

Integração de imagens LANDSAT/ETM+ e CBERS-2/CCD para detecção de mudanças em área da Amazônia sob domínio da floresta de transição.

João Roberto dos Santos¹
Francisco Darío Maldonado¹
Paulo Mauricio Lima Alencastro Graça²

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE/MCT
Av. dos Astronautas, 1758 CP. 515 12.227-010 São José dos Campos – SP, Brasil
{jroberto, francis}@inpe.br

² Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA/MCT
Av. André Araujo, 2936 CP: 478 69.011-970 Manaus – AM, Brasil
pmlag@inpa.gov.br

Abstract. Techniques for change detection are more improved and applied to the information extraction related to landscape monitoring. With the recent availability of CCD/CBERS-2 data, the main objective of this research is to show the technique on “*Radiometric rotation controlled by a no-change axis (RCEN)*”, using a multi-temporal comparison with the image from ETM+/Landsat-7. The result of this technique is one detection-image of changes derived from the data integration of both sensors mentioned, whose map shows the conditions of regrowth/degradation cover and its intensity levels.

Palavras-chave: change detection, land use, tropical forest, CBERS-2, remote sensing, detecção de mudanças, uso da terra, floresta tropical, CBERS-2, sensoriamento remoto.

1. Introdução

A constante redução da paisagem florestal tem como causas primordiais a atual política de incentivo à exportação, favorecendo o aumento da fronteira agrícola e a implantação de novos projetos pecuários. Processos outros tradicionais de antropização, derivados de assentamentos, vêm juntar-se às causas anteriormente citadas, todos secundados por atividades legais e ilegais de exploração madeireira. Essas condicionantes de modificações na paisagem florestal, têm ocorrido em larga escala na Amazônia. Isso justifica a contínua necessidade de imagens orbitais, como alternativa de dados e informações que possam subsidiar um processo de controle e fiscalização de determinada região (Steininger, 1996), cujo desenvolvimento metodológico e aplicação prática pode ser visto também, em trabalhos recentes de Santos et al. (2002), Lorena et al. (2002).

Toda uma base de dados da Amazônia, derivados de produtos sensoriados em nível orbital, tem sido historicamente construída, principalmente, a partir de dados Landsat/TM. As imagens derivadas do Landsat-5 hoje está comprometida por problemas de qualidade radiométrica, mesmo estando esse satélite ainda em operação e com tempo de vida na tarefa de imageamento além do esperado. Junte-se a isso, o comprometimento da aquisição de imagens por parte do Landsat-7, fora de operação. É fato que outros produtos-sensores, tidos na faixa óptica, derivados da série NOAA/AVHRR, SPOT/HRV e mais recentemente, TERRA/MODIS e TERRA/ASTER, têm servido como fonte de informações nos estudos de monitoramento de causas e efeitos de degradação da paisagem. Nesse contexto, o trabalho atual tem como objetivo a elaboração de um procedimento metodológico em detecção de mudanças do uso e cobertura da terra, utilizando um conjunto de imagens multitemporais e de multisensores (ETM+/LANDSAT e CCD/CBERS-2)

de bandas correlatas (região do vermelho). Isso, como maneira de ilustrar a possibilidade de integração de informações de um determinado sensor para outro, num processo operativo sequencial de monitoramento. Nesse caso, em acordo com um procedimento simples, eficiente e sem muitas exigências técnicas, mantendo contudo, uma adequada representação espectral, espacial do alvo, além da radiometria da cena investigada. Uma vez que a comunidade brasileira tem agora a seu dispor as imagens CCD (*High Resolution CCD Camera*) do CBERS-2 (*China-Brasil Earth Resources Satellite*), é importante estabelecer experiências no uso desse produto, visto que tal satélite e os sensores nele instalados irão ocupar, de certo modo, uma lacuna de aquisição de informações sensoriadas nessa categoria óptica. No desenvolvimento dessa pesquisa acerca da detecção de mudanças, numa categorização analítica, foi empregada a técnica de rotação radiométrica controlada por eixo de não-mudança (RCEN).

