

## TÉCNICA DE ROTAÇÃO RADIOMÉTRICA DE IMAGENS LANDSAT/TM COMO FERRAMENTA DE DETECÇÃO DE MUDANÇAS DA PAISAGEM NA AMAZÔNIA

Quirino, V.F., Santos, J.R., Maldonado, F.D. e Carvalho, V.C.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, www.inpe.br – (quirino, jroberto, francis, vitor)@dsr.inpe.br

**RESUMO** – O objetivo desse trabalho é aplicar e avaliar o potencial da técnica de “Rotação radiométrica controlada por eixo de não-mudança (RCEN)” para detectar mudanças no uso e cobertura da terra, no decorrer do período 1999-2004, em área no Estado do Pará, parcialmente inserida na Floresta Nacional (FLONA) do Tapajós e em sua zona limítrofe. Para isto foram utilizadas imagens multitemporais LANDSAT/TM, na banda espectral do vermelho. O resultado da RCEN é uma imagem detecção de mudanças, cuja imagem contínua (“floating point”) foi transformada em imagem temática através dos procedimentos de fatiamento e rotulação. Essa imagem detecção foi produzida fazendo constar três classes de mudança e uma de não-mudança. A acurácia do mapa de detecção de mudanças foi avaliada usando a matriz de confusão (desempenho total de 84,94%) e o coeficiente Kappa (77,21%), tendo como base informações obtidas em trabalho de campo. A análise da dinâmica de uso e cobertura da terra mostra uma continuada taxa de degradação ao longo do período do estudo, havendo apenas um pequeno percentual da área total em processo de regeneração natural. Conclui-se que a técnica de RCEN tem um significativo potencial em termos de acurácia e simplicidade, quando se objetiva o monitoramento do uso e da cobertura da terra.

**PALAVRAS-CHAVE:** detecção de mudança, sensoriamento remoto, rotação radiométrica controlada

**ABSTRACT** - The purpose of this work is to use and evaluate the potential of the technique of “Radiometric rotation controlled by axis of no change” (RCEN) to detect land use and land cover changes occurred between 1999 and 2004 in an area located in Para State, partially inside the FLONA Tapajós and bordering it. For this, the red spectral band of multi-temporal images of LANDSAT/TM was used. The result of the RCEN is a change detection image, whose continuous image (floating-point) was transformed into a thematic image through slicing and labeling procedures. This change detection image was produced including three classes of change and one of no-change. The accuracy of the change detection map was evaluated using a confusion matrix (total accuracy of 84,94%) and the Kappa coefficient (77,21%), taking field information as ground truth. The analysis of the dynamic of land use and land cover shows a continued rate of degradation during the timeframe of the study, were natural recovery process takes place in only a small percentage of the total area. It is concluded that the RCEN technique has a significant potential in terms of accuracy and simplicity, when monitoring the land use and land cover is the objective.

**KEYWORDS:** Change Detection; Remote Sensing; Radiometric Controlled Rotation

### 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos tempos a floresta amazônica brasileira tem sido alvo de atividades antrópicas diversas, que resultam em alterações do seu meio-ambiente. Entre as medidas governamentais que buscam regular o uso destas áreas florestais, está a criação de Unidades de Conservação. Apesar desta proteção legal muitas dessas áreas apresentam sinais de uso indevido em seu território (definido por decreto-lei) e, também, forte pressão antrópica em suas áreas limítrofes, o que acarreta danos à

natureza. Imagens de sensores remotos nas faixas óptica e de microondas vêm sendo utilizadas como fonte para o controle desses danos, suportadas por técnicas inovadoras de extração de informações (Pardi Lacruz et al, 2004). Todavia, o processamento das imagens que se faz necessário para detectar tais mudanças na paisagem, pode se tornar muito complexo de acordo com o grau de significância desejado no desempenho temático e o tipo de produto-sensor utilizado. Tendo em vista essas complexidades crescentes, alternativas têm sido experimentadas para disponibilizar aos usuários e

tomadores de decisão ferramentas mais adequadas para o mapeamento, inventário e monitoramento de uso e cobertura da terra.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo aplicar e avaliar o potencial da técnica de “Rotação radiométrica controlada por Eixo de não Mudança” (RCEN) em imagens multitemporais Landsat/TM, para detectar mudanças no uso e cobertura da terra da paisagem da floresta tropical amazônica em área de influência parcial da Floresta Nacional do Tapajós (Estado do Pará).

