a vida dos cientistas. Tentar procurar métodos e provas concretas para provar que as suas teorias é que estão certas. E também a interacção entre os cientistas (debate).”- Turma A

“(...) Apercebi-me que o “trabalho” de um cientista é interessantíssimo.”- Turma A

“Pessoas de vasta cultura e de grandes sentimentos. Isso fica demonstrado quando entram em conflito, por causa da sua teoria.”- Turma A

“Os cientistas antes dessas aulas pareciam seres chatos, que não tinham nada que fazer, senão fazer contas, arranjar teorias e pareciam seres insensíveis. Depois, estes passaram a ser vistos como pessoas, como todos nós, e com uma actividade enriquecedora.”- Turma A

“Nós, por vezes, temos a ideia que os cientistas são pessoas completamente diferentes de nós, mas pelo contrário, são pessoas que divergem e competem entre si, como qualquer pessoa.”- Turma A

“Para nós, os cientistas eram pessoas frias e fora do normal. Afinal são pessoas tão comuns, que até nós (...) podemos ser cientistas (...).”- Turma A

“(as aulas) Ajudaram a compreender que os cientistas também fazem trabalho de campo.”- Turma A

“Percebemos que (os cientistas) têm sempre ideias diferentes e que fazem tudo para provarem que estão certos.”- Turma A

“São muito orgulhosos, defendendo sempre as suas teses e criticando as outras. Por outro lado, estão sempre abertos a novas hipóteses ou novas teses.”- Turma A

“Os cientistas são seres humanos regidos pelo saber e por uma curiosidade intensa. Isso leva-os a querer sempre aumentar os seus conhecimentos.”- Turma A

“Anteriormente, víamos os cientistas como possuidores de uma profissão inatingível, inalcançável. Hoje, a nossa opinião está modificada, pois vemos a profissão de cientista como uma hipótese real.”- Turma A

“(...) Por vezes, há alguns, como é o caso de Gretta Keller, que se envolvem demais e acabam, quase que, por odiar os defensores de algo oposto à sua teoria.”- Turma A

“Podemos perceber que qualquer um pode ser cientista desde que tenha o desejo e o gosto pela descoberta, que tenha a curiosidade de algo ou que tenha uma ideia contrária a alguma teoria e queira apresentar novas propostas, por exemplo.”- Turma A

“(as aulas) Ajudaram a colocar-nos no lugar deles e ver quanto sofrem ao defender as suas ideias (...).”- Turma B

“Os cientistas gostam sempre de “arranjar” mais argumentos que defendam as suas ideias, de ter mais conhecimentos para poderem ter razão naquilo que dizem.”- Turma B

“Anteriormente, pensávamos que os cientistas não descobriam assim tanta coisa e com tanto significado. Nestas aulas vimos que, realmente, os cientistas são pessoas importantes, porque há certas descobertas que fazem que parece impossível uma única pessoa conseguir fazê-las.”- Turma B

“(...) Talvez tenha aprendido que para eles descobrirem e argumentarem a descoberta, por detrás está muito trabalho e pesquisa. Sempre pensei que, justificar alguma coisa era muito fácil, hoje vejo que justificar é muito complexo e não podemos justificar de qualquer maneira, mas com nexos e coerência.”- Turma B

“Que não são aqueles “tipo filme”, ou seja, são pessoas que geram “conflitos” uns com os outros (...) as suas teorias ao colidirem com as de outros cientistas vão criar conflitos. (...)”- Turma B

Propomos, perante a nossa análise, a utilização das controvérsias científicas para uma mudança na forma de encarar os cientistas e a Ciência. Todavia, as interpretações daqueles jovens que participaram neste estudo sofreram, uma abordagem qualitativa com a

utilização destas estratégias. A realidade volta a tomar o seu rumo na Didáctica, uma vez que, ao partirmos dela, deixamo-la ser apropriada por esta. No fundo, este é um problema sobre o qual urge mais reflexão por todos nós que estamos directamente ligados com o avançar do ensino.

A fim de averiguar, se os nossos propósitos, acerca da relação entre Ciência-Tecnologia-Sociedade foi conseguido, colocámos uma questão dessa índole (ver Anexo V).

“(...) os cientistas precisam de informações de variados assuntos. E estes assuntos desencadeiam outros.”- Turma A

“(...) os cientistas são influenciados pelas suas próprias crenças, pelos professores que os ensinam e por outras ciências.”- Turma A

“(...) os cientistas, nomeadamente, os da era medieval, eram bastante influenciados pela Igreja, pois tudo era explicado com factos da Bíblia.”- Turma A

“(...) apesar de estudarem determinados assuntos, também se podem interessar por outros diferentes.”- Turma A

“(...) para provarem certas teorias, muitas vezes, vão buscar informações sobre outros assuntos.”- Turma A

“(...) por exemplo, Alfred Wegener era meteorologista e debruçou-se sobre a Geologia.”- Turma A

“(...) como seres humanos, os cientistas são influenciados por condicionantes biológicas, psicológicas (...) histórico-culturais e sociais.”- Turma A

“(...) são influenciados pela cultura, sociedade, tempo e espaço em que estão inseridos.”- Turma A

“(...) sem nunca descuidarmos os seus sentimentos pessoais e sociais.”- Turma A

“(...) os cientistas não se limitam a estudar um só assunto, eles gostam de estudar outros assuntos, como o surgimento da vida, o surgimento do nosso planeta (...).”- Turma B

“(...) Os cientistas têm um assunto que estudam... Mas, por outro lado, se forem confrontados com outras questões que não tenham a ver com o assunto deles também se interessam. (...) também podem ser influenciados por outras hipóteses.”- Turma B

“(...) parece-me que muitos cientistas são influenciados pela igreja ou pela religião de que são praticantes.”- Turma B

“(...) também lêem sobre determinadas áreas, entre as quais: literatura, filosofia (...). Eu acho que os cientistas são muito parecidos com os filósofos, pois ambos têm uma necessidade de descobrir o último “porquê?” das coisas.”- Turma B

“(...) para (...) se estudar uma determinada matéria é preciso ter bases, e (...) estas bases estão ligadas com outros conteúdos.”- Turma B

Por último, neste pequeno inquérito que realizámos aos alunos participantes, decidimos perguntar qual das duas principais estratégias lhes agradou mais, sendo a resposta alvo de uma justificação. Apesar de suspeitarmos da resposta, a quase totalidade dos alunos manifestou preferência pelo debate, sendo o principal motivo a emoção e o envolvimento sentido não só na preparação como no próprio debate.

“O debate, porque toda a turma colaborou e cada um pôde depor as suas ideias; no caso do teatro só pode participar o número de personagens que pediam (...) e no debate toda a turma estava atenta e sempre à procura de ideias (...) e isso torna-se mais aliciante.”- Turma A

“Apesar de no teatro estarmos mais atentos às questões abordadas; no debate fomos obrigados a estudar, a raciocinar e a compreender o assunto.”- Turma A

“O debate, incluía um maior número de elementos da turma e obrigava-nos a um maior trabalho de pesquisa que nos ajudava a conciliar os conhecimentos mais facilmente.”- Turma A

“No debate, fica-se com a ideia das duas perspectivas e as nossas emoções são postas à prova ao defendermos as nossas teorias.”- Turma A

“Debate. Porque houve mais interacção com os alunos.”- Turma A

“O mais aliciante foi o debate. No teatro não houve uma participação total da turma, enquanto que no debate toda a turma sentiu necessidade de expressar as suas ideias.”- Turma B

“Para mim foram os dois aliciantes. No teatro, na parte em que o Barão Cuvier entrou em “confronto” com Lyell foi muito interessante, pois transmitiu-nos como é que os cientistas se confrontam entre si. O debate foi uma boa maneira de (...) interpretar o papel de certos cientistas, em que uns defendiam uma hipótese e os outros estavam a opor-se e pensavam que eles é que estavam certos, não conhecendo a hipótese oposta (...).”- Turma B

“(...) ambas as formas (...) foram muito boas. São (...) óptimo método de aprendizagem. (...) o teatro foi uma forma mais divertida de aprender. (...) no debate, para podermos rebater é preciso sabermos muito bem a matéria, enquanto que no teatro aprendemos, à medida que representamos. (...)”- Turma B

“ (...) o debate. (...) por me sentir completamente envolvida naquele ambiente. (...)”- Turma B

Da nossa análise, podemos verificar que, a nova concepção que os alunos têm de Ciência está associada à ideia da controvérsia. Naturalmente que as estratégias que pretendam incidir sobre o nosso objecto de estudo, a controvérsia científica, poderão ser muito variadas. Nos outros temas deste trabalho também foram seleccionados episódios controversos, que originaram materiais aliciantes, em nosso entender. Contudo, as análises que faríamos da sua aplicação, certamente, iriam corroborar aquelas que fizemos neste capítulo. É que, como já o referimos atrás, a controvérsia não se pode separar da Ciência e, como tal, a estratégia é como uma arca que transporta um conteúdo valioso. A forma de se abrir essa arca é fundamental para que não se perca nenhum desse precioso tesouro. Daí que, no estudo que conseguimos realizar, através do exercício da própria prática, foi-nos possível discernir que o importante é possuir uma estratégia que permita um abrir de raciocínio e que incite à reflexão cuidada e mediada pelo docente. Importa, sim, envolver os alunos o mais possível nas questões, pois só assim se aperceberão melhor o que é um conflito científico e, como tal, acederão ao conteúdo da estratégia delineada cuidadosamente. A controvérsia científica implica sempre um forte pendor argumentativo sustentado, com justificação.

A controvérsia é, pois, um meio para se atingir um fim, que é a construção do conhecimento científico escolar. Este quer-se duradouro e que facilite a reflexão sobre futuras situações ligadas ou não à Ciência, por forma a formar cidadãos activos e interventivos, sem receios de situações conflituais. E, denunciámos aqui, que a informação pura e simples, desprovida de contexto histórico e humano, só tem afastado os jovens da Ciência, como estudos recentes vêm evidenciando.

Voltemo-nos, por fim, para uma análise geral, em forma de síntese, das cerca de 9 horas utilizadas na aplicação dos materiais didácticos, centrados nas controvérsias

científicas, geradas em torno das Extinções em Massa, desde o século XIX até aos dias de hoje.

O efeito conseguido, após análise atenta dos diálogos e dos resultados dos trabalhos de investigação, levanta a hipótese que é pertinente: o envolvimento dos alunos. Este deve centrar-se em questões cujo enquadramento tenha sido feito anteriormente, com estratégias como as que utilizámos inicialmente. Quanto a nós, uma boa base de saberes é fundamental para que se possam formar raciocínios devidamente estruturados. Assim, a comparação das ideias dos Catastrofistas e Uniformistas, no início desta dinâmica, revelou-se frutuosa. O facto dos alunos terem tomado contacto com os textos originais também lhes trouxe alguma surpresa e curiosidade sobre a História da Ciência.

Neste sentido, o teatro foi o culminar de uma ideia lançada inicialmente. A participação activa dos alunos em textos ricos, com boa informação, implicaram uma compreensão de conteúdos, o que nos pareceu positivo. Por outro lado, a controvérsia científica no quadro da Didáctica curricular e também, neste contexto, investigativa, estava assente em terreno firme, como a mobilização da História da Ciência. Tal estratégia de ensino foi crescendo com dinamismo e inserida numa perspectiva de Ensino por Pesquisa.

Apercebemo-nos da notória preferência dos alunos pela estratégia do debate. O desafio que colocámos aos alunos, nesta estratégia, tinha uma exigência alta. O estudo por parte dos alunos e a sua participação livre e espontânea foi muito gratificante. Por um lado, verificámos que o conflito lhes interessava porque vai ao encontro dos seus próprios sentimentos de vingar a sua personalidade nesta fase da adolescência. A segunda razão que se nos levanta está relacionada com o facto da aprendizagem e a compreensão de conceitos, algo complexos, poder ser melhorada com estas estratégias, valorizando os seus próprios valores.

O papel do professor enquanto dinamizador também deverá ser referido nesta análise. A mediação e o incentivo, por parte do docente, foi fundamental para que se construam pontes de conhecimento e edifícios mentais melhor estruturados sobre a Ciência.

Capítulo VI

CONCLUSÕES, IMPLICAÇÕES E LIMITAÇÕES DO ESTUDO

INTRODUÇÃO

A Controvérsia Científica é uma questão da Ciência interpretada e apropriada pela Didáctica específica, o que lhe vem a conferir, de certa forma, um carácter instrumental, ainda que importante, no quadro do ensino. Pretendeu-se com este estudo propor algumas orientações para a melhoria do processo de ensino/aprendizagem, acreditando que a partir dele e da reflexão em torno do processo de investigação desenvolvido, foi dado um passo na sua qualidade, não só enquanto processo mas, também, enquanto produto de aprendizagem.

Ao longo de quatro anos de trabalho neste projecto, fomos criando raízes no terreno da História da Ciência. Porém, na sua riqueza, apercebemo-nos da grande importância que os conflitos e as controvérsias desempenharam na emergência e clarificação de conceitos, atitudes e valores, que passaram a ser um marco na Ciência que hoje se constrói, se ensina e aprende.

Neste último capítulo faremos uma reflexão de todo o trabalho desenvolvido, bem como das conclusões que dele pudemos extrair e que, de acordo com as nossas intenções, servirá de estímulo para o início de estudos futuros. Além do mais, encarámos a Geologia como uma Ciência Histórica, rica em conteúdos que nos parecem facilitar o seu estudo, enquanto Ciência que, de acordo com a sua definição, estuda o planeta Terra. É nesta interacção que empenhámos a nossa análise conclusiva desta investigação. Pensamos ainda, que o apelo à natureza humana, rica em conflitos e dilemas, tornou a controvérsia perfeitamente enquadrada e justificada num contexto da Didáctica específica. Para nós, a controvérsia poderá funcionar como uma ruptura com o senso-comum, fazendo compreender que os homens/mulheres que fazem a Ciência são humanos com fraquezas, desejos, ambições e influenciados pela Sociedade e pela Tecnologia. É nossa convicção que a controvérsia, em particular, e a História da Geologia, em geral, são assuntos de extrema pertinência que permitiram o desenvolvimento não só intelectual como também atitudinal dos alunos.

Julgamos que mais estudos têm de se vir a realizar não só a nível dos alunos, mas também a nível da comunidade docente, quer no âmbito formação inicial, quer na formação contínua. Afinal, as linhas estruturais do Ensino da Geologia passam claramente pela História da Ciência e, mais concretamente, pela controvérsia científica, dotada de uma epistemologia própria.

CONCLUSÕES

Ao iniciar a reflexão final deste trabalho, devemos iniciá-la pela escolha do tema. Assim, é fundamental conceptualizar a nossa opção de que as controvérsias científicas constituíram o nosso objecto de trabalho.

A Didáctica específica apropria-se da controvérsia científica de uma forma única e com características próprias; é como uma oficina onde se produzem meios que irão funcionar como impulsionadores de uma melhoria do ensino/aprendizagem. Ao articular a prática lectiva com a vontade de transformar formas de pensar, vemos o caminho da Didáctica emergir, naturalmente. A chamada de atenção para o carácter socializador da escola, faz com que a Didáctica das Ciências tenha ganho ao longo dos anos um carácter mais clarificador e aceite institucionalmente. No fundo, trata-se de uma maneira de modificar formas de actuar que se querem abertas e sem preconceitos, relativamente a muitos aspectos, mas no caso em concreto, relativamente à Ciência. Não podemos conceber a sala de aula como uma acção que decorre sem a interferência de outros determinantes como a Sociedade, a Tecnologia e a própria comunidade científica que opina e delibera sobre as ideias e as teorias a serem aceites. Neste domínio, ocorreu-nos que o elo estabelecido entre a Didáctica específica e a controvérsia científica aparecia com uma força prática que se reflectiu nos materiais didácticos construídos e desenvolvidos nas próprias aulas.

A nossa intenção de trabalhar num projecto que não ficasse apenas pela investigação teórica de um determinado assunto, foi clara desde o início. Fruto de reflexão cuidada, vimos o estudo ser conduzido para as controvérsias científicas e sua apropriação pela Didáctica específica, com vista à construção de materiais didácticos a desenvolver na sala de aula. Sendo o conhecimento fruto da reflexão remetemos, neste estudo, a

controvérsia como sendo a razão pelo progresso que inicialmente ambicionámos e que julgamos ter atingido.

A nossa principal preocupação foi a de escolher temas suficientemente ricos em situações apropriáveis pela Didáctica específica, para podermos trabalhá-los numa perspectiva pós-positivista, que designamos, neste âmbito, de racionalismo contemporâneo. Tornou-se evidente que a necessidade de compreender o papel da controvérsia científica na construção do conhecimento científico escolar, foi o nosso objectivo de estudo. Falar de controvérsia é centrar a nossa atenção numa forma de construir o pensamento científico.

Ao centrarmo-nos na construção de materiais didácticos, tentámos realizar, cuidadosamente, uma transposição Didáctica de assuntos controversos da Ciência, dotados de uma Epistemologia própria. A dificuldade com que nos deparámos nesta tarefa, esteve na adequação da controvérsia científica ao seu tratamento didáctico, com os desejáveis e necessários cuidados. É então que nos atrevemos a dizer que se conseguiu uma ligação proveitosa no relacionar a Epistemologia da Ciência com a forma de ensinar ciências. Ou seja, não se dissociou a Epistemologia da Ciência da Didáctica específica pois, pretendemos que os alunos conhecessem a realidade da Ciência onde a controvérsia tem um lugar preponderante.

Como resultado construámos materiais que, em nosso entender, foram o reflexo de uma realidade passada no seio da comunidade científica e que puderam ser utilizados na prática lectiva. Depois de nos centrarmos no estudo das controvérsias científicas tratadas didacticamente, debruçámo-nos na elaboração dos já referidos materiais. Note-se que existe, necessariamente, um lado pessoal que, pode ser interpretado como uma parte do todo neste processo. Ou seja, uma realidade interpretada por nós e transposta para a prática (Fig.VI-1).

Nesta perspectiva, contactámos com as convicções e crenças dos investigadores, assuntos intimamente relacionados com a perspectiva Historiográfica que seguimos, o que foi fundamental para que os comportamentos dos Cientistas abordados nos materiais didácticos fossem compreendidos à luz da época na qual os acontecimentos se passaram. Os factos apresentados por escrito, aos alunos, por meio de materiais didácticos, permitiram uma nova dinâmica impulsionadora da História da Geologia.

A reconstrução de uma lógica histórica rica em conteúdos apropriáveis pela Didáctica específica implicou o seu conhecimento intrínseco e extrínseco. O conhecer a

Geologia enquanto Ciência que se autonomizou há relativamente pouco tempo, com questões e dilemas foi muito pertinente para que a sua abordagem na sala de aula permitisse alcançar uma representação viva da Ciência em estudo. Por outro lado, o abrir das fronteiras do conhecimento, permitiu que se relacionasse a Geologia com outras Ciências, o que fez todo o sentido mesmo dentro das controvérsias. Entendemos que a leitura da Geologia, numa perspectiva histórica, em particular de natureza externalista, esteve representada pela controvérsia. E nesta dialéctica associada à História da Geologia conseguimos estabelecer as pontes que inicialmente desejávamos (ver Capítulo I) e que mais à frente clarificamos em pormenor. Porém, sem deixar passar este contexto, podemos antever já uma das conclusões do nosso estudo e que vai ao encontro da utilização da controvérsia geológica como motor na construção do conhecimento científico escolar, que se distingue do conhecimento científico de um investigador desta área.

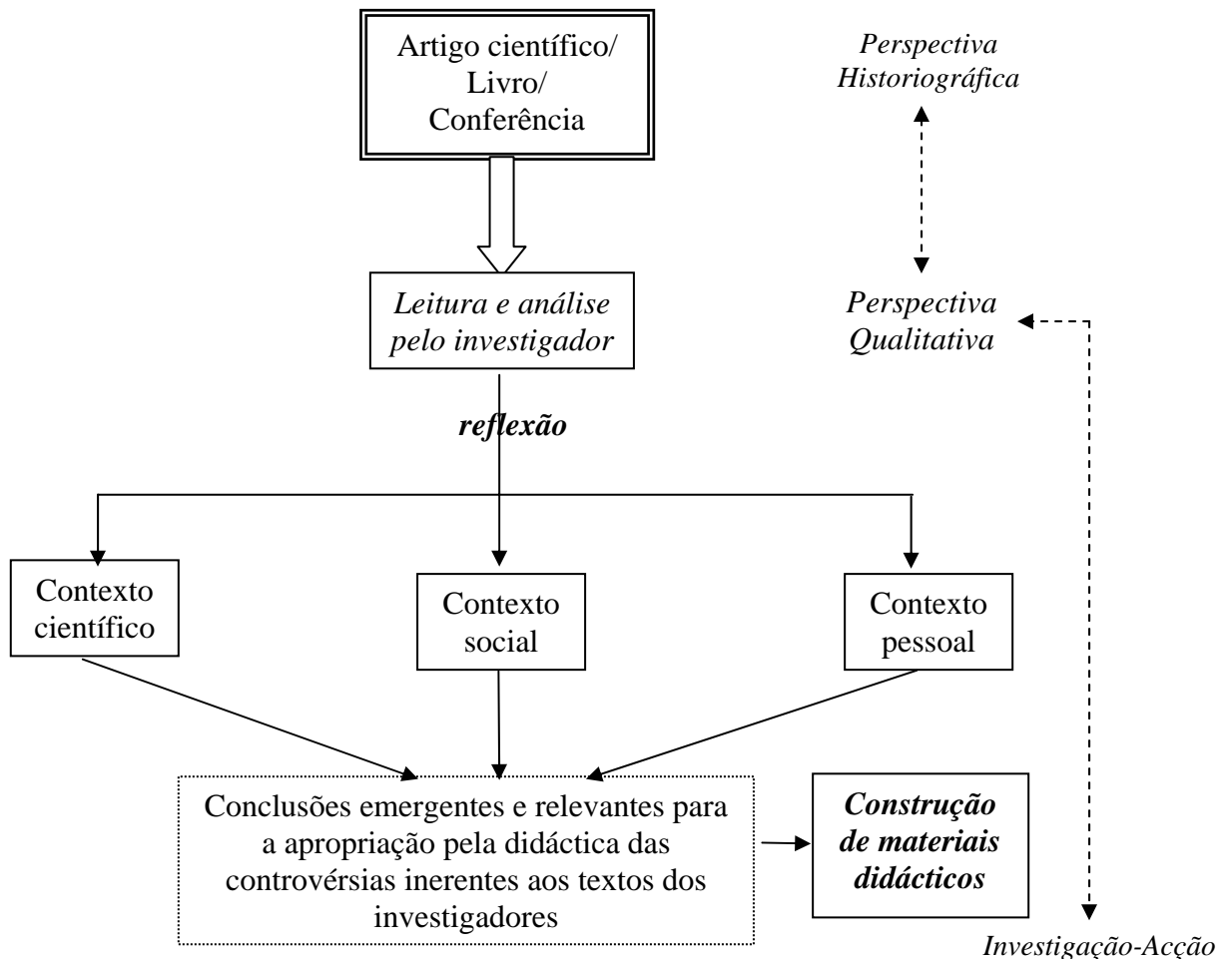


Fig.VI-1- Análise dos textos originais e percurso das conclusões.

Esta vertente Historiográfica articulou-se bem com a vertente qualitativa, mostrando-se mesmo frutífera. A opção pelo qualitativo foi sempre apoiada pela e na interpretação, estabelecendo articulações entre a teoria e a prática assumidas desde o início deste trabalho. No fundo foi uma consequência inevitável de um percurso de recolha que implicou uma cuidada análise da controvérsia científica aplicável no âmbito da Didáctica específica. Com efeito, a religião, a tecnologia e a sociedade em geral, passaram a fazer parte da abordagem do conceito de ciência que trabalhámos com os alunos, mediado pelas controvérsias científicas. Sem fugir ao assunto, podemos ainda referir que a Ciência é fruto de um desenrolar da compreensão humana. Assim, a nossa postura de investigadores da Ciência, centrados nas controvérsias, fez com que a ligação à vertente historiográfica fosse muito importante, pois foi esta que nos permitiu o discernimento do processo que permite a construção de significados ao longo do processo histórico do desenvolvimento da controvérsia.

Considerando a questão do ponto de vista histórico, entendemos que a manifestação da realidade deve ser feita de uma forma verdadeira, utilizando os episódios da controvérsia que puderam apelar para a atenção dos alunos e fomentar, inclusivé, a reflexão. Ao seguirmos a metodologia de Investigação-Acção, procurámos fazer da prática educativa uma actividade de exercício mental, cuja finalidade foi a melhoria da construção do conhecimento científico e de atitudes pelos alunos.

Assim, parece-nos legítima a conclusão de que a Ciência não está ao serviço exclusivo do conhecimento, no sentido restrito de acrescentar novas teorias. Pudemos concluir que a consciencialização de que a Ciência é feita por homens que debatem ideias (e não só) com outros, permitiu a construção do que é o verdadeiro conhecimento científico. Podemos pois, centrar-nos um pouco mais nesta questão. A ideia de que a Educação da Geologia é feita através dos manuais, centrados na apresentação das últimas informações sobre um determinado assunto proposto por instâncias superiores é, com o nosso estudo, suficientemente posto em causa. Incentivámos os nossos estudantes a conhecer um pouco mais da Ciência que estudavam, através da sua História e mais concretamente com a utilização de episódios de franca controvérsia científica. Não pretendemos contudo, menosprezar a fonte de pesquisa primária dos alunos, porém, não concebemos um conhecimento centralizador. Isto é, ao permitir o contacto com as controvérsias científicas, estivemos a proporcionar uma visão divergente sobre um

determinado tema, o que, adequadamente utilizado, é essencial. Para fundamentar esta nossa afirmação, salvaguardamos a nossa posição com a seguinte ideia: os alunos devem aprender a reconhecer e avaliar problemas que ainda não tenham recebido uma solução inquestionável. Por isso, foi-lhes fornecido um conjunto de materiais referentes às duas principais controvérsias sobre as Extinções em Massa do final do Cretácico. Para completar o que foi referido nas linhas anteriores, também nos pareceu adequada a utilização de situações dilemáticas já resolvidas, para que fosse interiorizado um padrão de prática da Ciência e sua apropriação, muitas vezes, apenas, teorizante, na construção de teorias.

Esta primeira conclusão apontada em resposta à questão-problema principal -*Qual a importância das controvérsias geológicas para a Educação em Geologia?*- (ver Capítulo I) constituiu o ponto de partida para as conclusões mais específicas deste trabalho. Pese embora seja uma conclusão geral, é fundamental conceptualizar as emergentes acerca das sub-questões inicialmente formuladas e interligadas com os objectivos que nos propusemos perseguir. Em seu apoio e apresentando a resposta à nossa questão principal, podemos claramente referir que uma orientação Didáctica fundamentada, que tenha subjacente a controvérsia científica, é fundamental para a Educação em Geologia.

Sem valorizar o produto final em detrimento dos processos, passemos, de seguida, à análise conclusiva dos nossos objectivos e sub-questões lançadas.

Com efeito, no que respeita ao primeiro objectivo do nosso trabalho -*Analisar as controvérsias na sua vertente histórico-epistemológica, numa perspectiva da construção do conhecimento científico*-, podemos dizer que, após determinar a relevância da História da Ciência, ficou clara uma realidade multifacetada, intimamente intrincada com a Sociedade e a Tecnologia. Colocado o panorama nestes termos, vimos a noção de Ciência seguir um sentido mais vincado, mas que revelou o seu percurso inacabado, aberto e subjectivo. É que a controvérsia, enquanto fenómeno intrínseco à Ciência, permitiu a sua consciencialização como realidade e foi aí que se manifestou o seu interesse para a construção do conhecimento científico. Por outro lado, a questão do conflito científico também fez parte de uma outra visão da Ciência, que considerámos de indelével importância. É como que lançar um outro olhar da Ciência para um contexto social, para uma cultura mais larga e ampla. Tornou-se, pois, pertinente, analisar que as condicionantes

e inerências externas levaram a que os postulados dos cientistas fossem um reflexo de múltiplos factores e não estritamente resultantes de dados empíricos factuais, sentido restrito. Assim, foi dada aos alunos uma outra visão, mais dinâmica e “verdadeira”, ao verificarem que o empreendimento científico é o reflexo de uma atitude humana. Ao conhecer os fenómenos intimamente associados à emergência de um conceito, está-se a evoluir, reflectindo e a estabelecer conexões que, em tudo, se assemelham à nossa ideia de Ensino por Pesquisa, que valoriza esse comportamento para a construção do conhecimento científico escolar.

Sem fugir ao contexto do parágrafo anterior, podemos dizer ainda que ao insistir no diálogo entre a controvérsia e a sua vertente histórico-epistemológica, permitimos que se tenha, no fundo, usado um instrumento básico para o conhecimento da Ciência. A abordagem, via controvérsia, dos problemas centrais de uma parte da História da Ciência, permitiu aos alunos conhecer a subtilidade da Ciência que estavam a estudar. A análise de hipóteses e de teorias que pensámos ter seguido, ao longo das aulas, conduziu a uma preocupação, por parte dos alunos, em compreender a evolução das ideias que são aceites e ministradas nas aulas de Geologia do Ensino Secundário. A propósito, podemos dizer ainda que o reconhecimento de algo controverso e cheio de disputas é como estar perante um reflexo do íntimo do ser humano. No âmbito do contexto da Didáctica parece ter sentido um grande efeito como mais à frente iremos clarificar. Porém, no contexto humano parece que lhe retirou o manto pragmático intransponível.

A articulação deste objectivo com a primeira sub-questão inicialmente formulada - *Como é que algumas das controvérsias geológicas, quando analisadas na dimensão histórico-epistemológica, se traduzem em dificuldades na construção de materiais didácticos?*- permitiu-nos traçar as seguintes linhas conclusivas: a controvérsia é dotada de uma epistemologia própria. A natureza daquilo em que acreditamos e defendemos até às últimas instâncias, levou-nos a falar da crença, o acreditar em algo mesmo sem ter uma prova empírica irrefutável. Porém, quando a estas crenças se juntam as provas mais plausíveis e testáveis temos uma convicção que quando passa para o contexto de uma Ciência como a Geologia, constitui-se como a base para a construção de uma teoria. E é neste ponto que nos surgem as controvérsias científicas em torno das quais orbita a vontade de ter razão perante uma outra teoria diferente. O que leva um cientista ou um grupo de cientistas a argumentar em favor da sua convicção? Muitos e inúmeros factores. São estes

que regem o sucesso profissional, conseqüentemente, também, pessoal e, como tal, independentemente do grupo oponente apresentar provas fidedignas, há a tendência para não sair da posição inicial, ou de, pelo menos, não dar a entender isso.

Pois, no contexto presente, e ao longo da pesquisa bibliográfica (ver Capítulo II), deparámo-nos com muita informação sobre cada um dos temas por nós escolhidos e, conseqüentemente, ao estudar o percurso epistemológico de cada um encontramos a controvérsia. Para quem estuda a História da Ciência, os pormenores laterais são interessantes, se bem que não os mais importantes e centrais para uma apropriação pela didáctica. Assim, a passagem dos episódios da controvérsia científica para a controvérsia científica escolar, foi uma tarefa que implicou uma análise cuidada de várias questões. Uma delas prendeu-se com a faixa etária dos alunos do estudo; outra, com a construção do conhecimento científico escolar. Chamamos a atenção para estas questões, pois, na adequação da controvérsia ao contexto escolar é que esteve a chave do sucesso que admitimos ter proporcionado aos alunos.

Para conseguirmos transportar as controvérsias para o plano do ensino, vimos uma dinâmica crescente que precisava de ser orientada no contexto da sala de aula. Deste modo, construámos materiais didácticos que se revelaram diversificados, uma vez que a cada controvérsia parecia corresponder uma estratégia de ensino na sala de aula. Sublinhámos pois, os puzzles, os teatros e os debates que constituíram, ao mesmo tempo, meios e pilares dos nossos materiais. Em apoio deste nosso pressuposto e de forma a fundamentá-lo, justificando ainda os resultados das nossas análises (reveladas no capítulo anterior), acreditamos que um ensino, no qual estejam presentes episódios da controvérsia científica, já apropriada didacticamente, surte um efeito como que acelerador do conhecimento científico pelos alunos. Por outro lado, o seu envolvimento nas próprias estratégias permitiu uma ligação tal que conferiu mais sentido à dinâmica do ensino-aprendizagem centrado no EPP. Pareceu-nos inegável o carácter eficiente da utilização da controvérsia na construção do conhecimento científico daqueles que estão mais predispostos à mudança e ao abrir de horizontes.

O reflectir sobre os materiais passou por um processo de validação interno e externo que concluímos ser fundamental para que uma Investigação-Acção possa ser concretizada plenamente. Estes avanços e, por vezes, recuos, na elaboração dos materiais didácticos indicou que a reflexão sobre os mesmos foi um acto de consciência dirigido para

uma determinada ideia, a de melhorar o ensino-aprendizagem da Geologia. Ou seja, esta metodologia que caracteriza o investigador e o docente, como um prático reflexivo, permitiu uma melhoria das práticas lectivas, pois vimos que os materiais didácticos foram crescendo na sua dimensão mais prática, a de serem aplicados a alunos em concreto. Daí que, os elementos obtidos pela vertente Historiográfica constituíram a base para que num plano da Investigação-Acção, a transposição didáctica fosse fruto de uma profunda e reflectida análise, o que implicou dúvidas epistemológicas que nos fizeram repensar o rumo que desejávamos que os materiais nos conduzissem.

No seguimento do referido anteriormente, o facto da nossa intenção final ser uma análise centrada nos alunos do Ensino Secundário, levou-nos à escolha de episódios francamente dinâmicos e com forte pendor científico e social. Pretendemos, com as nossas opções, chegar à ligação existente entre a Ciência, a Tecnologia e a Sociedade. Além do mais, as situações em que havia conflito directo entre investigadores suscitava uma enorme atenção e curiosidade. No fundo, buscámos a realidade evolutiva dos temas que seleccionámos, pegando nos pontos mais divergentes e apelativos para alunos daquelas idades. Tomámos, pois, como ponto de partida, a personalidade dos adolescentes que nesta fase da vida apresenta padrões distintos. O contacto com dois pontos de vista sobre um mesmo tema surgia com uma espantosa semelhança à postura dos adolescentes relativamente a muitos assuntos, inclusive da vida quotidiana e pessoal. Nesta análise, supomos ter perseguido um caminho que nos levaria mais facilmente a atingir os nossos pressupostos. Ou seja, os meios que construímos e que se centraram na utilização da controvérsia científica escolar, conduziram a um fim que nos pareceu inegável. Os alunos passaram a encarar a Ciência como uma construção humana, articulada na sociedade e condicionada pela tecnologia. As escolhas dos episódios da controvérsia com maior pendor didáctico, não fugiram do real percurso seguido na História da Geologia. Seleccionámos, apenas, aqueles que nos pareceram mais centrais, não excluindo, de todo, os episódios marginais que ressaltavam o carácter dinâmico e controverso do tema em estudo.

A este princípio seguiu-se um período de aplicação dos materiais a alunos colaboradores, situação que colocou problemas de validação, como já referimos. Parece-nos, efectivamente, que esta estratégia permitiu a progressão num sentido positivo no que respeita à construção dos materiais finais. Ou seja, nesta fase de validação, os alunos colaboradores foram alvo da aplicação dos materiais inicialmente construídos pelo que, o

feedback que nos deram, foi o da complexidade dos textos, em especial, os que apresentavam mais informação científica. Claro que, numa dinâmica de Investigação-Ação, reflectimos e reajustámos a intervenção didáctica no sentido de uma exploração conjunta de termos, com maior utilização de tempo de aula. Por outro lado, também nos pareceu pertinente, a elaboração de painéis-síntese, no final de cada controvérsia utilizada. Este acto ajudou-nos a tomar uma maior consciência e permitiu, assim, uma prudência prática e uma acção mais cuidada, face a situações complexas inerentes ao próprio processo de ensino e aprendizagem.

O posicionamento de investigadores emergiu aqui com especial nitidez, pois, a elaboração dos materiais didácticos era uma das nossas tarefas estabelecidas. No que se refere a este assunto, evitámos menosprezar as teorias, em detrimento de materiais simplistas. Porém, não foi tarefa imediata e fácil, a selecção de episódios apropriáveis para uma melhoria do processo ensino-aprendizagem. Foi, porventura, um ponto crítico da nossa investigação e que importa ressaltar e valorizar.

O segundo objectivo que perseguimos -*Articular a História da Geologia, nomeadamente as controvérsias geológicas com a Educação em Geologia*- levou-nos à tomada de consciência de que o conhecimento científico passa por uma articulação das controvérsias com a Didáctica específica. Este foi um importante marco, que já antevíamos inicialmente, mas que fomos confirmando ao longo da realização do trabalho. É a própria noção de controvérsia, que ao ser apropriada pela Didáctica específica, a individualiza e a enquadra no contexto da sala de aula. O estar na aula é uma condição criada pelo professor e como tal, é um mundo próprio e peculiar. Estar no mundo é estabelecer relações, neste caso, com os alunos, com os conteúdos e com o próprio professor. Só o Homem consegue, na sua existência e pela sua existência, estabelecer com o mundo relações de entendimento. O professor, nesta situação, desempenhou o papel de prático através do processo de ensino-aprendizagem, sem que deixasse a sua função de investigador atento à avaliação do próprio processo que, então, se desenvolvia.

Esta preocupação na busca de um estar para o Ensino das Ciências que permitisse a verdadeira construção do conhecimento científico, levou-nos à Educação em Ciência. A questão de se utilizar a História da Geologia conferiu um sentido mais globalizador à própria disciplina. Para começar a aprender Geologia, é preciso, em primeiro lugar, compreender o que é a Geologia. Para tal, nada melhor do que fazê-lo através de exemplos

históricos, que até podiam lembrar algumas das posições e perspectivas dos próprios alunos. Por outro lado, os dilemas surgidos na emergência de paradigmas, também ajudaram a estabelecer as articulações da Ciência com a Sociedade e a Tecnologia. As teorias e as hipóteses da Geologia, tal como as das outras Ciências Físico-Naturais, revestiram-se de confrontos e lutas que, se fossem conhecidas e bem compreendidas conferiam um maior sentido às mesmas, quando apropriadas ao conhecimento científico escolar. Daí que, os materiais que construímos tiveram como foco esta postura da pessoa cientista.

