

# Extração da informação altimétrica a partir de estéreo-pares do TerraSAR-X: resultados iniciais para uma área de relevo plano no Vale do Rio Curaçá (BA)

Cleber Gonzales de Oliveira  
Waldir Renato Paradella  
Paulo Cesar Gurgel de Albuquerque  
Athos Ribeiro dos Santos  
Arnaldo Queiroz da Silva  
Thiago Gonçalves Rodrigues

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{cleber, waldir, gurgel, athos, arnaldo, thiagogr}@itid.inpe.br

**Abstract.** In this paper, the feasibility of using elevation for topographic mapping through orbital TerraSAR-X stereo-pairs images was investigated for a flat terrain in the Curaçá River Valley, Bahia state. Precise topographic field information acquired from Global Positioning System (GPS) was used as Ground Control Points (GCPs) for the modeling of the stereoscopic DEM and as Independent Check Points (ICPs) for the calculation of elevation accuracies. The analysis was performed following approach based on the use of Root Mean Square Error (RMSE) for the overall classification of the DEM considering the Brazilian Map Accuracy Standards (PEC) limits. The investigation has shown that the altimetric accuracy from TerraSAR-X fulfilled the altimetric requirements and was compatible to a detailed topographic mapping (1:50,000). Thus, the use of TerraSAR-X data can be considered a good alternative as a primary elevation source for detailed topographic mapping programs in similar environments of the Brazil, where terrain information is seldom available or presents low quality.

**Palavras-chave:** Digital Elevation Model, TerraSAR-X, Cartography, Modelo Digital de Elevação, TerraSAR-X, Cartografia.

## 1. Introdução

Um modelo digital de elevação ou MDE, como uma representação tridimensional (3D) do relevo, é uma das mais importantes fontes de dados para análise geoespacial e modelagem nas Geociências. Várias aplicações em Cartografia, Geologia, Geomorfologia, Hidrologia, etc., utilizam informações de MDEs na caracterização de atributos morfométricos do terreno. Um MDE é também fonte de informação básica para a produção de cartas topográficas (Paradella et al., 2003).

Para uma boa parte do território brasileiro o mapeamento por sensores ópticos é prejudicado pelas condições atmosféricas, que afetam a obtenção sistemática e a radiometria destas imagens. Os sensores na faixa de microondas apresentam vantagem nesse aspecto, pois são menos suscetíveis aos fatores atmosféricos e, dependendo do comprimento de onda utilizado, esses fatores não prejudicam o imageamento.

Com o advento dos sistemas orbitais com sensores que operam no espectro das microondas, as aplicações cartográficas foram beneficiadas, sobretudo com o uso dos dados obtidos por radares de abertura sintética ou SAR, do inglês *Synthetic Aperture Radar*. O SAR é um dispositivo imageador em radiofrequência que fornece uma imagem bidimensional (range, azimuth) da realidade tridimensional. Esse imageamento é feito pela detecção da radiação retroespalhada quando o sensor ilumina a superfície, sob um campo bem definido de microondas ativas (Lewis et al., 1998; Paradella et al., 2001).

A partir de imagens de sensores remotos que atuam no espectro das microondas (em especial os radares imageadores), modelos digitais de elevação podem ser gerados por diferentes métodos: Estereoscopia, Clinometria, Interferometria e Polarimetria (Toutin e

Gray, 2000). Na estereoscopia de radar orbital, a elevação é obtida de medidas no deslocamento na posição de um ponto do terreno, em um par estereoscópico de imagens de amplitude, tomadas sob geometrias de visadas distintas. Duas imagens da mesma área são adquiridas sob diferentes geometrias através de variações em azimutes de visadas e/ou incidências, possibilitando a percepção em 3D. Através da correlação entre as cenas, são obtidas paralaxes que permitem extrair a altimetria (Paradella et al., 2003).

Entre os sensores orbitais que operam no espectro de microondas e que fornecem, ou forneceram, um avanço para as aplicações cartográficas com dados SAR, podem ser citados os SIRs, ERS-1, JERS-1, ERS-2, RADARSAT-1 e SRTM (Toutin e Gray, 2000). Além destes, devem ser destacados os novos satélites radar como o ALOS/PALSAR, RADARSAT-2 e o TerraSAR-X, que apresentam grandes avanços tecnológicos em relação aos anteriores.