2. A abordagem de “detecção de mudanças” e suas aplicações.

Detecção de mudanças é definida como o reconhecimento de alterações nos padrões característicos de determinado alvo nas imagens, num espaço de tempo. Para Macleod e Congalton (1998), alguns aspectos devem ser considerados no monitoramento ambiental: a origem da alteração da paisagem, a detecção propriamente dita da mudança, a intensidade, a direção e a extensão da transformação de uso e cobertura da terra. As técnicas de detecção de mudanças variam, conforme Green et al. (1994), com os objetivos a serem alcançados, sendo categorizadas em: técnicas para tornar possível a detecção de transformações; técnicas para medir as mudanças; e para atualização temática e espacial das mudanças. Assim, a escolha dos dados a serem utilizados, relacionando o tipo, a sequência de ocorrência e o tempo de existência das transformações devem ser devidamente considerados. Com o avanço dos procedimentos de processamento digital necessários para detectar e delimitar alterações no meio ambiente, pode-se citar como técnicas mais empregadas, segundo Singh (1989), a diferença de imagens, a razão de imagens, a análise por componentes principais, análise de vetor de mudanças e a comparação pós-classificação. Além dessas técnicas, estão sendo aplicados novos procedimentos que empregam a rotação radiométrica controlada, que tem como base índices de acurácia (Maldonado et al., 2001) e outra, por análise de eixos de não mudança, em desenvolvimento e particular discussão no presente artigo.

Com o intuito de contextualizar o leitor desse artigo no assunto em questão, citam-se alguns exemplos da aplicabilidade das técnicas de detecção. Más (1998), a partir de dados Landsat/MSS, utilizou variadas técnicas de processamento digital como, diferenciação de imagens, diferenciação de índices de vegetação (NDVI), análise de componentes principais, comparação pós-classificação, tendo fotografias aéreas como fonte de avaliação da acurácia dos resultados, destacando que a técnica de pós-classificação apresentou significativo desempenho por indicar a natureza das mudanças. Maldonado et al.(2002) estudando uma região no semi-árido brasileiro, fizeram uso de principais componentes (rotação controlada por matriz de covariância) em imagens multitemporais Landsat/TM (bandas do vermelho e infravermelho próximo), quantificando dois níveis de degradação, dois de recuperação da cobertura vegetal e um de não-mudança. Lorena et al.(2002) ao utilizarem imagens Landsat/TM da região do projeto de colonização Pedro Peixoto (Acre), empregaram duas técnicas: a de Análise por Vetor de Mudanças(AVM) e a de comparação pós-classificação (algoritmo classificatório por regiões Battacharyya), indicando o ganho e perda de biomassa, frente a conversão de áreas de floresta primária em áreas de atividades agrícola e de pecuária. Silva et al. (2003) fizeram uso dessa

técnica AVM para caracterizar e quantificar a dinâmica de uso e cobertura da terra, em áreas de floresta tropical sob influência da atividade de exploração madeireira no Estado do Mato Grosso, utilizando imagens TM/Landsat-7 (bandas 1 a 5 e 7). Coppin et al. (2004) apresentam uma revisão dos métodos atuais de detecção de mudanças aplicados ao monitoramento de ecossistemas, tanto no domínio óptico como do infravermelho, com dados multisensores, fazendo uma análise crítica das técnicas nessa integração entre os dados sensoriados e os fenômenos biofísicos geradores das mudanças na paisagem investigada.

3. A técnica de rotação radiométrica controlada por eixo de não-mudança (RCEN).

A RCEN é uma transformação linear, a qual produz uma rotação dos eixos ortogonais do espaço de atributos radiométricos das imagens (de uma mesma banda espectral em datas diferentes), em relação ao eixo formado pela reta de regressão dos pontos rotulados no campo como não-mudança. Este eixo descreve a correlação entre os pixels de não-mudança nas imagens da primeira e segunda data. Nesta técnica o ângulo de rotação (α) é definido como o arco tangente do coeficiente de inclinação da reta na regressão linear dos pixels de não-mudança identificados previamente no terreno. A imagem detecção é gerada utilizando-se o algoritmo de uma rotação simples, que está baseada em duas formulações:

$$X_{Res} = X_1 \cos \alpha + X_2 \sin \alpha \quad (\text{Eq. 1})$$

$$X_{Det} = -X_1 \sin \alpha + X_2 \cos \alpha \quad (\text{Eq. 2})$$

sendo

X_{Res} = imagem residual (1ª componente; sem valor analítico a ser considerado)

X_{Det} = imagem detecção de mudanças (2ª componente)

X_1 = imagem de determinada banda espectral da primeira data

X_2 = imagem de determinada banda espectral da segunda data

α = ângulo de rotação.