Podemos, então responder à segunda sub-questão que decidimos colocar e que pretendemos ver resolvida -*De que forma é que os materiais didácticos ajudam a uma significativa melhoria na compreensão da construção do conhecimento científico?*-.

A controvérsia e a Didáctica específica estão entrelaçadas e isso ficou bem claro no nosso estudo. A triologia *Controvérsia Científica-Didáctica-Material Didáctico*, revelou-nos a natureza do aluno, enquanto ser humano e, mais importante ainda, revelou-lhes essa natureza relativamente ao cientista. Já havíamos verificado isso no capítulo anterior, aquando do resultado prático do exercício complexo da aplicação dos diversos documentos referentes às Extinções em Massa. O conhecimento científico caminha no mesmo sentido da sua construção pelos cientistas que o constroem, de maneira que o confronto das teorias vigentes com outras teorias, construídas com outros factos, ou até com os mesmos, e por outras personalidades, tornava-se fundamental. Parece-nos legítima, a nossa conclusão de que estes materiais didácticos, centrados na controvérsia, permitiram dar saltos qualitativos no ensino desenvolvido.

De facto, a utilização de um filme actual e que abordava assuntos mediáticos, como as alterações climáticas repentinas, foi um bom ponto de partida para estabelecer a corrente epistemológica que hoje se vive na Ciência e que estabelecia pontos de contacto com as ideias do século XIX. Além disso, a utilização de pequenos excertos originais dos principais mentores de duas correntes de pensamento opostas, do século XIX, também nos pareceu que foi uma boa abordagem, encadeada com a estratégia seguinte, a de um teatro, dramatizado por alunos das próprias turmas. Um teatro no qual os protagonistas argumentaram cada um em defesa da sua hipótese, permitindo-lhes compreender, nesta fase de aplicação dos materiais, que a Ciência não é tão linear como se quer fazer pensar, muitas vezes.

A passagem para o estudo das controvérsias, sobre as causas das Extinções em Massa do final do K/T, seguiu-se a um diálogo comparativo do passado com o presente, dando a ideia de um carácter cíclico à Ciência. Sem fugir deste contexto, os documentos que basearam o debate inter-turma, mais uma vez, focavam a controvérsia, onde estava explícita a perspectiva tecnológica, a interdisciplinar e mesmo, a inter-pessoal. Pareceu-nos que nesta estratégia houve um evidente salto qualitativo dos alunos, no que se refere à forma de encarar a Ciência, pois, eles próprios tomaram partido na defesa de uma ideia, recheada de factos geológicos, bem como vindos de outras disciplinas, como a Química.

Concluimos genericamente que a preocupação da Didáctica específica era, também, a eficiência de um processo que, não se pretendia infrutífero e circunstancial. Isto é, sem um sentido real e que merecesse uma reflexão por parte daqueles a quem nos dedicávamos. Sob este aspecto, os resultados que fomos obtendo ao longo das horas de aplicação dos materiais contrariaram essa ideia, uma vez que esse caminhar implicava análise e reflexão. E, pela via do caminhar assentou o nosso trabalho e a aplicação dos materiais didácticos, o que revelou a clareza de um processo que envolveu os alunos numa procura e num constante repensar sobre os assuntos. Nesta perspectiva, os passos dados foram como uma caminhada que se foi fazendo lentamente, o que surtiu um efeito mais duradouro e que influenciou a forma de pensar a Ciência pelos alunos. Acreditamos que o conhecimento geológico escolar é o que fica, depois de uma caminhada e reflexão sobre informações que fizeram parte de um conjunto organizado de materiais. Por isso, a essência do Ensino da Geologia foi-se clarificando, no que se refere a temas cuja perspectiva histórica se revela cheia de conflitos e tomadas de posição.

Em suma, com os materiais construídos na base da controvérsia pudemos compreender que para se construir o conhecimento científico escolar tem de dar-se aos alunos espaço para a reflexão sobre a multiplicidade e polivalência da Ciência. Foi aqui que entrou a controvérsia científica, o meio que permitiu atingir a nossa finalidade, na maior eficiência do processo de ensino-aprendizagem.

O último objectivo em que se baseou o nosso estudo -*Avaliar a importância das controvérsias na construção do conhecimento científico, através de materiais didácticos cuidadosamente elaborados para este fim*- permitiu a boa resposta à principal questão-problema por nós apontada. Ou seja, ao estudarmos na prática da sala de aula a construção de significados, tivemos em conta que cada indivíduo, ou melhor, cada aluno, interpretou

os materiais à sua maneira. O que nos interessou, foi analisar (ver Capítulo V) os juízos feitos pelos alunos e averiguar se tinham a ver com a realidade em si. Neste sentido, concluímos que a controvérsia foi apropriada de diferentes formas pelos discentes mas, a visão da Ciência e do cientista inserido numa Sociedade regida pela Tecnologia, seguiu um só sentido. Ficou claro que a Ciência não é um mero acumular de conceitos e de novas teorias. É antes um percurso inacabado e dependente de múltiplos factores. A noção de que o interesse pessoal, a vontade de vencer sobre outros e as limitações tecnológicas que são uma realidade constante e inerente, permitiu-nos chegar a algumas conclusões. Tornou-se claro que, com estes materiais que abordaram a controvérsia passada e actual, os alunos não foram construindo um conhecimento próprio dos cientistas, mas antes um conhecimento científico escolar. E esta distinção é muito importante. No Ensino Secundário a principal missão é a formação de alunos que poderão um dia enveredar por áreas científicas. Ao levarem uma bagagem científica multifacetada, como assim pretendemos com a aplicação destes materiais, a sua intrusão no mundo do conhecimento científico universitário poderá ser mais rápida. Isto, porque já tomaram contacto com alguma forma de realidade do mundo da Ciência e daqueles que a fazem. E os restantes melhorarão significativamente a sua visão do mundo, a sua cultura, a sua própria cidadania sairá reforçada.

Não esquecemos, contudo, que a controvérsia serviu de mola impulsionadora na construção do conhecimento científico, não esquecendo que, com o (re)conhecimento das controvérsias, os alunos desenvolveram uma maior aptidão para a aprendizagem de conceitos e teorias geológicas. Trata-se de uma questão central e que avaliámos, enquanto investigadora, na prática da sala de aula.

É aqui que fazemos referência às nossas conclusões que emergiram da última sub-questão colocada -*Em que medida é que os materiais didácticos melhoram o processo de ensino e de aprendizagem, desenvolvido por professores e alunos?*-. Assim, o nosso comentário é positivo, no que respeita aos materiais relacionados com as Extinções em Massa. Pensámos que, com os materiais que construámos e que desenvolvemos com os alunos, tivemos o trabalho de docente facilitado, no que respeita às relações interpessoais durante a prática lectiva. As questões que iam surgindo e às quais eram obtidas conjuntamente as respostas, pareceram-nos estimular a reflexão sobre os assuntos, bem como um “arrumar” de ideias. As diversas estratégias por nós propostas e elaboradas,

visavam uma prática lectiva interessante e, neste contexto, procurámos que os conteúdos fossem surgindo de uma forma natural. Tudo isto, para que o processo seguisse um trajecto que não parecesse, aos alunos, já muito elaborado e planeado. É, por isso, que nos regozijamos com o seu salto qualitativo, já referido. O facto de articularem os novos conceitos com outros já aprendidos anteriormente, levou-nos a esta visão: a controvérsia estimula também um tipo de atitudes e valores muito específicos.

As nossas propostas, criteriosamente elaboradas e ministradas, visaram um ensino com significado e pertinência que se quer para o futuro dos jovens. Atribuímos grande importância às controvérsias científicas não só do passado como também às actuais, situação que fez ressaltar, igualmente, uma Ciência ainda dinâmica, nas suas múltiplas vertentes. Tornou-se claro que, a perspectiva de Ensino por Pesquisa, que optámos na sala de aula, valorizou a interacção professor-aluno, numa dinâmica tal que a noção de Ciência interagiu com a Tecnologia e com a Sociedade, dando sentido à própria controvérsia.

Acreditamos que o nível epistemológico atingido pelos alunos, por intermédio da controvérsia científica lhes permitiu encarar uma vida de pesquisa e de investigação mais próxima da realidade. Mesmo ao nível das atitudes, a utilização destas estratégias constituiu uma forte aposta Didáctica. A explicação de um conceito, que se utilizou na linguagem própria de uma determinada Ciência, aduz a um conjunto de informações que, na maioria das vezes, tocou na controvérsia. Neste contexto, a questão-principal deste trabalho vê-se a ser respondida num trabalho que passou pela apropriação Didáctica específica das controvérsias científicas, tornadas realidade num conjunto de materiais didácticos, quando conveniente e adequadamente utilizados.

O ser humano tem na sua natureza, ao contrário de outros organismos vivos, a racionalidade e, conseqüentemente, a vontade e a liberdade próprias. Os seus actos não são, por isso, pré-determinados como um computador. Assim, defendemos a utilização da controvérsia científica não de uma forma única, mas o que verdadeiramente nos interessa é a sua utilização na óptica de uma nova forma de estar, admitindo e aceitando a assumpção de que o conhecimento científico cresça de forma mais coerente e congruente com o conhecimento científico, que os alunos se desenvolvam quer cognitivamente, quer afectivamente. Ou seja, o estar na sala de aula é pois, criação pessoalizada do professor, na medida em que tem as suas próprias competências, muito inerentes à sua função de educador. Estar numa sala de aula implica estabelecer relações com os alunos e permitir que estes cresçam em

todas as vertentes que lhes estão destinadas, de atitudes, de valores e de construção do conhecimento científico escolar.

Por fim, o que nos revela a experiência que tivemos ao longo deste trabalho é que a utilização das controvérsias em estratégias diversificadas, tal como as que sugerimos e se encontram no Capítulo IV, é fundamental para o Ensino da Geologia. Esta nossa explicação implica uma sustentação que pensamos ter deixado clara ao longo deste último capítulo. Assimilando, criticamente, o que nos ressaltou no domínio das controvérsias da Geologia, conseguimos dar expressão a uma característica da Ciência que tem funções fundamentais no âmbito da Didáctica específica. E, mesmo sem termos realizado um estudo caso, podemos afirmar que os alunos cujas aspirações não eram tão elevadas, progrediram da mesma forma do que aqueles que tinham patamares mais altos a atingir. Queremos com isto dizer que, pensamos, com este estudo contribuir para uma melhoria significativa do ensino da Geologia em duas turmas do 10º ano, de uma escola deste país, o que, igualmente, nos faz sentir compensados pelas longas horas de trabalho que dispensámos na sua concretização e no estudo que ao longo destes anos estivemos envolvidos.

IMPLICAÇÕES DO ESTUDO

Ao longo destes anos de trabalho vimo-nos na necessidade de dialogar e de recolher mais informações de outros Docentes sobre as controvérsias. Cabe aqui salientar uma questão que poderá ter pertinência para estudos futuros e que se prende com o facto de se notar algum afastamento dos colegas no que diz respeito à História da Ciência e, mais concretamente, em relação às controvérsias havidas na Ciência, e em particular na Geologia. Como sabemos, trata-se de uma questão que não é abordada com muita profundidade nos cursos de Ensino de Biologia e/ou Geologia, por vários motivos. Um deles é a inexistência de estudos, de disciplinas mesmo, com estas características e que venha, de certa forma, colmatar, modificar e introduzir, assim, novas visões e estratégias de ensino das Ciências, porventura mais congruentes com a Ciência contemporânea.

Um outro motivo que nos parece ser o causador desta iliteracia, relativo às controvérsias científicas e da sua pertinência e exploração no âmbito da Didáctica, é a não existência de uma educação base que incorpore a História da Ciência. Assim, vimo-nos na

necessidade de proceder à realização de uma pequena palestra destinada aos outros docentes de Biologia e Geologia da Escola onde este estudo foi aplicado, para que, de certa forma, os outros alunos não fossem prejudicados em relação a estes que já encaravam a Ciência com outras perspectivas. Este é um universo que ainda tem muito para ser explorado e onde há representações de Ciência que têm de ser clarificadas e mesmo modificadas por via da História da Ciência e, em particular, pela controvérsia científica.

É, então, que sugerimos o prosseguimento deste estudo, agora numa perspectiva voltada para a formação de professores. Será oportuno avançar com estudos de investigação e permitir que o docente venha a conhecer melhor os Homens que fazem a Ciência.

A Didáctica das Ciências é uma área emergente que vai aos poucos adquirindo uma consolidação e integração no âmbito de disciplinas que se interessam por problemas educativos. E convém que aqui seja referido, que muitos desses problemas estão centrados nos próprios professores e nas leituras que fazem da Ciência e sobre a Ciência. É, pois, necessário e mesmo imperioso que não se estagne e que, este tipo de estudos avance, surja de forma clara nos currículos com orientações e com sugestões de trabalho. Só assim, pensamos, é possível alterar a realidade actual do ensino e este venha a sofrer uma “revolução” não só científica como didáctica e também cultural.

Parece-nos que a resistência à mudança faz parte da natureza humana. Na análise dos comportamentos dos cientistas e outros intervenientes da construção do conhecimento científico, há sempre uma postura defensiva face à alteração das condições que são bem conhecidas. Foi dentro desta análise que as críticas são atribuíveis à própria formulação das teorias. Com efeito, a tomada de consciência de que se entrou numa fase de crise torna a investigação mais motivada e quase que acutilante. No nosso caso, o estudo dos processos que geraram as crises tem uma motivação epistemológico-didáctica. Esta é uma finalidade só atingida após um longo percurso de estudo de outras motivações como as sociais e as pessoais. É que a ausência de confiança numa determinada teoria é iniciada por múltiplos factores, ou motivações, que se revelam fundamentais para uma apropriação da Didáctica. São, pois, estudos desta natureza que se incorporam e rompem outras visões que ajudam e tornam necessário avançar no sentido de que a interacção Ciência, Epistemologia, História e Didáctica, se articulem, vivifiquem mutuamente e criem sinergias transponíveis para a Educação em Ciência.

Dessa forma, os alunos passam a ter uma maior noção da complexidade do que é a construção do conhecimento científico, bem como da sua articulação com os vários contextos que levaram à emergência de um determinado conceito/teoria. Ao conhecer essas rupturas e descontinuidades, constrói-se um conhecimento científico fundamentado e que resulta de reflexão multidisciplinar.

LIMITAÇÕES DO ESTUDO

As limitações de um estudo emergem quando este chega a um ponto em que já não é possível retomar, desde o início, alguns pontos, porventura pertinentes, com vista a um ajuizar de todo o processo. Assim, no estudo realizado, ao longo dos quatro anos de trabalho, deparámo-nos com algumas limitações que importa salientar:

i) Por um lado, apontamos as limitações externas, ligadas aos constrangimentos curriculares quer do próprio currículo em si, quer das limitações em termos da gestão do tempo de leccionação. Quando se trabalha no terreno real da construção do conhecimento científico escolar, a decorrer em tempo estipulado por directrizes ministeriais, tentamos proceder da melhor forma, ajustando os materiais didácticos às circunstâncias “impostas”. Porém, tais ajustes implicaram alterações, por vezes profundas, nas estratégias. Ora, sendo a actuação do professor no terreno real da Escola, foi importante a consciência destas limitações para que os materiais desenvolvidos fossem aplicáveis mesmo noutros contextos de sala de aula. Sem contudo, deixarmos de ter presente que é o professor, profissional reflexivo, que desenvolve o seu próprio currículo, ainda que seguindo directrizes, porventura, centralizadoras.

ii) Por outro lado, apontamos as limitações internas à investigação, nomeadamente as dificuldades dos alunos na aprendizagem de temáticas complexas, cujas exigências conceptuais, exigiam, por vezes, mais tempo para a já referida passagem da informação à compreensão e construção do conhecimento científico escolar. Além disso, a transposição didáctica das controvérsias científicas foi um processo vivenciado pela investigadora, de uma forma muito próxima da realidade escolar. Isto é, houve o cuidado de procurar a centralidade da controvérsia científica e trabalhá-la nos materiais didácticos, de tal forma, que quando desenvolvidos com os alunos, estes percebessem que existia uma centralidade,

circundada por outros conceitos e teorias. E isto não foi fácil e, por isso, consideramos que nem todos os ganhos foram possíveis. Estamos conscientes disso. Devemos referir ainda que a procura da “melhor” situação dilemática com que os alunos foram confrontados constituiu um ponto crítico. Ainda que o tivéssemos em atenção e estando conscientes de tal dificuldade, tivemos de a superar, considerando por tal razão uma limitação do estudo. Por fim, pensamos que poderíamos ir mais longe na recuperação de mais algumas ideias dos alunos aquando análise das aulas, nomeadamente a da apropriação do conceito de Ciência, transpondo-o para outras situações de ensino-aprendizagem, no âmbito da própria controvérsia estudada.

BIBLIOGRAFIA

- ADAMS, F. D., 1938, *The birth and development of the geological sciences*, Dover Publications, Inc. New York 1938.
- ABBOT, D., *et al.*, 2000, « Quantifying precambrian crustal extraction : the root is the answer », *Tectonophysics*, V.322, pp.163-190, 2000.
- ACTON, G., GORDON, G., 1994, “Paleomagnetic tests of pacific plate reconstructions and implications for motion between hotspots”, *Science*, V.263, pp.1246-1254, 1994.
- ALARCÃO, I., 1989, Para uma revalorização da Didáctica, *Aprender* 3, 1989. 5.
- ALARCÃO, I., 1991, *A Didáctica curricular: fantasmas, sonhos, realidades*, Actas do 2º Encontro Nacional de Didácticas e Metodologias de Ensino, Universidade de Aveiro 1991.
- ALBARÈDE, F., VAN DER HILST, R., 1999, “New mantle convection model may reconcile conflicting evidence”, *EOS*, V.80, pp.535-539, 1999.
- ALBRITTON, C.C. Jr., 1984, “Geologic time”, *Journal of Geological Education*, V.32, pp.29-37, 1984.
- ALGEO, T.J., SESLAVINSKY, K.B., 1995, “The paleozoic world: continental flooding, hypsometry, and sealevel”, *American Journal of Science*, V.295, pp.787-822, 1995.
- ALMEIDA, A., VILELA, M. C. 1996, *Didáctica das Ciências, Aceleração cognitiva-Teoria e Prática*, Edições Asa, 1996.
- ALVAREZ, L.W., *et al.* 1980, « Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction », *Science*, Vol.208, 6 June 1980, N°4448, 1980.
- ALVAREZ, L.W. 1987, “Mass extinctions caused by large bolide impacts”, *Physics Today*, July 1987.
- ALVAREZ, W., ASARO, F., 1990, “An extraterrestrial impact”, *Scientific American*, pp. 44-52, October 1990.
- ALVAREZ, W., *et al.*, 1992, « In the Gulf of Mexico : a restudy of DSDP Leg 77 sites 536 and 540”, *Geology*, V.20, pp. 697-700, 1992.
- ALVAREZ, W. 1996, “Trajectories of ballistic ejecta from the Chicxulub Crater”, *Geological Society of America, Special Paper 307*, 1996.

- ALVAREZ, W. 1997, *T.Rex e a cratera da destruição*, Editorial Bizâncio, Lisboa 2000.
- ALVAREZ, W.; MULLER, R.A. 1984, "Evidence from crater ages for periodic impacts on the Earth", *Nature* Vol. 308, 19 April, 1984.
- ALVAREZ, W., ASARO, F., MONTANARI, A., 1990, "Iridium profile for 10 million years across the cretaceous-tertiary boundary at Gubbio (Italy)", *Science*, V.250, pp.1700-1702, 1990.
- ALVAREZ, W., O'CONNOR, D., 2002, "Permian-Triassic boundary in the southwestern United States: Hiatus or continuity?", *Geological Society of America, Special Paper 356*, 2002.
- AL-WEHER, M. 2004, "The effect of training course based on construtivism on student teachers' perceptions of the teaching/learning process", *Asia-Pacific Journal of Teacher Education*, Vol.32, N° 2, July 2004.
- ANDERSEN, H., 1998, "Characteristics of scientific revolutions", *Endeavour* Vol.22(1), 1998.
- ANDERSON, D.L., ZHANG, Y-S., TANIMOTO, T., 1992, "Plume heads, continental lithosphere, flood basalts and tomography", *Geological Society of London, Special Publication, N° 68*, pp.99-124, 1992.
- AMADOR, F., CONTENÇAS, P. 2001, *História da Biologia e da Geologia*, Universidade Aberta, 2001.
- AMOS, S., BOOHAN, R., Editores, 2002, *Aspects of teaching secondary science, perspectives on practice*, The Open University, London and New York, 2002.
- ANDERSON, D. L., 1999, "A theory of the Earth: Hutton and Humpty Dumpty and Holmes", *Geological Society Special Publication, N° 150*, 1999.
- ANDERSON, D. 2003, "Look again", *Astronomy and Astrophysics*, Vol.44, 2003.
- ÁNGEL, J. B., 1996, *La investigación-acción: un reto para el profesorado*, Inde Publicaciones, 1996.
- ARENILLAS, I. *et al.*, 2002, "K-T boundary planktic mass extinction and biochronology in Mexico and Tunisia", *Geological Society of America, Special Paper 356*, 2002.
- ARIZA, R.P., 1992, *La didáctica de las ciencias: una disciplina emergente*, Sevilla, 15 de Mayo de 1992.

- ARIZA, R.P., 1995, “Las creencias pedagógicas y científicas de los profesores”, *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, (3.1), pp.7-13, 1995.
- ARNDT, N., *et al.*, 1993, « Mantle and crustal contributions to continental flood volcanism », *Tectonophysics*, V.223, pp.39-52, 1993.
- ARNDT, N., *et al.*, 1998 “Were komatiites wet?”, *Geology*, V.26, pp.739-742, 1998.
- ARNDT, N., BRUZAK, G., REISCHMANN, T., 2001, “The oldest continental and oceanic plateaus: Geochemistry of basalt and komatiites of the Pilbara Craton, Australia”, *Geological Society of America, Special Paper 352*, 2001.
- ASENSIO, M.; CARRETERO, M.; POZO, J.I., 1989, “La comprensión del tiempo histórico” (Capítulo IV), *La enseñanza de las ciencias sociales*, Ed. Visor, Madrid, 1989.
- ASTOLFI, J.P., *et al.*, 1997, *As Palavras-Chave da Didáctica das Ciências*, Instituto Piaget, Horizontes Pedagógicos, 1997, tradução do original *Mots-Clés de la Didactique des Sciences*, 1997.
- AYMERICH, M.I., 1994, “Cómo contribuye la historia de las ciencias en las actitudes del alumnado hacia el aprendizaje de las ciencias?”, *Aula de Innovación Educativa*, Nº 27, Junio, 1994.
- BACON, M., GRAY, F., MATTHEWS, D.H., 1969, “Crustal structures studies in the bay of Biscay”, *Earth and Planetary Science Letters*, V.6, pp.377-385, 1969.
- BACON, M., GRAY, F., 1970, “A gravity survey in the eastern part of the bay of Biscay”, *Earth and Planetary Science Letters*, V.10, pp. 101-105, 1970.
- BAKER, V.R., 1998, “Catastrophism and uniformitarismo: logical roots and current relevance in geology”, *Geological Society, London, Special Publications*, V.143, pp.171-182, 1998.
- BAPTISTA, A.M., 1996, *A primeira idade da Ciência*, Ciência Aberta, Gradiva-Publicações, L.^{da}, 1ª Edição, 1996.
- BARLEY, M.E., PICKARD, A.L., SYLVESTER, P.J., 1997, “Emplacement of large igneous province as a possible cause of banded iron formation 2.45 billion years ago”, *Nature*, V.385, pp.55-58, 1997.
- BARRELL, J., 1907, *Geology of the Marysville mining district, Montana, a study of igneous intrusion and contact metamorphism*, Government Printing Office, Washington, 1907.

- BARRELL, J., 1927, "On continental fragmentation, and the geologic bearing of the moon's surficial features", *American Journal of Science*, V.XIII, N°76, pp.281-314, 1927.
- BELL, K., 2001, "Carbonatites: relationships to mantle-plume activity", *Geological Society of America, Special Paper 352*, 2001.
- BELOUSSOV, V.V., 1958, "Some factors governing the development of the Earth's crust", *Endeavour*, V.17, pp. 173-180, 1958.
- BENIOFF, H., 1949, "Seismic evidence for the fault origin of oceanic deeps", *Bulletin of the Geological Society of America*, V.60, pp.1837-1856, 1949.
- BENIOFF, H., 1954, "Orogenesis and deep crustal structure- additional evidence from seismology", *Bulletin of Geological Society of America*, V.65, pp.385-400, 1954.
- BERBERIAN, M., *et al.*, 2001, « The 1998 March 14 Fandoqa earthquake (Mw 6.6) in Kerman province, southeast Iran : re-rupture of the 1981 Sirch earthquake fault, triggering of slip on adjacent trusts and the active tectonics of Gowk fault zone", *Geophysics Journal International*, V.146, pp.371-398, 2001.
- BERCOVICI, D., MAHONEY, J., 1994, "Double flood basalts and plume head separation at the 660 kilometer discontinuity", *Science*, V.266, pp.1367-1369, 1994.
- BERCOVICI, D., KARATO, S-I., 2003, "Whole-mantle convection and the transition zone water filter- hypothesis", *Nature*, Vol.425, pp. 39-43, 4 September, 2003.
- BERGGREN, W., VAN COUVERING, J.A., Editors 1984, *Catastrophes and earth history, the new uniformitarianism*, Princeton University Press, New Jersey, 1984.
- BERRY, W.B.N., RIPPERDAN, R.L., FINNEY, S.C., 2002, "Late Ordovician extinction: A laurentian view", Geological Society of America, Special Paper 356, *Special Paper 356*, 2002.
- BERTRAND, Y., 2001, *Teorias Contemporâneas da Educação*, 2ª Edição, Instituto Piaget, Horizontes Pedagógicos, 2001, tradução do original Théories Contemporaines de L'Education de 1998.
- BHANDARI, N., *et al.*, 1988, « The Torino meteorite : classification and cosmogenic effects », *Meteoritics*, V.23, pp. 258, 1988.
- BLACKETT, P.M.S., 1947, "The magnetic field of massive rotating bodies", *Nature*, V.159, pp.658-666, 1947.

- BLAKELY, R., 1979, "Random crustal magnetization and its effect on coherence of short-wavelength marine magnetic anomalies", *Earth and Planetary Science Letters*, V.46, pp.43-48, 1979.
- BLUM, J.D., CHAMBERLAIN, C.P., 1992, "Oxygen isotope constraints on the origin of impact glasses from the cretaceous-tertiary boundary", *Nature*, V.257, pp.1104-1107, 1992.
- BODISELITSCH *et al.* 2004, "Delayed climate cooling in the late Eocene caused by multiple impacts: high-resolution geochemical studies at Massignano, Italy", *Earth and Planetary Science Letters* 223 (2004) 283-302.
- BOGDAN, R., BIKLEN, S., 1994, *Investigação qualitativa em Educação*, Porto Editora, Porto 1994.
- BOGDANOV, N.A., 1967, "Paleozoic geosynclines of the western part of the circum-pacific belt", *Tectonophysics*, V.4, pp. 581, 1967.
- BOHOR, B.F., *et al.*, 1984, « Mineralogic evidence for an impact event at the Cretaceous-Tertiary boundary », *Science*, V.224, pp.867-868, 1984.
- BOHOR, B.F., 1987, « *Microspherules and the dualistic nature of the K-T boundary clay* », V.22, pp. 333, 1987.
- BOHOR, B.F., MODRESKI, P.J., FOORD, E.E., 1987, "Shocked quartz in the Cretaceous-Tertiary boundary clays: evidence for a global distribution", *Science*, V.236, pp. 705-708, 1987.
- BOHOR, B.F., *et al.*, 1987, « Dinosaurs, spherules, and the « magic » layer : a new K-T boundary clay site in Wyoming », *Geology*, V. 15, pp. 896-899, 1987.
- BOHOR, B.F., 1988, « K-T boundary claystone is a distal ejecta deposit », *Meteoritics*, V.23, pp.258-259, 1988.
- BOHOR, B.F., SEITZ, R., 1990, "Cuban K/T catastrophe", *Nature*, V.344, pp.593, 1990.
- BOHOR, B. F., 1990a, "Shocked quartz and more; Impact signatures in Cretaceous/Tertiary boundary clays", *Geological Society of America, Special paper 247*, pp.335, 1990.
- BOHOR, B. F., 1990b, "Shock-induced microdeformations in quartz and other mineralogical indications of an impact event at the Cretaceous-Tertiary boundary", *Tectonophysics* V.171, pp.359-372, 1990.

- BOHOR, B. F., 1993, "Tonsteins: Altered volcanic-ash layers in coal-bearing sequences", *Geological Society of America, Special Paper 285*, 1993.
- BOLT, B.A., 1998, "*Earthquakes and Earth structure: a perspective since Hutton and Lyell*", Geological Society, London, Special Publications, V.143, pp.349-361, 1998.
- BOLTWOOD, B.B., 1907, "On the ultimate disintegration products of the radioactive elements. Part II. The disintegration products of uranium", *American Journal of Science*, V.23, pp.77-88, 1907.
- BOURGEOIS, J., *et al.*, 1988, « A tsunami deposit at the Cretaceous-Tertiary boundary in Texas », *Science*, V.241, pp.567-569, 1988.
- BOWIN, C., 1974, "Migration of a pattern of plate motion", *Earth and Planetary Science Letters*, V.21, pp.400-404, 1974.
- BRINKHUIS, H., ZACHARIASSE, W.J., 1988, "Dinoflagellate cysts, sea level changes and planktonic foraminifers across the cretaceous/tertiary boundary at El Haria, northwest Tunisia", *Marine Micropaleontology*, V.13, pp. 153-191, 1988.
- BROOKS, LOADER, 2004, "A sense of time", *Teaching Earth Sciences*, V.29, N°2, pp.19, 2004.
- BRUNET, D., YUEN, D.A., 2000, "Mantle plumes pinched in the transition zone", *Earth and Planetary Science Letters*, V.178, pp.13-27, 2000.
- BRUSH, S.G., 2001, "Is the Earth too old? The impact of geochronology on cosmology, 1929-1952", *Geological Society, London, Special Publications*, 190, pp.157-175, 2001.
- BRYSON, B., 2004, *Breve história de quase tudo*, Quetzal Editores 2004.
- BUCHANAN, P.C., REIMOLD, W.U., 1998, "Studies of Rooiberg Group, Bushveld Complex, South Africa: No evidence for an impact origin", *Earth and Planetary Science Letters*, V.155, pp.149-165, 1998.
- BUCHER, W.H., 1963, "Cryptoexplosion structures caused from without or from within the Earth? ("Astroproblemes" or "Geoproblemes?")", *American Journal of Science*, V.261, pp.597-649, 1963.
- BUCK, B.J. *et al.* 2004, "« Tertiary Dinosaurs » in the Nanxiong Basin, Southern China, are reworked from Cretaceous", *The Journal of Geology*, vol. 112, pp. 111-118, 2004.

- BUCKLAND. W. 1820, *Connexion of geology with religion*, Oxford, at the University Press for the author, 1820.
- BUFFETAUT, E., 2003, "Continental drift under the Third Reich", *Endeavour* Vol. 17, Nº4, December, 2003.
- BULLARD, E.C., 1943, "The Earth's gravitational field", *Endeavour*, V.II, pp.105-108, 1943.
- BURCHFIELD, J.D., 1998, "The age of the Earth and the invention of geological time", *Geological Society of London, Special Publications*, 143, pp.137-143, 1998.
- CACHAPUZ, A., 1997, *Investigação em Didáctica das Ciências em Portugal: um balanço crítico*, Cortez Editora, 1997.
- CACHAPUZ, A. et al. 2001, "A emergência da didáctica das ciências como campo específico de conhecimento", *Revista Portuguesa de Educação*, 14(1), pp.155, Universidade do Minho, 2001.
- CACHAPUZ, A.; PRAIA, J.; JORGE, M., 2002, *Ciência, Educação em Ciência e Ensino das Ciências*, Ministério da Educação, Lisboa 2002.
- CAMPBELL, I.H., GRIFFITHS, R.W., 1990, "Implications of mantle plume structure for the evolution of flood basalts", *Earth and Planetary Science Letters*, V.99, pp.79-93, 1990.
- CAMPBELL, I.H., GRIFFITHS, R.W., 1992, "The changing nature of mantle hotspots through time: implications for the chemical evolution of the mantle", *The Journal of Geology*, V.92, pp.497-523, 1992.
- CAMPBELL, I.H., 2001, "Identification of ancient mantle plumes", *Geological Society of America, Special Paper 352*, 2001.
- CAREY, S.W., 1988, *Theories of the Earth and Universe, A history of dogma in the Earth sciences*, Stanford University Press, Stanford, California, 1988.
- CARLISLE, D. B., 1992, "Diamonds at the K-T boundary", *Nature*, Vol. 357, pp. 119-120, 1992.
- CARRACEDO J.C. et al. 1998, « Hotspot vulcanism close ta a passive continental margin : the Canary Islands », *Geological Magazine* 135 (5), pp. 591-604, 1998.
- CARRETERO, M, POZO, J.I., ASENSIO, M., 1989, *La enseñanza de las ciencias sociales*, Ed. Visor, Madrid, 1989.

- CARRILHO, M. M., 1991, *Epistemologia: Posições e Críticas*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1991.
- CARRILHO, M. M., 1994, *A Filosofia das Ciências – de Bacon a Feyerabend*, Editorial Presença, Lisboa, 1994.
- CARTER, N.L., *et al.*, 1986, « Dynamic deformation of volcanic ejecta from the Toba caldera: possible relevance to Cretaceous/Tertiary boundary phenomena”, *Geology*, V.14, pp.380-383, 1986.
- CARTER, N.L., OFFICER, C.B., 1987, Forum, *Geology*, V.15, pp.91, 1987.
- CARTER, N.L., OFFICER, C.B., DRAKE, C.L., 1990, “Dynamic deformation of quartz and feldspar: clues to causes of some natural crises”, *Tectonophysics*, V.171, pp.373-391, 1990.
- CHALMERS, A. F., 2000, *Qué es esa cosa llamada ciencia?*, Nueva Edición ampliada y corregida, Siglo Veintiuno de España Editores, Madrid, 2000.
- CHAMBERLIN, T.C., 1899a, “Lord Kelvin’s address on the age of the Earth as an abode fitted for life I.”, *Science*, V.9, pp.889, 1899.
- CHAMBERLIN, T.C., 1899b, “Lord Kelvin’s address on the age of the Earth as an abode fitted for life II.”, *Science*, V.10, pp.11, 1899.
- CHAPMAN, C. R., MORRISON, D., 1994, “Impact on the Earth by asteroids and comets: assessing the hazard”, *Nature*, Vol.367, pp. 33-39, 1994.
- CHAPMAN, C. R. 2004, “The hazard of near-Earth asteroid impacts on earth”, *Earth and Planetary Science Letters* 222, pp. 1-15, 2004.
- CHAPMAN, F.M., 1896, “Meteor or bird?”, *Science*, V. 4, pp.316-317, 1896.
- CEBALLOS, G.; EHRlich, P., 2002, “Mammal population losses and extinction crisis” *Science*, 3 May, Vol.296, 2002.
- CLAEYS, P., KIESSLING, W., ALVAREZ, W., 2002, “Distribution of Chicxulub ejecta at the Cretaceous-Tertiary boundary”, *Geological Society of America, Special Paper* 356, 2002.
- COCKELL, C. S., 2003, *Impossible Extinction*, Cambridge University Press, 2003.
- COHEN, C., 2002, *The fate of the Mammoth, fossils, myth, and history*, Translated by William Rodarmor, The University of Chicago Press, Chicago and London, 2002.
- COLEMAN, A.P., 1933, “Ice ages and the drift of continents”, *Journal of Geology*, V.41, pp.409-417, 1933.

- COLLINS, N., 2004, "Scientific research and school students", *School Science Review*, March, 85(312), pp. 77-86, 2004.
- CONDIE, K.C., 2001, *Mantle Plumes and their Record in Earth History*, Cambridge University Press, 2001.
- COURTILOT, V., BESSE, J., 1987, "Magnetic field reversals, polar wander, and core-mantle coupling", *Science*, V.237, pp.1140-1147, 1987.
- COURTILOT, V., *et al.*, 1988, "Deccan flood basalts and the Cretaceous/Tertiary boundary", *Nature*, V.333, pp.843-845, 1988.
- COURTILOT, V., 1990, "A volcanic eruption", *Scientific American*, October, pp.53-60, 1990.
- COURTILOT, V. *et al.*, 1996, "The influence of continental flood basalts on mass extinctions: Where do we stand?", *Geological Society of America, Special Paper 307*, 1996.
- COURTILOT, V., GAUDEMERT, Y., 1996, "Effects of mass extinctions on biodiversity", *Nature*, Vol. 381, 9 May, pp. 146-148, 1996.
- COURTILOT, V., 1999, *Evolutionary Catastrophes, The science of mass extinctions*, Cambridge University Press, 1999.
- COURTILOT, V., DAVAILLE, A., BESSE, J., STOCK, J., 2003, "Three distinct types of hotspots in the Earth's mantle", *Earth and Planetary Science Letters*, V.205, pp.295-308, 2003.
- COURTILOT, V.; RENNE, P.R., 2003, « On the ages of flood basalt events», *Geoscience, Comptes Rendus*, Tome 335, fascicule 1, (Académie des Sciences- Paris), Janvier, 2003.
- COX, A., DOELL, R.R., DALLRYMPLE, G. B., 1963a, "Geomagnetic polarity epochs: Sierra Nevada II", *Science*, V.142, pp.382-385, 1963.
- COX, A., DOELL, R.R., DALLRYMPLE, G. B., 1963b, "Geomagnetic polarity epochs and Pleistocene geochronometry", *Nature*, Vol. 198, pp. 1049-1051, 1963.
- COX, A., DOELL, R.R., DALLRYMPLE, G. B., 1964a, "Geomagnetic polarity epochs", *Science*, V.143, pp.351-352, 1964.
- COX, A., DOELL, R.R., DALLRYMPLE, G. B., 1964b, "Reversals of the Earth's magnetic field", *Science*, V.144, pp.1537-1543, 1964.

