

Gilberto Athayde Albertão, pesquisador que descobriu o Limite K-Pg em sua dissertação de mestrado em 1993, preparou um complemento aos painéis do geossítio, relacionados registro geológico do Limite K-Pg.

1. As rochas que vêm do espaço
2. Nomenclatura de rochas carbonáticas
3. Anomalias Geoquímicas, em particular irídio (Ir), Carbono Orgânico Total (COT) e Flúor (F)
4. Limite ou Transição K-Pg? Uma discussão...
5. Linha do tempo das pesquisas científicas
6. Discussão sobre a energia liberada com o impacto
7. Referências bibliográficas



1. As rochas que vêm do espaço

Cometas: são rochas espaciais com órbitas alongadas, por isso, se aproximam e se distanciam do Sol de uma forma muito exagerada. Os cometas possuem gelo de água, metano e amônia em sua composição, o que cria sua coma (pequena atmosfera) e cauda quando se aproximam da nossa estrela. Cometas de longo período (que levam mais de 200 anos para completar uma volta ao redor do Sol) se originam da Nuvem de Oort; já os cometas de curto período (que completam uma volta ao redor do Sol em menos de 200 anos) têm origem no Cinturão de Kuiper.

Asteroides: são rochas espaciais parecidas com os cometas, mas que não possuem órbitas tão excêntricas e nem quantidades consideráveis de gelo de água, metano e amônia que possam sublimar. Mesmo quando são perturbados por alguma interação gravitacional que os lançam para bem próximo do Sol, eles não desenvolvem coma e cauda como os cometas fazem. A grande maioria dos asteroides situa-se no Cinturão Principal, que fica entre as órbitas de Marte e Júpiter.

Meteoroides: são pequenos fragmentos de grandes rochas espaciais (cometas ou asteroides) que se desprendem do objeto principal. Os meteoroides possuem dimensões bem menores do que os asteroides, e maiores do que a poeira cósmica, ou poeira interestelar. Resumindo, os meteoroides são como pedregulhos que se desprendem de grandes rochas e ficam à deriva no espaço.

Meteoros: são efeitos luminosos criados por qualquer objeto que entre na atmosfera da Terra. Grandes rochas, meteoroides, poeira espacial e até mesmo fezes de astronautas podem criar esse efeito luminoso chamado de meteoro, porém, a grande maioria é gerada por pequenos grãos de poeira espacial. Os meteoros são popularmente conhecidos como "estrelas cadentes", e o nome meteoro refere-se APENAS ao efeito luminoso, ou seja, ao brilho que risca o céu.

Meteoritos: são os fragmentos especiais que chegam até a superfície da Terra. Qualquer rocha espacial que atravessa a atmosfera da Terra e toca o solo, seja um asteroide ou um meteoróide, esse objeto passa a ser chamado de meteorito.

A seguir: figura ilustrativa dos conceitos mencionados acima



Fonte: Internet - Galeria do Meteorito e Wikipedia (consulta em 08/01/2018)

<http://www.galeriadometeorito.com/2017/04/qual-diferenca-entre-meteoro-meteorito.html>

Concluindo: no Limite K-Pg o que temos é impacto de um meteorito, já que houve o impacto na superfície da Terra. Agora, se a fonte original desse meteorito era um cometa ou asteroide fica difícil determinar (embora mais provavelmente tenha sido um asteroide).

2. Nomenclatura de rochas carbonáticas

Uma das classificações mais utilizadas na nomenclatura de rochas carbonáticas (aquelas compostas predominantemente compostas por minerais carbonáticos) é uma classificação derivada da publicação original feita por Robert J. Dunham, em 1962.

A classificação original de Dunham foi desenvolvida de forma a fornecer uma base de nomes adequada à descrição da textura deposicional da rocha, que revela uma importante característica para a interpretação do ambiente deposicional das rochas.

Os três critérios principais utilizados na definição das classes originalmente determinadas por Dunham são:

- A fábrica de suporte do sedimento original;
- A presença ou ausência de lama carbonática (a fração de sedimento menor que 20 μm de diâmetro)
- A evidência de que os sedimentos estavam organicamente ligados no momento da deposição (esta já uma modificação à nomenclatura original).

