

The text that follows is a REPRINT
O texto que segue é um REPRINT.

Please cite as:
Favor citar como:

Maldonado, F.D., P.M.L.A. Graça & P.M. Fearnside. 2007. Detecção de mudanças na cobertura vegetal da floresta amazônica utilizando a técnica RCEN multiespectral com imagens CBERS-2, região de Apuí – AM. pp. 6819-6826 In: J.C.N. Epiphanio, L.S. Galvão & L.M.G. Fonseca (eds.) *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil 21-26 abril 2007.* Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos-São Paulo, Brasil.

Copyright Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos-São Paulo

The original publication is available from:
A publicação original está disponível de:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos-São Paulo

Detecção de mudanças na cobertura vegetal da floresta amazônica utilizando a técnica RCEN multiespectral com imagens CBERS-2, região de Apuí - AM

Francisco Darío Maldonado¹
Paulo Maurício Lima de Alencastro Graça¹
Philip Martin Fearnside¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA
Caixa Postal 515 - 12245-970 - Manaus - AM, Brasil
{maldonado, pmlag, pmfearn}@inpa.gov.br

Abstract. The objective of this study is the detection of changes with CBERS-2 images to generate an updated map of the changes for the region of Apuí using the multi-spectral controlled rotation by no-change axis (RCAN) technique. This technique uses two spectral bands that are rotated independently to generate a change-detection image. The maps generated by this technique had good precision. The results are promising considering that the technique uses images without atmospheric correction.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, change detection, sensoriamento remoto, processamento de imagens, detecção de mudanças, Amazônia.

1. Introdução

A região sul do estado de Amazonas atualmente se encontra no início de um ciclo de atividade de exploração intensa. A fronteira do arco do desmatamento está muito próxima e o município de Apuí já apresenta indícios de desmatamento desde seu limite com o norte de Mato Grosso, além do desmatamento localizado nas margens da Transamazônica (BR-230).

Atualmente o desmatamento para a implantação de pastos avança rapidamente, e a pecuária a escala empresarial é a predominante na área, novas propriedades são desmatadas em áreas muitas vezes distantes ou de difícil acesso para os órgãos de fiscalização. A atividade atual deve ser monitorada com imagens atuais, principalmente para estudar o crescimento econômico e apoiar a fiscalização e controle das atividades irregulares como grilagem e invasão de áreas protegidas. As imagens fornecidas pelo Satélite CBERS-2, estão disponíveis com uma resolução espacial adequada para este uso, embora apresentem, algumas particularidades. Algumas destas particularidades se referem à minimização de diferenças entre imagens de datas diferentes causadas por diferentes pré-processamentos aplicados pelo sistema. A detecção digital e o monitoramento com estas imagens são possíveis utilizando técnicas resistentes às diferenças radiométricas entre cenas.

Uma destas técnicas é a RCEN - Rotação controlada por eixo de não mudança, desenvolvida para o ambiente semi-árido em Maldonado (2004), Maldonado e Santos (2005) e Maldonado et al. (no prelo), e já foi testada na floresta de transição com relativo sucesso em Graça (2004), Santos et al. (2005b). Esta técnica foi adaptada ao ambiente da floresta amazônica incorporando o infravermelho. Muitos autores reconheceram a importância de utilizar a informação do infravermelho para o monitoramento, alguns deles foram Mausel et al. (1993), Steininguer (1996), Lucas et al. (2002), Graça (2004), Espírito-Santo et al. (2005). Esta adaptação pode ser chamada de "RCEN multiespectral", porque utiliza duas ou até três bandas espectrais em forma independente para gerar uma imagem de detecção a partir da soma das componentes.

O objetivo deste trabalho é a detecção de mudanças com imagens CBERS-2 para gerar um mapa atualizado das mudanças para a região de Apuí utilizando a técnica RCEN multiespectral.

2. Área de estudo

A área de estudo é coberta pela cena CBERS-2 órbita 172 ponto 108, está localizada entre as coordenadas geográficas 7°00' e 8°00' de latitude sul e 59° 30' e 60° 30' de longitude Oeste.

