

Aplicação da fração-solo por rotação radiométrica para detecção do corte seletivo em domínio da floresta Amazônica.

Francisco Darío Maldonado ¹
Paulo Maurício Lima de Alencastro Graça ¹
João Roberto dos Santos ²

¹ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA
Av. André Araújo 1936, Aleixo CEP.: 69060-001 Manaus - AM, Brasil
{maldonado,pmlag}@inpa.gov.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 CEP.:12227-010 São José dos Campos - SP, Brasil
jroberto@dsr.inpe.br

Abstract. The objective of this study is process the satellite image for enhance elements characteristically of the selective logging. The area is located in south of Labrea, Amazon state. The image used was Landsat TM of 2008, and the used technique is the radiometric rotation controlled. Good results were obtained with application of this technique for discriminate indicators of exploration of timber in the forest. The analysis for obtain this picture is independent of the existence of elements pure in scene, that enabled obtain good and fast results in this stage.

Keywords: selective logging, image processing, remote sensing, tropical forest, Amazonia

Palavras-chave: corte seletivo, processamento de imagens, sensoriamento remoto, floresta tropical, Amazônia.

1. Introdução

Este trabalho tem como objetivo a aplicabilidade de uma abordagem prática na obtenção da imagem fração-solo em imagens TM/Landsat, para caracterizar os pátios de estocagem indicativos da atividade de exploração madeireira. Esse desenvolvimento metodológico foi motivado em razão da dificuldade, por parte do analista ao utilizar o MLME, em extrair componentes puros da cena, principalmente quando trata operacionalmente uma ampla variedade de imagens.

A fração-solo deve ser usada como a banda principal para detecção da remoção parcial da cobertura e formação de clareiras que caracterizam a degradação da floresta. Essa degradação possui características espectrais muito variáveis, porém a presença de clareiras com solo exposto, originadas pela abertura de pátios de estocagem de madeira, é uma característica que pode ser aproveitada para a detecção dessa antropização a partir de técnicas de sensoriamento remoto (Graça, 2004; Souza Junior et al., 2005; Monteiro et al., 2007). A superfície do solo destas clareiras apresenta grande variabilidade radiométrica, podendo estar úmida ou seca, com maior ou menor conteúdo de matéria orgânica, dependendo do tempo da abertura dessas clareiras. Assim como mais ou menos iluminadas, dependendo do tamanho da clareira e altura do dossel circundante, entre outros fatores.

A variabilidade do brilho das superfícies dos diferentes solos da região amazônica é reduzida pela Análise por Modelo Linear de Mistura Espectral, produzindo uma imagem cujos altos valores estão relacionados aos pontos onde há maior proporção da resposta radiométrica, referente ao brilho da superfície do solo (Cochrane & Souza, 1998; Asner et al., 2005). A imagem fração pode ser calculada com uma rotação similar a usada em por

Richardson and Wiegand (1977) e Maldonado et al., (2007). Nessa imagem os solos escuros e sombreados aparecem com valores similares a os solos iluminados. Na Figura 1 pode-se verificar a posição aproximada da linha dos solos, perante outras classes do dispersograma, de características radiometricamente mais estáveis, como água, floresta e culturas intensivas. Na análise desse diagrama de dispersão bidimensional da banda TM3 (630-690nm) vs. banda TM4 (760-900nm), pode-se observar, como exemplo, que a plotagem dos pixels com maior proporção de solo exposto formam uma região alongada chamada linha dos solos, conforme comentado por Nanni and Dematte, 2006. Essa linha está situada à direita no diagrama de dispersão onde os valores do infravermelho e vermelho são característicos dos solos, como observado em Dematte et. al (2003) e Sousa Junior et. al (2008) (Figura 1).

