

Geração de um banco de dados de sensoriamento remoto de impacto de meteoritos no continente australiano e caracterização espectral da estrutura *Shoemaker*.

Rogério Amaro Machado ¹
Carlos Roberto de Souza Filho ¹

¹Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP
Caixa Postal 96 - 13416-000 - Campinas - SP, Brasil
{rogerio.machado, beto}@ige.unicamp.br

Abstract. According to Earth Impact Database (2006) there are today 26 recognized geologic structures as genuine craters of impact in the Australian continent. Amongst the recognition works of these structures published, few of them have been done in an attempt to characterize it through data and techniques of remote sensing. In this paper, from the digital processing of images ASTER/Terra, ETM+/Landsat 7 and SRTM (covering Australian craters), it was developed a data base of images and specific products derived from it (Figures RGB 2D; Topographical profiles; Figures RGB 3D and MEDs in false color) covering all these structures. This processing aimed at the study of morfometrics characteristics and, to establish spectral patterns for these structures that can be used "to track" the presence of similar materials in other localities, which can eventually correspond possible relicts of craters eroded.

Palavras-chave: impact craters, remote sensing, spectral signature, crateras de impacto, sensoriamento remoto, assinatura espectral.

1. Introdução

Imagens de sensoriamento remoto são fontes de dados cada vez mais utilizadas em estudos geológicos. A sua aplicação em estudos sobre crateras de impacto teve um impulso nos anos 90, passando a desempenhar um papel capital na busca e verificação de supostas crateras de impacto na Terra e, sobretudo, em outros corpos do Sistema Solar (Grieve, 1987; Garwin *et al.*, 1992; Hodge, 1994).

As novas possibilidades de estereoscopia ótica convencional, interferometria por radar e imageamento multiespectral de mais alta resolução entre as regiões do visível ao infravermelho termal do espectro eletromagnético, possibilitou cada vez mais, uma caracterização completa e confiável de crateras de impacto, munidos apenas dos dados digitais provenientes de sensores remotos.

Atualmente no nosso planeta, 174 estruturas geológicas são reconhecidas como crateras de impacto genuínas (*Earth Impact Database*, 2006). Entretanto, baseado nas atuais estimativas de fluxo de meteoritos na Terra e taxa de formação de crateras propostas por Bland & Artemieva (2003), ainda há centenas de crateras de impacto a serem descobertas em praticamente todos os continentes.

O continente australiano abriga hoje um total de 26 crateras reconhecidas como genuínas, sendo considerada uma das melhores "vitrines" para estudo de crateras por sensoriamento remoto por: (i) abranger grandes áreas com rochas expostas de idade proterozóica; (ii) excelente exposição de rochas sedimentares; e (iii) relativa estabilidade estrutural do Cráton Australiano durante toda a história da terra. Adicionalmente, a identificação de estruturas de impacto é favorecida pelas condições climáticas, semi-áridas à desérticas, características na maior parte da Austrália (Zumsprekel & Bischoff, 2005).

O presente trabalho tem como objetivo: (i) o processamento digital de imagens orbitais de sensoriamento remoto multiespectral (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and*

Reflection Radiometer (ASTER/ Terra) e *Enhanced Thematic Plus* (ETM+/Landsat 7) e dados altimétricos adquiridos pela *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), visando representar, em detalhe, as características morfométricas das 26 crateras australianas; (ii) a geração de um banco de dados, cobrindo todas as estruturas, compreendendo os seguintes produtos: (a) cartas-imagem de composição colorida falsa-cor (RGB) (ie., cartas-imagem 2D RGB); (b) perfis topográficos; (c) cartas-imagem dos modelos digitais de elevação (MDEs) em falsa cor (ie., cartas-imagens dos MDEs em falsa cor) e (d) modelos tri-dimensionais da paisagem geradas a partir da fusão dos MDEs com as imagens 2D RGB (ie., modelos 3D RGB). Este banco de dados e produtos associados foram organizados no ambiente de um Sistema de Informação Georreferenciadas (SIG); (iii) a análise, a partir de dados do sensor ASTER, das assinaturas espectrais, na região do infravermelho termal, de rochas afetadas por impacto que afloram no interior da cratera australiana *Shoemaker*.

O objetivo específico dessa análise foi realizar um estudo sobre a possibilidade de detecção de rochas mais propensas a hospedar feições de choque e definir técnicas de processamento digital de imagens capazes de discriminá-las e identificá-las.