O TerraSAR-X é o primeiro projeto espacial alemão desenvolvido sob uma Parceria Público-Privada (PPP). Os sócios desta cooperação são o Centro Aeroespacial Alemão (DLR) e a EADS Astrium. A DLR é a responsável pelo uso científico dos dados do TerraSAR-X, enquanto a comercialização dos dados foi atribuída para a empresa InfoTerra GmbH, uma subsidiária do grupo EADS Astrium especializada na coleta processamento e distribuição de imagens e produtos de valor agregado (Faller e Weber, 2007). O satélite foi lançado com sucesso em 15 de Junho de 2007, em Baikonur (Cazaquistão), para uma órbita hélio-síncrona com altitude de 514 km, ciclo de revisita de 11 dias e possui três modos de aquisição de imagens: *SpotLight* (SL), *Strip Map* (SM) e *ScanSAR* (SC).

Diante deste cenário, este trabalho apresenta o resultado inicial alcançado na geração e avaliação altimétrica de um MDE TerraSAR-X gerado a partir de um par estereoscópico de imagens adquiridas no modo *SpotLight* (SL).

## 2. Área de Estudo

A área de estudo está localizada na região do Vale do Rio Curaçá, cobrindo parte dos municípios de Curaçá e Juazeiro, no Estado da Bahia. O clima da região é semi-árido com predomínio da Caatinga, caracterizada por cobertura moderada à esparsa e solos rasos e residuais (30 cm a 1,5 m) (Paradella e Vitorello, 1995). A topografia da região é dominada por relevo plano e altitudes entre 300 e 500 metros (Figura 1).

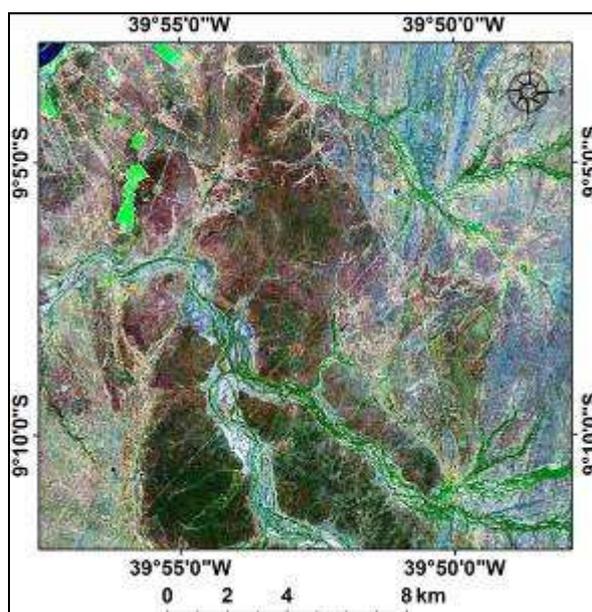


FIGURA 1 – Localização da área de estudo - Vale do Rio Curaçá (BA).

### 3. Metodologia de Trabalho

#### 3.1. Dados Orbitais TerraSAR-X

Para a execução deste trabalho foram utilizadas duas imagens TerraSAR-X, modo *SpotLight*, em órbita descendente e polarização horizontal. A Tabela 1 apresenta as características das imagens utilizadas neste trabalho.

TABELA 1 – Características das imagens TerraSAR-X.

Código das imagens	Modo de aquisição	Polarização	Órbita	Data de aquisição	Ângulo de incidência	Resolução (Rg. x Az.)
82519-26	<i>SpotLight</i>	X-HH	Desc.	08/06/2008	28,789°	4,69 m × 4,61 m
81648-72	<i>SpotLight</i>	X-HH	Desc.	04/06/2008	47,036°	3,73 m × 3,70 m

#### 3.2. Dados de Campo

Para a geração do MDE TerraSAR-X pontos de controle foram coletados no terreno (*Ground Control Points – GCPs*), entre os dias 29 de setembro e 10 de outubro de 2008 (Figura 2). Antes do trabalho de campo, foram identificadas previamente em escritório 80 possibilidades de GCPs sobre as duas imagens adquiridas. Para a execução do trabalho foram utilizados 4 equipamentos GPS Geodésicos, sendo dois de duas frequências (Topcon Hiper<sup>®</sup>) e dois de uma frequência (Sokkia Stratus<sup>®</sup>), resultando em 52 pontos adquiridos nos modos relativo estático (39) e relativo estático rápido (13), sendo um dos pontos coletados no modo relativo estático definido como estação base para o processamento das coordenadas dos outros pontos. A estação base foi instalada durante todo o período do trabalho de campo na cidade de Curaçá (BA), adquirindo dados por cerca de 10 horas diárias. A Figura 3 apresenta a localização dos pontos previamente planejados em escritório e a localização dos pontos efetivamente adquiridos em campo.



