

ELABORAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO PARA ESTUDOS GEOMORFOLÓGICOS ATRAVÉS DE SENSORES ORBITAIS: VALIDAÇÃO DE DADOS ALTIMÉTRICOS ASTER (ADVANCED SPACEBORNE THERMAL EMISSION AND REFLECTION RADIOMETER)

VICENTE, L. E.¹

¹ Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP/IGE
Caixa Postal 6152 – 13083-970 - Campinas - SP, Brasil
(vicente, beto, archi)@ige.unicamp.br

SOUZA FILHO, C. R.¹

¹ Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP/IGE
Caixa Postal 6152 – 13083-970 - Campinas - SP, Brasil
(vicente, beto, archi)@ige.unicamp.br

PEREZ FILHO, A.¹

¹ Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP/IGE
Caixa Postal 6152 – 13083-970 - Campinas - SP, Brasil
(vicente, beto, archi)@ige.unicamp.br

RESUMO

Estudos geomorfológicos dependem de um conjunto sistêmico de dados os quais se baseiam não apenas em propriedades de solo, mas fundamentalmente em sua relação com as formas do relevo. Tradicionalmente a geração de dados altimétricos é feita mediante a interpolação de cotas medidas em campo somadas a aerorrestituição de isolinhas de mesmo valor, com técnicas de estereoscopia digital ou analógica. Em anos recentes surgiu como alternativa o uso de sensores orbitais no levantamento de dados de elevação. Este tipo de dados estereoscópico representa um progresso no que se refere à capacidade de abranger grandes áreas, redução de custos operacionais e diminuição do tempo de levantamento, porém, até recentemente questões de ordem técnica limitavam o uso dos dados altimétricos desses sensores. O lançamento do sensor o ASTER em 1999, representou um avanço neste sentido, visto que apresenta um eficiente sistema *along track* de estereocorrelação automática com uso das bandas 3B e 3N (0.78-0.86 μ m). A fim de se testar o uso dos dados altimétricos deste sensor este estudo gerou uma série de produtos para análise do relevo na região de Itirapina-SP. Como forma de verificação dos dados foram usados pontos de controle de campo, sendo que de maneira geral todos os produtos corresponderam à expectativa de precisão e praticidade em sua elaboração, sendo possível a geração de dados com qualidade extremamente satisfatória para escalas mínimas de 1:50 000. Também foi possível a rápida aplicação de diferentes recortes de perfís ou novas interpolações de isolinhas com equidistâncias adequadas para toda a área de estudo, possibilitando a correlação imediata dos MDE com dados de diferentes usos e coberturas da terra (e. g. hipsometria versus usos versus cobertura, estimando erodibilidade) com base nas demais bandas do ASTER. No que se refere à aplicação de dados altimétricos ASTER para escalas inferiores a 1: 50 000 recomenda-se a utilização de pontos de controle de campo e o estabelecimento da estimativa de erro em relação aos dados do sensor mediante uma pós-classificação.

Palavras-chave: ASTER, modelos digitais de elevação, geomorfologia

INTRODUÇÃO

Estudos geomorfológicos dependem de um conjunto sistêmico de dados os quais se baseiam não apenas em propriedades de solo, mas em sua relação com as formas do relevo, o que torna esse tipo de dado de fundamental importância para essa ciência (Christofoletti, 1999). Tradicionalmente a geração de dados altimétricos é feita mediante a interpolação de cotas medidas em campo somadas a aerorrestituição de isolinhas de mesmo valor através

de estereoscopia digital ou analógica (Muehrcke, 1986). Esse procedimento despande grande volume de recursos financeiros e tempo, motivos esses que têm restringido esse tipo de mapeamento em pequenas escalas a poucas áreas no Brasil. Em anos recentes surgiu como alternativa o uso de sensores orbitais de última geração no levantamento de dados de elevação (Ducher, 1980). Atualmente dois sensores são capazes de fornecer esse tipo de dado baseados num sistema de estereocorrelação automática mais eficiente (*along track*) (Dowman & Neto, 1994), o SPOT 5 (lançado em abril de 2002) e o *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER). O primeiro é de uso comercial apresentando um alto custo de operação e restrições técnicas para aquisição de área mínima de cena (SPOT *Image*, 2001). No caso do ASTER, seu custo operacional e acessibilidade são consideravelmente mais vantajosos, visto que se trata essencialmente de um projeto governamental envolvendo bases de pesquisa em várias partes do mundo.

