

Domo de Araguainha, GO/MT

O maior astroblema da América do Sul

SIGEP 1

Alvaro P. Crósta¹

O Domo de Araguainha é o maior astroblema conhecido na América do Sul. Trata-se de uma cratera erodida de natureza complexa, com 40 km de diâmetro, formada próxima ao limite Permiano-Triássico (245 Ma). Esta estrutura é o resultado da colisão de um corpo celeste contra a superfície da Terra, representada à época por uma plataforma marinha rasa. As rochas afetadas pelo impacto incluem desde o embasamento cristalino (granito) de idade pré-devoniana, que se encontra exposto no centro do núcleo soerguido do astroblema, com 6,5 km de diâmetro, até unidades sedimentares Paleozóicas da Bacia do Paraná (formações Furnas, Ponta Grossa, Aquidauana e Estrada Nova), dispostas de forma anelar ao redor do núcleo da estrutura. As feições de metamorfismo de impacto reconhecidas em Araguainha incluem a presença de shatter cones em arenitos da Formação Furnas, diversos tipos de brechas de impacto, feições planares em grãos de quartzo, feldspato e mica, tanto no embasamento granítico quanto nas brechas, feições de intensa deformação e bombas de impacto compostas por hematita.

Araguainha Dome - States of Goiás and Mato Grosso - The largest astrobleme in South America

Araguainha Dome is the largest known astrobleme in South America. It is a 40-km wide eroded complex crater, formed near to the Permian-Triassic boundary (245 Ma), when a celestial body struck what was probably a shallow sea. The rocks affected by the impact include the pre-devonian crystalline basement (granite) exposed at the center of the 6,5-km wide central uplifted core of the astrobleme and sedimentary units from the Paleozoic Paraná Basin (Furnas, Ponta Grossa, Aquidauana and Estrada Nova formations), disposed in rings around the central uplift. Impact metamorphic features include shatter cones in sandstones from the Furnas Formation, several types of impact breccias, planar features in quartz, mica and feldspar from granites and from breccias, severe deformation and hematite impact bombs.

INTRODUÇÃO

A colisão de corpos celestes é atualmente considerada um fenômeno geológico comum em todo o sistema solar e reconhecido como um processo dominante nas fases iniciais da história geológica de muitos corpos planetários, incluindo a Terra (Grieve, 1987). O inventário mais recente de crateras da Terra, elaborado por Grieve *et al.*, (1995), lista cerca de 150 crateras de impacto (ou astroblemas) e campos de crateras conhecidos, sendo que entre 3 a 5 novas crateras são descobertas a cada ano. Este autor destaca que esta é apenas uma amostragem restrita e tendenciosa de um número provavelmente bem mais elevado de crateras existentes na Terra. A maioria delas tem idades de formação inferiores a 200 Ma e são geralmente localizadas em áreas cratônicas estáveis na América do Norte, no norte da Europa e oeste da Rússia, áreas que têm sido objeto de pesquisas específicas em busca de novas estruturas de impacto.

Em corpos planetários destituídos de atmosfera, ou que possuem atmosferas rarefeitas, e também naqueles que retiveram porções de suas crostas primordiais, como por exemplo a Lua, crateras de impacto constituem o aspecto dominante da morfologia superficial, sendo responsáveis pela maioria das feições topográficas e estratigráficas. Ao contrário desses corpos, a superfície da Terra apresenta comparativamente poucas crateras de impacto, devido à sua dinâmica geológica superficial bastante ativa, que contribuiu para remover, mascarar ou modificar o registro de formação de crateras terrestres ao longo do tempo geológico.

Apenas onze crateras de impacto são conhecidas em toda a América do Sul, sendo oito delas localizadas no Brasil: Domo de Araguainha (GO-MT), Serra da Cangalha (TO), Vargeão (SC), São Miguel do Tapuio (PI), Colônia (SP), Cerro Jarau (RS) e Piratininga (SP) (Crósta, 1987; Hachiro *et al.*, 1996). Outras duas crateras estão localizadas na Argentina (Campo del Cielo e Rio Cuarto) e uma terceira no Chile (Monturaqui). De todas as crateras de impacto na América do Sul, o Domo de Araguainha é a de maior dimensão, possivelmente a mais antiga e a que foi submetida a estudos geológicos de detalhe.

O Domo de Araguainha cobre uma área aproximada de 1.300 km², exibindo um diâmetro de 40 km. Este astroblema se formou sobre rochas sedimentares da Bacia do Paraná e de seu embasamento. A primeira referência à existência de uma estrutura dômica em Araguainha foi feita por Northfleet *et al.*,

(1969). Esses autores interpretaram a estrutura como resultante de uma intrusão sienítica de idade Cretácea, que teria soerguido e deformado os sedimentos fanerozóicos na forma de um domo.

Em vista desta proposição, e considerando o potencial econômico relacionado ao magmatismo alcalino representado pela Formação Iporá (Cretáceo) em outras regiões do Estado de Goiás, Silveira F^o & Ribeiro (1971) conduziram trabalhos de reconhecimento geológico no Domo de Araguainha. Estes autores descreveram a estrutura como do tipo criptovulcânico, tendo ao centro um bloco granítico pertencente ao embasamento cristalino da Bacia do Paraná. Ainda de acordo com esses autores, a porção central do Domo encontrava-se circundada por rochas vulcânicas (lavas, brechas e tufos) de composição traquítica e por sedimentos Paleozóicos deformados tectonicamente.

Dietz & French (1973) e Dietz *et al.*, (1973) propuseram uma nova hipótese para a formação do Domo de Araguainha, relacionando-o ao evento de impacto de um corpo celeste de grandes dimensões contra a superfície da Terra. Essa proposição foi baseada no reconhecimento de feições de metamorfismo de choque em amostras coletadas no centro do Domo, tais como *shatter cones* e feições planares (lamelas de choque) em grãos de quartzo, com orientações cristalográficas correspondentes aos planos {1013}, {1012}, {1122} e {1121}, bem como na ocorrência de brechas de impacto ao redor de seu núcleo.