2. Metodologia

Na primeira etapa buscou-se representar, em detalhe, as características morfométricas das 26 crateras australianas a partir do processamento digital dos dados ASTER/Terra, ETM+/Landsat 7 e SRTM.

2.1.1 Busca e aquisição das cenas ASTER, ETM+ e SRTM cobrindo as crateras e seus arredores

A busca e aquisição dos dados ASTER e ETM+ foram realizadas no *site* do USGS: <http://edcdaac.usgs.gov/aster/glovis.asp>. Os dados SRTM foram selecionados e obtidos pelo *site* da NASA: <ftp://e0mss21u.ecs.nasa.gov/srtm/>.

Os dados SRTM e ETM+ foram utilizados de forma complementar aos dados do sensor ASTER, ou seja, nas situações onde (i) as áreas de interesse não possuem cobertura ASTER adequada; (ii) ou em casos de crateras de grande diâmetro, de difícil ajuste ao tamanho total de cada cena ASTER, de 60x60km.

2.1.2 Processamento digital dos dados visando a caracterização morfométrica

Todas as imagens obtidas foram processadas primeiramente no *software* ENVI 4.0 para os seguintes fins: (a) geração de imagens na forma de composições coloridas falsa cor a partir da combinação das bandas ASTER (3N,2,1 RGB), e das bandas ETM+ (4,3,2 RGB), nas resoluções de 15m e 28.5m, respectivamente. Em alguns casos, foi necessária a geração de mosaicos digitais de cenas ASTER e ETM+ para abranger toda a dimensão da cratera. A partir destas imagens foram geradas as cartas-imagem 2D RGB, em diferentes escalas, visando facilitar a localização geográfica das estruturas de impacto (**Figura 1**). (b) geração de modelos digitais de elevação (MDEs) de todas as crateras, com resolução de 30m e 15m (para crateras com diâmetro inferior a 200m), a partir das bandas estereoscópicas do sensor ASTER; e com resolução de 90m a partir dos dados SRTM. Os MDEs derivados dos dados ASTER foram obtidos a partir do processamento das bandas estereoscópicas no *software* AsterDTM, segundo os procedimentos descritos em Steinmayer (2003). Estes modelos mostram claramente as diferenças altimétricas da área imageada, onde cada pixel da imagem representa uma cota altimétrica do terreno. (c) geração de perfis topográficos das crateras a partir dos MDEs. Estes perfis foram traçados de forma a identificar e realçar o relevo característico de cada cratera (**Figura 1**). (d) geração de modelos 3D RGB das crateras, a

partir da fusão dos MDEs com as composições coloridas em falsa cor das imagens ASTER e ETM+. Todos os modelos tiveram um exagero vertical de no mínimo 5 vezes, realçando assim a morfologia característica das crateras e contribuindo para sua melhor visualização em perspectiva tridimensional (**Figura 1**).

Na etapa seguinte, os MDEs processados foram convertidos para o formato *GeoTIFF* e reprocessados pelo *software* ERMapper 6.4, este reprocessamento foi dividido em 4 fases: (a) geração de modelos digitais de elevação coloridos (MDEs em falsa cor) através da técnica denominada *colordrapping*. Esta técnica possibilitou sobrepor cor aos MDEs através da aplicação do algoritmo *colordrape* aos modelos. Este gerou MDEs nos quais as cores frias (azul) representam valores baixos e cores quente (vermelho) representam valores altos no relevo. Desta maneira foi possível visualizar mais facilmente as crateras nas imagens. (b) iluminação por sombreamento sintético. Esta técnica possibilitou a iluminação artificial dos MDEs de forma que o sol sempre estivesse no seu zênite, realçando desta maneira a feição circular das estruturas de impacto. (c) aumento do contraste das imagens. Este procedimento foi aplicado através do ajuste visual dos histogramas de brilho e cor, acentuando as diferenças sutis do relevo, destacando assim, as crateras do resto do terreno. (d) geração de cartas-imagens dos MDEs em falsa cor em diferentes escalas a partir dos MDEs em falsa cor. Estas cartas foram gerados no aplicativo ENVI 4.0 a partir das imagens reprocessadas pelo *software* ERMapper 6.4. (**Figura 1**). Através destes procedimentos foi possível realçar e visualizar feições sutis nas imagens, destacando a morfometria das crateras e tornando possível uma melhor visualização das estruturas mais erodidas.