O sensor ASTER opera embarcado no satélite TERRA, lançado em dezembro de 1999, como parte do programa EOS (*Earth Observing System*). Esse programa é resultado de uma colaboração conjunta entre a *North American Spacial Agency* (NASA) dos EUA, e o *Ministry of Economy and Industry* (METI) do Japão. Ao todo, o ASTER possui 14 bandas espectrais imageadas por 3 sensores diferentes: três bandas com resolução de 15m, cobrindo as faixas espectrais do visível (VIS) entre 0.52 e 0.69 μm , e infra-vermelho próximo (IFP) de 0.78 a 0.86 μm ; seis bandas, com 30m de resolução, posicionadas no infra-vermelho de ondas curtas (IVOC) de 1.600 a 2.430 μm , e cinco bandas com 90m de resolução, no infravermelho termal (IVT), entre 8.125 e 11.65 (Abrams & Hook, 2002) (Tabela 1).

A geração de dados altimétricos pelo ASTER baseia-se na sua capacidade de imageamento em pares estereoscópicos, entre as imagens das bandas 3B (banda de retrovisada) e 3N (Nadir), ambas situadas no VIS/IVP (visível/infravermelho próximo) (Tabela 1). A banda 3N gera imagens nadir a partir de um ângulo de $8,55^{\circ}$, sendo que cerca de 55 segundos após esse primeiro imageamento 3N, outro instrumento situado num braço telescópico gera uma nova imagem na mesma faixa do VIS/IVP (0.78-0.86 μm) com um ângulo de 27° oposto a órbita do satélite. Esse método permite a elaboração de *modelos* digitais de elevação (MDEs) de forma remota no comprimento de onda do IVP através do efeito de paralaxe entre as duas imagens (Steinmayer, 2003). Diferentemente da maioria dos sensores aptos à geração de estereoscopia, o tipo de imageamento (*along track*) do ASTER possibilita as mesmas condições de iluminação e atmosfera, visto que a órbita é a mesma, e o tempo para ambos os imageamentos é mínimo. Isso não ocorrendo com

métodos *across track*, onde a estereoscopia é gerada a partir de órbitas adjacentes (Hirano et al, 2002).

Subsistemas	Bandas	Abrangência espectral (μm)	Resolução Radiométrica	Acurácia Absoluta (σ)	Resolução Espacial (m)	Níveis de quantização
VIS IVP	1	0.52-0.60	$NE\Delta\rho\leq 0.5\%$	$\leq \sim 4\%$	15	8 bits*
	2	0.63-0.69				
	3N	0.78-0.86				
	3B ***	0.78-0.86				
IVOC	4	1.60-1.70	$NE\Delta\rho\leq 0.5\%$		30	8 bits*
	5	2.145-2.185	$NE\Delta\rho\leq 1.3\%$			
	6	2.185-2.225	$NE\Delta\rho\leq 1.3\%$	$\leq \sim 4\%$		
	7	2.235-2.285	$NE\Delta\rho\leq 1.3\%$			
	8	2.295-2.365	$NE\Delta\rho\leq 1.0\%$			
	9	2.360-2.430	$NE\Delta\rho\leq 1.3\%$			
IVT	10	8.125-8.475			90	12 bits*
	11	8.475-8.825		$\leq 3\text{K (200-240 K)}$		
	12	8.925-9.275	$NE\Delta T\leq 0.3\text{K}$	$\leq 2\text{K (240-270 K)}$		
	13	10.25-10.95		$\leq 1\text{K (270-340 K)}$		
	14	10.95-11.65		$\leq 2\text{K (340-370 K)}$		
Altitude: 705 Km. Resolução Temporal: ~ 16 days. Área de cobertura: 60 x 60 Km (α IFOV). Total cobertura no cross-tracking direcionado por ponto: 232 Km			* 256 níveis de cinza. ** 4096 níveis de cinza. *** banda de retrovisada – estéreo-par com 3N.			

