

NORMALIZAÇÃO RADIOMÉTRICA DE IMAGENS: UM MEIO DE INTEGRAR DADOS MULTITEMPORAIS DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL*

Maria de Lourdes Bueno Trindade GALO**
Evlyn M. Leão de Moraes NOVO***

RESUMO

As características espaciais, espectrais, radiométricas e temporais das imagens orbitais de sensoriamento remoto permitem sua utilização em muitas propostas de monitoramento ambiental, tornando-as uma ferramenta efetiva para a detecção de mudanças temporais na paisagem. Entretanto, na análise de dados multitemporais é necessário considerar as variações decorrentes dos efeitos atmosféricos, de iluminação e dos parâmetros do sensor. Nesse sentido, apresenta-se um método de normalização radiométrica de dados multitemporais o qual, apesar de não remover os efeitos das diferentes fontes de variação, utiliza os próprios parâmetros da cena para tornar as imagens comparáveis em relação a uma data de referência. Além disso, com base em um experimento de aplicação da técnica, mostra-se que uma escolha adequada da imagem de referência para o procedimento de normalização, pode melhorar consideravelmente a visualização de cenas de baixo contraste e realçar feições que eram imperceptíveis na imagem original.

Palavras-chave: detecção de mudanças; monitoramento ambiental; normalização radiométrica; sensoriamento remoto.

1 INTRODUÇÃO

A velocidade com que, atualmente, ocorrem mudanças ambientais requer o desenvolvimento de estratégias de monitoramento dos sistemas naturais que permitam avaliar, também rapidamente, a dinâmica espacial e temporal da paisagem.

Nesse aspecto, o sensoriamento remoto pode oferecer uma contribuição efetiva, considerando particularmente a disponibilidade de dados orbitais, cujas características espaciais, espectrais e radiométricas e temporais, possibilitam o mapeamento e monitoramento de extensas áreas de terra, constituindo-se em uma ferramenta

ABSTRACT

Spatial, spectral, radiometric and temporal features of satellite remote sensing data make them useful for environmental analyses and landscape change detection. Several factors, however, such as atmosphere transmittance, sensor degradation, sensor-illumination geometry variation along time must be taken into account before change detection can be performed. A method for normalizing remote sensing data is presented in this paper. The normalization does not remove the effects of these different sources of variation, but make them measurable in relation to a reference image. An experiment using this method was developed and its results show that a key aspect in the normalization is the selection of the reference image. An appropriate selection can improve the contrast, enhancing features that otherwise could not be detected.

Key words: change detection; environmental monitoring; radiometric normalization; remote sensing.

importante para a investigação dos fenômenos ecológicos, ambientais e geográficos.

No processo de aquisição dos dados orbitais, uma cena da superfície terrestre é registrada quase instantaneamente em uma imagem multiespectral (SCHOWENGERDT, 1983). Entretanto, a possibilidade de se obter, sistematicamente, informações de uma mesma área em intervalos de tempo regulares, torna tais imagens adequadas para o acompanhamento das mudanças que ocorrem na paisagem. Para CHAVEZ JR. (1996) o maior benefício desses dados, ditos multitemporais, é exatamente sua aplicabilidade na detecção de alterações da paisagem.

(*) Aceito para publicação em junho de 2000.

(**) Unesp - Universidade Estadual Paulista, FCT - Faculdade de Ciência e Tecnologia, Campus de Presidente Prudente, Departamento de Cartografia, Caixa Postal 957, 19060-900, Presidente Prudente, SP, Brasil.

(***) INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, DSR - Divisão de Sensoriamento Remoto, Caixa Postal 515, 12210-010, São José dos Campos, SP, Brasil.

Por outro lado, conforme destacam HENEERY & SU (1993), o primeiro obstáculo na análise de imagens adquiridas em múltiplas datas é a falta de constância das condições atmosféricas nos diferentes momentos de tomada de dados. Essa variabilidade atmosférica pode ser corrigida através de técnicas que, muitas vezes, requerem a utilização de parâmetros atmosféricos medidos durante a passagem do satélite, o que pode inviabilizar a análise de séries históricas de dados. Para facilitar a utilização e comparação destes tipos de dados foram desenvolvidas técnicas de normalização de imagens, entre as quais, algumas que usam um conjunto de transformações radiométricas para que as cenas pareçam ter sido obtidas sob as mesmas condições atmosféricas (SCHOTT *et al.*, 1988) por meio de um ajuste da distribuição dos *pixels* de cada imagem para um padrão ou data de referência, dentro de uma série temporal de imagens.