A região de Apuí se localiza no sul do Estado de Amazonas as margens da rodovia Transamazônica (BR-230), na interseção com a estrada que comunica a Transamazônica com a região de Novo Aripuanã, no baixo Rio Madeira (**Figura 1**). Esta região não possui estradas pavimentadas, somente alguns quilômetros na área urbana de Apuí, a maior parte da rede viária é de precária condição para o tráfego sobre tudo na estação chuvosa.

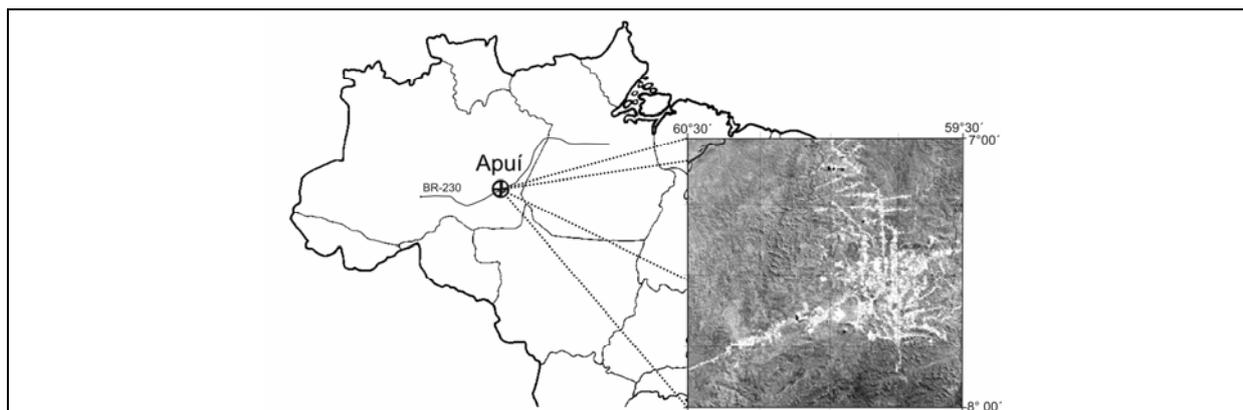


Figura 1- Localização da região de Apuí no sul do estado de Amazonas

A região de Apuí se caracteriza pelo relevo medianamente movimentado com predominância de latossolos amarelos distróficos. A vegetação que ocupa a maior parte do município corresponde a Floresta Amazônica com algumas formações de campinas sobre solos arenosos brancos. A pecuária bovina é a principal atividade econômica de Apuí, as pastagens são estabelecidas mesmo nas áreas de relevo mais acidentado (**Figura 2**).



Figura 2- Pastagens típicas de Apuí sobre terreno ondulado, observam-se restos da floresta.

O regime pluvial é caracterizado por uma curta estação seca, de agosto a outubro, época em que a cobertura de nuvens permite o imageamento, no resto do ano a obtenção de imagens desta área é restrita.

3. Material e Método

As imagens utilizadas foram CBERS-2 órbita 172 ponto 108, das datas 29 de Junho 2004 e 27 de Junho 2006. Estas imagens foram pré-processadas com a técnica de minimização de ruídos apresentada em Maldonado e Santos (trabalho submetido), não foram utilizadas técnicas de correção radiométrica nem atmosférica (**Figura 3**).