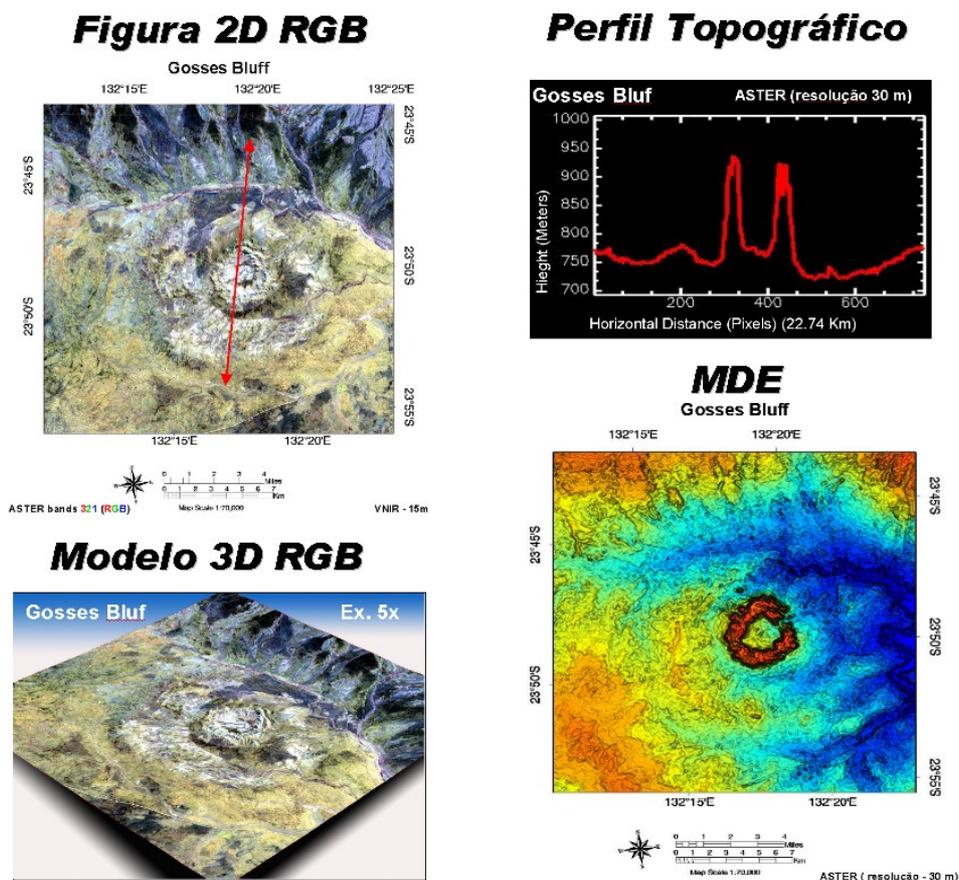


Figura 1. Exemplo do banco de dados gerado contendo: carta-imagem 2D RGB, perfil topográfico, modelo 3D RGB e carta-imagem do MDE em falsa cor respectivamente.

2.1.3 Geração de um sistema de informações georreferenciadas (SIG) das crateras australianas

Todas as imagens e produtos associados foram agrupados em um banco de dados na forma de 26 Pranchas (uma para cada cratera), contendo cada uma (carta-imagem 2D RGB; MED em falsa cor; perfil topográfico e modelo 3D RGB) totalizando 104 figuras (4 por Prancha).

Estes produtos foram inseridos em um SIG que foi formulado no aplicativo ArcMap baseado nos dados disponibilizados pelo *Earth Impact Database* (2006), incluindo nome das crateras, região em que se encontra, localização geográfica (latitude e longitude), diâmetro (em quilômetros), idade (em milhões de anos), entre outros dados.

2.2. Processamento digital dos dados ASTER visando caracterização das assinaturas espectrais de rochas hospedeiras de produtos de impacto

Nesta etapa buscou-se analisar, a partir de dados do sensor ASTER, as assinaturas espectrais de rochas hospedeiras de produtos de impacto reconhecidos no interior e ao redor da cratera de impacto *Shoemaker*, gerando assim imagens de realce espectral destes litotipos. O processamento visou mapear rochas ricas em quartzo, visto que as mesmas são as principais hospedeiras de feições de choque (cones de estilhaçamento, polimorfos de alta pressão e temperatura, PDFs, brechas, etc) típicos de crateras de impacto. A região do espectro abordada foi o infra-vermelho termal (TIR – *thermal infrared*), particularmente aquela compreendida entre 8-12 μm , pois oportunamente é nessa região onde a sílica apresenta feições diagnósticas e onde o ASTER possui 5 bandas multiespectrais termais.