Com base nesses critérios, as seguintes classes forem definidas, sem serem criados termos na língua portuguesa, sendo mantidos os termos na sua língua original:

- Mudstone – rocha carbonática originalmente suportada por lama, contendo <10% de grãos;
- Wackestone – rocha carbonática suportada por lama, contendo >10% grãos;
- Packstone – rocha carbonática suportada por grãos, contendo pelo menos 1% de fração lama
- Grainstone – rocha carbonática suportada por grãos contendo <1% de fração lama.

Nas classes wackestone, packstone e grainstone costuma-se adicionar os nomes dos principais componentes dos grãos (bioclásticos) de que a rocha dispõe.

Existem modificações a essas classes originalmente propostas por Dunham, dentre as quais se destacam as de Embry & Klovan (1971), que acrescentaram termos em função da ligação orgânica que a rocha porventura possa apresentar e também para as rochas carbonáticas de granulometria muito grossa.

Fontes:

- 1- Flügel, 1982
- 2- Internet – Wikipedia (consulta em 08/01/2018):
https://en.wikipedia.org/wiki/Dunham_classification

3. Anomalias Geoquímicas, em particular irídio (Ir), Carbono Orgânico Total (COT) e Flúor (F)

Irídio e outros elementos do grupo de platina

Alvarez et al. (1980) divulgaram sua teoria sobre uma causa extraterrestre para as extinções, em um trabalho hoje já considerado clássico devido aos desdobramentos que ocorreram a partir de então.

No trabalho supracitado, os autores mostravam os resultados de detalhadas análises geoquímicas em diversas localidades consideradas como tendo uma passagem Cretáceo-Terciário a mais bem preservada possível. Essas localidades eram as seções da Itália (Gubbio, Contessa e Bottaccione), da Dinamarca (Stevns Klint) e da Nova Zelândia. Ao identificar uma fina camada de argila (milimétrica a centimétrica) justamente na passagem K-Pg, verificou-se que ela era enriquecida em elementos ditos siderófilos, particularmente os elementos do grupo da platina, e depletada em outros elementos mais comuns, em relação às camadas sub e sobrejacentes.

Dentre os elementos enriquecidos na camada-limite estão níquel, zinco, cobalto e ferro; dentre os elementos depletados estão silício, potássio, sódio e terras-raras. Todavia um destaque foi dado à anomalia de elementos do grupo da platina, em particular o irídio, em virtude de esses elementos serem extremamente depletados na crosta terrestre, em relação à sua abundância cósmica.

De acordo com os autores, concentrações anômalas desses elementos em sedimentos de águas relativamente profundas, como os das seções analisadas, indicariam influxos de material extraterrestre. Duas possíveis fontes extraterrestres seriam (i) a explosão de uma estrela supernova próxima e (ii) o impacto de um meteorito; testes efetuados, que verificaram a ausência do elemento Pu-244 bem a constância da razão $191\text{Ir}/193\text{Ir}$ nas camadas-limite, favoreceram a hipótese do impacto.

O cenário construído por Alvarez et al. (1980) é o de um meteorito da ordem de 10Km de diâmetro, colidindo com a Terra e provocando uma nuvem de poeira (mistura do material originalmente de um asteroide com material da crosta terrestre) que cobriria praticamente toda a superfície do planeta, com conseqüente obstrução da luz solar e da fotossíntese. Imediatamente, estabelece-se uma quebra quase completa da cadeia alimentar marinha, com efeitos também na vida de seres vivos terrestres, onde apenas os vertebrados de pequenas dimensões sobrevivem.

Como resultado da grande repercussão do trabalho de Alvarez et al. (1980), foi publicada, rapidamente, uma série de artigos trazendo contribuições à teoria do impacto.

Pela propriedade de ser o metal do grupo da platina que é mais facilmente determinado através da análise de ativação neutrônica, o irídio tornou-se o melhor elemento para indicar as anomalias geoquímicas observadas no limite K-Pg. A anomalia de irídio tem sido considerada uma característica fundamental na caracterização das seções geológicas consideradas completas (ou quase) na transição K-Pg.

Fontes: Alvarez et al. (1980); Albertão (1993).

Carbono Orgânico Total (COT)

O enriquecimento em fuligem (associada ao COT) nas camadas do limite K-T foi associado a possíveis incêndios globais, causados pela entrada do meteorito impactante na atmosfera terrestre (Wolbach et al., 1988). Segundo os autores citados, o início do incêndio poderia ocorrer mesmo em um impacto no oceano, pois o corpo impactante, no atrito com a atmosfera, seria transformado em uma bola de fogo que daria ignição na vegetação, pirolizando a matéria orgânica do solo. O fogo gerado poderia expandir-se por todo um continente e a distribuição global da fuligem ocorreria pela formação de ventos.