- COX, K. G., 1978, "Flood basalts, subduction and break-up of Gondwanaland", *Nature* Vol. 274, pp. 47-49, 1978.
- COX, K. G., 1989a, "Hot plumes from the mantle", *Nature* 3 August, Vol. 340, pp. 341-342, 1989.
- COX, K. G., 1989b, "The role of mantle plumes in the development of continental drainage patterns", *Nature* Vol. 342, pp. 873-877, 1989.
- CHRISTOFFEL, D.A., ROSS, D.I., 1965, "Magnetic anomalies south of the new Zealand plateau", *Journal of Geophysical Research*, V. 70, pp.2857-2861, 1965.
- CROLL, J., 1864, "On the physical cause of the change of climate during geological epochs", *Philosophical Magazine*, V.28, pp.121-137, 1864.
- CROLL, J., 1868, "On the geological time, and the probable date of the glacial and upper Miocene period", *Philosophical Magazine*, V.35, pp.363-384, 1868.
- CROLL, J., 1870, "The boulder-clay of Caithness a product of land-ice", *Geological Magazine*, V.VII, pp.209-214, 1870.
- CROLL, J., 1875, *Climate and time, a theory of secular changes of the Earth's climate*, Daldy, Isbister & Co., London, 1875.
- CROUGH, S.T., 1979, "Hotspot epeirogeny", *Tectonophysics*, V.61, pp.321-333, 1979.
- CROUGH, S.T., MORGAN, W.J., HARGRAVES, R.B., 1980, "Kimberlites: their relation to mantle hotspots", *Earth and Planetary Science Letters*, V. 50, pp. 260-274, 1980.
- CRUZ, C. M. 1996, "La historia de la geología como hilo conductor de una unidad didáctica: Tectónica de placas", *Enseñanza de las ciencias de la Tierra*, (4.1), 59-66, 1996.
- CSEREPES, L., CHRISTENSEN, U.R., RIBE, N.M., 2000, "Geoid height versus topography for a plume model of the Hawaiian swell", *Earth and Planetary Science Letters*, V.178, pp.29-38, 2000.
- CUVIER, G., 1827, *Theory of the Earth*, Printed by P. Neill, 1827.
- DALRYMPLE, G.B., 2001, "The age of the Earth in the twentieth century: a problem (mostly) solved", *Geological Society, London, Special Publications*, 190, pp.205-221, 2001.

- DANA, J. D., 1873, "On some results of the Earth's contraction form cooling, including a discussion of the origin of mountains, and the nature of Earth's interior", *American Journal of Science*, 105 (3rd series, V. 5) pp.423-443, 1873.
- DANA, J. D., 1873, "On the origin of mountains", *American Journal of Science*, 105 (3rd series, V. 5) pp. 347-350, 1873.
- DANA, J. D., 1895, *Manual of Geology*, American Book Company, London, Trubner and Co., 1895.
- DARWIN, C., 1871, *The Descent of man, and selection in relation to sex*, London, John Murray, Albemarle Street, 1871.
- DARWIN, C., 1876, *Geological Observations*, second edition, London, Smith, Elder and Co., 15 Waterloo Place, 1876.
- DARWIN, C., 1979, *The Origin of Species*, re-edição do original de 1859, Gramercy Books, New York, 1979.
- DARWIN, C., 1997, *The Voyage of the Beagle*, Wordsworth Editions, 1997, re-edição do original publicado em 1839.
- DARWIN, G.H., 1903, "Radio-activity and the age of the Sun", *Nature*, V.68, pp.496, 1903.
- DAVIS, M., HUT, P., MULLER, R. A., 1984, « Extinction of species by periodic comet showers », *Nature*, Vol. 308, pp. 715-717, 1984.
- DAVIES, G. F., 1988, "Ocean bathymetry and mantle convection. 1. Large-Scale flow and hotspots", *Journal of Geophysical Research*, V.93, N°89, pp.10467-10480, 1988.
- DAVIES, G. F., 1989, "Mantle convection model with a dynamic plate: topography, heat flow and gravity anomalies", *Geophysical Journal*, V.98, pp.461-464, 1989.
- DAVIES, G. F., 1990, "Mantle plumes, mantle stirring and hot spot chemistry", *Earth and Planetary Science Letters*, V.90, pp.94-109, 1990.
- DAVIES, G. F., 1999, *Dynamic Earth plates, plumes and mantle convection*, Cambridge University Press, 1999.
- DE LAUBENFELS, M.W., 1956, "Dinosaur extinction: one more hypothesis", *Journal of Paleontology*, V. 30, pp.207-218, 1956.
- DELORME, J., 1964, *Les Grand Dates du Moyen Age*, Que sais-je? N°1088, Presses Universitaires de France, 1964.

- DENG, J.F., *et al.* 2004, « A new model for the dynamic evolution of Chinese lithosphere : « continental roots-plume tectonics”, *Earth-Science Reviews* 65, pp.223-275, 2004.
- DEWEY, J.F., BIRD, J.M., 1970, “Mountain belts and the new global tectonics”, *Journal of Geophysical Research*, V.75, pp.2625-2645, 1970.
- DEWEY, J.F., LAMB, S.H., 1992, “Active tectonics of the Andes”, *Tectonophysics*, 205 (1992) 79-95.
- DICKINSON, W.R., 1970, “Global Tectonics”, *Science*, V.168, pp.1250-1259, 1970.
- DICKINSON, W.R., 1971, “Plate tectonics models of geosynclines”, *Earth and Planetary Science Letters*, V.10, pp.165-174, 1971.
- DIETZ, R., 1961, “Continental and ocean basin evolution by spreading of the sea floor”, *Nature*, Vol. 190, pp. 854-857, 1961.
- DIETZ, R., 1963a, “Collapsing continental rises: an actualistic concept of geosynclines and mountain building”, *Journal of Geology*, V. 71, pp.314-333, 1963.
- DIETZ, R., 1963b, “Cryptoexplosion structures: a discussion”, *American Journal of Science*, V.261, pp.650-656, 1963.
- DIETZ, R., 1966, “Passive continents, spreading sea floors, and collapsing continental rises”, *American Journal of Science*, V.264, pp.177-193, 1966.
- DIETZ, R.S., HOLDEN, J.C., 1970, “Reconstruction of Pangea: breakup and dispersion of continents, Permian to present”, *Journal of Geophysics Research*, V.75, pp.4939-4955, 1970.
- DOMINGO, M., AMBRÓS, S., 1996, “Que puede aportar el conocimiento de la historia de la geología a los profesores en formación”, *Enseñanza de las ciencias de la Tierra* (4.1), pp. 13-20, 1996.
- DONNELLY, J. F., JENKINS, E. W., 2001, *Science education, Policy, Professionalism and Change*, Paul Chapman Publishing Ltd, 2001.
- DONOVAN, S., BARKET, S., 2003, “Fossils explained 44- Post-Paleozoic nautiloids”, *Geology today*, vol.19, N°5, Sep-Oct., 2003.
- DRESSLER, B.O., REIMOLD, W.U., 2004, “Order or chaos? Origin and mode of emplacement of breccias in floors of large impact structures”, *Earth-Science Reviews* 67, pp. 1-54, 2004.

- DRIVER, R., 1983, *The pupil as scientist?*, Open University Press, Milton Keynes, Philadelphia, 1983.
- DRUMMOND, B. J., COLLINS, C. D. N., 1986, "Seismic evidence for underplating of the lower continental crust of Australia", *Earth and Planetary Science Letters*, 79, pp. 361-372, 1986.
- DUCASSÉ, P., 1963, *As Grandes Correntes da Filosofia*, 3ª Edição, Coleção Saber, Publicações Europa-América, 1963.
- DUSCHL, R. A.____, *Marcos de aplicación da Historia e Filosofía da Ciencia para o deseño do ensino das Ciencias da Terra*, Conferência, Instituto de Ciencias da Educación, Universidade de Santiago de Compostela.
- DU TOIT, A., 1937, *Our wandering continents, an hypothesis of continental drift*, Oliver and Boyd, Edinburgh: Tweeddale Court London, 1937.
- DU TOIT, A., 1944, « Tertiary mammals and continental drift », *American Journal of Science*, V.242, pp.145-163, 1944.
- ECHEVERRÍA, J., 2003, *Introdução à Metodologia da Ciência*, Almedina, 2003.
- EDDINGTON, A.S., 1923, "The borderland of astronomy and geology", *Nature*, V.111, pp.18-21, 1923.
- EICHER, D.L., 1976, *Geologic Time* 2nd ed., Prentice Hall USA.
- ELLENBERGER, F., 1994, *Histoire de la Geologie tome 2*, Lavoisier Tec & Doc.
- ELLIOT, J., 1993, *El cambio educativo desde la investigación-acción*, Ediciones Morata, S.L., Madrid 1993.
- ERICSON, D.B., EWING, M., WOLLIN, G., 1964, "The Pleistocene Epoch in deep-sea sediments", *Science*, V.146, pp.723-732, 1964.
- ERNST, R.E., BUCHAN, K. L., 2001, "The use of mafic dike swarms in identifying and locating mantle plumes", *Geological Society of America, Special Paper* 352, 2001.
- ERNST, R.E., 2003, "Recognizing mantle plumes in the geological record", *Annual Review of the Earth and Planetary Sciences*, Volume 31, 2003.
- ERWIN, D.H., 1996, "The mother of mass extinctions", *Scientific American*, July, pp.56-62, 1996.
- ERWIN, D., BOWRING, S.A., YUGAN, J., 2002, "End-Permian mass extinctions: A review", *Geological Society of America, Special Paper* 356, 2002.

- EWING, J., *et al.*, 1966, "Ages of horizon A and the oldest Atlantic sediments", *Science*, V.154, pp.1125-1132, 1966.
- EWING, M., LE PICHON, X., EWING J., 1966, "Crustal structure of the Mid-Ocean ridges", *Journal of Geophysical Research*, V.71, pp.1611, 1966.
- EWING, J., EWING, M., 1967, "Sediment distribution on the Mid-Ocean ridges with respect to spreading of the sea floor", *Science*, V. 156, pp. 1590-1592, 1967.
- Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 1911-1986, Os Primeiros 75 Anos.
- FASSETT, J. E., ZIELINSKI, R.A., BUDAHN, J.R., 2002, "Evidence for paleocene dinosaurs that did not die", *Geological Society of America, Special Paper 356*, 2002.
- FASTOVSKY, D., DOTT, R.H.Jr., 1986, "Sedimentology, stratigraphy, and extinctions during the cretaceous-paleogene transition at bug Creek, Montana", *Geology*, V.14, pp.279-282, 1986.
- FEDUCCIA, A., 1995, "Explosive evolution in tertiary birds and mammals", *Science*, V.267, pp.637-638, 1995.
- FÉRAUD, G., COURTILLOT, V., 1994, "Comment on : "Did Deccan volcanism pre-date the Cretaceous-Tertiary transition?"", *Earth and Planetary Science Letters*, V.122, pp.259-262, 1994.
- FEYERABEND, P., 1981, *How to defend society against science*, em *Scientific Revolutions*, editado por Hacking I., Oxford University Press, 1981.
- FISCHER, K. M., VAN DER HILST, R. D., 1999, "A seismic look under the continents", *Science* Vol. 285, pp.1365-1366, 1999.
- FISHER, O., 1870, "Contraction of rocks in cooling. Reply to D.Forbes", *Geological Magazine*, V.VII, pp.58-59, 1870.
- FISHER, O., 1873, "On the formation of mountains, with a critique on captain Hutton's lecture", *Geological Magazine*, V.10, pp.248-261, 1873.
- FISHER, O., 1889, *Physics of the Earth's crust*, Second Edition, MacMillan and Co., London, 1889.
- FISHER, O., 1893, "Rigidity not to be relied upon in estimating the Earth's age", *American Journal of Science*, V.45, pp.464-468, 1893.
- FISHER, O., 1900, "Reviews- J. Joly's age of the Earth", *Geological Magazine*, V.7, pp. 124-132, 1900.

- FLEITOUT, L., YUEN, D.A., 1984, "Steady state, secondary convection beneath lithospheric plates with temperature-and pressure-dependent viscosity", *Journal of Geophysical Research*, V.89, pp.9227-9244, 1984.
- FLUTEAU, F., 2003, "Earth dynamics and climate changes", *Geoscience, Comptes Rendus*, Tome 335, fascicule 1, Académie des Sciences- Paris, Janvier, 2003.
- FOOTE, M., 2003, « Origination and extinction trough the phanerozoic : a new approach », *The Journal of Geology*, Vol.111, pp. 125-148, 2003.
- FORMOSINHO, S.J., 1988, *Nos bastidores da Ciência, resistências dos cientistas a inovação científica*, Gradiva, 1988.
- FRANKEL, H., 1996, "De la deriva de los continentes a la tectónica de placas", *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, pp.130-136, V.3.3, 1996.
- FRISCH, W., 1979, "Tectonic progradation and plate tectonic evolution of the Alps", *Tectonophysics*, V. 60, pp.121-139, 1979.
- FURIÓ MAS, C.J.; PÉREZ, G., 1989, "La didáctica de las ciencias en la formación inicial del profesorado: una orientación y un programa teóricamente fundamentados", *Enseñanza de las Ciencias*, 7(3), 257-265, 1989.
- GALE, G., 1979, *Theory of science, an introduction to the history, logic and philosophy of science*, McGraw-Hill Book Company, 1979.
- GALLET, Y., *et al.*, 1989, « Duration of Deccan trap volcanism : a statistical approach », *Earth and Planetary Science Letters*, V.93, pp.273-282, 1989.
- GALOPIM DE CARVALHO, A.M., 1989, Extinções em massa, *Colóquio/Ciências, Revista de Cultura Científica*, nº5, Maio/Agosto, 1989.
- GANAPATHY, R., BROWNLEE, D.E., HODGE, P.W., 1978, "Silicate spherules from deep-sea sediments: confirmation of extraterrestrial origin", *Science*, V.201, pp.1119-1121, 1978.
- GANAPATHY, R., 1980, "A major meteorite impact on the Earth 65 Million Years ago: evidence from the Cretaceous-Tertiary boundary clay", *Science*, V.209, pp.921-923, 1980.
- GANAPATHY, R., GARTNER, S., JIANG, M-J., 1981, "Iridium anomaly at the Cretaceous-Tertiary boundary in Texas", *Earth and Planetary Science Letters*, V. 54, 393-396, 1981.

- GARCIA, C. M., 1997, “Benoît de Maillet y el transformismo geológico del s.XVIII”, *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, (5.1) 6-10, 1997.
- GARTNER, S., KEANY, J., 1978, “The terminal Cretaceous event: a geologic problem with an oceanographic solution”, *Geology*, V.6, pp 708-712, 1978.
- GARWIN, L., 1991, “Smoke signals from the deep”, *Nature* 27 Jun., Vol. 351, pp. 699-701, 1991.
- GAYFORD, C., 2002, “Controversial environmental issues: a case study for the professional development of science teachers”, *International Journal of Science Education*, Vol. 24, Nº11, 1191-1200, 2002.
- GEIKIE, J., 1870, “On the age of the stratified deposits, with mammalian remains at Crofthead, near Glasgow”, *Geological Magazine*, V.VII, pp.53-57, 1870.
- GEIKIE, J., 1962, *The founders of Geology*, Dover Publications, Inc., New York, 1962 (edição nova da publicação original de 1897).
- GERBAULT, M., WILLINGSHOFER, 2004, “Lower crust indentation or horizontal ductile flow during continental collision?”, *Tectonophysics*, V.387, pp.169-187, 2004.
- GIL, F., 2001, *Mediações*, Imprensa Nacional- Casa da Moeda, Lisboa, 2001.
- GIL, F., 2003, *A convicção*, tradução do original *La Conviction* de 2000, Campo das Letras, 2003.
- GILBERT, G.K., 1896, “The origin of hypotheses , illustrated by the discussion of a topographic problem”, *Science*, V.3, pp.1-13, 1896.
- GLEN, W., 1996, “Observations on the mass-extinction debates”, *Geological Society of America, Special Paper* 307, 1996.
- GOHAU, G., 1987, *História da Geologia*, Publicações Europa-América, 1987.
- GOK, R. *et al.*, 2003, « Sn attenuation in the Anatolian and Iranian plateau and surrounding regions », *Geophysical Research Letters*, Vol. 30, Nº24, 8042, pp. 5-1, 5-4, 2003.
- GONÇALVES, F., 1997, *História das ideias em Geociências*, Edição A.E.U.E., Universidade de Évora, Évora, 1997.
- GONZÁLEZ, F.; ESCARTÍN, E. 1996, “Qué piensan los profesores acerca de cómo se debe enseñar”, *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), 331-342, 1996.
- GOULD, S.J., 1965, “Is uniformitarismo necessary?”, *American Journal of Science*, V.263, pp.223-228, 1965.

- GOULD, S.J., 1970, "Private thoughts of Lyell on progression and evolution", *Science*, V.169, pp.663-664, 1970.
- GOULD, S.J., 1991, *Seta do tempo, Ciclo do tempo, Mito e metáfora na descoberta do tempo geológico*, Companhia das letras, 1991.
- GOULD, S.J., 2000, *Wonderful life*, Vintage, 2000.
- GRAUP, G., 1981, "Terrestrial chondrules, glass spherules and accretionary lapilli from the suevite, Ries Crater, Germany", *Earth and Planetary Science Letters*, V.55, pp. 407-418, 1981.
- GREY, K., WALTER, M.R., CALVER, C.R., 2003, "Neoproterozoic biotic diversification: snowball Earth or aftermath of the Acraman impact?", *Geology*, V.31, pp. 459-462, 2003.
- GRIEVE, R.A.F., 1984, "Physical evidence of impact", *Nature*, V. 310, pp. 370, 1984.
- GRIEVE, R.A.F., 1990, "Impact cratering on the Earth", *Scientific American*, Volume 262, Number 4, April, 1990.
- GRIEVE, R.A.F., PESONEN, L.J., 1992, "The terrestrial impact cratering record", *Tectonophysics*, V.216, pp.1-30, 1992.
- GRIGGS, D., 1938, "Convection currents and mountain building", *Abstracts of the Geological Society of America Bulletin*, V.49, pp.1884, 1938.
- GRIGGS, D., 1939, "A theory of mountain-building", *American Journal of Science*, V.237, pp.611-650, 1939.
- GRILO *et al.* 1992, *Algumas considerações sobre as reformas da Educação*, Colóquio Educação e Sociedade 13-27, 1 de Outubro de 1992.
- GROCOTT, J., *et al.*, 2004, « Vertical coupling and decoupling in the lithosphere », *Geological Society of London, Special Publications*, 227, pp.1-7, 2004.
- GUNTAU, M., -----, As relações entre passado e presente da Terra como problema epistemológico da Geologia, *I Colóquio Brasileiro de História e Teoria do Conhecimento Geológico*, Universidade Estadual de Campinas.
- GURNIS, M., 2001, "Sculping the Earth from inside out", *Scientific American* March, 2001.
- GUTENBERG, B., 1936, "Structure of the Earth's crust and the spreading of the continents", *Bulletin of the Geological Society of America*, V.47, pp.1587-1610, 1936.

- GUTENBERG, B., RICHTER, C.F., 1945, "Seismicity of the Earth", *Bulletin of the Geological Society of America*, V.56, pp.603-668, 1945.
- GUYOT, F., 1990, « Le manteau inférieur de la Terre », *La Recherche*, 225, Volume 21, 1238-1246, Octobre, 1990.
- HAASE, K. M., BEIER, C., 2003, "Tectonic control of ocean island basalt sources on São Miguel, Azores?", *Geophysical Research Letters*, Vol. 30, Nº 16, 1856, pp. 10-1, 10-4, 2003.
- HACKING, I., 1981, *Lakato's philosophy of science*, em *Scientific Revolutions*, editado por Hacking I., Oxford University Press, 1981.
- HALLAM, A., 1975, "Alfred Wegener and the hypothesis of Continental Drift", *Scientific American*, February, V.232, pp.88-97, 1975.
- HALLAM, A., 1985, *Grandes controvérsias geológicas*, Editorial Labor, S.A., 1985.
- HALLAM, A., 1990, "The end-triassic mass extinction event", *Geological Society of America, Special Paper 247*, pp.577, 1990.
- HALLAM, A., _____, "La edad de la Tierra", *Mundo Científico* nº85.
- HALLAM, A., 2004, *Catastrophes and lesser calamities, the causes of mass extinctions*, Oxford University Press, 2004.
- HALLAM, A., PERCH-NIELSEN, K., 1990, "The biotic record of events in the marine realm at the end of the Cretaceous: calcareous, siliceous and organic-walled microfossils and macroinvertebrates", *Tectonophysics*, V.171, pp.337-355, 1990.
- HALLAM, A., WIGNALL, P.B., 1997, *Mass extinctions and their aftermath*, Oxford University Press, 1997.
- HALLIDAY, I., BLACKWELL, A.T., GRIFFION, A.A., 1989, "The flux of meteorites on the Earth's surface", *Meteoritics*, V.24, pp.173-178, 1989.
- HAMILTON, W., 1967a, "Continental drift in eastern Asia and Alaska", *Tectonophysics*, V. 4, pp. 569, 1967.
- HAMILTON, W., 1967b, "Tectonics of Antarctica", *Tectonophysics*, V. 4, pp.555-568, 1967.
- HAQ, B.U.; HARDENBOL, J.; VAIL, P.R., 1987, "Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic", *Science*, 6 March, Vol. 235, 1987.

- HART, S.R., 1964, "The petrology and isotopic-mineral age relations of a contact zone in the front range, Colorado", *The Journal of Geology*, V.72, pp.493-516, 1964.
- HASSLER, S. W., SIMONSON, B., 2001, "The sedimentary record of extraterrestrial impacts in deep-shelf environments: evidence from the early Precambrian", *The Journal of Geology*, Vol. 109, pp. 1-19, 2001.
- HAUGHTON, S., 1866a, *Manual of Geology*, Longmans, Green, and Dyer, London, 1866.
- HAUGHTON, S., 1866b, "On the change of eccentricity of the Earth's orbit regarded as a cause of change of climate", *Philosophical Magazine*, V.31, pp.374-376, 1866.
- HAUGHTON, S., 1878, "Physical geology", *Nature*, V.18, pp.266-268, 1878.
- HAURI, E. H., HART, S. R., 1994, « Constraints on melt migration from mantle plumes : A trace element study of peridotite xenoliths from Savai'I, Western Samoa », *Journal of Geophysical Research*, Vol. 99, 10 December, pp. 24, 301-24,321, 1994.
- HAYFORD, J.F., 1909, *The figure of the Earth and isostasy from meseasurements in the United States*, Washington, Government Printing Office, 1909.
- HEEZEN, B.C., 1960, "The rift in the ocean floor", *Scientific American* October, V.203, pp.98-110, 1960.
- HEIRTZLER, J.R., LE PICHON, X., 1965, « Crustal structure at the mid-oceanic ridges », *Journal of Geophysical Research*, V.70, pp.4013, 1965.
- HEIRTZLER, J.R., *et al.*, 1968, « Marine anomalies, geomagnetic field reversals, and motions of the ocean floor and continents », *Journal of Geophysical Research*, V.73, pp.2119-2136, 1968.
- HELMBERGER, D.V., WEN, L., DING, X., 1998, "Seismic evidence that the source of the Iceland hotspot lies at the core-mantle boundary", *Nature*, Vol. 396, pp. 251-254, 19 November, 1998.
- HERMAN, R., LEWIS, B., 2004, "A formative assessment of geologic time for high school earth science students", *Journal of Geoscience Education*, V.52, n°3, pp.231-235, 2004.
- HESS, H. H., 1946, "Drowned ancient islands of the Pacific Basin", *American Journal of Science*, V. 244, pp. 772-791, 1946.

- HESSELBO, S.P. *et al.*, 2003, « Carbon-Cycle perturbation in the Middle Jurassic and accompanying challenges in the terrestrial paleoenvironment », *The Journal of Geology*, vol.111, pp. 259-276, 2003.
- HEY, R., 1977, “A new class of “pseudofaults” and their bearing on plate tectonics: a propagating rift model”, *Earth and Planetary Science letters*, V. 37, pp.321-325, 1977.
- HILDEBRAND, A.R., BOYNTON, W., 1990, “Proximal Cretaceous-Tertiary boundary Impact deposits in the Caribbean”, *Science*, V.248, pp.843-847, 1990.
- HILDEBRAND, A.R., *et al.*, 1991, “Chicxulub crater: a possible Cretaceous/Tertiary boundary impact crater on the Yucatán Peninsula, Mexico”, *Geology*, V.19, pp. 867-871, 1991.
- HILL A. C. *et al.* 2004, “New records of late Neoproterozoic Acraman ejecta in the Officer Basin”, *Australian Journal of Earth Sciences*, V.51, pp.47-51, 2004.
- HOCK, S. *et al.*, 2004, « Mapping random lithosphere heterogeneities in northern and central Europe », *Geophys. J. Int.*, V. 157, pp. 251-264, 2004.
- HODKINSON, P., 2004, “Research as a form of work: expertise, community and methodological objectivity”, *British Educational Research Journal*, Vol. 30, N°1, February 2004.
- HOLMES, A., 1913, *The age of the Earth*, Harper & Brothers, London & New York, 1913.
- HOLMES, A., 1915, “Radio-activity and the Earth’s thermal history, Part I”, *The Geological Magazine*, 1915.
- HOLMES, A., 1925a, “Radioactivity and the Earth’s thermal history, Part IV”, *Geological Magazine* V.62, pp.504-515, 1925.
- HOLMES, A., 1925b, “Radioactivity and the Earth’s thermal history, Part IV”, *Geological Magazine* V.62, pp.529-544, 1925.
- HOLMES, A., 1928a, “Radioactivity and continental drift”, *Geological Magazine*, V.65, pp.236-238, 1928.
- HOLMES, A., 1928b, “Continental drift”, *Nature*, V.122, pp.431-433, 1928.
- HOLMES, A., 1946, “An estimate of the age of the Earth”, *Nature*, Vol. 157, pp.680-684, 1946.

- HOLMES, A., 1947, "A revised estimate of the age of the Earth", *Nature* Vol. 159, pp.127-128, 1947.
- HOLMES, A., 1947, "The age of the Earth", *Endeavour*, V. 6, pp.99-108, 1947.
- HOLMES, A., 1953, "The South Atlantic: land bridges or continental drift?", *Nature*, V.171, pp.669-671, 1953.
- HOSPERS, J., 1951, "Remanent magnetism of rocks and the history of the geomagnetic field", *Nature*, Vol. 168, pp.1111-1112, 1951.
- HOUSEMAN, G., 1989, "Hotspots and mantle convection", *Nature*, 27 July, Vol. 340, pp. 263, 1989.
- HURLEY, P.M., et al., 1967, "Test of continental drift by comparison of radiometric ages", *Science*, V.157, pp.495-500, 1967.
- HUT, P., et al., 1987, « Comet showers as cause of mass extinctions », *Nature* 10 Sep., Vol. 329, pp. 118-126, 1987.
- HUTTON J., 1899, editado por Archibald Geikie, *Theory of the Earth*, Geological Society Burlington House, London, 1899.
- KAMBER, B.S., MOORBATH, S., WHITEHOUSE, M., 2001, "The oldest rocks on Earth: time constraints and geological controversies", *The Geological Society of London, Special Publications*, 190, pp. 177-203, 2001.
- KATAYAMA, I., et al., 2003, "Water solubility in majoritic garnet in subducting oceanic crust", *Geophysical Research Letters*, Vol. 30, N°22, 2155, pp.5-1, 5-4, 2003.
- KAULA, W.M., 1970, "Earth's gravity field: relation to global tectonics", *Science*, V.169, pp.982-984, 1970.
- KEEVES, J. P., 2004, "Monitoring the learning and teaching of science in a changing world", *International Education Journal* Vol5, N°3, 2004.
- KEITH, M.L., 1993, "Geodynamics and mantle flow: an alternative earth model", *Earth-Science Reviews*, V. 33, pp.153-337, 1993.
- KEITH, M.L., 2001, "Evidence for a plate tectonics debate", *Earth-Science Reviews*, V. 55, pp. 235-336, 2001.
- KELLER, G., 1988, "Extinction, survivorship and evolution of planktic foraminifera across the Cretaceous/Tertiary boundary at El Kef, Tunisia", *Marine Micropaleontology*, V.13, pp.239-263, 1988.

- KELLER, G., 1989, « Extended Cretaceous/Tertiary boundary extinctions and delayed population change in planktonic foraminifera from Brazos River, Texas », *Paleoceanography*, V. 4, N°3, pp.287-332, June, 1989.
- KELLER, G., *et al.*, 1990, « Faunal, erosional, and CaCO₃ events in the early Tertiary eastern Tethys », *Geological Society of America, Special Paper 247*, pp.471, 1990.
- KELLER, G., BARRERA, E., 1990, “The Cretaceous/Tertiary boundary impact hypothesis and the paleontological record”, *Geological Society of America, Special Paper 247*, pp.563, 1990.
- KELLER, G., *et al.*, 1993, “Is the evidence for Cretaceous-Tertiary boundary-age deep-water deposits in the Caribbean and Gulf of Mexico?”, *Geology*, V.21, pp.776-780, 1993.
- KELLER, G., *et al.*, 1997, « Age, stratigraphy, and deposition of near-K/T siliciclastic deposits in Mexico : Relation to bolide impact?”, *GSA Bulletin*, April, V.109, pp.410-428, 1997.
- KELLER, G., 2003, « Biotic effects of impacts and volcanism », *Earth and Planetary Science Letters*, V. 215, pp.249-264, 2003.
- KELLER, G., *et al.*, 2003, « Multiple impacts across the Cretaceous-Tertiary boundary », *Earth-Science Reviews*, V.62, pp.327-363, 2003.
- KELLOGG, L.H., HAGER, B.H., VAN DER HILST, R., 1999, “Compositional stratification in deep mantle”, *Science*, V.283, pp.1881-1884, 1999.
- KELVIN, W.T., 1895, “The age of the Earth”, *Nature* Vol.51, pp.438-440, 1895.
- KELVIN, W.T.; TAIT, P.G., 1896, *Treatise on Natural Philosophy*, Cambridge University Press, Edição de 2005, Elibron Classics Series.
- KEMP, T.S., 1999, *Fossils and evolution*, Oxford University Press, 1999.
- KERR, R.A., 1979, “When disaster rains down from the sky”, *Science*, V.206, pp.803-804, 1979.
- KERR, R.A., 1985, “Periodic extinctions and impacts challenged”, *Science*, V.227, pp.1451-1453, 1985.
- KERR, R.A., 1987, “Asteroid impact gets more support”, *Science*, V.236, pp.666-668, 1987.

- KERR, R.A. 1992, "Huge impacts tied to mass extinction", *Science*, 14 August, Vol. 257, 1992.
- KING, C., 1893, "The age of the Earth", *American Journal of Science*, V.45, pp.1-20, 1893.
- KING, L.C., 1983, *Wandering Continents and Spreading Sea Floors on an Expanding Earth*, John Wiley & Sons Ltd, 1983.
- KIRWAN R., 1799, *Geological Essays*, Printed by T. Bemsley, Bolt Court, Fleet Street, London, 1799.
- KIYOKAWA, S. *et al.* 2002, « Cretaceous-Tertiary boundary sequence in the Cacarajicara formation, Western Cuba », *Geological Society of America, Special Paper* 356, 2002.
- KNOPF, A., 1960, "Analysis of some recent geosynclinal theory", *American Journal of Science*, V.258-A, pp.126-136, 1960.
- KOEBERL, C., 1994, Forum, comment, in *Geology*, October, 1994.
- KOEBERL, C., ARMSTRONG, R. A., REIMOLD, W. U. 1997, "Morokweng, South Africa: A large impact structure of Jurassic-Cretaceous boundary age", *Geology*, August, Vol. 25, 1997.
- KOSSO, P., 1992, *Reading the book of nature*, Cambridge University Press, 1992.
- KRAGH, H., 2001, *Introdução à historiografia da ciência*, Porto Editora, 2001.
- KRING, D. A., DURDA, D. D., 2004, "O dia em que a Terra incendiou-se", *Scientific American Brasil*, Ano 2- N°20, Janeiro, 2004.
- KRYNINE, P.D., 1956, "Uniformitarianism is a dangerous doctrine", *Journal of Paleontology*, V. 30, pp. 1003-1004, 1956.
- KUHN, D., 1993, "Science as argument: implications for teaching and learning scientific thinking", *Science Education*, V. 77(3), pp. 319-337, 1993.
- KUHN, T., 1981, *A function for thought experiments*, em *Scientific Revolutions*, editado por Hacking I., Oxford University Press, 1981.
- KUHN, T., 1989, *A estrutura das revoluções científicas*, Editora Perspeciva, 3ª Edição, Brasil, 1989.
- KYTE, F.T., ZHOU, Z., WASSON, J.T., 1980, "Siderophile-enriched sediments from the cretaceous-tertiary boundary", *Nature*, V.288, pp. 651-656, 1980.

- KYTE F.T., WASSON, J. T., 1986, “Accretion rate of extraterrestrial matter: iridium deposited 33 to 67 Million years ago”, *Science* Vol.232, 6 June, 1986.
- *Vocabulário de Termos Geológicos Letra 1ª Série – Letra A*, Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências.
- *Vocabulário de Termos Geológicos Letra 1ª Série – Letra B*, Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências.
- *I Congresso Luso-Brasileiro de História da Ciência e da Técnica- Livro de Resumos 2000*, Edição Comissão Organizadora do Congresso- Centro de Estudos de História e Filosofia da Ciência da Universidade de Évora, Imprensa S. Reprografia e Publicações da Universidade de Évora- Outubro de 2000.
- *Actas do 1º Congresso Luso-Brasileiro de História da Ciência e da Técnica (Universidade de Évora e Universidade de Aveiro) 2001*, Edição Comissão Organizadora do Congresso- Centro de Estudos de História e Filosofia da Ciência da Universidade de Évora, Imprensa S. Reprografia e Publicações da Universidade de Évora- Setembro de 2001.
- IZETT, G.A., BOHOR, B.F., 1987, *Forum, Geology*, V.15, pp.90, 1987.
- JABLONSKI, D., 1986, “Background and Mass Extinctions: the alteration of macroevolutionary regimes”, *Science*, Vol.231, 10 January, 1986.
- JACKSON, J., 2002, “Strength of the continental lithosphere: time to abandon the jelly sandwich?”, *GSA Today*, September, pp. 4-9, 2002.
- JACKSON, J.A., *et al.*, 2004, “Metastability, mechanical strength, and support of mountain belts”, *Geology*, V. 32, pp.625-628, July, 2004.
- JAVOY, M.; COURTILOT, V., 1989, “Intense acidic volcanism at the Cretaceous-Tertiary boundary”, *Earth and Planetary Science Letters*, V.94, pp. 409-416, 1989.
- JEFFREYS, H., 1921, “The age of the Earth”, *Nature* Vol.108, pp.283-284, 1921.
- JEFFREYS, H., 1925, “The cooling of the Earth”, *Nature*, V.115, pp. 876-878, 1925.
- JEFFREYS, H., 1929, *The Earth*, Cambridge at the University Press- 5th edition, 1970.
- JÉHANNO, C., *et al.*, 1992, « The cretaceous-Tertiary boundary at Beloc, Haiti : no evidence for an impact in the Caribbean Area », *Earth and Planetary Science Letters*, V. 109, pp.229-241, 1992.

- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P., PEREIRO-MUÑOZ, C., 2002, “Knowledge producers or knowledge consumers? Argumentation and decision making about environmental management”, *International Journal of Science Education*, Vol.24, Nº11, pp. 1171-1190, 2002.
- JIMÉNEZ, V. M., GALLARDO, D. C., 1992, *Aproximación de la didáctica de las ciencias desde la filosofía de la ciencia*, Específicas en la formación del profesorado, Santiago de Compostela, 1992.
- JIMÉNEZ, V. M., 1996, “Concepciones y prácticas de aula de profesores de ciencias, en formación inicial de primaria y secundaria”, *Enseñanza de las Ciencias*, V.14(3), pp.289-302, 1996.
- JOHNSON, D.W., JOHNSON, R., 1985, « Classroom conflict : controversy versus debate in learning groups », *American Educational Research Journal*, V.22, nº2, pp. 237-256, Summer, 1985.
- JOLY, J., 1900, “The geological age of the Earth”, *Nature*, Vol. 62, pp.235-237, 1900.
- JOLY, J., 1903, “Radium and the geological age of the Earth”, *Nature* Vol. 68, pp. 526, 1903.
- JOLY, J., 1922, “The age of the Earth”, *Nature* Vol. 109, pp. 480-485, 1922.
- LABROSSE, S. 2002, “Hot spots, mantle plumes and core heat loss”, *Earth and Planetary Science Letters*, V.199, pp.147-156, 2002.
- LAKATOS, I., 1981, *History of science and its rational reconstructions*, em *Scientific Revolutions*, editado por Hacking I., Oxford University Press, 1981.
- LAKE, P., 1922, “Wegener’s displacement theory”, *Geological Magazine*, V.59, pp.338-346, 1922.
- LE PICHON, X., *et al.*, 1965, « Crustal structure of the mid-ocean ridges », *Journal of Geophysical Research*, V.70, pp. 319, 1965.
- LE PICHON, X., 1968, « Sea-floor spreading and continental drift », *Journal of Geophysical Research*, V.73, pp. 3661-3695, 1968.
- LEROUX, H., WARME, J.E., DOUKHAN, J.C., 1995, “Shocked quartz in the Alamo breccia, southern Nevada: evidence for a Devonian impact event”, *Geology*, V.23, pp. 1003-1006, 1995.
- LEWIS, C.L.E., 2000, *The dating game*, Cambridge University Press, 2000.