O processamento digital envolveu uma série de procedimentos, todos realizados no *software* ENVI 4.0. Inicialmente, as 5 bandas correspondentes ao TIR passaram por uma correção atmosférica e foram convertidos para emissividade. Isto é necessário visto que os gases presentes na atmosfera afetam a intensidade e composição espectral da radiação eletromagnética disponível para um determinado sensor e na modificação da resposta espectral do alvo. Na **figura 2**, observa-se o espectro de emissividade do quartzo medido na imagem gerada.

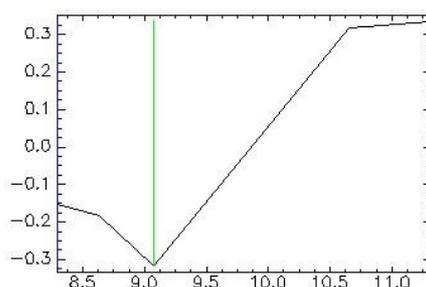


Figura 2. Espectro de emissividade do quartzo medido na própria imagem.

Os dados, em emissividade, foram processados pela técnica *Spectral Angle Mapper* (SAM), disponível no aplicativo ENVI. Esta técnica de classificação supervisionada foi utilizada para comparar os espectros de cada pixel da imagem com os espectros individuais, proveniente do espectro amostrado da própria imagem, cuja composição (neste caso quartzo) e a localização eram conhecidas, com base numa medida de similaridade denominada ângulo espectral.

Nesta técnica os espectros da imagem e os espectros de referência são considerados

como vetores, cuja dimensionalidade é igual ao número de bandas do sensor. O ângulo entre o espectro de referência e o pixel da imagem é dado em radianos, desta maneira quanto menor for o ângulo entre os dois vetores maior será a similaridade entre o pixel da imagem e o material de referência (Lima, 2003 e referências ali citadas).

Esta técnica gerou um mapa de classificação final baseado na similaridade espectral dos pixels da imagem com o material de referência selecionado (neste caso a quartzo). Assim a classe espectral apresentada no mapa final representa as superfícies ricas em materiais com respostas espectrais similares ao quartzo.

A esta nova imagem foi aplicada uma técnica conhecida por pseudocor, na qual é atribuída aos DNs dos pixels cores que variam do azul ao vermelho (menor intensidade, maior intensidade respectivamente). Desta maneira foi criada uma nova imagem na qual as superfícies ricas em quartzo aparecem em vermelho e as superfícies com uma assinatura menos dominante desse mineral aparecem com cores tendendo ao azul, denominada imagem de emissividade para quartzo. Para garantir um melhor resultado, o histograma desta nova imagem foi alterado manualmente, ressaltando ainda mais as superfícies ricas em sílica. Esta imagem foi fundida a imagem correspondente a banda 3N do sensor ASTER, para uma melhor visualização das áreas ricas em sílica na estrutura. Esta nova imagem foi denominada de imagem de abundância de sílica.

A partir dessa imagem, foi criada uma carta-imagem, na escala 1:250.000, com a intenção de facilitar a localização geográfica da estrutura de impacto e assim poder comparar o produto gerado com o mapa geológico da estrutura (**Figura 3**).