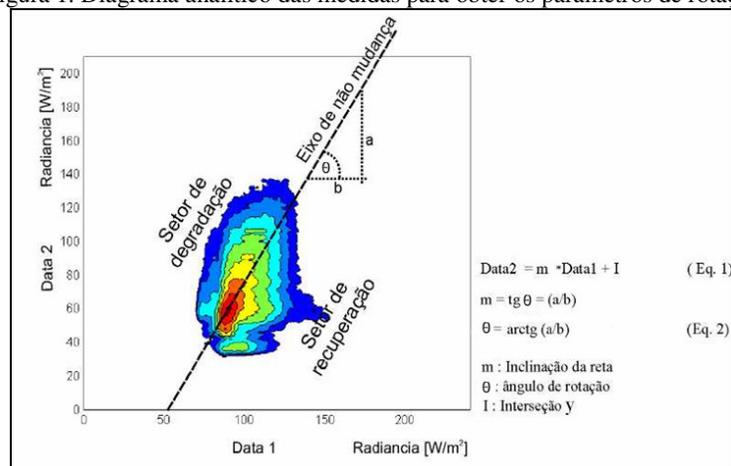
## 2 TÉCNICAS PARA DETECÇÃO DE MUDANÇAS

As técnicas para detecção de mudanças no uso e cobertura da terra se fundamentam no fato de que, tais transformações na paisagem produzem, geralmente, alterações numéricas maiores do que aquelas geradas por outros fatores que modificam a resposta espectral dos alvos nas imagens sensorizadas, como por exemplo, diferenças atmosféricas e geometria de iluminação (Maldonado et al., 2004). Para controlar, pelo menos em parte, a influência desses fatores extrínsecos, é necessário efetuar uma normalização entre os dados multitemporais

(Nelson et al., 2005). Na atualidade existe uma grande diversidade de técnicas para a detecção de mudanças. Entretanto, em face da complexidade temática, até agora nenhuma foi indicada como técnica padrão. Dentre as várias técnicas empregadas, pode-se citar a diferença e a razão entre imagens, a análise por componentes principais, a análise de vetor de mudanças e a rotação radiométrica controlada, cujo desenvolvimento e aplicações podem ser observados nos trabalhos de Singh (1989), Más (1998), Lorena et al. (2002), Maldonado et al. (2002), Coppin et al. (2004), Santos et al. (2004), Le Hégarat-Mascle e Seltz (2004) e Nelson et al. (2005).

Objeto particular desse estudo, a rotação radiométrica por eixo de não mudança (RCEN) se baseia na comparação de duas imagens da mesma banda espectral de duas épocas distintas com a vantagem de não ser necessário o uso de complexos métodos de calibração, correção da reflectância aparente ou correção atmosférica (Maldonado et al., 2004). Numa premissa genérica da técnica, em áreas onde não ocorrem mudanças de uso e cobertura da terra, há significativa correlação de valores espectrais para as imagens investigadas. Para que a comparação seja feita, as duas imagens são colocadas em um mesmo espaço de atributos de eixos ortogonais (Figura 1).

Figura 1. Diagrama analítico das medidas para obter os parâmetros de rotação



Fonte: Maldonado, 2004.

Em seguida, a RCEN produz a rotação dos eixos ortogonais, em relação ao eixo formado pela reta de regressão dos pontos identificados como pertencentes à classe de não-mudança. O ângulo da rotação ( $\theta$ ) é determinado pelo cálculo do arco tangente da inclinação da reta na regressão linear dos pixels de não-mudança definidos no terreno. A imagem de mudanças é gerada utilizando o algoritmo de rotação simples, dado por:

$$I_{Det} = -Data_1 \sin \theta + Data_2 \cos \theta \quad (1)$$

onde:

$I_{Det}$  = imagem detecção de mudanças (2ª componente);

$\theta$  = ângulo de rotação, dado pelo arco tangente da pendente da reta na regressão linear dos pixels de não-mudança;

$Data_1$  = banda TM da região do vermelho (0,63-0,69  $\mu\text{m}$ ) na primeira data, e

$Data_2$  = banda TM da região do vermelho (0,63-0,69  $\mu\text{m}$ ) na segunda data.