- LEWIS, C.L.E., 2001, "Arthur Holmes' vision of a geological timescale", *Geological Society of London, Special Publications*, 190, pp.121-138, 2001.
- LITASOV, K., OHTANI, E., 2003, "Hydrous solidus of CMAS-pyrolite and melting of mantle plumes at the bottom of the upper mantle", *Geophysical Research Letters*, Vol.30, Nº 22, 2143, pp. 3-1, 2003.
- LITHGOW-BERTELLONI, C.; GURNIS, M., 1997, "Cenozoic subsidence and uplift of continents from time-varying dynamic topography", *Geology*, August, Vol. 25, 1997.
- LITHGOW-BERTELLONI, C., *et al.*, 2001, « Plume generation in natural thermal convection at high Rayleigh and Prandtl numbers », *Journal of Fluid Mechanics*, vol.434, pp.1-21, 2001.
- LONGWELL, C.R., 1944, "Some thoughts on the evidence for continental drift", *American Journal of Science*, V.242, pp.218-231, 1944.
- LOWE, D.R., BYERLY, G.R., 1989, "Early Archean silicate spherules of probable impact origin, South Africa and Western Australia", *Geology*, V.14, pp.83-86, 1989.
- LOWE, D.R., *et al.*, 1989, "Geological and geochemical record of 3400 million year old terrestrial meteorite impacts", *Science*, V.245, pp.959-962, 1989.
- LUBICK, N., 2001, "Volcanic Accomplice", *Scientific American*, March, 2001.
- LUZ, J.L.B., 2002, *Introdução à Epistemologia- Conhecimento, verdade e História*, Imprensa Nacional Casa da Moeda, Lisboa, 2002.
- LYNCH, M., MCNALLY, R., 2003, ""Science", "common sense", and DNA evidence: a legal controversy about the public understanding of science", *Public Understanding of Science*, V.12, pp.83-103, 2003.
- LYELL, C., 1990, *Principles of Geology*, Volume I, com introdução de Martin J.S. Rudwick, The University of Chicago Press, Chicago and London, 1990.
- LYELL, C., 1832, *Principles of Geology*, Volume the second, John Murray, Albemarle-Street, London, 1832.
- LYELL, C., 2005, *Principles of Geology*, Volume 4, Elibron Classics, 2005, reedição do original de 1837.
- LYELL, C., 1838, *Elements of Geology*, London: John Murray, Albemarle Street, 1838.

- LYONS, J.B., OFFICER, C.B., 1992, "Mineralogy and petrology of the Haiti Cretaceous/Tertiary section", *Earth and Planetary Science Letters*, V. 109, pp. 205-224, 1992.
- MACLEOD, N., 1990, "Effects of late Eocene impacts on planktic foraminifera", *Geological Society of America, Special Paper 247*, pp.595, 1990.
- MACLEOD, N., KELLER, G., 1996, *Cretaceous-Tertiary mass extinctions: Biotic and environmental changes*, W. W. Norton & Company, New York- London, 1996.
- MAHER, K. A., STEVENSON, D.J., 1988, "Impact frustration of the origin of life", *Nature*, V. 331, pp. 612-614, 1988.
- MANCKTELOW, N.S., GRASEMAN, B., 1997, "Time-dependent effects of heat advection and topography on cooling histories during erosion", *Tectonophysics* V.270, pp. 167-195, 1997.
- MANTELL, 1875, "Sir Charles Lyell", *American Journal of Science*, V.10, pp.269-276, 1875.
- MARGOLIS, S.V., CLAEYS, P., KYTE, F.T., 1991, "Microtektites, microkrystites, and spinels from a late Pliocene asteroid impact in the southern ocean", *Science*, V.251, pp.1594-1597, 1991.
- MARQUES, L., 1996, "Construcción del conocimiento científico. Algunos ejemplos de geociencias", *Enseñanza de las ciencias de la Tierra*, (4.1), pp.4-12, 1996.
- MARSHALL, C. R., 1998, "Mass extinction probed", *Nature*, Vol. 392, 5 March, pp. 17-20, 1998.
- MARSHALL, L. G., 1994, "The terror birds of South America", *Scientific American* February, 1994.
- MASON, P.M.; STEAGALL, J.W.; FABRITIUS, M., 2003, "The changing quality of business education", *Economics of Education Review*, V. 22, pp. 603-609, 2003.
- MATTHEWS, M.R., 1994a, "Historia y epistemología de las ciencias", *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2), 255-26, 1994.
- MATTHEWS, M.R., 1994b, *Science Teaching, The role of history and philosophy of science*, Toutledge New York . London, 1994.
- MATTHEWS, M.R., 1994 c, "Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual", *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), pp.255-277, 1994.

- MCDUGALL, I., TARLING, D.H., 1967, "Dating geomagnetic polarity zones", *Nature*, V.202, pp.171-172, 1964.
- MCELHINNY, M.W., 1973, "Mantle plumes, paleomagnetism and polar wandering", *Nature*, V.241, pp.523-524, 1973.
- MCINTYRE, D. B., 1999, "James Hutton's Edinburgh: a précis", *Geological Society Special Publication, N° 150*, 1999.
- MCLEAN, D.M., 1978, "A terminal Mesozoic "greenhouse": lessons from the past", *Science*, V. 201, pp.401-406, 1978.
- MCLENNAN, J.C., BURTON, E.F., 1903, "On the radioactivity of metals generally", *Philosophical Magazine*, V.6, pp.343-350, 1903.
- MCKENNA, M., 1980, "Mammals in the Age of Dinosaurs", *Science*, Vol.208, May 16, 1980.
- MCKENZIE, D.P., PARKER, R.L., 1967, "The north pacific: an example of tectonics on a sphere", *Nature*, Vol. 216, pp. 1276-1280, 1967.
- MCKENZIE, D. P., MORGAN, W. J., 1969, "Evolution of triple junctions", *Nature*, Vol. 224, pp. 125-133, 1969.
- MCKENZIE, D., PARKER, R.L., 1974, "Plate tectonics in ω space", *Earth and Planetary Science Letters*, V.22, pp.285-293, 1974.
- MENARD, H. W., 1958, "Development of median elevations in ocean basins", *Bulletin of Geological Society of America*, V.69, pp.1179-1186, 1958.
- MENARD, H. W., 1960, "The east pacific rise", *Science*, V.132, pp.1737-1746, 1960.
- MENARD, H.W., 1967a, "Extension of Northeastern-Pacific fracture zones", *Science*, V.155, pp.72-74, 1967.
- MENARD, H.W., 1967b, "Sea floor spreading, topography, and second layer", *Science*, V.157, pp.923-924, 1967.
- MENARD, H.W., 1983, "Insular erosion, isostasy, and subsidence", *Science*, V.220, pp.913-918, 1983.
- MENARD, H.W., 1984, "Darwin reprise", *Journal of Geophysical Research*, V.89, pp.9960-9968, 1984.
- MENARD, H.W., 1986, *The ocean of truth, a personal history of global tectonics*, Princeton University Press, 1986.

- MENZIES, M.A., 1992, "The lower lithosphere as a major source for continental flood basalts: a re-appraisal", *Geological Society of London, Special Publication N°68*, pp.31-39, 1992.
- MEYERHOFF, A.A., 1968, "Arthur Holmes: originator of spreading ocean floor hypothesis", *Journal of Geophysical Research*, V.73, pp.6563-6569, 1968.
- MEYERHOFF, A.A., LYONS, J.B., OFFICER, C.B., 1994, "Chicxulub structure: a volcanic sequence of late cretaceous age", *Geology*, V.22, pp. 3-4, 1994.
- MILLMAN, P.M., 1971, "The space scars on Earth", *Nature*, V. 232, pp.161-164, 1971.
- MOLNAR, P., ATWATER, T., 1973, "Relative motion of hot spots in the mantle", *Nature*, V. 246, pp.288-291, 1973.
- MONTANARI, A., *et al.*, 1985, « Radiometric time scale for the upper Eocene and Oligocene based on K/Ar and Rb/Sr dating of volcanic biotites from the pelagic sequence of Gubbio, Italy", *Geology*, V.13, pp.596-599, 1985.
- MONTANARI, A., 1990, "Geochronology of the terminal Eocene impacts; an update", *Geological Society of America, Special Paper 247*, pp.607, 1990.
- MOORE, P., 1972, *História da Terra*, 4ª Ed., Livraria Civilização- Porto, 1972.
- MOORES, E. M., TWISS, R. J., 1995, *Tectonics*, W.H. Freeman and Company, New York, 1995.
- MORGAN, W.J., 1971, "Convection plumes in the lower mantle", *Nature*, V.230, pp.42-43, 1971.
- MORRIS, S.C., 2003, *Life's Solution- inevitable humans in a lonely universe*, Cambridge University Press, 2003.
- MURCK, B.; SKINNER, B., 1999, *Geology Today, Understanding our Planet*, John Wiley & Sons, Inc, 1999.
- MURPHY *et al.*, 2001, "National curriculum : compulsory school science- is it improving science literacy ?", *Educational Research*, Vol. 43 N°2 Summer, pp.189-199, 2001.
- NEGRETE, A., LARTIGUE, C., 2004, "Learning from education to communicate science as a good story", *Endeavour* Vol.28, N° 3 September, pp.120-124, 2004.
- NELKIN, D., 1977, *Science textbook controversies and the politics of equal time*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, and London, England, 1977.

- NEWELL, N.D., 1965, "Mass extinctions at the end of the cretaceous period", *Science*, V.149, pp. 922-924, 1965.
- NEWMAN, S.J., 1996, "Reflection and teacher education", *Journal of Education for Teaching*, V.22, N°3, pp.297-310, 1996.
- NININGER, H.H., 1951, "Condensation globules at Meteor Crater", *Science*, V.113, pp.755-756, 1951.
- OFFICER, C.B., DRAKE, C.L., 1983, "The cretaceous-tertiary transition", *Science*, 25 March 1983, Vol. 219, N°4591.
- OFFICER, C.B., DRAKE, C.L., 1985, "Terminal Cretaceous environmental events", *Science*, 8 March, Vol. 227, N°4691, 1985.
- OFFICER, C. B. *et al.*, 1987, « Late cretaceous and paroxysmal Cretaceous/Tertiary extinctions », *Nature*, Vol. 326, pp. 143-148, 1987.
- OLDROYD, D., 1996, *Thinking about the Earth- A history of ideas in Geology*, The Athlone Press, 1996.
- OLIVER, J., ISACKS, B., 1967, "Deep earthquake zones, anomalous structures in the upper mantle, and the lithosphere", *Journal of Geophysical Research*, V.72, pp.4259-4275, 1967.
- OLSEN, P.E., FOWELL, S.J., CORNET, B., 1990, "The Triassic/Jurassic boundary in continental rocks of eastern North America; A progress report", *Geological Society of America, Special Paper 247*, pp.585, 1990.
- OLSON, P., SCHUBERT, G., ANDERSON, C., 1987, "Plume formation in the D-layer and the roughness of the core-mantle boundary", *Nature*, 4 Jun., Vol. 327, pp. 409-413, 1987.
- O'NEIL, D.K., POLMAN, J. L., 2004, "Why educate "Little Scientist"? Examining the potential of Practice- Based scientific Literacy", *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 41, N°3, pp. 234-266, 2004.
- OPPLIGER, G., MURPHY, J.B., BRIMHALL JR., G.H., 1997, "Is the ancestral Yellowstone hotspot responsible for the Tertiary "Carlin" mineralization in the Great Basin of Nevada?", *Geology*, V. 25, pp. 627-630, July, 1997.
- ORESKES, N., Editor, 2003, *Plate Tectonics, an insider's history of the modern theory of the earth*, Westview, 2003.

- OROWAN, E., *et al.*, 1966, « Age of the ocean floor », *Science*, V.154, pp. 413-416, 1966.
- ORTH, C.J., *et al.*, 1981, “An iridium abundance anomaly at the Palynological cretaceous-tertiary boundary in northern New Mexico”, *Science*, V.214, pp.1341-1343, 1981.
- ORTH, C.J., ATTREP, M., QUINTANA, L.R., 1990, “Iridium abundance patterns across bio-event horizons in the fossil record”, *Geological Society of America, Special Paper 247*, pp.45, 1990.
- OSINSKI, G., 2003, “Shocked into life”, *NewScientist*, 13 September, 2003.
- OWEN, R., M.D.CCC.XLVI, *A history of British fossil mammals, and birds*, John Van Voorst, Paternoster Row, London.
- OYARZUN, R. *et al.*, 1997, “Opening of the central Atlantic and asymmetric mantle upwelling phenomena: Implications for long-lived magmatism in western North Africa and Europe”, *Geology*, August, Vol. 25, 1997.
- PEDRINACI, E., 1992, “Catastrofismo versus actualismo. Implicaciones didácticas”, *Enseñanza de las Ciencias*, V. 10(2), pp. 216-222, 1992.
- PEDRINACI, E., 1994, “La historia de la Geología como herramienta didáctica”, *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2.2 y 2.3, 1994.
- PEDRINACI, E., BERJILLOS, P., 1994, “El concepto de tiempo geológico: orientaciones para su tratamiento en la educación secundaria”, *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, V.2.1, pp.240-251, 1994.
- PEIXOTO J. P. *et al.*, 1986, *História e desenvolvimento da ciência em Portugal I Volume*, Publicações do II Centenário da Academia das Ciências de Lisboa, 1986.
- PEIXOTO J. P. *et al.*, 1992, *História e desenvolvimento da ciência em Portugal no séc. XX, I Volume*, Publicações do II Centenário da Academia das Ciências de Lisboa, 1992.
- PEIXOTO J. P. *et al.*, 1992, *História e desenvolvimento da ciência em Portugal no séc. XX, II Volume*, Publicações do II Centenário da Academia das Ciências de Lisboa, 1992.
- PEIXOTO J. P. *et al.*, 1986, *História e desenvolvimento da ciência em Portugal, II Volume*, Publicações do II Centenário da Academia das Ciências de Lisboa, 1986.

- PEIXOTO J. P. *et al.*, 1992, *História e desenvolvimento da ciência em Portugal no séc. XX, III Volume*, Publicações do II Centenário da Academia das Ciências de Lisboa, 1992.
- PÉREZ, G., 1983, “Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias”, *Enseñanza de las Ciencias*, pp. 26-33, 1983.
- PÉREZ, G., 1986, “La metodología científica y la enseñanza de las ciencias. Unas relaciones controvertidas”, *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (2), pp.111-121, 1986.
- PÉREZ, G., 1993, “Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación” *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), pp.197-212, 1993.
- PÉREZ, G., 1996, *New trends in science education*, Int. J. Sci. Educ., Vol. 18, No. 8, pp. 889-901, 1996.
- PERRY, J., 1895, “On the age of the Earth”, *Nature*, V. 51, pp.224, 1895.
- PHILLIPS, J., 1864, *A guide to Geology*, Longman, Green, Longman, Roberts & Green, London, 1864.
- PICKERING, W.H., 1907, “The place of origin of the moon- the volcanic problem”, *Journal of Geology*, V.15, pp.23-38, 1907.
- PICKFORD, M., 1996, “Earth expansion, plate tectonics and Gaia’s pulse”, *Bulletin du Muséum national d’Histoire naturelle*, Paris, 4^e sér., 18, Section C, n^{os} 2-3, pp. 451-516, 1996.
- PIERAZZO, E.; MELOSH, H. J., 1999, “Hydrocode modeling of Chicxulub as an oblique impact event”, *Earth and Planetary Science Letters* Vol. 165, 1999.
- PITHERS, R.T., SODEN, R., 2000, “Critical thinking in education: a review”, *Educational Research*, Vol.42, N^o3, Winter, pp. 237-249, 2000.
- PITMAN III, W.C., HEIRTZLER, J.R., 1966, “Magnetic anomalies over the pacific-antarctic ridge”, *Science*, V.154, pp.1164-1171, 1966.
- PITMAN, W.C., TALWANI, HEIRTZLER, J.R., 1971, “Age of the north Atlantic Ocean from magnetic anomalies”, *Earth and Planetary Science Letters*, V.11, pp.195-200, 1971.
- PONTE, João Pedro da _____, *Didáticas específicas e construção do conhecimento profissional*, _____.

- POPPER, K., 1981, *The rationality of scientific revolutions*, em *Scientific Revolutions*, editado por Hacking I., Oxford University Press, 1981.
- POPPER, K., 1996, *O Conhecimento e o Problema Corpo-Mente*, Biblioteca de Filosofia Contemporânea, Edições 70, tradução do original *Knowledge and the Body-Mind Problem*, 1996.
- POWELL, J.W., 1986, “James Dwight Dana”, *Science*, N.S. V.III, N°58, pp.180-185, 1986.
- PRADO, J. F. J., 1998, *Tectónica de placas, evolución de las ideas sobre la dinámica interna de la Tierra*, Santillana S.A. Madrid, 1998.
- PRAIA, J. F., 1996, *Epistemología e historia de la ciencia: contribuciones a la planificación didáctica. La deriva continental*, Enseñanza de las ciencias de la Tierra (4.1), 30-37, 1996.
- PRAIA, J. F.; MARQUES, L. _____, *História da Ciência no ensino da Geologia: contributos para uma prática inovadora*.
- PRATT, J.H., 1845, *The mathematical principles of mechanical philosophy*, Cambridge, 1845.
- PRESTON, J., 2004, “Bird, Kuhn, and positivism”, *Studies in History and Philosophy of Science*, V.35, pp.327-335, 2004.
- PROTHERO, D. R., 1997, *Interpreting the stratigraphic record*, 4th printing, W.H. Freeman and Company, New York, 1997.
- PROKOPH, A, ERNST, R. E., BUCHAN, K.L., 2004, “Time-series analysis of large igneous provinces: 3500Ma to present”, *The Journal of Geology*, Vol.112, pp.1-22, 2004.
- PUSHCHAROVSKY, Y.M., 1967, “The pacific tectonic belt of the Earth’s crust”, *Tectonophysics*, V. 4, pp.571, 1967.
- PUTMAN, H., 1981, *The corroboration of theories*, em *Scientific Revolutions*, editado por Hacking I., Oxford University Press, 1981.
- QUINN, J.F., 1983, “Mass extinctions in the fossil record”, *Science*, 11 March, Vol.219, 1983.
- RAINBIRD, R. H., ERNST, R., 2001, “The sedimentary record of mantle-plume uplift”, *Geological Society of America, Special Paper 352*, 2001.

- RAMPINO, M. R.; SOTHERS, R. B., 1984, "Terrestrial mass extinctions, cometary impacts and the sun's motion perpendicular to the galactic plane", *Nature* Vol. 308, pp.709-712, 1984.
- RAMPINO, M., 1987, "Impact cratering and flood basalt volcanism", *Nature* Vol. 327, pp.468, 1987.
- RAMPINO, M.R., 1999, « Impact crises, mass extinctions, and galactic dynamics : The case for a unified theory », *Geological Society of America, Special Paper 339*, 1999.
- RAMPINO, M.R., *et al.*, 2002, « Abruptness of the end-Permian mass extinction as determined from biostratigraphic and cyclostratigraphic analyses of European western Tethyan sections », *Geological Society of America, Special Paper 356*, 2002.
- RANERO, C.R., SALLARÈS, V., 2004, "Geophysical evidence for hydration of the crust and mantle of the Nazca plate during bending at the north Chile trench", *Geology*, July, V.32, pp.549-552, 2004.
- RAUP D. M., 1982, « Mass extinctions in the fossil record », *Science*, 19 March, Vol.215, 1982.
- RAUP D. M., 1991, *Extinction- Bad genes or bad luck?*, W.W. Norton & Company, New York- London, 1991.
- RAUP D. M., SEPKOSKI, Jr., 1986, « Periodic extinction of families and genera », *Science*, Vol.231, 21 February, 1986.
- READE, M., 1903, *The evolution of Earth structure with a theory of geomorphic changes*, Longmans, Green, and Co., London, New York and Bombay, 1903.
- REBOLLO, M., 1996, "Una aproximación didáctica a la naturaleza de la ciencia a través de los textos históricos", *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, v. 4.1, pp. 53-58, 1996.
- REIS, P.R., _____ "A discussão de assuntos controversos no Ensino das Ciências", Escola Superior de Portalegre.
- RIBEIRO, A., *et al.*, 1979, *Introduction à la Géologie Générale du Portugal*, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 1979.
- RIBEIRO, A., 1998, *Uma breve história tectónica da Terra*, Expo'98, 1998.
- RICHARDS, M. A., GRIFFITHS, R. W., 1989, "Thermal entrainment by deflected mantle plumes", *Nature* 28 Dec., Vol. 342, pp. 900-902, 1989.
- RIDLEY, M., 1996, *Evolution*, Second Edition, Blackwell Science, 1996.

- RINGWOOD, A.E., 1976, "Phase transformations in descending plates and implications for mantle dynamics", *Tectonophysics*, V.32, pp.129-143, 1976.
- ROCCHIA, R., *et al.*, 1990, «The Cretaceous-Tertiary boundary at Gubbio revisited : vertical extent of the Ir anomaly», *Earth and Planetary Science Letters*, V.99, pp.206-219, 1990.
- ROCCHIA, R., 1993, «La catastrophe de la fin de l'ère secondaire », *La Recherche* 260, Décembre, Volume 24, 1993.
- RONA, P. A., 1986, "Mineral deposits from sea-floor hot springs", *Scientific American*, January, Volume 254, Number 1, 1986.
- RUBEY, W.W., 1951, "Geological history of sea water", *Bulletin of Geological Society of America*, V.62, pp.1111-1148, 1951.
- RUDDIMAN, W. F.; KUTZBACH, J. E., 1991, "Plateau uplift and climatic change", *Scientific American*, March, Volume 264 Number 3, 1991.
- RUDWICK, M.J.S., 1977, *Georges Cuvier, fossil bones, and geological catastrophes*, New translations & Interpretations of the primary texts, The University of Chicago Press, Chicago and London, 1977.
- RUSSEL, D., 1971, "Supernovae and the extinction of the dinosaurs", *Nature*, Vol. 229, pp. 553-554, 1971.
- RUSSELL, T.L., 1981, "What history of science, how much, and why?", *Science Education*, 1981.
- RUTHERFORD, E., 1903, "The magnetic and electric deviation of the easily absorbed rays from barium", *Philosophical Magazine*, V.5, pp.177-187, 1903.
- RUTHERFORD, F.J., AHLGREN, A., _____, *Ciência para todos*, Gradiva.
- RYAN, P.D., MAC NIOCAILL, C., 1999, "Continental tectonics: an introduction", *Geological Society of London, Special Publications*, 164, pp.1-6, 1999.
- RYAN, W. B. F. *et al.*, 2003, "Catastrophic flooding of the Black Sea", *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, volume 31, 2003.
- SALISBURY, M.H., CHRISTENSEN, N.I., 1978, "The seismic velocity structure of a traverse through the bay of Islands ophiolite complex, Newfoundland, an exposure of oceanic crust and upper mantle", *Journal of Geophysical Research*, V.83, pp.805-817, 1978.

- SANDBERG, C.A., MORROW, J.R., ZIEGLER, W., 2002, “Late Devonian sea-level changes, catastrophic events, and mass extinctions”, *Geological Society of America, Special Paper* 356, 2002.
- SAN ROMAN, L.S. 2002, *Monografía de la Academia de Ciencias nº21, Exactas, Físicas, Químicas y Naturales de Zaragoza, La extinción de las especies biológicas. Construcción de un paradigma científico*, Sdad. Coop. De Artes Gráficas, Librería General, Zaragoza, 2002.
- SAUNDERS, A.D., *et al.*, 1992, «Consequences of plume-lithosphere interactions», *Geological Society of London, Special Publication*, N°68, pp.41-60, 1992.
- SCHERSTÉN, A., *et al.*, 2004, «Tungsten isotope evidence that mantle plumes contain no contribution from Earth’s core», *Nature*, Vol. 427, 15 January, pp. 234-237, 2004.
- SCHISSEL, D., SMAIL, R., 2001, «Deep-mantle plumes and ore deposits», *Geological Society of America, Special Paper* 352, 2001.
- SCHOPENHAUER, A., 2001, *Dialéctica Erística ou Arte de Ter a Razão em 38 Estratagemas*, Campo das Letras- Editores S.A., 2001, do original Eristische Dialektik oder Die Kunst, Recht behalten in 38 Kunstgriffen dargestellt.
- SCHOPF, T.J.M., 1974, “Permo-triassic extinctions: relation to sea-floor spreading”, *The Journal of Geology*, V.82, pp. 129-143, March, 1974.
- SCHOPF, J.W. -Editor, 1992, *Major events in the history of life*, Jones and Bartlett Publishers, Boston, London, 1992.
- SCHWARTZ, R.D., JAMES, P.B., 1984, “Periodic mass extinctions and the sun’s oscillation about the galactic plane”, *Nature*, Vol. 308, pp. 712-713, 1984.
- SCHWARZBACH, M., 1963, *Climates of the past*, D. Van Nostrand Company, LTD, London, 1963.
- SCHWARZBACH, M., 1986, *Alfred Wegener the father of continental drift*, Science Tech Publishers Spring-Verlag, 1986.
- SCROPE, G. P., 1872, *Volcanos. The character of their phenomena, their share in the structure and composition of the surface of the globe, and their relation to its internal forces*, Longmans, Gree, Reader, and Dyer, 1872.
- SEDGWICK, A., 1842, *On the distribution and classification of the older or paleozoic deposits of the North Germany and Belgium, and on their comparison with*

formations of the same age in the British Isles, Printed by Richard and John E. Taylor, Red Lion Court, Fleet Street, 1842.

- SELDEN, P., NUDDS, J., 2004, *Evolution of Fossil Ecosystems*, Manson Publishing, 2004.

- SELLARDS, E.H., 1927, "Unusual structural feature in the plains region of Texas", *Bulletin of Geological Society of America*, V.38, pp.149, 1927.

- SENGOR, A.M.C., 2001, "Elevation as indicator of mantle-plume activity", *Geological Society of America, Special Paper 352*, 2001.

- SENGOR, A.M.C., 2002, "On Sir Charles Lyell's alleged distortion of Abraham Gottlob Werner in Principles of Geology and its implications for the nature of the scientific enterprise", *The Journal of Geology*, Vol.110, pp.355-368, 2002.

- SEQUEIRA, M.; LEITE, L., 1998, "História da Ciência no ensino-aprendizagem das Ciências", *Revista Portuguesa de Educação*, 1(2), pp.29-40, C.E.E.D.C.- Universidade do Minho, 1998.

- SEQUEIROS, L. *et al.*, 1997a, "El bicentenario de Charles Lyell (1797-1875). Consideraciones didácticas para educación secundaria", *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 5.1, pp.21-31, 1997.

- SEQUEIROS, L. *et al.*, 1997b, "James Hutton y su teoría de la Tierra (1795): consideraciones didácticas para educación secundaria", *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 5.1, pp.11-20, 1997.

- SEQUEIROS, L., DE LA TORRE, E. G., MARTINEZ, E. P., 1995, "Tectónica de placas y evolución biológica: construcción de un paradigma e implicaciones didácticas", *Enseñanza de las ciencias de la Tierra*, 3.1, pp. 14-22, 1995.

- SEQUEIROS, L., 1996, "Darwin como geólogo: Sugerencias para la enseñanza de ciencias de la tierra", *Enseñanza de las ciencias de la tierra*, 4.1, pp. 21-29, 1996.

- SEQUEIROS, L., PEDRINACI, E., BERJILLOS, P., 1996, "Cómo enseñar y aprender los significados del tiempo geológico: algunos ejemplos", *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, V. 4.2, pp. 113-119, 1996.

- SHALER, S., 1896, "Relations of geologic science to education", *Science*, N.S. V.III. N° 69, pp.609-617, 1896.

- SHEEHAN, P. M. 2001, "The late Ordovician Mass Extinction", *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, Volume 29: 331-364, 2001.

- SHIPLEY, B.C., 2001, ““Had Lord Kelvin a right?”: John Perry, natural selection and the age of the Earth, 1894-1895”, *Geological Society, London, Special Publications*, 190, pp.91-105, 2001.
- SHOEMAKER, E. M., PILLMORE, C. L., PEACOCK, E. W., 1987, “Remanent magnetization of rocks of latest Cretaceous and earliest Tertiary age from drill core at York Canyon, New Mexico”, *Geological Society of America, Special Paper 209*, 1987.
- SILVERMAN, M.P., 1992, “Raising questions: Philosophical significance of controversy in science”, *Science & Education*, V.1, n°2, 1992.
- SIMONSON, B.M., GLASS, B.P., 2004, “Spherule layers-Records of ancient impacts”, *Annu. Rev. Earth Planetary Sci.*, 32: 329-61, 2004.
- SIMPSON, G.G., 1943, “Mammals and the nature of continents”, *American Journal of Science*, V.241, pp.1-31, 1943.
- SLEEP, N.H., *et al.*, 1989, “Annihilation of ecosystems by large asteroid impacts on the early Earth”, *Nature*, V. 342, pp. 139-142, 1989.
- SLEEP, N. 2003, “Mantle Plumes?”, *Astronomy and Astrophysics*, Vol.44, 2003.
- SLEEP, N. H., 2004, “Thermal haloes around plume tails”, *Geophys. J. Int.*, V. 156, pp.359-362, 2004.
- SLOAN, R.E., *et al.*, 1986, « Gradual dinosaur extinction and simultaneous ungulate radiation in the Hell Creek Formation », *Science* Vol.232, 2 May, 1986.
- SLOAN, R. E., 1987, “Paleocene and latest Cretaceous mammal ages, biozones, magnetozones, rates of sedimentation, and evolution”, *Geological Society of America, Special Paper 209*, 1987.
- SKINNER B. J., PORTER S. C., BOTKIN D. B., 1999, *The Blue Planet*, Second Edition, John Wiley & Son, Inc., 1999.
- SMIT, J., HERTOGEN, J., 1980, “An extraterrestrial event at the cretaceous-tertiary boundary”, *Nature*, V. 285, pp. 198-200, 1980.
- SMIT, J., KLAVER, G., 1981, “Sanidine spherules at the cretaceous-tertiary boundary indicate a large impact event”, *Nature*, V.292, pp.47-49, 1981.
- SMIT, J., KYTE, F.T., 1984, “Siderophile-rich magnetic spheroids from the Cretaceous-Tertiary boundary in Umbria, Italy”, *Nature*, V. 310, pp. 403-405, 1984.
- SMIT, J., ROMEIN, A.J.T., 1985, “A sequence of events across the Cretaceous-Tertiary boundary”, *Earth and Planetary Science Letters* V.74, pp.155-170, 1985.

- SMIT, J., *et al.*, 1992, « Tektite-bearing, deep-water clastic unit at the Cretaceous-Tertiary boundary in northeastern Mexico », *Geology*, V.20, pp.99-103, 1992.
- SMIT, J., *et al.*, 1994, Forum, comment, in *Geology*, October, 1994.
- SMIT, J., *et al.*, 1996, « Coarse-grained, clastic sandstone complex at the K/T boundary around the Gulf of Mexico : Deposition by tsunami waves induced by the Chicxulub impact? », *Geological Society of America, Special Paper 307*, pp.151, 1996.
- SMITH, A.G., 1976, “Plate tectonics and orogeny: a review”, *Tectonophysics*, V.33, pp.215-285, 1976.
- SPARKS, S., 2001, “Plate tectonics for the people”, *Teaching Earth Sciences*, V.26, pt.2, pp.68, 2001.
- SPARKS, R.S.J., MEYER, P., SIGURDSSON, H., 1980, “Density variation amongst mid-ocean ridge basalts: implications for magma mixing and the scarcity of primitive lavas”, *Earth and Planetary Science Letters*, V.46, pp.419-430, 1980.
- SPENCELEY, A.P., 2001, “Grooves and striations on the Stanthorpe Adamellite: evidence for a possible late Middle- Late Triassic age Glaciation”, *Australian Journal of Earth Sciences*, 48, pp.777-784, 2001.
- SPENCER, J.E., 1984, “Role of tectonic denudation in warping and uplift of low-angle normal faults”, *Geology*, V.12, pp. 95-98, 1984.
- STANLEY, S., 1987, *Extinction*, Scientific American Books ,Inc., Scientific American Library, 1987.
- STANLEY, S.M., 1993, *Exploring Earth and Life Through Time*, W. H. Freeman and Company New York, 1993.
- STANLEY, S.M., 1999, *Earth system history*, W.H. Freeman and Company, New York, 1999.
- STEIN, M., HOFMANN, A. W., 1994, “Mantle plumes and episodic crustal growth”, *Nature*, Vol.372, 3 November, pp. 63-67, 1994.
- STEIN, C., STEIN, S., 2003, « Mantle Plumes : Heat-flow near Iceland », *Astronomy and Geophysics*, Vol. 44, 2003.
- STERN, M., 2004, “Jurassic Park and the moveable feast of science”, *Science as Culture*, V.13, pp.347-372, September, 2004.
- STERN, L., ROSEMAN, J., 2004, “Can middle-school science textbooks help students learn important ideas? Findings from Project 2061’s Curriculum Evaluation

Study: Life Science”, *Journal of Research in Science Teaching*, Vol.41, N° 6, pp.538-568, 2004.

- STIEFEL, B.M., 1996, “Aproximación didáctica a textos científicos originales”, *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, n°8, Abril 1996.

- STINNESBECK, W. *et al.*, 1993, “Deposition of channel deposits near the Cretaceous-Tertiary boundary in northeastern Mexico: Catastrophic or “normal” sedimentary deposits?”, *Geology*, V.21, pp.797-800, 1993.

- STINNESBECK, W. *et al.*, 1994, Forum, comment, in *Geology*, October, 1994.

- STOREY, B., 1995, “The role of mantle plumes in continental breakup: case histories from Gondwanaland”, *Nature*, Vol. 377, 28 September, pp. 301-308, 1995.

- STOREY, B., LEATS, P., FERRIS, J. K., 2001, “The location of mantle-plume centers during the initial stages of Gondwana breakup”, *Geological Society of America, Special Paper 352*, 2001.

- STRUTHERS, T.R., 1892, “Granite”, *The Geological Magazine*, V.IX, pp. 561-565, 1892.

- STRUTT, R.J., 1902, “The discharge of positive electrification by hot metals”, *Philosophical Magazine*, V.4, pp.98-103, 1902.

- STYLES, B, 2003, “Analogy- constructive or confusing? A students’ perspective”, *School Science Review*, 85 (310), pp. 107-116, September, 2003.

- SUÁREZ, R., 1996, “Las controversias científicas”, *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales* n°8, pp. 63-69, Grao, Abril, 1996.

- SUESS, E., 1875, “Abstract of a memoir on the origin of the Alps”, *American Journal of Science*, V.10, pp.446-451, 1875.

- SUESS, E., 1897, *La face de la Terre*, Tome I, Armand Colin et C.ie, Libraires-Éditeurs, Paris, 1897.

- SWISHER, C.C., *et al.*, 1992, “Coeval $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of 65.0 Million Years ago from Chicxulub Crater melt rock and Cretaceous-Tertiary boundary tektites”, *Science*, V.257, pp.954-958, 1992.

- TANNER, L.H., LUCAS, S.G., CHAPMAN, M.G., 2004, “Assessing the record and causes of Late Triassic extinctions”, *Earth-Science Reviews*, 65, pp.103-139, 2004.

- TAPPONNIER, P., *et al.*, 1990, « Active thrusting and folding in the Qilian Shan, and decoupling between upper crust and mantle in northeastern Tibet », *Earth and Planetary Letters*, V.97, pp. 382-403, 1990.
- TARLING, D.H., 1962, “Tentative correlation of Samoan and Hawaiian Islands using “Reversals” of magnetization”, *Nature*, V.196, pp. 882-883, 1962.
- TAYLOR, S. R.; MCLENNAN, S. M., 1996, “The evolution of continental crust”, *Scientific American*, Volume 274, Number 1, January, 1996.
- TEIXEIRA, C., 1978, Coordenador, *Vocabulário de Termos Geológicos Letra D*, 1978.
- TEIXEIRA, C., 1978, Coordenador, *Vocabulário de Termos Geológicos Letra F*, 1978.
- TEIXEIRA, C. ; GONÇALVES, F., 1980, *Introdução à Geologia de Portugal*, Instituto Nacional de Investigação Científica, Lisboa, 1980.
- TEIXEIRA, C., 1981, Coordenador, *Vocabulário de Termos Geológicos Letra E*, 1981.
- TEIXEIRA, C., 1981, Coordenador, *Vocabulário de Termos Geológicos Letra G*, 1981.
- TEIXEIRA, C., 1981, *Geologia de Portugal Vol.I- Précâmbrico, Paleozóico*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1980.
- TERMIER, H. & G., 1967, *Formation des continents et progression de la vie*, 2^{ème} édition, Masson et Cie, Éditeurs- Paris, 1967.
- TERRY, K.D., TUCKER, W.H., 1968, “Biologic effects of supernovae”, *Science*, V.159, pp.421-423, 1968.
- THOMPSON, D, PRAIA, J., MARQUES, L., 2000, *The importance of History and Epistemology in the Designing of Earth Science Curriculum Materials for General Science Education*, Taylor & Francis Ltd, 2000.
- TIKOFF, B., *et al.*, 2004, « Mantle-driven deformation of orogenic zones and clutch tectonics », *Geological Society of London, Special Publications*, 227, pp.41-64, 2004.
- TIMMONS, G., 2001, « Science and science education in schools after the Great Exhibition », *Endeavour* Vol. 25(3), 2001.