Um fator limitante no início de sua operação encontrava-se no não imageamento em tempo integral deste sensor, dependendo muitas vezes de pedidos específicos para determinadas áreas durante a aquisição da imagem. Porém, a prioridade de cobertura da NASA envolvendo locais de alta demanda, aliada ao incentivo de projetos associados ao redor do planeta, gerou e ainda tem gerado um grande acervo de dados, resultando numa ampla cobertura tanto em locais com intenso uso da terra, como em regiões remotas (Souza Filho et al., 2003; Menz & Richters, 2005, Machida & Urai, 2005; Kato & Yamaguchi, 2005).

Este trabalho tem como objetivo a avaliação e utilização de dados altimétricos gerados a partir do sensor ASTER, aplicados a estudos geomorfológicos, sendo que a proposta ensejada aqui considera como pontos importantes alcançados, o baixo custo operacional, facilidade de acesso e qualidade dos dados, assim como a possibilidade de cobertura de grandes áreas, visto que se trata de um sensor orbital de dados georreferenciados, e sua validação tem demonstrado extrema precisão na utilização de mosaicos para o aumento de sua área mínima de cena (60 x 60 Km) (Mushkin & Gillespie, 2005; Hirano et al., 2003), resultados esses também comprovados neste estudo brasileiro.

ÁREA DE ESTUDO

A área enfocada nesse estudo é a Estação Ecológica e Experimental de Itirapina e seus arredores, incluindo a represa do Lobo, na divisa dos Municípios de Brotas, Itirapina e São Carlos, no estado de São Paulo. Essa área faz parte da Bacia Sedimentar do Paraná, no Planalto Centro Ocidental, região de relevo suavemente ondulado, com formas pouco dissecadas, baixa densidade de drenagem e declividade (IPT, 1981) (Fig. 1).

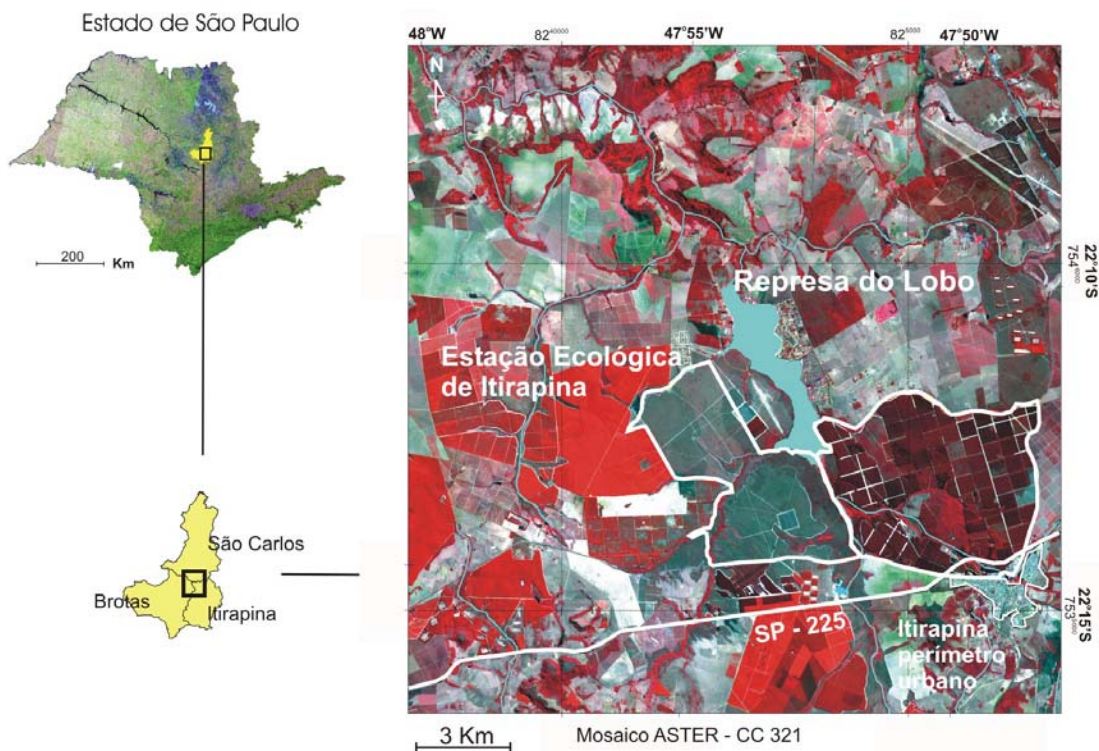


Figura 1 – Área de estudo. Represa do Lobo e Estação Ecológica de Itirapina. Mosaico ASTER, composição colorida AST321