Crósta *et al.*, (1981) e Crósta (1982) apresentaram os resultados de mapeamento geológico, as características geomorfológicas e estruturais, bem como a análise petrográfica de amostras do embasamento granítico, das brechas de impacto e da Formação Furnas, todas elas exibindo evidências de metamorfismo de choque. Esses resultados reforçaram a origem da estrutura por impacto de um corpo celeste. Dentre as evidências desse fenômeno por eles reconhecidas estão a ocorrência de *shatter cones* em arenitos da Formação Furnas em duas localidades diferentes, lamelas de choque em quartzo, feldspato e mica, mudanças do estado cristalino para o estado amorfo em minerais com ausência de fusão, com a fase vítrea retendo as características morfológicas e texturais da fase cristalina, e *kink bands* em diversos minerais. Crósta (1982) apresentou também o resultado da datação isotópica do embasamento granítico submetido ao metamorfismo de choque aflorante no centro da estrutura, através do método K-Ar. O autor

obteve uma idade de $283,6 \pm 17,2$ Ma para o K-feldspato, ressaltando que esta idade deveria ser interpretada como uma idade mista entre a formação do granito (Pré-Devoniano) e o evento de impacto, uma vez que o estágio de choque da amostra granítica analisada não era avançado o suficiente para que tivesse ocorrido a total desgaseificação do Ar preexistente. Já para a porção máfica da mesma amostra granítica, a idade obtida foi de $362,6 \pm 13,2$ Ma, que representa também uma idade anormalmente jovem para o embasamento granítico da Bacia do Paraná.

Theilen-Willige (1981), em estudos geológicos do Domo de Araguainha, destacou que as evidências geomorfológicas, petrográficas e geofísicas encontradas suportavam a origem da estrutura por impacto de meteorito. Dentre essas evidências estavam o formato circular da estrutura, a morfologia relacionável a outras crateras de impacto conhecidas, incluindo um núcleo central soerguido, sucessão de colinas, escarpas e vales dispostas de forma anelar, feições de metamorfismo de choque, presença de suevito e de brechas de impacto, ocorrência de *shatter cones* e de uma anomalia magnética negativa no centro da estrutura.

Deutsch *et al.*, (1992), a partir da datação isotópica de duas amostras do Domo de Araguainha, estimaram um limite superior para o evento de impacto em 243 ± 19 Ma, baseados em uma idade modelo Rb-Sr para produtos de alteração da cordierita de uma amostra de material fundido pelo impacto (matriz cristalina de granulação fina com quartzo, albita, K-feldspato, biotita, titano-magnetita, ilmenita, hematita e barita). Para uma amostra do embasamento granítico proveniente do núcleo central, parcialmente afetada pelo choque, os autores obtiveram uma isócrona Rb-Sr com idade de 449 ± 9 Ma. Esses resultados situaram o evento de impacto próximo ao limite Permiano-Triássico.

Engelhardt *et al.*, (1992) apresentaram um estudo petrográfico e geoquímico detalhado da parte interna do núcleo central com 6,5 a 8 km de diâmetro, enfocando o embasamento granítico e as brechas. Eles apresentaram um mapa geológico da porção interna do núcleo central, mostrando a distribuição de três tipos de brechas: brecha de impacto com a matriz fundida, brechas polimíticas de impacto e brechas monomíticas de impacto de arenitos. Os autores também identificaram a ocorrência de diques de cor avermelhada cortando o granito, com espessuras entre 10 e 100 cm e dezenas de metros de comprimento, compostos por misturas cataclásticas de material granítico com feições de choque, material granítico sem feições de choque e materiais graníticos fundidos. Esses diques foram intrudidos no granito em condições de *stress* extensional, provavelmente durante o processo de soerguimento do assoalho granítico da cratera transitória, na fase de

modificação do impacto. Os autores também analisaram a idade do evento de impacto, utilizando datação pelo método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ em amostras de material fundido pelo impacto da unidade inferior das brechas polimíticas, que revelaram idades de $247 \pm 5,5$ e $245,8 \pm 5,5$ Ma, para duas diferentes frações granulométricas da mesma amostra. Essas idades confirmam a ocorrência do evento de impacto próximo ao limite Permiano-Triássico.

Hammerschmidt & Engelhardt (1995) apresentaram os resultados de uma segunda datação do impacto pelo método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$. Duas frações granulométricas de uma amostra de material fundido forneceram idades-platô de $245,5 \pm 3,5$ Ma e $243,3 \pm 3,0$ Ma, respectivamente, confirmando que o evento de impacto de Araguainha ocorreu próximo ao limite Permiano-Triássico. A idade de desgaseificação total de biotitas do granito do núcleo da estrutura forneceu valores variando entre 326 a 481 Ma, sendo essa variação explicada pelos autores como decorrente da perda de Ar. Eles interpretaram a idade mais antiga obtida para a biotita como uma evidência de que o granito, durante o processo de ascensão, passou pela isoterma de 300°C antes de 481 Ma, o que lhe confere portanto uma idade pré-devoniana.

Masero *et al.*, (1994) e Fischer & Masero (1994) realizaram um levantamento magnetotelúrico cortando o Domo de Araguainha, com o objetivo de determinar a profundidade do embasamento cristalino sob a estrutura e também de estimar a altura do soerguimento de seu núcleo central. Eles concluíram que o embasamento forma um anel simétrico bem definido a uma profundidade de 1.000 metros, entre os raios de 9 e 20 km a partir do centro, decaindo externamente após o raio de 20 km. No interior desse anel e em direção ao centro, o topo do granito se eleva até aflorar a cerca de 1,5 a 2 km do centro. Masero *et al.*, (1997), através de modelagem 2-D e 3-D dos dados magnetotelúricos, descobriram um corpo de formato discóide no interior do granito a profundidades entre 3 e 7 km, caracterizados por valores de resistividade abaixo do valor bruto da crosta superior. Eles relacionam tal anomalia a processos de falhamento e brechação induzidos pelo impacto.