4. Material e Métodos

4.1. Área de estudo.

A área de estudo abrange os municípios de Sinop, Cláudia, Itaúba, na parte norte do Estado do Mato Grosso, definida pelas coordenadas geográficas 55°08'15" a 55°31'21" de longitude oeste e 11°15'02" a 11°48'08" de latitude sul, totalizando 2.550 Km². Essa área está situada ao longo de um trecho da Rodovia BR-163 Cuiabá-Santarém. Na região há ocorrência da floresta de transição, numa zona de contato entre a Floresta Ombrófila Aberta e a Floresta Estacional Semidecidual, com domínio climático do tipo Am (tropical chuvoso com período de seca de maio a setembro), com pluviometria e temperatura média anual de 2.300 mm e 24°C, respectivamente. O Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico é predominante na área de estudo, caracterizada por intensa atividade agrícola e madeireira, que vêm gerando grande pressão sobre as áreas ainda existentes de floresta primária.

4.2. Procedimento metodológico.

Foram empregadas nesse estudo imagens dos sensores ETM+/Landsat-7 (órbita 226/68) datada de 23/05/2002 e CCD/CBERS-2 de 30/04/2004, todas na banda do vermelho (0,63-0,69 μm),

convenientemente tratadas no ambiente computacional do ERDAS *Imagine versão 8.2*. Uma descrição detalhada da configuração do CBERS pode ser observada em http://www.cbbers.inpe.br/pt/programas/cbers1-2_cameras.htm. Na **Figura 1** pode-se verificar a sequência metodológica, iniciada com a fase de registro das imagens multisensores, a partir de uma transformação espacial para que sejam coincidentes.

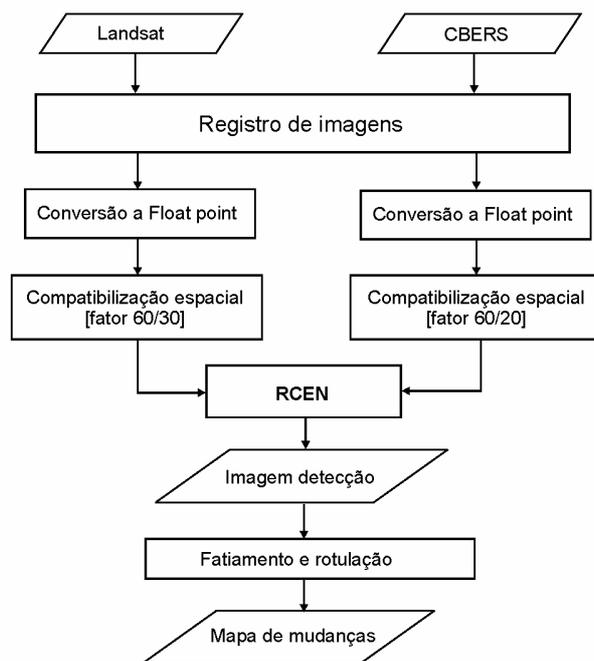


Figura 1. Procedimento metodológico para tratamento dos dados LANDSAT e CBERS-2.

O co-registro de imagens foi executado utilizando-se a técnica de reamostragem por vizinho mais próximo (*nearest neighbor*). As imagens ETM+ e CCD foram convertidas de número inteiro para *float point* (dupla precisão). Isto permite a degradação da resolução espacial, e em contrapartida, uma melhoria da informação radiométrica. Posteriormente foi feita uma compatibilização das distintas resoluções espaciais para 60 metros. Para tal, utilizaram-se fatores inteiros de conversão, sendo 2 e 3 respectivamente para os sensores citados. Para exemplificar tal medida, interpolou-se 4 pixels na imagem Landsat/ETM+ para gerar 1 pixel com resolução espacial de 60m, cujo valor radiométrico corresponde a média desses pixels originais; para o caso do CCD/CBERS-2 foram utilizados 9 pixels. Um algoritmo de rotação radiométrica controlada por eixo de não-mudança (RCEN) foi aplicado para as imagens datadas de 2002 e 2004, de forma a permitir como resultante dessa conjugação de imagens (Landsat/ETM+ e CBERS-2/CCD), uma imagem detecção de mudanças, conforme formulação descrita anteriormente (**Eq. 2**).