- TOMLINSON, K. Y., CONDIE, K. C., 2001, « Archean mantle plumes : Evidence from greenstone belt geochemistry », *Geological Society of America, Special Paper 352*, 2001.
- TOUMEY, C.P., 2000, “Rationalization, creationism and the mechanics of contradiction”, *Social Studies of Science*, V.30, pp.141-145, 2000.
- TREND, R., 2001, “Perceptions of the planet: deep time”, *Teaching Earth Sciences*, V.26, pt.1, pp.30, 2001.
- TURNER, S., SULLENGER, K., 1999, “Kuhn in the classroom, Lakatos in the Lab: Science educators confront the nature-of-science debate”, *Science, Technology & Human Values*, V.24, N°1, pp.5-30, Winter, 1999.
- TURNER J.S., 2003, « Vertical transports produced by double-diffusive plumes in a confined homogeneous environment », *Journal of Fluid Mechanics*, vol.493, pp.131-149, 2003.
- UPHAM, W., 1893, “Estimates of geologic time”, *American journal of Science*, V.45, pp.209-220, 1893.
- VALENTINE, J. W., 2002, « Prelude to the Cambrian explosion », *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, Volume 30, 2002.
- VALET, J-P. ; COURTILLOT, V., 1992, «Les inversions du champ magnétique terrestre », *La Recherche*, 246 Septembre, Volume 23, 1992.
- VAN DER HILST, R.D., WIDIYANTORO, S., ENGDAHL, E.R., 1997, “Evidence for deep mantle circulation from global tomography”, *Nature*, V.386, pp.578-584, 1997.
- VAN DER HILST, R., KÁRASON, H., 1999, “Compositional heterogeneity in the bottom 1000 kilometers of Earth’s mantle: toward a hybrid convection model”, *Science*, V.283, pp.1885-1888, 1999.
- VAN LOON, A.J., 2003, « The dubious role of man in a questionable mass extinction », *Earth-Science Reviews*, V.62, pp.177-186, 2003.
- VENKATESAN, T.R., PANDE, K., GOPALAN, K., 1994, “Reply to the comment by G. Féraud and V. Courtillot on: “Did Deccan volcanism pre-date the Cretaceous-Tertiary transition?””, *Earth and Planetary Science Letters*, V.122, pp.263-265, 1994.
- VINE, F.J., MATTHEWS, D. H., 1963, “Magnetic anomalies over oceanic ridges”, *Nature*, Vol. 199, pp. 947-949, 1963.

- VINE, F.J., WILSON, T., 1965a, "Transform faults, oceanic ridges, and magnetic anomalies southwest of Vancouver Island", *Science*, V.150, pp.482-485, 1965.
- VINE, F.J., WILSON, T., 1965b, "Magnetic anomalies over a young oceanic ridge off Vancouver Island", *Science*, V.150, pp.485-489, 1965.
- VINE, F.J., 1966, « Spreading of the ocean floor : New evidence », *Science*, V.154, pp.1405-1415, 1966.
- VINE, F.J., 1977, "The continental drift debate", *Nature*, V.266, pp.19-22, 1977.
- VINK, G. E.; MORGAN, J.; VOGT, P. R., 1985, "The Earth's hot spots", *Scientific American*, April, Vol.252, Number 4, 1985.
- VIRELLA, F. A., 1982, "Una comparación entre Charles Lyell y Alfred Wegener, sus actitudes científicas y la aceptación de sus teorías", comunicación presentada en el II Simposio Nacional sobre Enseñanza de la Geología, Gijón, Septiembre, 1982.
- VIRELLA, F. A., 1988, *Origen e Historia de la Tierra*, Editorial Rueda, 1988.
- VIRELLA, F. A.,_____, Epílogo: *La teoría de Alfred Wegener y la nueva Geología*,_____
- VOGT, P. R., 1972, "Evidence for global synchronism in mantle plume convection, and possible significance for geology", *Nature*, Vol. 240, pp.338-342, 1972.
- VOGT, P.R., BYERLY, G.R., 1976, "Magnetic anomalies and basalt composition in the Juan de Fuca-Gorda ridge area", *Earth and Planetary Science Letters*, V.33, pp.185-207, 1976.
- VON HERZEN, R., 1963, "Geothermal heat flow in the Gulfs of California and Aden", *Science*, V.140, pp.1207-1208, 1963.
- ZOLLER, W.H., PARRINGTON, J.R., KOTRA, J.M.P.,1983, "Iridium enrichment in airborne particles from Kilauea volcano: January 1983", *Science*, V.222, pp.1118-1121, 1983.
- WALCOTT, C.D., 1893, "Geologic time as indicated by the sedimentary rocks of North America", *The Journal of Geology*, V.I, pp.639-676, 1893.
- WALKER, R., JACKSON, J., 2004, "Active tectonics and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran", *Tectonics*, Vol. 23, 7 October, TC5010, 2004.
- WALKER, R., JACKSON, J., BAKER, C., 2004, "Active faulting and seismicity of the Dasht-e-Bayaz region, eastern Iran", *Geophys. J. Int.*, Vol. 157, pp.265-282, 2004.

- WARD, P., WIEDMANN, J., MOUNT, J.F., 1986, "Maastrichtian molluscan biostratigraphy and extinction patterns in a Cretaceous/Tertiary boundary section exposed at Zumaya, Spain", *Geology*, V.14, pp.899-903, 1986.
- WARME, J.E., MORGAN, M., KUEHNER, H-C., 2002, "Impact-generated carbonate accretionary lapilli in the Late Devonian Alamo Breccia", *Geological Society of America, Special Paper 356*, 2002.
- WEGENER, A., 1971, *The origin of continents and oceans*, Methuen & Co LTD, London 1971.
- WELLS, F.G., 1949, "Ensimatic and ensialic geosynclines", *Bulletin of Geological Society of America*, V.60, pp1927, 1949.
- WENDLAND, W.M., DONLEY, D.L., 1971, "Radiocarbon-Calendar age relationship", *Earth and Planetary Science Letters*, V.11, pp.135-139, 1971.
- WENSINK, H., 1987, "Comments on "Deccan flood basalts at the Cretaceous/Tertiary boundary?" by V. Courtillot, J. Besse, D. Vandamme, R. Montigny, J.-J. Jaeger and H.Cappetta", *Earth and Planetary Science Letters*, V. 85, pp. 326-328, 1987.
- WERNER, A.G., 1809, *New theory of the formation of veins; with its application to the art of working mines*, Edinburgh, printed at the Encyclopaedia Britannica Press, London, 1809.
- WERNICKE, B., AXEN, G.J., 1988, "On the role of isostasy in the evolution of normal fault systems", *Geology*, V.16, pp. 848-851, 1988.
- WETHERILL, G.W., 1971, "Of time and the moon", *Science*, V.173, pp.383-392, 1971.
- WHEWELL, W., 1837, *History of the inductive sciences, from the earliest to the present time*, London: John W. Parker, West Strand X.DCCC.XLVII.
- WHITE, W.M., 1994, "Overturning mantle models", *Nature*, Vol. 372, 3 November, pp. 43-44, 1994.
- WHITMIRE, D.P., JACKSON IV, A. A., 1984, "Are periodic mass extinctions driven by a distant solar companion?", *Nature*, Vol. 308, pp. 713-715, 1984.
- WIGNALL, P.B., TWITCHETT, R.J., 2002, "Extent, duration, and nature of the Permian-Triassic superanoxic event", *Geological Society of America, Special Paper 356*, 2002.

- WILLIAMS, C.A., MCKENZIE, D., 1971, "The evolution of the north-east Atlantic", *Nature*, V.232, pp.168-173, 1971.
- WILLINGSHOFER, E., CLOETINGH, S., 2003, "Present-day lithospheric strength of the Eastern Alps and its relationship to neotectonics", *Tectonics*, Vol. 22, N°6, 1075, pp. 14-1, 14-15, 2003.
- WILLIS, B., 1896, Scientific Literature- "Charles Lyell and modern geology" by Prof. T.G. Bonney, *Science*, N.S., V.III, N°54, pp.68-69, 1896.
- WILLIS, B., 1944, "Continental drift, ein marchen", *American Journal of Science*, V.242, pp.509-513, 1944.
- WILKINSON, I., 2002, "Geological time in the classroom", *Teaching Earth sciences*, V.27, n°4, pp.121, 2002.
- WILSON, M, PATTERSON, R., 2001, "Intraplate magmatism related to short-wavelength convective instabilities in the upper mantle: Evidence from the Tertiary-Quaternary volcanic province of western and central Europe", *Geological Society of America, Special Paper 352*, 2001.
- WILSON, T., 1957, "Origin of the Earth's crust", *Nature*, V.179, pp.228-230, 1957.
- WILSON, T., 1960, "Some consequences of expansion of the Earth", *Nature*, V.185, pp.880-883, 1960.
- WILSON, T., 1963, "Pattern of uplifted Islands in the main ocean basins", *Science*, V.139, pp.592-594, 1963.
- WILSON, T., 1965, "A new class of faults and their bearing on continental drift", *Nature*, Vol. 207, pp. 343-347, 1965.
- WOLFE, C.J., 1998, "Prospecting for hotspot roots", *Nature*, Vol.396, 19 November, pp.212-213, 1998.
- WOOD, R. M., 1986, *The dark side of the Earth*, Allen & Unwin, 1986.
- WYLLIE, P. J., 1979, *A Terra: nova Geologia global*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1979.
- WYNN, C.M., WIGGINS, A.W., 1997, *The five biggest ideas in science*, John Wiley & Sons, Inc, New York, 1997.

- YORE, L. D., HAND, B. M., FLORENCE, M., 2004, "Scientists' views of science, models of writing, and science writing practices", *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 41, N° 4, pp. 338-369, 2004.

- YU *et al.*, 2004, "High-frequency winter cooling and reef coral mortality during the Holocene climate optimum", *Earth and Planetary Science Letters*, V.224, pp.143-155, 2004.

URL 1- <http://pubs.usgs.gov/publications/text/developing.html> -2003

URL 2- http://www.ucg.br/site_docente/edu/libaneo/pdf/questoes.pdf -2003

URL 3- http://psicoeduc.rediris.es/Publica/PsicoEduc_Publica_5.pdf -2003

URL 4- <http://WWW.mat.uc.pt/~jaimecs/livrogt/indice.html> -2003

URL 5- <http://www.palaeos.com/Geochronology/default.htm> -2003

URL 6- <http://www.talkorigins.org/faqs/faq-age-of-earth.html#magnetic> -2003

URL 7- <http://www.talkorigins/scripts/imagemap/ltrailer.map?66,82> -2003

URL 9- <http://www.newcriterion.com/archive/18/jun00/kuhn.htm> -2003

URL 10- <http://www.emory.edu/EDUCATION/mfp/kuhnsyn.html> -2003

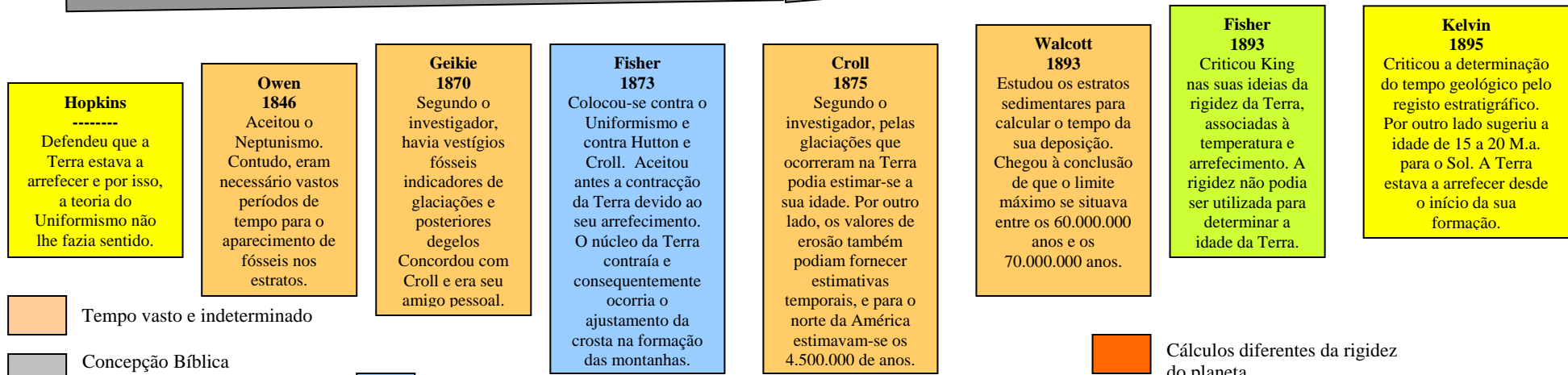
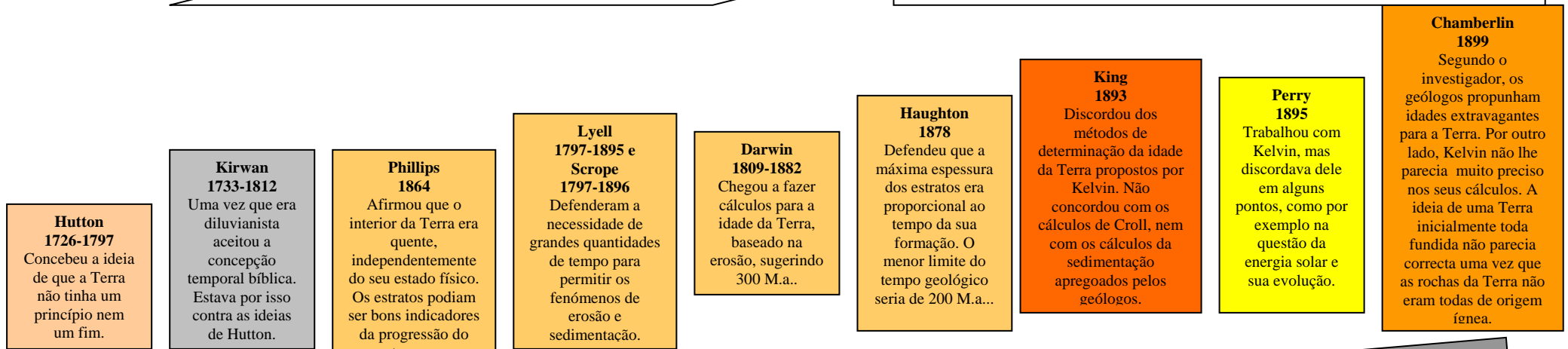
URL 11- <http://www.mech.gla.ac.uk/~paulk/socsci/essay.htm> -2003

URL 12- <http://www.arthuryoung.com/paradigm.HTML> -2003

Evolução das ideias sobre o Tempo Geológico (de acordo com Kuhn)

Fase de Especulação

Fase de Competição entre Teorias rivais



Tempo vasto e indeterminado

Concepção Bíblica de Tempo

Os estratos sedimentares como base de determinação do tempo geológico

Teoria contraccionista

Crítica às diferentes ideias de rigidez do planeta

Cálculos do arrefecimento da Terra

Cálculos diferentes da rigidez do planeta

Teoria da formação da Terra por acreção de planetesimais

Revolução Científica

Fase de Ciência Normal

**Fisher
1900**

Criticou Joly, pois este considerava o teor de sódio da água do mar na determinação da idade da Terra. Considerou a falta de clareza por parte de Joly.

**Reade
1903**

O investigador teve em consideração a erosão e a sedimentação

**G.H. Darwin
1903**

Criticou a ideia de Kelvin, no que se refere à idade do Sol. Afirmou ter sido descoberta a existência de uma fonte de energia tão grande (radioactividade) que não se sabia há quanto tempo o calor do Sol era libertado, nem quanto iria durar.

**Barrell
1907**
Afirmou que para os fenómenos de erosão e sedimentação era necessário grandes períodos de tempo.

**Holmes
1915**

Considerou que não se podia determinar a idade da Terra só pela energia térmica como Kelvin sempre o fez. Propôs o estudo da idade da Terra pelos elementos radioactivos.

**Jeffreys
1921**

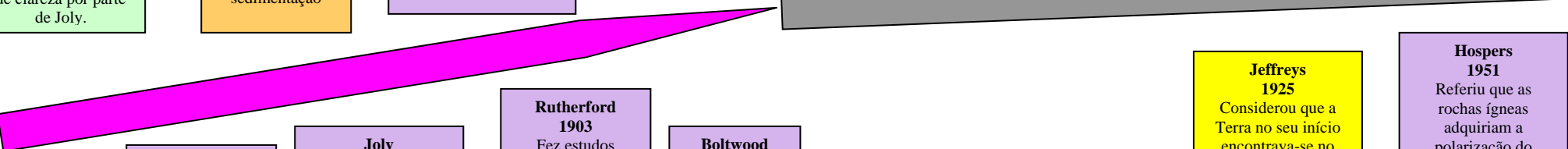
Segundo o investigador, as evidências físicas indicavam que a idade da Terra podia ser estimada nas centenas de milhões de anos. Criticou as formas antigas de determinar a idade da Terra.

**Joly
1922**

O investigador não concordou com os métodos geológicos de determinação da idade da Terra.

**Holmes
1946**

Segundo o investigador, a Idade da Terra não estava longe dos 3000 M.a., de acordo com os isótopos de chumbo, acumulados nas rochas graníticas.



**Joly
1900**

Segundo o investigador, a desnudação da superfície terrestre desde o início da sua formação era um fenómeno constante.

**Strutt
1902**

Realizou estudos sobre electrificações de metais aquecidos.

**Joly
1903**

Concluiu que não era pelo calor do Sol que se chegava à idade da Terra. Parecia-lhe que os erros dos físicos conduziam ao tempo requerido pelos dados geológicos de 100 M.a..

**Rutherford
1903**

Fez estudos sobre os tipos de radiação emitidos pelo Rádio.

**McLennan e
Burton
1903**

Concluiu que o Alumínio emitia mais radiação do que seria esperado.

**Boltwood
1907**

Concluiu que o Chumbo era produto da desintegração do Urânio.

**Jeffreys
1925**

Considerou que a Terra no seu início encontrava-se no estado fluido. Mas, os cálculos diferiram bastante dos de Holmes.

**Hospers
1951**

Referiu que as rochas ígneas adquiriam a polarização do campo magnético terrestre ao arrefecerem.

O Tempo Geológico sempre esteve presente, de forma consciente ou inconsciente, no pensamento dos investigadores ligados aos assuntos do nosso planeta. Independentemente das concepções iniciais e mais dadas à especulação, verificou-se uma evolução no sentido de conciliar a Física com a nova, e emergente, ciência- a Geologia. Nota-se que houve grandes disputas entre os dois campos do conhecimento. Curiosamente, embora muitas vezes os cientistas manifestassem opiniões divergentes, nas críticas aos seus opositores havia mais delicadeza nas palavras do que nos tempos mais recentes... sinais da evolução?...

Crítica à determinação da idade da Terra pela salinidade da água do mar.

Radioactividade como factor de determinação da idade da Terra

Evolução das Ideias sobre Deriva Continental e Placas Tectónicas (de acordo com Kuhn)

Fase de
Especulação

Fase de competição entre Teorias rivais

1845
Pratt

O investigador, após realizar estudos hidrostáticos e hidrodinâmicos, sugeriu que a Terra numa certa altura pode ter sido uma massa num estado semi-fluido.

1857

Richard Owen
Propôs que a Terra se expandiu por uma série de convulsões até à forma de esfera, processo que implicou deslocações das regiões continentais.

1889

Osmond Fisher
Segundo o investigador, os fenómenos geológicos levaram-nos a supor que a crosta estava assente num substrato líquido de grande densidade.

1895

Dana
Para o investigador, a Terra tinha vindo a arrefecer o que provocava o aparecimento de montanhas. Aceitou a Teoria Contractionista, que postulou movimentos horizontais na formação das montanhas.

1912

Alfred Wegener
Apresentou a sua Teoria da Deriva Continental, referindo a existência de um super-continente – Pangea- que se foi dividindo durante o Mesozóico. Forneceu dados paleontológicos, geológicos, geofísicos, paleoclimáticos e morfológicos para fundamentar a sua Teoria.

1927

Barrel
Referiu que abaixo da crosta havia uma camada quente espessa, rígida e frágil, a astenosfera. Aceitou a fragmentação dos continentes em termos gerais.

1929

Arthur Holmes
Propôs que a deslocação dos continentes era feita lateralmente por levantamento de correntes de convecção actuantes por baixo da crosta.

1936

Gutenberg
Referiu que Wegener tentou solucionar muitos problemas com uma só hipótese. Propôs que os continentes não se fracturaram, mas separaram-se flutuando-Teoria "Fleissstheorie".

1858

Antonio Snider
Colocou a hipótese de que as massas continentais se dividiram por actividade vulcânica na altura do dilúvio de Noé.

1897

Edward Suess
Concluiu que muitas massas continentais foram fragmentadas, durante o Mesozóico, formando novas bacias continentais.

1909

Hayford
Afirmou que a crosta sólida da Terra estaria a flutuar num substrato líquido de grande densidade, apesar de haver irregularidades nos Estados Unidos.

1910

Frank B. Taylor
Propôs que as massas continentais se deslocaram para os pólos e destes para o equador formando as cadeias montanhosas.

1922

Lake
Considerou que os movimentos dos continentes eram difíceis de explicar. Segundo o autor, Wegener "sugeriu muito, mas não provou nada".

1924

Sir Harold Jeffreys
Opôs-se à Teoria de Wegener, demonstrando que as forças propostas eram inadequadas. Considerou a Teoria Contractionista como a correcta. Avançou com ideias de correntes de convecção.

1933
Coleman

Referiu que as provas apresentadas por Wegener falharam por completo. A imutabilidade dos continentes parecia-lhe mais razoável.

Carrey

Apoiou a deriva. Mostrou a Jeffreys o encaixe da África e da América do Sul com modelos plásticos.

1937

Alexander du Toit
Apoiou a teoria de Wegener, mostrando evidências geológicas que corroboravam a Teoria proposta do meteorologista Alemão. **Argand**
Propôs o choque da Lemuria com a Ásia numa compressão que originou os Himalaias.

Defensores de alguma forma de movimentação continental

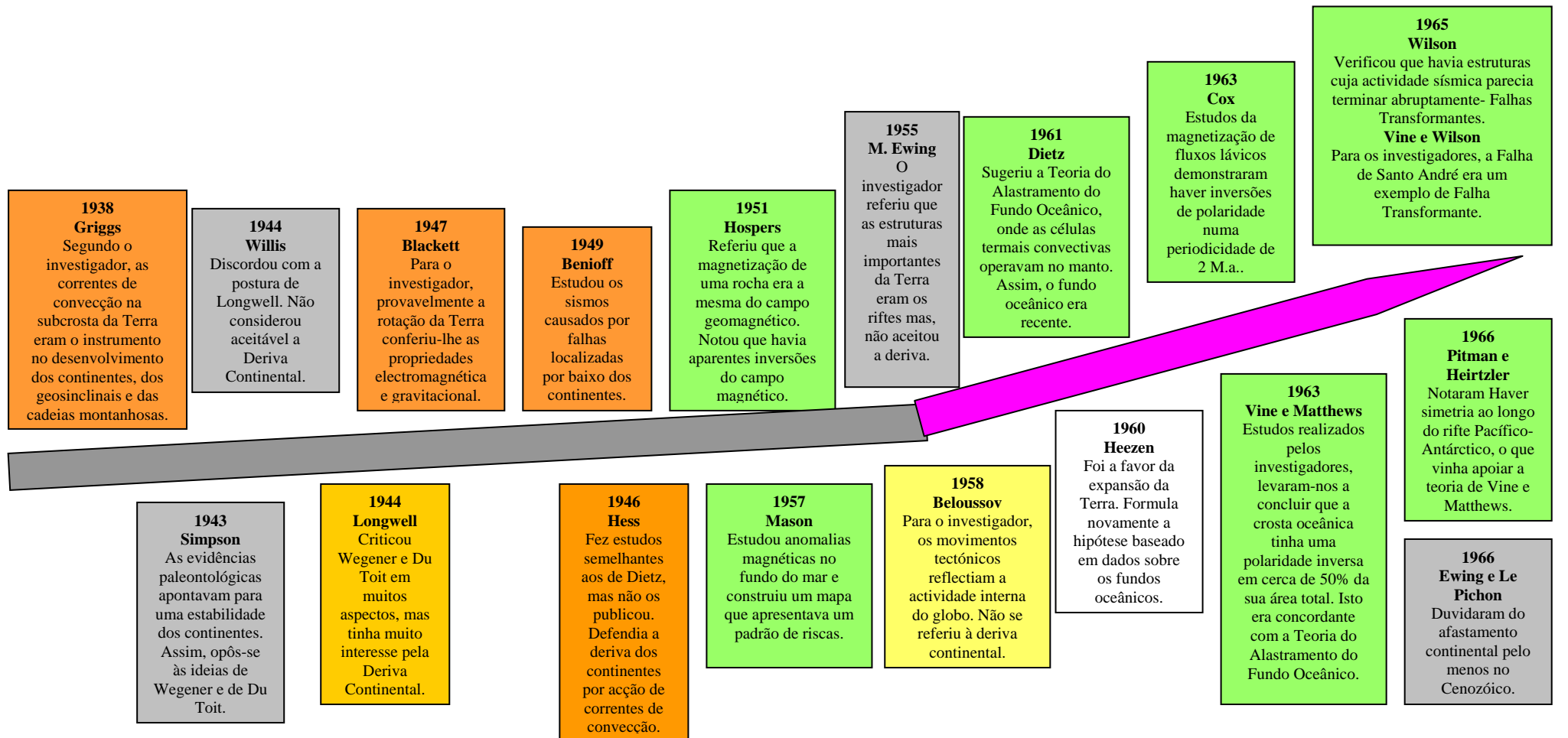
Hipótese de Deriva dos Continentes


Ideias de Convecção do Manto


Opositores à Deriva Continental

Fase de Competição entre Teorias rivais

Revolução Científica

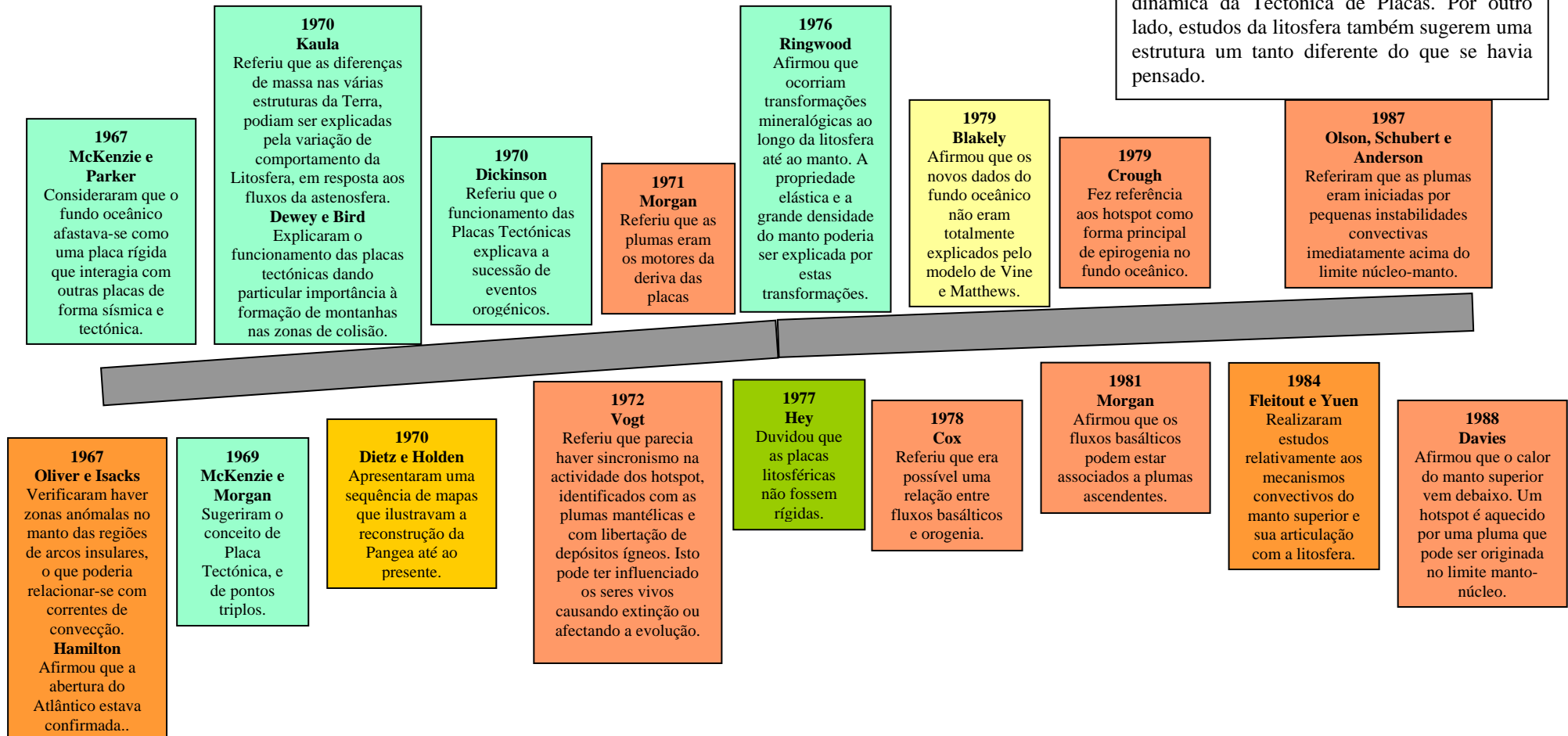


 Ideias do Alastramento do Fundo Oceânico

 Hipótese da expansão da Terra

Fase de Ciência Normal

Após a instalação da Teoria da Tectónica de Placas nas hostes científicas, foram realizados mais trabalhos que vieram corroborar e, de certa forma reforçar esta Teoria. Porém, uma teoria por si só não explica todos os factos. É desta forma, que se verifica o início de uma nova fase de especulação, que aborda a questão da estrutura do interior da Terra, mais concretamente das plumas e sua importância na dinâmica da Tectónica de Placas. Por outro lado, estudos da litosfera também sugerem uma estrutura um tanto diferente do que se havia pensado.

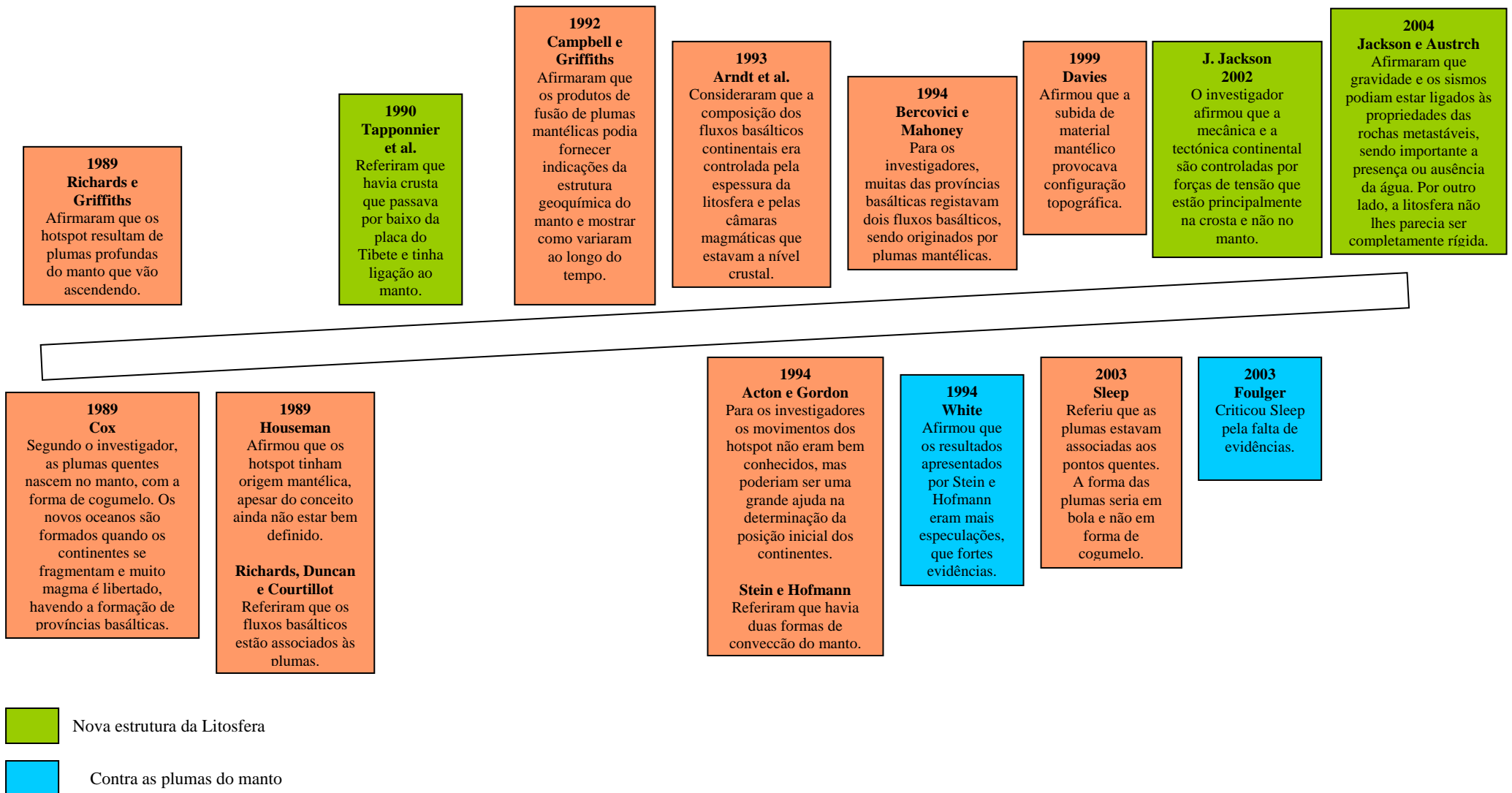


Teoria das Placas Tectónicas

Plumas mantélicas e Hotspots

Dúvidas na Teoria de Vine e Matthews

Fase de Especulação



Evolução das ideias Catastrofistas/Uniformitaristas/Novo Catastrofismo – (de acordo com Kuhn)

Fase de Especulação

Fase de Competição entre Teorias rivais

Fase de Revolução Científica

Fase de Ciência Normal

Buffon 1749
Foi Catastrofista a favor do Dilúvio Universal, contudo utilizou a metodologia actualista.

R. Kirwan 1799
Foi Diluvianista, opôs-se às ideias defendidas por Hutton.

Cuvier 1927
Foi Catastrofista e admirador das ideias de Buffon.

A. Brongniart 1821
Foi colaborador de Cuvier-também defendeu o Catastrofismo.

Lyell 1830
Foi o geólogo que iniciou a corrente do Uniformismo, considerada uma melhoria do Actualismo de Hutton. Foi um dos opositores de Cuvier.

A. Sedgwick 1842
Foi diluvianista no início dos seus estudos, mas posteriormente mudou a sua opinião a favor do Uniformismo de Lyell.

Werner 1809
Foi Neptunista, aceitando a formação das rochas por acção da água.

Hutton 1785
Considerado o fundador da Geologia moderna, utilizou a máxima do actualismo. Colocou em causa Werner.

W. Buckland 1820
Foi Diluvianista e professor de Lyell e Sedgwick. No final da sua carreira mudou a sua opinião a favor de Lyell.

G. P. Scrope 1872
Foi Catastrofista e defendeu uma actividade vulcânica mais intensa no passado.

W. Whewell 1837
Foi um opositor de Lyell, introduzindo as designações de Catastrofismo e Uniformitarismo.

Charles Darwin 1876
Trabalhou com Lyell, concordando com muitas das suas ideias, introduzindo a ideia de evolução das espécies, numa publicação em 1830. Foi um geólogo de campo muito aplicado e competente. Enveredou pelo campo da Biologia

Esta Fase de Ciência Normal, demorou vários anos a estabelecer-se, devido a barreiras colocadas à ideia de evolução das espécies proposto, em especial, por Darwin. Contudo, desde a altura em que Lyell apresentou as suas ideias Uniformistas e as contrapôs às ideias Catastrofistas que a comunidade científica começou lentamente a aceitar que as catástrofes não ocorriam “esporadicamente” com o intuito de erradicar as espécies numa espécie de “limpeza” divina. Até meados do século XX, a ciência tornou-se anti-Catastrofista e adepta não só do Uniformismo como também do Evolucionismo.

- Legenda:
- Catastrofista/Diluvianista
 - Actualista/Uniformitarista

Fase de Especulação

Fase de Competição de Teorias Rivais

1956
Laubenfels
Afirmou que o corpo que colidiu com a Sibéria apresentava semelhanças com o que originou a extinção K-T.

1972
Peter Vogt
Afirmou que o vulcanismo podia ser causador de extinções

1978
Gartner e Keany
Afirmaram que as placas tectónicas poderiam ter provocado a extinção do final do Cretácico de forma instantânea (de 1 a vários mil anos).

1978
D. McLean
Sugeriu que o vulcanismo causou extinção

1980
Jan Smit
Estudou esférulas de quartzo do limite K-T, afirmando que a sua origem era colisional

1983
C. Officer e C. Drake
Afirmaram que o Irídio tinha origem terrestre

1984
Rampino e Sothers
Sugeriram ciclicidade para as extinções que rondavam os 30 M.a., estando relacionadas com colisão de cometas, devido à oscilação do S.S. no plano da Galáxia.

1986
Kyte e Wasson
Afirmaram não haver provas de que o Irídio era de origem ET, além de não haver provas de colisão.

1986
Raup e Sepkoski
Sugeriram uma periodicidade de 26 M.a. para as extinções em massa.

1986
Courtillot e Besse
Associaram as inversões do campo magnético terrestre com a formação de plumas, responsáveis por fenómenos de vulcanismo, causador de extinções em massa.