Os solos predominantes na região, em ordem de preponderância, são: os Neossolos Quartzarênicos (RQ2), de textura essencialmente arenosa com base quartzosa, em alguns casos com hidromorfismo; o Latossolo Vermelho Amarelo Álico de textura média (LVA2), sendo proveniente do arenito Pirambóia; os Organossolos Méssicos (OY1), de cunho orgânico, presente em locais baixos e mal drenados e, mais ao norte, eventuais manchas de Latossolo Vermelho (LV26), com predominância textural da Argila, proveniente de rochas basálticas (IAC, 1999). O conjunto pedogênico é, em grande parte, fruto do intemperismo das formações areníticas dos grupos Botucatu e Pirambóia (IPT, 1981).

METODOLOGIA

Foram utilizadas imagens ASTER, adquiridas junto a NASA, no Nível L1B de processamento, com correções geométricas e radiométricas aplicadas, e na versão V003, que implica em ajustes adicionais de correção realizados a partir de Maio de 2002. A área de estudo não se encontra disposta por completo em uma única cena, sendo necessária a realização de um mosaico, no qual foram utilizadas 3 imagens com data de passagem de: 09/05/2003, 05/09/2003 e 08/06/2004, todas de um período seco. O mosaico foi corrigido para reflectância aparente (ACORN, 2002), e em relação ao efeito *crosstalk* (ERSDAC, 2001).

Os dados ASTER foram validados com uso de mapas referentes à área de estudo: (i) pedológico - escala 1 : 500 000, (IAC, 2000); (ii) geomorfológico – escala 1 : 500 000 (IPT, 1981); (iii) levantamento da cobertura vegetal do estado de São Paulo em escala \pm 1:50 000 (SMA-IF/Biota-FAPESP, 2002); (iv) Base cartográfica integrada digital do Brasil ao milionésimo (IBGE, 2004). A fim de se aumentar a precisão dos dados, foram estipulados pontos de controle de campo, georreferenciados via GPS (global position system) (Fig. 2).

