



9º Encontro Nacional de Astronomia

Brasília, DF - 2 a 4 de novembro de 2006

Inscrição de Trabalho

Título: **IMPACTITOS** – Estudo de caso, o astroblema da Panela no estado de Pernambuco, Brasil.

Autor: **Pierson Barretto**

Instituição: Rede Marcgrave de Astronomia – RMA/Recife
Rede de Astronomia Observacional – REA
Liga Ibero-americana de Astronomia – LIADA

Telefones: 81- 3223-2535
81- 9964-1800

Correio eletrônico: cosmopier@hotmail.com
pierson.barretto@gmail.com

Apresentador: Pierson Barretto

Tema: PESQUISA.

Tipo de apresentação: Apresentação técnica.

Palavras chave: *impactito, brecha, astroblema, cratera da Panela.*

Resumo:

Os *impactitos* são rochas resultantes do choque de meteoróides em superfícies planetárias durante a formação das crateras de impacto. A maioria das rochas fundidas em uma cratera de impacto são as *brechas*. A presente pesquisa discute uma classificação para os *impactitos* coletados na região da *cratera da Panela* (PE). Compara com os *impactitos* de crateras reconhecidas como de origem cósmica. Apresenta o perfil geométrico estrutural do *astroblema* e o impacto ambiental para a região.



IMPACTITOS

Estudo de caso, o astroblema da Panela no estado de Pernambuco, Brasil.

Pierson Barretto

pierson.barretto@gmail.com

INTRODUÇÃO

As superfícies dos planetas apresentam cicatrizes provocadas pelo impacto de meteoróides, asteróides e cometas. Essas cicatrizes cósmicas, ou astroblemas testemunham a interação com o espaço exterior na formação planetária. Na Lua as crateras, visíveis em qualquer telescópio, as maiores mais antigas e as menores mais recentes, testemunham a história da formação da sua superfície dos últimos 4 bilhões de anos. Na Terra, devido à erosão e aos movimentos tectônicos, as crateras de impacto são mais difíceis de serem identificadas. Só as mais novas ainda são visíveis, identificáveis.

Durante o choque do meteoróide, as rochas do alvo sofrem alta pressão e altas temperaturas que modificam a sua estrutura, são ejetadas do interior da cratera. Essas rochas, chamadas *impactitos*, guardam marcas que caracterizam as crateras de impacto.

O colecionador e pesquisador finlandês Jarmo Moilanen possui amostras de impactitos de 65 estruturas de impacto. Alguns meteoritos da sua coleção estão associados à formação das crateras. Os impactitos da coleção foram classificados em ordem decrescente ao metamorfismo do impacto; as do tipo IM sofreram maior metamorfismo, fundiram-se, as do tipo FTR apenas fraturamento, como se segue:

Type codes:

IM	impact melt	MMB	melt matrix breccia (tagamites)
SV	suevite	SV.b	fall-back suevite
		SV.o	fall-out suevite
BR	breccia	BR.p	lithic breccia, polymict.
		BR.m	lithic breccia, monomictic
		BR.r	breccia, resurge
IG	impact glass	IMP	special impactite ("instant rocks")
TEK	tektite		
EJ	ejecta	EJ.d	distal ejecta (impact related layers)
SP	spherules		
STR	shocked target rock		
SC	shatter cone	SLS	slickenside
PST	pseudotachylite		
FTR	fragmented target rock		
uncl	unclassified impactites		
?	not impact related?		

Moilanen em sua homepage define o impactito como uma rocha formada a partir do impacto de um meteorito, asteróide ou cometa sobre a superfície sólida dos corpos celestes. Os impactitos são compostos pelo material do lugar do impacto, ou rochas alvo. Esse material freqüentemente sofre metamorfismo, provocado pela alta pressão da onda de choque através das rochas, que pode ser maior que 400 GPa no local do impacto. O vulcanismo e o tectonismo geralmente produzem pressões menores que 1 Gpa.

