

Validação de dados do ERS-1/SAR para mapear Várzeas do Rio Amazonas (Área-teste paraná do Taparará, Estado do Pará)

VALÉRIO BARBOSA DA SILVA¹
HERMANN J. H. KUX²

¹INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
Av. André Araújo, 901, 69060-020 Manaus - AM, Brasil

²INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515, 12.227.010 São José dos Campos, SP, Brasil
{hermann}@ltid.inpe.br

Abstract The precise mapping of the border between the *Várzeas* (Floodplain) and the *Terra firme* (Upland) along Rio Amazonas, is of fundamental importance for any environmental study of this region. Within this frame, the objective of this study is to analyse if a section of *Várzeas*, located at Santana do Taparará, close to the city of Santarém (Pará State), can be mapped to a precision to fit the Cartographic Accuracy Standard (Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC). In this study it was verified if the border *Várzea/Terra Firme*, extracted from an ERS-1/SAR scene, texturally analysed, is compatible with PEC. To confirm the results a TM/LANDSAT scene of this region was analysed separately and registered to the ERS-1/SAR scene, for a map at 1:100,000 scale. The results indicate that the 3 products present limitation to map the floodplain at the precision required by PEC.

Keywords: Várzeas, SAR, PEC.

1.0 - Introdução

A qualidade dos produtos cartográficos deve estar expressa nas cartas, as quais são regidas pelo Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC). No Brasil, o Decreto 89.817 datado de 20.06.1984, estabelece os erros planimétricos e altimétricos máximos permitidos, os quais dependem da escala considerada, bem como do erro-padrão correspondente.

A literatura que aborda o mapeamento temático através de técnicas de sensoriamento remoto, deveria também classificar o produto final em relação ao padrão de exatidão cartográfica. Assim sendo, o objetivo deste trabalho é analisar se um mapeamento temático (Várzeas) obtido através da análise de dados ERS-1/SAR e TM-LANDSAT e de levantamento de campo, satisfaz as exigências de precisão e exatidão do PEC.

Para o tratamento dos dados do ERS-1/SAR registrados com os dados do TM-LANDSAT, a técnica da transformação do espaço IHS no espaço RGB aparece com grande destaque na literatura. Esta técnica de realce de cores tem se mostrado muito eficiente quando o objetivo é extrair informações dos dados digitais de radar combinados com dados de sensores ópticos, conforme informam Imhoff et al., 1987; Welch e Ehlers, 1987; Welch e Ehlers, 1988; Ehlers 1988; Dutra et al., 1988; Kurkdjian, 1990; Bhanumurthy et al., 1994; Rignot et al., 1994, entre outros.

A ausência de cartas planialtimétricas que possam ser utilizadas como referência na extração do limite entre a Várzea e a Terra Firme, na área de estudo considerada, fez com que métodos sistemáticos da

cartografia fossem aplicados. Implantaram-se pontos-satélite de alta precisão, obtidos com GPS e técnica de posicionamento diferencial GPS, nos pontos extremos do limite demarcado.

2.0 - Área de estudo

A área de estudo está localizada na planície amazônica, na Folha SA.21-Santarém, entre os meridianos 54°30' e 54°40'W, e entre os paralelos 02°10'e 02°20'S. A área de interesse está representada nas cartas planialtimétricas SA.21-ZB-II e III (MI-474 e 475) em escala 1:100.000, elaboradas e publicadas pela DSG, em 1983.

A área de estudo pertence ao domínio das planícies inundáveis recobertas por campos. O relevo plano apresenta-se como uma várzea alta, ou seja um terraço submetido às enchentes anuais.

Na margem direita do paraná do Taparará observou-se a formação de lagos de várzea em colmatagem por decantação. Na margem esquerda detectou-se a presença de pequenas áreas alagadas esparsas e rasas. A Figura 1 mostra a localização da área de estudo.

3.0 - Matrizes de co-ocorrência e de feições texturais

Textura é o termo usado para caracterizar as variações tonais ou níveis de cinza em uma imagem (Frulla e Lira, 1994).

Na análise de textura a matriz de co-ocorrência de níveis de cinza é muitas vezes usada para caracterizar a relação espacial dos níveis de cinza. A matriz de co-ocorrência $P(i, j, d, \theta)$ denota a frequência com que

dois níveis de cinza i e j ocorrem simultaneamente e adjacentes, numa dada distancia d e numa dada direção θ . Haralick et al. (1973) extraíram um conjunto de 14 características texturais da matriz de co-ocorrência, sendo que algumas delas são utilizadas extensivamente para se obter informações das imagens digitais, enquanto que outras não tem sentido em imagens de sensoriamento remoto.