Uma outra técnica empregada nessa sequência operacional foi o procedimento de fatiamento e rotulação com 4 limiares para a imagem detecção, permitindo assim, a estratificação do espaço de atributos espectrais em 5 classes temáticas: duas de degradação, duas de regeneração e uma de não-mudança. Na configuração do fatiamento, a moda máxima da distribuição de frequência dos pixels representa o centro das classes de não-mudança entre datas; a partir do valor da moda (centro da classe de não-mudança), consideram-se como mudanças na paisagem valores da ordem

de 1 e 2 desvios-padrão de distância, respeitando-se como condição de estratificação, uma restrição de simetria entre limiares de classes de degradação ou recuperação. A magnitude da mudança radiométrica entre datas indica como sub-classes de recuperação aquelas áreas da imagem-diferença situadas em valores de distância menores que aquele da moda, na área que representa a categoria de não-mudança. Por outro lado, valores de distância maiores que a moda irão representar as sub-classes de intensidade de degradação. A partir desse ponto foi gerado um mapa de mudanças 2002/2004, ilustrando a distribuição das cinco categorias temáticas ocorridas nessa área destinada a expansão agrícola e de exploração madeireira.

Trabalhos de campo foram realizados nos anos de 2002 e 2003 para reconhecimento das feições presentes nas imagens relativas aos padrões da dinâmica de uso e cobertura da terra, cujos pontos de observação, num total de 470, foram devidamente georeferenciados (GPS II Plus-Garmin), facilitando o entendimento do mapa de detecção de mudanças resultante. Como informação adicional, pode-se registrar que estudos prévios recentes de classificação temática com os dados multitemporais do ETM+ e outro, com imagens ASTER, em concordância com os dados de referência de campo nessa mesma área de estudo (anos de 2002 e 2003), apresentaram valores de *Kappa* da ordem de 0,75 e 0,64 respectivamente, conforme relatam Silva et al. (2003) e Mendoza Rojas et al. (2004). Tal conhecimento *in loco* da área investigada, em continuação aos dois estudos acima citados, reforça a confiabilidade interpretativa da imagem de detecção gerada no presente trabalho, quanto as categorias temáticas de regeneração e degradação identificadas.

5. Resultados e Discussão

Na **Figura 2** é apresentada a dispersão de valores radiométricos em um espaço de atributos formado pela conjunção dos dados da primeira data (23/05/2002) do ETM+ *versus* a segunda data (30/04/2004) do CBERS-2. Destaca-se a linha de regressão dos pixels de não-mudança de cobertura vegetal e o consequente ângulo de rotação ($\alpha = 23^\circ 03'$) utilizado no rotacionamento da radiometria do par de imagens para geração da imagem detecção de mudanças.