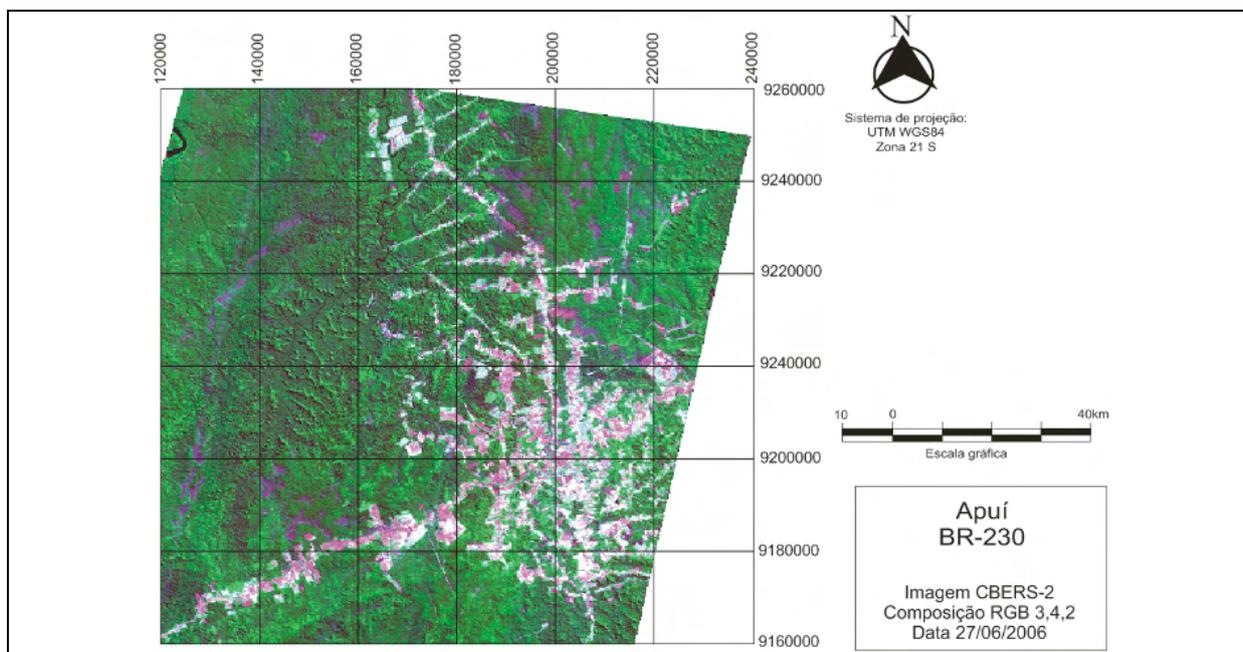


Figura 3 – Composição RGB 342 CBERS-2 do ano 2006.

Na **Figura 3** pode observar-se a Rodovia Transamazônica de leste para oeste, e a estrada que dá acesso a Novo Aripuanã de Norte para sul, na interseção se encontra a pequena cidade de Apuí. A metodologia adotada se apresenta na **Figura 4** a seguir.

