

Comparação entre duas Imagens híbridas geradas mediante Fusão de Imagens de alta Resolução por Componentes principais

Prof^a. Dr^a. Selma Regina Aranha Ribeiro ¹
Ingrid Aparecida Gomes ²
Prof. Dr.-Ing. Jorge Antonio Silva Centeno ³

UEPG – Depto. de Geociências
84.030-900 - Ponta Grossa – PR
¹selmar_12@hotmail.com
²Ingrid_087@hotmail.com

UFPR – Depto. de Geomática
81.531-970 – Curitiba - PR
³jscenteno@ufpr.br

Resumo: A investigação sobre fusão de imagens, teve seu início a partir aquisição de imagens multiespectrais e PAN adquiridas simultaneamente com diferentes resoluções espaciais. O processo consolidou-se ser de tal importância com a geração de imagens híbridas que combinam as propriedades das imagens originais numa única nova imagem que preserva a informação espectral e possui uma melhor informação espacial. O resultado é uma nova imagem com maior resolução espacial e a mesma resolução espectral. Este artigo apresenta a técnica de fusão de imagens por Componentes Principais (CP) considerando a melhora da técnica quando da utilização das matrizes covariância e correlação na mudança dos espaços RGB para CP (ida e volta). Na aplicação do método, uma imagem de alta resolução foi utilizada, a Quickbird.

Palavras Chaves: Sensoriamente Remoto, fusão de imagens, componentes principais

Abstract: Image merging is a subject that drew new interests due to the simultaneous acquirement of multispectral and PAN images with different resolutions. The merging approach was greatly recognized when multispectral Landsat images could be matched with SPOT ones. It generated hybrid images that combine properties from the originals in a new unique image, still maintaining spectral information and allow adds to spatial information. The result is a new image with better spatial and the same spectral resolution. This paper presents the Principals Components (PC) merging method, to obtain better results in the approach, when using the matrixes covariance and correlation in the changed to the RGB to PC space (forward and inverse). In order to apply this method, a high resolutions images were used, a Quickbird.

Key words: Remote sensing, image merging, principal components.

1. Introdução

A fusão de imagens digitais teve seu ápice quando foi possível realizar a combinação de imagens multiespectrais, LANDSAT com resolução espacial de 30m, com imagens pancromáticas, SPOT com 10m de resolução espacial. O processo firmou ser de tal importância com a geração de imagens híbridas que combinam as propriedades das imagens originais numa única nova imagem que preserva a informação espectral e possui uma melhor informação espacial (CENTENO; RIBEIRO, 2007).

O conteúdo de informação de uma imagem digital encontra-se diretamente associado a sua resolução, em termos radiométricos, espaciais e espectrais (CARPER ET AL. 1990). Portanto, a imagem seria considerada perfeita se a mesma tivesse uma alta resolução espacial, radiométrica e espectral, proporcionando ao usuário ou interprete a extração de qualquer informação de interesse. Porém na prática o que se tem são limitações técnicas e operacionais que dificultam ou impedem que imagens de sensoriamento remoto apresentem tais informações em uma só imagem.

Segundo Welch e Ehlers (1987), é possível melhorar a resolução espacial e as demais informações de uma imagem multiespectral quando é feita a combinação destas informações com dados de uma imagem de alta resolução espacial, entretanto a imagem que contém alta resolução espacial apresenta baixa resolução espectral, como é o caso das imagens pancromáticas.

São vários os procedimentos que existem para se realizar o processo de fusão, o mais utilizado é por substituição. Um método de fusão eficiente é caracterizado por preservar a informação espectral da imagem original e incorporar a informação espacial da banda pancromática para o produto híbrido (LEONARDI ET AL. 2005).

Um método de fusão de imagens por substituição é o da análise das Componentes Principais. A importância da análise das Componentes Principais é a obtenção de uma parcela de combinações lineares de um conjunto de variáveis que agregam o maior número de informação contida nas variáveis originais. As combinações lineares são orientadas de modo que a correlação entre eixos resultantes seja minimizada e a variância seja maximizada.

Este artigo apresenta a técnica de fusão de imagens por Componentes Principais (CP) considerando a melhoria da técnica quando da utilização das matrizes covariância e correlação na mudança dos espaços RGB para CP e vice-versa.

2. Metodologia

2.1 Componentes Principais

As imagens de sensoriamento remoto, especialmente de alta resolução espacial são compostas por bandas espectralmente próximas, altamente correlacionadas entre si. Por este motivo parte da informação contida num conjunto de bandas pode ser redundante. A técnica das Componentes Principais (CP) permite eliminar esta parcela redundante, representando a imagem num sistema com baixa correlação entre as imagens. Além de o método ser utilizado para a redução de bandas, é aplicado como técnica de realce e de fusão de imagens por substituição.