### 3 ÁREA DE ESTUDO

A área investigada está localizada no oeste do Estado do Pará situada entre as coordenadas 2°50' até 3° 33' de latitude sul e 54°40' até 55°02' de longitude oeste, incluindo a parte leste da Floresta Nacional do Tapajós e a região adjacente à mesma. Segundo RADAMBRASIL (1976) a região se caracteriza pela presença de extensas superfícies de formação tabular com rebordas erosivas e trechos que apresentam forte ou fraca declividade, onde toda a drenagem ruma para leste. O solo é predominantemente do tipo Latossolo Amarelo Distrófico, caracterizado por diferentes texturas, geralmente profundo, ácido e friável, ocupado em sua maior parte por Floresta Tropical Densa e Floresta Tropical Aberta. O clima é do tipo AmW (classificação de Köppen), com os meses de dezembro a junho predominantemente chuvosos.

### 4 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Para a realização desse trabalho foram utilizados: (1) Imagens digitais do sensor TM/Landsat, órbita 227/62 na banda 3 (0,63-0,69  $\mu\text{m}$  equivalente a banda do vermelho) nas datas de 02/08/1999 e 30/07/04, de período sazonal correlato, minimizando os efeitos do ângulo de inclinação solar; (2) Pontos observacionais de uso e cobertura da terra dos anos de 1999 (31 *plots* equivalentes a 155 pixels) e de 2004 (22 *plots* equivalentes a 110 pixels tematicamente representativos). A representação das fâcies de floresta primária e dos estádios sucessionais foram realizadas através de inventários florestais tradicionais; (3) Aplicativos SPRING 4.1, Excel 2002 e Erdas Imagine versão 8.4 fizeram parte do suporte computacional para tratamento das imagens de satélite, integração e análise de dados. De uma maneira sintetizada, a abordagem metodológica adotada nesse trabalho compreendeu as seguintes fases:

#### Fase 1: Registro imagem-imagem

Inicialmente foi feito o registro imagem-imagem através de correção geométrica do primeiro grau e uma reamostragem por vizinho mais próximo. Esse passo foi realizado utilizando-se como referência a imagem de 1999 que já se encontrava georeferenciada, constando-se ao final do registro, existir um erro de apenas 0,3 pixel.

#### Fase 2: Digitalização e aplicação da máscara de nuvens e sombras

Considerando que nuvens e sombras são elementos que variam entre imagens, e que as nuvens possuem elevados níveis de cinza (NCs), enquanto as sombras valores baixos, foi necessário fazer o mascaramento desses alvos presentes nas duas imagens. Este mascaramento foi feito visualmente através da tela do computador, obtendo-se a área de união das nuvens e sombras (máscara total) presentes nas imagens de 1999 e

de 2004. A aplicação da máscara de nuvens e sombras consistiu em assumir o valor "zero" para os pixels da mesma e realizar uma operação de multiplicação entre as imagens de 1999 e de 2004 e a máscara total. Através desta operação a região que continha nuvens e sombras não foi utilizada nas análises estatísticas ou na geração da imagem detecção.

#### Fase 3: Transformação das imagens codificadas para radiância no modo "floating point"

Na seqüência metodológica, as imagens foram transformadas de números codificados (8 bits) para números reais (*floating point*), contendo valores em radiância (valor físico). A conversão em radiância foi feita pela fórmula:

$$L_{\lambda} = \alpha_{\lambda} * ND + \beta_{\lambda} \quad (2)$$

onde:

$L_{\lambda}$  = imagem em radiância;

$\lambda$  = comprimento de onda;

$\alpha$  = coeficiente de calibração do sensor (ganho);

$\beta$  = coeficiente de calibração do sensor (intercepto ou "offset") e

ND = nível digital da imagem bruta.