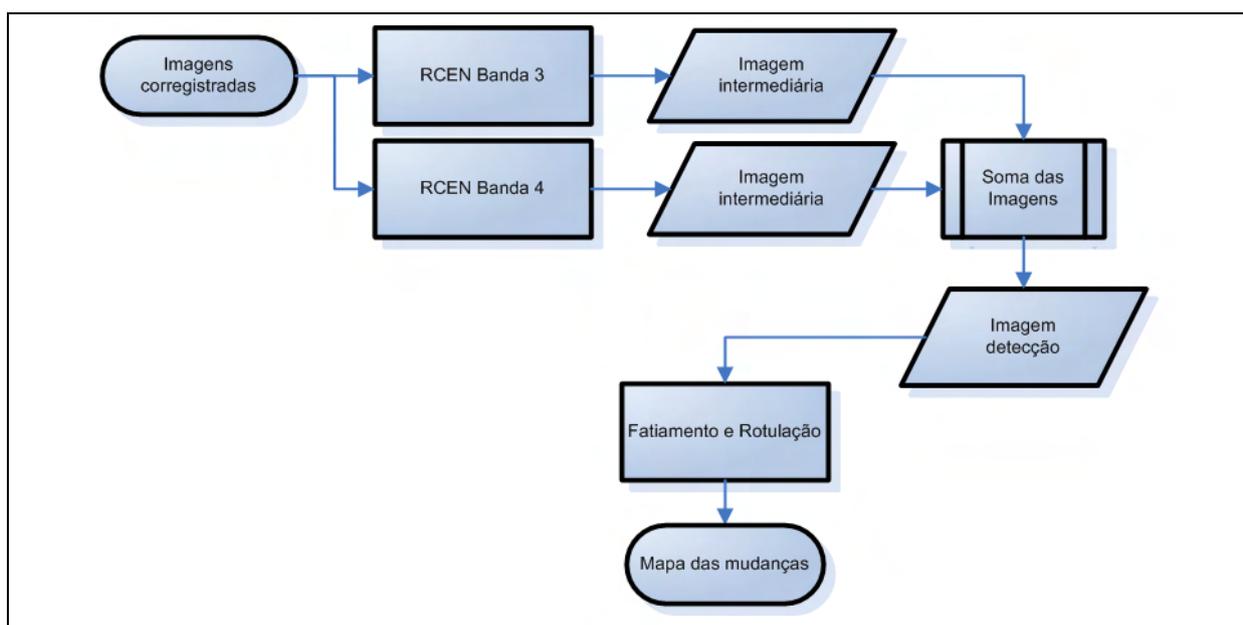


Fig. 4 – Fluxograma da metodologia

Na metodologia as imagens foram co-registradas, e posteriormente aplicadas as técnicas de detecção de mudanças RCEN – Rotação Controlada por Eixo de Não Mudança, Maldonado et al. (no prelo). **RCEN Bandas 3 e 4:** esta técnica se baseia numa regressão linear da radiometria dos pontos de não-mudança, a partir do espaço bi-temporal das imagens em duas datas. Estes pontos são obtidos localizando nas imagens as amostras georreferenciadas rotuladas durante o trabalho de campo, e extraindo a radiometria destes pontos na imagem. Esta regressão utiliza os valores de uma imagem de duas bandas na faixa espectral do visível. A primeira banda corresponde à primeira data do período da detecção e a segunda banda corresponde à segunda data. Esta operação é repetida em forma independente para uma imagem do infra-vermelho próximo. A equação da regressão dos pontos de não-mudança na dispersão é obtida pelo cálculo derivado dos pares de valores dos sítios amostrais obtidos em número suficiente. O parâmetro angular (θ) se calcula como a tangente do arco do coeficiente “m” de inclinação da reta de regressão (Maldonado e Santos, 2005). Finalmente, a técnica de detecção utiliza o ângulo (θ) como o parâmetro principal da transformação (**Equação 1**). Esta equação produz a rotação dos eixos ortogonais do espaço bi-dimensional dos valores radiométricos das imagens (na mesma banda espectral em duas datas).

$$I_{\text{intermediária}} = -\sin(\theta) \times I_{\text{Data1}} + \cos(\theta) \times I_{\text{Data2}} \quad (1)$$

Soma das imagens: este algoritmo é aplicado duas vezes, uma para cada banda espectral, com distintos ângulos segundo determinados pela técnica de regressão da radiometria dos pontos de não mudança de cada banda, finalmente as imagens de detecção intermediárias são somadas, neste caso, para produzir a imagem de detecção final (**Equação 2**).

$$I_{\text{Detecção}} = I_{\text{intermediária.Banda.3}} - I_{\text{intermediária.Banda.4}} \quad (2)$$

As mudanças na cobertura vegetal estão relacionadas em forma inversa com as mudanças radiométricas no vermelho e em forma direta com as mudanças no infravermelho. Por esta razão na soma das imagens intermediárias, o termo do infravermelho é somado com signo negativo.

Fatiamento e rotulação: a imagem de detecção de mudanças foi fatiada empiricamente com base nas observações de campo seguindo as restrições para o posicionamento dos limiares exigidas pela técnica RCEN (Maldonado, 2004). Após o fatiamento, a imagem temática resultante foi rotulada para obter o “Mapa das mudanças”.

A floresta se apresenta como um alvo complexo para a classificação, esta é formada por várias classes espectrais que são agrupadas para a formação da classe floresta. No caso da detecção de mudanças a definição de mudança pode ser muito simples, se definidas as classes com precisão. As classes florestais quando são transformadas em pastagens são espectralmente de fácil diferenciação na faixa do visível. As classes aqui consideradas somente são de transformação de área de floresta a classes não florestais. Tendo em conta que o curto espaço de tempo entre as imagens não permite a recuperação arbórea na cena imageada, as legendas de recuperação estão referidas ao aumento da vegetação em áreas agropecuárias, como a invasão das pastagens por arbustos ou babaçu.