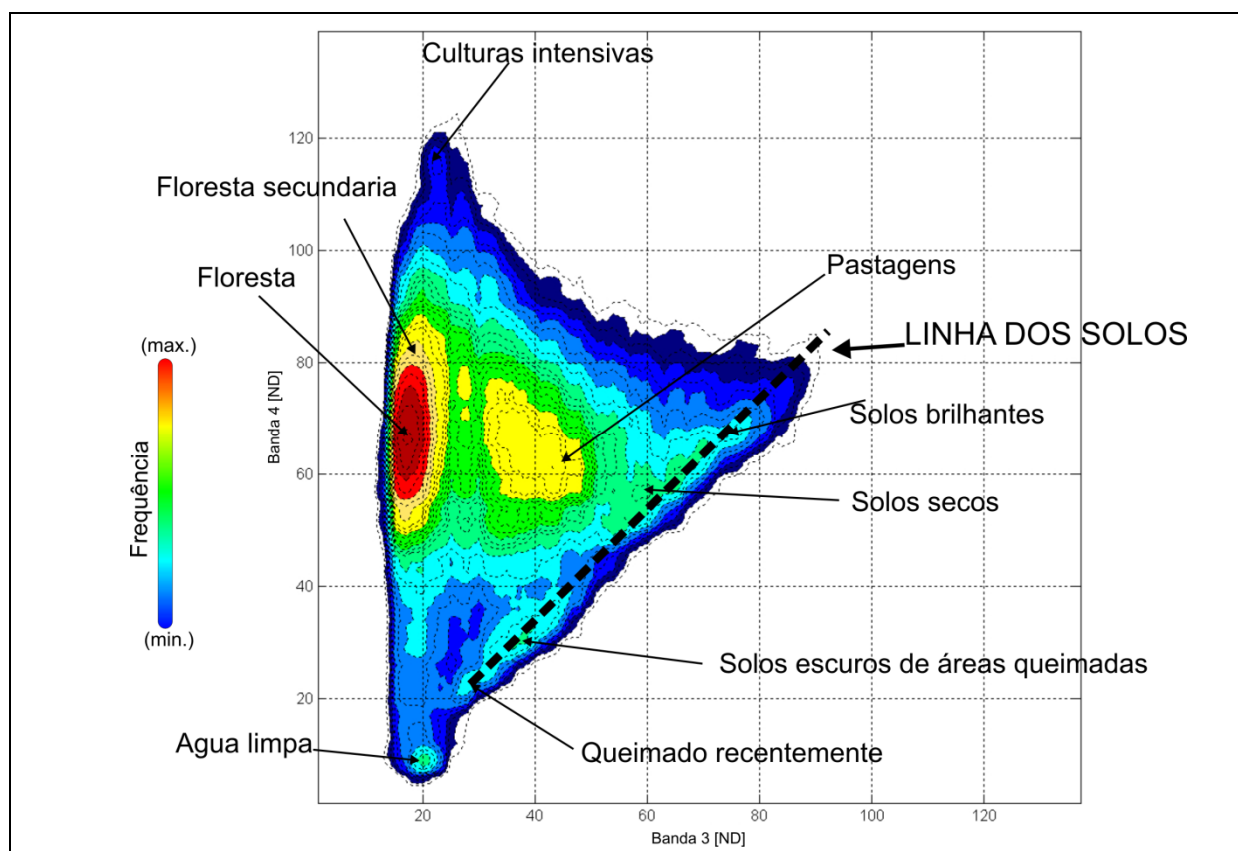


Figura 1 - Diagrama de dispersão da banda TM3 vs. banda TM4/LANDSAT contendo a frequência de pixels representativos de várias classes de uso e cobertura da terra, em cena do sul da Amazônia.

No presente trabalho a imagem fração-solo é obtida por Rotação Radiométrica Controlada - RRC. É importante registrar que o uso de técnicas de rotação radiométrica vem sendo aplicadas com bons resultados em vários domínios vegetacionais, quer seja com dados multi-bandas ou multi-sensores, sobretudo no monitoramento da dinâmica de cobertura da terra, como demonstram Santos et al., 2005; Maldonado et al., 2007; Graça et al., 2008.

Quando MLME é aplicada normalmente são obtidas três imagens fração nestes casos, alguns autores propuseram a razão de bandas fração para realçar as feições que caracterizam a extração seletiva de madeira. Entre eles, Valeriano (2006) propôs utilizar a razão fração-solo sobre a fração-vegetação para detecção e delineamento do corte seletivo e da degradação da floresta. Neste trabalho se desenvolve uma abordagem para obter resultados similares com uma técnica nova simples e operacional.

2. Área de estudo

A área de estudo abrange os municípios de Acrelândia (Estado do Acre) e Lábrea (sul do Estado do Amazonas), próximo ao limite com o Estado de Rondônia, ao longo da BR-364, rodovia que comunica as capitais Porto Velho-RO com Rio Branco-AC (**Figura 2**).

