

POSSÍVEIS INFLUÊNCIAS ASTRONÔMICAS NA EVOLUÇÃO DAS ESPÉCIES BIOLÓGICAS

Júlio César **PENEREIRO**

Departamento de Física do I.C.E. da PUCAMP e
Observatório Municipal de Campinas "Jean Nicolini"
(Secretaria Municipal de Cultura da
Prefeitura Municipal de Campinas)

RESUMO

A visão darwiniana tradicional tem que os organismos evoluem e vem a ser primariamente extintos como resultado de interações competitivas, tais como mudanças no ambiente trsico de subordinada importancia. Contudo, o que causou os eventos de extinção de massa permanece um ponto de debates e de permanente fascinação, como podemos testemunhar nos vários artigos apresentados nos últimos anos.

Nossa meta neste trabalho é de apresentar e discutir os prós e contras sobre as evidências físicas para um evento no tempo das extinções em massa. Apresentamos, também, as sugestões que o desaparecimento das espécies da superfície da Terra tenha sido periódica e as estimulantes explicações contraditórias além de uma diversidade de maneiras de tratar com a informação disponíveis até este momento.

ABSTRACT

The traditional darwinian view has it that organisms evolve and become extinct primarily as a result of

competitive interactions, with changes in the physical environment being of subordinate importance. However, what caused the mass extinction events remains a contentious issue of enduring fascination, as witnessed by a clutch of papers in the last years.

Our goal in this work is to present and discuss the pros and contras about the physical evidences for an unusual event at the time of the mass extinctions. Also, we present the suggestions that the disappearance of species from the surface of the Earth has been periodic and stimulated contradictory explanations and also a diversity of ways of dealing with information available at this momento

1 - INTRODUÇÃO

Segundo a teoria darwiniana, no reino animal a evolução se processa de forma competitiva, com as espécies biologicamente mais fortes e capazes, sobrevivendo às custas de adaptações a novas situações. Isso vem acontecendo desde um passado muito remoto, quando ainda o nosso planeta vinha passando por grandes alterações estruturais e geológicas. Na Tabela - 1 resumimos os tempos geológicos e algumas características relacionadas a cada período para que possamos nos posicionar em relação a alguns fatos que passaremos a discutir a seguir.

Desde o descobrimento dos primeiros restos fósseis, em 1770 na região alemã de Maestricht, os répteis gigantes vem despertado muita curiosidade no meio científico.

Os dinossauros constituíram uma das espécies mais poderosas durante os quase 170 m. a. (milhões de anos) em que viveram na superfície de nosso planeta, até que a uns 65 m. a. desapareceram de uma forma que, em geral, se aceita como brusca. Junto com os dinossauros desapareceram o plâncton marinho, alguns triluscos e todos os animais terrestres com peso superior a 25 Quilos, significando um conjunto de aproximadamente 75% das espécies então existentes.

Tabela -1(*)
Resumos dos Tempos Geológicos e suas Características

Eras	Períodos	Idade (m.a.)	Características
Cenozóica	Quartenário	2,5	Desaparecimento de algumas espécies. Presença dos seres vivos hoje existentes. Surge o Homem. Glaciação.
	Terciário	55	Extinção dos répteis gigantes. Desenvolvimento dos mamíferos
Mezozóica	Cretáceo	136	Répteis gigantes, primeiros mamíferos e primeiras aves.
	Jurássico	190	
	Triássico	225	
Paleozóica	Permiano	280	Enormes florestas. Primeiros animais terrestres. Vida nas águas: peixes, moluscos e crustáceos.
	Carbonífero	345	
	Devoniano	395	
	Siluriano	430	
	Ordoviciano	500	
	Cambriano	570	
Proterozóica		4600	Glaciação. Primeiros sinais de vida.
Arqueozóica			Inexistência de vida.

(*) Adaptado a partir de: Takeuchi, H. et al, 1974.

A extinção dos dinossauros pode ser um exemplo do processo descrito anteriormente. A incapacidade de adaptação pode ter sido consequência de uma espécie de imbecilidade progressiva, isto é, seus cérebros não teriam se desenvolvido em proporção aos seus corpos. Talvez o peso excessivo tenha

dificultado suas sobrevivências em terra ou, então, um processo de degeneração dos órgãos reprodutores, causada por um aumento da temperatura dos testículos (explicado pela dificuldade de troca de temperatura com o meio ambiente). Hipóteses propondo o envenenamento por vegetais tóxicos que surgiram no final do período Cretáceo, ou sugerindo que os pequenos mamíferos, então em proliferação, tenham se alimentado com os seus ovos, não podem ser descartadas.