Os autores concluem que a nuvem formada por essa fuligem contribuiria efetivamente para as extinções de seres vivos observadas no limite K-T sob três formas: (i) obstruindo a luz solar, de forma mais efetiva, até, que a poeira provocada diretamente pelo impacto; (ii) formando pirotóxicas, inclusive o monóxido de carbono, que prejudicariam fortemente a vida terrestre; (iii) resfriando a Terra pelo mecanismo de um "inverno nuclear" (analogia entre a fuligem e a nuvem de fumaça provocada por uma guerra nuclear). Outras consequências ambientais do fogo seriam o efeito estufa e as mutações da biota, que poderiam causar extinções posteriores dos sobreviventes à catástrofe.

Neste geossítio da Mina Poty, a camada I apresenta uma forte anomalia em COT (Albertão, 1993).

Fontes: Wolbach et al. (1988); Albertão (1993)

Flúor

Alguns poucos trabalhos investigaram a presença de anomalias de flúor em camadas do limite K-Pg. No caso do limite K-Pg da Mina Poty, verificou-se em algumas seções o alto teor de flúor desse nível estratigráfico, de 5.57 wt.%, em grande contraste com os teores de menos de 0.3 wt.% em todas as outras amostras (Marini et al., 2000; Fig. 6). Essa hipótese pode ser apoiada pelas seguintes observações: (i) a anomalia de flúor ocorre no mesmo nível da anomalia de irídio e (ii) sequências de rochas evaporíticas, como as que foram impactadas em Chicxulub (Hildebrand et al., 1991) são usualmente compostas por sedimentos ricos em flúor. A liberação extremamente alta e global de flúor deveria ser levada em consideração se estudos posteriores confirmarem a ocorrência de fluorita diagenética (e outras anomalias de flúor) próxima do limite K-T em outras, e mais "clássicas", seções sedimentares. Destaca-se que diversas esférulas encontradas somente na camada I apresentam cristais de fluorita; embora elas também tenham origem diagenética, aventa-se uma relação indireta com o impacto, dada a potencial disponibilidade de flúor em virtude da rocha-mãe impactada em Chicxulub, conforme mencionado acima.

Fontes: Hildebrand et al., 1991; Marini et al., 2000; Albertão & Martins, 2009.

4. Limite ou Transição K-Pg? Uma discussão...

A seção geológica esquemática apresentada no painel 4, e ilustrada nas suas fotos (em particular a sucessão de camadas denominada por Albertão, 1993, de A a N), relaciona a sucessão sedimentar das principais camadas representativas da porção mais superior do topo da Fm. Gramame bem como da base da Fm. Maria Farinha. Nesse intervalo está o principal registro sedimentar relacionado ao limite K-Pg deste geossítio, com importantes extinções da fauna e flora do Cretáceo, e o aparecimento de novas formas de vida no início do Paleógeno.

Admite-se a seguinte interpretação para os eventos na parte central da seção, o “núcleo” dos eventos essenciais para compreensão dos processos sedimentares:

- o topo da camada C é o registro final do Maastrichtiano Superior;
- as camadas D a I representam de fato as camadas-limite : a base da camada D marca o início do possível evento catastrófico proposto (tsunami), enquanto as camadas E a I são o registro do final desse evento;
- o topo da camada I e a base da camada J representam o início da sedimentação Daniana.

Assim, considera-se impossível estabelecer uma “estratigrafia de tempo”, baseada no conteúdo fóssilífero dessa peculiar sequência de camadas (D a I). Da mesma forma, parece-nos inadequado buscar uma posição específica para o chamado “limite” nessa seção exposta pela Mina Poty. Seria mais apropriado chamarmos as camadas D a I de “transição K-Pg”, embora todas elas, pela sucessão interpretada de eventos sedimentares, estejam associadas a uma duração de tempo praticamente instantânea em termos geológicos.