FIGURA 2 – Medidas planialtimétricas de precisão (GPS) coletadas em campo.

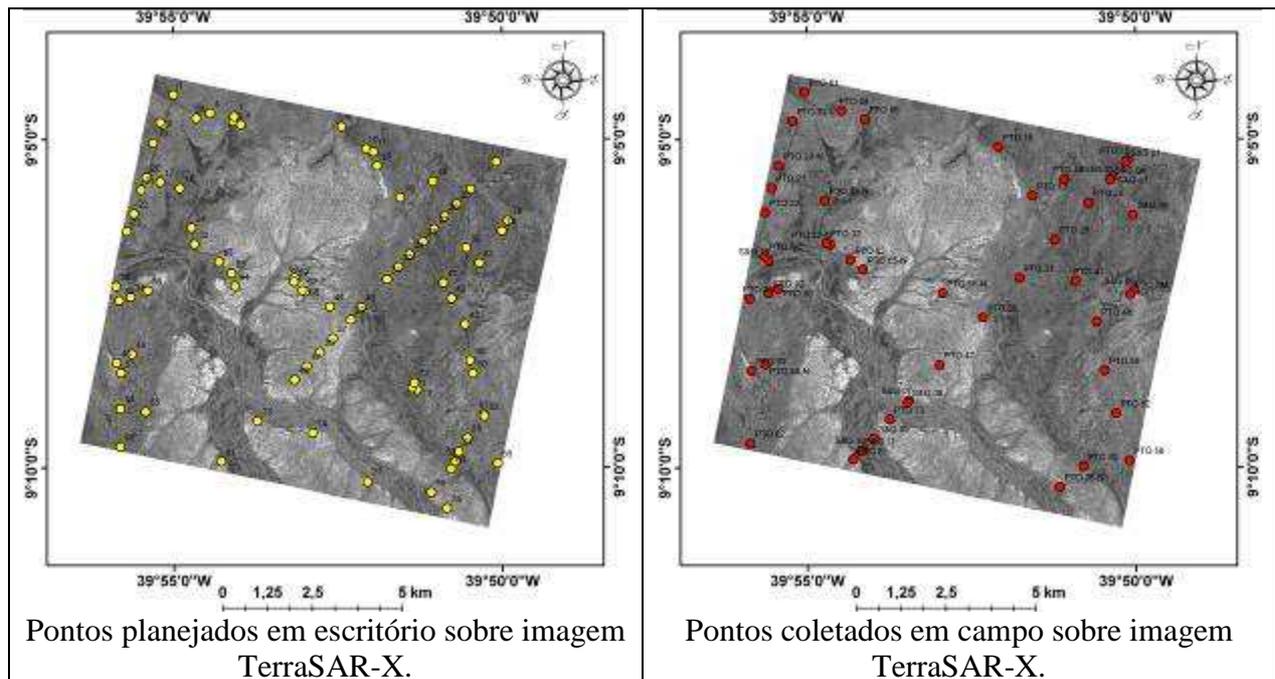


FIGURA 3 – Localização dos pontos planejados e coletados em campo.

As coordenadas da estação base foram determinadas a partir do transporte e ajustamento de coordenadas realizados com quatro (4) estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC): Campina Grande (PBCG), Crato (CRAT), Petrolina (PEPE), Recife (RECF). Já as coordenadas dos outros 51 pontos foram determinadas a partir das coordenadas ajustadas da estação base.