No entanto todos estes mecanismos sugerem um processo de extinção lento e tranqüilo, ao que parece, em desacordo com evidências descobertas a anos atrás. Nesta visão moderna, o comportamento da massa orgânica parece ser caracterizado por longos períodos de relativa estabilidade, entremeados por breves episódios geológicos responsáveis pela exterminação de uma fração significativa da biosfera. Os agentes causadores dessas extinções em massa permanecem inexplicados e a complexidade dos dados torna este assunto polêmico e interessante.

A pouco mais de dez anos foram publicados os resultados de dois trabalhos que parecem ter atraído a atenção dos pesquisadores interessados neste assunto de pesquisa. Passaremos a discutí-los a seguir.

2 - EVIDÊNCIAS DAS POSSÍVEIS EXTINÇÕES

O primeiro trabalho, publicado por Alvarez et al. (1980), registra um enriquecimento anormal de Iridio (Ir) e outros metais nobres em camadas de argila sedimentadas na época de transição dos períodos Cretáceo-Terciário. Essa pesquisa foi desenvolvida na localidade italiana de Gubbio, onde os sedimentos analisados mostravam um conteúdo de Iridio e Ósmio (Os) 160 vezes maior que o normal, encontrado em outros locais até então estudados. A hipótese de um processo local tornou-se descartada. Quando, trabalhos posteriores encontraram similares anomalias em cerca de 40 locais distribuídos pelo globo (Figura - 1). Os autores interpretam essa anomalia como resultado de um impacto de um asteróide ou um meteorito de grandes proporções, com diâmetro estimado entre 6 a 14 Km, com algum ponto da superfície terrestre. Desse processo colisional, matéria terrestre pulverizada, em quantidade da ordem de 60 vezes maior do que a massa do asteróide, poderia

ter sido levantada e permanecido em circulação atmosférica por um período de tempo de várias semanas ou meses. Como consequência deste evento, haveria a possibilidade de um bloqueamento a penetração da radiação solar e, causando desta forma, um resfriamento rápido do meio ambiente. A extinção de uma fração da biosfera viria como uma consequência natural do resfriamento repentino, e o enriquecimento de Irídio e outros metais nobres, do assentamento do material asteroidal pulverizado que esteve em circulação devido a atividade atmosférica.

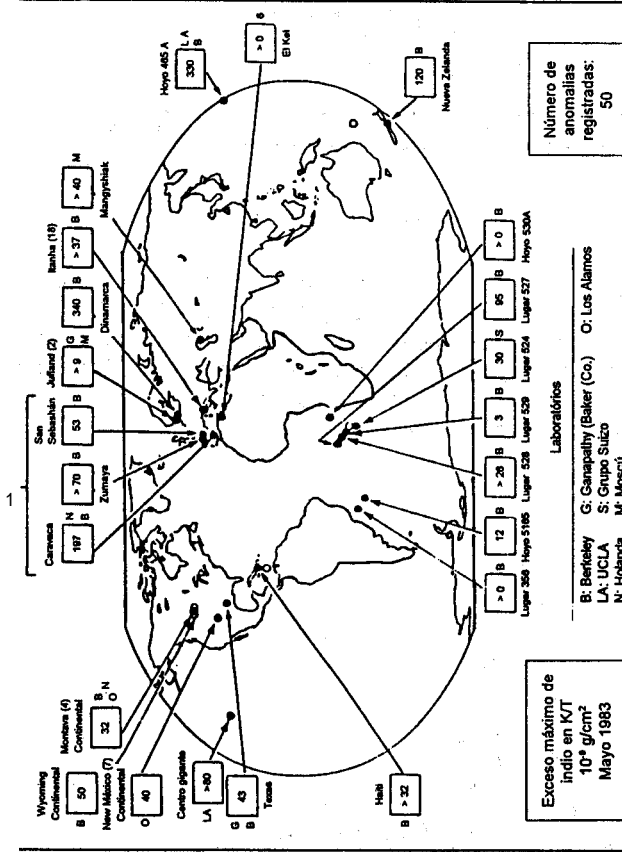
É interessante ressaltar que as abundâncias de Ir e Os encontradas nos meteoritos do tipo condritos concordam com as encontradas nos estratos do Cretáceo sobre todo o globo terrestre.