Nesse contexto, o objetivo do presente artigo é apresentar uma técnica de normalização radiométrica de dados multitemporais de sensoriamento remoto que se baseie diretamente em parâmetros extraídos da própria cena, assim como mostrar que a seleção adequada da imagem de referência para a normalização pode melhorar a visualização de cenas de baixo contraste, inclusive realçando detalhes antes imperceptíveis na sua representação original.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Bases Teóricas do Método

O desenvolvimento de estratégias adequadas de monitoramento ambiental pressupõe a necessidade de técnicas para quantificar a variação da reflectância nos sistemas naturais (KRUG & HENEERY, 1994). Por representarem uma forma de registro das interações que ocorrem entre a radiação eletromagnética e os diferentes objetos componentes do planeta Terra, as imagens de satélite podem se constituir em uma fonte de dados adequada para essa tarefa.

Uma imagem de satélite é espacialmente formada por elementos discretos de resolução (os *pixels*) e, radiometricamente, esses *pixels* são quantizados em níveis de brilho discretos que

representam a parcela da energia eletromagnética captada pelos detectores de um sistema de imageamento orbital. Esses dois aspectos, aliados às suas características espectrais e temporais, definem os dados de sensoriamento remoto e podem fornecer subsídios para o modelamento da estrutura espaço-temporal da paisagem.

Obviamente, a quantidade de radiação eletromagnética registrada em uma imagem é influenciada por fatores externos à superfície de imageamento, entre os quais a própria atmosfera. Segundo CHAVEZ JR. (1996), os efeitos atmosféricos apresentam uma natureza tanto aditiva quanto multiplicativa; são dependentes do comprimento de onda e incluem os fenômenos de espalhamento, absorção e refração da luz. Assim sendo, cenas de uma mesma área obtidas em diferentes datas são difíceis de comparar. SCHOTT *et al.* (1988) destacam que esta dificuldade de comparação é decorrente não apenas de variações nas condições atmosféricas, mas também das diferenças entre ângulos de inclinação e visada, assim como dos parâmetros do sensor.

As técnicas de correção radiométrica são empregadas na tentativa de remover as variações externas e independentes da cena. HENEERY & SU (1993) discriminam três abordagens nas quais se baseiam estas técnicas: modelamento das características ópticas da atmosfera; calibração das imagens por meio de medições “*in situ*” e normalização dos histogramas das imagens. Enquanto as duas primeiras abordagens prevêm a aquisição de parâmetros extra-cena durante cada passagem do satélite, o que pode inviabilizar algumas aplicações de dados multitemporais, os métodos baseados na normalização dos dados permitem eliminar os efeitos atmosféricos, ajustando a distribuição dos *pixels* de cada imagem para um padrão único dentro da série temporal.

SCHOTT *et al.* (1988) desenvolveram uma técnica de normalização radiométrica cena a cena que corrige os efeitos decorrentes da degradação atmosférica, iluminação e diferenças de resposta do sensor em uma série de imagens multitemporais. Esta técnica consta da aplicação de um conjunto de transformações radiométricas a cada banda espectral, sendo que os parâmetros desta transformação são extraídos de elementos da cena considerados temporalmente invariantes (construídos pelo homem).

Como resultado da normalização, cada banda é alterada para parecer que foi imageada com uma mesma função de resposta e nas mesmas condições atmosféricas e de iluminação de uma imagem de referência da mesma área. O pressuposto da técnica é que a radiância que chega a um sistema sensor, instalado em uma plataforma área ou orbital, em uma dada banda espectral, pode ser expressa como:

$$L = k_1 r + k_2, \quad (1)$$

onde L é a radiância que chega ao sensor; r é a refletividade do objeto; k_1 é uma constante que inclui a irradiância solar, a radiância do céu e a transmitância da atmosfera, e k_2 é a radiância de trajetória.

Ao considerar que o número digital registrado para cada banda espectral é uma função da radiância que chega ao sensor (como no caso dos sensores dos satélites Landsat), os autores definiram o nível de brilho ou número digital (ND) registrado pelo sensor como sendo:

$$ND = k_3 L + k_4, \quad (2)$$

onde k_3 é uma constante que incorpora a transmitância óptica, a responsividade do detector e ganho do sistema sensor; enquanto k_4 inclui o brilho óptico do sistema sensor e a contribuição da parte eletrônica do sistema.

A combinação das Equações (1) e (2) resulta em uma função linear relacionando o número digital (ND) e a refletividade (r) e pode ser expressa por:

$$ND = mr + b, \quad (3)$$

com $m = k_1 k_3$ e $b = k_2 k_3 + k_4$.