1987
C. Officer et al.
Criticaram Alvarez et al. por não apresentarem a cratera de impacto.

1989
Keller
Afirmou que as extinções eram progressivas e não em massa, nem provocadas pela colisão de um corpo ET.

1989
Hoffman
Afirmou que havia várias causas para as extinções.

1971
Dale Russel
Afirmaram que a explosão de uma supernova podia alterar o clima e consequentemente induziu à extinção.

1974
T. Schopf
Sugeriu que as extinções do Permo-Triássico estavam relacionadas com as placas tectónicas.

1979
K. Flessa
Afirmou ser impossível haver uma só causa para as extinções.

1980
Alvarez et al.
Sugeriram que a extinção K-T foi causada pelo impacto de um corpo ET, devido à existência de uma concentração anormal de Ir nas rochas do limite K-T
Não havia cratera de impacto.

1982
D. McLean
Foi a favor da hipótese do vulcanismo pois as extinções eram prolongadas.

1984
Bohor
Estudou o quartzo de choque reforçando a ideia de impacto
Smit e Kyte
Referiram que as esférulas continham magnetite reforçando ideia colisional.

1985
C. Officer e C. Drake
Criticaram novamente hipótese colisional, afirmando origem mantélica do Irídio e criticaram o carácter instantâneo que Alvarez et al. concebiam para as extinções. Sugeriram intenso vulcanismo num curto período de tempo para as extinções

1986
Sloan et al.
Criticaram Alvarez et al. na sua Hipótese Colisional para as extinções, considerando-a simplista.

1987
Alvarez et al.
Continuaram estudos sobre o Irídio. Houve a descoberta de camada de fuligem, indicando fogos globais no limite K-T.
Bohor
Analisou as esférulas, o que veio reforçar ideia de impacto de grande intensidade.
Rampino
Referiu que o vulcanismo podia estar associado a uma grande colisão. Criticou o facto de não haver cratera.

1987
S. Stanley
Criticou a ciclicidade dos 26 M.a. para as extinções em massa.

1988
Richard Muller
Sugeriu a existência de uma estrela companheira do Sol, que originou a colisão periódica de cometas.

Legenda:



Hipótese de Impacto



Oposição à Hipótese de Impacto



Hipótese de Vulcanismo



Outras



Tectónica de Placas



Causas múltiplas



Hipótese colisional associada à do vulcanismo

Fase de Competição de Teorias Rivais

1990

Vincent Courtillot
Afirmou que a argila de Gubbio foi depositada em períodos maiores do que sugeriram Alvarez et al.. O vulcanismo intenso foi a causa para as extinções do K-T.
Hallam
Afirmou que as Extinções estavam relacionadas com alteração do nível do mar, placas tectónicas e vulcanismo.

1991

Hildebrand et al.
Encontraram a possível cratera de impacto na península do Iucatão (México)- a cratera de Chicxulub. Este facto veio ajudar a reforçar a Hipótese de Alvarez et al.

1992

Schopf
Defendeu que os dinossauros não desapareceram todos de uma só vez. O clima alterou-se devido às placas tectónicas e houve alterações morfológicas.

1992

Smit et al. Alvarez et al.
Fizeram estudos na península de Iucatão que revelaram uma colisão. O estudo de depósitos sedimentares revelou a existência de um Tsunami ocorrido após a colisão.

1996

Courtillot et al.
Afirmaram haver 12 fluxos basálticos coincidentes com 9 extinções.

1996

Stets et al.
Defenderam que a extinção dos dinossauros do K-T não foi repentina

1998

Marshall
Afirmou que as extinções podiam ser súbitas e em massa.

1999

Skinner, Porter e Botkin
Sugeriram que a extinção do Pérmico ocorreu devido ao movimento das placas tectónicas, o que originou a descida do nível do mar.

2001

P Sheehan
Ligou as extinções do Ordovício e do Pérmico com eventos glaciares.

1990

B. Bohor
Detectou múltiplos locais onde encontrou grãos de quartzo com deformação planar, produzida por um evento colisional.

1991

Raup
Defendeu que as colisões eram um dos principais factores de extinção. Extinção era a combinação de "Maus genes e má sorte"

1992

Carlisle
Concluiu, pela análise de diamantes encontrados nas crateras, que a sua origem era de impacto de cometas e não de meteoritos

1992

Lyons e Officer Keller et al.
Opuseram-se a que a sequência estratigráfica do Haiti tivesse a origem num tsunami. Segundo os investigadores, os depósitos eram de origem vulcânica.

1993

G. Keller
Opôs-se às ideias de colisão, mesmo com a existência da suposta "Cratera da Destruição"

1996

Gary et al.
Sugeriram a Hipótese Pele, que justificava a extinção gradual dos dinossauros. Através da análise de bolhas de ar retidas no âmbar, chegaram à conclusão da desgaseificação do manto no limite K-T.

1997

C. Koerberl et al.
Sugeriram que grandes depósitos de ouro e níquel estariam associados a fenómenos de impacto. Havia uma cratera de grandes dimensões na África do Sul (Moro Kweng) com a idade de 145 M.a., coincidente com a extinção do Jurássico-Cretácico.

1999

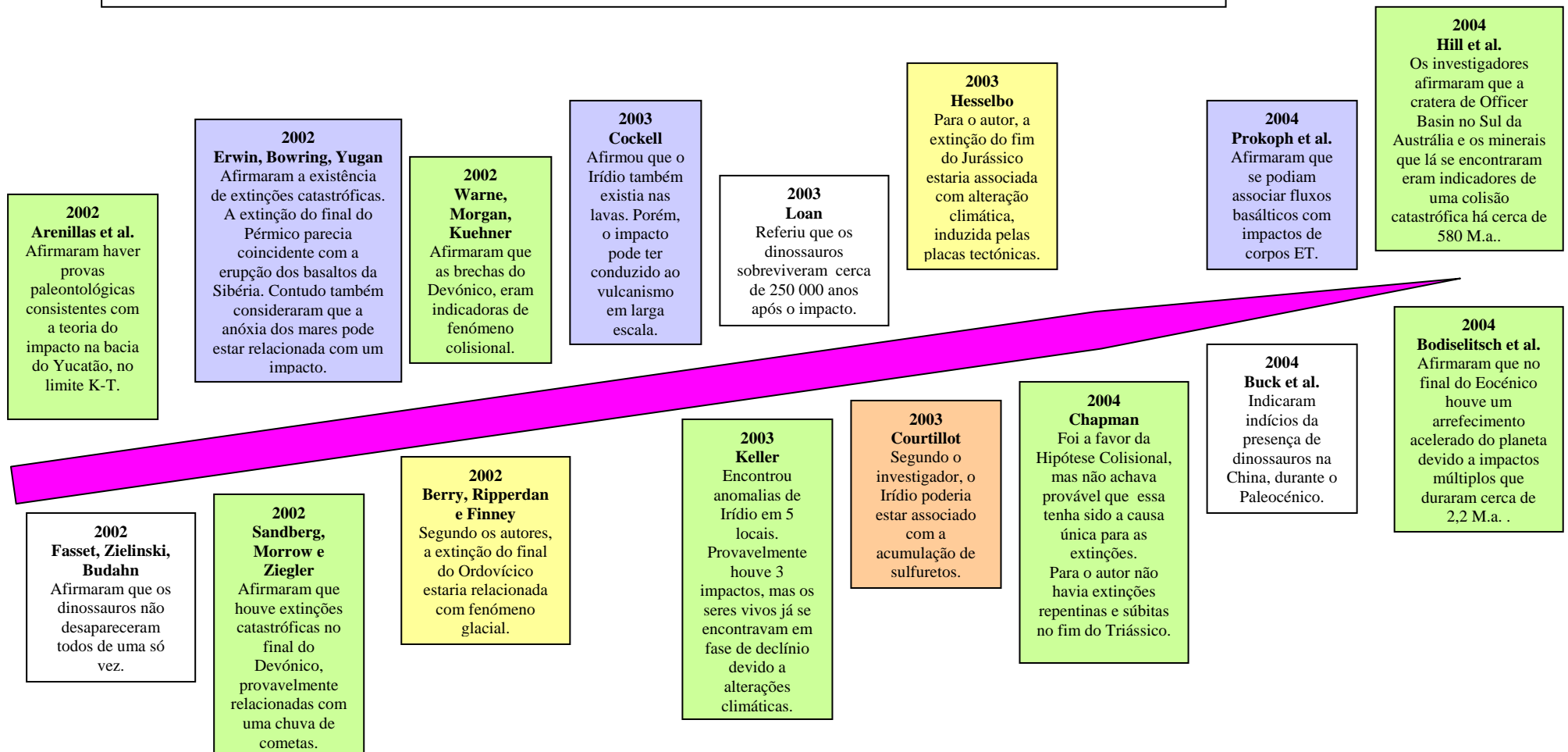
E. Pierazzo e H.J. Melosh
Estudaram a possível inclinação do bólido e chegaram à conclusão que terá provocado uma onda de calor que ascendeu os 5000k, originando vastos incêndios.

Fase de Revolução Científica

Nesta fase ocorre a Revolução Científica com a continuação de pesquisas científicas que intendem solucionar o problema das extinções. Nota-se, porém, uma tendência cada vez mais visível para a aceitação e fusão das duas principais teorias da extinção do K-T.

No que respeita às outras Extinções em Massa, verifica-se que as teorias que as justificam estão relacionadas com fenómenos glaciares e a sua origem (colisão de um asteróide; vulcanismo intenso ligado às placas tectónicas; placas tectónicas enquanto redistribuição das massas continentais).

Curiosamente, parece que passamos novamente a encarar as Extinções em Massa de um ponto de vista Catastrofista (Novo Catastrofismo), independentemente da teoria proposta.



ANEXO IV

ANEXO- IV

DESENVOLVIMENTO DOS MATERIAIS DIDÁCTICOS EM SALA DE AULA (EXTINÇÕES EM MASSA)

Transcrição das aulas nas quais foram aplicados os materiais didácticos referentes às Extições em Massa.

Os materiais foram aplicados a duas turmas do 10º ano de escolaridade.

Turma B- Transcrição da 1ª aula à turma B. Nesta aula foram utilizadas duas estratégias, nomeadamente a visualização do resumo da película cinematográfica “O dia depois de amanhã” e o Documento 1, referente à forma de pensar do planeta Terra no século XIX.

De referir que a gravação só foi feita após a chamada feita aos alunos, o registo do sumário e após a visualização do resumo da película cinematográfica.

Professora (P)- Após a visualização deste excerto de filme, que ideias é que vos ficaram?

Sílvia (S)- Que o planeta está a sofrer alterações climáticas...

Diana (D)- E que as alterações estão a ocorrer em todo o planeta.

Assunção (A)- Parece que vai haver uma catástrofe!

P- Repararam que o filme é uma produção actual, tem cerca de dois, três anos?!. Esta forma de nós, nos tempos que correm, fazermos filmes que focam acontecimentos súbitos, repentinos e catastróficos, faz lembrar a forma como se pensava no século XIX?!

A- Sim, já falamos que os cientistas do século XIX achavam que a Terra era recente porque a Bíblia também só falava de tempos recentes...

P- Os cientistas dos inícios do século XIX chamavam-se naturalistas. Sim, de facto a Bíblia era um dos poucos livros de estudo, para além disso, a Igreja tinha um forte poder na sociedade, pelo que muitas ideias que eram passadas ao povo, vinham dos ensinamentos dos padres da altura.

Mas, vamos ler o Documento 1.

(O Documento 1 foi lido em voz alta por vários alunos. Foram dados mais 5 minutos, para cada aluno o reler)

P- Ora, vamos lá então clarificar algumas ideias que ressaltam dos textos originais.

O Barão Georges Cuvier...

Cátia (C)- Fala de catástrofes!!

P- Pois sim. Mas o que é que ele refere como causa para tais cataclismos?

Joana- Fala de inundações!!

P- Lá está! As inundações referidas por Cuvier iam ao encontro dos escritos da Bíblia acerca da Arca de Noé. É que, naquela altura já se encontravam fósseis, aos quais se chamavam pedras figuradas, de animais marinhos no alto de montanhas. E esse facto era mais facilmente explicado tendo em consideração uma grande inundação, uma verdadeira revolução, tal como refere Cuvier.

Cláudio (Cl)- S'tora, então as revoluções que ele fala são mudanças?...

P- Exacto. No século XIX a linguagem era mais rebuscada. No fundo, Cuvier utiliza a palavra revolução, não no sentido actual da Revolução de Abril, mas referindo-se a grandes mudanças repentinas.

Cl- Mas, porque falava ele de revoluções?

P- Pois, é que na bacia de Paris foi onde ele realizou uma grande parte dos seus estudos de anatomia comparada. Cuvier verificou que de uns estratos para os outros, havia variações bruscas no tipo de seres vivos, o que o conduziu às ideias de catástrofes que causaram as extinções desses seres vivos.

Por outro lado, Richard Kirwan, o que referiu ele?

S- Também era a favor das inundações...

P- Ora. Mais uma vez estamos na presença de um naturalista que aceitava o dilúvio. Por outro lado, ele criticou James Hutton, porque Hutton considerava que os processos erosivos e outros fenómenos geológicos, actuavam de forma constante ao longo do tempo.

S- Oh!! Professora, dá ideia que os geólogos estão sempre a ser criticados! Já se passou algo semelhante com aquele da Deriva Continental...

P- Alfred Wegener...

S- Sim, esse! É que ele até dizia coisas que pareciam certas, mas não conseguia justifica-las de uma forma que os outros o entendessem...

P- Podemos dizer que muitas vezes os geólogos se viram com a tarefa dificultada devido aos argumentos que utilizavam. Sem dúvida que James Hutton, o fundador do Actualismo, que defendia as causas actuais como sendo responsáveis pelo que encontramos na Terra, necessitava de grandes períodos de tempo para explicar as suas causas actuais.

A- E então?

P- O problema é que naquela época, a Terra era vista como um local com, não mais de 6000 anos.

S- Que “totós”!

J- Então se na Bíblia só falava de pouco tempo...

P- O que a Joana disse está correcto, Sílvia. Aquilo que hoje é muito claro para nós, no século XIX não o era. De maneira que as ideias de Hutton, iam contra as concepções de um tempo curto para a Terra. Hutton, para conseguir explicar que a erosão demora tempos incalculavelmente vastos, mexeu com as ideias bíblicas.

S- Oh!! S'tora, o padre da freguesia onde eu moro, parece esses do século XIX. Veja lá que, quando houve os furacões na América, ele disse que era castigo de Deus...

(risos na sala)

P- Pois, mas vocês sabem que nas aldeias há pessoas mais antigas para as quais os fenómenos da natureza são causa directa do castigo de Deus. São ideias que, como já perceberam, remontam a séculos anteriores. E, cabe a vós, a mudança de mentalidades dos vossos parentes mais próximos, uma vez que já possuem de mais anos de escolaridade, nomeadamente no que respeita à ideia de ciência.

E William Buckland??

A- Esse mudou as suas ideias quando era mais velho.

P- Sim, apesar de Catastrofista na maior parte da sua vida, para o final conheceu as ideias de um antigo aluno seu Charles Lyell, e converteu-se às ideias Uniformistas.

Charles Lyell, foi um seguidor das ideias de Hutton, e fundou uma corrente de ideias chamada Uniformismo. No vosso livro está escrito Uniformitarismo... corrijam. É Uniformismo que se diz.

Respondam então, às duas questões que são colocadas no final do documento.

(em grupos de 2 ou 3, os alunos dialogaram e responderam às questões)

P- Vá lá. Então como se pensava que a Terra funcionava, no século XIX?

Teresa (T)- No século XIX as pessoas acreditavam no dilúvio e nas catástrofes ao longo dos tempos.

P- E de que forma é que essa maneira de pensar se assemelhava ao filme actual?

C- Esta forma de encarar a Terra parece um pouco a do filme, porque no filme também estão a falar de mudanças bruscas do clima e das temperaturas da Terra, o que parece aquilo que estes cientistas disseram no século XIX.

P- Naturalistas...

C- Sim, naturalistas...

Assunção- Professora, parece que estamos hoje como estávamos antigamente... É como se voltássemos a pensar nas catástrofes de uma maneira moderna...

P- Sim, dá-nos essa sensação. Mas o que diziam as pessoas sobre esses acontecimentos?

Assunção- Por causa de Deus que ‘tava a castigar!

P- Exacto, havia o fundamento religioso, bíblico! Mas isto era aqui no Ocidente onde somos maioritariamente Cristãos. Nas outras religiões, havia, com certeza, outras explicações diferentes...

Agora, preciso de três voluntários para fazerem um pequeno teatro que nos vai dar a conhecer melhor as ideias de Cuvier e de Lyell. Voluntários?

A- A Joana e a Sílvia...

Cl- É, elas têm jeito!!

P- Mas preciso de mais um. E que saiba usar um sotaque francês!

Tiffany (T)- Então posso ser eu!

P- Óptimo! Tiffany, faz o papel de Cuvier, Joana faz o papel de Lyell e a Sílvia, faz o papel de Presidente!

S- Eu sabia que ia lá chegar!!

P- Como trabalho de casa leiam o diálogo, que depois será interpretado pelas vossas colegas na próxima aula.

2ª aula B

A aula iniciou-se com a teatralização do Documento 2, e respectiva participação da turma.

P- Vamos então fazer um ponto da situação. Quantos intervenientes tivemos neste diálogo?

Jq- Lyell...

T- Cuvier e o Presidente.

P- O que defende Georges Cuvier?

João Manuel- As catástrofes.

P- As catástrofes. Como é que Cuvier explica o desaparecimento das espécies?

Diana (D)- Falava de catástrofes que mataram os seres vivos.

P- Sim, e porque eram causadas essas catástrofes?

D- Por dilúvios...

P- E assim explicavam os desaparecimentos de espécies ao longo dos vários estratos sedimentares fossilíferos. E qual era a posição de Charles Lyell?

Assunção (S)- Ele era naturalista...

P- Naturalistas eram todos eles...

S- Sim, mas ele defendia que eram as causas actuais e climatéricas que matavam os seres vivos e não as catástrofes.

P- E não as catástrofes... Lyell defendia o desaparecimento das espécies não por catástrofes mas por processos lentos e graduais. Uma das vantagens em termos argumentativos que os Catastrofistas tinham era que a ideia do dilúvio vinha escrito no livro sagrado da Igreja.

Os que defendiam a uniformidade dos processos tinham de se apoiar...

Ana Maria (AM)- Apoiavam-se na actualidade, naquilo que acontecia... erosão, vulcões...

P- Eles baseavam-se nos fenómenos que se vêem actualmente na Terra. Vamos acabar de ler o Documento 2.

(última parte do documento lida por alunos)

P- Os Catastrofistas argumentavam também com os estratos sedimentares. Os de baixo mais antigos do que os que os cobrem, tendo teores de fósseis distintos, e então, usavam causas sobrenaturais que ainda por cima estavam escritas na Bíblia para justificar o desaparecimento das espécies.

James Hutton, foi muito criticado porque não se baseava no livro que todos os outros consideravam como sendo correcto, a Bíblia.

O Barão Cuvier como grande naturalista que foi, ou melhor, ia para o campo, recolhia amostras, estudava-as e comparava-as. Isso na época era muito bem visto, de tal forma que ele teve uma grande notoriedade. Por outro lado, Cuvier era Francês e Hutton Inglês. Como se sabe os dois países destes naturalistas eram fortes rivais, não só por questões territoriais, mas o facto é que havia grande rivalidade e Cuvier não conhecia muito bem as ideias de Hutton.

Lyell, reparem que também era um homem das pesquisas de campo, mais virado para as rochas do que Cuvier. Lyell ao tomar contacto com vulcões actuais como o do Etna extrapolou essas ideias para o passado.

AS- Se há agora vestígios de vulcões, é porque no passado também os houve!

P- Então, segundo Lyell, se houve estes acontecimentos no passado, eles podem ter sido os responsáveis pelas extinções em massa das espécies passadas. Foram estas ideias que fizeram Lyell defendê-las também, que formaram uma corrente de pensamento chamada Uniformismo.

AS- Os processos uniformes ao longo do tempo...

P- A acrescentar a estas ideias, Charles Darwin, muito conhecido pelas suas ideias sobre a selecção natural e a posterior ideia da evolução das espécies, tomou contacto com o livro de Lyell. Ao ver que Lyell apontava um vasto tempo para a Terra, e as suas ideias Uniformistas ficou ainda mais fascinado pela Terra. Darwin, entretanto viajou pelo planeta durante dois anos e a dada altura, em 1852, apresentou a público as suas ideias de evolução das espécies. E para que tal fosse possível, a Terra tinha de ter um vasto tempo geológico, como defendia o Uniformismo.

Antes de resolverem as questões do fim do Documento dois, vamos analisar este quadro comparativo das ideias dos principais intervenientes nesta trama Catastrofistas/Uniformistas.

(análise do quadro-síntese comparativo entre Catastrofistas e Uniformistas)

Analisando o quadro, o Catastrofismo foi posto de lado. Mas, então, o que vimos nós no filme?

JM- Fala de catástrofes...

P- E, então, não dá ideia que estamos a voltar outra vez à questão das catástrofes?

Cátia (C)- Então, em vez de evoluir, estamos a voltar aos antigos conceitos!!

P- Digamos que...

AS- Mas o que ocorre agora não são catástrofes naturais?

P- Nós vemos esses acontecimentos como naturais e que podem ter consequências catastróficas. Parece que queremos voltar a aceitar que existem acontecimentos assustadores e repentinos. Mesmo no filme, as alterações climáticas não foram lentas...

Mas tenham em atenção que o catastrofismo do século XVIII e XIX tinha em consideração causas mais sobrenaturais...

Actualmente e no filme, já se justificam as catástrofes por causas que conhecemos como a poluição.

Lyell afirmava que os fenómenos que sempre ocorreram na Terra é que iam matando as espécies. Não eram fenómenos esporádicos e enviados por Deus.

Tiffany (T)- Mas no filme eles dizem que as catástrofes acontecem por causa do homem. É então diferente do que pensavam os Catastrofistas do século XIX.

C- Então os Uniformistas não consideravam catástrofes.

P- Consideravam que os desaparecimentos de espécies foram lentos e graduais.

AS- Mas ...

P- Ao longo do tempo geológico sempre se passaram estes fenómenos geológicos.

J- Pois!!

P- Os Uniformistas como Lyell defendiam que as extinções se processavam de forma lenta e gradual, enquanto que os Catastrofistas defendiam desaparecimentos abruptos.

AS- Então, qual deles é que está certo S'Tora?

P- A intenção é que vocês pensem nisto. Não há versões certas, nem erradas. Tudo depende da altura em que se vive.

JM- Mas eu aceito mais o Uniformismo.

P- Se calhar, é por isso que ele foi dominando progressivamente, porque não invocava causas sobrenaturais e mais difíceis de explicar!

AM- Eles comparavam o que dizia na Bíblia com o que eles viam e isso é que não devia ser...

P- Bem, na altura, como a Bíblia era um livro de estudo...

AM- Mas então agora estamos a voltar a falar em catástrofes!

P- Mas os Catastrofistas do século XIX evocavam causas sobrenaturais para essas catástrofes.

J- Quando houve o maremoto, foi de um dia para o outro, foi repentino!

C- Pois, mas sabemos porque aconteceu!!

Sílvia- Mas não foi uma catástrofe natural!!

J- Então não foi?? Claro que foi!!

Diana (D)- As alterações climáticas estão a afectar os glaciares que se estão a derreter... E por isso é que estamos a voltar às catástrofes.

P- Estamos a voltar nos nossos dias a falar de catástrofes, mas os nossos conhecimentos são bem diferentes dos do século XIX. O terramoto de 1755 de Lisboa foi um dos tais fenómenos explicados com base no divino. Ainda por cima ocorreu no Dia de Todos os Santos!!

Carla (C)- Professora, mas quando houve o furacão Catrina, o padre na missa, disse que tinha sido castigo, porque as pessoas não iam à missa...parece impossível nos dias de hoje, mas é verdade, eu estive lá e ouvi...

P- Bem, agora que vocês têm mais conhecimentos, cabe-vos a tarefa de mudar as mentalidades...

Mas voltando às catástrofes. O que se fala no filme é bem diferente das catástrofes divinas. Por outro lado o Uniformismo também tinha argumentos muito válidos.

AS- Professora, mas porque é que eles davam tanta importância à Bíblia?

P- Já foi referido que era um livro por onde se estudava ...

Entretanto já estivemos a responder às questões do final do documento.

Questão 1 o que sucedeu neste diálogo entre Lyell e Cuvier?

T- Houve o confronto entre os dois. Cada um defendeu a sua posição. Um era a favor das catástrofes e o outro dos processos lentos e graduais...

S- Houve um debate entre duas ideias opostas... Isto, porém, é antes da ideia do meteorito que matou os dinossauros...

P- Calma! Estamos no século XIX. Mas vamos falar desse assunto.

Pergunta 2 relativamente à questão dois

S- Dominou o Uniformismo. Lyell era mais novo do que Cuvier e se calhar tinha mais garra.

P- Exacto, o Uniformismo foi dominando, pois...

AM- Entretanto os mais novos tinham mais conhecimentos...

P- Ora, por todos estes factores houve o progressivo domínio do Uniformismo e foi colocado de lado a corrente Catastrofista.

A turma foi dividida em dois e cada turno ficou com uma parte do Documento 3. Cada turno leu o Documento 3 relativo à sua hipótese, estando a docente a tirar dúvidas e esclarecer conceitos, a fim de facilitar o estudo de cada aluno em casa para a sua preparação para o debate.

3ª Aula – B

(o início da aula foi marcado por diálogos entre a professora e cada grupo a fim de clarificar dúvidas e estabelecer estratégias interventivas)

P- O que eu pretendo com este debate é conhecer as posições dos dois grupos no que respeita às extinções em massa dos 65 milhões de anos. Mas, no final deste debate quero que cada grupo leia a parte do documento referente ao outro grupo para que fiquem a conhecer as hipóteses mais consideradas como possíveis para esta extinção.

No final devem conhecer as duas pois ambas apresentam factos que são de se ter em consideração. Nos livros fala-se mais de uma, porém quero que vocês conheçam as duas para alargarem mais os vossos horizontes intelectuais.

Vamos então dar início ao debate e vamos ouvir a Hipótese Vulcânica.

Carla (C)- A Hipótese Vulcânica defende que foi um intenso vulcanismo que se gerou na Terra devido a instabilidade ocorrida do manto, provocado pela mudança dos

pólos da Terra. Isso provocou um grande vulcanismo e os gases libertados para a atmosfera foram-na poluindo. A precipitação começou a poluir águas e os solos e os animais e as plantas foram afectados e morreram. As cadeias alimentares foram afectadas ao longo de muito tempo.

P- Quanto tempo?

C- Entre 10 000 e 100 000 anos.

Diana (D)- Os gases que foram libertados, o dióxido de carbono e outros, dos vulcões, foram para a atmosfera, provocando uma mudança de clima e tanto as plantas como os animais sofreram com essas alterações.

P- Pergunto ao grupo da Hipótese Vulcânica onde é que foram encontrados vestígios de tal actividade.

Ana Maria (AM)- Foram os basaltos do Decão.

P- Que fica...

AM- Fica na Índia.

C- Os basaltos libertados do vulcão tinham cerca de 1000 metros de altura que isso significa que demoraram muitos anos a sair.

P- Ser extruídos...

C- Ou seja entre 10 000 e 100 000 anos.

P- A outra hipótese.

Joana (J)- A nossa hipótese diz que houve uma colisão de um meteorito com a Terra e que daí começaram a acontecer as extinções.

Tiffany (T)- Os animais não desapareceram só devido ao meteorito. Com a nuvem que se formou, a Terra ficou muito fria, sem que o Sol pudesse atingir a superfície. As plantas deixaram de realizar a fotossíntese e começaram a morrer, os animais herbívoros também começaram a morrer e os carnívoros a mesma coisa, começaram a não ter que comer.

João Carlos (JC)- Sobreviveram aqueles animais que comeram os animais em decomposição e as plantas que tinham sementes aguentaram-se no interior da terra e quando voltou o Sol, elas cresceram.

Sílvia (S)- Tenho uma pergunta a fazer ao grupo Vulcânico. Eles falaram das águas estarem poluídas, não é? Então nós neste momento também estamos com uma grande parte da água poluída, então quer dizer que daqui a 100 000 anos também vão existir extinções??

C- Sim, pode ser.

AM- Mas hoje é o Homem que está a provocar isso! E naquela altura foi o vulcão com os gases a libertar...

S- Pode ser, pode ser... Então vocês dizem foi mesmo e agora dizem pode ser? Como é? Se foi uma das causas a poluição...

C- Não, calma... Neste momento as coisas estão poluídas como está o ar, as águas e tudo, mas é por causa do Homem. Nessa altura foi devido a muitas cinzas e muitos gases poluentes que foram lançados... de vulcões...e está provado!

JC- Mas os gases também podem ter sido libertados por causa do choque do meteorito com a Terra!

C- É o que vocês dizem! É assim os gases libertados pelos vulcões como o Irídio também foram encontrados nos basaltos do Decão e como é que foram libertados pelo meteorito?

JC- Mas o Irídio é encontrado nos meteoritos..

C- Mas também existe nos vulcões!

S- Não!!

P- Sim, já foi encontrado esse elemento nas lavas de vulcões como os do Hawaii.

São (AS)- Sim, é encontrado irídio em rochas terrestres, em elevadíssimas quantidades o que não é normal aqui e é normal em corpos exteriores à Terra, como cometas e asteróides. E mais, vocês dizem que a Terra devido à inversão de polaridade ... há provas em que isso aconteceu?

C- Há. As rochas foram datadas e nós já aprendemos que se podem datar por isótopos radioactivos e saber a sua polaridade. Nos basaltos do Decão viu-se isso.

AS- E há algum factor exterior?

P- É um factor interno.

D- É assim, vocês dizem que o Irídio está em corpos extraterrestres mas também existe em vulcões, em lavas de vulcões e por isso, nós temos 1km de espessura desse elemento químico nos basaltos da Índia.

AS- E está em grandes quantidades no basalto?

D- Sim e também nos sedimentos! Também há Irídio nos sedimentos e noutras coisas... foi encontrado em quantidades muito anormais...

J- Nós também encontramos uma camada de argila que tinha esse elemento em grande quantidade, na Itália, precisamente da idade em que desapareceram os seres vivos, 65 milhões de anos.

AM- Pode ser que uns anos antes de ter havido vulcanismo tivesse havido uma cratera de impacto e isso teria afectado a Terra, porque ele tinha trazido o Irídio e tinha-o metido no interior da Terra e depois houve vulcanismo e ele saiu no vulcanismo. Não se sabe se isso aconteceu.

S- Nós temos exemplos nos Açores que são solos muito férteis por causa das cinzas e vive lá muita gente. Se caíram as cinzas, que iam tornar o solo fértil como é que eles foram desaparecer?

C- Desaparecer como?

S- As plantas e isso...

C- Ah! Mas nessa altura devido ao intenso vulcanismo surgiram muitas cinzas que foram libertadas para a atmosfera e como o vulcanismo durou muitos anos a extinção foi lenta e gradual. Claro que depois desse tempo alguns tipos de plantas começaram a crescer. Uma prova disso é 1km de basalto do Decão.

S- E quais eram os vulcões?

C- Do Decão na Índia!!

AS- Se tu dizes que ocorreu assim tanta actividade intensa, supõe-se que o solo terrestre tenha ficado coberto por lavas e cinzas.

C- Não todo!! Então como é que se consegue explicar que foi extinto por causa do meteorito?

AS- Quando foi a colisão do meteorito muito material foi para a atmosfera.

C- Pois, mas nós também dizemos isso...

AS- Mas que eu saiba o meteorito não provocou lava.

P- Atenção que a Hipótese Vulcânica está a dizer que houve libertações de grandes quantidades de lava numa determinada região e essa região é o Decão, essa lava data da idade do final do Cretácico, como podem ver ali no Tempo Geológico.

AS- Mas nós também temos as argilas com essa idade!

AM- E então como é que o meteorito matou as espécies?

AS- Sabe-se que na Terra se formou uma gigantesca nuvem de poeiras e essa nuvem foi de tal grandeza que conseguiu englobar todo o planeta...

AM- E pronto, os gases produzidos pelo vulcão também afectaram.

AS- Mas nós sabemos que após a colisão, não se realizou a fotossíntese e depois as mortes, nós sabemos que após milhões de anos essas poeiras repousaram-se e formou-se uma camada de argila que tem essa idade dos 65 milhões de anos.

C- E os basaltos do Decão também têm essa idade.

AM- Aproximadamente a idade das extinções das espécies.

Joaquim (Jq)- E a camada de argila também!!

Rute (R)- Nós podemos argumentar a nossa ideia pelo facto daquela camada de argila ter uma concentração muito elevada de Irídio, e toda a região da cratera foi analisada e viu-se que sofreu metamorfismo de choque, resultante da colisão.

E foram encontrados feldspatos e quartzo que mostravam...

P- Estruturas planares de choque...

Filipa (F)- E que indicavam que era metamorfismo de choque.

AM- Pode ser coincidência ou não, mas não sabemos se houve os dois...para causar esta extinção toda!

C- Eu quero fazer uma pergunta. Como é que vocês explicam, para haver um meteorito assim tão grande, a cratera de impacto deveria ter cerca de 10km de profundidade e não tem.

Essa cratera pode ser não de uma colisão mas de depósitos vulcânicos. Como é que vocês provam?

AS- No Yucatão foi lá encontrada aquela cratera e sabemos que há camadas de sedimentos que provam que ao cair o meteorito naquela área, a terra tremeu, provocou gigantescas ondas e os sedimentos apresentam-se como se tivesse havido uma onda e depois oscilações de águas, que permitiram a deposição dos sedimentos. Aí está a prova.

D- Segundo os nossos estudos, Keller diz que as extinções não começaram nos 65 milhões de anos, mas antes.

AM- Já vinha ocorrendo lentamente.

D- Segundo vocês dizem, o meteorito causou essas extinções todas. Segundo os nossos estudos começou a haver extinções antes desse meteorito cair na Terra.

AS- Nós sabemos que não houve aviso prévio das extinções...

C- Foram encontrados nos fósseis dados que dizem que as extinções começaram antes dos 65 milhões de anos, as espécies começaram a morrer antes. Mas não foi de uma vez, foi muito lentamente.

JC- Mas nós hoje encontramos animais em vias de extinção...

D- A cratera pode ter sido uma caldeira...tal como nós já estudamos.

S- Com 180km de diâmetro??

Teresa (T)- O facto de ter havido metamorfismo de choque não prova que ocorreu a queda do meteorito?

C- Houve uma colisão, mas já pensaste que dos vulcões explosivos podem sair piroclastos também deformados?

AS- Mas em grandes quantidades?

C- Não sabes o tipo de vulcão naquela altura...

JC- Mas temos de ter em consideração que nem todos os componentes da cratera são de vulcão, mas de meteoritos!! E esses materiais têm a ver mais com os meteoritos.

S- Nós dizemos que foi o meteorito que lançou matéria para a atmosfera e eles falam de poeiras e gases e então porque não ficaram na atmosfera?

C- Mas nós dizemos isso!!

P- Atenção que a anóxia dos oceanos pode também ter ocorrido. Anóxia é falta de oxigénio.

Ponto da situação. Houve extinção em massa na qual desapareceram uma grande parte dos seres vivos, nomeadamente os dinossáurios. Mas, há duas hipóteses que pretendem explicar este fenómeno: a Hipótese Vulcânica e a Hipótese Colisional. Em ambas afirma-se que eventos provocados por causas extraterrestres ou terrestres induziram alterações climáticas que afectaram a cadeia alimentar.

AS- Professora, nós defendemos que a colisão ocorreu numa sequência carbonatada e quando houve a colisão, muito dióxido de carbono passou para a atmosfera e causou um agravamento do efeito de estufa e causou o que causou, as mortes. Ao fim daquele tempo todo sem luz do Sol a Terra arrefeceu, mas depois o dióxido de carbono na Terra provocou novo aquecimento. Muitos seres que sobreviveram ao “inverno de impacto” podem até nem ter sobrevivido depois ao calor, mas um ou outro sobreviveu e reproduziu-se e... pronto, mas temos aí a justificação...

C- Vénus também tem um grande efeito de estufa, e esse efeito de estufa não pode ser resultante de vulcões?

AS- Não estou a dizer que não... só defendo é a nossa hipótese...

JC- Esses vulcões que vocês estão a falar podem ter sido provocados pela queda de meteoritos!

C- Como assim??

JC- Os meteoritos ao caírem na Terra provocaram impacto e o magma que está lá em baixo, sofreu alterações e subiu formando muitos vulcões.

P- Bem, tanto a Hipótese Vulcânica como a Colisional, reparem, têm provas e o facto é que o grupo da Hipótese Vulcânica e o grupo da Hipótese Colisional, analisaram a mesma sequência de estratos e interpretaram-na à sua maneira. Ou seja, um dos grupos considerou a sequência como tendo origem vulcânica e o outro como tendo origem colisional. A mesma sequência de estratos!

C- Então cada um puxa a brasa à sua sardinha!

P- Vejam que os cientistas são como eu e vocês, Humanos e com sentimentos! É que vocês estão a sentir isso. Dei-vos a tarefa de defenderem uma posição, sabendo que há outra também muito válida! Mas, cada um está a defender a sua posição de forma exímia!! Os cientistas são também assim. Defendem as suas posições e apesar de surgirem provas contrárias às suas, mas igualmente válidas, vêm-se a defender o seu ponto de vista!!

AM- Então podemos ficar todos contentes e aceitar as duas hipóteses!!

P- Essa é a posição que está a emergir no que respeita a este assunto!

AS- Professora, não pode ter sido uma pandemia??

P- Mas não será tão visível no registo paleontológico o efeito de uma pandemia... Bom, pode ter acontecido um fenómeno biológico, mas ... neste caso é-nos mais fácil interpretar o registo estratigráfico que regista basaltos e camadas de argila. Neste momento, a hipótese que tem vindo a ganhar alguma força é a fusão destas duas que temos vindo a falar.

C- Mas por que é que nos livros só se fala de uma delas?

P- Não será a nossa tendência de gostarmos de catástrofes?? E cá está: estarmos numa época de Novo Catastrofismo??

S- Mas os vulcões são catástrofes naturais!!

P- E a queda de meteoritos?

S- Também...