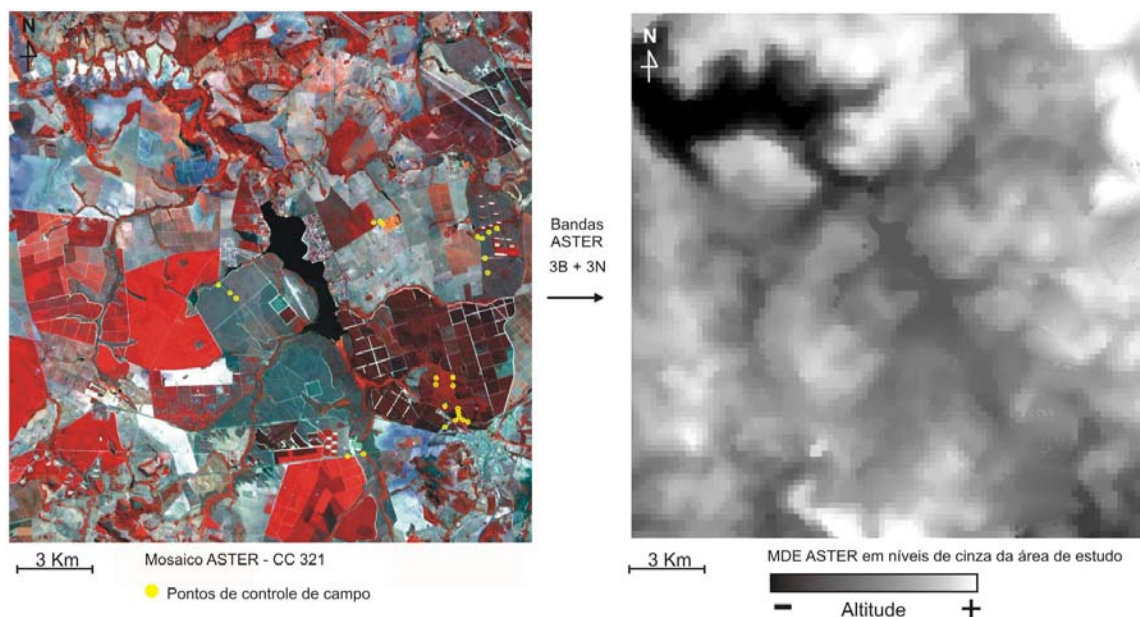


Figura 2. Extração dos dados altimétricos através das bandas 3B e 3N ASTER.

O modelo digital de elevação é resultado da compilação dos dados ASTER através da aplicação de programas de computador específicos. Neste trabalho foi utilizado o ASTERDTM, enquanto aplicativo do ENVI, sendo que esse programa extrai os dados de posicionamento e deslocamento contidos nos arquivos de metadados ASTER, no formato

Hierarchical Data Format (HDF). O procedimento de extração baseia-se num conceito básico de estereoscopia, o *base-to-height ratio* (B/H) com fundamentos na semelhança de triângulos, onde variáveis conhecidas como a altitude do sensor (~705 km), e a base (distância percorrida entre o imageamento Nadir e a retro-visada - ~ 370 km) fornecem um quociente traduzido em valores Z. Para isso é fundamental que ambas as imagens sejam corrigidas geometricamente, compartilhando o mesmo referencial cartográfico (WGS84) e assumindo uma elevação artificial igual a zero, para isso são usados cerca de 130 pontos de controle extraídos automaticamente do conjunto de metadados, onde são feitos ajustes e correções numéricas no ângulo de apontamento do instrumento no VIS/IVP para que as imagens tornem-se quase que epi-polares (nadir). A exatidão desse procedimento garante que todo o deslocamento entre as duas imagens seja traduzido em valores altimétricos, gerando o efeito de paralaxe, o qual pode ser medido mediante a aplicação de um método de correlação, no caso do ASTERDTM é utilizada a correlação cruzada normalizada (Steinmayer, 2003).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos procedimentos de extração dos modelos digitais de elevação (MDE) foi possível a elaboração de uma série de análises correlatas considerando aspectos de relevo (Fig. 3a). De maneira geral todos os produtos gerados corresponderam à expectativa de precisão e praticidade em sua elaboração, sendo possível a geração de dados com qualidade extremamente satisfatória para escalas mínimas de 1: 50 000. Também foi possível a rápida aplicação de diferentes recortes de perfis (Fig. 3b) ou novas interpolações de isolinhas com equidistâncias adequadas para toda a área de estudo, possibilitando a correlação imediata dos MDEs com dados de diferentes usos e coberturas da terra (e. g. hipsometria versus usos versus cobertura, estimando erodibilidade) com base nas demais bandas do ASTER (Fig. 3d/e).

É necessária atenção a algumas aplicações, visto que se trata de dados provenientes de sensor ótico, e o comprimento de onda que gera o efeito estereoscópico encontra-se na faixa do VIS/IVP entre 0.78-0.86 μ m, o qual não ultrapassa estruturas latifoliadas, podendo gerar mascaramento de dados devido à cobertura vegetal. Portanto, dependendo da escala de análise, recomenda-se uma pós-classificação dos MDEs.