Aplicando a Equação (3) a um objeto com a mesma refletividade r em duas épocas distintas 1 e 2 (feições invariantes no tempo), para uma determinada banda i , tem-se:

$$ND_{1i} = m_{1i} r_i + b_{1i}, \quad (4)$$

$$ND_{2i} = m_{2i} r_i + b_{2i}. \quad (5)$$

Substituindo r da Equação (5) na Equação (4), pode-se escrever:

$$ND_{1i} = \left(\frac{m_{1i}}{m_{2i}} \right) ND_{2i} + b_{1i} - \left(\frac{m_{1i}}{m_{2i}} \right) b_{2i}. \quad (6)$$

Os autores sugerem uma solução estocástica para estimar as distribuições de probabilidade dos objetos de refletividade aproximadamente invariante e, sendo estas distribuições relacionadas linearmente, a inclinação da reta da Equação (6) pode ser estimada pela razão entre os desvios padrão das duas datas. Assim, o termo independente de ND em (6) pode ser obtido por:

$$b_{1i} - \left(\frac{m_{1i}}{m_{2i}} \right) b_{2i} = ND_{1i} - \left(\frac{m_{1i}}{m_{2i}} \right) ND_{2i}. \quad (7)$$

O resultado de (7) pode ser aplicado diretamente em (6) mas, para se ter uma estimativa mais confiável para $b_{1i} - \left(\frac{m_{1i}}{m_{2i}} \right) b_{2i}$, podem ser utilizadas as médias dos valores de brilho para as duas datas ($\overline{ND_{1i}}$ e $\overline{ND_{2i}}$) ao invés dos valores de brilho de cada feição. Então, a Equação (7) pode ser escrita como:

$$ND_{1i} = \left(\frac{\sigma_{1i}}{\sigma_{2i}} \right) ND_{2i} + \overline{ND_{1i}} - \left(\frac{\sigma_{1i}}{\sigma_{2i}} \right) \overline{ND_{2i}}. \quad (8)$$

O desenvolvimento anterior foi proposto por SCHOTT *et al.* (1988) e uma abordagem similar foi adotada por SILVA (1994) a fim de compatibilizar as distribuições de probabilidade de imagens de satélite de diferentes datas, referentes ao reservatório de Tucuruí, PA. Devido à impossibilidade de calcular os parâmetros populacionais, foram usados parâmetros amostrais na Equação (8). Desse modo, designando $I_{(i,j)AN}$ como nível de brilho de um dado *pixel* (i,j) na imagem a ser transformada, pode-se normalizar os valores de brilho entre cenas de duas épocas distintas através de:

$$I_{(i,j)N} = \left(\frac{S_R}{S_{AN}} \right) \times \left[I_{(i,j)AN} - \overline{I_{(i,j)AN}} \right] + \overline{I_{(i,j)R}}, \quad (9)$$

onde $I_{(i,j)N}$ representa o valor de brilho do *pixel* (i,j) da imagem resultante da normalização; S_R e S_{AN} são os desvios padrão da imagem de referência e da imagem a ser normalizada, respectivamente; e $\overline{I_{(i,j)R}}$ e $\overline{I_{(i,j)AN}}$ referem-se às médias da imagem de referência e da imagem a ser normalizada, respectivamente.

2.2 Abordagem Experimental

Uma variação da técnica de normalização desenvolvida por SCHOTT *et al.* (1988) e posteriormente utilizada por HENEERY & SU (1993) para quantificar o efeito da correção radiométrica sobre as características de imagens tomadas em diferentes épocas, foi aplicada a um conjunto de dados multitemporais referentes a uma área inserida no Pontal do Paranapanema, a oeste do Estado de São Paulo, representando parte do rio Paranapanema antes e após a instalação da Usina Hidrelétrica de Rosana. As cenas utilizadas correspondem a segmentos extraídos de imagens TM/Landsat (órbita/ponto 223/76) e obtidas junto ao INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais pela FCT/Unesp, Campus de Presidente Prudente, estão disponíveis em três bandas espectrais: TM3 (comprimento de onda entre 0,63 e 0,69 μm); TM4 (de 0,76 a 0,90 μm) e TM5 (de 1,55 a 1,75 μm), e correspondem a três datas de passagem distintas do satélite Landsat: 30 de julho de 1985; 20 de novembro de 1991 e 23 de maio de 1995.

No método originalmente desenvolvido por SCHOTT *et al.* (1988) foram usadas feições que os autores consideraram invariantes no tempo, ou seja, construídas pelo homem, para a extração dos parâmetros estatísticos da transformação. No presente caso, pelo fato da área de interesse constituir-se de uma paisagem essencialmente rural, onde feições com características antrópicas são pouco representativas, estes parâmetros foram gerados a partir de todas as feições representadas na cena de interesse e considerando toda a variabilidade paisagística da área teste. Assim sendo, o experimento constou da aplicação das transformações lineares, banda a banda, apresentadas em SILVA (1994), utilizando como parâmetros a média e o desvio padrão dos níveis de brilho extraídos da cena completa.