Para o controle da acurácia da técnica foram utilizados dados do trabalho de campo de agosto de 2006, correspondente a caracterizações e fotografias georreferenciadas de uso e cobertura das terras.

4. Resultados e discussão

O dispersograma das imagens apresentou assimetria na banda 3 relativa a valores mais baixos na primeira data do que na segunda data este fato está relacionado com a perda de floresta aparece no dispersograma em verdes claros (**Figura 4a**). A assimetria na banda 4 se produz

em duas regiões radiométricas, a primeira corresponde a valores baixos na primeira data que aumentam na segunda data, estes correspondem a novas pastagens e campos e regeneração, juquiras ou encapoeirados, são pouco frequentes e aparecem em azul. Outros valores são de altos valores na primeira data e valores médios na segunda data correspondendo à perda de floresta, aparecem no dispersograma em verdes claros (**Figura 4b**).

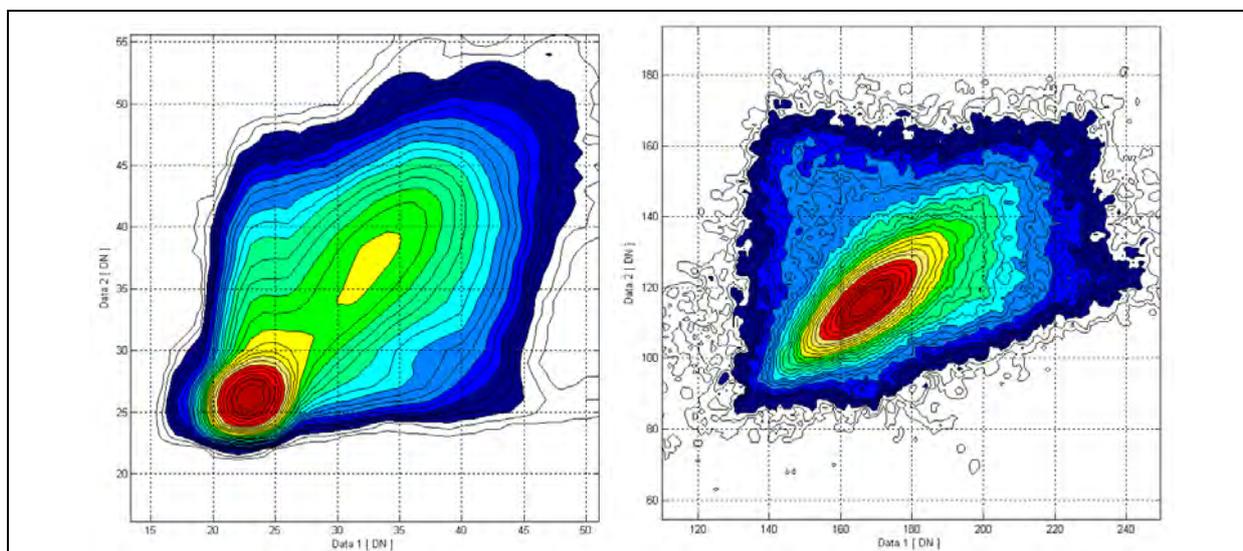


Figura 4 – Dispersogramas do espaço bi-temporal antes da rotação, Banda 3 (a) e Banda 4 (b).

Os espaços bi-temporais das **Figuras 4a** e **4b** foram rotados com diferentes ângulos para produzir a imagem detecção. O ângulo de rotação para Banda 3 foi de $47^{\circ} 29'$, e para Banda 4 foi de $38^{\circ} 9'$. Na **Figura 5** observa-se a imagem detecção com predominância de tons de cinza médios correspondentes a não mudança, em geral floresta não explorada. E cores claras correspondentes a perda da cobertura da floresta, estas cores se registram ao longo das estradas algumas fazendas novas apresentam formas geométricas regulares e com grandes áreas correspondendo a atividade pecuária empresarial.