5. Linha do tempo das pesquisas científicas

A história dos estudos paleontológicos em camadas da Bacia da Paraíba teve início no século XIX e pode ser dividida em três períodos: o primeiro corresponde à fase dos trabalhos pioneiros, realizados por pesquisadores estrangeiros que visitaram as exposições calcárias da faixa costeira dos estados de Pernambuco e da Paraíba entre o final do século passado e o início deste. Os pioneiros foram os americanos Orville Adelbert Derby e DeBorden Wilmont, trazidos por Charles Frederick Hartt, então responsável pela Expedição Morgan de 1870, para observar as camadas de Maria Farinha e Nova Cruz, ao norte do Recife e ao sul da ilha de Itamaracá.

O período seguinte teve início com a descoberta de uma camada de fosfato na então Formação Gramame por Duarte (1949), o que resultou em trabalhos de mapeamento e muitas referências a fósseis.

O terceiro período começou com a criação da disciplina de Paleontologia no Curso de História Natural da Universidade do Recife, em 1954, e logo após, com a instalação do Curso de Geologia na Universidade Federal de Pernambuco.

O primeiro trabalho amplo sobre fósseis da Paraíba deve-se a Carlota Joaquina Maury (Maury, 1930), que estudou uma rica coleção de cerca de 800 espécimes. A autora descreveu muitas formas novas entre moluscos (bivalves, gastrópodes e cefalópodes), equinodermas, peixes e até frutos de palmeiras. Muniz (1993), em sua extensiva monografia acerca da malacofauna da Formação Gramame, reviu as formas descritas por Maury (1930) e descreveu várias outras novas. Trabalhos publicados desde a criação da disciplina de Paleontologia passaram a ter um caráter sistemático, apresentando descrições de novos fósseis e revisões de outros anteriormente descritos.

Os registros do (s) evento (s) geológico (s) ocorrido (s) na História da Terra na passagem entre os períodos Cretáceo e Paleógeno têm sido estudados de maneira multidisciplinar em diversos ramos das Geociências e podem ser considerados como responsáveis por importantes mudanças de paradigmas e (pré) conceitos dessas ciências desde o final do século passado. Nesse aspecto deve-se ressaltar a relevância do trabalho seminal de Alvarez et al. (1980), ponto de partida para o que pode ser considerada uma das mais importantes revoluções científicas, no sentido de Kuhn (1978), acontecida em tempos recentes no campo de abrangência das geociências. Nesse trabalho mencionado, Alvarez e colaboradores propuseram a teoria de um impacto extraterrestre para explicar as mudanças ambientais e bióticas observadas ao longo do limite K-Pg (Cretáceo-Paleógeno), originalmente conhecido como limite K-T (Cretáceo-Terciário), popularizada por explicar de forma catastrófica o desaparecimento de cerca de 60% das espécies viventes no final do

Cretáceo, entre elas um dos mais instigantes grupos de seres vivos daquele período, os dinossauros. Sob essa perspectiva, Albertão (1993) estudou algumas áreas aflorantes e de subsuperfície das bacias brasileiras, buscando evidências ou contra-argumentos para a teoria de Alvarez et al. (1980).

A Bacia de Pernambuco-Paraíba é estudada desde o final do século XIX, principalmente do ponto de vista de seu conteúdo fossilífero, dada a riqueza em macrofósseis, notadamente moluscos e peixes. Aspectos importantes da exploração mineral dessa bacia estão relacionados à mineração do fosfato (no contato entre as formações Beberibe e Gramame), ocorrida principalmente nas décadas de 1960 e 1970 e, mais importante, à mineração do calcário (Formações Gramame e Maria Farinha) presente ainda nos dias atuais.

Em relação à abordagem da transição K-Pg, com destaque para os afloramentos da Mina Poty, podem ser citados, dentre outros, os estudos pioneiros de Beurlen (1967), Tinoco (1967), Mabesoone et al. (1968) e Stinnesbeck (1989). Destaca-se o trabalho de Mabesoone et al. (1968), onde aparece a primeira descrição sedimentológica detalhada do limite K-Pg no Brasil. Entretanto, somente em Albertão (1993) aparece essa descrição como um registro quase completo dos eventos do limite K-Pg e dos indícios de um impacto extraterrestre.