A maioria das rochas fundidas em uma cratera de impacto são as *brechas*, produzidas pela fusão total ou parcial, fraturamento e mistura das rochas do alvo. Essas rochas ao se esfriarem formam um novo composto. Sobre a formação de tectitos nos *astroblemas* o geólogo alemão Kord Ernstson e o geólogo espanhol Fernando Claudin



9º Encontro Nacional de Astronomia

Brasília, DF - 2 a 4 de novembro de 2006

destacam em sua homepage Estruras de Impacto, que as brechas pode formar-se em diversas fases do processo da formação das crateras: pelo fluxo de rochas associadas à frente de choque que se inicia no ponto do impacto, durante a escavação e formação da denominada cratera transiente e durante a expulsão do material escavado. Algumas rochas de impacto como as brechas vermelhas têm essa coloração devido à presença do ferro (Fe) proveniente do meteoróide que formou a cratera.

Os impactitos podem apresentar anomalias na sua composição em relação às rochas da região não afetadas pelo choque, elementos extraterrestres como o irídio (Ir) pode ser identificado. A composição geoquímica dos impactitos depende do tipo de rocha do alvo, do solo da região, sedimentar, metamórfica, cristalina, granitóide, cástica, campo de dunas etc.

Os impactitos provenientes da Cratera Monteraqui, Chile, são uma combinação das rochas locais e do meteorito. A cratera está localizada no deserto do Atacama, em região arenosa. Esses impactitos usualmente aprestam uma matriz vítrea amorfa, devido ao esfriamento rápido dessas rochas e areias fundidas durante o choque. Esse tipo de impactito está associado a crateras pequenas e jovens. A cratera tem 100.000 anos, 330 m de diâmetro e 33 m de profundidade, praticamente soterrada pelas areias do deserto. Entretanto, o passado mais úmido dessa região desértica eliminou todo o vestígio do projétil, possivelmente associado a um meteorito ferroso do tipo Octaedrito.



Esses impactitos podem estar associados ao tipo especial (IMP), "instant rocks", um tipo de brecha, e próximo dos tipos de vidros de impacto (IG).

Outro pesquisador e colecionador de impactitos Mark Bostick, observa que no campo de crateras de Henbury existem 13 crateras de impacto, a maior com 160m e a menor com 6m, todas agrupadas em uma área elíptica no meio do deserto australiano. Milhares de fragmentos de material ferroso foram encontrados ao redor das crateras. O campo de crateras é relativamente novo, 5.000 anos.



Entretanto, o pesquisador australiano observa, ainda que não sejam classificadas como material fundido, essas rochas aparentam terem sido afetadas pelo calor do impacto.

Um tipo especial de brecha, a *suevita* é formada na parte central da cratera transiente, sob forte pressão do choque, com posterior re-cristalização aérea do material



ejetado, apresenta veios de matriz lítica. Existem dois tipos primários de suevitas associadas à dinâmica dos impactos; as que caem de volta para o interior e as que caem fora da borda da cratera: “*fall-back suevite (SV.b) and fall-out suevite (SV.o)*”. Morfologicamente as suevitas são bastante diversificadas, na cratera de Ries, Alemanha, foram catalogadas 14 tipos diferentes.

Outro impactito, as *esférulas (SP)* apresentam-se com o formato arredondado de gotas ou de pequenos esferóides, usualmente formadas pela aglutinação e a condensação do material fundido e pulverizado das rochas do alvo e do meteorito, podem ser magnéticas.

Associado às crateras jovens a *ejecta (EJ)* é um impactito ejetado da cratera durante a sua formação, contém tanto material chocado como não-chocado, é o material mais superficial da área de impacto. Na Lua, o manto de ejecta é visível em várias crateras, Copernicus, Kepler entre outras.

Os chamados *shatter cones (SC)* são impactitos formados quando a intensa onda de choque atravessa as rochas do alvo, causando cisalhamento cônico e posterior efeitos de abrasão nas rochas, são evidências macroscópicas de crateras de impacto.



Nos exemplos de vários colecionadores acima, se observa a geometria comum aos impactitos do tipo shatter cones (SC), provenientes de crateras de impacto.

OS IMPACTITOS DO ASTROBLEMA DA PANELA (PE)

No site do Centro de Ciência Planetária e do Espaço do Canadá (Planetary and Space Science Centre) – PASSC - é possível acessar informações sobre a maioria das crateras reconhecidas de impacto na superfície terrestre. O PASSC estabelece cinco (5) critérios básicos de indícios, ou provas, para caracterizar se uma determinada estrutura geológica formou-se a partir de um impacto de meteorito. Os critérios são agrupados entre os megascópicos: visíveis a grandes altitudes, fotos aéreas ou de satélites; os macroscópicos: visíveis a vista desarmada; e microscópicos, através de aparelhos de microscopia, raios-x, entre outros. São eles:

- 1- A presença de shatter cones na região é uma evidência macroscópica.
- 2- A presença de deformações multiplanares (PDFs) em minerais no local das crateras é uma evidência microscópica.
- 3- A presença de minerais polimorfos de alta pressão no local de crateras, é uma evidência microscópica, mas requerem provas via difração de raios-X etc.