Das características texturais aplicadas nas imagens obtidas do ERS-1, definidas por Haralick et al. (1973), 6 estão implementadas no pacote de software PCI/PACE Radar Analysis Package, usadas neste trabalho, a saber: Homogeneidade Local, Contraste, Entropia, Média, Desvio Padrão, Dissimilaridade e que são apresentadas abaixo.

Homogeneidade local - esta característica textural também é conhecida como Inverso da diferença de momento, IDM. Esta medida é diferente da homogeneidade da cena, que é o segundo momento angular ou energia. Gottlieb e Kreyszig (1990), incluíram este analisador no grupo dos classificadores estatísticos de imagem. A homogeneidade local é dada por:

$$f_5 = \sum_{i=0}^{N_g} \sum_{j=0}^{N_g} \frac{P(i,j)}{[1+(i-j)^2]}$$

sendo N_g o número definido do nível de cinza.

Contraste - esta medida textural também conhecida como inércia, é uma medida da quantidade de variações locais dos níveis de cinza em uma imagem. Gottlieb e Kreyszig (1990) incluíram este classificador no grupo dos discriminadores texturais visuais:

$$f_2 = \sum_{n=0}^{N_g-1} n^2 \left[\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} P(i,j) \right] \text{ com } n = |i-j|$$

Entropia - esta medida é baseada nas leis da termodinâmica e fornece o tamanho e a probabilidade de um sistema ser fechado, no sentido de que à maior entropia corresponde a menor ordem de organização das estruturas, e também a maior probabilidade de ocorrência de um dado nível de cinza (Vilaplana et al. 1994):

$$f_3 = - \sum_{i=0}^{N_g} \sum_{j=0}^{N_g} \frac{P(i,j)}{R} \ln \left[\frac{P(i,j)}{R} \right]$$

sendo R o número de pares de pixels vizinhos mais próximos do pixel central.

Média - está é uma das medidas mais utilizadas para descrever a tendência central dos valores de uma distribuição (Briand e Gray, 1989):

$$\mu = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n IR(i)P(i,j)$$

onde $IR(i)$ é o nível de cinza médio da linha i .

Desvio-padrão - esta medida de dispersão estatística depende da média dos níveis de cinza de uma distribuição e por isto alguns autores preferem utilizar em seu lugar a probabilidade de ocorrência de um determinado pixel. No software EASI-PACE, no entanto, foi mantida a versão original, ou seja é utilizada a média:

$$S_d = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P(i,j) [IR(i) - \mu]^2}$$

Dissimilaridade - é definida pela expressão:

$$D = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P(i,j) |IR(i) - IC(j)|$$

onde $IC(j)$ é o nível de cinza da coluna (j).

4.0 - Materiais e Métodos

Neste trabalho foram utilizados dados digitais do ERS-1/SAR geocodificados e dados digitais do TM-LANDSAT (bandas 2,3,4,5 e 7) georeferenciados. A Tabela 1 apresenta os produtos utilizados.

TABELA 1 - DADOS UTILIZADOS

| SENSORES | DATA | RESOLUÇÃO |
|------------|------------|-----------|
| ERS-1/SAR | 10.11.1994 | 25 m |
| TM/LANDSAT | 10.09.1990 | 30 m |

Os dados do ERS-1 foram processados com 6 looks (entre 8 possíveis) com o objetivo de reduzir o efeito do *speckle*. Segundo a teoria, quando se analisa textura deve-se evitar o uso de filtros para a redução do *speckle*, porque eles reduzem a textura inerente às imagens obtidas com dados de radar. Por outro lado, segundo Ford (1982), a suavização das imagens obtidas com dados de radar pelo aumento do número de *looks* se dá às custas da perda de resolução espacial. Não obstante, esta perda de resolução espacial não é importante neste estudo.

Os dados do TM-LANDSAT foram adquiridos em 10.09.90 e os dados do ERS-1/SAR, em órbita ascendente, no dia 10.11.94. A diferença temporal entre os dois produtos foi avaliada previamente e pode ser desconsiderada para a região de estudo, visto que ambos os períodos correspondem à época de vazante, quando as várzeas já estão razoavelmente secas.

Foram utilizadas as cartas sistemáticas em escala 1:100.000, MI-474 e 475. Entretanto o limite entre a Várzea e a Terra Firme foi demarcado topograficamente, sendo que os extremos da poligonal ficaram apoiados em dois pontos de alta precisão e determinados por técnica DGPS.