O processo de CP é iniciado a partir do cálculo dos autovalores e autovetores de uma matriz de variância – covariância das imagens originais. O primeiro autovalor gerado corresponde à maior porcentagem (%) da variabilidade total presente, o segundo corresponde a uma porcentagem (%) menor e assim sucessivamente. Os autovetores são o agrupamento das variáveis originais em cada um deles e representam a importância de cada variável em relação às CP. Os autovetores podem estar acompanhados de um sinal negativo ou serem positivos, indicando suas relações diretamente ou inversamente proporcionais. A transformação das CP nada mais é que o “giro” dos dados no espaço espectral.

Inicialmente os autovalores da matriz de variância-covariância (M) são calculados. Eles são os escalares (λ) que satisfazem a Equação 01.

$$|M - \lambda * I| = 0 \quad (01)$$

onde I representa a matriz identidade.

Cada autovalor (λ) encontra-se associado a um autovetor (x) através de sua Equação 02, característica.

$$M * x = \lambda * x \quad (02)$$

Assim sendo, para cada autovalor é possível calcular um autovetor, o qual define uma direção no espaço das observações como uma combinação linear dos dados originais. Os autovalores encontrados devem ser ordenados de forma decrescente, pois sua magnitude encontra-se associada ao teor de informação de cada componente resultante. Assim, o autovetor obtido com o maior autovalor corresponde à direção de maior variação dos dados originais. Este novo conjunto de eixos é chamado de componentes principais da matriz original, visto que eles são paralelos aos eixos de maior variação.

A matriz de rotação é formada utilizando os autovetores para compor uma matriz quadrada. A transformação resultante pode então ser representada, para um conjunto de bandas coloridas, como nas Equações 03 e 04.

$$\begin{bmatrix} CP1 \\ CP2 \\ CP3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (03)$$

Ou, vetorialmente

$$C = MT * X \quad (04)$$

Onde a_{ij} representa o i -ésimo coeficiente do j -ésimo autovalor ordenado de forma decrescente.

2. Índice de Qualidade de Imagens (IQI)

Na avaliação dos resultados de duas transformações por CP (covariância e correlação), foi utilizado o índice IQI (Image Quality Index, WANG e BOVIK, 2002). Calculando-se este índice é possível comparar os resultados obtidos, adotando-se como referência uma das imagens resultante da transformação de CP. Para o cálculo do IQI se utiliza a combinação de três fatores entre a imagem referência e as imagens a serem testadas: perda da correlação, distorção da luminosidade e distorção do contraste, como mostrado na Equação 05, o produto destes três fatores.

$$Q = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \cdot \frac{2 \cdot \bar{x} \cdot \bar{y}}{(\bar{x})^2 + (\bar{y})^2} \cdot \frac{2 \sigma_x \sigma_y}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \quad (05)$$

onde:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad \text{e} \quad \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad (06)$$

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad \text{e} \quad \sigma_y^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \quad (07 \text{ e } 08)$$

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y}) \quad (09)$$

O primeiro fator é o coeficiente de correlação entre x e y e mede o grau de correlação linear entre x (melhor fusão visualmente) e y (fusão inferior comparada com a melhor), num intervalo de -1 a 1. O maior coeficiente de correlação é 1 e ocorre quando $y_i = ax_i + b$, para todo $i=1, 2, \dots, N$, onde a e b são constantes e $a > 0$. O segundo fator ocorre em um intervalo entre 0 e 1 e mede quão perto a média da luminosidade está entre x e y . É igual a 1 se e somente se $\bar{X} = \bar{Y}$. Finalmente o terceiro fator mede quão

similar são os contrastes das duas imagens por meio de σ_x e σ_y . Maiores detalhes são encontrados em Wang e Bovik (2002).

3 Experimentos

Um recorte da imagem pancromática e da imagem multiespectral do satélite Quickbird foi selecionado e preparado para a aplicação do método de fusão por CP. Para realização do processo utilizamos as 3 bandas do visível: 3 e 1 do infravermelho próximo. A mesma região foi recortada na imagem pancromática. A Figura 1 (a e b) mostra uma parte do recorte da cena, sendo a Figura 1 (a) a imagem pancromática e a Figura 1 (b) a imagem multiespectral, com resolução espacial de 0,7m e 2,8m, respectivamente.