Hippert & Lana (1988) estudaram bombas de impacto que ocorrem em associação com as brechas polimíticas de impacto no núcleo central do Domo de Araguainha. As bombas contêm partículas de quartzo com feições de metamorfismo de choque, capturadas durante seu resfriamento em trajetória balística, e exibem um enriquecimento em elementos do grupo da platina (Rh-4x, Pd-5x, Pt-30x) em relação às rochas da região.

LOCALIZAÇÃO

O centro do Domo de Araguainha está localizado nas coordenadas 16° 47' S e 52° 59' W, entre as localidades de Araguainha e Ponte Branca, no Estado do Mato Grosso (Figura 1). O Rio Araguaia corta a estrutura ao meio, separando-a em duas partes, localizadas respectivamente nos Estados de Mato Grosso e Goiás.

O Domo pode ser facilmente acessado por estrada, a partir de Goiânia ou de Cuiabá, utilizando-se a BR-364. A localidade de Ponte Branca, na borda NE da estrutura, encontra-se a 100 km de distância da rodovia BR-364, sendo acessível através de uma estrada não-pavimentada que se inicia nesta rodovia e segue até Barra do Garças (MT). Outra estrada não-pavimentada, a MT-306, liga as localidades de Ponte Branca e Araguainha, atravessando o núcleo central do Domo, que se situa entre essas duas localidades, mais próximo a Araguainha. Alguns dos melhores afloramentos das unidades geológicas que ocorrem no núcleo soerguido (arenitos Furnas e embasamento granítico afetados por choque, brechas de impacto e shatter cones) são encontrados em cortes nessa estrada, ou próximos a ela (Figuras 3 e 4).

DESCRIÇÃO

Morfologia

O Domo de Araguainha forma uma notável estrutura anelar, consistindo de um núcleo central soerguido, depressões e vales anelares, arcos de colinas isoladas e terraços escarpados. A Figura 2 mostra uma imagem Landsat MSS na banda 7, trazendo uma vista geral do astroblema e evidenciando seu aspecto circular.

Uma pequena bacia de formato elíptico constitui o centro do núcleo soerguido, correspondendo em sua maior parte à área de exposição do embasamento granítico. Um anel interno de elevações, formado principalmente pelo granito deformado pelo choque e por brechas de impacto sobrejacentes (Figura 5), circunda essa bacia, que é drenada pelo Córrego Seco. Este anel é por sua vez circundado por outro anel de montanhas e picos, tendo entre 6,5 e 8 km de diâmetro, formado por arenitos devonianos da Fm. Furnas, cujas camadas mergulham em alto ângulo, chegando a 90° em alguns pontos. Na porção norte do núcleo central, os blocos de arenito Furnas encontram-se localmente metamorfozados por choque em quartzitos, alcançando até 150 m de altura em relação às áreas circunvizinhas.

O núcleo central é circundado por uma depressão anelar, com um piso ligeiramente ondulado

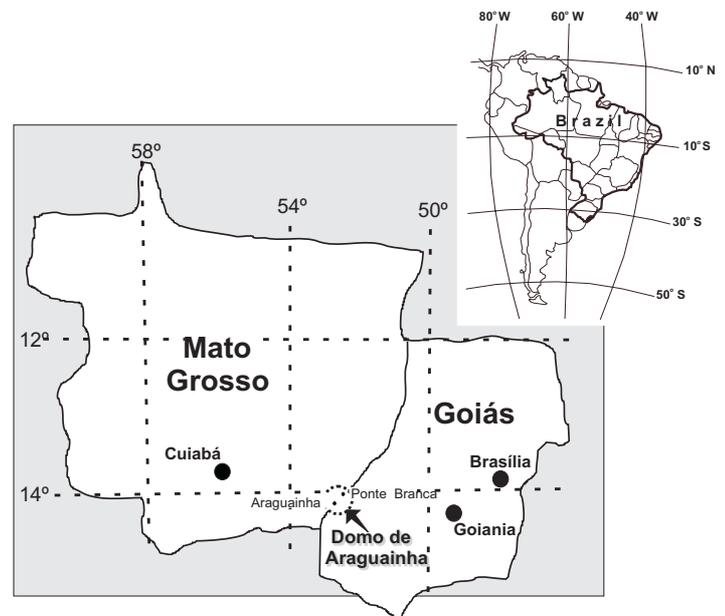


Figura 1. Localização do Domo de Araguainha
Figure 1. Location of the Domo de Araguainha

e algumas poucas colinas isoladas, correspondendo às áreas de exposição da Fm. Ponta Grossa (Devoniano) e da Fm. Aquidauana (Carbonífero). De acordo com a descrição geomorfológica do Domo feita por Theilen-Willige (1981), o aspecto mais conspícuo do astroblema de Araguainha é a existência de múltiplos anéis concêntricos formados por cristas, colinas, faixas deprimidas e vales. As cristas anelares foram cortadas por sistemas de drenagem. Crósta (1982) mostrou que essas feições morfológicas são controladas por sistemas de falhas anelares e radiais, típicas de estruturas de impacto. A depressão anelar principal é cortada pelo Rio Araguaia, que nela instalou o seu vale.

A borda externa do Domo de Araguainha é constituída por cristas, representando os remanescentes de grabens semi-circulares, formados por falhas anelares de colapso que mergulham em direção ao centro da estrutura. Estes grabens contêm sedimentos permianos do Grupo Passa Dois/Formação Estrada Nova, altamente deformados.

Em termos gerais, o Domo de Araguainha é uma cratera de impacto profundamente erodida, ou um astroblema. A profundidade de escavação induzida pelo impacto foi estimada por Engelhardt *et al.*, (1982) em 2.400 m, que representam 1/10 do diâmetro da cratera inicialmente formada (cratera transitória, formada imediatamente após o impacto), estimada por eles em 24 km. Este diâmetro da cratera transitória representa, por sua vez, 60% do diâmetro final da cratera (40 km).