#### Fase 4: Regressão da radiância das amostras confiáveis de não-mudança

Os valores de radiância de amostras de não mudança (20 pontos previamente selecionados) foram plotados em um espaço de atributos formado pela conjugação dos dados da primeira (eixo "x") e da segunda data (eixo "y"), gerando-se assim, a reta de regressão dos pixels de não-mudança, com a conseqüente obtenção do ângulo de rotação, conforme segue:

$$\text{Data}_2 = m * \text{Data}_1 + I \quad (3)$$

onde:

$\text{Data}_2$  = valor da radiância na imagem da segunda data;

$\text{Data}_1$  = valor da radiância na imagem da primeira data;

$m$  = tangente do ângulo  $\theta$  do eixo de não mudança e

$I$  = ordenada da origem ou "interseção y".

O ângulo do eixo de não-mudança é determinado por:

$$\theta = \arctg(m) \quad (4)$$

onde:

$\theta$  = ângulo do eixo de não-mudança e

$m$  = tangente do ângulo  $\theta$  do eixo de não mudança

#### Fase 5: Geração da imagem de detecção de mudança

Uma vez obtido o ângulo de rotação, o eixo cartesiano da radiometria do par de imagens foi rotacionado no sentido anti-horário, até que o eixo "x" se

tornasse paralelo ao eixo de não mudança, o que fundamenta a teoria da técnica RCEN. Assim, a imagem de detecção de mudanças é obtida usando-se a Equação 1, mencionada anteriormente. Nesta imagem-detecção os tons claros representam os pixels que sofreram maiores perdas de cobertura vegetal e os tons escuros, os pixels de maior regeneração.

#### Fase 6: Fatiamento, rotação das classes e obtenção do mapa de detecção

A partir da geração da imagem de detecção produziu-se o histograma dessa imagem que, conforme já esperado devido ao curto intervalo de tempo transcorrido entre a obtenção das duas imagens, aliado a intensidade e ao tipo de antropização no ambiente, apresentou uma distribuição assimétrica à direita. A partir do cálculo da moda (no presente caso de valor 6), considerada nessa abordagem como o centro da classe de não mudança, e também do desvio-padrão (valor 3,92), podem-se estabelecer também os limiares das demais classes temáticas, ou seja, de regeneração média, degradação média e degradação forte, variando-se simplesmente à esquerda ou direita, o valor de 1 ou 2 desvios-padrão. Após esse procedimento de fatiamento e rotação temática, a imagem resultante foi transformada do modo contínuo para o modo temático.

#### Fase 7: Avaliação do desempenho temático

A confiabilidade do mapeamento foi avaliada a partir da matriz de confusão e do coeficiente *Kappa*, fazendo uso de 265 pontos de observação em campo nos respectivos anos investigados (31 *plots* em 1999 e 22, em 2004, conforme anteriormente mencionado). Além desses pontos amostrais, considerando a recomendação feita por Congalton (1991) da necessidade de se utilizar mais de 250 pixels de referência para estimar a acurácia das classes dentro de uma margem de erro de mais ou menos 5%, e em face da existência de poucos pontos de observação que servissem para validar as classes de regeneração média e de degradação forte, foi gerada uma rede de pontos aleatórios com mais 160 amostras sobre as imagens (baseada na experiência interpretativa, aliada ao conhecimento de campo dessa área em anos diversos), totalizando 425 pontos amostrais. Estes pontos aleatórios foram também classificados como pertencentes às classes de não-mudança, de degradação ou de regeneração, com base na comparação da sua radiância nas imagens das duas datas. Ao final, na avaliação do desempenho temático, foi analisada a matriz de confusão e o coeficiente *Kappa*, sendo este último categorizado conforme Landis e Koch (1977).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 pode-se observar a linha de regressão resultante da plotagem dos valores de radiância das amostras de não- mudança, cujo espaço de atributos foi

formado pela conjugação dos dados da primeira data (eixo "x") e da segunda data (eixo "y").