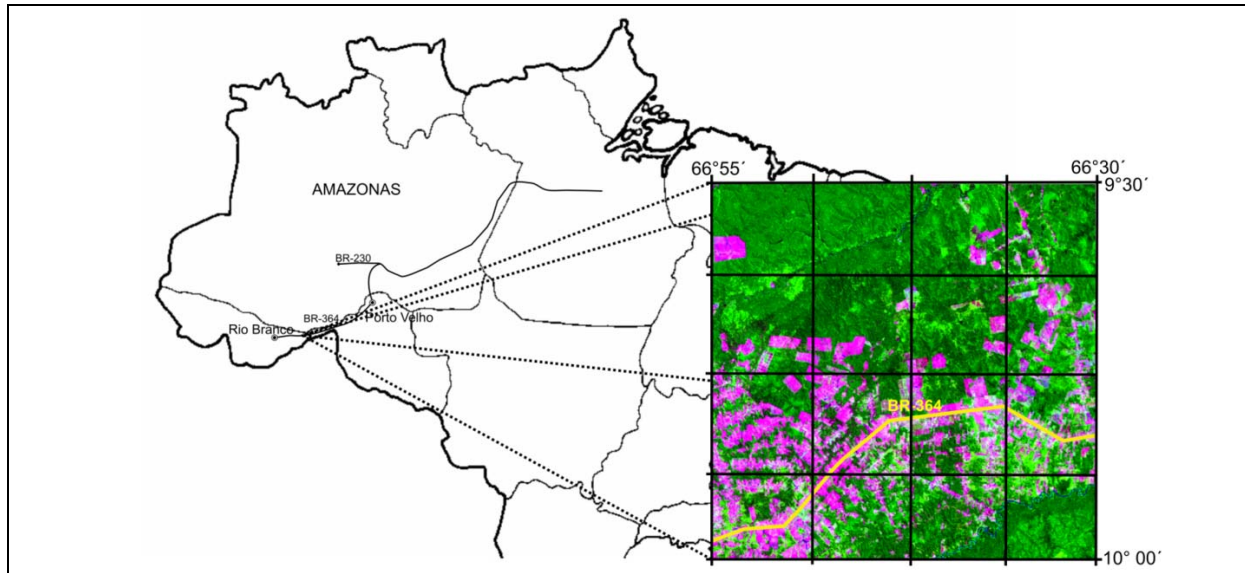


Figura 2- Localização da sub-cena de estudo em trechos do Estado do Amazonas e Acre, ao longo da rodovia BR364.

Essa área está situada na região Vale do Purus, microrregião Rio Branco, de clima tropical chuvoso, com temperatura média do mês mais frio superior a 18°C e estação seca de curta duração, sem influência no comportamento da vegetação. A elevada pluviosidade chega a 1.900 mm anuais, com período chuvoso iniciando-se em setembro e prolongando-se até maio. A temperatura média está em torno de 24°C. As principais formações vegetais presentes são Floresta Tropical Densa e Floresta Tropical Aberta com palmeiras. As principais classes de solos de ocorrência na região são Latossolos e Argissolos. Os principais processos antrópicos da região estão relacionados com a exploração madeireira e pecuária (**Figura 3**).

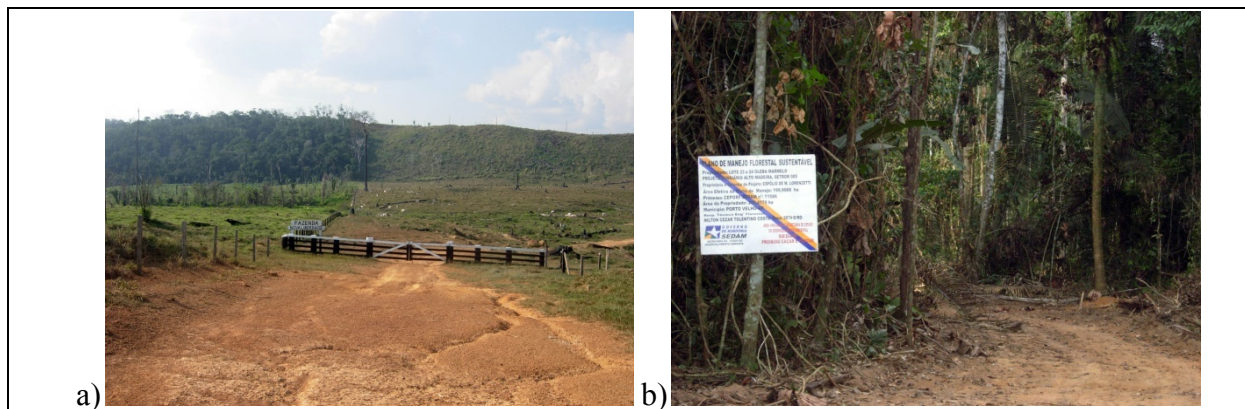


Figura 3 - Pastagens típicas da região sobre terrenos ondulados e aspecto de área florestal sob regime de exploração sustentável de madeira.