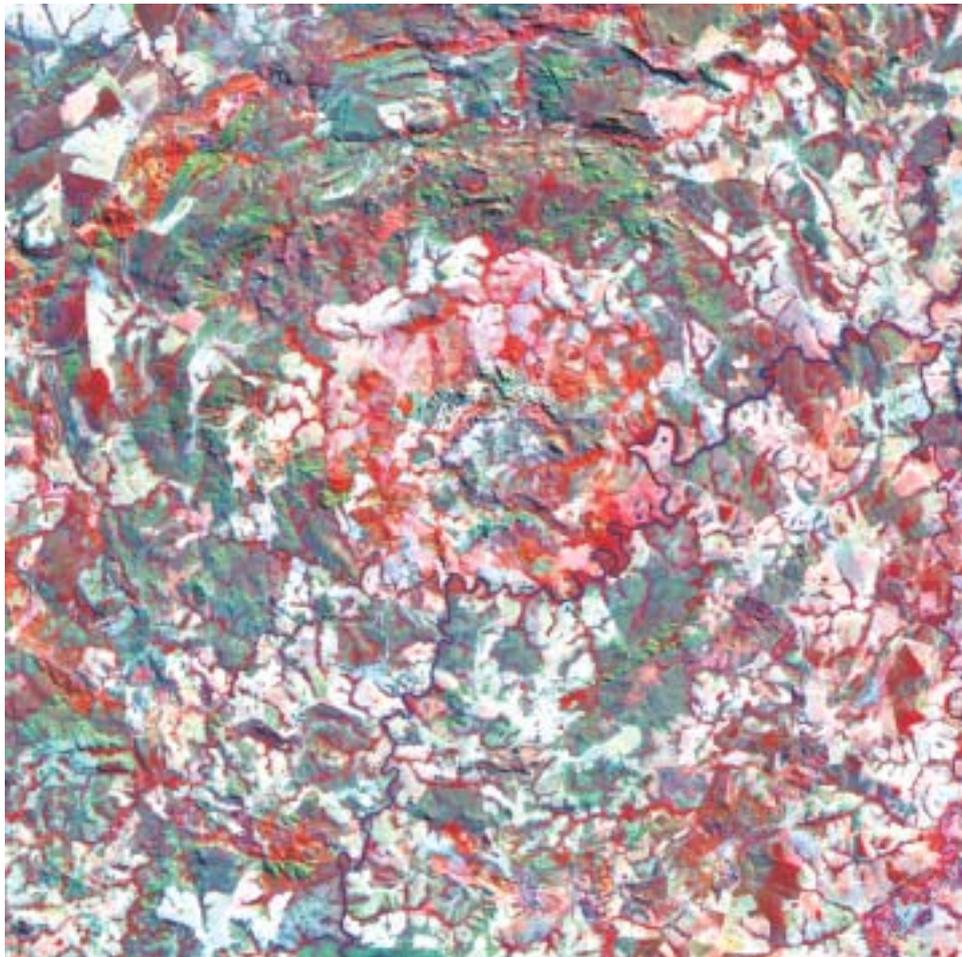


Figura 2. Domo de Araguainha (GO/MT) numa composição colorida das bandas 4, 5 e 3 (infravermelha e falsa-cor) do satélite Landsat, sensor Thematic Mapper. A imagem cobre uma área de 40 por 40 km.

Figure 2. Araguainha Dome (States of Goiás and Mato Grosso) in a colour composition (channels 4, 5 e 3 - infrared and false colour) of Landsat satellite (Thematic Mapper). The image covers an area of 40 × 40 km.

Figura 3. Vista externa do núcleo soerguido do Domo de Araguainha. As camadas de arenitos devonianos da Fm. Furnas, com mergulhos quase verticais, formam as montanhas com até 150 m. de altura, que se destacam no relevo.

Figure 3. External view of the central uplift showing its morphology. Folded and steeply inclined sandstones of the Devonian Furnas Formation form the hills, reaching up to 150 meters in height.



Geologia

O mapa geológico apresentado na Figura 4 mostra a distribuição das principais unidades geológicas que ocorrem na área do Domo de Araguainha. A geologia do núcleo soerguido é apresentada em maior detalhe na Figura 5. A descrição que se segue é baseada principalmente nos trabalhos de Crósta (1981) e Engelhardt *et al.*, (1982), concentrando-se nas feições de metamorfismo de choque. Essas feições ocorrem no núcleo soerguido, abrangendo litologias do embasamento granítico, da Fm. Furnas, bem como as brechas formadas pelo próprio impacto.

Embasamento granítico

Os afloramentos do embasamento granítico na porção interna do núcleo soerguido são constituídos por um granito alcalino. Embora algumas das características originais dessa rocha possam ainda ser observadas, todos os afloramentos exibem feições de metamorfismo de choque de algum tipo. A textura do granito varia de hipidiomórfica a porfirítica, com predominância de granitos porfiríticos com fenocristais de K-feldspato com até 5 cm de comprimento. Os minerais constituintes principais são quartzo, K-feldspato, albita, biotita e muscovita, ocorrendo como acessórios zircão, turmalina e calcita.

As rochas do embasamento granítico, assim como as brechas, exibem a maioria das feições de