Para mostrar a influência da escolha da imagem de referência no resultado da normalização,

a técnica foi aplicada ao conjunto de dados em duas situações. Na primeira, considerou-se a cena mais antiga (julho/85) como imagem de referência, assumindo-se que os parâmetros de calibração dos detetores e sensores do satélite estariam mais próximos de seu desempenho "ótimo", quando o satélite estava no início de sua vida útil. Na segunda situação, optou-se por usar a cena de novembro/91 como referência, por ser a imagem de maior contraste na série temporal.

2.3 Procedimento Adotado

A FIGURA 1 ilustra a seqüência de atividades desenvolvidas a fim de operacionalizar o procedimento de normalização de imagens, levando em conta a aplicação da técnica, isoladamente, para as duas datas de referência.

Inicialmente, as imagens foram segmentadas de modo a incluírem apenas a área de interesse. Estes segmentos de cena foram registrados geometricamente data a data, utilizando 8 pontos de controle, função de transformação linear e técnica de interpolação pelo vizinho mais próximo. O resíduo do registro geométrico foi menor que um (1) *pixel*.

Com as imagens devidamente coregistradas, procedeu-se à extração dos parâmetros estatísticos, referentes à média e ao desvio padrão dos níveis de brilho da cena, a partir da leitura do histograma de cada banda, em cada data de passagem.

O passo seguinte foi definir a imagem de referência e utilizar as estatísticas de cada banda espectral e cada data de aquisição de dados para gerar as funções de transformação, banda a banda, conforme expresso na Equação (9).

Finalmente, as funções de transformação foram aplicadas às cenas a serem normalizadas, na forma de um conjunto de operações aritméticas, tomando como referência, em primeiro momento, a imagem mais antiga, e em uma transformação subsequente, a imagem de maior contraste.