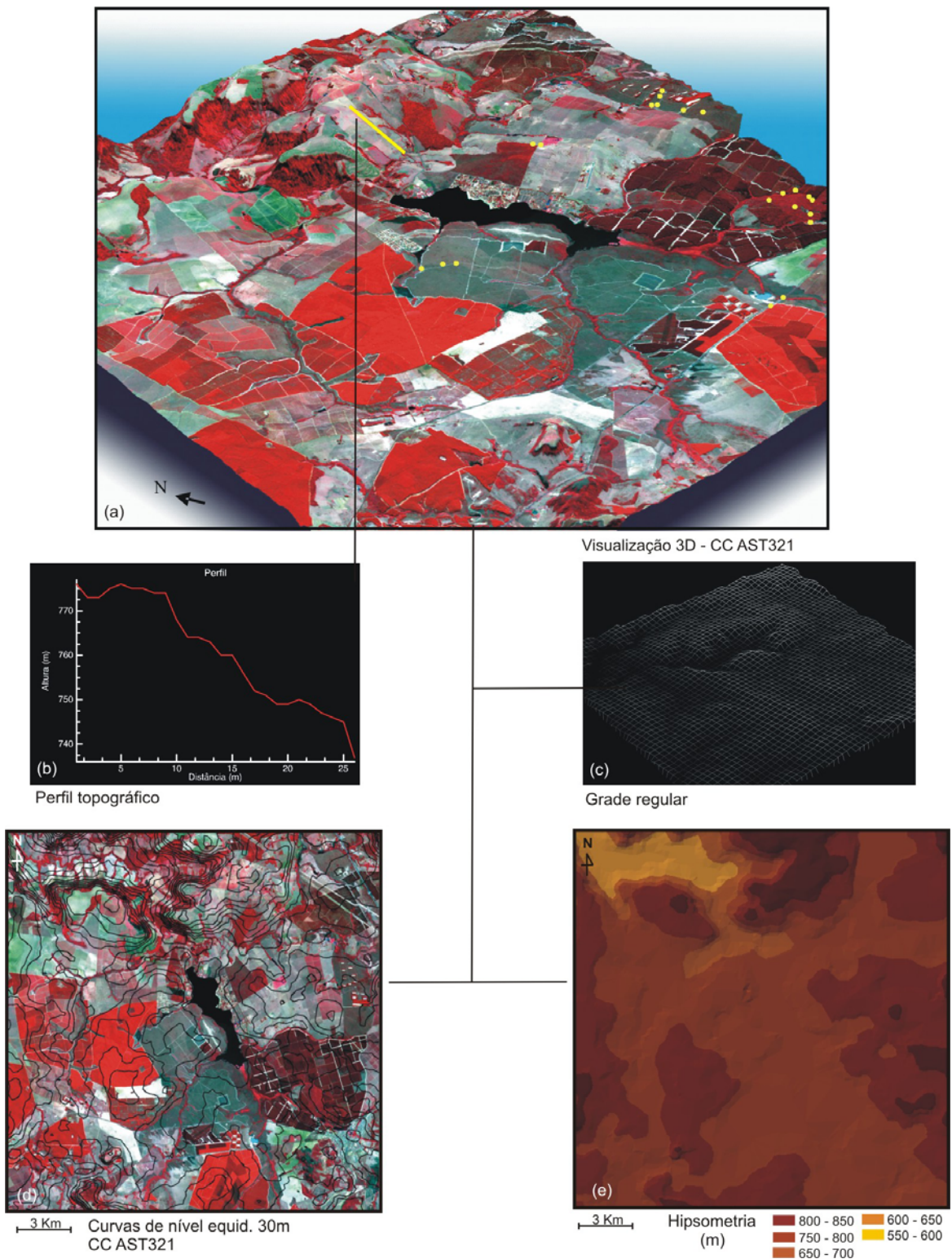


Figura 3. Produtos gerados para Estação Ecológica de Itirapina e represa do Lobo a partir da extração de Modelos Digitais de Elevação do sensor ASTER.

Esse procedimento é realizado com o auxílio de pontos de controle de campo em solo-nu (GPS, cartas topográficas), onde cada coordenada e sua cota altimétrica é validada mediante uma constante extraída dos seus valores, assumindo-os como verdades terrestres

(Fig. 3a). Com base nestes dados é possível estimar o erro médio quadrático (*root mean square error* - RMSE) entre dados ASTER e pontos de controle, interpolando os melhores pontos segundo a escala requerida. Procedimentos como esse, podem aumentar a acurácia vertical de 15 para até 7 metros (Hirano et al., 2002). O que equivale dizer em termos cartográficos, que é possível a extração de equidistâncias mínimas entre 10 e 25 m, dependendo da quantidade de pontos interpolados. Muitas vezes esse tipo de dado tem sido mal utilizado devido a desconsideração dos cuidados a serem tomados para sua aplicação em escalas pequenas e áreas densamente vegetadas.