As descrições feitas neste geossítio aparecem mais detalhadas em uma série de trabalhos iniciada por um estudo de tese de mestrado (Albertão, 1993, mencionado acima) sob orientação do professor Paulo P. Martins Jr., e continuada no período entre 1996 e 2000 com o suporte de um projeto do IGCP (International Geological Correlation Program – Project 384: Impact and Extraterrestrial Spherules). Uma sucessão de trabalhos foi publicada como resultado dessas pesquisas, podendo ser citados Albertão et al. (1994a e b; 2004 e 2008), Albertão & Martins Jr. (1996a e b; 2002 e 2007), Delicio et al. (2000), Marini et al. (2000), Martins et al. (2000). Paralelamente, estudos micropaleontológicos foram extensivamente desenvolvidos, dentre eles destacando-se algumas teses de mestrado e doutorado: Koutsoukos (1996), Grassi (2000), Fauth (2002) e Sarkis (2002). Nesses estudos, as melhores exposições dos afloramentos da Mina Poty e, eventualmente, de algumas áreas próximas, foram selecionadas para amostragem. As amostras, especificamente preparadas, foram analisadas com diferentes objetivos através de uma série de instrumentos e métodos: lupa, microscópio petrográfico, difratometria de raios-X (DRX), isótopos estáveis (carbono e oxigênio), geoquímica inorgânica (elementos principais, secundários e traços), micropaleontologia (notadamente foraminíferos e palinóforos), microscópio eletrônico de varredura (MEV) e análise química qualitativa e quantitativa em espectrômetro de energia dispersiva. Subprodutos das análises isotópicas foram determinações de carbono orgânico total (COT), resíduo insolúvel (IR) e conteúdo de CaCO₃ dos sedimentos. Importante aspecto da descrição do geossítio foram os estudos de geoquímica inorgânica,



com a determinação da concentração de 45 elementos químicos, incluindo o irídio (Ir), e que foi feita por análise de ativação neutrônica, em Los Alamos National Laboratory (Estados Unidos). Detalhes de todos esses métodos analíticos estão em Albertão (1993) e Albertão & Martins Jr. (2002). Esférulas e grãos de quartzo foram separados manualmente e analisados à lupa binocular e ao MEV (com sistema EDS anexado), de acordo com os procedimentos descritos em Albertão et al. (1994b), Delicio et al. (2000) e Marini et al. (2000).

A Mina Poty foi a primeira descrição de uma sequência razoavelmente completa ao longo da seção de transição do limite K-Pg em baixas latitudes do Hemisfério Sul e em toda a América do Sul, apresentando inclusive anomalia de irídio.

Continua sendo a única área aflorante no Brasil com essas características. Essa particularidade, além de outras apresentadas na discussão que é apresentada a seguir, são justificativas suficientes para incluir essa área como sítio geológico/estratigráfico/sedimentológico/ paleontológico/paleoambiental do Patrimônio Geológico Nacional e adotar medidas de proteção para a área (justificativa de criação do geossítio: Albertão & Martins, 2007).

6. Discussão sobre a energia liberada com o impacto

Discussão transcrita diretamente da internet - By Jessica XU (discussão de website da Universidade de Stanford): <http://large.stanford.edu/courses/2015/ph240/xu2/>

What is the Chicxulub Impact

From my perspective, a big reason why the Chicxulub impact came to be a popular topic for discussion is that researchers hypothesize it may have caused the mass extinction at the Cretaceous-Paleogene (K-Pg) boundary. While there are many disagreeing researchers and scientists who study the impact ejecta and attempt to determine the exact date of the impact, there are several basic facts that can be certain. About 65.5 million years ago, an asteroid crashed into Chicxulub, Mexico (hence, the name "the Chicxulub Impact"). [1] It left a 180-km-diameter crater in the Yucatan Peninsula, in which the rocks have chemical and isotopic compositions similar to those of tektites found in the K-Pg boundary, which is why the age of the crater points do the K-Pg boundary age. [2] You can see this in Fig. 1. In this essay, I will not discuss the theories that varying scientists posit (on whether the Chicxulub impact actually caused the extinction of dinosaurs and the like). Rather, I will turn to the evidence that they have gathered on energy and climate changes and attempt to summarize it in a fashion that the layman can understand.



Figura: The Chicxulub impact in the Yucatan Peninsula. (Source: Wikimedia Commons.)

Energy of the Chicxulub Impact

When the asteroid hit Chicxulub and created the crater, a large amount of energy was released. In the paper, "Energy, volatile production, and climatic effects of the Chicxulub Cretaceous/Tertiary impact", the researchers discover that the energy of the Chicxulub impact is simply a function of the mass and velocity of the asteroid. However, in their study, the researchers used 5 main sets of parameters to estimate the energy of the impact: crater size, ejecta volume, melt sheet volume and chemistry, meteoritic content in the global ejecta, and population and size statistics of asteroids and comets in Earth-crossing.