Mas onde estaria localizado o resto do impacto deste asteroide ou meteorito gigante?

Analisando a Figura - 1 devemos ter em conta os seguintes fatores: (a) a maior probabilidade, dada a superfície oferecida, de estar localizada no oceano; e (b) que aproximadamente uns 20% das áreas terrestres existentes a 65 m. a. atrás foram alojadas nas camadas inferiores atuais devido aos movimentos das placas tectônicas existentes no planeta. Porém, é estranho que não tenha sido encontrado até o momento nenhuma cratera continental de tal idade. Entretanto, as concentrações de Ir expressas na Figura - 1 indicam aproximadamente uma zona localizada no Hemisfério Norte, próxima a atual Islândia, onde uma possível queda meteórica possa ter ocorrido.

3 - SERIAM AS EXTINÇÕES PERIÓDICAS?

O segundo trabalho a ser abordado é em si a culminação de um longo processo de compilação criteriosa de dados elaborado por Sepkoski (1982) e Raup & Sepkoski (1984), que analisaram informações sobre inúmeros registros fósseis de animais marinhos num período que vai desde 11 até 253 m. a. antes da época atual (ver Figura - 2). Num total de 367 grandes famílias taxonômicas foram selecionadas e divididas em 39 intervalos, com uma duração média de 6,2 m. a. por intervalo. As famílias existentes foram eliminadas para as extinções mais recentes, de forma a não criar heterogeneidades nos dados a serem estudados. Um espectro de potência da série de acontecimentos analisados nos indica uma frequência predominante de 30 m. a. (ver Figura - 3), o qual foi corroborado por uma análise padrão de autocorrelação.



Localidades onde foram encontradas as anomalias na abundância do Irídio. Os valores são expressos em termos do excesso de Irídio integrado sobre a curva de concentração relativa a profundidade do local analisado. (Adaptação: revista Science, vol. 223, pgs. 1183-1186, 1984. Copyright 1984 by the American Association for the Advancement of Science).

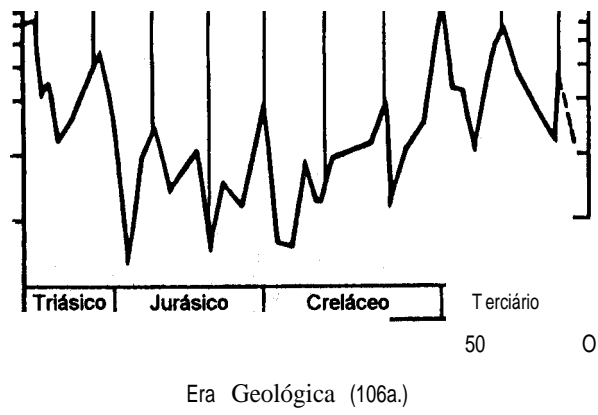


Figura 2 - Registros de extinções nos últimos 250 m.a.. As alturas relativas dos picos de extinção não devem ser tomados como expressões da intensidade das extinções já que há a ausência de espécies existentes na atualidade exagera as alturas dos picos de extinção mais jovens. (Adaptado de: Alvarez, W. & Muller, R. A., 1984).

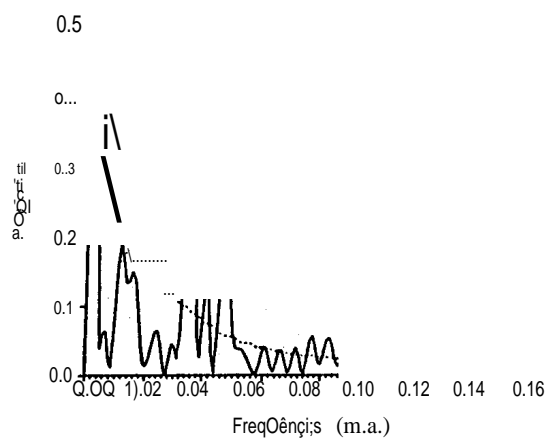


Figura 3 - Espectro de potências da série temporal. O maior pico em 0.035 m.a. corresponde a um período de 28.4 m.a. A linha tracejada é uma estimativa, tomada através da média de 1.000 conjuntos de dados gerados pelo método de Monte-Carlo. (Adaptado de: Alvarez, W. & Muller, R. A., 1984).