3. Material e Método

As imagens utilizadas foram Landsat TM órbita 001 ponto 067, das datas 26 de Julho 2008, da qual se mostra um detalhe na Figura 4.



Figura 4 – Composição RGB 345 TM/Landsat do ano 2008. Detalhe de uma área ao norte da BR-364 região de Aruanã, rodovia Rio Branco-AC / Porto Velho-RO.

Foram utilizados os softwares ERDAS 8.5 para aplicação da Rotação Radiométrica Controlada e Matlab 7.0 R14 para análise dos diagramas de dispersão. Na Figura 5 pode-se observar o fluxograma da metodologia adotada no presente trabalho.

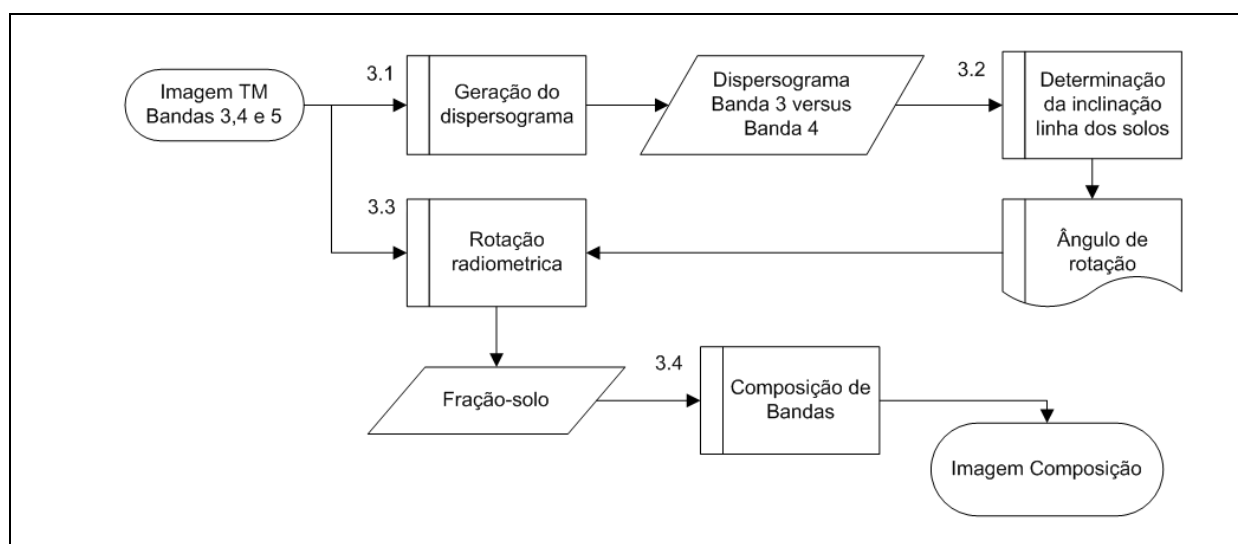


Figura 5 – Fases do procedimento metodológico de geração de produto para composição por Rotação Radiométrica Controlada.

3.1 - Geração dos Dispersogramas: formados pelos valores digitais dos pixels das imagens plotados no espaço bidimensional da radiância, representando com cores, nesse diagrama, a frequência de ocorrência de cada par de valores, sendo a cor vermelha referente às máximas frequências e a cor azul às menores.

3.2 - Determinação da inclinação da linha dos solos: configurada a partir de dois pontos dessa linha no diagrama de dispersão. Deste modo, a partir da inclinação da reta pode-se calcular o ângulo de rotação (θ) (Equação 1):

(1)

$$\text{Angulo}(\theta) = \arctg\left(\frac{\text{Pto}_{-2_{\text{Banda4}}} - \text{Pto}_{-1_{\text{Banda4}}}}{\text{Pto}_{-2_{\text{Banda3}}} - \text{Pto}_{-1_{\text{Banda3}}}}\right) + 180^\circ$$

Para que os solos após a rotação adquiram os valores máximos soma-se o valor de 180° ao ângulo, para que a rotação seja maior até a linha dos solos estar na posição horizontal com máximos valores.