In the method that attempts to determine the mass of the asteroid, the researchers call upon a study conducted by Alvarez and his colleagues. They used both the iridium content and overall mass of the K-Pg boundary, see Fig. 2, to calculate an asteroid mass between 300-3200 gigatons. Later, calculations presented by Vickery and Melosh assume that a 14 km diameter asteroid impacting at 35 km/s is consistent with Alvarez's findings. One of the most difficult aspects of calculating the velocity of the projectile mass was determining whether the projectile mass was an asteroid or a comet. While a comet impact is slightly more probable than an asteroid impact, this probability must be put in the context of rare events given that the Chicxulub impact was indeed rare. From the analysis of the transient crater and the meteoritic material, the results indicate parameters corresponding to an impact energy range of about 6.7×10^{30} to 3.4×10^{31} ergs. After examining the crater size, the meteoritic content for mass, and the impact models for velocity, researchers find indications to believe that the Chicxulub crater was formed by a short period comet or an asteroid impact that released $0.7-3.4 \times 10^{31}$ ergs of energy.

Let us assume that the object had a mass of $M = 3200 \text{ gigatons} \times 10^{12} \text{ kg/gigaton} = 3.2 \times 10^{15} \text{ kg}$ and that it was traveling at zero velocity until it got sucked in by the earth's gravitational field. In terms of the radius of earth $R = 6.37 \times 10^6 \text{ m}$ and the acceleration due to gravity at its surface $g = 9.8 \text{ m sec}^{-2}$, we have

$$\begin{aligned} E &= M g R \\ &= 3.2 \times 10^{15} \text{ kg} \times 9.8 \text{ m sec}^{-2} \times 6.37 \times 10^6 \text{ m} \\ &= 1.15 \times 10^{23} \text{ joules} \\ &= 1.15 \times 10^{30} \text{ ergs} \end{aligned}$$

But the energy budget of civilization is 5.0×10^{20} joules/year. **So this amount of energy would power civilization for 230 years.**

No Wikipedia (https://en.wikipedia.org/wiki/Alvarez_hypothesis) a estimativa é um pouco diferente. A referência utilizada é a de *Schulte, P.; et al. (2010). "The Chicxulub Asteroid Impact and Mass Extinction at the Cretaceous-Paleogene Boundary"*:

In March 2010, an international panel of scientists endorsed the asteroid hypothesis, specifically the Chicxulub impact, as being the cause of the extinction. A team of 41 scientists reviewed 20 years of scientific literature and in so doing also ruled out other theories such as massive volcanism. They had determined that a 10–15 km (6–9 mi) space rock hurtled into earth at Chicxulub. For comparison, the Martian moon Phobos is 11 km (7 mi) and Mount Everest is just under 9 km (5.6 mi). The collision would have released the same energy as 100,000,000 megatonnes of TNT (4.2×10^{23} J), over a billion times the energy of the atomic bombs dropped on Hiroshima and Nagasaki.

“Essa estimativa é cerca de 3x a de Xu, citada anteriormente, mas de qualquer forma, da ordem de 10^{23} J. Isso significa que embora esses diferentes cálculos mostrem valores um pouco discrepantes, eles convergem para uma estimativa que indica para a energia liberada no impacto do K-Pg um valor equivalente de **mais de um bilhão de bombas atômicas do tipo da que foi jogada em Hiroshima.**”

7. Referências bibliográficas (texto Saiba mais e painéis do geossítio K-Pg Mina Poty)

Albertão, G.A. 1993. Abordagem interdisciplinar e epistemológica sobre as evidências do limite Cretáceo-Terciário, com base em leituras efetuadas no registro sedimentar das bacias da costa leste brasileira. Escola de Minas de Ouro Preto, MG, Brasil: Tese de Mestrado, 2 volumes, 251 p.

Albertão, G.A.; Martins Jr., P.P. 1996a. A possible tsunami deposit at the Cretaceous-Tertiary boundary in Pernambuco, north-eastern Brazil. *Sed. Geol.*, 104: 189-201.