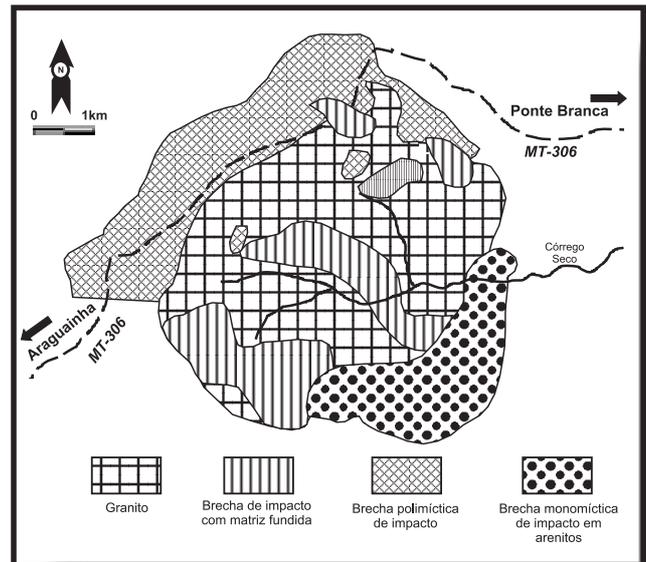


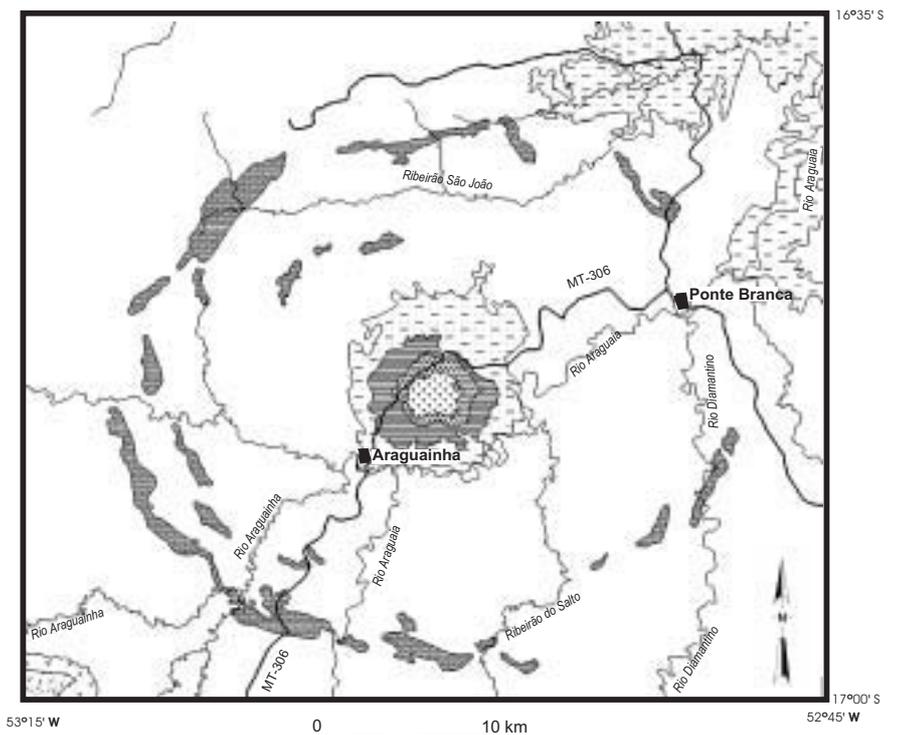
Figura 5. Mapa geológico da porção interna do núcleo soerguido (Engelhardt *et al.*, 1992).

Figure 5. Geologic map of the inner portion of the central uplift (after Engelhardt *et al.*, 1992)

Figura 4.- Mapa Geológico do Domo de Araguainha (Crósta, 1982)

Figure 4.- Geologic Map of Domo de Araguainha - Brazil (Crósta, 1982)

- Fm. Cachoeirinha (Terciário)** - sedimentos areno-argilosos inconsolidados.
- Gr. São Bento/Fm. Serra Geral (Juráico-Cretácico)** - basaltos toleíticos
- Gr. Passa Dois/Fm. Estrada Nova (Permiano)** - siltitos, argilitos, folhelhos e arenitos, com níveis de chert
- Gr. Tubarão/Fm. Aquidauana (Carbonífero)** - arenitos de granulação grosseira a média.
- Gr. Paraná/Fm. Ponta Grossa (Devoniano)** - arenitos, siltitos e folhelhos com concreções ferruginosas.
- Gr. Paraná/Fm. Furnas (Devoniano)** - arenitos finos a médios, com conglomerado basal.
- Brechas suevíticas** - brechas de impacto com matriz fundida, brechas polimíticas e brechas monomíticas.
- Embasamento granítico (Ordoviciano)** - granito alcali-feldspático porfirítico a hipidiomórfico.



deformação induzidas por impacto no Domo de Araguainha. O tipo mais comum é o desenvolvimento de estruturas planares de deformação (lamelas de choque) em quartzo (Figura 6a). Até quatro conjuntos diferentes de feições planares foram observados por Engelhardt *et al.*, (1992) em um único grão de quartzo do embasamento granítico. Crósta (1992) descreveu a ocorrência dessas feições de choque também em grãos de feldspato e mica (Figura 6b). A presença da feição com orientação cristalográfica correspondente ao plano {1012} indica que o granito que hoje aflora no núcleo soerguido de Araguainha foi submetido a pressões de pico que alcançaram entre 20 e 25 GPa.

Engelhardt *et al.*, (1992) descreveram a ocorrência de diques de cor avermelhada, com espessuras entre 10 e 100 cm, e de veios de brecha cortando o granito. Os diques são compostos de fragmentos angulares de minerais exibindo textura fluidal. Fragmentos de quartzo no interior desses diques mostram feições planares de deformação ou encontram-se recristalizados, formando mosaicos de cristais entrelaçados. Indicações incipientes de fusão são observáveis em grãos de quartzo e feldspato e a ocorrência de vidro é bastante comum nesses diques. Os veios de brecha atingem alguns centímetros de espessura e são compostos por fragmentos angulares de granito e minerais formadores de granito. Esses diques e veios são interpretados pelos autores como misturas de material granítico original, submetido a choque e fundido, que foi intrudido no granito em condições de *stress* extensional. Vários tipos de feições de deformação no granito são descritos por Crósta *et al.*, (1981) e Engelhardt *et al.*, (1992), incluindo deformação rúptil e dúctil em grãos minerais (deformação intragranular) e movimento de grãos minerais entre si (deformação intergranular). Esses autores descrevem também feições do tipo extinção ondulante em K-feldspato, *kink-bands* em micas e plagioclásio, desintegração de grãos de quartzo ao longo de fraturas de *stress*, transformação seletiva de minerais (principalmente feldspato) para a fase amorfa (vítrea) com ausência de fusão, oxidação geral de minerais portadores de Fe (principalmente biotita), entre outros.

Brechas de impacto

As brechas de impacto ocorrem no núcleo central do Domo de Araguainha cobrindo e/ou circundando o embasamento granítico. Pelo menos três tipos diferentes de brechas foram descritos por Crósta

(1982) e posteriormente mapeados por Engelhardt *et al.*, (1992): brechas de impacto com matriz fundida (IBM), brechas polimíticas e brechas monomíticas de arenitos.