Se ajustarmos uma distribuição de funções, correspondentes aos breves momentos do impacto, se encontra uma periodicidade. Basicamente, podemos dizer ao analisar a Figura - 3 que essa periodicidade é de aproximadamente 26 m. a. entre os eventos de extinção ocorridos após o final do período Permiano. Este fato também pode ser percebido ao analisarmos a Tabela -2, para a extinção em massa proposta por Raup & Sepkoski (1984). Na realidade, uma periodicidade entre os eventos geológicos de extinção já havia sido sugerida antes, embora em valores diferentes, por vários outros pesquisadores. Devemos lembrar que a interpretação dos dados é uma tarefa notoriamente difícil, pois os registros fósseis disponíveis são insuficientes para se afirmar com exatidão a época em que as espécies individuais se tornaram extintas.

Mesmo assim, alguns comentários merecem ser feitos a Tabela -2 e a Figura - 2. Em primeiro lugar percebemos que só 4 processos de extinção, correspondentes a 38, 65, 215 e 248, parecem ter sido realmente importantes. Assim mesmo, quanto menos pontos tenhamos no gráfico, tanto mais fácil será o de ajustar uma função periódica.

Pouco depois da aparição destes trabalhos começaram a surgir outros que, por um lado, tratavam de mostrar uma periodicidade em aspectos correlacionados e, por outro, proporcionavam um mecanismo que explicaria as relações estatísticas.

O motivo pelo qual o trabalho de Raup & Sepkoski (1984) parece ter prevalecido é a forma utilizada para a análise dos dados. Eles submeteram a compilação de Sepkoski (1980) a uma análise de Fourier e fizeram vários testes através do método de simulação de Monte Carlo. O nível de confiança nesse tratamento estatístico foi da ordem de 99%. Mesmo não tendo nenhum mecanismo que possa explicar essa periodicidade, Raup & Sepkoski (1984) reconhecem que há indícios fortes de que fenômenos extraterrestres poderiam explicá-la.

Tabela -2

Extinção em massa proposta por Raup & Sepkoski(1984)

Tempo (m.a.)	Espécies
11	Alguns tipos de moluscos
38	Protozoários. unicelulares
65	Dinossauros
91	Alguns tipos de ouriço do mar
115	Possível ocorrência de extinção (?)
144	Ammonita (parecidos com caracóis)
163	Possível ocorrência de extinção (?)
175	Possível ocorrência de Extinção (?)
194	Espécies de moluscos bivalves
215	Placodintes (répteis parecidos com a atual tartaruga)
243	Possível ocorrência de extinção (?)
248	Trilobites (espécie de antrópode)

4 - DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS MECANISMOS DE EXTINÇÃO

Muitos trabalhos já foram publicados onde mecanismos extraterrestres são analisados à luz dessa proposta de periodicidade. Limitando-nos apenas a trabalhos mais recentes, isto é, apresentados após os resultados de Alvarez et al (1980), poderemos ressaltar, sucintamente os mecanismos potencialmente capazes de influenciar as condições ambientais terrestres e os resultados esperados.

Dois trabalhos interessantes, publicados independentemente por Oavis et al (1984) e por Whitmire & Jackson (1984), propõem um modelo postulando a existência de uma companheira solar invisível, isto é, uma estrela que juntamente com o Sol formaria um sistema estelar duplo, ou seja, um sistema binário. No primeiro trabalho, propõe-se uma estrela invisível (provavelmente uma Anã Negra, isto é, uma estrela de brilho pálido e de pequena dimensão) em órbita moderadamente excêntrica. Segundo os autores, quando próxima ao periélio (posição orbital mais próxima do Sol), essa companheira passaria pela também invisível Nuvem de Oort (uma

suposta nuvem contendo algo da ordem de 100 bilhões de cometas e que circundam o Sistema Solar). A perturbação gravitacional causada por essa passagem poderia excitar a nuvem e injetar para as regiões mais internas do Sistema Solar uma quantidade da ordem de 10 a 100 milhões de cometas. Apenas uma fração desses cometas colidiria com a Terra. Atualmente essa companheira solar estaria próxima ao afélio (posição orbital mais afastada do Sol) a uma distância aproximada de 2,5 a. l. (anos luz) e a Terra estaria protegida de tais colisões nos próximos 15 m. a.