A partir dessa reta de regressão e da Equação 4 definiu-se o ângulo de rotação do eixo de não-mudança ( $\theta$ ) no valor de  $30^{\circ}47'57''$ . Segundo Santos et al. (2004) a proximidade do ângulo de rotação ao valor a  $45^{\circ}$  indica a compatibilidade dos dados entre as imagens. Neste trabalho, considerando que foram utilizadas duas imagens do mesmo sensor (TM/Landsat), pode-se atribuir a diferença entre o valor do ângulo de rotação do eixo de não-mudança encontrado e o valor de referência ( $45^{\circ}$ ), entre outros fatores, às diferenças nas condições atmosféricas e de iluminação do imageamento.

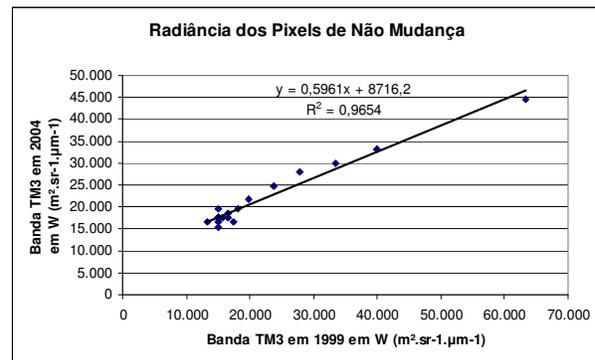


Figura 2. Regressão entre valores de radiância dos pontos de não-mudança em dados TM multitemporais

Na Figura 3 é apresentado o mapa de detecção de mudanças da área de estudo onde se observa a espacialização das regiões de não-mudança, de degradação e de regeneração para o período analisado (1999-2004). Na parte leste da área de estudo, localizada no interior da FLONA Tapajós, predominam padrões de não-mudança; na linha central próxima à BR 163 e na região nordeste, padrões de degradação média e forte.

Com relação à área ocupada por cada uma das classes, conforme se pode observar visualmente na Figura 3, verifica-se que a maior parte da região investigada (87,5 %) não sofreu acentuada mudança de uso e cobertura da terra entre 1999 e 2004. A predominância da classe não-mudança corresponde, em sua maior parte, aos maciços florestais intactos localizados sobretudo no interior da área de abrangência da FLONA do Tapajós, onde também ocorre áreas com sucessão secundária em estádios avançados (~25 anos), de difícil discriminação nas imagens desse sensor TM, pela similaridade de resposta espectral e textural com as áreas de floresta primária. Pode-se ainda registrar que 11,1% da área sofreu transformações na paisagem florestal, em níveis de degradação média (6,6%) e forte (4,5%), face às práticas de ocupação do espaço físico com agricultura ou pecuária. O baixo valor de áreas em recuperação (1,4%), conceitualmente definida como média, pode ser atribuída ao curto intervalo de tempo transcorrido entre as datas

das imagens investigadas, cujo processo de sucessão secundária rapidamente se estabelece com o inadequado manejo/conservação das pastagens ou mesmo, após o

abandono de áreas agrícolas face ao sistema de “*shifting cultivation*” praticado pelos colonos em suas propriedades.