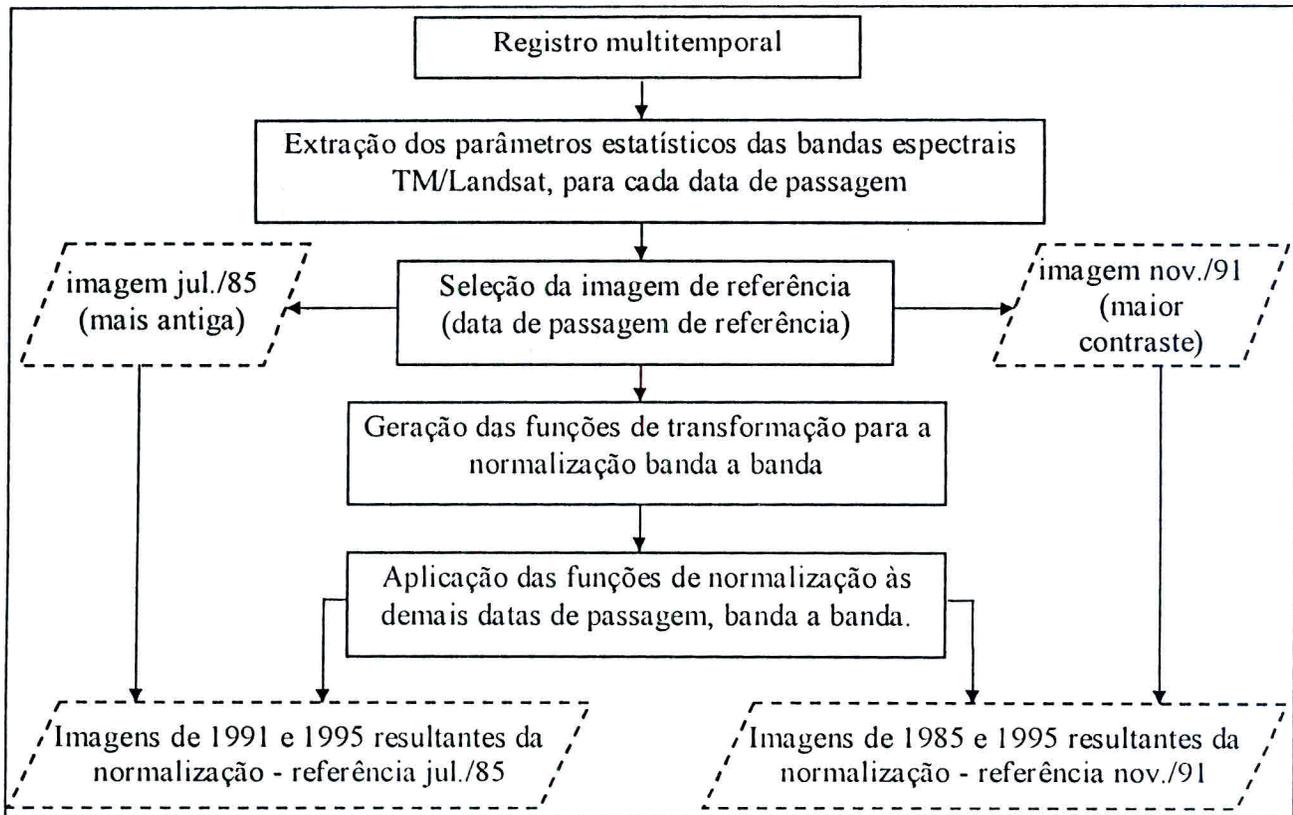


FIGURA 1 - Fluxograma das atividades desenvolvidas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado do procedimento adotado foram obtidos dois conjuntos de imagens normalizadas: o primeiro referente à normalização realizada usando a imagem mais antiga como referência (jul./85); e o segundo resultante da transformação considerando a cena de nov./91 como referência. Os parâmetros estatísticos utilizados nestas transformações (média e desvio padrão dos níveis de brilho), ou seja, aqueles extraídos dos dados originais TM/Landsat, em cada uma das três datas de aquisição de

imagens e nas três bandas espectrais consideradas, são apresentados no QUADRO 1. Os valores expressos sugerem uma variabilidade radiométrica decorrente tanto do caráter espectral dos dados (diferenças entre as bandas), quanto do aspecto temporal (diferenças entre datas de aquisição). Percebe-se que na imagem adquirida em nov./91 estão os valores de desvio padrão mais elevados em cada uma das bandas, indicando que a cena desta data apresenta um maior contraste. Por esse motivo, essa imagem foi escolhida como referência para uma das alternativas para a normalização.

QUADRO 1 - Parâmetros estatísticos dos dados originais.

DATA	30 de julho de 1985			20 de novembro de 1991			23 de maio de 1995		
Banda	TM3	TM4	TM5	TM3	TM4	TM5	TM3	TM4	TM5
Média	28,694	44,932	66,925	46,259	85,812	116,09	20,367	43,282	49,322
Desvio padrão	10,2081	7,7351	24,6868	16,3188	20,8530	46,3193	6,1102	11,7751	20,8989

Os parâmetros estatísticos das imagens resultantes da normalização usando a cena de jul./85 como referência são mostrados no QUADRO 2. Sua leitura indica que a média e o desvio padrão dos níveis de brilho das imagens normalizadas aproximam-se dos valores expressos nos dados originais para a imagem de referência (jul./85). Essa situação se confirma quando são analisados os parâmetros

correspondentes à transformação das demais imagens usando a cena de nov./91 como referência (QUADRO 3). Uma comparação entre os valores dos parâmetros mostrados nos QUADROS 2 e 3 permite verificar que, como era esperado, a média e o desvio padrão foram maiores quando se utilizou a cena de maior contraste (nov./91) como referência, resultando em imagens normalizadas mais contrastadas.

QUADRO 2 - Imagens normalizadas utilizando a cena de julho/1985 (mais antiga) como referência.

DATA	30 de julho de 1985 (referência)			20 de novembro de 1991			23 de maio de 1995		
Banda	TM3	TM4	TM5	TM3	TM4	TM5	TM3	TM4	TM5
Média	28,6942	44,9317	66,9254	28,8212	44,9133	66,8214	28,6108	44,9036	66,8470
Desvio padrão	10,2081	7,7351	24,6868	10,2307	7,7412	24,7092	10,2005	7,7907	24,6777

QUADRO 3 - Imagens normalizadas utilizando a cena de novembro/1991 (maior contraste) como referência.

DATA	30 de julho de 1985			20 de novembro de 1991 (referência)			23 de maio de 1995		
Banda	TM3	TM4	TM5	TM3	TM4	TM5	TM3	TM4	TM5
Média	46,1698	86,0265	116,251	46,2589	85,8116	116,096	46,2904	85,5984	116,030
Desvio padrão	16,3363	19,7910	46,1256	16,3188	20,8530	46,3193	16,2743	20,8278	46,2916

Para ilustrar as alterações decorrentes da normalização na aparência visual das imagens foram geradas composições coloridas, a partir da associação das bandas TM3, TM4 e TM5 às cores azul (B), vermelho (R) e verde (G), respectivamente. Para efeito de comparação foram produzidas, inicialmente, composições coloridas utilizando os dados originais para cada uma das três datas de aquisição, as quais são apresentadas na FIGURA 2.