Whitmire & Jackson (1984) propuseram resultados idênticos ao discutidos por Davis et al (1984). Nesse caso, a massa da companheira invisível seria entre $2,0 \times 10^{-4}$ e $7,0 \times 10^{-2} M_{\odot}$ (massas solares), corroborando com a proposta de que estrela invisível seja uma Anã Negra.

Entre as dificuldades encontradas nesse mecanismo, poderíamos ressaltar duas de elevada importância e de naturezas distintas. A primeira dificuldade seria do ponto de vista observacional, pois seria difícil identificar tal companheira solar, uma vez que ela poderia estar em qualquer direção do espaço interestelar. Um método que poderia aliviar esse problema seria a identificação através da seleção de tipos de objetos estelares. Por exemplo, essa companheira não poderia ser uma estrela de brilho elevado, assim uma estrela do tipo M (uma isto é, uma estrela que nunca se aqueceu o suficiente para propiciar a ocorrência de reações termonucleares no seu interior) com magnitude visual da ordem de 15 e, na região do infravermelho próximo (onde a maior parte de sua radiação emitida seria detectada). Nessa faixa de magnitude há aproximadamente um bilhão de candidatos nas vizinhanças do Sol. Tomando-se outros parâmetros, a dificuldade de identificação persiste, por exemplo: a velocidade radial seria desprezível, o movimento da paralaxe ($\approx 1,4 \mu\text{ano}$) e o movimento próprio (da ordem de $0,01 \mu\text{ano}$) seriam muito pequenos. Isto é muito pouco para ser detectado com facilidade mesmo com os modernos aparelhos que a Astronomia dispõe atualmente.

A segunda maior dificuldade desse modelo repousa na natureza do material cometário. Acredita-se que os cometas sejam constituídos do mesmo material primitivo que formou o Sistema

Solar, dá a importância dos estudos desses astros. Se houve um processo de metamorfose desse material durante a fase de formação dos cometas, essa transformação não foi suficiente para modificar profundamente o material primitivo. O tamanho reduzido dos cometas (diâmetros menores que 10 Km) e o calor radiogênico são insuficientes para metamorfosear o material primitivo, a ponto de transformá-los em materiais diferenciados, tais como aqueles que compõem a matriz básica dos vários tipos de meteoritos e asteróides (os denominados condritos). Devido às condições de pressão e temperatura a que foram submetidos, esses materiais se tornaram pobres em elementos voláteis.

Weissman (1985) observa que as identificações dos materiais colhidos junto às crateras da amostra utilizada por Alvarez & Muller (1984), e que estão relacionadas na Tabela - 3, para demonstrar a periodicidade dos eventos geológicos de extinção (Figura - 1), são indicativas de material altamente diferenciado, mais representativo de asteróides do que de cometas. No caso das crateras onde não foram encontrados vestígios de material extraterrestre, pode-se ter tanto indício de processo colisional onde o corpo cadente fosse constituído de material frágil (caso dos cometas) e, portanto, destruído durante a colisão, como também de falha no encontro dos mesmos.

Um outro mecanismo que poderia explicar a periodicidade das extinções dos animais seria a queda de asteróides (com órbitas que cruzam a órbita terrestre) na superfície da Terra, como sugerido por Alvarez et al (1980). No entanto, é difícil imaginar um mecanismo dinâmico capaz de propiciar tais colisões em intervalos periódicos de 26 a 28 m.a. Weissman (1985) ressalta que a meia vida dinâmica típica de corpos localizados em órbitas que cruzam a órbita terrestre é da ordem de 30 m.a. Isto implicaria em que os impactos dos corpos com tais órbitas deveriam se espalhar no tempo, não ocorrendo, portanto, em instantes discretos e periódicos. Se assim for, devemos então invocar um mecanismo não apenas capaz de injetar corpos com características orbitais particulares como, também, capaz de destruí-los em intervalos de tempo relativamente curtos (entre 1 a 5 m.a.). Esse mecanismo parece ainda mais improvável que o anterior.