Para que nas imagens de diferentes resoluções espaciais se realize a fusão é indispensável o redimensionamento do *pixel* das bandas multiespectrais, isto é, as bandas multiespectrais são processadas para a alteração do tamanho do *pixel* ficando, portanto com a resolução espacial desta idêntica a da imagem PAN, neste caso 1 metro. Com as bandas PAN e multiespectral com o mesmo tamanho do *pixel* é realizada a correção geométrica entre elas.

A transformação de CP é realizada por meio da rotação adiante (*forward*) e da inversa (*backward*). Na rotação adiante a estatística da imagem multiespectral é computada, para que se possa realizar a rotação inversa. Na rotação inversa é possível a substituição da primeira componente, da transformação CP, pela imagem de melhor resolução espacial (1 metro), a PAN, realizando, portanto a fusão da imagem.

Dois testes foram realizados. No primeiro teste a rotação adiante (*forward* -CP) e a inversa (*backward* - RG; substituição da primeira componente pela imagem PAN) é utilizada a matriz covariância sem normalização dos dados. No segundo teste, na rotação adiante (*forward* -CP) é utilizada a matriz covariância e na rotação inversa (*backward* - RGb; substituição da primeira componente pela imagem PAN) é utilizada a matriz correlação com normalização dos dados. Em ambos os testes o ajuste do histograma da imagem PAN é alterado com base nos valores referentes ao histograma da primeira componente.

4. Resultados e Discussões

No primeiro teste a imagem não foi normalizada, quando da volta pra o espaço RGB, mantendo-se a matriz de covariância. No segundo teste a imagem foi normalizada alterando a matriz para correlação. A Figura 2 (a) destaca a fusão entre a imagem pancromática e multiespectral sem a normalização (matriz covariância, *forward* e *backward*) e a Figura 2 (b) a fusão entre a imagem pancromática e multiespectral com normalização (matriz covariância *forward* e matriz correlação - *backward*).

Os processos de fusão por CP geraram as duas imagens híbridas com os detalhes advindos da imagem pancromática e as cores da imagem multiespectral. Comparando-se visualmente as imagens originais, Figura 1 (a e b) com as imagens da fusão Figuras 2 (a e b) nota-se a melhoria e a possibilidade de melhor se extrair informações tendo-se a resolução espacial maior (0,7m) e a possibilidade de composição colorida, no caso apresentado a verdadeira cor. Visualmente pode-se observar a diferença entre as Figuras 2 (a e b) quando do processo de fusão utilizando-se para as mudanças de espaço RGB para CP (*forward* e *backward* a matriz covariância e *forward* matriz covariância e *backward* a matrizes correlação).

Devido à diferença visual entre as duas imagens advindas das 2 fusões, Figuras 2 (a e b), elas foram comparadas mediante o índice IQI (Image Quality Index, WANG e BOVIK, 2002) numa rotina do programa MATLAB 5.2. Foi determinada como referência para avaliação do índice de qualidade, a imagem resultante do processo fusão que foi normalizada Figuras 2 (b). Recomenda-se que o cálculo de IQI, para avaliação das imagens resultantes dos processos de fusão, seja realizado separadamente, isto é, duas bandas por vez, uma banda de cada processo de fusão comparada à mesma banda de outro processo.

Portanto foram calculados os valores de IQI entre a imagem referência, Figuras 2 (b), imagem gerada pela fusão com matriz de correlação e a teste, Figuras 2 (a), gerada pela fusão com matriz de covariância. O IQI foi realizado para as três bandas do visível azul, verde e vermelho (RGB) e do infravermelho próximo (IVP). O índice gera imagens que mostram os acertos e erros em relação à luminosidade, correlação e distorção entre imagem referência e teste. A Figura 3 mostra os gráficos e imagens geradas pelo IQI entre as quatro bandas (R, G B e IVP) das imagens referência (Figura 2 (b)) e teste (Figura 2 (a)).

Na Figura 3 (R, G, B e IVP) *pixels* escuros representam valores baixos de IQI enquanto áreas claras representam altos valores do índice. A diferença entre as imagens é menor quanto maior é o valor numérico de IQI, quanto mais próximo de 1 for o resultado maior será a correlação, menor será a distorção da luminosidade e a distorção do contraste quando da comparação da imagem referência com a imagem

teste. Os valores de IQI foram 0,84, 0,83, 0,72 e 0,63 para G, R, IVP e B, respectivamente, mostrando que a banda espectral R teve a menor distorção da luminosidade e do contraste e a maior correlação.