9º Encontro Nacional de Astronomia

Brasília, DF - 2 a 4 de novembro de 2006

4- A morfologia comparativa as crateras lunares, marcianas, determinação do tipo de estrutura, simples ou complexa, é uma evidência megascópica. Requer vistas aéreas, panorâmicas, por satélite, mapas, sensores.

5- A presença de mantos ou diques de impactitos fundidos (IM) ou brechas fundida (MMB), suevitas (SV), ejetas (EJ), são evidências macroscópicas. Mas necessitam de provas microscópicas, geoquímicas.

Desde 1995, o primeiro contato com a cratera da Panela, em Pernambuco, Brasil, foram coletadas amostras de rochas em mais de oito visitas e expedições, para se tentar identificar evidências de impacto. Já nas primeiras coletas foram identificadas possíveis brechas (BR), ejetas (EJ), esférulas (SP).

Na recente expedição, em setembro de 2006, à cratera da Panela, rochas chocadas (STR), fraturadas do alvo (FTR) e shatter cones (SC), entre outras, foram identificadas pelo geólogo Dr. Bernd-Dietrich Erdtmann, do Instituto de Pesquisa de Geociências da Universidade Técnica de Berlim, observa: “...Ejecta are also found as “welded” syenite and hematite-rich fluidized (molten) rocks, especially around the northern perimeter. Some of the gneissi breccias show evidence of partial melting, again, mostly along the northern 120° perimeter of the crater...”



Acima uma série de impactitos do tipo brecha (BR). Na foto maior amostra proveniente da cratera da Panela, encontrada no entorno de 500 m, nos setores NE, E, SE da estrutura. Na foto abaixo, a esquerda amostra proveniente da cratera Wolf, na Austrália. Na foto do centro a pequena amostra proveniente da cratera Ries, na Alemanha. Na foto da direita, amostra de brecha proveniente da cratera Azuara, na Espanha. As brechas vermelhas estão associadas ao material proveniente do projétil.

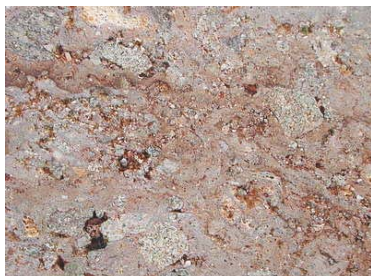


9º Encontro Nacional de Astronomia

Brasília, DF - 2 a 4 de novembro de 2006



Na série de impactitos acima, chatter cones (SC), provenientes da cratera da Panela. Na foto acima, à esquerda, impactito encontrado no sítio Caldeirão dos Barros a 1.300 m do centro da cratera, *N*, são poucos freqüentes, e difíceis de serem encontrados neste local. Nas outras fotos chatter cones, amostras encontrados no entorno da cratera (*N*, *E*, *S*) a uma distância de 500 m.



Na série de brechas acima, a amostra e o detalhe nas duas fotos à esquerda é proveniente da cratera de Ries, na Alemanha. Para alguns esse impactito pode ser uma brecha do tipo suevita (SV). Entretanto, examinando o detalhe revela ser uma rocha



fundida de impacto (IM). Na foto maior, à direita, amostra de impactito encontrado sobre a borda sul da cratera da Panela, uma brecha do tipo fundida de impacto (IM).

O ASTROBLEMA DA PANELA (PE)

Os geólogos Lucila Borges e Paulo de Barros Correia, do Departamento de Geologia da UFPE realizaram em 2005 um perfil magnetométrico da cratera da Panela. A interpretação do perfil teve como base a suposição de que a região é dominada por um corpo sienítico, o Pluton de Triunfo. O perfil magnético feito de fora para dentro da cratera. A partir de curvas magnetométricas observadas e calculadas, obteve-se o corte geológico correspondente. As mudanças de patamares são caracterizadas como descontinuidades provocadas por falhamentos. O perfil magnetométrico foi levado a cabo em um trecho restrito da cratera, pela dificuldade de acesso na porção norte.