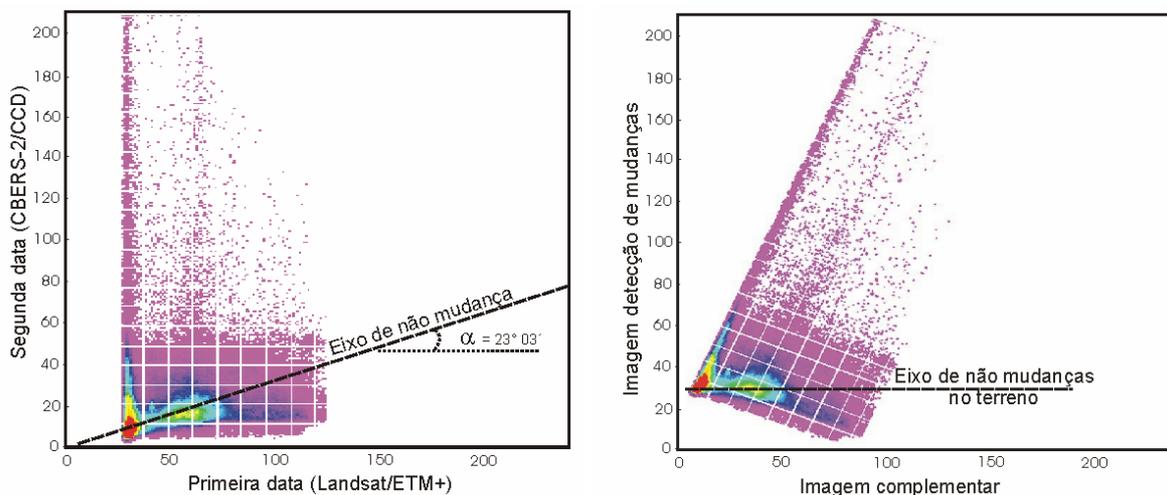


Figura 2. Dispersograma da radiância entre imagens multisensores (banda espectral do vermelho) do Landsat/ ETM+ e CBERS-2/CCD dos anos 2002 e 2004, respectivamente. No lado direito, o dispersograma da radiância rotacionado.

Com a aplicação da RCEN a transformação linear é feita sobre o espaço radiométrico rotacionando os eixos cartesianos em sentido anti-horário, até o eixo x atingir o paralelismo com o eixo de não mudança a partir do ângulo encontrado. Tal procedimento permite obter uma imagem detecção, conforme a formulação indicada na **Equação 2**. Desta forma, fica evidente que a técnica RCEN utilizada no processo de comparação entre imagens multitemporais e/ou multisensor, minimiza a necessidade de correções radiométricas prévias, simplificando o tempo operacional de tratamento e permitindo obter resultados satisfatórios na detecção de mudanças.

Na abordagem RCEN adotada é necessário rotacionar as imagens bi-anuais multisensores, pois os ângulos são geralmente diferentes de 45° e nesse caso, do par de imagens ETM+/Landsat e CCD/CBERS-2, o ângulo α encontrado foi de $23^\circ 03'$.

Uma maior diferença do ângulo de rotação a 45° é um indicativo que o pré-processamento necessário para compatibilizar dados seria mais complexo (etapas de calibração dos dados para radiância e reflectância aparente, além da correção atmosférica, conforme sugerem Hall et al., 1991), face a diferença de sensibilidade entre os sensores, resolução radiométrica e espacial, além das condições atmosférica e de iluminação no momento do imageamento.

Pelo ângulo α encontrado nesse trabalho, pode-se genericamente inferir que dados ETM+, nessa banda do vermelho, podem ser conjugados com um nível de dificuldade moderada, com aqueles do CCD/CBERS-2, caso métodos clássicos de detecção de mudanças, que fazem uso de compatibilizações prévias multisensores, sejam adotados.

Na **Figura 3a** é apresentada a imagem de detecção de mudança 2002/2004 resultante da técnica RCEN, com o compartilhamento dos dados multisensores, cuja estratificação temática tem a indicação das áreas de regeneração e degradação em diferentes níveis de intensidade, além das áreas de não-mudança. Considerando que a área investigada tem 2.550 Km^2 , é mostrada na **Figura 3b** a distribuição percentual das classes contidas nessa imagem de detecção de mudanças. No período considerado desse estudo, nota-se que 10% da área teve uma degradação forte, originária da derrubada da floresta para fins agrícola e/ou pecuário, apesar de que, observando-se de forma complementar também dados históricos, essa área estudada esteja mostrando indicativos de estabilização, em médio prazo, quanto a expansão da fronteira produtiva, pois 68% da área já está inserida na categoria de não-mudança, inclusive com alternância similar entre os percentuais de degradação e recuperação média. Dados originários dessa imagem CBERS-2 indicam haver ainda 1.270 Km^2 de áreas cobertas por floresta, muitas das quais em regime de exploração seletiva e outras, em processo de regeneração dentro da prática rotacional de manejo.

A partir da geração desse mapa de detecção de mudanças, foi determinada a sua confiabilidade temática, com suporte dos pontos de observação coletados nos trabalhos de campo. A partir da estatística *Kappa*, a análise de desempenho da caracterização temática contida na imagem detecção de mudanças mostrou um valor de 0,63 para a combinação ETM+/Landsat e CCD/CBERS-2, mostrando conceitualmente uma qualidade classificatória “muito boa”, segundo a categorização de Landis e Koch (1977). A acurácia total do mapeamento temático foi de 85%, com uma adequada visualização das modificações tidas na paisagem.