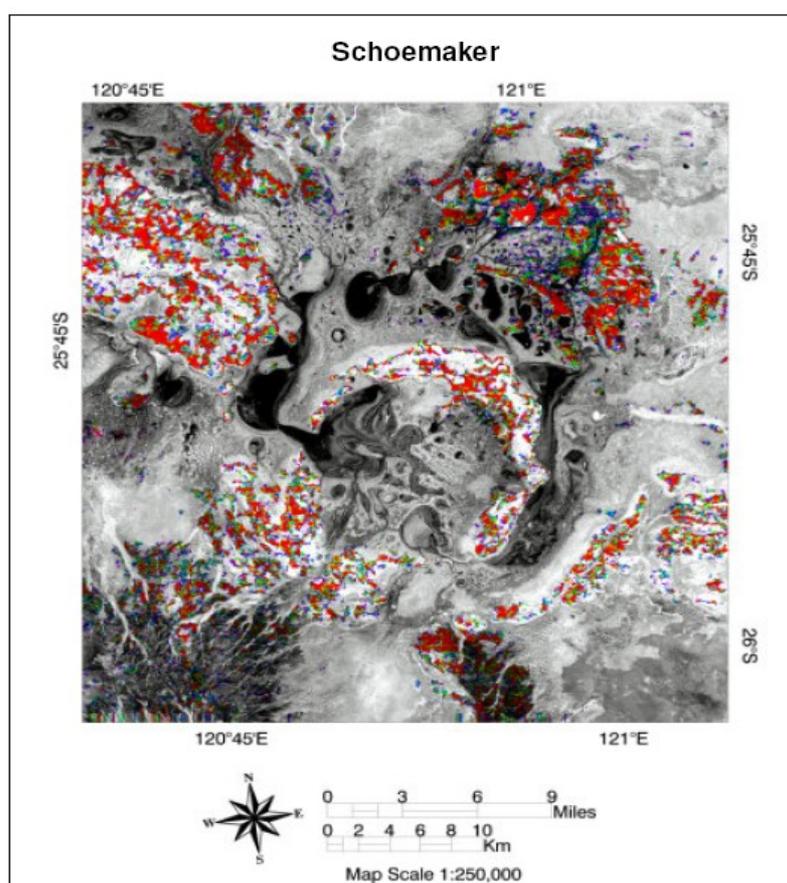


Figura 3. Carta-imagem da abundância de sílica (correspondente a fusão da imagem de emissividade para quartzo com a banda 3N do sensor ASTER) da cratera *Schoemaker*.

2.2.1. Interpretação da classificação espectral e comparação com mapa geológico

O processamento digital das bandas termais do sensor ASTER, visando a caracterização das assinaturas espectrais de rochas hospedeiras de produtos de impacto, gerou um mapa de abundância de sílica da cratera *Shoemaker*. Este dado pode ser comparado com o mapa publicado no artigo de Pirajano *et al.* (2003) e referências ali citadas sobre a estrutura, uma vez que este trabalho destaca a presença de cones de estilhaçamento no interior da estrutura, nas formações ferríferas granulares da F. Frere (coordenadas 25°47'48"S/120°54'35"E), nas unidades de cherts da F. Yelma (coordenadas 25°53'17"S/120°57'00"E) e nos arenitos da F. Chiall (coordenadas 25°45'08"S/120°58'59"E) (**Figura 4**).

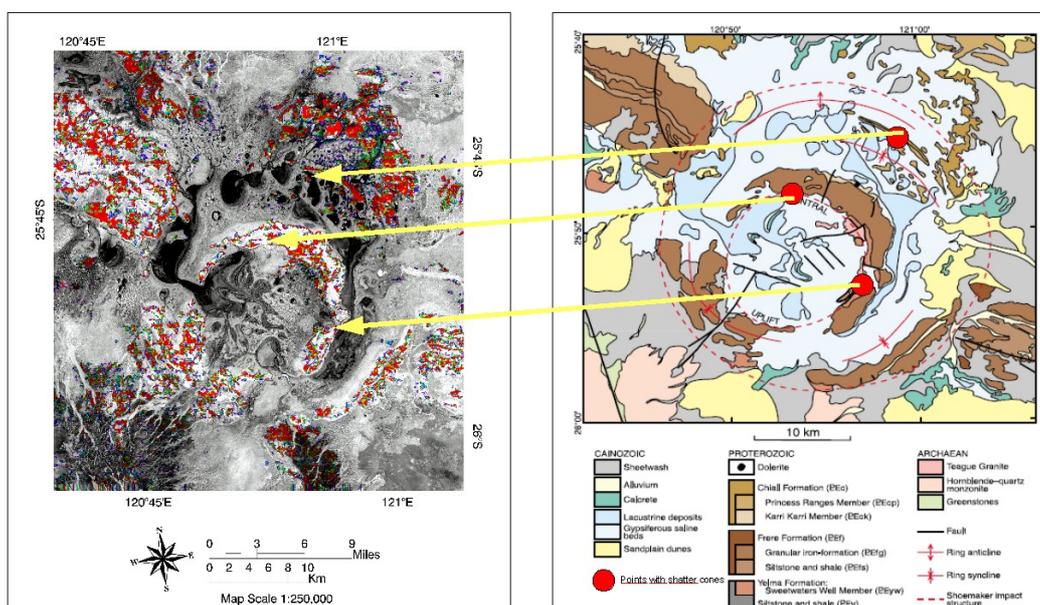


Figura 4. Correlação entre os dados bibliográficos (Pirajano *et al.* 2003) que apontam para a presença de cones de estilhaçamento no interior da cratera *Shoemaker* e a carta-imagem da abundância de sílica da estrutura.