P- Pois é! Século XIX: a ideia de catástrofes geralmente causadas por acção divina. Esta ideia foi colocada de lado. Entretanto o Uniformismo imperou a partir dos meados do século XIX e agora, voltamos a falar de catástrofes, se bem que as suas causas sejam explicadas por causas naturais.

AS- Então voltamos a ser Catastrofistas!! Mas é lógico!! Tem a sua lógica!! Mas agora nós conseguimos explicar sem falas de castigos divinos!

P- Lá está!

Amanhã fazemos um ponto de situação sobre este assunto. Para trabalho de casa cada grupo vai ler os documentos da hipótese oposta para conhecer bem os seus argumentos.

4ª Aula – B

P- Vamos lá ver se alguém se lembra da aula de ontem. Pergunto se alguém quer tomar a iniciativa de nos relembrar o que se passou ontem na aula. A Carla ontem estava muito entusiasmada, foi fantástico.

Foi um debate sobre... Cláudio.

Cláudio (Cl)- Foi sobre as Extinções.

P- As Extinções em Massa. E de que período estivemos nós a falar?

Sílvia (S)- Cretácico e Terciário.

P- Há cerca de 65 milhões de anos. Então há duas hipóteses que tentam justificar estes desaparecimentos. Joaquim...

Joaquim (Jq)- A Colisional e a Vulcânica.

P- Alguém é capaz de me dizer em linhas gerais o que defende cada uma delas?

A Hipótese Colisional primeiro.

Tiffany (Tf)- Diz que um meteorito colidiu com a Terra.

P- E que provas são apresentadas pelo grupo que defende esta hipótese?

São (AS)- As provas de metamorfismo de choque em alguns minerais...

João Carlos (JC)- A cratera de impacto que encontraram na península de...

P- Yucatão.

JC- Yucatão, no México.

AS- A camada argilosa em Itália.

P- O que tinha essa camada?

Tf- Tinha irídio e isso existe em pequena concentração na Terra e em grande nos corpos extraterrestres. E se estava em muita concentração na Terra é porque foi um corpo que trouxe irídio para a Terra.

P- Em linhas gerais esta é a Hipótese Colisional. E qual é a outra Hipótese Carla?

Carla (C)- A Hipótese Vulcânica.

P- A Hipótese Vulcânica! O que nos diz ela?

Diana (D)- Diz-nos que com a inversão da polaridade da Terra que já não aconteciam há milhões de anos...

P- Como era esperado...

D- Fez com que o manto inferior ficasse instável e os vulcões activaram-se.

P- Digamos que houve uma activação do manto que proporcionou um vulcanismo mais intenso... Em que local é que se encontrou vestígios desta dita actividade?

S- No Decão.

P- Onde fica Decão?

S- Na Índia.

P- Que quantidade de basaltos foram encontrados?

S- 1km em altura.

P- E o que sugeriram os defensores da hipótese vulcânica?

C- Sugeriram que esses basaltos todos provocaram uma alteração do clima e uma poluição do planeta.

P- Exacto, uma alteração climatérica e ambiental que causou a extinção de muitas as espécies. Mas para os defensores do vulcanismo, a extinção foi rápida ou lenta?

C- Lenta!!

(utilização do quadro-síntese comparativo entre as duas hipóteses, com os defensores de cada ideia)

P- Vejamos então o quadro. Vemos de um lado a Hipótese Colisional, sugerida pelo Grupo Alvarez e a Hipótese Vulcânica por Courtillot e Besse.

AS - Ontem a Carla falou que as águas e tudo ficou poluído por causa do vulcão.

P- As águas ficaram poluídas e sem oxigénio.

AS- Mas eu vi ontem num livro que esta Hipótese não é muito considerada porque sobreviverem 100% de uma espécie de peixes...

P- Aí está. Se vocês forem para a área de Biologia vão ter de realizar estudos com seres vivos e vão verificar que há espécies que se adaptam e que resistem melhor a alterações ambientais do que outras. Aqueles seres menos especializados são mais resistentes do que outras mais especializadas, isto é, precisam de determinadas condições para sobreviver e, por outro lado não suportam variações de determinadas condições ambientais.

Provavelmente, essa pode ter sido uma das tais que resistiu. Claro que, quem defende a outra hipótese ataca eficazmente esses factos.

Analisemos então com mais pormenor o quadro comparativo das hipóteses.

(os alunos tiraram notas sobre o quadro-síntese. Foi lido o resumo de cada cientista pelos alunos e foram estabelecidos pontos de contra-argumentação entre os apoiantes de cada teoria)

S- Professora, parece que estas teorias... parece que encaixam uma na outra...

P- Agora, que conhecemos as duas hipóteses e analisando com este pormenor até parece que podemos chegar a essa conclusão. Porque, actualmente...

(colocação do último quadro referente a dados mais actuais)

...as últimas hipóteses que li, vejam na tabela faz referência às duas hipóteses. Associam as duas hipóteses. Defendem que pode ter havido uma colisão que estimulou a actividade vulcânica.

JC- É a mais provável.

P- É de se ter em consideração também.

Tenham em atenção ainda o seguinte, Vincent Courtillot não discorda das catástrofes. Ele apenas diz que de facto, os seres vivos tiveram uma extinção

progressiva...e claro que um vulcão que está em actividade por tantos mil anos é catastrófico e provoca alterações climáticas.

O Grupo Alvarez, por sua vez, falam da colisão de um corpo com a superfície terrestre e estão também a falar de uma catástrofe.

No fundo, todos eles, tanto de um lado como do outro os cientistas quando defendem as suas ideias põem muitas das suas emoções cá para fora. Vocês viram isso ontem! Queremos lá saber se os factos dos outros são também plausíveis! Queremos é defender a nossa ideia com “unhas e dentes”.

AS- Parece que, às vezes, nem os queríamos ouvir. Tentávamos arranjar logo uma ideia contra, só para salvar a nossa!

P- Exacto! Queria agora ouvir de cada um de vocês o que sentiram ontem com a actividade do debate, se sentiram dificuldades...aquando do debate e da sua preparação em casa.

AS- Eu estava com calor...

P- Começamos num lado, Sílvia...

S- Eu pertencia ao grupo da hipótese colisional e tinha que defender essa hipótese, mas eu acho mais provável a vulcânica. Daí eu estar sempre a fugir para a hipótese deles. Por isso é que eles estavam a dizer que eu estava quase a virar para o lado deles.

P- Mas compreendeste as duas posições?

S- Sim e gostei de conhecer as duas...

P- Rute.

Rute- Sei lá, nem sei o que dizer...

P- Diz o que sentiste ontem...

R- Sei que não participei muito no debate mas percebi.

AS- Ela foi o meu auxiliar de memória.

P- Eu reparei nisso e também são importantes estes auxiliares...

R- Para mim a colisional tem mais sentido, não sei mas, acho que percebi melhor a colisional porque a estudei melhor.

P- De qualquer forma, gostaste do debate?

R- Sim, muito! E acho que devemos conhecer as duas.

P- Filipa.

Filipa- Eu gostei de conhecer as duas hipóteses mas concordo mais com a vulcânica do que com a colisional. Não é por ter feito parte do grupo que a defendeu mas, sou mais a favor. Apesar de não ter participado muito... fiquei a perceber muito bem tanto um lado como o outro.

P- Achas que vale a pena este género de actividades?

AS- Acho que é uma forma de “brincar” com a matéria e uma pessoa aprende aquilo com mais gosto. Eu falo por mim. Ontem estava ali como se estivesse num grande debate. Eu estava-me a sentir mesmo envolvida naquilo e cheguei mesmo a compreender. Ontem estive a ler a hipótese vulcânica em casa e não concordo mesmo! ‘Tou mesmo com a minha, não troco!

P- Bem, mas não podes encerrar o teu espírito crítico e impedires a tua compreensão de chegar a outros lugares, só porque te foi incumbida a tarefa de defender uma determinada posição.

AS- Exacto, mas parece-me que os argumentos da Colisional são mais verdadeiros...

P- Cátia o que sentiste quando estiveste e preparar-te para o debate?

Cátia- Bom eu achei que as duas actuaram em conjunto. Mas senti que tinha de defender a nossa posição e por isso senti que estava com responsabilidade...

P- De...

Cátia- Enfim, de defender a nossa hipótese e por isso apliquei-me talvez mais do que se fosse para um TPC normal.

P- Diana.

Diana- É assim, a meu ver, foi importante conhecer os dois pontos de vista porque eu concordo com os dois. No livro fala mais da do impacto...mas eu acho que devemos conhecer as duas porque, se calhar, até actuaram em conjunto...

P- Cláudio.

Cláudio- Tenho a opinião da São, naquela parte em que ajuda a compreender melhor a matéria. E é sempre bom conhecer as duas hipóteses e até já me falaram de outra... das fezes dos dinossauros... que contaminaram o ambiente...

P- Sim, também já ouvi essa ideia. É mais uma possibilidade. Porém, neste momento as duas que entram em conflito e que são mais conhecidas são as duas de que temos estado a falar e o surgimento da mistura das duas ideias.

Ana Maria- Acho que não podemos tirar a conclusão de que foi uma ou outra porque afinal as duas falam no mesmo espaço de tempo. E por isso é importante sabermos das duas.

Joaquim- ‘Stora acho que as duas hipóteses sozinhas não conseguiam provocar as extinções.

P- Carla, tu que ontem estavas tão entusiasmada dá-nos o teu parecer desta actividade.

Carla (C)- Eu, quando estava a ler, novamente, em casa, a ver aquilo, eu sentia-me um bocado insegura até porque tive dificuldades em entender o que eles defendiam. Isto porque desde o 7ºano só nos falavam da Hipótese Colisional e na outra, uma pessoa chegava ali a ler os documentos e para o outro grupo era mais fácil porque já conheciam a ideia. Enquanto que para nós não. Foi totalmente novo, “caímos de pára-quedas”...

P- Mas, foi importante teres conhecido esta Hipótese Vulcânica?

C- Foi porque o saber não ocupa espaço e nós temos que querer saber sempre mais, não devemos ficar limitados pelo básico. E no início da aula do debate quando estivemos em grupo foi importante a professora ajudar-nos novamente a clarificar algumas coisas...

P- Tânia.

Tânia- Eu acho que devemos conhecer as duas hipóteses, porque só assim, podemos falar mais da Colisional mas se a outra também é provável e se existem factos, devemos conhecer as duas, não devemos conhecer só uma, se a outra também é válida. Pessoalmente concordo com as duas. E gostei apesar de em casa, quando não conhecia a outra, achava que a minha é que estava certa. E quando cheguei ao debate fiquei assim... afinal também tem lógica.

S- Por isso é que a professora disse para não lermos a outra.

P- Sim, senão perdia a piada da surpresa e do debate em si. Tiffany.

Tiffany- Eu, a princípio, também achava que a minha é que estava certa, mas depois de conhecer a deles já fiquei a pensar. E acho que até foram as duas em conjunto... O debate serviu para nós desenvolvermos os nossos conhecimentos. Foi importante. Teresa.

Teresa- Eu também pensei que a minha hipótese é que era mais válida. Como não li a outra, quando fomos para o debate fiquei a conhecer a vulcânica, discutimos as duas, acho que foi muito interessante.

P- Achas que isto vos ajuda a pensar melhor?

Teresa- Isto exige mais. Temos de trabalhar mais.

AS- Exige muito mais. Eu até fui procurar mais argumentos e dados à net.

P- Mas não viste nada da outra hipótese, ou viste?

AS- Não, eu percebi que iria estragar o debate se fosse espreitar alguma coisa da outra...

C- Sou muito sincera, 'Stora, se chegasse aqui e dissesse há duas hipóteses e tal e desse a matéria normal, se calhar eu não ia chegar a casa e ler aquilo tudo e não me ia preparar tanto! E se fosse de outra forma não ia saber a Hipótese Vulcânica dos pés à cabeça. Estudava só para o teste... João Carlos

JC- Achei importante o debate porque temos alguém com quem nos debater e tentar fazer compreender a nossa opinião e achei importante conhecer o lado deles. De facto uma só não me parece fazer sentido...

P- Porque...

JC- S'tora, é que são ideias tão estranhas de desaparecimentos tão grandes que às vezes uma só hipótese ... parece sozinha demais e fica mais completa com a outra, neste caso.

P- Alexandra.

Alexandra- Gostei do debate e acho que as duas fazem sentido e é importante conhecermos as duas.

P- Em síntese, espero que tenham gostado desta actividade e que não esqueçam que são múltiplos os factores que influenciam as pessoas e, consequentemente, os cientistas...

JC- E o que sentiu a S'tora quando leu os documentos??

P- Pois, quando estava a estudar a Hipótese Colisional já a conhecia de longa data. De livros, da televisão. Mas quando me deparei com os argumentos de Courtillot, fiquei surpresa. Afinal também há factos plausíveis. E em que é que ficamos? Penso que passei pelo que vocês passaram. Tenho de ter as duas em consideração.

Passamos a ler o Documento 4.

Este documento aborda as outras Extinções em Massa que ocorreram ao longo do tempo geológico. Não houve só a extinção da altura dos dinossáurios há cerca de 65 milhões de anos. Vamos analisar a tabela do tempo geológico e contrapor com o Documento 4.

O que vos vou pedir depois é o seguinte: um trabalho, nos moldes que já vos dei em aulas passadas a ser entregue na primeira semana de Janeiro. Cada grupo de dois vai fazer um trabalho de pesquisa sobre uma das outras extinções em massa à vossa escolha.

Vamos ler e analisar com as tabelas do tempo geológico. Vamos ler as outras extinções em massa que houve e depois vão escolher a extinção em massa da qual irão escolher para fazer o vosso trabalho de investigação.

(seguiu-se a análise aprofundada dos textos, em conjunto com o tempo geológico começando os alunos a seleccionar as extinções que mais interesse lhes suscitava a fim de realizar um trabalho de pesquisa- Estimulando mais uma vez o Ensino por Pesquisa)

C- Porque é que se fala mais da extinção dos 65 milhões de anos?

P- Fala-se mais na extinção dos 65 milhões de anos, no final do Cretácico, porque é aquela que mais atenção chama às pessoas uma vez que desapareceram espécies de animais muito grandes como os dinossáurios. Por isso é que se fala mais desta extinção. Por outro lado, há filmes, documentários que enfim, abrem o imaginário das pessoas de tal modo que se fala mais dessas extinções. É quase como o caso dos livros abordarem mais a Hipótese Colisional...

Carla- Parece que se precisa de ter uma mais forte ou mais falada...

P- Sim, uma espécie de escape. No entanto, todas as outras tiveram extinções que foram bastante notórias e que aniquilaram muitas espécies como a do Pérmico. A do final do Pérmico.

Vamos fazer uma ressalva da evolução do pensamento geológico ao longo dos séculos XVII, XIX, XX e XXI.

(uso do quadro negro para esquematizar a evolução do pensamento geológico)

Como aceitavam as pessoas que o planeta Terra funcionava no século XVII e XIX?

Cátia- Por catástrofes. Era o Catastrofismo.

P- Dêem-me o nome de um defensor do Catastrofismo.

Tiffany- Cuvier.

P- Em geral o que defendiam os Catastrofistas?

C- As catástrofes matavam as espécies, mas era Deus que castigava. Falavam também dos dilúvios.

P- De dilúvios e de acontecimentos súbitos e inexplicáveis.

João Carlos- Ontem, professora eu e a Tânia estávamos no polivalente e estava a chover muito e as empregadas estavam a dizer que era um dilúvio!!

P- Estão a ver é o que nós gostamos.

João Carlos- Sim, sempre que acontece assim algo, falamos logo em dilúvios e lembramo-nos da Arca de Noé.

P- Que como sabes, já tem muitos séculos de existência essa ideia. Entretanto, a partir de meados do século XIX, qual foi a corrente de pensamento que começou a imperar?

AS- Foi o Uniformismo.

P- Uniformismo. Dêem-me o nome de um Uniformista.

Sílvia- Charles Lyell.

P- Para ele defender estas ideias, estudou e conheceu as ideias de um outro senhor, um outro naturalista. Quem?

AS- James Hutton.

P- Lyell baseou-se nas ideias de James Hutton para formular as suas ideias. No fundo, Lyell reformulou as ideias Actualistas de Hutton, com novos dados. Essas conclusões de Lyell passaram posteriormente a ser chamadas de ideias Uniformistas, que tinham em consideração a uniformidade dos processos naturais ao longo do tempo.

Entretanto passamos para o século XX e XXI...

Cátia- Falamos outra vez no Catastrofismo.

P- Voltamos a falar novamente em catástrofes.

Cátia- Só que agora é diferente. Não justificamos como castigo de Deus. Acreditamos que são fenómenos naturais.

P- Pois, hoje aceitamos a teoria da Tectónica de Placas que nos ajuda a explicar muita coisa...os sismos, vulcões a formação de montanhas... Porém, falamos de catástrofes, nomeadamente neste caso do desaparecimento das espécies nos 65 milhões de anos. E em geral nas extinções em massa que foram catastróficas. Desapareceram muitas espécies de forma lenta ou rápida, mas o facto é que foram catastróficas. Grandes desaparecimentos bem visíveis nas tabelas que analisamos.

Reparem na evolução das correntes de pensamento da Ciência ao longo dos últimos séculos.

Sílvia- E ainda faltam os outros que aí vem.

P- E faltam os séculos anteriores que também tinham ideias muito interessantes mas não temos tempo para explorar.

Cátia- Somos outra vez Catastrofistas, mas agora evoluídos!

P- Bem, se considerarmos que evolução é uma modificação de alguma característica anterior, podemos dizer que sim Cátia. Alguma dúvida que queiram esclarecer?

(deu-se por terminada a aula e esta apresentação das controvérsias científicas Catastrofismo/Uniformismo)



Turma A- Transcrição da 1ª aula à turma A. Nesta aula foram utilizadas duas estratégias, nomeadamente a visualização do resumo da película cinematográfica “*O dia depois de amanhã*” e o Documento 1, referente à forma de pensar do planeta Terra no século XIX.

Professora (P)- Estivemos a ver o filme, que se chama “O dia depois de amanhã”.
O que é que nos fala o filme?

Pedro (Pd)- Fala-nos que devido à poluição atmosféricas há mudanças no clima.

P- Há mudanças no clima. Mas, pergunto mais uma coisa... essas mudanças climáticas apresentadas no filme, são suaves ou agitadas e bruscas?

Teresa (T)- Agitadas e bruscas.

P- Digamos que no fundo parecem pequenos cataclismos...

Pd- Ou catástrofes...

P- Repararam que em Deli na Índia, onde habitualmente faz calor, estava a nevar. Na China caiu pedraço do tamanho de bolas de ténis. Entretanto no mar do Norte a temperatura baixou 6°C, assim repentinamente. Ou seja houve alterações súbitas por todo o planeta.

Paulo- Mas é o que se está a passar na realidade. O clima está a mudar...

P- Infelizmente devido a muitos erros do Homem, a atmosfera terrestre está com mais gases de efeito de estufa, o que tem vindo a alterar os climas...

Joaquim- E muitas espécies estão em risco de desaparecer...

P- Exactamente. Este filme retracta um pouco estas alterações, mas de uma forma ficcionada e francamente espectacular...

Este é um filme actual, foi feito há cerca de dois anos.

Sofia- Eu não vi o filme mas parece que vai acontecer uma coisa má...

Ana Luísa- Eu já vi, é “fixe” e acontece uma coisa muito má com o clima, é como se falou... de catástrofe climática...

P- Sabendo como é que se fazem filmes hoje, vamos ver agora, é como é que os naturalistas, os cientistas do século XIX, pensavam que o nosso planeta funcionava. Vamos ler excertos do que eles escreveram e já voltaremos a conversar.

(leitura do Documento 1 por alunos, em voz alta. Foram dados mais 5 minutos, para cada aluno o reler)

P- Analisando em pormenor cada excerto. Reparem no que escreveu Barão de Cuvier.

Teresa (T)- Fala de catástrofes.

P- Fala de catástrofes e revoluções. No século XIX a palavra revolução era aplicada para fins além dos políticos. Hoje em dia é mais usada para fins políticos e científicos. Nesta caso em concreto Cuvier usou a palavra revolução com o significado de mudança total de aspecto dos organismos ou da própria superfície da Terra.

Então o que nos falava Cuvier acerca da vida na Terra?

Jq- Que sofre mudanças bruscas e que faz várias espécies extinguirem-se. E o mais estranho é que nas zonas áridas, desérticas as catástrofes ocorrem por inundações o que não é normal. É uma mudança muito repentina.

P- Uma mudança muito repentina. Reparem que no século XIX, a Bíblia era um dos livros de estudo. A Bíblia fala do dilúvio e então, era normal os homens naturalistas da altura tentarem articular o que se lia na Bíblia e os acontecimentos naturais.

Cuvier estudara as camadas sedimentares da Bacia de Paris. Ele verificou que havia alterações repentinas nos tipos de fósseis encontrados nos estratos sedimentares. Animais de um determinado tipo, por exemplo, passavam noutro estrato a outro tipo completamente distinto. Ora, como é que se poderia justificar isso? Era a grande questão que os assolava e que era muito difícil de explicar e principalmente de entender porquê...

E Cuvier tal como outros naturalistas pensaram que, e de acordo com a Bíblia, houve grandes inundações, que aniquilaram, ou seja que mataram todas aquelas espécies e surgiram depois outras espécies a seguir, mais perfeitas... sendo o Homem a criação mais perfeita...

André- Não somos professora?

P- Tudo depende... Achas que somos os seres mais perfeitos?

André- Somos mais inteligentes!

Ana Luísa- Nós pensamos e fazemos coisas...até estragamos o mundo...

P- Certo. Somos seres pensantes, mas a nível biológico todas as outras criaturas também são perfeitas! Os ecossistemas funcionam perfeitamente! Neste sentido, um ecossistema precisa de todos os seres vivos para que se mantenha equilibrado, não é? Então, perfeição não é sinónimo de inteligência da espécie... seja ela qual for...

Por outro lado, Richard Kirwan além de ser a favor das catástrofes...

Tânia (T)- Era contra Hutton.

P- Estava contra as ideias de James Hutton. Este naturalista era contra as catástrofes. Para ele a Terra é um local muito antigo e por isso, houve erosão, sedimentação, fenómenos geológicos como vulcões e tremores de terra. Portanto, o desaparecimento das espécies foi um processo lento e gradual. Isto, porque a Terra tem fenómenos graduais e lentos, daí defender que a Terra tinha muita idade e estes fenómenos naturais iam ocorrendo gradualmente, lançando uma corrente de pensamento chamada Actualismo.

As causas actuais actuam e actuaram no planeta ao longo dos tempos. O problema é que naquela altura pensava-se que a Terra não tinha mais de 6 mil anos.

Jq- Mas isso é muito pouco...

P- Pois bem! Hutton, para justificar uma erosão lenta, necessitava de grandes períodos de tempo, que poderiam ser infinitos. Ora, aqueles que defendiam as catástrofes ficavam muito escandalizados com estas ideias.

O mais difícil de explicar era a presença de fósseis marinhos nos altos das montanhas.

Luís (L)- Era por causa dos dilúvios!!

P- Ora bem, mais uma vez a bíblia podia explicar esses fenómenos. Devido à subida das águas os animais também subiram com as águas e depois da sua descida, morreram alguns e ali ficaram ...

A questão apontada pelos opositores ao dilúvio era para onde tinham ido as águas. Outro problema era que não se sabia como é que se formavam as montanhas.

Charles Lyell seguiu as ideias de Hutton, fundando uma outra corrente de pensamento, o Uniformismo. Lyell foi aluno de um outro defensor das catástrofes William Buckland.

J- Mais uma vez defende as inundações!

Jq- O que é o livro do Génesis?

P- É uma parte da Bíblia que explica a formação da Terra nos 7 dias. Buckland tentou articular o que dizia na bíblia com o que se via na natureza.

Jq- Acho que já ouvi isso na missa... mas não tem sentido!

P- Oh! Joaquim! Não te esqueças que hoje em dia a informação sobre o funcionamento do planeta é muita, os meios são cada vez mais espectaculares... Naquela

época em que se escreveu a Sagrada Escritura, o pouco que se sabia foi descrito da forma mais simples e compreensível por todos...

Jq- É que, às vezes, parece que nos esquecemos disso. Mas há padres que ainda aceitam isso, não há?

André (Ad)- Ouvi um padre dizer que os furacões são manifestações da raiva de Deus!

P- Vocês como pessoas mais informadas têm de compreender e aceitar uma visão mais antiquada das coisas e...se tiverem a oportunidade podem conversar com essas pessoas sobre isso e tentar explicar de acordo com o que aprendem na escola. É um bom exercício!!

Vamos passar à resolução das questões...

(Os alunos em grupos de 2 responderam às questões do final do Documento 1)

P- Vamos então passar a responder às questões. Primeira questão... Tânia!

Vanessa (Vn)- Todos eles falavam de catástrofes que estavam ligadas ao que era dito na Bíblia. E isso causava a morte de espécies ao longo dos tempos. Professora, mas eles não tinham certeza de como as coisas funcionavam eles achavam que eram causadas pela mão de Deus.

P- Exacto! Mas o facto é que argumentavam nesse sentido, das catástrofes induzidas pela mão divina. Mas vamos primeiro à forma de pensar da altura. Era assim que se pensava.

Luís (L)- Apoiavam-se na Bíblia...

P- Pergunta dois. Como podemos comparar a forma de pensar do século XIX com a ideia que nos transparece no filme actual?

Paulo (Pl)- A forma de encarar a Terra em ambos os casos é semelhante, a Terra é encarada de forma catastrófica. No filme que é actual há mudanças repentinas do clima, e nos textos apesar de mais antigos esses acontecimentos são também referidos, mas não conseguiam explica-los.

P- E os cientistas do filme conseguiam explicar essas alterações?

Pl- Conseguem pela poluição atmosférica provocada pelo Homem.

L- Então quer dizer que voltamos a estar como no passado? ‘Tamos a pensar como os de antigamente... é estranho...

Ad- Mas é que nós agora sabemos como funciona a Terra ó Cirylo!! Não vês isso?

L- Não estou a dizer o contrário. Só digo é que estamos a voltar à maneira do passado!

P- Vá lá. Em certa medida dá-nos essa sensação, havendo mais conhecimentos que se foram construindo ao longo do tempo, deste século XIX e XX.

Para tentarmos reforçar estas ideias de uma forma alegre, vou precisar de três voluntários para fazer um pequeno teatro.

Pedro- Eu!

P- Boa Pedro. Mais dois. QuimZé e Paulo. Muito bem.

Cada um vai ter o seu papel. O Pedro faz de Cuvier. Vais ter de usar um sotaque francês! O QuimZé fará de Lyell e o Paulo de Presidente. Toda a turma vai levar para trabalho de casa a leitura deste teatro, tal como os actores principais e depois na próxima aula dar-se-á início ao teatro.

2ª Aula – A- 1º turno

A aula iniciou-se com a apresentação do teatro do Documento 2.

P- Então de acordo com o que estivemos a fazer nas últimas aulas, com o vídeo e com os escritos de alguns naturalistas do século XIX, nomeadamente Cuvier, Richard Kirwan e William Buckland. Como pensavam estes senhores do século XIX o planeta Terra?

Cátia (C)- Eram Catastrofistas, defendiam as catástrofes que destruíam a vida...

Abel (A)- Cataclismos...

C- E que depois vinham novas espécies mais perfeitas...

P- Esses cataclismos, segundo eles, eram causados por algum fenómeno em particular?

A- Eram causadas por influência divina, por Deus.

P- E essas influências como se manifestavam?

A- Por dilúvios universais...

Diana- E só falavam de dilúvios? Não havia outras coisas que matavam?

P- Sim, outros fenómenos naturais como sismos e vulcões também eram considerados, tendo em consideração a mão divina. Mas reparem no que Barão de Cuvier viu na bacia de Paris. Na altura, e embora já muito antes, tinha-se visto que os rios transportavam sedimentos e nas camadas sedimentares de Paris foi vista uma variação muito grande no teor de fósseis. Havia diferenças de espécies muito grandes, que só se poderiam explicar, segundo uma extinção repentina e abrupta.

A questão mais complicada era a explicação dessa extinção! Uma vez que a bíblia falava de um dilúvio universal chegaram à conclusão que provavelmente, e tal como escrito no livro sagrado, houve castigos às espécies inferiores. Que ainda não estavam na forma que Deus pretendia, por isso ia matando os seres imperfeitos, fazendo surgir outros mais perfeitos.

Daniel (D)- Era uma verdade absoluta.

P- Era como uma verdade que, pelo menos até parecia ser sagrada.

E como pensava Charles Lyell, o outro protagonista do teatro que se fez?

D- Pensava que as extinções não eram por causa de um dilúvio. Disse que havia um ciclo para essas extinções.

André (Ad)- Lyell pensava que as extinções eram causadas por fenómenos naturais, lentos e graduais.

P- Fenómenos que aconteciam todos os dias. A erosão, a pluviosidade, os vulcões e sismos, que não ocorrem todos os dias mas são uma constante... Por outro lado, Lyell nesta altura de 1830 era mais jovem que Cuvier e também já realizara viagens pela Europa e tinha visto muitos fenómenos. Viu vulcões na Itália em actividade e ficou fascinado com a energia térmica que o planeta ainda possui. Por isso ele pensou... então, se hoje vemos estes fenómenos, no passado também devem ter existido da mesma forma.

A- Então ele achou que foi isso que matou as espécies...

P- Exacto, Lyell pensou nestas causas uniformes e constantes como sendo as causadoras das extinções. Defendia mudanças ambientais como as causadoras para as extinções.

Vamos ler o resto do texto.

(os alunos leram em voz alta o resto do texto do documento 2)

P- Vamos só clarificar alguns conceitos. Fala-nos o texto de provas físicas apresentadas pelos Catastrofistas para explicarem o dilúvio. Alguém quer avançar uma justificação?

_____ Diana (D)- Como a professora já tinha dito, os fósseis em cima das montanhas... diziam que o mar já tinha estado lá...

_____ P- E por isso, a justificação era que tinha havido uma grande inundação. Era uma prova de difícil contra-argumentação. Mas Hutton atreveu-se a explicar esses fenómenos, defendendo que os fundos dos mares eram elevados na formação de montanhas e estas desapareciam por erosão. Ou seja, Hutton defendia que os fenómenos actuais actuem ainda hoje no planeta e são responsáveis pelo que vemos à superfície.

Além do mais, naquela altura Hutton defendeu que a Terra era muito antiga, coisa que parecia impossível. Isto porque houve quem tivesse calculado a idade da Terra com base na bíblia e não poderia ter mais de 6000 anos. Hutton foi muito criticado pois não contemplava as ideias bíblicas... É que para haver a erosão que desgasta as montanhas são precisos vastos períodos de tempo, segundo Hutton, até um tempo indeterminado...

Ad- Mas no texto diz que Lyell não concordava com Hutton... e ele não era também Uniformista?

_____ P- Hutton foi o primeiro a sugerir a ideia das causas actuais como responsáveis pelo que sucede na Terra. Lyell seguiu estas ideias, mas não concordou com a questão do tempo indeterminado de Hutton...

_____ Ad- Ah! Então Hutton e Lyell estavam de acordo na...

_____ P- Na questão dos processos actuantes no planeta Terra.

_____ Além do mais, Lyell era britânico e Cuvier francês.

_____ C- Ui, dão-se mal...

P- Pois, os franceses e os ingleses, devido às guerras não eram muito amistosos. Era mais uma questão a acrescentar para estas rivalidades. No fundo, ambos os lados tinham razões de ser e muito plausíveis. Cuvier foi um grande senhor, fez muitos estudos e de muito valor, tal como Lyell. A questão estava na aceitação de catástrofes repentinas e causadas por inundações...

_____ Além do mais, os franceses não liam inglês e vice versa e, por isso, muitas vezes, não conheciam a fundo as ideias uns dos outros... Mas, não se esqueçam que tendo em

consideração a época em que se vivia a aceitação de catástrofes diluvianas tinha a sua razão... não nos podemos rir de ideias passadas...

D- Pois, se vivêssemos naquela altura se calhar também pensávamos assim.

P- Sim. Afinal de contas, o que nós sabemos hoje é muito diferente do que se sabia na época. E o homem era a criação última de Deus.

Na parte do texto que nos fala de Lyell, convém chamar a atenção para a ideia de que Lyell seguira as ideias de Hutton. Hutton defendia as causas actuais e Lyell veio continuar e melhorar essas ideias, falando da uniformidade de processos. Os vulcões de Itália muito activos vinha contra as ideias de que a Terra estava a arrefecer. Ou seja, Lyell deparou-se com factos que não eram assim descritos nos livros lidos por uma grande parte das pessoas.

Ou seja, esta forma de pensar de Lyell veio a constituir-se numa corrente de pensamento, o Uniformismo, que vinha contrapor o Catastrofismo, que foi marginalizado a partir de meados do século XIX. E as mentalidades passaram a aceitar o Uniformismo.

Mas, pergunto: lembram-se do filme do início? De que nos falava ele?

C- De catástrofes e mudanças climáticas repentinas.

P- Então, nos séculos XVIII e XIX, aceitavam-se as catástrofes. Depois com Hutton e Lyell, surge o conceito de uniformidade dos processos, as causas actuais é que provocam as extinções. Mas hoje em dia voltamos a dizer: catástrofes!

A- As catástrofes de hoje em dia, muitas somos nós que as produzimos. As catástrofes ambientais.

P- E as naturais?

A- Não somos nós, mas não é Deus para nos castigar.

P- Pois. Então qual é a diferença do Catastrofismo do século XIX e o que hoje encaramos?

Daniel- Pois é que muitas catástrofes que hoje acontecem são produzidas por nós.

P- Certo, são as catástrofes ambientais, da poluição. E as naturais como o terramoto do Irão, por exemplo?

D- É a natureza, o interior activo da Terra.

Joana (J)- Nas outras catástrofes baseavam-se na bíblia... e agora sabemos que são causas do planeta.

P- Por exemplo, o terramoto de Lisboa de 1755, na época encarou-se como sendo provocado pela mão divina. As pessoas não se comportavam de forma correcta e Deus, mandou um castigo na forma de terremoto.

A- Na altura, para eles catástrofes eram vulcões e sismos.

C- Mas para eles isso era causado por Deus, para castigar!

P- Mas o que causava isso?

A- Era Deus!

P- Pois é! E como justificamos as catástrofes hoje em dia?

C- São provocadas pelo homem e pela Natureza.

P- Reparem então na evolução da forma de pensar.

C- Estamos a voltar ao antigamente... mas de forma mais clara. Explicamos as coisas de outra forma. Sabemos como é que a Terra funciona...ou achamos nós... (risos)

P- De certa maneira, mas com outros conhecimentos. Recapitulando e respondendo às questões do final do documento. O que sucedeu neste diálogo entre Cuvier e Lyell?

Andreia (Adr)- Eles não defendiam as mesmas ideias. Tiveram um debate. Mostraram os seus pontos de vista que eram diferentes. Cuvier era a favor das catástrofes e Lyell defendia a uniformidade.

P- A uniformidade dos processos.

A segunda questão. (leitura)

Turma- dominou o Uniformismo.

P- Justificando.

C- O mais novo...

P- Lyell.

C- Viveu mais tempo e conseguiu falar mais das suas ideias.

P- Pois, à partida, o mais novo terá vivido mais tempo ainda estava na juventude e pode defender as suas ideias durante mais tempo do que aqueles que eram mais velhos e que ainda defendiam o Catastrofismo.

Além do mais, uma curiosidade, Lyell tinha o dom da palavra e argumentava muito bem as suas ideias. Convencia bem quem o ouvia. E as ideias foram ficando, de tal maneira que o número de adeptos do Uniformismo foi crescendo e do Catastrofismo foi diminuindo.

Vamos analisar agora uma tabela comparativa desta evolução de ideias durante o século XIX, dos Catastrofistas e Uniformistas.

Em forma de síntese temos o lado dos Catastrofistas e dos Uniformistas. Reparem nos autores que coloquei em cada um dos lados. Falamos de todos eles. Richard Kirwan, catastrofista, opunha-se a Hutton, Actualista e que não considerava os escritos bíblicos. Por outro lado Cuvier, catastrofista, tinha ideias opostas não só a Hutton, como também a Lyell. William Buckland foi professor de Lyell. E era Catastrofista, mas no final da sua vida converteu-se às ideias do seu aluno Lyell. Charles Darwin, um nome muito importante da questão da Evolução das Espécies.

A ideia da evolução inclusivé do Homem. Mas antes de Darwin formular a sua teoria procedeu a muitos estudos. Estudos esses que incluíam o livro de Charles Lyell. A questão da Uniformidade dos processos suscitou tanto interesse a Darwin, que em 1852 publicou a sua ideia sobre a selecção das espécies, que implicava uma grande idade para a Terra para que esses fenómenos se pudessem passar. Isto, porque Lyell também concebia uma Terra antiga para que os processos uniformes se passassem. Ou seja as ideias de Lyell foram uma base para a construção das ideias de Darwin.

(alunos analisaram o quadro-síntese e tiram notas)

P- A partir de meados do século XIX dominou o Uniformismo. Porém, as extinções em massa sempre chamaram a atenção de todos os naturalistas que temos vindo a estudar. Foi o desaparecimento de determinadas espécies que suscitou a construção de teorias. E de facto, as extinções são como que uma base para a construção do calendário geológico que vos apresento. O desaparecimento de determinados seres vivos constituía o limite de períodos.

Nos tempos que correm sabe-se que ao longo de todo este tempo ocorreram diversas extinções em massa. Vamos agora concentrar as nossas atenções numa extinção em massa. A do limite Cretácico/ Terciário, há cerca de 65 milhões de anos. Aquela extinção que aniquilou os dinossáurios.

Existem, contudo, duas hipóteses explicativas destas extinções. Uma Hipótese de uma Colisão de um Corpo Extraterrestre e a Hipótese de Vulcanismo. O que eu pretendo é

que este turno seja o advogado de defesa da Hipótese Colisional. Vamos então pegar no documento 3 referente à parte da Hipótese Colisional, vamos ler e tirar dúvidas para amanhã, quando estiver a turma toda procedermos ao debate, frente a frente.