Também um perfil médio topográfico da cratera da Panela foi criado a partir da (1) medição em loco do fundo da cratera, 100m; do (2) uso de foto aérea de grande altitude, a cratera tem formato elíptico, com diâmetro médio de 550 m; e do (3) uso de modelo digital de terreno (DEM) da cratera. O croqui do perfil acompanha o eixo norte/sul, do fundo da cratera para a borda norte, há uma diferença de 130 m e para borda sul a diferença é de 70 m. Caracterizando um espaço na forma de um cone truncado invertido, para o interior da estrutura da cratera.

Sobreposamos o perfil médio topográfico da cratera (simples) da Panela em mesma escala ao perfil magnetométrico, para observar a localização e correspondência da zona de fraturas (subterrânea) da estrutura. Ainda considerando as diferenças de escala, e a diferença de sub-estruturas existentes entre crateras simples e complexas, comparou-se a estrutura da cratera (simples) da Panela com o perfil das sub-estruturas de uma cratera de impacto (complexa), apresentado por John O'Keefe *et al*, publicado no International Journal of Impact Engineering (UK), sobre a formação de grandes crateras de impacto. Eles são do Instituto de Tecnologia da Califórnia, em Pasadena, EUA. A partir da comparação dos perfis, observou-se que, tanto na cratera simples quanto na complexa, as zonas de fraturas encontram-se limitadas ao diâmetro da cratera. Essas zonas de falhamento apresentam a mesma direção para o centro, estão representadas pelas diferenças entre os patamares, provocadas no processo da formação das crateras.

Em algumas regiões de crateras gigantes essas zonas de falhamento são importantes economicamente, com a pré-existência de petróleo no subsolo da região do impacto e com a conseqüente percolação desse mineral nos falhamentos das rochas. As zonas de fratura facilitam a sua extração.

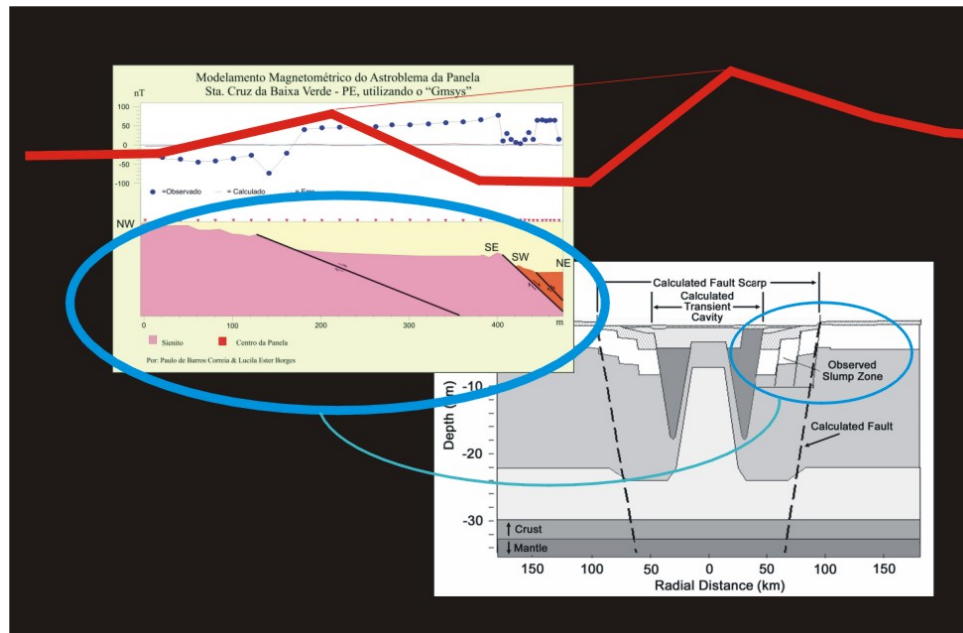
No caso da Panela, um pequeno impacto, com 0,16 Mton de potência, formou a cratera sobre o Pluton do Triunfo. Embora o corpo cristalino das rochas, sieníticas, do subsolo na região, apresente fraturas naturais, é bastante impermeável se comparado às rochas sedimentares em outras regiões. Evidencia-se a impermeabilidade na intermitência das nascentes em aquíferos fissurais no cristalino, nessas regiões semi-áridas do estado de Pernambuco. Considerando que a zona de fratura de rochas encontra-se limitada às bordas da cratera, infere-se que o seu subsolo é formado por uma pequena bacia de rochas fraturadas, contida e relativamente isolada dentro de um corpo maior de rochas não fraturadas pelo choque. Formando assim uma *panela*, um reservatório subterrâneo natural de água da chuva. O exultório dessa água acumulada ocorre através de uma falha natural, no fundo do vale a 500 m ao sul, fora da cratera. A