A simples visualização destas composições mostra nitidamente as diferenças radiométricas entre as três datas e destaca, inclusive, a dificuldade em se discriminar os elementos componentes da cena nas imagens de menor contraste (jul./85 e maio/95), principalmente naquela adquirida mais recentemente (FIGURA 2-c).

Ao se utilizar uma imagem pouco contrastada como referência para a normalização, as cenas

transformadas apresentarão, também, um baixo contraste, pois os parâmetros da imagem normalizada serão aproximados para a de referência e vice-versa. Tais situações estão ilustradas nas FIGURAS 3 e 4, as quais mostram as imagens normalizadas com base nos indicadores estatísticos extraídos das cenas adquiridas em jul./85 e nov./91, respectivamente.

Comparando-se a imagem original tomada em nov./91 (FIGURA 2-b), com a transformada em relação a jul./85 (FIGURA 3-a), percebe-se que ela apresenta uma melhor definição de detalhes antes da normalização, o que é plenamente justificado pela redução de contraste a que esta cena foi submetida. Quanto a imagem de maio/95, a comparação entre as FIGURAS 2-c e 3-b (dados originais e normalizados, respectivamente), mostra um aumento pouco significativo na definição dos objetos da cena com a normalização.

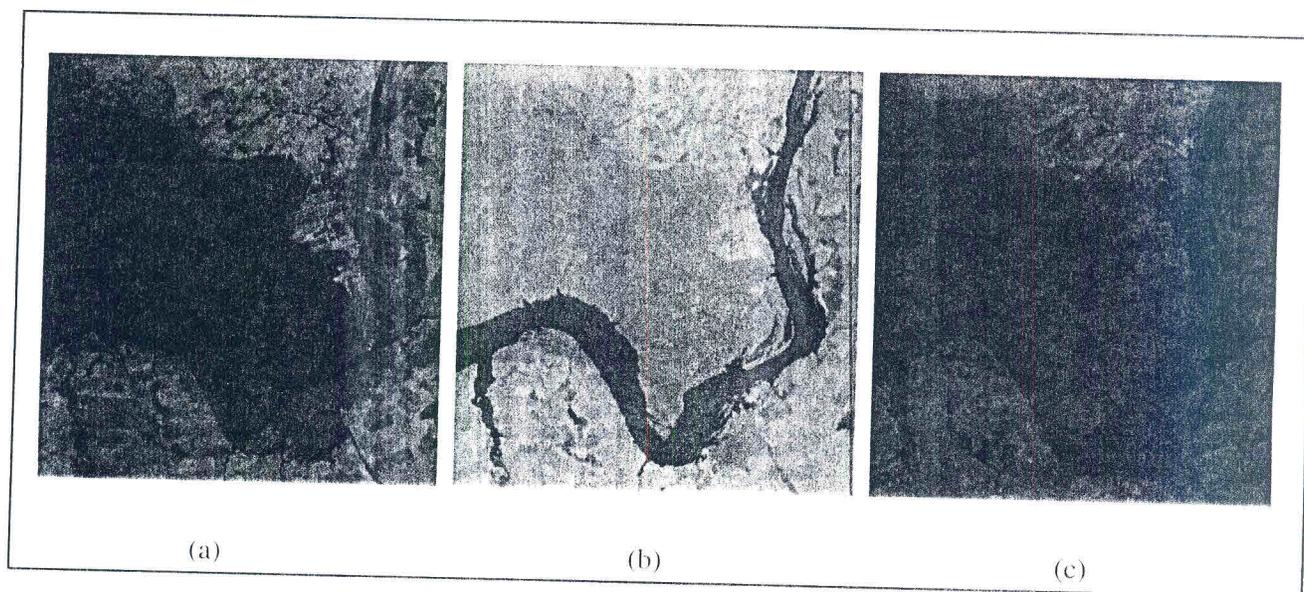


FIGURA 2 - Composições coloridas (bandas TM3, TM4 e TM5 em BRG, respectivamente), elaboradas a partir dos dados originais TM/Landsat obtidos em: (a) 30 de julho de 1985; (b) 20 de novembro de 1991 e (c) 23 de maio de 1995.