Turma- Vamos ganhar! Que fixe! Vai ser giro!

(procedeu-se à leitura em voz alta dos textos, e clarificação das posições. Para casa os alunos ficaram encarregues de proceder a novas leituras)

2ª Aula – A- 2º turno

A aula iniciou-se com a apresentação do teatro do Documento 2.

P- Pergunto, então, o que aconteceu ao longo deste diálogo? Sofia.

Sofia (S)- O Barão e o Lyell estavam a defender posições diferentes sobre as extinções em massa.

P- Quem defendia o quê? Ana.

Ana- O Barão Cuvier estava a defender as extinções em massa, dizendo que havia catástrofes com dilúvios.

P- E Lyell...

S- Dizia que as extinções se passavam de forma lenta.

P- Temos então a visão Catastrofista e a visão Uniformista, que tem em consideração os fenómenos que vão actuando no planeta ao longo dos tempos. E para Lyell estes fenómenos é que eram responsáveis pelos desaparecimentos de espécies ao longo dos tempos.

E Cuvier, o que é que ele e outros Catastrofistas apregoavam como causa para essas catástrofes?

Ana- Dilúvios.

P- Mas o que era o impulsionador?

Ana- Eram causas divinas.

P- Era Deus. De acordo com a bíblia. Naquela época, a bíblia era um dos principais livros de estudo. Daí que, ao falar de um Dilúvio de Noé, as pessoas tentassem arranjar forma de comparar o que se passava na Terra com o que estava escrito no livro mais

conceituado da altura. O facto de Cuvier ter encontrado alterações faunísticas nos fósseis da bacia de Paris, fez com que ele chegasse à conclusão da existência de extinções que aniquilavam determinadas espécies com o posterior surgimento de outras mais perfeitas.

S- E o Homem era o mais perfeito.

P- Exacto. Estas revoluções do planeta conduziam a alterações nas formas vivas. Era isto que ele defendia. E a partir da criação do Homem, Cuvier acreditava que não iria haver mais dilúvios, uma vez que o Homem já cá estava.

S- Mas, segundo a bíblia, já havia humanos, na altura de Noé.

P- E foi através dessas descrições relatadas na bíblia que se acreditava que a Terra só tinha 6000 anos. E para Lyell, 6000 anos era muito pouco tempo para que os processos actuais exercessem o seu poder...

Vamos então ler o que sucedeu depois na história, e que está no final deste documento 2.

(leitura em voz alta pelos alunos)

P- De facto, os Catastrofistas apresentavam provas, e na altura as pessoas não tinham os conhecimentos que nós temos actualmente, aceitava-se com relativa facilidade tudo o que dizia na bíblia sem proceder a análises mais profundas. Eram feitas análises literais do que estava escrito.

O facto de se encontrarem fósseis no alto de montanhas era a prova de uma grande inundação. Era uma prova do dilúvio. Era a prova e até estava descrita na Bíblia.

Se nós tivéssemos vivido naquele tempo também poderíamos acreditar nestas ideias, era perfeitamente natural. E depois apregoávamos causas sobrenaturais para fenómenos como o terramoto de 1755 de Lisboa. Aqueles que não vão rezar e que são maus, são os culpados da ira divina e então Deus mandou o tremor de Terra, para castigar.

Luís (L)- Mas não havia provas. Eles não tinham provas, só suposições.

P- Pois, mas desta forma, apregoando um castigo divino, a Igreja conseguia controlar a sociedade em determinados aspectos.

S- Daqui a 100 anos as pessoas também vão gozar com o que nós pensamos hoje em dia. Já estou a ver...

P- Daqui a uns anos, se calhar aquilo que pensamos, não será tão certo quanto o que hoje julgamos.

Porém, não podemos criticar as pessoas que defendiam estes pontos de vista. Temos de nos inserir um pouco na sociedade da época e compreender os seus pontos de vista.

Por outro lado, quanto à nacionalidade dos dois intervenientes...

S- Cuvier era francês.

P- E Lyell era inglês. E como vocês sabem, Inglaterra e França não tinham as melhores relações políticas. Mas, apesar de tudo Cuvier, foi um grande naturalista. Fez importantes estudos de anatomia comparada com os elefantes e os mamutes.

Ana Luísa (AL)- Então ele não era nenhum burro!

P- Claro que não! No texto ele fala muito bem e defende com toda a seriedade a sua posição.

AL- Eu até concordo mais com o Catastrofismo do que com Lyell....se bem que não acho bem a parte de ser tudo provocado pela ira divina...

P- O grande senão dos Catastrofistas era basearem-se muito no que estava escrito na Bíblia. Entretanto Cuvier e os outros Catastrofistas deixaram de ter argumentos para combater os argumentos de Lyell, o mentor do Uniformismo.

É que Lyell era muito bom prelector. Tinha grande capacidade oratória e argumentativa. A sua formação base era a que hoje chamamos de Direito. E então, argumentar era com ele e convencia muito bem quem o ouvia.

Mas reparem, que ambos os lados aceitam as extinções de espécies. A questão está no que causou essas extinções.

Por outro lado em 1830 Cuvier já era mais velho, e Lyell andava na casa dos 30. Daí que, Lyell tivesse mais esse factor a seu favor. Teve mais tempo para expor as suas ideias.

Mas, lembrem-se do filme que vimos no outro dia. Não fala de catástrofes?

S- Então, estamos a voltar novamente...a ser Catastrofistas?

Joaquim (QZ)- Mas tem razão no que se diz.

AL- Os dinossáurios foram extintos por uma catástrofe!

P- E vamos ver isso...

QZ- Mas as catástrofes de que eles falavam não tinham muita lógica. De onde vinha tanta água para haver um dilúvio desses? Enquanto que a existência de um vulcão é possível. Como aquele de Yellowstone.

AL- Mas se na Bíblia fala de um dilúvio é porque deve ter havido alguma coisa na altura. Para eles escreverem... é porque houve...

P- Não te esqueças que ainda há dois anos tivemos um inverno muito chuvoso e a ponte romana de Barcelos ficou quase submersa. Esses fenómenos ocorrem, sem dúvida.

Todos estes fenómenos levam e levaram no passado à escrita e ao relato destes fenómenos. Reparem que a bíblia e outros livros foram escritos por pessoas e os relatos, às vezes carregam muita carga pessoal. Mas, não vamos agora por aí.

Reparem que nas duas posições que estudamos, as extinções são aceites.

Lyell andou no campo e presenciou fenómenos que o levaram a concluir que a Terra é um local dinâmico e que é essa dinâmica que é causadora dos desaparecimentos das espécies. Mas de forma gradual e lenta.

E segundo ele, “no presente á que está a chave do passado”, é este o chavão que usa para argumentar as suas posições. Hoje em dia há vulcões, então no passado houve vulcões... era a sua forma de justificar a posição. Tal como muitos outros fenómenos.

QZ- A poluição é lenta mas é uma catástrofe ambiental.

P- Exacto. Os argumentos que utilizamos é que diferem dos argumentos dos naturalistas do século XIX.

AL- Professora é possível os continentes transformarem-se em oceanos e os oceanos em continentes, de tempos a tempos?

P- De acordo com a concepção que hoje temos da Terra não. Já falamos da Tectónica de Placas. Porém, Hutton pensava mais ou menos dessa forma. Ele defendia que no alto das montanhas havia fósseis de animais marinhos, porque os fundos dos mares foram erguidos lentamente, conjuntamente com a erosão das montanhas, sendo actantes forças internas do planeta. Hutton, foi o que fundou a corrente do Actualismo. As causas de hoje são tão actuais como as do passado. Mas a explicação da formação das montanhas era algo muito complicado e iam-se lançando ideias que não corroboravam com as ideias de acção divina. E ele era muito criticado por não contemplar as ideias da bíblia.

Reparem que em Ciência não há verdades absolutas!

S- Como em Filosofia... (risos)

P- É um pouco complicado. Já me fizeram várias perguntas sobre este assunto dos Catastrofistas e Uniformistas, mas quem tem razão?

S- Ninguém! São os dois lados, à sua maneira.

P- Ambos têm a sua coerência e convém que vocês conheçam bem as duas posições e reflectam no assunto para poderem tirar ilações.

Convém que conheçam as questões como elas se passaram.

S- É que, se nós também vivéssemos naquela altura... também podíamos pensar como a maioria. Afinal era o normal...

P- Pois, o contexto social é fundamental para que uma determinada ideia vingue ou não. Se estivéssemos no século XIX uma grande parte das raparigas da turma, se não mesmo todas, não estávamos aqui. Estaríamos a aprender as lides de casa... (risos da turma)

Tânia (T)- Ai, isso não!!

P- Mas, qual foi a corrente de pensamento que passou a dominar a partir de meados do século XIX?

T- Foi o Uniformismo.

(exploração do quadro comparativo entre Catastrofistas e Uniformistas)

Analiseemos o lado dos Catastrofistas onde temos nomes como Kirwan, Cuvier e Buckland. Nos vossos documentos têm o que estes autores escreveram concretamente.

Kirwan foi profundamente contra Hutton, uma vez que este último não se baseou na bíblia para justificar os fenómenos naturais.

AL- Mas Hutton não era Uniformista.

P- Hutton foi o precursor do Uniformismo, uma vez que ele defendeu as causas actuais da Terra. Posteriormente Lyell, influenciado pelas suas ideias escreveu o seu livro e só anos mais tarde é que a corrente de pensamento que Lyell coordenava passou a designar-se de Uniformismo.

AL- Mas Lyell não vai contra as ideias de Hutton?

P- Lyell não concorda com as ideias de Hutton, no que respeita à questão da idade da Terra. Hutton disse que era tão antiga, ou indefinidamente antiga. Lyell achava que tinha um limite, apesar de não saber qual...

Cuvier era também opositor a Lyell e vice versa. Mas atenção que todos eles eram pessoas que realizaram importantes estudos.

William Buckland foi professor de Lyell e o primeiro defendeu o Catastrofismo até ao final da sua vida, mas lá se convenceu às palavras do seu aluno Lyell.

Charles Darwin está aqui representado pois ele fomentou a **Seleção Natural** e sua posterior ideia para a evolução das espécies. E para conseguir explicar a evolução das espécies, necessitava de um tempo geológico muito vasto. Ora, no livro de Lyell, onde se falava da Uniformidade dos processos da Terra estava a base sobre a qual ele pôde trabalhar. Darwin conheceu Lyell e fez uma viagem pelo globo durante dois anos, estudando as espécies de seres vivos nos vários locais por onde ia passando. Assim, Darwin recolheu provas que, mais tarde, em 1852, lhe permitiu escrever o seu livro sobre a evolução das espécies, incluindo a Humana.

Claro que Darwin foi muito criticado, pois não considerou o Homem como uma criação divina e perfeita como relatado na bíblia.

Relativamente às questões deste documento 2. Primeira, o que aconteceu neste teatro?

L- Houve um debate entre Cuvier e Lyell.

P- Quais eram as suas ideias? Sandra...

Sandra (S)- O Cuvier falava das catástrofes e Lyell falava de causas uniformes como as causas para o desaparecimento das espécies.

P- Segunda questão (leitura).

QZ- Passou a dominar o Uniformismo..

P- Pois, mas reparem como pensamos actualmente.

S- Falamos de catástrofes.

P- Encaradas de outra forma porque o conhecimento já está mais evoluído.

QZ- Não são catástrofes por causa de Deus.

P- Pois sim. Então dominou o Uniformismo pois o principal defensor da ideia era mais novo e teve mais tempo para defender a sua posição. Tinha viajado à relativamente

pouco tempo. Tinha forte poder de argumentação. E com estes factores, as ideias Catastrofistas foram sendo ignoradas.

QZ- Professora, mas há uma tomada de posição pela comunidade científica?

P- Digamos que sim. É normal haver grupos que defendem determinados pontos de vista e cada grupo tende a atacar o outro. Às vezes dá a sensação que não são capazes de ouvir os argumentos dos outros grupos. Daí, quando há um maior número de defensores de uma posição diz-se que a comunidade científica apoia essa mesma posição. Porém, somos humanos e tendemos a tomar posições. É natural.

Vamos agora olhar para o calendário geológico, apreciando o lado das extinções em massa. Vejam que extinções ocorreram várias ao longo de todo o tempo da Terra. Vamos agora passar a estudar as extinções em massa que ocorreram há cerca de 65 milhões de anos, altura do desaparecimento dos dinossauros.

E há duas hipóteses explicativas para estas extinções. Assim, vocês vão defender uma das hipóteses e o outro turno vai defender a outra hipótese e na próxima aula vamos travar um debate entre os defensores de cada posição.

(risos e expressões de contentamento)

No final da actividade convém que conheçam as duas posições para alargarem os vossos horizontes de conhecimento.

(procedeu-se à leitura em voz alta dos textos, e clarificação das posições. Para casa os alunos ficaram encarregues de proceder a novas leituras)

3ª Aula- A

(no início da aula procedeu-se à reunião em grupos por forma a esclarecer dúvidas com a professora e estabelecer estratégias de intervenção no debate)

P- Vamos então dar início ao debate sobre as causas das extinções em massa que ocorreram no final do Cretácico/Terciário, há cerca de 65 milhões de anos.

André (AD)- Bem, o que causou a extinção em massa dos dinossaúros foi a colisão de um asteroide com a superfície terrestre e que dispersou material para a atmosfera e

provocou um obscurecimento da atmosfera que não permitiu a fotossíntese das plantas e causou uma extinção em massa porque...

Cátia (CT)- Porque as plantas não realizaram fotossíntese e isso afectou a cadeia alimentar porque havia escassez de alimentos e...

P- O que provocou isso?

CT- Afectou a alimentação dos herbívoros e os carnívoros deixaram de ter que comer!

Daniel (D)- Esta ideia foi proveniente de uma camada de argila encontrada em Itália, em Gúbbio, que datava precisamente dos 65 milhões de anos. É a época de extinção dos dinossauros. Muito rico em Irídio, elemento que na Terra não é possível encontrar em grandes quantidades, mas é encontrado em grande quantidade nos meteoritos.

P- Temos já dois de vós defensores da Hipótese Vulcânica que nos querem falar.

QuimZé (QZ)- Eu acho que essas provas não são suficientes, não têm fundamento para uma extinção em massa. Porque é só num local e não é com uma magnitude assim tão grande. E para além do mais as rochas da Terra também podem ter Irídio e não é vinda do extraterrestre.

Pedro (Pd)- As lavas de certos vulcões têm irídio e está provado que, na zona do Decão, na Índia, através do estudo dos estratos, foram encontradas rochas magmáticas com irídio.

P- O Luís quer acrescentar alguma coisa...

Luís (L)- Antes de mais, boa tarde a todos caros colegas. Quero acrescentar mais uma coisa ao que os meus colegas disseram. Courtillot e os seus colaboradores também fizeram vários estudos e descobriram que a idade dos basaltos, originados pelo intenso vulcanismo, tinham entre os 69 e os 65 milhões de anos. O que faz com que a nossa hipótese de vulcanismo bata certo.

Pd- Outros estudos efectuados por uma senhora, que era a grande opositora da teoria da colisão, Greta Keller, conseguiu provar que essa extinção não foi repentina e que até continuou para além do período dos 65 milhões de anos.

D- Eu queria contestar a ideia do QuimZé, que diz que só num local é que encontrou o irídio. Mas como é que ele explica que também tenhamos encontrado a anomalia de irídio em Espanha- Caravaca? E para além disso, o intrigante desaparecimento

abrupto de foraminídeos em tudo semelhante a Itália. Pergunto se não deverá ter sido um fenómeno global que se deverá ter passado!?

Sandra (S)- Também na nossa teoria existem pesquisas nas quais aparecem anomalias de irídio na lava de vulcões e não aparece só num vulcão. Em vários.

Pd- Prova que esse irídio não provém de um meteoro mas da Terra. Está ligado a fenómenos terrestres e a erupções vulcânicas.

Abel (Ab)- Então toda a lava que saiu naquela época tinha irídio? Então estão a dizer que naquela altura só havia vulcões de 100 metros.

L- Por essa ordem de ideias também dizes que caíram vários meteoritos!!

Tânia (T)- Também se provou que as anomalias de irídio encontradas por outros investigadores também se poderiam relacionar com outros fenómenos terrestres e não só com um vulcão.

D- Mas, não em tão grandes quantidades como nos meteoritos!

QZ- Vocês falam da queda de um meteorito e lembram aquela cratera no México. Açam que é suficiente para uma extinção em massa? E não açam que no Decão há aqueles 1000 metros de basaltos... Imaginem os piroclastos que se libertaram, as cinzas não são mais do que suficientes para cobrir a Terra num inverno vulcânico?

Vanessa (VS)- Primeiro tu não sabes se o vulcão era explosivo para produzir essas nuvens e na cratera diz que houve uma onda gigante. Eram precisos muitos vulcões como tu dizes para defender essa teoria para arrasar, assim, tantos seres vivos...

L- Mas como na actualidade se diz, a força da natureza é incalculável. Pode haver muitos fenómenos que possam originar isso e vocês dizem que foi um meteorito que arrasou tudo. Nós estivemos a analisar a cratera encontrada no Yucatão para a vossa teoria estar certa, era preciso que a cratera tivesse pelo menos 10km de profundidade. Coisa que não se verifica.

P- Mas deixem-me referir só o seguinte: o nosso planeta tem erosão...

L- É uma hipótese...

Ad- O Joaquim disse que os piroclastos podem ter coberto a Terra. Um dos maiores vulcões do planeta Terra é o vulcão de Yellowstone que são fissuras, é um vulcão fissural e se entrasse em erupção só cobria 1/3 dos Estados Unidos da América.

QZ- Atenção que formou 1000 metros de basaltos!!

Ad- Não me digas que foi esse vulcão da Índia que cobriu a Terra toda!

Pd- Mas como nós já demos nas aulas, há uma relação entre o manto superior e os movimentos da litosfera e através de estudos eles conseguiram ver que houve uma inversão da polaridade da Terra nessa altura o que provocou uma instabilidade no manto inferior e isso é que provocou um intenso vulcanismo.

VS- E foram vulcões por todo o mundo e ao mesmo tempo?

P- Atenção que a Hipótese Vulcânica não defende vulcões síncronos, ao mesmo tempo e em todo o globo e em todos os locais...

Pd- Este vulcanismo libertaram várias quantidades de cinza para a atmosfera e o que alterou o padrão climático. O céu ficou obscurecido e o bioquímico da Terra também foi afectado conduzindo às extinções.

Ad- Ó Pedro, tu dizes que activou vários vulcões, mas repara que a maior parte dos vulcões da Terra situam-se no Anel de Fogo...

Pd- O vulcão do Decão foi um dos maiores!! E não se localiza no Anel de Fogo, por exemplo!!

VS- Muitos vulcões não conseguiam cobrir a superfície terrestre.

QZ- Olha que conseguia!!

Pd- O sismo da Ásia sentiu-se em Lisboa, por exemplo!!

VS- Mas para extinguir tantos seres vivos tinha de ser muito grande!

QZ- É como a vossa teoria! O meteorito levantar tanto pó...o vulcão também pode libertar muitas cinzas! Se o vulcão de Yellowstone cobriria 1/3 dos EUA, então imagina muitos vulcões!!

VS- Mas não sabes quantos vulcões!!

QZ- Nem vocês sabem o diâmetro do meteorito!

VS- Por isso mesmo!!

Ab- Mas, é que o meteorito não levanta só pó. Também faz fogo! E faz levantar água pelo impacto e tremores de terra. Faz tudo!

Pd- O vulcão pode afectar as estruturas terrestres e provocar sismos também!!

Ad- Mas repara, o vulcão de yellowstote tem a cratera do tamanho de Lisboa e não acredito que todos os vulcões tenham uma cratera tão grande!!

QZ- Mas o de yellowstone não é bem uma cratera...

Ad- É um vulcão tipo fissural.

L- Voltando outra vez às crateras, em 1992 Officer e Drake, fizeram um estudo na cratera do México e repararam que havia sequências pelágicas que representam depósitos de vulcanismo e as estruturas tipo lamelares eram típicas de vulcanismo. O que acaba com as vossas ideias!!

Ab- Também temos isso na cratera. Temos quartzo com estruturas de impacto!

VS- O meteorito vinha a alta velocidade e ao embater na Terra provocou metamorfismo de choque e isto foi verificado por Bohor em 1984.

Sandra (S)- Não te esqueças que o meteorito antes de chocar com a Terra, precisa de passar pela atmosfera e podia desfazer-se.

VS- Mas ele poderia ser muito grande, tal como em Vénus! Também chegaram ao solo!!

QZ- Mas vocês não têm provas de que esse meteorito existiu! E nós temos os basaltos!!

D- Então como é que vocês explicam o metamorfismo de choque?

QZ- E como é que vocês explicam a sobrevivência de algumas espécies?

L- Que ainda se mantêm depois dos 65 milhões de anos?

Ad- Muitas espécies fazem hibernação!!

VS- Mas como é que vocês explicam que a maioria se tenha extinguido?

QZ- Mas nós também aceitamos a extinção em massa.

P- Vocês da Hipótese Colisional também aceitam a extinção em massa?

Grupo- Sim..

P- Hipótese Vulcânica, também aceitam as extinções em massa?

Grupo- sim.

QZ- Mas a que nós defendemos é que não foi uma extinção instantânea. Lenta e gradual. O vulcanismo intenso provocou alterações no ar e nas águas e foram morrendo as espécies menos adaptadas e sobrevivendo as mais adaptadas a esses problemas.

D- A extinção não foi provocada pelo choque, foi provocada pelas plantas não conseguirem fazer a fotossíntese que alterou a cadeia alimentar!

QZ- Mas foi imediato!!

P- Atenção que a Hipótese Colisional aponta uma extinção que deve ter decorrido ao longo de cerca de 500 anos, que em termos geológicos é muito rápido.

(ponto da situação)

QZ- Nós não aceitamos é que haja um só meteorito capaz de extinguir os seres todos, ou quase todos, como vocês defendem!

Ab- E vocês só têm uma extrusão de lava!

QZ- Isso mostra que houve uma grande intensidade vulcânica!! Um vulcão que faça 1km de basalto em altura...mostra que a Terra estava num grande movimento geológico!!

Ab- Já ouviste falar de vulcanismo fissural? A lava sai sem uma cratera! Então para atingir 1000m de altura não é preciso muito!

QZ- 1km?? Sabes o que é 1km?? É muito!! Não penses que a lava não se espalha!! Ela espalhou-se e foi preciso muita para atingir os 1000 metros! É um quilómetro ao alto!!

P- Vejam agora o seguinte! Há minerais que sofreram metamorfismo de choque, o tal de impacto. Os defensores da Hipótese Colisional encontraram muito quartzo de choque. Mas, a nível vulcânico também pode haver a formação de minerais de choque devido a erupções vulcânicas explosivas. E então? Esses vulcões também libertam concentrações anormais de irídio. Porém, os meteoritos também o têm em grande quantidade!!

Ad- QuimZé, podes-me dizer qual é a idade dessas províncias basálticas??

QZ- Tem entre 65 e 69 milhões de anos. Nós defendemos que houve um grande vulcanismo, durante muito tempo.

Ad- Mas nem todos os vulcões da Terra são explosivos!!

QZ- Mas nós não queremos dizer que foi aquele vulcão que extinguiu.

Marta (M)- Os gases que saíram dos vulcões eram ácidos o que provocou alterações ambientais e consequente alteração das correntes marinhas o que causou sérios transtornos na oxigenação das águas e aporte de nutrientes às espécies marinhas. O que poderia ter causado uma grande extinção em massa devido a essas modificações. E como os animais se alimentavam uns dos outros essa constante veio afectar a vida.

Joana (J)- E não se esqueçam que há espécies que necessitam de certas quantidades de oxigénio e tendo falta de oxigénio não conseguem respirar e isso veio a causar as extinções.

Ad- Dizem que esses processos ocorreram durante 10 000 anos e que alterou a água e que houve espécies que se adaptaram. Como é que explicas que nesse tempo haja espécies que se tenham adaptado? Enquanto o nosso processo é muito mais rápido, devido

ao obscurecimento da Terra, que afectou a cadeia alimentar há animais que fazem hibernação e esses podem ter sido os sobreviventes da catástrofe!

T- Um meteorito para ter embatido com a Terra, e ter provocado essa catástrofe toda tinha de ser muito grande e para haver a erosão da cratera é preciso muito tempo!!

S- Mas vê lá que os basaltos a estarem expostos à erosão já devem estar mais pequenos do que na altura e mesmo assim continuam com 1km de altura. É que é mesmo muita lava cá para fora e muitos gases!!

Paulo (Pl)- Há alguma coisa que impeça que tenha havido as duas coisas?

D- Uma coisa não pode ter induzido a outra?

P- Pois, tanto um grupo como o outro têm os seus argumentos e são ambos plausíveis.

(Análise do painel referente às duas hipóteses e seus apoiantes)

P- Pegando na ideia do Paulo das duas hipóteses...

Ab- Não pode uma colisão ter provocado movimentos do magma e posto os vulcões em actividade?

P- As duas teorias podem-se fundir tal como hoje em dia se começa a falar. Curiosamente, os dois grupos interpretaram a mesma sequência estratigráfica de formas diferentes. O vulcânico considerou-o como sendo um vestígio de actividade vulcânica e o outro grupo considerou-o como tendo origem colisional. Mas estamos a falar da mesma sequência. No fundo os grupos de cientistas, são pessoas humanas tal como nós. E cada grupo teve alguns elementos de estudo para defenderem uma posição e vejam o vosso envolvimento!! Quase que nem queriam aceitar os factos encontrados pelo grupopositor!! E colocamos as nossas emoções cá fora.

Neste momento há cientistas que já começam a aceitar as duas hipóteses e a tentar conciliá-las. Por outro lado não se consegue ainda ser precisos a 100% nas datações radiométricas. Não se consegue chegar ao pormenor de 500 anos.

(análise do quadro-síntese pelos alunos com a tomada de notas pelos mesmos)

Neste caso em concreto quero que conheçam bem as duas hipóteses e conversem sobre o assunto em grupos de dois. Leiam agora os documentos referentes à outra hipótese e conheçam-na também.

4ª Aula- A

Aula iniciou-se com a leitura do sumário.

A aula prosseguiu com uma recapitulação dos assuntos abordados nas aulas anteriores com a utilização do quadro negro.

P- No século XIX, em geral, como pensavam os naturalistas acerca do funcionamento da Terra? Diana.

Diana (D)- Pensava-se por catástrofes...

P- Qual era essa corrente de pensamento.

QuimZé (QZ)- Catastrofismo.

(realização de uma síntese comparativa e de evolução do pensamento, no quadro negro)

P- Entretanto, a meados do século XIX, passou a imperar uma outra corrente de pensamento. Qual foi essa corrente de pensamento?

Sofia (S)- Uniformismo.

P- Estamos no século XXI. De acordo com o que temos vindo a verificar, no filme e no estudo das extinções em massa dos 65 milhões de anos, como vos parece que voltamos a pensar? Nestas explicações das extinções do final do Cretácico para o Terciário como vos parecem as hipóteses que foram debatidas na última aula?

QZ- Um novo Catastrofismo.

P- Parece que estamos numa fase de novo Catastrofismo.

Quero o nome de um cientista do século XIX que tenha defendido o Catastrofismo.

S- Cuvier.

P- Um naturalista que tenha defendido o Uniformismo.

Joana (J)- Lyell.

P- Quero agora defensores do Novo Catastrofismo.

André (A)- Luís, Graça Monteiro...

P- Alguém que tenha estudado um pouco mais.

Luís (L)- Courtillot.

P- Sim, mais...

L- Alvarez.

P- Claro que esta forma de encarar a natureza actualmente é diferente do passado.

Ou seja, este Catastrofismo difere do século XIX. Em que diferem?

Vanessa (V)- É que eles antigamente baseavam-se muito na Bíblia.

P- Baseavam-se muito nas ideias bíblicas. E o actual?

Vânia- Baseiam-se em causas mais actuais.

P- Exacto. E de facto há acontecimentos catastróficos actualmente, mas que podem ser explicados, por exemplo à luz da actualmente aceite, Tectónica de Placas, ou devido à poluição atmosférica. Ou seja, as causas são tidas como estando pertencente ao domínio da Terra enquanto planeta e não como causas sobrenaturais e inexplicáveis.

Em relação às extinções dos 65 milhões de anos, quais são as duas hipóteses mais tidas em consideração?

Tânia- A de Colisão e a de Vulcanismo intenso.

P- O que nos diz, em concreto a Hipótese da Colisão.

Sandra- Que um meteorito entrou em contacto com a Terra e era enorme e provocou nuvens que taparam a atmosfera.

T- Levantou poeiras e pôs a Terra numa espécie de inverno.

P- Ou seja, as plantas não conseguiam realizar a fotossíntese e o que ficou, então, afectado?

Ana Catarina- A cadeia alimentar.

P- Só que esta Hipótese Colisional defende que a extinção foi relativamente rápida. Bom, não é de hoje para amanhã. Pode ter durado até cerca de 500 anos, o que em termos da idade da Terra é muito pouco. A datação radiométrica não consegue ser muito precisa para períodos de tempo muito pequenos... daí que ainda não haja consenso do tempo que terá durado a extinção...

O que nos defende, por outro lado, a Hipótese Vulcânica?

Ana Catarina- Defende que houve um vulcão em actividade durante muito tempo.

P- O que provocou isso?

Ana Catarina- Libertou lava, cinzas e gases...

P- E O que afectaram esses produtos?

QZ- A fotossíntese.

P- Também afectou a fotossíntese. E afectou na mesma toda a cadeia alimentar. Mas estes autores defendem que a extinção durou muito mais tempo.

Pretendia que me dessem um feedback sobre estas actividades que fomos realizando ao longo destes dias. Se gostaram, do teatro e do debate, se foi importante conhecerem mais teorias do que só uma. Se é mais fácil aprender assim ou não. Se ajuda na compreensão das matérias... quero ouvir as vossas opiniões.

Abel- Gostei desta forma de dar a matéria. Ajuda a compreender melhor, serve para facilitar a vida aos estudantes. Eu gostei muito do debate...quando estava a estudar senti que tinha de perceber melhor para defender melhor a minha teoria.

Tânia- Gostei, achei uma maneira diferente de dar as aulas e não foi “seca”. E uma pessoa a confrontar as duas ideias percebe melhor as duas partes, não só a nossa, mas estamos a saber as coisas dos outros. E é interessante conhecer os dois lados porque existem os dois, afinal, não há só a Hipótese da Colisão.

Ana Catarina- Foi uma forma diferente de dar as aulas e acho que toda a gente gostou. Todos participaram.

Ana Luísa- Gostei, também. É uma maneira muito diferente de dar a aula e valeu a pena porque uma pessoa entusiasma-se e tenta pensar para conseguir defender aquilo que nos tinha dado a Professora.

Elisabete- Eu gostei. Foi uma maneira fácil de dar a matéria. Quanto ao debate, foi bom porque ficamos a saber as vantagens de uma e de outra hipótese.

Vanessa- Foi uma forma diferente de dar a aula.

P- Participaste bastante no debate...

Vanessa- Gostei de estudar e de ter argumentos para defender. Eu não conhecia muito bem a do Vulcanismo e no debate fiquei a perceber muito bem.

Joana- Gostei, porque se tivéssemos dado esta matéria na aula como se dá as outras...provavelmente, só íamos falar de uma teoria e não ficávamos tão curiosos com o que aconteceu e assim é bem melhor.

P- E as emoções?

Joana- Nós sentimos como se a teoria fosse mesmo nossa.

P- Achei piada vocês dizerem “a nossa teoria”, “os nossos estudos”...

Vânia- Também gostei, achei interessante e gostei de ficar com as ideias das duas teorias, e que as duas têm razão. E os cientistas também andam à guerra.

(risos)

P- Sim, reparem no painel comparativo das duas hipóteses explicativas das extinções do K/T. Também entram em confrontos. Nomeadamente Keller e Smit.

Juliana- Foi uma maneira mais divertida de termos aulas, e acho que nós estamos a aprender mais um bocado sobre as extinções.

Liliana- Estivemos de forma diferente na aula. Gostei e compreendi melhor a matéria.

Sandra- A aula do debate foi muito dinâmica. Conseguimos perceber as duas teorias de forma diferente e vale a pena conhecer as duas desta forma.

Marta- Eu gostei e assim não descartamos a outra hipótese automaticamente como podia acontecer se déssemos na aula só assim... e sabendo das duas, sabemos que há pessoas que têm diferentes opiniões e que as duas têm provas e temos de saber viver com as duas.

Sofia- Eu achei interessante porque a gente debateu bem as duas questões. Ficamos a perceber bem as duas teorias e é importante vermos os dois lados da história, para termos as nossas próprias conclusões acerca do assunto.

Diana- Não tem nada a ver com as outras aulas. É bem melhor. Acho que nos envolvemos mais e percebemos mais.

Teresa- Foi uma forma diferente. Estávamos ali atentos a ouvir os outros para depois argumentar e tentar defender.

P- E o teatro?

Cátia- Se fosse só a “Stora” a ler assim, era mais complicado de nós percebermos. Assim e como estavam eles a fazer de personagens diferentes dá para uma pessoa aprender melhor. Também gostei do debate. Eu falo por mim, eu não conhecia a Hipótese do Vulcanismo. Nunca tinha ouvido falar e foi interessante conhecer a ideia assim.

Andreia- Foi giro. Gostei do teatro também foi giro e acho que aprendi mais.

Ana Catarina- Eu estive mais envolvida no debate porque tivemos de estudar bem o que a professora nos deu para conseguirmos defender. E também gostei de conhecer a outra hipótese.

Joana- Eu achei que desta forma que a turma conseguiu perceber melhor ambas as hipóteses e também gostei da maneira que toda a gente foi ali buscar, na sua teoria, não a nossa é que está correcta. A vossa está errada. Gostei da maneira que toda a gente se empenhou.

Pedro- Gostei do debate, sendo uma boa maneira de nós ficarmos a conhecer as duas teorias e para começarmos a aprender a ir buscar argumentos para defender as nossas ideias. E também gostei do teatro e percebi bem as duas ideias do Cuvier (que fui eu) e assim não se torna tão maçador. Chama mais a atenção. Estamos mais atentos.

André- Foi uma actividade muito divertida que contribuiu para a melhor compreensão das duas teorias.

P- O André no debate também esteve ali todo activo. O que sentiste quando abriste o debate?

André- Ao abrir o debate estava todo empenhado e gostei muito.

QuimZé- Eu acho que é melhor esta maneira de dar a matéria, porque vemos os prós e os contras e estamos mais atentos e é mais divertido. E envolvemo-nos mais.

Nós não queríamos aceitar os outros.

P- Os cientistas também se comportam assim. Isso também é importante que vocês saibam.

Daniel- Eu acho que este tipo de actividade é interessante e importante não só para adquirir conhecimentos, mas para usarmos esses conhecimentos como argumentos para contrapor outros e, ao mesmo tempo, sermos obrigados a estudar para contrapor aos argumentos dos outros.

P- Isso foi importante.

Paulo- Agora já não tenho muito para dizer. Mas, acho que foi interessante e devíamos fazer isto pelo menos uma vez por mês. E como disse o Daniel, se fizéssemos isto antes de cada matéria, éramos obrigados a estudar e já ficávamos preparados para o teste. Gostei, e também gostei do teatro. Os actores estiveram muito bem...

(risos)

P- Principalmente do presidente, não é?...

Paulo- Pois...

Luís- Vou ser repetitivo e não sou de muitas palavras. Foi interessante e foi importante tentarmos contrapor os outros, com as nossas opiniões e foi bom. É importante conhecermos as duas hipóteses e até vamos concordar mais com uma do que com a outra e isso até pode levar a outras conclusões. A matéria assim tem mais interactividade...

P- Também devo dizer-vos que gostei muito da vossa participação, não só no teatro, mas também no debate. É fundamental que vocês tenham consciência que em Ciência também se discute e que os cientistas também se zangam uns com os outros. Há lados opostos o que é importante vocês conhecerem dois pontos de vista para alargarem os vossos horizontes intelectuais.

Agora, vamos falar das outras extinções em massa sobre as quais temos alguma coisa escrita nas folhas que vos dei. Vamos ao mesmo tempo analisar os painéis do tempo geológico e dos acontecimentos. Depois, em grupos de dois vão escolher qual das extinções querem trabalhar para me entregar um trabalho com o máximo de 10 páginas sobre essa extinção. Só me entregam na primeira semana de Janeiro.

(leitura e análise do documento 4, e dos painéis)

Escola Secundária Alcaides de Faria
AVALIAÇÃO
Controvérsias na Geologia do Século XX

Depois de teres compreendido os conteúdos sobre as *Extinções em Massa*, responde às seguintes questões:

1- Explica a evolução da forma de pensar sobre as *Extinções em Massa* desde o século XIX até à actualidade.

2- Foi importante teres ficado a conhecer os “dois pontos de vista” dos naturalistas do século XIX? Em que medida?

3- Relativamente à estratégia utilizada para a exploração das posturas de Catastrofistas/Uniformistas (teatro):

3.1- Foi uma estratégia que facilitou a compreensão e o conhecimento da temática? Justifica a tua resposta.

4- Na questão das Extinções em Massa do final do Cretácico (há cerca de 65 milhões de anos):

4.1- Gostaste da estratégia utilizada na aula (debate)? Justifica a tua resposta.

4.2- Parece-te mais fácil aprender determinados conceitos utilizando pequenas “guerras” entre os cientistas? Justifica a tua resposta.

5- Perante o que foste aprendendo nestas aulas, como vês os cientistas?

6- Em que é que estas aulas ajudaram a modificar a tua perspectiva sobre os cientistas?

7- Parece-te que os cientistas são influenciados por outras questões para além das relacionadas com o assunto que estudam? Justifica a tua resposta.

8- Para ti foi mais aliciante o “teatro” ou o “debate”? Justifica a tua resposta.

Professora: *Graça Monteiro*