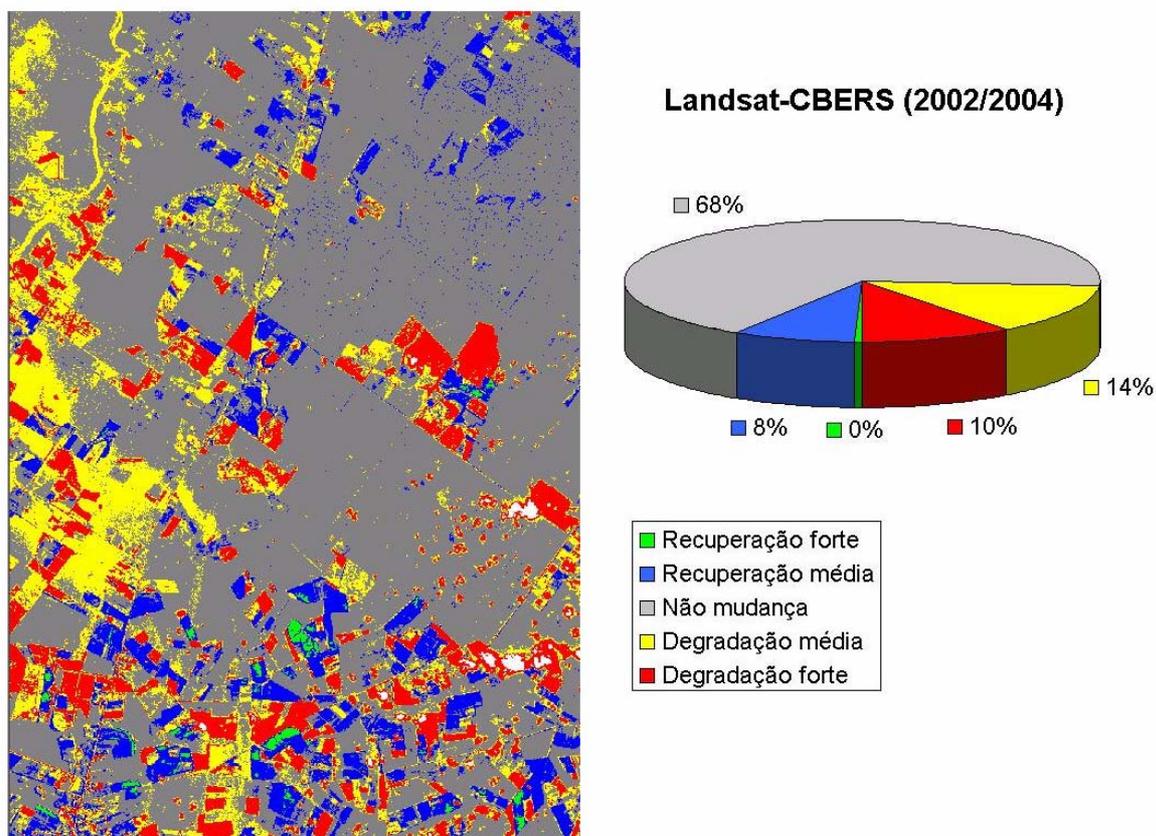


Figura 3. Mapa de detecção de mudanças a partir da técnica RCEN (a) e percentual das classes temáticas identificadas no período 2002-2004 (b), aplicada ao conjunto de imagens do ETM+/Landsat-7 e CCD/CBERS-2, na banda espectral do vermelho.