5.0 Processamento dos dados SAR, TM e de campo

5.1 - Geocodificação dos dados do ERS-1/SAR

A imagem SARPPS (Preliminar Processing System) do ERS-1 foi convertida em produto geocodificado do tipo SARGICS (Geocoded Image Correction System), isto é, ela foi reamostrada pelo algoritmo *Kernel Kaiser Damped 16 Point sinc*, sem o uso de pontos de controle pelo Laboratório de Processamento de Imagens do INPE em Cachoeira Paulista. Por este motivo foi feita uma georeferenciação dos dados do ERS-1 utilizando o software GEOSSET do EASI-PACE, sendo as coordenadas geográficas de um ponto do terreno determinadas por GPS. Este ponto localiza-se na confluência do Rio Amazonas com o paraná do Tapar.

5.2 - Registro TM/LANDSAT-ERS-1/SAR

Através do pacote GCPWORKS do EASI-PACE, as bandas 2,3,4,5 e 7 foram registradas com a imagem ERS-1. Utilizaram-se 11 pontos de controle dos quais 5 foram desprezados devido aos altos resíduos apresentados. Na reamostragem escolheu-se a interpolao bilinear porque foi aquela que deu a aparência mais natural  imagem registrada. Devido  pouca quantidade de pontos de controle disponíveis, uma transformao polinomial de primeira ordem foi aplicada. Com isso, o erro médio quadrático do registro foi de 0,33 *pixel*.

5.3 - Análise textural dos dados ERS-1/SAR

Aos dados ERS-1/SAR foram aplicados os analisadores texturais apresentados no item 3.0, sendo que nenhum deles produziu resultados satisfatórios. O melhor resultado foi um realce de contraste obtido com as feioes de média e desvio-padrão. Este último foi utilizado para registrar as imagens do TM-LANDSAT, sendo que posteriormente foi feita a extrao dos limites de interesse. A Figura 2 mostra o produto SARGICS não-analisado texturalmente ( esquerda) e o mesmo produto analisado pela feio de textura desvio-padrão ( direita).

5.4 - Integrao dos dados ERS-1/SAR com TM-LANDSAT

O método da transformao do espaço IHS no espaço RGB, conforme discutido no item 1.0 deste estudo, foi aplicado a este trabalho. A composio colorida TM4(R), TM7(G) e TM2(B) foi transformada para o espaço IHS, onde a componente Intensidade foi substituída pelo SAR. Esta nova imagem foi convertida de volta para o espaço RGB. A partir da efetuou-se uma interpretao visual para se extrair o limite entre a Várzea e a Terra Firme.

5.5 - Classificao MAXVER

Visando comparar os resultados, a cena TM-LANDSAT foi testada isoladamente para verificar o seu potencial para a definio da área de várzeas. Uma classificao MAXVER foi aplicada  composio TM3(R), TM4(G) e TM2(B), sendo novamente extraído o limite entre a Várzea e a Terra Firme. A precisão geral da classificao foi de 93%, o que  bastante razoável para a complexa área de Várzeas.

5.6 - Edio do vetor de referência

O limite entre a Várzea e a Terra Firme demarcado no campo, foi convertido num arquivo texto com formato ARC, do tipo **.LIN** e posteriormente numa camada vetorial a qual pode ser exibida num monitor. O software GIS LINKS do EASI PACE executa esta conversão.

5.7 - Resultados da interpretao visual

Após a interpretao das imagens SARGICS/ERS-1 e TM-LANDSAT, juntas e separadamente, cada limite de classes foi convertido numa lista de coordenadas, em pixels e linhas, as quais foram comparadas com o vetor de referência, através do cálculo do erro médio quadrático, EMQ.

6.0 - Conclusoes

1. A análise quantitativa mostrou que uma carta na escala 1:100.000 derivada do produto híbrido SARGICS/ERS-1 e TM-LANDSAT, obteria um resultado melhor se cada um deles for comparado isoladamente. O desempenho de 78% de acerto dos pontos, em relao aos pontos da verdade terrestre (70 pontos)  insuficiente para atender ao PEC planimétrico, que exige 90% de acerto.

2. A carta derivada do produto híbrido (item 1 acima) no entanto poderá ser classificada como do tipo A desde que se reduza a escala para 1:250.000.