### 3.3. Geração do MDE TerraSAR-X

O MDE TerraSAR-X foi gerado com base na modelagem matemática *Toutin*, disponível no módulo *OrthoEngine* do software *PCI Geomatica V10.1.4*. As etapas para geração do MDE foram: 1) criação do projeto; 2) leitura das imagens; 3) coleta dos GCPs; 4) cálculo da modelagem matemática; 5) geração das imagens epipolares; 6) geração e geocodificação do MDE com 10 metros de resolução espacial; e 7) cálculo do EMQ altimétrico. Do total de pontos coletados em campo, foram utilizados 10 como GCPs para a geração do MDE e 31 pontos foram utilizados para a validação (*Independent Check Points – ICPs*), no cálculo do EMQ altimétrico do MDE gerado. A Figura 4 ilustra a distribuição dos 10 GCPs e 31 ICPs sobre uma das imagens do par estereoscópico TerraSAR-X.

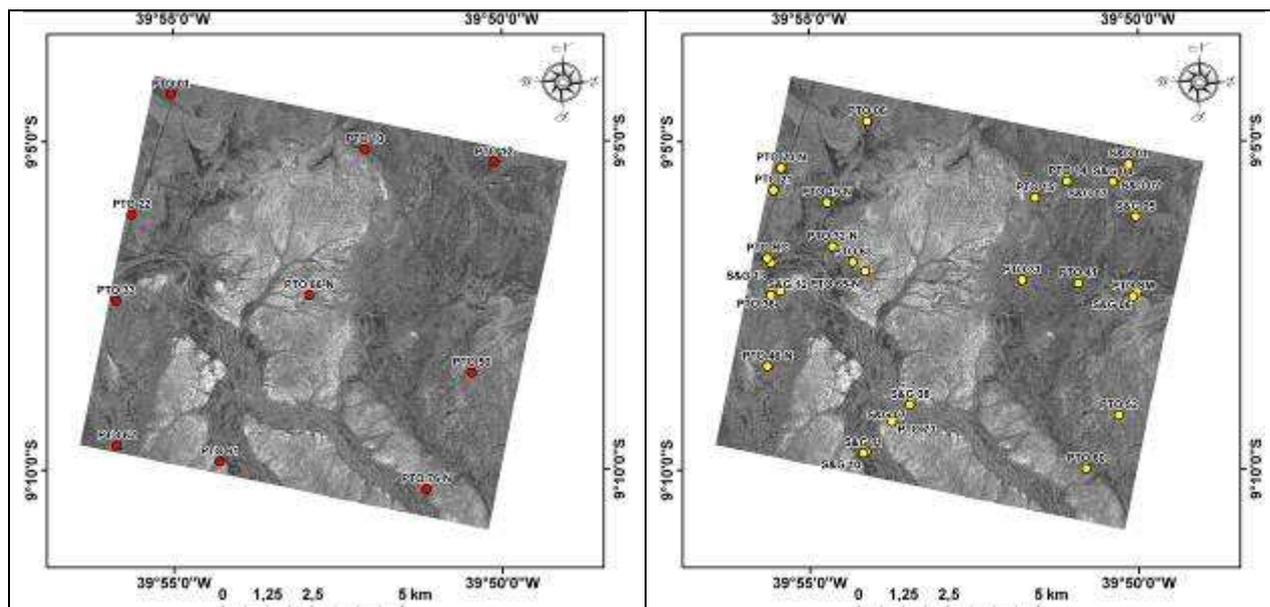


FIGURA 4 – Distribuição dos 10 GCPs (esquerda) e 31 ICPs (direita) sobre imagem TerraSAR-X (81648-72).

#### 4. Resultados e Discussão

O MDE TerraSAR-X gerado a partir dos 10 GCPs é apresentado na Figura 5.

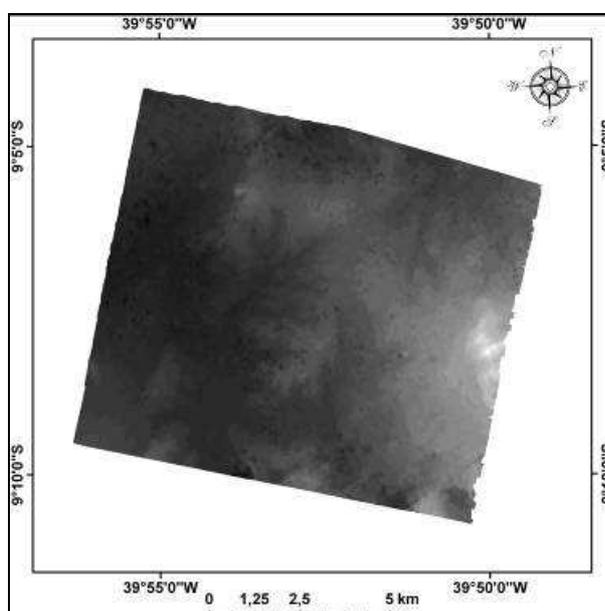


FIGURA 5 – MDE TerraSAR-X gerado a partir de 10 GCPs.