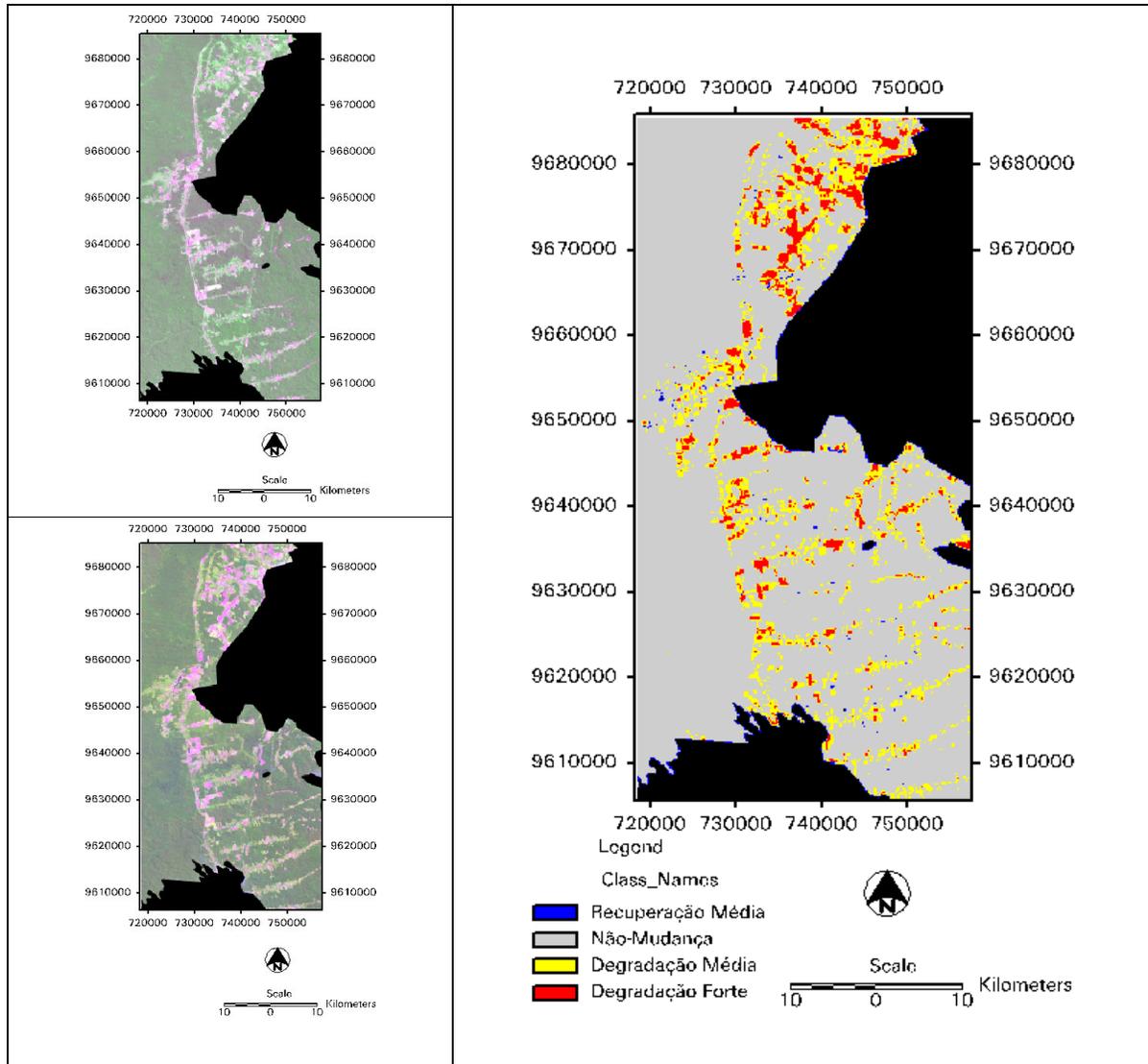


Figura 3. Imagens LANDSAT/TM de 1999 (em cima, à esquerda) e 2004 (embaixo, à esquerda) e correspondente mapa de detecção de mudanças gerado a partir da técnica RCEN.

Na Tabela 1 é apresentada a matriz de confusão para o mapeamento temático resultante da aplicação da técnica RCEN e o conseqüente fatiamento e rotulação da imagem de detecção de mudança 1999/2004. Essa matriz mostra que na classificação dos temas “degradação média” e “degradação forte” ocorrem os maiores erros de comissão (inclusão), o que poderia ser explicado pela complexidade de indicadores que definem esses tipos de transformação da paisagem e, sobretudo, a transição conceitual e de ocupação do espaço de atributos

espectrais, entre um nível e outro de degradação, que pode ainda não estar satisfatoriamente estratificado, quando no processo de fatiamento, se estabelece simplesmente 1 ou 2 desvios-padrão para estabelecer os limites para rotulação. O índice de exatidão global e o coeficiente *Kappa* estimados foram de 84,94% e 77,21%, respectivamente. De acordo com a categorização de Landis e Koch (1977) para valores *Kappa* encontrados, pode-se afirmar que a acurácia da classificação tida é conceitualmente muito boa.