3. A análise quantitativa mostrou ainda que o pior desempenho entre os produtos estudados refere-se a aquele derivado dos dados TM-LANDSAT isoladamente. Isto ocorre porque o relevo com pequenas ondulações não produz sombras, sem as quais a diferenciação entre os ambientes torna-se muito difícil e ainda por causa do tamanho do pixel (30 m). A cobertura vegetal que poderia ser outro fator diferenciador entre os ambientes, na verdade mostrou-se como um fator complicador. Em diversas áreas houve "invasão" da cobertura vegetal de um ambiente, pela cobertura vegetal, sobre outro e, neste caso o limite detectado pelos sensores do LANDSAT não correspondeu ao limite efetivo entre os dois ambientes.

4. O produto SARGICS/ERS-1 analisado isoladamente (bruto ou processado), não permitiu a discriminação a contento dos ambientes estudados, por vários motivos. O pequeno comprimento de onda (5,6 cm) permite pouca penetração na vegetação e por isso não permitiu revelar todos os detalhes da morfologia das várzeas. A relativa uniformidade da cobertura vegetal e da umidade, resultou num sinal de retorno ao radar semelhante para áreas diferentes.

5. É importante lembrar ainda que o sensor SAR do ERS-1 foi calibrado em diversas ocasiões para trabalhar sobre tipos específicos de cobertura da Terra, denominados de fases. Quando os dados do SAR foram adquiridos em 10.11.94, o sensor estava calibrado para detectar gelo, ou seja, estava na fase gelo. Isto significa que nesta fase o sensor produz a sua melhor resposta para discriminar gelo nas altas latitudes.

6. Nos resultados obtidos com este trabalho não foram considerados: (1) os erros devidos à georeferenciação, os quais, segundo a teoria, estão em torno de 3 pixels; (2) os erros devidos às deformações do relevo, o qual foi considerado perfeitamente plano; (3) a aproximação de que os pixels das feições extraídas das imagens correspondam aos pontos do terreno, o que não é o caso. Não obstante considerou-se que os pixels interpretados das feições extraídas das imagens correspondiam aos pontos do terreno. Esta aproximação foi necessária para adequar este estudo com o Decreto 89.817, uma vez que os pixels das imagens obtidas com dados do SAR são de difícil correspondência com a verdade terrestre. Na verificação da qualidade geométrica das imagens obtidas com dados do SAR entretanto, esta aproximação não pode ser tolerada.

Referencias

Bhanumurthy, V.; Srinivasa, R.; Chari, S.T. Near real time flood monitoring using ERS-1 SAR data. In:

Resource and Environmental Monitoring, Rio de Janeiro, Brasil, Sept. 1994. *Proceedings*. Rio de Janeiro, ISPRS, 1994, p. 88-91.

Briand, P.; Gray, J.T. Classification de l'utilisation du territoire sur une image radar SIR-B, a partir de l'information texturale dérivée des statistiques de premier ordre. *Proceedings of IGARSS'89 Symposium*, Vancouver, Canada, July 1989, p 2769-2771.

Dutra, L.V.; Foresti, C; Meneses, P.R.; Kurkdjian, M.L.D.O. *Utilização de transformação IHS para integração de imagens de diferentes resoluções: estado do uso do solo*. São José dos Campops, INPE, Jun. 1988. (INPE-4606-PRE/1329).

Ehlers, M. Multisensor image fusion techniques in remote sensing. In: Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 16, Orono, ME, 1988. *Proceedings* Kyoyo, Japan 1988, vol B7, p. 152-162..

Ford, J.P. Resolution versus speckle relative to geologic interpretability of spaceborne radar images: a survey of user preference. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, GE-20(4):434-444, Oct. 1982.

Frulla, L.A.; Lira, J Automatized region-growing for texture segmentation of SAR images. In: Resource and Environmental Monitoring, Rio de Janeiro, Brasil, Sept.1994. *Proceedings*. São José dos Campos, INPE, ISPRS, 1994, vol. 7a, p. 100-105.

Gottlieb, C.C.; Kreyszig, H.E. Texture descriptor based on co-occurrence matrices. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 51:70-86, 1990.

Haralick, R.M.; Shanmugam, K.; Dinstein, I. Textural features for image classification. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC-3(6):610-621, Nov. 1973.

Imhoff, M.L.; Vermillion, C.; Story, M.H.; Choudhury, A.M.; Gafoor, A.; Polcyn, F. Monsoon flood boundary delineation and damage assessment using spaceborne imaging radar and Landsat data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53(4):405-413, Apr. 1987.