CONCLUSÕES

Áreas do conhecimento como a Geomorfologia e ciências ambientais de maneira geral, assumem diretamente ou indiretamente o estudo das formas de relevo como indicador de processos complexos. Dessa maneira, essas áreas possuem na geração de dados altimétricos a partir de sensores orbitais um grande aliado no que se refere: a agilidade dos processos de coleta, capacidade de abrangência de grandes áreas, baixo custo e redução de tempo, transformando em foco principal o cruzamento e a análise de dados. O ASTER é apenas o precursor de uma nova categoria de sensores mais precisos e acessíveis, tornando o entendimento e aprimoramento deste tipo de ferramenta uma necessidade cada vez mais atual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACORN 2002. *ACORN 4.0 tutorial*. (2002). EUA, AGI-Colorado, 109p.

Abrams, M., & Hook, S. J.. (2002). *Aster User Handbook: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*. USA: NASA/Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology, v. 2, 135p.

Brasil, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Base Cartográfica Integrada Digital do Brasil ao Milionésimo*, 1 : 1 000 000, 2004.

Christofolletti, A.. (1999). *Modelagem de sistemas ambientais*. São Paulo: Edgar Blücher, 236 p.

Dowman, I., & Neto, F. (1994). The accuracy of along track stereoscopic data for mapping: results from simulation and JERS OP. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 30(4): 216-21.

Ducher, G.. (1980). Cartographic possibilities of SPOT and space-lab projects. *Photogrammetric Records*, 10 (56): 167-180.

- Earth Remote Sensing Data Analysis Center (ERSDAC). (2001). *The crostalk correction software user's guide*, 21 p.
- Hirano, A.; Welch R.; Lang H.. (2003). Mapping from Aster stereo image data: DEM validation and accuracy assessment. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, v. 57, p. 356-370.
- Kato, S., & Yamaguchi, Y.. (2005). Analysis of urban heat-island effect using ASTER and ETM+ Data: Separation of anthropogenic heat discharge and natural heat radiation from sensible heat flux. *Remote Sensing of Environment*, 99: 44-54.
- Machida, S., & Urai, M.. (2005). Discolored seawater detection using ASTER reflectance products: A case study of Satsuma-Iwojima, Japan. *Remote Sensing of Environment*, 99: 95-104.
- Menz, G., & Richters, J. (2005). Quantitative Classification of Landscape Units in Northern Namibia using an ASTER Digital Elevation Model. (in Press)
- Mushkin, A., & Gillespie, A. R.. (2005). Estimating sub-pixel surface roughness using remotely sensed stereoscopic data. *Remote Sensing of Environment*, 99:75-83.
- Muehrcke, P. C.. (1986). *Map use: reading, analysis, and interpretation*. Madison: JP Publications, 3 ed., 512 p.
- São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. *Mapa geomorfológico do estado de São Paulo*, 1 : 500 000, 1997.
- São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas . *Mapa geomorfológico do estado de São Paulo*, 1 : 500 000, 1981.
- São Paulo, Instituto Agrônomo de Campinas. *Mapa pedológico do estado de São Paulo*, 1 : 500 000, 1999.
- São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente(SMA)-Instituto Florestal(IF)/Biota-FAPESP. (2002). Levantamento da cobertura vegetal do estado de São Paulo. Base cartográfica digital.
- Spot Image. (2001). Spot 5: delivering the World in 3D. *Directions Magazine* (26/9/2001 issue). URL <<http://www.directionsmag.com/pressreleases>> (acessado em janeiro de 2003).
- Souza Filho, C. R., Tápia, C. H., Crósta, A. P. & XAVIER, R. P. (2003). Infrared spectroscopy and ASTER imagery analysis of hidrothermal alteration zones at the Quellaveco Porphyry-Cooper Deposit, Southern Peru. In: *Proceedings of the American Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), Annual Conference – “Technology: Converging at the Top of the World”*, p. 1-12.
- Steinmayer, M.. (2003). Extração de Modelos Digitais de Terreno com o sensor Aster. *Infogeo*, 38: 38-39.