Um outro mecanismo que chamou a atenção e foi analisado pelos pesquisadores é o movimento oscilatório harmônico do Sol em relação ao plano da nossa galáxia - Via Láctea. Devido a distribuição de massa da Galáxia, as estrelas localizadas no disco galáctico estariam submetidas a forças de restauração que, direcionadas ao plano galáctico, dariam origem a oscilações harmônicas perpendiculares a esse plano. Esse período de oscilação seria da ordem de 26 m. a. segundo Scharz & Jones (1984). Entretanto, existem divergências quanto ao valor desse período. Oort (1965) o calculou em 68 m.a. e a amplitude do movimento em 100 pc (pc = parsec, unidade de distância astronômica que equivale a 3,26 a.l.), por outro lado, Bahcall (1984) constatou em seus cálculos um período de 62 m.a., e Rampiro & Stothers (1984) aferiram em 33 m.a., enquanto que muito antes disso Trumpler & Weaver (1962) haviam obtido um valor de 80 m.a.

Tabela 3

Amostra das crateras utilizadas por Alvarez & Müller (1984)

Local	Diâmetro (km)	Idade (m.a.)	Tipo de material encontrado
Karla (URSS)	10	7 % 4	
Haughton (Canadá)	20	13 % 11	
Ries (Alemanha)	24	14.8 % 0.7	Acondrito (?)
Mistastin (Canadá)	28	38 % 4	Ferroso ou Acondrito (?)
Wanapitei (Canadá)	8.5	37 % 2	Condrito
Popigai (Sibéria)	100	39 :t 9	Ferroso
Lappajarui (Finlândia)	14	77% 4	Carbonáceo-condrito
Steen River (EUA)	25	95 % 7	
Boltysh (Ucrânia)	25	100 % 5	
Logoisk (URSS)	17	100 % 20	
Mien Lake (Suécia)	5	118 :t 2	Rochoso (?)
Gosses Bluff (Austrália)	22	130 :t 6	
Rochechouart (França)	23	160 % 5	Ferroso ou Condrito (?)
Obolon (Ucrânia)	15	185 % 10	Ferroso
Puchezh-Katunki (URSS)	80	183 :t 3	
Manicougan (Canadá)	70	210 :t 4	

o mecanismo detonador dos eventos de extinção seriam baseados na alteração das condições ambientais terrestres, decorrente da passagem de todo o Sistema Solar por densas nuvens de matéria interestelar, durante as passagens periódicas pelo plano galáctico. Esses encontros causariam variações significativas da irradiação solar na Terra.

Ainda dentro desse modelo de movimento oscilatório do Sistema Solar na Galáxia devem ser consideradas outras implicações importantes. Hatfield & Camp (1970) sugerem que inversões do campo geomagnético poderiam ser provocadas por variações do campo magnético galáctico. Durante as fases de anulamento do campo magnético, decorrentes das reversões magnéticas, o fluxo de radiação cósmica incidente na Terra aumentaria; isto poderia afetar toda a biosfera. A fragilidade deste modelo está no fato de não haver registro de reversão geomagnética com periodicidade da ordem invocada. Além deste fato, devemos lembrar que o campo magnético da Galáxia é muito menor que o campo geomagnético e, o próprio campo magnético associado ao vento solar à distância de apenas 1 U.A. (unidade astronômica: 150 milhões de Km; que é a distância média entre o Sol e a Terra) do Sol, é maior do que o campo magnético galáctico.

Uma implicação não menos importante seria a influência da variação do fluxo de raios cósmicos experimentados pelo Sistema Solar durante o seu movimento na Galáxia. A distribuição dos raios cósmicos galácticos não é bem conhecida até o momento. Entretanto, se os raios cósmicos são confinados pelo campo magnético da Via Láctea, e se este estiver acoplado ao material interestelar, então essa distribuição deve assemelhar-se à distribuição da matéria interestelar. Como os raios cósmicos, com energia equivalente aos raios-X mole (partículas com energia entre 0,1 e 2 KeV), atuam significativamente no balanço de ionização da atmosfera superior terrestre, mudanças climáticas de elevada importância poderiam provir desse movimento oscilatório em relação ao plano galáctico. Embora nenhuma constatação experimental, neste sentido, tenha sido realizada até o momento.