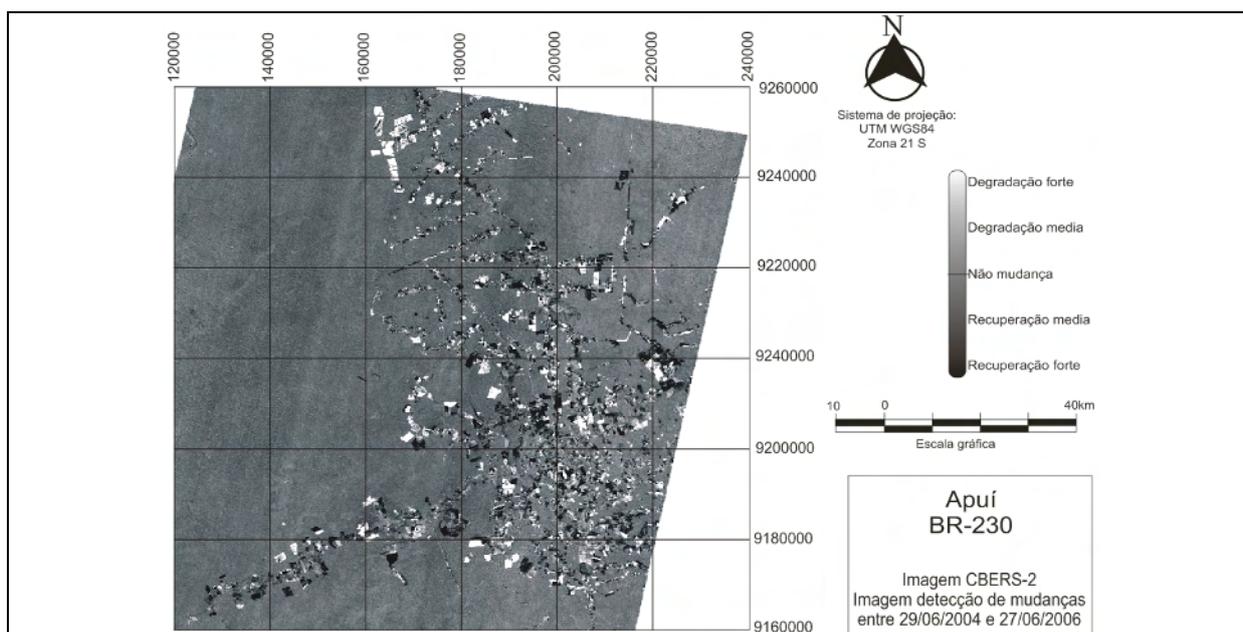


Figura 5- Imagem detecção da região de Apuí.

O mapa das mudanças mostra novos empreendimentos de pastagens empresariais, um deles na região noroeste numa área de preservação ambiental. Os novos desmatamentos detectados ao sul da rodovia Transamazônica são conseqüências da expansão da fronteira agropecuária do estado Mato Grosso em direção ao norte entrando no estado de Amazonas. Pode-se observar um adensamento das estradas endógenas produzidas pela atividade no pólo de desmatamento de Apuí conjuntamente as novas estradas avançando maior distância na floresta.