Para o cálculo do EMQ altimétrico foram utilizados valores extraídos do MDE em altitude elipsoidal (WGS84), compatíveis com a informação planialtimétrica de precisão obtida no campo. Na Tabela 2 são apresentados os valores do EMQ do MDE TerraSAR-X, considerando os 31 ICPs utilizados para validação, além dos resíduos mínimo e máximo em elevação.

TABELA 2 – Valor do EMQ do MDE TerraSAR-X.

Quantidade de ICPs	EMQ (m)	Erro Mínimo (m)	Erro Máximo (m)
31	6,38	0,062 m	16,774 m

O valor do EMQ altimétrico (6,38 m) obtido na validação do MDE TerraSAR-X classifica o produto gerado na Classe A para a escala de mapeamento 1:50.000, segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica ( $EMQ \leq 6,66$  m). Já o valor do Erro Máximo em elevação (16,774 m) pode ser explicado pela ausência de GCPs em regiões como a calha do Rio Curaçá e afluentes, o que ocasiona uma subestimação dos valores de elevação no momento da geração do MDE. Uma forma de melhorar este resultado seria pela inserção de novos pontos de controle nas regiões onde os erros ficaram maiores, desde que GCPs estejam disponíveis nestas áreas.

## 5. Conclusão

Os resultados iniciais desta avaliação são conclusivos para uma excelente qualidade altimétrica do MDE gerado por estéreo-pares do TerraSAR-X, que atenderam aos requisitos de precisão compatível com a escala de mapeamento topográfico de detalhe (1:50.000) do PEC nacional. A continuidade da investigação com dados TerraSAR-X incluirá a geração de novos MDEs com diferentes configurações (visadas opostas) na área-teste e avaliação similar em áreas de relevo montanhoso na Amazônia (Serra dos Carajás - PA).

## Agradecimentos

Os autores da pesquisa agradecem à (1) InfoTerra GmbH pelo fornecimento das imagens TerraSAR-X, ao (2) Dr. Philip Cheng (*PCI Geomatics*) pela cessão da versão beta do pacote TerraSAR-X (*OrthoEngine V10.1.4*), à (3) DSR-INPE e (4) CAPES e CNPq pelo suporte de bolsas de pesquisa (primeiro e segundo autores, respectivamente).

## Referências Bibliográficas

- Faller, N.; Weber, M. TerraSAR-X and TanDEM-X: Revolution in Spaceborne Radar. **IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium**, pp. 4924 – 4928, 2007.
- Lewis, A. J.; Henderson, F. M.; Holcomb, D. W. Radar Fundamentals: the geoscience perspective In: Henderson, F.; Lewis, A. **Principles & applications of imaging radar**, manual of remote sensing, 3. ed. New York: John Wiley & Sons, Cap. 3, pp. 132-181, 1998.
- Paradella, W.R.; Vitorello, I. Geobotanical and soil spectral investigation in the “Caatinga” environment (Brazil) base on multitemporal remote sensing data. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v.21, n. 1, pp. 52 - 59, 1995.
- Paradella, W. R.; Cecarelli, I.C. F.; Luiz, S.; Morais, M.C.; Oliveira, C. G.; Cottini, C., A Geração de Modelos Digitais de Elevação pela Estereoscopia de Radar: conhecimento atual e resultados com imagens RADARSAT-1 na Amazônia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10, 2001, Foz do Iguaçu, PR **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2001.
- Paradella, W. R.; Cecarelli, I.C. F.; Luiz, S.; Oliveira, C. G.; Cottini, C. P.; Okida, R. Produção de carta topográfica através da estereoscopia de alta resolução do RADARSAT-1

integrada com dados TM-LANDSAT 5: uma avaliação para terrenos planos na Floresta Nacional de Tapajós (PA). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n.2, pp. 99 - 110, 2003.

Toutin, T.; Gray, A. L. State-of-the-art of extraction of elevation data using satellite SAR data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 55, n. 1, pp. 13 - 33, 2000.