As brechas IBM cobrem o embasamento granítico, mostrando cores que variam do cinza claro ao cinza escuro, com inclusões de grãos de quartzo e feldspato com formatos irregulares a retangulares, caracterizadas por texturas fluidais (Figura 7a). Resultados de análises químicas apresentados por Engelhardt *et al.*, (1992) mostram que as brechas do tipo IBM e o granito são idênticos em termos de elementos maiores e elementos-traço.

As brechas polimíticas em sua maior parte circundam o embasamento granítico em suas porções norte e noroeste. Elas são bem expostas em cortes ao longo da estrada MT-306, entre Araguainha e Ponte Branca, mostrando-se como uma massa não-estratificada de constituintes com vários formatos, variando entre irregular e angular (Figura 7b). Estes fragmentos são de granito e de rochas sedimentares das várias unidades estratigráficas que ocorrem na região do Domo (principalmente formações Furnas, Ponta Grossa e Aquidauana) e possuem dimensões variando entre poucos metros até centímetros. A textura fluidal indica movimentos turbulentos de fluxo, assim como o formato distorcido de alguns componentes mostra que os mesmos foram deformados de forma plástica.

Brechas monomíticas de arenitos foram encontradas nas elevações que bordejam as porções sul e sudeste da bacia de drenagem do Córrego Seco. Sua área de ocorrência é relativamente desprovida de afloramentos e geralmente coberta por vegetação de cerrado, sendo que as poucas amostras descritas por Engelhardt *et al.*, (1992) são representadas por arenitos quartzosos com grãos angulosos, termicamente alterados.

Shatter Cones

Shatter cones, juntamente com as feições planares de deformação em grãos de quartzo, encontram-se entre as evidências melhor estabelecidas e aceitas da ocorrência de eventos de impacto de corpos celestes, uma vez que tais fenômenos são encontradas exclusivamente em associação com crateras de impacto em vários locais do mundo. A primeira menção da ocorrência de *shatter cones* no Domo de Araguainha foi feita por Dietz *et al.*, (1973) e detalhada por Crósta *et al.*, (1981) e Theilen-Willige (1981).

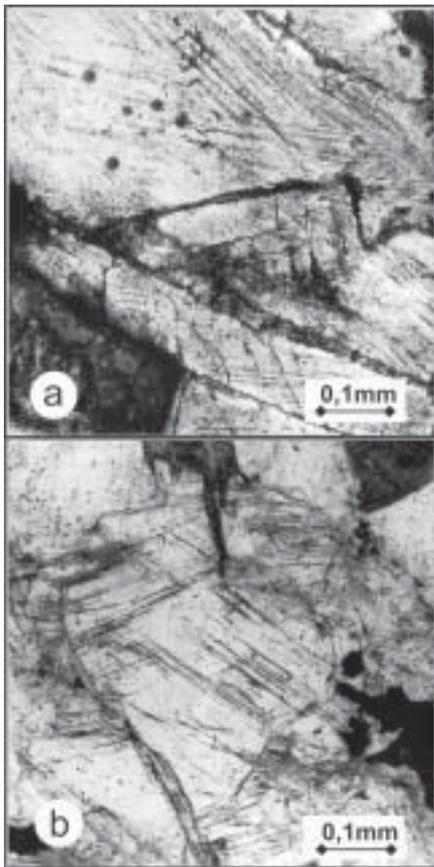


Figura 6. Feições de deformação planar (lamelas de choque) em grãos de quartzo **(a)** e muscovita **(b)** provenientes de amostras do granito submetido a choque. Dois conjuntos de feições planares podem ser observados para cada mineral

Figure 6. Planar deformation features (shock lamellae) in quartz **(a)** and muscovite **(b)**, from the shocked granite. Two sets of deformation features can be seen in each mineral.

Os *shatter cones* formaram-se nos arenitos da Fm. Furnas que circundam o embasamento granítico e as brechas de impacto, nas porções oeste e Noroeste do núcleo soerguido do Domo de Araguainha. Eles são constituídos por agregados de estruturas cônicas (Figura 8), com cada cone individual alcançando até 10 centímetros em comprimento. Os arenitos de cor cinza exibem feições de recristalização e cataclase de grãos de quartzo e mica, induzidas por choque. Shatter cones foram ainda descritos por Engelhardt *et al.*, (1982) em fragmentos de arenitos encontrados no interior das brechas de impacto.

Bombas Hematíticas

Agregados de hematita foram descritos em associação com brechas de impacto no Domo de

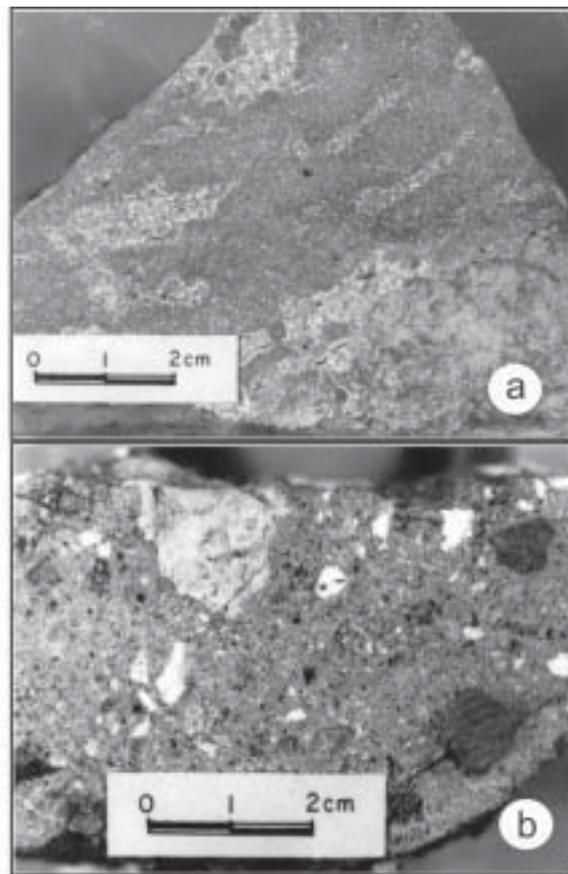


Figura 7. Aspectos macroscópicos das brechas de impacto. **(a)** Brecha de impacto com matriz fundida; **(b)** brecha polimítica com fragmentos angulares de granito, arenito e outros componentes.