Classes	Verdade de campo				Total	Inclusão (%)
	Regen. Média	Não Mudança	Degr. Média	Degr. Forte		
Regen. Média	66	3	0	0	69	4,35
Não Mudança	4	190	9	0	203	6,4
Degr. Média	0	27	40	3	70	42,86
Degr. Forte	0	11	7	65	83	21,69
<b>Total</b>	<b>70</b>	<b>231</b>	<b>56</b>	<b>68</b>	<b>425</b>	
Omissão (%)	5,71	17,75	28,57	4,41		

Tabela 1. Matriz de confusão gerada para avaliar o desempenho temático contido na imagem-deteção 1999/2004.

## 6 CONCLUSÕES

A técnica RCEN mostrou significativo potencial em termos de acurácia e simplicidade, quando se objetiva o monitoramento do uso e da cobertura da terra. Estes dois aspectos foram verificados pelas estimativas do índice de exatidão global e do coeficiente Kappa (com valores de 84,94% e 77,21%, respectivamente), e pela ausência de formulações complexas para se ter uma adequação radiométrica satisfatória. O mapa de detecção de mudanças da área de estudo, resultante da aplicação da técnica de rotação de imagens, mostrou ao longo do período 1999-2004 uma continuada taxa de degradação da paisagem florestal, resultante das práticas de expansão das áreas de agricultura e pecuária, havendo um pequeno percentual da área total em processo de regeneração natural.

## 7 REFERÊNCIAS

Congalton, R.G. A review of assessing the accuracy of classification of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, 37(1):35-46, 1991.

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**, 25(9):1565-1596, 2004.

Landis, J.; Koch, G.G. The measurements of agreement for categorical data. **Biometrics**, 33(3):159-179, March 1977.

Le Hégarat-Masclé, S.; Seltz, R. Automatic change detection by evidential fusion of change indices. **Remote Sensing of Environment**, 91:390-404, 2004.

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. [CDROM].

Maldonado, F.D.; Santos, J.R.; Carvalho, V.C. Land use dynamics in the semi-arid region of Brazil (Quixaba, PE): characterization by principal component analysis (PCA) **International Journal of Remote Sensing**, 23:5005-5013, 2002.

Maldonado, F.D. Desenvolvimento e avaliação de uma metodologia de detecção de mudanças na cobertura vegetal do semi-árido. São José dos Campos, INPE. (Tese de doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004. 328p.

Maldonado, F.D.; Martinelli, M.; Carvalho, V.C. 2004. Innovaciones y mejoramientos de las técnicas de detección de cambios en la cobertura vegetal en regiones semi-áridas. In: **Aplicações de Geotecnologias na Engenharia Florestal**. Disperati, A.A.; Santos, J.R. (eds). Curitiba, PR: Copiadora Gabardo Ltda. pp. 61-69.

Más, J.F. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, 20(1):139-152, 1998.

Nelson, T.; Wilson, H.G.; Boots, B.; Wulder, M.A. Use of ordinal conversion for radiometric normalization and change detection. **International Journal of Remote Sensing**, 26(3):535-541, 2005.

Pardi Lacruz, M.S.; Santos, J.R.; Conforte, J.C. 2004. Aplicabilidade de imagens MODIS/TERRA e análise harmônica com vistas ao monitoramento ambiental. In: **Aplicações de Geotecnologias na Engenharia Florestal**. Disperati, A.A.; Santos, J.R. (eds). Curitiba, PR: Copiadora Gabardo Ltda.. pp. 150-159.

Projeto Radambrasil. Folha S/A 21-Santarém. Rio de Janeiro, DNPM 1976. (Levantamento dos Recursos Naturais, v.10)

Santos, J.R.; Maldonado, F.D.; Graça, P.M.L.A. 2004. Imagem CBERS: uma nova ferramenta para subsidiar estudos de mapeamento e monitoramento ambiental. In: **Aplicações de Geotecnologias na Engenharia Florestal**. Disperati, A.A.; Santos, J.R. (eds). Curitiba, PR: Copiadora Gabardo Ltda.. pp. 128-137.

Singh, A. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. **International Journal of Remote Sensing**, 10(6): 989-1003, 1989.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES e ao CNPq (processos 300677/91-0, DTI 380233/2004-5) pela concessão das bolsas de pesquisa.