3. Resultados obtidos e discussão

Foi criado um banco de dados de imagens e produtos associados específicos de maneira organizada e homogênea, cobrindo às 26 crateras australianas. Um exemplo deste banco de dados pode ser observado na **figura 1**, sendo formado por: (a) carta-imagem 2D RGB; (b) perfil topográfico; (c) modelo 3D RGB e (d) carta-imagem do MDE em falsa cor. Esta banco de dados foi inserido em um SIG com sucesso facilitando assim o acesso a informação sobre estas estruturas.

Os dados termais do sensor ASTER proporcionaram bons resultados quanto à detecção e discriminação de rochas hospedeiras de feições de choque, principalmente considerando a resolução espacial limitada desses dados, de 90 m. Na **figura 3** pode ser visto a carta-imagem de abundância de sílica gerado pelo método SAM.

Desta maneira, as rochas hospedeiras desta feição (ricas em quartzo) foram identificadas e discriminadas das outras litologias presentes na cratera. Na **figura 4**, pode ser observado a correspondência entre as áreas de localização dos cones de estilhaçamento (apontadas no mapa geológico da estrutura) com a carta -imagem de abundância de sílica.

4. Conclusão

A combinação da estratégia de processamento dos dados termais (voltado para a determinação de coberturas ricas em sílica) e os métodos aqui concebidos (utilizando a presença de sílica como indicativo da presença de feições de impacto), aparentemente foi bem sucedida, para o mapeamento de rochas portadoras de feições de impacto, por meio dos dados termais do sensor ASTER. Entretanto, novos trabalhos deverão ser incorporados a esta pesquisa, no sentido de autenticar o modelo aqui proposto de detecção e discriminação de rochas hospedeiras de feições de choque.

5. Referências

- Bland, P.A. & Artemieva, N.A. Efficient disruption of small asteroids by the Earth's atmosphere. **Nature**, v. 424, p. 288-291, 2003.
- Earth Impact Database*. Disponível em: <<http://www.unb.ca/passc/ImpactDatabase/>> Acesso em: 10 de jul 2006.
- Garwin, J. B., Schnetzler, C. & Grieve, A. F. Characteristics of large terrestrial impact structures as revealed by remote sensing studies. **Tectonophysics**, v. 216, p. 45-62, 1992.
- Grieve, A. F. Terrestrial impact structures. **Ann. Rev. Earth Planet. Sc.**, v. 15 p. 245-270, 1987.
- Hodge, P. (1994) Meteorite craters and impact structures on Earth. Univ. Press, 1994. 124p.
- Lima, V. de S. 154p. **Assinaturas espectrais de gossans associados a mineralizações de Pb-Zn-Ba na Bacia de Irecê (BA): um estudo baseado em dados de sensores TM e ASTER**. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Estadual de Campina, Campinas. 2003.
- NASA. Disponível em:<<ftp://e0mss21u.ecs.nasa.gov/srtm/>> Acesso em: 15 de set 2004.
- Pirajno, F. P. Hawke, A. Y. Glikson, P W. Haines, T. Uysal. Shoemaker Impact Structure, Western Australia. **Australian Journal of Earth Sciences**, v. 50 p. 775-796, 2003
- Steinmayer, M. Extração de Modelos Digitais de Terreno com o sensor ASTER. **Revista InfoGEO**. V. 30, p. 38-39, 2003.
- USGS. Disponível em: <<http://http://edcdaac.usgs.gov/aster/glovis.asp>> Acesso em: 15 de set 2004.
- Zumsprekel, H. & Bischoff, L. Remote sensing and GIS analyses of the Strangways impact structure, Northern Territory, **Australian Journal of Earth Sciences**, v.52, n. 4-5, p. 621-630, 2005.