5 - COMENTARIOS FINAIS

Embora os mecanismos extraterrestres potencialmente capazes de provocar eventos geológicos de extinção sejam bem

elaborados, a única evidência apresentada para suportar tais modelos é até o momento, a anomalia do Irídio na fase de transição dos períodos Cretáceo-Terciário. Hallam (1984) ressalta que há evidências fortes para relacionar eventos de extinção com processos geológicos durante os últimos 570 m.a. Segundo ele a relação mais óbvia está na variação do nível das águas oceânicas, pois há evidências de periodicidade para tais variações. Na década de 60, publicou vários trabalhos propondo que os eventos de extinção dos grupos marinhos foram resultados de reduções drásticas na área e da deteriorização da qualidade do habitat, devidas à regressão dos mares epicontinentais extensos (mares rasos que ocorrem em plataformas continentais ou em bases pouco profundas no interior dos continentes, tais como o Mar Báltico ou a Baía de Hudson), ocorrida durante a fase em que houve um decréscimo no nível do mar. Em alguns casos há evidências de que a anoxia (deficiência de oxigênio nos órgãos ou nos tecidos) parece ter causado a deteriorização crítica do meio ambiente. Embora a queda do nível do mar, nos finais dos períodos Permiano, Triássico, Cretáceo e no início do Terciário, tenha implicado na extensão da área de habitat dos grandes vertebrados terrestres, eles podem ter sofrido um evento de extinção talvez devido a uma modificação do clima terrestre, com aumentos significativos dos extremos de temperaturas sazonais, características estas mais típicas dos climas continentais.

Muitos problemas e incertezas ainda permanecem. Não se pode afirmar, por exemplo que, mesmo levando-se em consideração o rigor dos métodos de análise e testes as que foram submetidos os dados da amostragem de Sepkoski (1982), não haja a possibilidade de ser a ressaltada periodicidade de eventos de extinção um resultado do tratamento estatístico. Até mesmo o valor dessa proposta periodicidade está afetado de incertezas. Como comenta Hallam (1984), *"há muito o que conhecer sobre o comportamento de grupos particulares de organismos e de todo o ecossistema em relação às mudanças do meio ambiente físico; a extinção dos dinossauros no final do período Terciário e, do plâncton no final do Cretáceo, ainda permanecem como um enigma"*.

É possível que um dos mecanismos aqui apontados seja o agente detonador: desses eventos geológicos de extinção, porém nos parece mais sensato cogitar que esses eventos possam ser

detonados por um conjunto de mecanismos, tanto de origem terrestre como extraterrestre ou, ainda, ocorridos em consequência de outro.

Embora a tônica deste assunto seja a divergência, e às vezes profundas, entre profissionais de áreas distintas, devemos nos lembrar que é este o caminho mais freqüente por onde a ciência progride. Por mais que nos aprofundemos, ainda assim existirão enigmas para os quais, talvez, nunca obteremos respostas.

REFERÊNCIAS:

- ALVARES, L. W., Alvarez, W., Asaro, F. e Michel, H. V.; Science, 208, 1095, (1980).
- ALVAREZ, W. e Muller, R. A.; Nature, 308, 718, (1984).
- ALVAREZ, L. W., Science, 223, 1183, (1984).
- BAHCALL, J. N.; Ap. J., 276, 169, (1984).
- DAVIS, M., Hut, P. e Muller, R. A.; Nature, 308, 715, (1984).
- HALLAM, A.; Ann. Rev Earth Plant. Sci., 12, 205, (1984).
- HALLAM, A.; Nature, 308, 686, (1984).
- HATFIELD, C. B. e Camp, C.J.; Bull. Geol. Soco Am., 81, 911, (1970).
- OORT, J. H.; "Star and Stellar System" vol. 5 (1965).
- RAMPIRO, M. R. e Stothers, R. S.; Nature, 308, 709, (1984).
- RAUP, D. M. e Sepkoski, J. J.; Proc. Nat. Acad Sci. of U. S. A., 81, 801, (1984).
- SCHWARTZ, R. D. e Jones, P. B.; Nature, 308, 712, (1984).
- SEPKOSKI, J. J.; Milwaukee Contr. Siol. Geol., 58, 125, (1982).
- TAKEUCHI, H., Uyeda, S. e Kanamori, H., "A Terra, um planeta em debate", EDART-São Paulo, Livraria Editora Ltda., pg. 20, (1974).
- TRUMYLER, R. J. e Weaver, H. F.; "Statistical Astronomy", Dover, New York, (1962).
- WEISSMAN, P. R.; Nature, 310, 926, (1985).
- WHITMIRE, D. P. e Jackson, A. A.; Nature, 308, 713, (1984).