Albertão, G.A.; Martins Jr., P.P. 1996b. Stratigraphic record and geochemistry of the Cretaceous-Tertiary (K-T) boundary in Pernambuco-Paraíba, North-eastern Brazil. In: Jardine, S.; De Klasz, I.; Debenay, J-P (eds.) *Géologie de l'Afrique et de l'Atlantique Sud*, Elf Aquitaine Édition, Mémoire 16:403-411.

Albertão, G.A.; Martins Jr., P.P., 2002. Petrographic and geochemical studies in the Cretaceous-Tertiary boundary, Pernambuco-Paraíba Basin, Brazil. In Buffetaut, E.; Koeberl, C. (eds.). *Geological and biological effects of impact events*, Springer-Verlag, pp. 167-196.

Albertão, G.A.; Martins Jr., P.P. 2006. Estratos Calcários da Pedreira Poty (Paulista), PE - Evidências de evento catastrófico no primeiro registro do limite K-T descrito na América do Sul. In: Winge, M.; Schobbenhaus, C.; Berbert-Born, M.; Queiroz, E.T.; Campos, D.A.; Souza, C.R.G.; Fernandes, A.C.S. (Edit.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Publicado na Internet em 12/06/2006 no endereço <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio102/sitio102.pdf> [atualmente <http://sigep.cprm.gov.br/sitio102/sitio102.pdf>]

Albertão, G.A.; Martins Jr., P.P. 2008. A possible tsunamiite at the Cretaceous-Tertiary boundary in Pernambuco Basin, Northeastern Brazil – Reappraisal of field research and conceptual descriptions. In Shiki, T.; Minoura, K.; Yamazaki, T.; Tsuji, Y. (eds.) *Tsunamiites – their features and implications*. *Developments in Sedimentology*, Elsevier (2008).

Albertão, G.A.; Martins Jr., P.P.; Koutsoukos, E.A.M. 1994a. O limite Cretáceo-Terciário na bacia de Pernambuco-Paraíba: características que definem um marco estratigráfico relacionado a um evento catastrófico de proporções globais. *Acta Geol. Leopoldensia*, 17(39/1): 203-219

Albertão, G.A.; Koutsoukos, E.A.M.; Regali, M.P.S.; Attrep Jr., M.; Martins Jr., P.P. 1994b. The Cretaceous-Tertiary boundary in southern low-latitude regions: preliminary study in Pernambuco, north-eastern Brazil. *Terra Nova*, 6: 366-375

Albertão, G.A.; Grassi, A.A.; Marini, F.; Martins Jr., P.P.; de Ros, L.F. 2004. The K-T boundary in Brazilian marginal sedimentary basins and related spherules. *Geochemical Journal*, 38:121-128.

Almeida, J.A.C., 2007. Icnofósseis de Macrobioerosão na Bacia da Paraíba (Cretáceo Superior – Paleógeno), Nordeste do Brasil. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, 266p.

Alvarez, L.W.; Alvarez, W.; Asaro, F.; Michel, H.V. 1980. Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science*, 208: 1095-1108.

Beurlen, K. 1967. Estratigrafia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 16:43-53.

Bohor, B.F. 1990. Shock-induced microdeformations in quartz and other mineralogical indications of an impact event at the Cretaceous-Tertiary boundary. *Tectonophysics*, 171:359-372.

Chang, H.K.; Kowsmann, R.O.; Figueiredo, A.M.F. 1988. New concepts on the development of East Brazilian Marginal Basins. *Episodes*, 11:194-202.

Delicio, M.P.; Oliveira, A.D.; Albertão, G.A.; Martins Jr., P.P. 2000. Looking for spherules at the Cretaceous-Tertiary (K-T) boundary in Pernambuco/Paraíba (PE/PB) Basin, NE Brazil. In: Detre, C.H. (ed.) *Proc. Annual Meet. TECOS, 1998, Budapest, Hungarian Academy of Science*, pp 35-43.

Dott, Jr., R. H. 1983. SEPM Presidential address: episodic sedimentation – How normal is average? How rare is rare? Does it matter?. *Journal of Sedim. Petrol.*, 53:5-23.

Duarte, P.J., 1949. Depósitos de fosfatos na Formação Maria Farinha. *Sociedade de Biologia de Pernambuco, Recife*, 1: 37-42.

Fauth, G. 2000. The Cretaceous-Tertiary (K-T) boundary ostracodes from the Poty quarry, Pernambuco-Paraíba Basin, northeastern Brazil: systematics, biostratigraphy, palaeocology and palaeobiogeography. *Geologisch-Paläontologisches Institut der Universität Heidelberg*, 158 p. (unpublished Ph.D. thesis).