9º Encontro Nacional de Astronomia

Brasília, DF - 2 a 4 de novembro de 2006

vazão da nascente ainda não foi medida, mas é suficiente para manter um pequeno curso d'água permanente, único na região, mesmo nos períodos de secas severas.



Nos gráficos acima, o perfil médio topográfico da cratera da Panela em vermelho, com o sul para a esquerda e o norte para a direita, observa-se a localização das zonas de fraturas, os patamares escalonados a partir do gráfico da modelagem magnetométrica e o perfil de subestruturas em crateras complexas.

Os geólogos da UFPE observam que “*um levantamento gravimétrico e uma análise estrutural detalhada poderia contribuir para produzir argumento consistente, a favor ou contra, a idéia de que a Panela efetivamente é uma cratera de impacto*”.

Há várias décadas os cientistas vêm estudando a cratera de Barringer, no deserto do Arizona, EUA, a primeira a ser confirmada de origem cósmica, entre mais de duas centenas espalhadas pelo mundo. Novas análises explicam porque existe pouca ocorrência de rochas fundidas na cratera do que o previsto. A cratera tem 1,25 km de diâmetro e 50.000 anos de idade, quando um grande meteorito, com aproximadamente 40 m de diâmetro e não menos que 15km/s de velocidade, teria se chocado com o deserto formando a estrutura. Um novo modelo computacional, publicado pela *Nature* na edição de 10 de março de 2005, revela que o meteoróide reduziu bastante a sua velocidade durante a entrada na atmosfera. O impacto da onda de choque na frente do meteoróide, na altitude de 14 km do solo, freou e o fragmentou antes da queda. A nuvem de escombros do meteoróide teria uma forma elíptica com 200 m de extensão. A metade de uma massa original de 300.000 toneladas permaneceu intacta e se chocou com o solo a uma velocidade de 12 km/s.

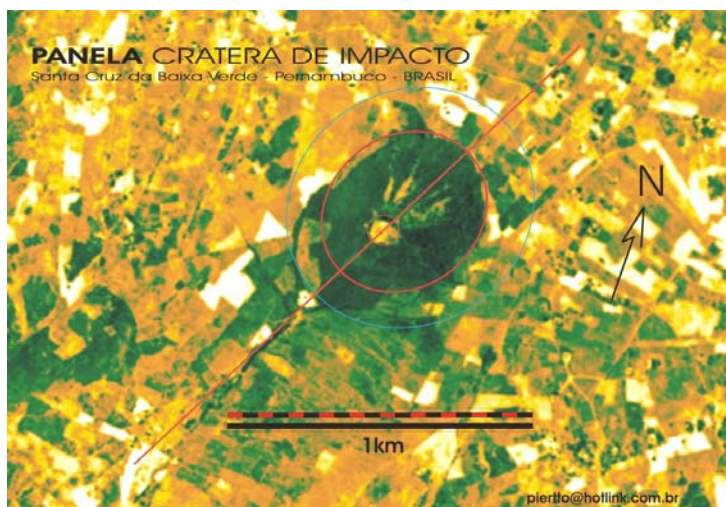
Utilizando o modelo computacional *Earth Impact Effects Program*, disponibilizado na internet por Robert Marcus, H. Jay Melosh, and Gareth Collins, modelamos a cratera da Panela segundo as características e dimensões da sua estrutura, com os seguintes parâmetros: tipo de rochas do alvo: cristalina; velocidade do meteoróide: 14km/s; tipo e dimensão do meteoróide: ferroso com 28 m de diâmetro e ângulo de impacto de 40°. O resultado da modelagem indica um impacto com 2,15 Mton de potência, com uma probabilidade de ocorrer a cada 200 anos, em algum lugar da Terra. O choque com a atmosfera freou e fragmentou o meteoróide a 11 km de