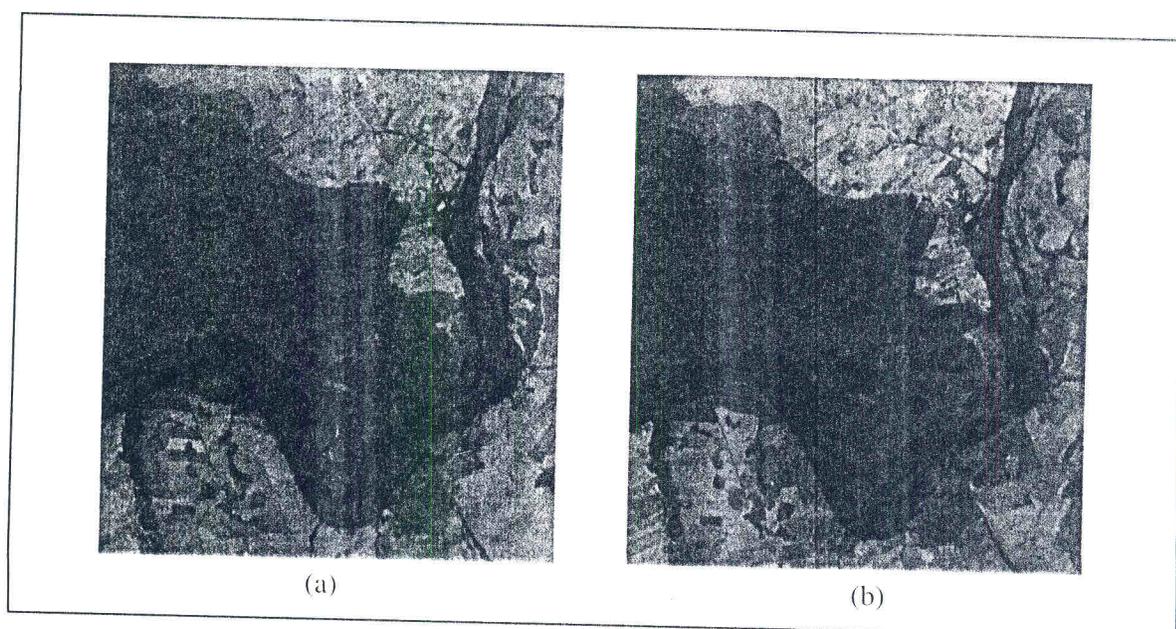


FIGURA 3 - Composições coloridas dos dados normalizados usando a imagem de 1985 como referência: (a) cena de 20 de novembro de 1991 e (b) cena de 23 de maio de 1995.

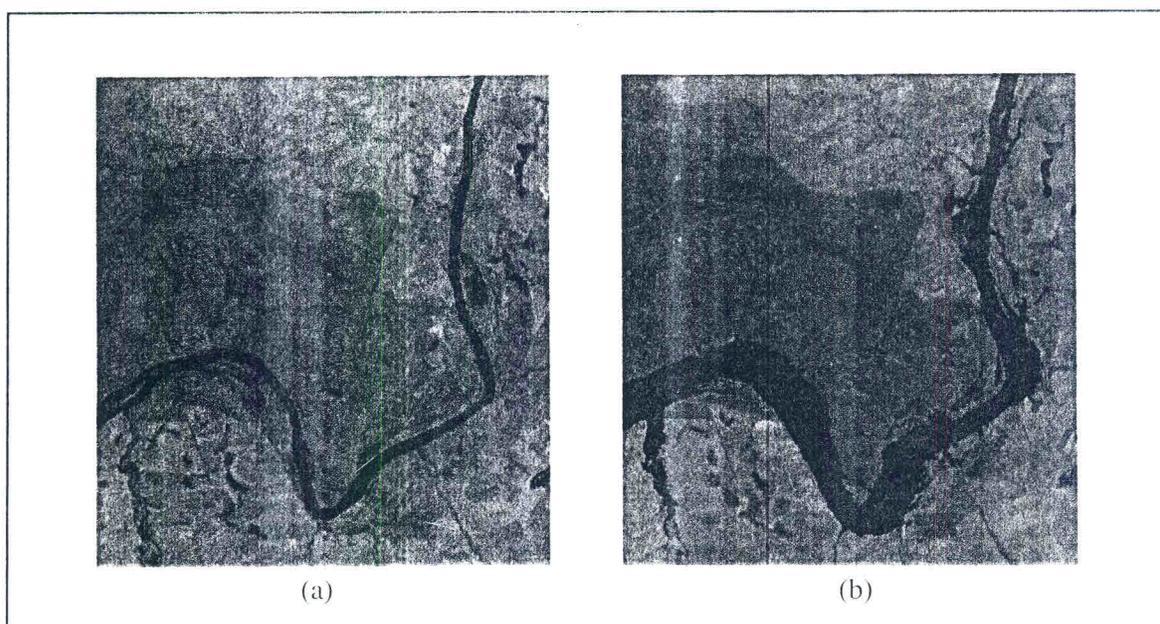


FIGURA 4 - Composições coloridas dos dados normalizados usando a imagem de 1991 como referência para as cenas adquiridas em: (a) 30 de julho de 1985 e (b) 23 de maio de 1995.