Figure 7. Macroscopic aspects of impact breccias. **(a)** Impact breccia with melt matrix; **(b)** Polymict breccia with angular fragments of granite, sandstone and other components.

Araguainha por Crósta *et al.*, (1981) e por Engelhardt *et al.*, (1992). Análises por microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura (SEM) realizadas por Hippert e Lana (1998) revelaram que esses agregados eram bombas de impacto. Estas bombas mostram uma geometria externa assimétrica, com lados convexos e côncavos, que também correspondem à sua estrutura interna, constituída por hematita porosa no lado convexo e hematita maciça no lado côncavo (Figura 9a). Ambos os tipos de hematita são por sua vez compostos por um agregado de unidades individuais com uma geometria cônica e exibindo uma estrutura morfológica em formato de pena quando vista em seções longitudinais (Figura 9b). De acordo com os autores, estas microestruturas refletem um processo de resfriamento bem ventilado, que ocorreu durante sua trajetória balística pós-impacto.

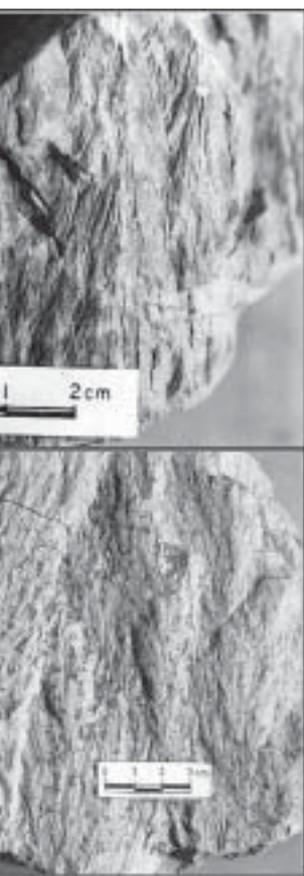


Figura 8. *Shatter cones* em arenitos da Fm. Furnas.

Figure 8. *Shatter cones in sandstone of the Devonian Furnas Formation.*

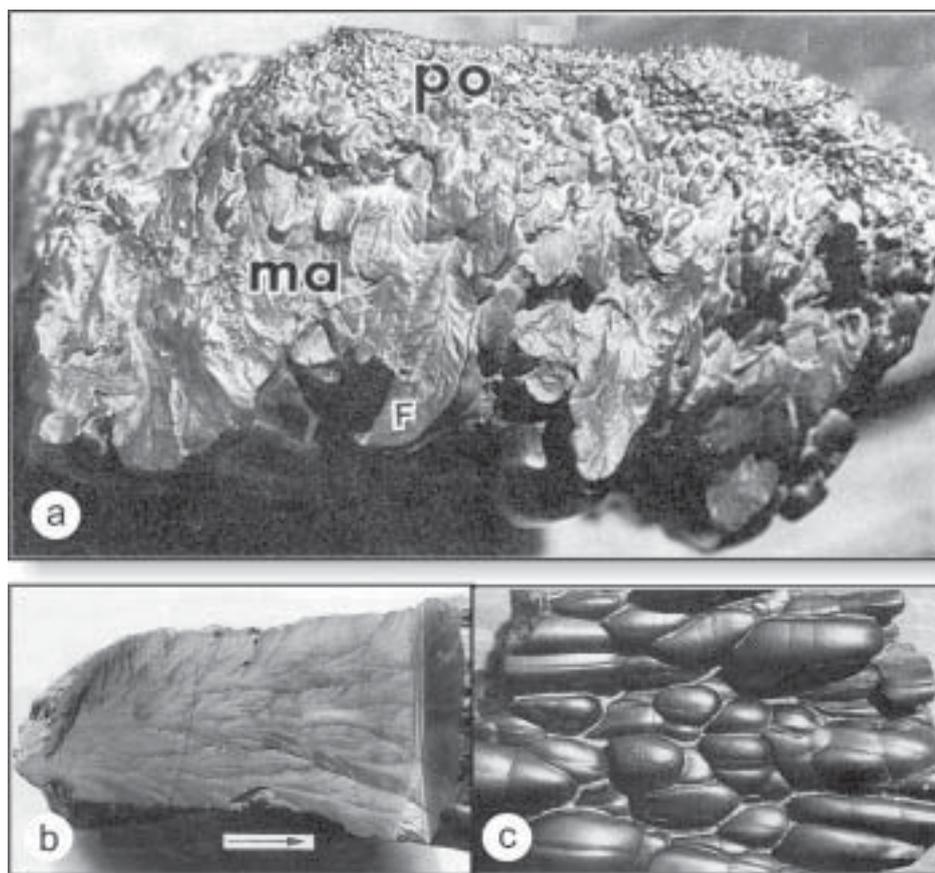


Figura 9. Bombas hematíticas. (a) Transição entre hematita dos tipos maciça (ma) e porosa (po), associados respectivamente às porções dianteira e traseira das bombas. Estrutura em formato de pena (F) que ocorre no domínio do tipo maciço; (b) Seção transversal mostrando um detalhe da estrutura em formato de pena. A seta indica ablação atmosférica durante a trajetória balística da bomba; (c) morfologia da porção traseira da bomba (Hippert e Lana, 1998).

Figure 9. *Hematite bombs. (a) Transition between massive (ma) and porous (po) hematite associated with the front and the rear of the bombs, respectively. Feather-like structures (F) appears in the massive domain; (b) Transversal section, showing a detail of the feather-like structures. The arrow indicates the atmospheric ablation during the ballistic trajectory of the bomb; (c) morphology of the rear portion of the bomb (from Hippert and Lana, 1998)*

Fragmentos de quartzo exibindo feições planares de deformação ocorrem no domínio poroso, representando partículas sólidas que foram ejetadas e posteriormente capturadas pelas bombas durante seu resfriamento. Hippert e Lana (1998) realizaram também análise por ativação neutrônica das bombas hematíticas para detecção de elementos do grupo da platina. Foram encontrados enriquecimentos em Rh (4x); Ru, Ir e Pd (5x); e Pt (30x) em relação aos níveis usuais das unidades sedimentares da Bacia do Paraná. Os autores relacionaram esses enriquecimentos à presença de componentes derivados do corpo impactante nas bombas hematíticas.