Observando-se os gráficos correspondentes a cada imagem; como exemplo no gráfico (G) que o maior valor numérico (próximo a 1) têm o tom de vermelho mais escuro e corresponde na imagem (G) a cor mais clara, a seta mostra a correspondência. Os melhores valores do IQI são para as imagens correspondentes as bandas G e R. Para a imagem e gráfico da Figura 3 (IVP) observa-se que os maiores valores de IQI estão na área de vegetação (destacada com a seta na Figura 3 (IVP)), justificável pois nesta banda a reflectância da vegetação é maior que nas bandas espectral R, G e B.

Assim a partir dos resultados de duas fusões por CP, na primeira utilizando-se nas transformações *forward* (RGB-CP) e *backward* (CP-RGB) a matriz covariância e na segunda transformação *forward* a matriz covariância e *backward* a matriz correlação foi possível avaliar a influência e melhora da imagem, visualmente e mediante o IQI, utilizando-se para a fusão a matriz de correlação (normalização) na mudança inversa (*backward*) do espaço CP para o RGB.

5. Anexos

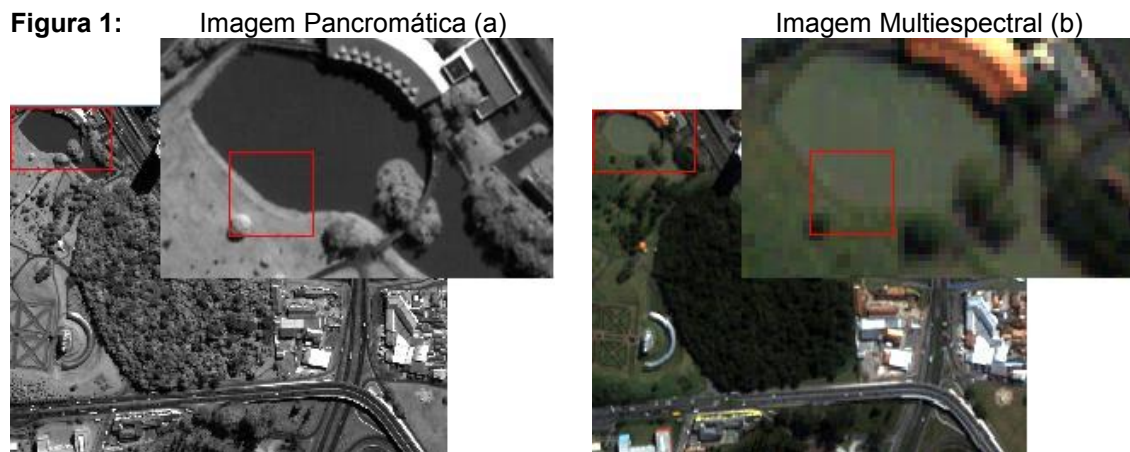


Figura 2: (a) Fusão CP forward e backward com matriz covariância ; (b) Fusão CP com forward matriz covariância e backward com a matriz correlação.