O melhor resultado visual de normalização é expresso na FIGURA 4, quando foi usada como referência a imagem de maior contraste (nov./91). Analisando-se comparativamente as duas imagens resultantes (FIGURA 4-a, cena de jul./85 e FIGURA 4-b, cena de maio/95) em relação aos dados originais (FIGURAS 2-a e 2-c, respectivamente) verifica-se que o contraste foi sensivelmente melhorado com a normalização, assim como a definição das feições que integram as cenas consideradas. A transformação permitiu, inclusive, a visualização de detalhes da cena que eram imperceptíveis nas imagens originais.

Apesar do desenvolvimento teórico original da técnica ter se baseado na extração dos parâmetros a partir de feições invariantes no tempo (feições construídas pelo homem), a abordagem utilizada - gerar os parâmetros da transformação considerando a cena completa - mostrou-se uma aproximação adequada para as situações onde as chamadas feições invariantes são pouco representativas na imagem (paisagens predominantemente naturais). Nesse sentido, a similaridade observada entre as imagens normalizadas e a respectiva cena adotada como referência foi consistente com os resultados apresentados por SCHOTT *et al.* (1988), ao ilustrar o aspecto qualitativo de sua aplicação a uma área predominantemente antrópica.

Rev. Inst. Flor., São Paulo, 12(1):67-75, 2000.

Finalmente, embora a utilização do método por HENEGBRY & SU (1988) não tenha produzido um resultado que possibilitasse sua comparação direta com as imagens normalizadas, já que o objetivo foi verificar as características da cena mais influenciadas pela correção radiométrica, a abordagem adotada por SILVA (1994), como a presente aplicação, resultou em imagens normalizadas com indicadores estatísticos (média e desvio padrão) bastante próximos daqueles medidos na cena usada como referência.

4 CONCLUSÕES

As imagens resultantes da aplicação da técnica de normalização proposta demonstram o potencial da mesma para transformar radiométricamente imagens multitemporais em relação a uma data de referência, desde que o conjunto de dados tenha sido adquirido pelo mesmo sistema sensor e englobe uma mesma área geográfica. Este requisito está implícito na própria definição do método, que prevê a transformação banda a banda e inviabiliza sua utilização quando os dados multitemporais tiverem suas bandas definidas em intervalos espectrais distintos, ou mesmo quando a resolução espacial dos dados for diferente.

Uma das principais vantagens da normalização é que se trata de uma técnica desenvolvida com base em parâmetros extraídos da própria imagem, ou seja, não são necessários dados extra-cena resultantes de medições “*in situ*” efetuadas durante a aquisição da cena em cada data de passagem, podendo, assim, viabilizar esforços para monitoramento ambiental, ou mesmo a análise temporal com séries de dados históricos.

Como recomendação, em função dos resultados obtidos, sugere-se que seja usada a imagem de maior contraste como referência para a normalização. Sua utilização melhorou consideravelmente a visualização das cenas de baixo contraste, realçando feições antes imperceptíveis na imagem original.

Finalmente, como sugestão, poderia ser avaliada com mais propriedade a influência da sazonalidade, assim como o significado prático nas diferenças induzidas nas imagens pelo procedimento de normalização.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Prof. Ass. Mauricio Galo, da FCT/Unesp, pelas sugestões apresentadas no sentido de adequar a formulação matemática da normalização radiométrica ao problema abordado no artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHAVEZ JR., P. S. 1996. Image-based atmospheric corrections - revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Falls Church, 26(9):1025-1036.
- HENEGBRY, G. M. & SU, H. 1993. Using landscape trajectories to assess the effects of radiometric rectification. *International Journal of Remote Sensing*, New York, 14(12):2417-2423.
- KRUG, T. & HENEGBRY, G. M. 1994. Temporal dynamics of correlation length in a disturbance-driven ecosystem: application to the TM image series of the Pantanal, Brazil. In: SYMPOSIUM RESOURCE AND ENVIRONMENTAL MONITORING, 7, Rio de Janeiro-RJ, Sept. 6-30, 1994. *Proceedings...* São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. p. 44-48.

SCHOTT, J. R.; SALVAGGIO, C. & VOLCHOK, W. J. 1988. Radiometric scene normalization using pseudoinvariant features. *Remote Sensing of Environment*, New York, 26(1):1-16.

SCHOWENGERDT, R. A. 1983. *Techniques for image processing and classification in remote sensing*. London, Academic Press. 249p.

SILVA, O. F. 1994. *Caracterização dos gradientes longitudinais e laterais do reservatório de Tucuruí/PA, através de dados limnológicos e imagens TM-Landsat*. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 115p. (Dissertação de Mestrado) (INPE-5967-TDI/571)