Flügel, E. 1982. *Microfacies Analysis of Limestones*. Berlin, Springer-Verlag, 633 p.

Grassi, A.A. 2000. O limite Cretáceo-Terciário nas Bacias de Pernambuco-Paraíba e Campos: Um estudo multidisciplinar com ênfase na bioestratigrafia de nanofósseis calcários. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 152 p. (tese de mestrado não publicada).

Hildebrand, A.R.; Penfield, G.T.; Kring, D.A.; Pilkington, M.; Camargo, A.; Jacobson, S.B.; Boynton, W.V. 1991. Chicxulub crater: a possible Cretaceous/Tertiary boundary impact crater on the Yucatán Peninsula, Mexico. *Geology*, 19:867-871.

Jansa, L.B. 1993. Cometary impacts into ocean: their recognition and the threshold constraint for biological extinctions. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.*, 104:271-286.

Koutsoukos, E.A.M. 1996. The Cretaceous-Tertiary Boundary at Poty, NE Brazil – Event stratigraphy and palaeoenvironments. In: Jardiné, S.; De Klasz, I.; Debenay, J-P (eds.) *Géologie de L'Afrique et de L'Atlantique Sud, Elf Aquitaine Édition, Mémoire* 16:413-431.

Kuhn, T.S. 1978. *A estrutura das revoluções científicas*. Editora Perspectiva. São Paulo. 257 p.

Mabesoone, J.M.; Tinoco, I.M.; Coutinho, P.N. 1968. The Mesozoic-Tertiary boundary in Northeastern Brazil. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.*, 4:161-185.

Marini, F.; Albertão, G.A.; Oliveira, A.D.; Delício, M.P. 2000. Preliminary SEM and EPMA investigations on KTB spherules from Pernambuco area (NE Brazil): diagenetic apatite and fluorite concretions, suspected fluorine anomalies. In: Detre, C.H. (ed.) *Proc Annual Meet TECOS, 1998, Budapest, Hungarian Academy of Science*, pp 109-117

Martins Jr., P.P.; Albertão, G.A.; Haddad, R. 2000. The Cretaceous-Tertiary boundary in the context of impact geology and sedimentary record – An analytical review of 10 years of researches in Brazil – Brazilian Contributions of the 31st. International Geological Congress - *Revista Brasileira de Geociências (Soc. Bras. Geol.)*, 30(3):460-465.

Maury, C.J. 1930. *O Cretáceo da Parahyba do Norte*. Serviço Mineralógico do Brasil., Rio de Janeiro, 305p, 35 est.

Michel, H.V.; Asaro, F.A.; Alvarez, W.; Alvarez, L.W. 1985. Elemental profile of iridium and other elements near the Cretaceous/Tertiary boundary in Hole 577 B. In: Heath GR, Burckle LH et al. (eds.) *Init Repts DSDP*, 86:533-538

Muniz, G.C.B. 1993. Novos Moluscos da Formação Gramame, Cretáceo Superior dos Estados da Paraíba e Pernambuco, Nordeste do Brasil. Departamento de Geologia. Universidade Federal de Pernambuco. Publicação Especial 1, 202p.

Sarkis, M.F. 2002. Caracterização palinoestratigráfica e paleoecológica do limite Cretáceo-Terciário na seção Poty, Bacia de Pernambuco/Paraíba, nordeste do Brasil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 120 p. (tese de doutorado não publicada).

Shiki, T., 2008. Tsunamiite sedimentology in studies of chaotic events in geohistory – Significance and problems. In: Shiki, T.; Minoura, K.; Yamazaki, T.; Tsuji, Y. (eds.) Tsunamiites – their features and implications. Developments in Sedimentology, Elsevier (2008).

Stinnesbeck, W. 1989. Fauna y microflora em el limite Cretacico-Terciario en el Estado de Pernambuco, Nordeste de brasil. Contribuciones de los Simposios sobre Cretácico de América Latina. Parte A:215-230

Tinoco, I.M. 1967. Micropaleontologia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, 16:81-85.

Wolbach, W.S.; Gilmour, I.; Anders, E.; Orth, C.j.; Books, R.R. 1988. Global fire at the Cretaceous-Tertiary boundary. Nature, 334(6184):665-669