9º Encontro Nacional de Astronomia

Brasília, DF - 2 a 4 de novembro de 2006

altitude. A massa resultante, uma nuvem elíptica de escombros com 300x200 m, atingiu o solo com uma velocidade de 4,1 km/s com uma potência de 0,19 Mton. A cratera transiente teria 450 m e a cratera final 550 m de diâmetro e 120m de profundidade. Um depósito de rochas fraturadas abaixo do fundo (plano) da cratera pode ter 50 m de profundidade. A baixa velocidade (< 12 km/s) do meteorito produz poucas brechas fundidas (IM) e pouca vaporização de rochas. Um terremoto de 4.1 na escala Richter levou 1 segundo para percorrer 5 km do centro do impacto. A essa distância a onda de choque do ar chega em 15 segundos com uma velocidade de 24 m/s. A floresta num raio de 1 km perdeu todas as folhas e galhos, as rochas incandescentes incendiaram o que restou da vegetação na área.



Na imagem acima, o mapa da cratera da Panela foi confeccionado a partir de foto aérea de um vôo de 1967 do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). A elipse vermelha localiza a borda da cratera. Na pequena foto à direita, acima, vista externa do norte, a 1,3 km de distância da estrutura. Na foto do meio, vista externa do sul, a 1 km. Na foto a esquerda, abaixo, mosaico a partir da borda sul da cratera, mostra o seu interior. A foto da direita mostra o detalhe da coroa de rochas, A coroa pode ter se formado pela reação contrária à força do choque do meteorito sobre as rochas fragmentadas do fundo. Essa feição confere a cratera aspecto único e inédito entre todas as crateras encontradas na Terra.

A primeira ação para promover a preservação e incentivar o uso científico e ecológico da cratera da Panela, é através da instalação de um parque municipal. A manutenção de uma área de preservação ambiental permanente (APA) exige a gestão participativa da população da região do entorno da estrutura, localizada no Município da Santa Cruz da Baixa Verde, no estado de Pernambuco, Brasil.



9º Encontro Nacional de Astronomia

Brasília, DF - 2 a 4 de novembro de 2006

AGRADECIMENTOS

Foram muitas as pessoas e instituições, em mais de uma década de pesquisas sobre a cratera da Panela, que participaram, incentivaram, questionaram, apoiaram. Agradecimento especial aos geólogos Lucila Borges e Paulo Barros Correia da UFPE, aos astrônomos Oscar Matsuura e Arno Picazzio do IAG, a Sociedade Astronômica do Recife, ao Espaço Ciência e a Prefeitura da Cidade do Triunfo, a astrônoma Rosely Gregório da REA, aos geólogos Adjardo Silva da UFPE e Álvaro Crosta da UNICAMP, a assessora de intercâmbio estrangeiro Sra. Roswitha Paul-Walz e ao geólogo Bernd-Dietrich Erdtmann da TU-Berlin, a Prefeitura da Cidade da Santa Cruz da Baixa Verde. Agradecimentos também ao apoio e interesse demonstrado pela comunidade local, e aos autores das referências bibliográficas utilizadas nessa pesquisa, que disponibilizaram informações na rede mundial de computadores, através de imagens, textos, e-mails.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Impactites

Homepages of Jarmo Moilanen

Different Types of Impactites

<http://www.somerikko.net/old/geo/col/impactites.htm>

Impactite, The Meteorite Children

Mark Bostick

http://www.meteorite-times.com/Back_Links/2002/June/collectors_corner.htm

ERNSTSON CLAUDIN ESTRUTURAS DE IMPACTO

<http://www.estruturas-de-impacto.impact-structures.com/>

The PASSC website, Planetary and Space Science Center do Canada

The Earth Impact Database

<http://www.unb.ca/passc/ImpactDatabase/>

Mystery of Arizona's Meteor Crater Solved

http://www.space.com/scienceastronomy/050309_meteor_crater.html

EFFECTS ON IMPACT CRATER FORMATION. John D. O'keefe, Sarah T. Stewart, International Journal of Impact Engineering.

<http://www.fas.harvard.edu/~planets/sstewart/reprints/OKeefeEtAlHVIS2000.pdf>

Earth Impact Effects Program

Robert Marcus, H. Jay Melosh, and Gareth Collins

<http://www.lpl.arizona.edu/impac effects/>

Para saber mais sobre Astroblemas e Crateras Brasileiras:

ASTROMANUAL

<http://rgregio.astrodatabase.net/>