MEDIDAS DE PROTEÇÃO

O Domo de Araguinha é um exemplo bem preservado de um astroblema complexo, repleto de

evidências macroscópicas e microscópicas de metamorfismo de choque. Como tal, esta estrutura é de importância única para o Brasil e para a América do Sul, representando um sítio de grande valor científico e cultural para o estudo permanente de eventos de impacto. Devido à sua idade, próxima do limite Permiano-Triássico, período em que ocorreu um dos maiores eventos de extinção de vida em massa da história da Terra, este sítio pode ainda assumir importância crítica no estudo dos eventos de extinção.

Assim como a maioria dos sítios de interesse geológico, a população que habita os domínios do Domo pouco sabe sobre sua origem e sobre os motivos pelos quais esta importante estrutura deve ser preservada. Um primeiro passo para a proteção deste sítio passa, portanto, pela conscientização da

população local para o seu valor enquanto patrimônio científico e cultural, bem como para a necessidade e as formas de preservação. Isto poderia ser alcançado através de um programa de educação e difusão, direcionado para os alunos das escolas locais e para os adultos que vivem nas localidades de Araguainha e Ponte Branca.

A grande maioria dos afloramentos que mostra evidências de metamorfismo de choque está localizada ao longo da estrada MT-306, ou bem próxima a ela. Estes afloramentos necessitam ser protegidos, uma vez que a maioria deles apresenta efeitos de intemperismo, o que torna as rochas bastante frágeis. Este é o caso particularmente dos *shatter cones* em arenitos da Fm. Furnas e das brechas de impacto. Serviços de manutenção e terraplanagem já danificaram vários exemplos bem expostos das brechas de impacto em cortes desta estrada, originalmente observados pelo autor por ocasião de sua primeira visita ao Domo, em 1978.

Um programa direcionado à preservação deste patrimônio exposto nos afloramentos do núcleo soerguido do Domo de Araguainha, combinado com um programa de educação e conscientização da população local, são portanto fortemente recomendados como medidas de proteção deste sítio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Crósta, A. P. 1982. *Mapeamento geológico do Domo de Araguainha utilizando técnicas de sensoriamento remoto*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos. Dissertação de Mestrado 90 p.
- Crósta, A. P. 1987. Impact structures in Brazil. In: J. Pohl (ed.) *Research in Terrestrial Impact Structures*. Wiesbaden, Vieweg & Sohn, 30-38.
- Crósta, A. P., Gaspar, J. C.; Candia, M. A. F 1981. Feições de metamorfismo de impacto no Domo de Araguainha. *Revista Brasileira de Geociências*, **11**: 139-146.
- Deutsch, A.; Buhl, D.; Langenhorst, F. 1992. On the significance of crater ages: new ages for Dellen (Sweden) and Araguainha (Brazil). *Tectonophysics*, **216**:205-218.
- Dietz, R. S.; French, B. M. 1973. Two probable Astroblemes in Brazil. *Nature*, **244**:561-562.
- Dietz, R. S.; French, B. M.; Oliveira, M. A. M. 1973. Araguainha Dome (Goiás) and Serra da Cangalha (Mato Grosso): probable astroblemes? In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 27, *Resumo das Comunicações*, **1**:102.
- Engelhardt, W. v.; Matthäi, S. K.; Walzebuck, J. 1992. Araguainha impact crater, Brazil. 1. The interior part of the uplift. *Meteoritics*, **27**:442-457.
- Fischer, G.; Masero, W. 1994. Rotational properties of the magnetotelluric impedance tensor the example of the Araguainha impact crater, Brazil. *Geophysical Journal International*, **119**:548-560.
- Grieve, R. A. F. 1987 Terrestrial impact structures. *Episodes*, **10**:86.
- Grieve, R. A. F.; Rupert, J.; Smith, J.; Therriault, A. 1995. The record of terrestrial impact cratering. *GSA Today*, **5**:189-196.
- Hachiro, J.; Coutinho, J. M. V.; Coimbra, A. M.; Fernandes, L. A. 1996. Fossil tracks of a falling star in the Cretaceous of the Paraná Basin (Brazil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências, Resumo das Comunicações*, **68**:618-619.
- Hammerschmidt, K.; Engelhardt, W. 1995. ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of the Araguainha impact structure, Mato Grosso, Brazil. *Meteoritics*, **30**:227-233.
- Hippert, J.; Lana, C. 1998. Aerial crystallization of hematite in impact bombs from the Araguainha astrobleme, Mato Grosso, central Brazil. *Meteoritics & Planetary Science*, **33**:1303-1309.
- Masero, W.; Schenegg, P. A.; Fontes, S. L. 1994. A magnetotelluric investigation of the Araguainha impact structure in Mato Grosso-Goiás, central Brazil. *Geophysical Journal International*, **116**:366-376.
- Masero, W.; Fischer, G.; Schenegg, P. A. 1997. Electrical conductivity and crustal deformation from magnetotelluric results in the region of the Araguainha impact, Brazil. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. **101**:271-289.
- Northfleet, A. A.; Medeiros, R. A.; Muhlmann, H. 1969. Reavaliação dos dados geológicos da Bacia do Paraná. *Boletim Técnico da Petrobrás*, **12**:291-346.
- Silveira Filho, N. C.; Ribeiro, C. L. 1971. Informações geológicas preliminares sobre a estrutura vulcânica de Araguainha, Mato Grosso. DNP/ Distrito Centro-Leste (*relatório interno*).
- Theilen-Willige, B. 1981. The Araguainha impact structure, Central Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, **11**:91-97.

¹ Instituto de Geociências - Universidade Estadual de Campinas - Caixa Postal 6152 - 13.081-970 Campinas-SP
alvaro@ige.unicamp.br