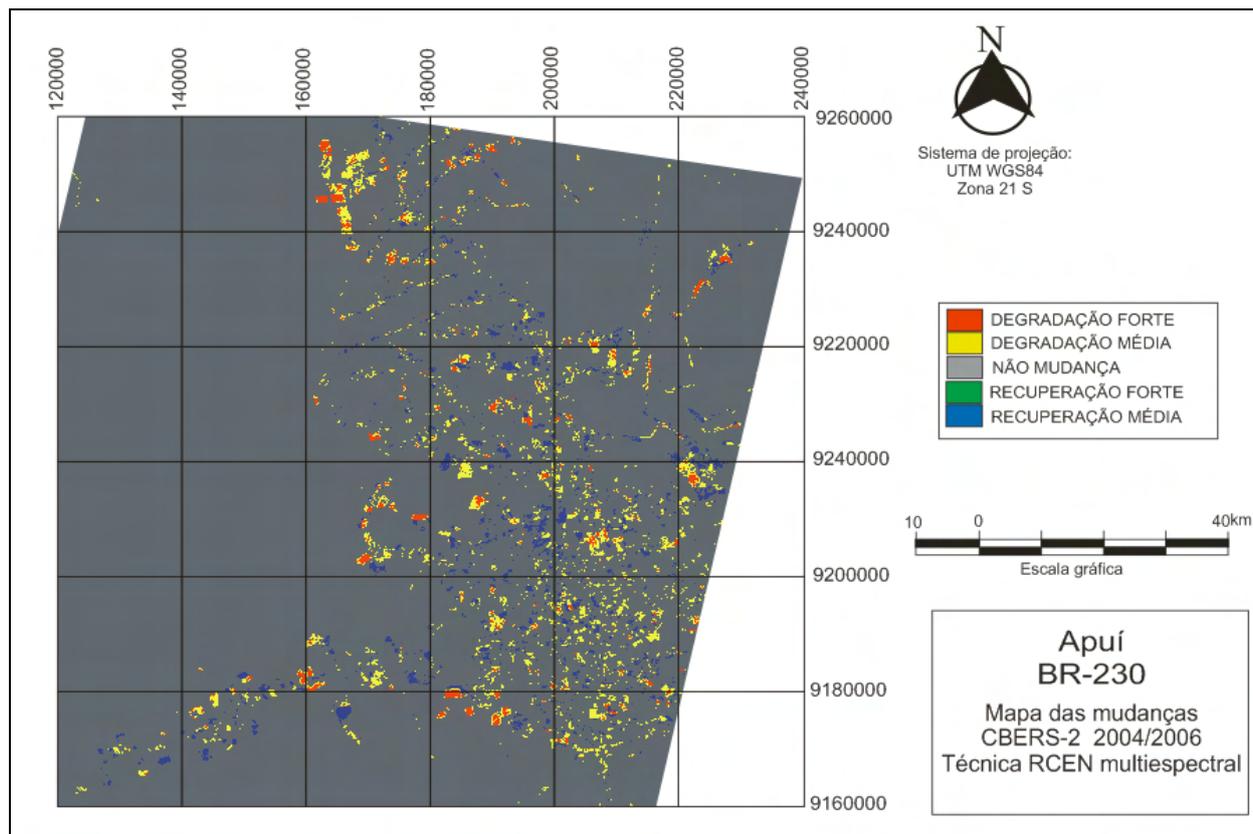


Figura 5 - Mapa das mudanças da região da Cidade de Apuí.

As maiores propriedades desmatadas se apresentam a uma distancia entre 10 e 20km da vila de Apuí, na região central próxima do centro urbano a atividade de desmatamento se limita a pequenas propriedades e se localiza junto as propriedades com aumento da vegetação nas pastagens, causada possivelmente por aumento da vegetação arbustivas ou babaçus. A acuracia do mapeamento foi de 0,72. Este desempenho da técnica foi bom considerando que as imagens tinham baixa qualidade radiométrica. E o ambiente apresenta alta complexidade. Algumas causas de diminuição da acuracia foram a confusão entre valores muito próximos de degradação média e não mudança. Esta ocorreu principalmente em encostas de mata pouco iluminadas que foram queimadas e apresentaram a superfície do solo coberta de cinza e carvão, confusão no visível, mas isto não produz confusão em áreas mais iluminadas pela importância da banda 4 na formação da imagem detecção final.

5. Conclusões

Apuí está com uma atividade crescente de desmatamento, registrando um área desmatadas de 74000ha das quais em 12000ha foi observada recuperação nos dois últimos anos, relacionados

com arbustização das pastagens, e 24000ha de novas áreas desmatadas nos dois anos entre 2004 e 2006. As imagens CBERS-2 são valiosas fontes de informação para atualização, detecção e monitoramento do desmatamento a baixo custo. Na época seca, quando a atividade de desmatamento é maior, há maior disponibilidade de imagens para o mapeamento desta atividade.

Nesta esta região o desmatamento esta concentrado a uma distância de 10 km em média do ponto central correspondente a área urbana de Apuí. A região central se encontra em equilíbrio entre pequenos desmatamentos, melhoras e abandonos das pastagens.