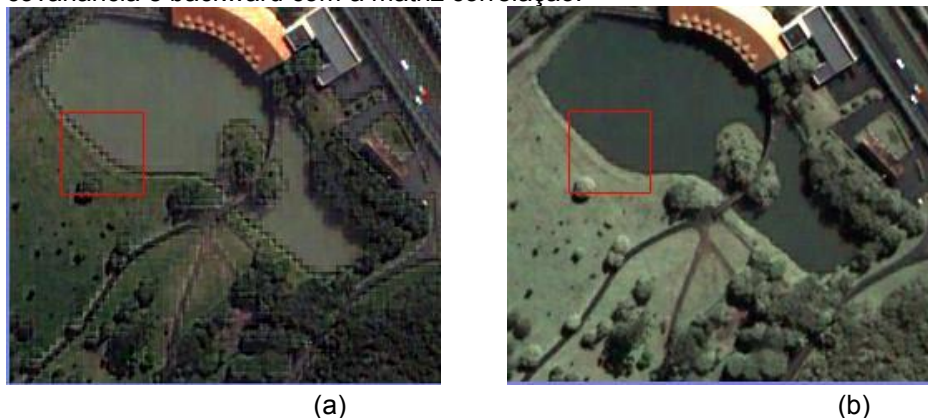
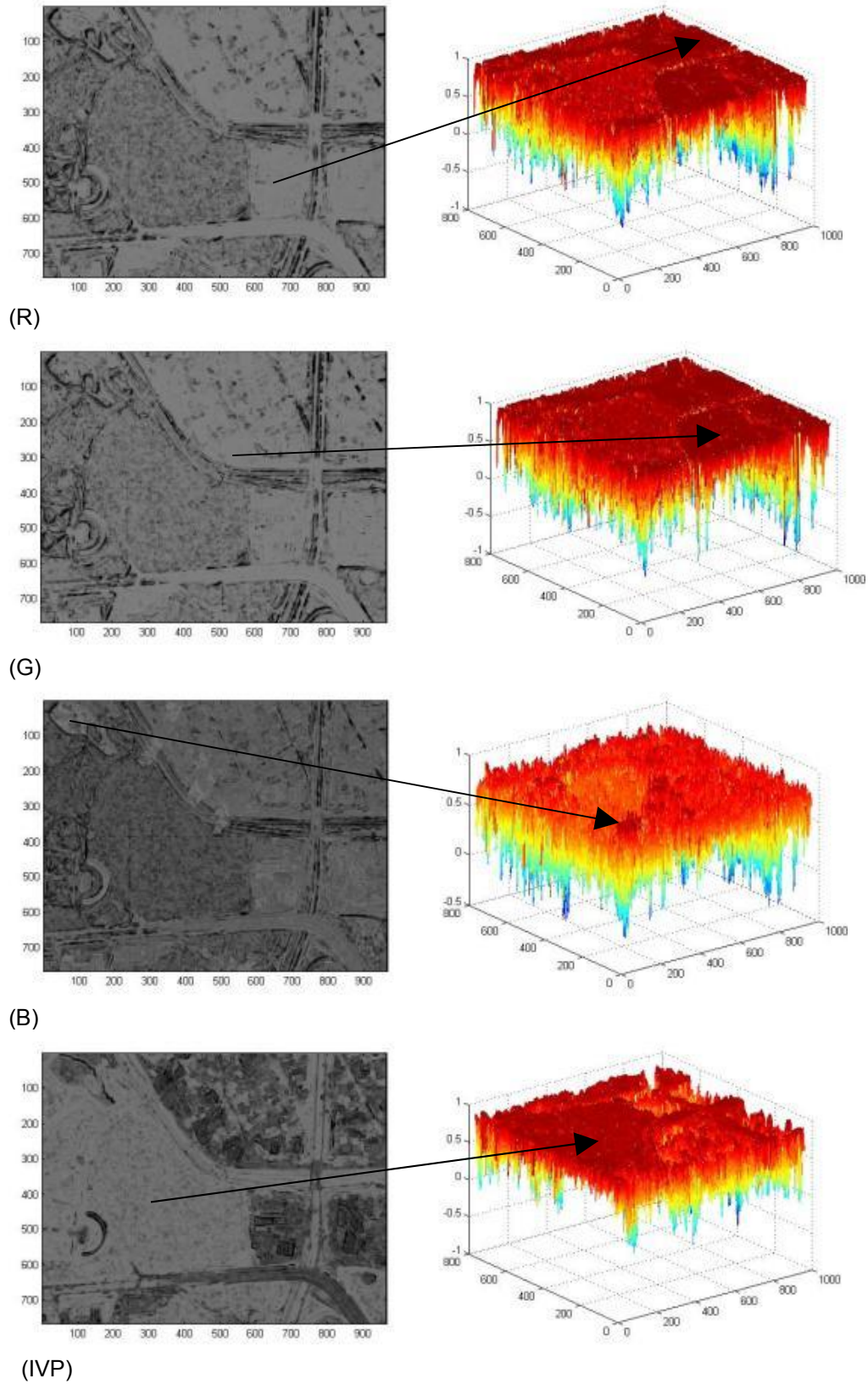


Figura 3: Resultado do cálculo do IQI de cada banda do visível (R,G,B) e a do Infravermelho Próximo (IVP) - Gráficos e Imagens geradas pelo cálculo do IQI.



6. Refêrencias Bibliográficas

CARPER, W.; LILLESAND, T.; KIEFER, R. *The use of Intensity-Hue-Saturation transformation for merging SPOT panchromatic and multispectral image data.* Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, USA, v. 56, n. 4, p. 459-467, 1990.

CENTENO J. A.; RIBEIRO, S. R. A. *Um método simplificado de fusão.* In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XIII, 2007, Florianópolis. Anais. São José dos Campos: INPE, 2007.p 21.

LEONARDI S. S. ORTIZ, J.O. E FONSECA L.M.G. *Comparação de técnicas de fusão de imagens para diferentes sensores orbitais.* In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XII, 2005, Goiânia, Anais. São José dos Campos: INPE, 2005. p 16.

WANG, Z.; BOVIK, A. C. *A Universal Quality Index.* IEEE Signal Processing Letters, USA, v. 9, n. 3, p.81-84, 2002.

WELCH, R.; EHLERS, M. *Merging multiresolution SPOT HRV and Landsat TM data.* Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, USA, v.51, n. 8, p.301-303,1987.