Kurkdjian, M.L.N.O. Integração de dados de diferentes sistemas sensores através da técnica de transformação IHS, visando o estudo da estrutura intra-urbana. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6. Manaus, AM, 1990. *Anais*. São José dos Campos, INPE, SELPER, ISPRS,SBC. 1990, vol. 2, p. 331-335.

Vilaplana, V.; Frulla, L.A.; Jacobo-Brellés, J; Mejail, M. Texture descriptors analysis for ERS-1/SAR image and its'application to homogeneous and heterogeneous

areas over Argentina. In: Resource and Environmental Monitoring, Rio de Janeiro, Brazil, Sept. 1994, *Proceedings*. São José dos Campos, INPE, ISPRS, 1994, vol 7a, p.67-73.

Welch, R.A. Integration of photogrammetric, remote sensing and database technologies for mapping applications. *Photogrammetric Record*, 12,(70):409-428, Oct. 1987.

Welch, R.A.; Ehlers, M. Merging multiresolution SPOT-HRV and Landsat-TM data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53(3):301-303, March 1987.

Welch, R.; Ehlers, M. Cartographic feature extraction with integrated SIR-B and Landsat-TM images. *International Journal of Remote Sensing*, 9(5):873-889, May 1988.

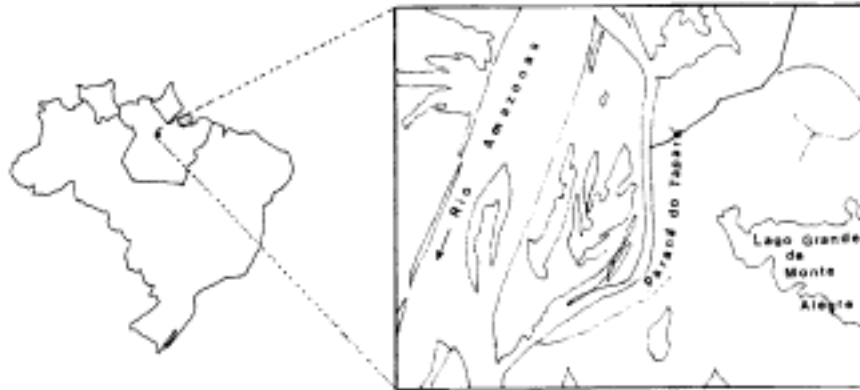


Fig. 1 - Localização da área de estudo.

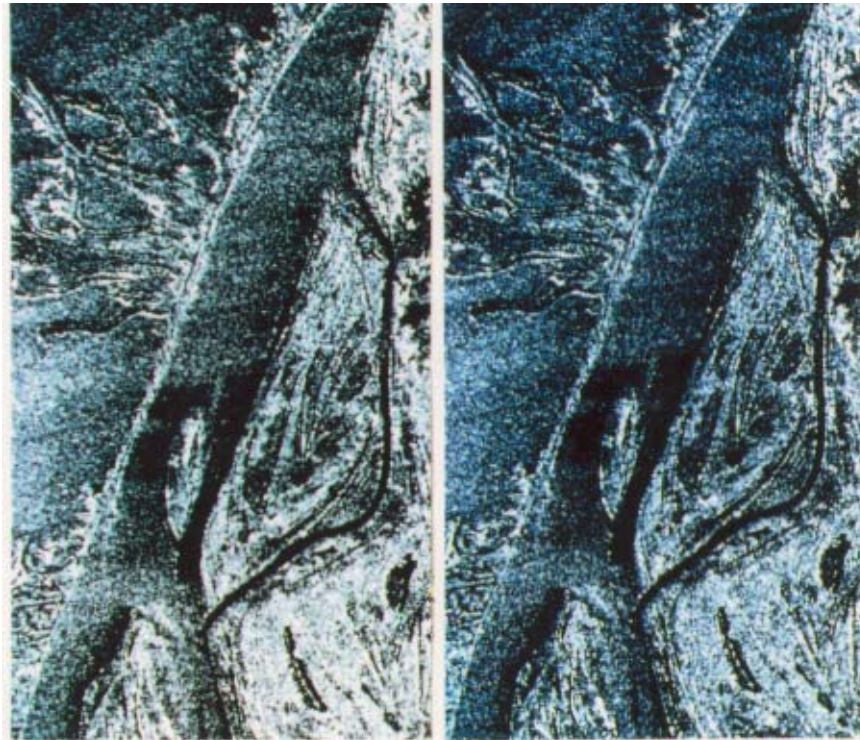


Fig. 2 - Comparação entre SARGICS não-processada (à esquerda) e processada com feição de textura desvio-padrão (à direita).