Nenhuma área desmatada se apresentou como não mudanças, embora algumas se apresentaram no infravermelho com radiometria similar a da floresta, mas não criaram confusão a RCEN multiespectral pela combinação com informação do vermelho. A potencia da técnica pode ser aumentada utilizando a imagem intermediarias da banda 3 e 4, para compor um pacote com uma imagem recente para classificação conjunta da informação espectral e temporal.

A minimização de ruídos pelos procedimentos de Inversão do Isodata apresentados em (Maldonado e Santos, submetido) foram satisfatórios para esta técnica de detecção de mudanças.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Amazonas - FAPEAM pela bolsa DCR e auxilio pesquisa; ao CNPq (Proc.55712/2005-4, 306031/2004-3, 420199/2005-5) e ao INPA (PPI 851 1-1005) pelo suporte financeiro, ao projeto Geoma, e ao INPE pelas imagens CBERS-2.

Referências

Cochrane, M. A., Souza Jr., C. Linear mixture model classification of burned forest in the eastern Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, v.19, n.17, p3433–3440. 1998.

Espírito-Santo, F. D. B.; Shimabukuro, Y. E.; Kuplich, T. M. Mapping forest successional stages following deforestation in Brazilian Amazonia using multi-temporal Landsat images **International Journal of Remote Sensing**. v.26, n.3, p.635-642, 2005.

Graça, P.M.L. **Monitoramento e Caracterização de Áreas Submetidas à Exploração Florestal na Amazônia por Técnicas de Detecção de Mudanças**. (INPE-13644-TDI/1046) São José dos Campos: INPE, 2004. 275p.

Lucas, R. M., Honzak, M., do Amaral, S., Curran, P. J.; Foody, G.M. Forest regeneration on abandoned clearance in central Amazonia. **International Journal of Remote Sensing**, 23, 965–988. 2002.

Maldonado, F.D.; Santos, J.R.; Carvalho, V.C. Land use dynamics in the semiarid region of Brazil (Quixabá-PE): characterization by principal components analysis. **International Journal of Remote Sensing**, v.23, n.23, p.5005- 5013, 2002.

Maldonado, F.D. **Desenvolvimento e avaliação de uma metodologia de detecção de mudanças na cobertura vegetal da região semi-árida**. 2004, 314p. (INPE-7243-TDI/929). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004.

Maldonado, F.D.; Santos, J.R. Metodología de detección de cambios utilizando técnicas de rotación radiométrica. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 601-608. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/rep-/ltdid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.19.44>>. Acesso em: 07 ago. 2006.

Maldonado, F.D.; Santos, J.R. Minimização dos ruídos das Imagens CBERS através da inversão do algoritmo de classificação isodata em região de floresta amazônica. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. (trabalho submetido)

Maldonado, F.D; Santos, J. R.; Graça, P.M.L.. Change Detection Technique based on the Radiometric Rotation Controlled by No-Change Axis, applied on Semi-arid Landscape. **International Journal of Remote Sensing**. (no prelo)

Maldonado, F.D.; Santos, J.R. Minimização dos ruídos das imagens CBERS através da inversão do algoritmo de classificação isodata em região de floresta amazônica. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13, 2007. (trabalho submetido).

Mausel, P., Wu, Y.; Li, Y.; Moran, E. F.; Brondízio, E. S. Spectral identification of succession stages following deforestation in the Amazon. **Geocarto International**, n.8, p.61-72, 1993.

Santos, J.R.; Maldonado, F.D.; Graça, P.M.L.A. Integração de imagens LANDSAT/ETM+ e CBERS-2/CCD para detecção de mudanças em área da Amazônia sob domínio da floresta de transição. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 1655-1662. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <[http://marte.dpi.inpe.br/rep-
/tid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.17.27](http://marte.dpi.inpe.br/rep-
/tid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.17.27)>. Acesso em: 07 ago. 2006.

Steininger, M. K. Tropical secondary forest regrowth in the Amazon: Age, area and change estimation with Thematic Mapper data. **International Journal of Remote Sensing**, n.17, p.9-27, 1996.