6. Conclusões

Dados multisensores para a detecção de mudanças da paisagem podem ser tratados através de técnica RCEN, de operação mais simples aos usuários, evitando uma complexa formulação para adequação radiométrica na comparabilidade de imagens de distintos sensores, como ocorre com os métodos clássicos em operação. Essa técnica RCEN apresentou-se, com esse exemplo Amazônico, uma característica de robustez na detecção e delineamento das transformações da paisagem. Outro importante ponto é a facilidade de integração dos dados CBERS-2 com aqueles de outros sensores, dando continuidade a série de informações historicamente coletadas (LANDSAT, por exemplo) no acompanhamento das transformações dos espaços florestais, corroborando a importância não somente da nova abordagem realizada e sua facilidade de manuseio, mas também mostrando a evidente sensibilidade radiométrica, espacial, espectral e temporal da imagem CCD/CBERS-2, aspectos básicos esses, necessário para se alcançar um significativo desempenho no complexo mapeamento da dinâmica de uso e cobertura da terra.

Agradecimentos

Ao CNPq pela concessão de suporte financeiro à pesquisa (Processos 300677/91-0, 470765/01-1, 140693/00-9 e DTI-380233/2004-5).

Referências

- Coppin, P.; Jonckheere, I. ; Nackaerts, K.; Muys, B.; Lambin, E. Review article digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 9, p. 1565-1596, 2004.
- Green, K.; Kempka, D.; Lackey, L. Using remote sensing to detect and monitor land-cover and land-use change. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 60, n. 3, p. 265-271, 1994.
- Hall, F.G.; Strebel, D.E.; Nickeson, J.E.; Goetz, S.J. Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multirate, multisensor images. **Remote Sensing of Environment**, v. 35, n. 1, p.11-27, 1991.
- Landis, J.; Koch, G.G. The measurements of agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n.3, p. 159-179, 1977.
- Lorena, R.B.; Santos, J.R.; Shimabukuro, Y.E.; Brown, I. F.; Kux, H.J.H. A change vector analysis technique to monitor of landuse/land cover in SW Brazilian Amazon, Acre State. In: PECORA 15 - Integrating Remote Sensing at the Global, Regional and Local Scale. Denver, Colorado/USA, Nov., 8-15, 2002. **Proceedings...** [CDROM].
- Macleod, D. R.; Congalton, R. G. A quantitative comparison of change detection algorithms for monitoring eelgrass from remotely sensed data. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 64, n. 3, p. 207-216, 1998.
- Maldonado, F.D.; Santos, J.R.; Carvalho, V.C. Controlled spectral rotation as alternative to Principal Components Analysis for change detection in área of semi-arid. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10. Foz de Iguaçu, 21-26Abril, 2001. **Anais...**São José dos Campos: Fábrica da Imagem. [CDROM].
- Maldonado, F.D.; Santos, J.R.; Carvalho, V.C. Land use dynamics in the semi-arid region of Brazil (Quixabá-PE): caracterization by principal components analysis. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 23, p. 5005-5013, 2002.
- Más, J.F. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, v. 20, n. 1, p. 139 - 152, 1998.
- Mendoza, E.H.R.; Santos, J.R.; Santa Rosa, A.N.C.; Silva, N.C. Landuse/land cover mapping in Brazilian Amazon using neural network with ASTER/TERRA data. In: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Congress, 20. Istanbul, Turkey, Jul., 12-23, 2004. **Archives...** Edited by M.O.Altan. Vol. XXXV, Part B. p.123-127. [CDROM]. (ISSN 1682-1777)
- Santos, J.R.; Shimabukuro, Y.E.; Duarte, V.; Graça, P. M.A.; Silva, P.G. Linear spectral mixture model as a tool for monitoring deforestation and timber exploitation in the Brazilian Amazon. In: SPIE-Remote Sensing for Agriculture Ecosystems and Hidrology, 4., 2002. Agia Pelagia, Crete, Greece. **Proceedings...** Sept., 2002. p. 320-325. [CDROM].
- Silva, P.G.; Santos, J.R.; Shimabukuro, Y.E.; Graça, P.M.A.; Souza, P.E.U. Change vector analysis technique to monitor selective logging activities in Amazon tropical rainforest. In: IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium: Learning from Earth's Shapes & Colors - IGARSS. 2003. Toulouse, France, Jul., 21-25, 2003. **Proceedings...** [CDROM].
- Steininger, M. Tropical secondary forest regrowth in Amazonian: age, area and change estimation with Thematic Mapper data. **International Journal of Remote Sensing**, v.1, p. 9-27, 1996.
- Singh, A. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 10, n. 6, p. 989-1003, 1989.