3.3 - Rotação radiométrica: A rotação se baseia no cálculo do parâmetro angular (θ), definido como a tangente do arco do coeficiente “m” de inclinação da reta de regressão (Maldonado e Santos, 2005). Finalmente, a técnica da rotação utiliza o ângulo (θ) como o parâmetro principal da transformação (Equação 2).

$$\text{CompSolo} = \cos(\theta) \times \text{Banda 4} - \sin(\theta) \times \text{Banda 3} \quad (2)$$

Esta equação produz a rotação dos eixos ortogonais do espaço bi-dimensional dos valores radiométricos das imagens (na mesma banda espectral em duas datas); o sinal negativo produz a inversão necessária para que, após a rotação, todos os pontos situados na linha dos solos ocupem a posição mais afastada do eixo horizontal.

3.4 - Composição de Bandas: A partir dessa fase gera-se uma composição colorida, onde o resultado da rotação é contrastada e colocada no canal vermelho, juntando-se a banda 4 no verde e a banda 3 no azul. A composição resultante permite realçar e visualizar as clareiras/pátios e também a degradação da floresta ao seu redor, sobretudo quando há uma maior intensidade de exploração.

4. Resultados e discussão

O espaço bi-temporal foi rotacionado com diferentes ângulos para produzir a imagem-deteção. O ângulo de inclinação para a linha dos solos foi de $22^\circ 29'$, pelo que o ângulo de rotação foi de $202^\circ 29'$, como se apresenta na **Figuras 6**, os solos ocupam a posição de valores máximos na imagem do eixo ‘y’ fração-solo (Figura 6b).

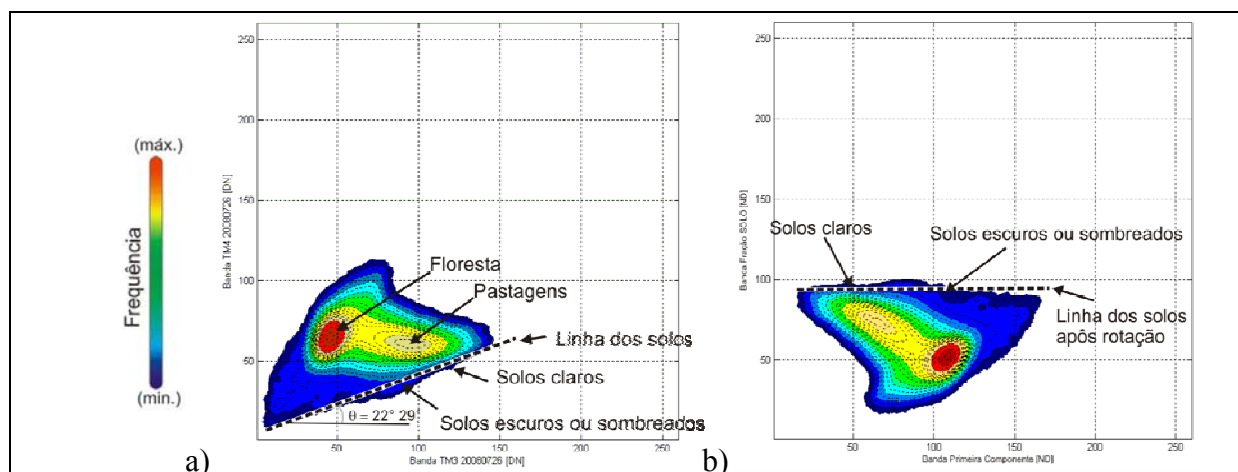


Figura 6 - Dispersograma da cena 001/067 de 26 de Julho de 2008. Antes da rotação (a) após a rotação um ângulo de $202^\circ 29'$ (b).

Na **Figura 7** observa-se a imagem “fração-solo” com predominância de tons de cinza médios, correspondentes às áreas florestadas, em geral floresta não explorada ou pouco explorada (até $20\text{m}^3/\text{há}$), tons de cinza médios media a alta (acima de $40\text{m}^3/\text{há}$). Os tons de cinza muito claro correspondem a perda parcial ou total da cobertura florestal, com formas

geométricas regulares correspondendo a atividade agropecuária. No interior dessas áreas de formato regular, há uma variabilidade de tons de cinza, cuja interpretabilidade temática refere-se a áreas com pastagens bem implantadas, outras com pastagens sujas (genericamente designadas por juquira, de porte arbustivo e esparsas) e outras, em processos de regeneração de fase jovem ou intermediária.

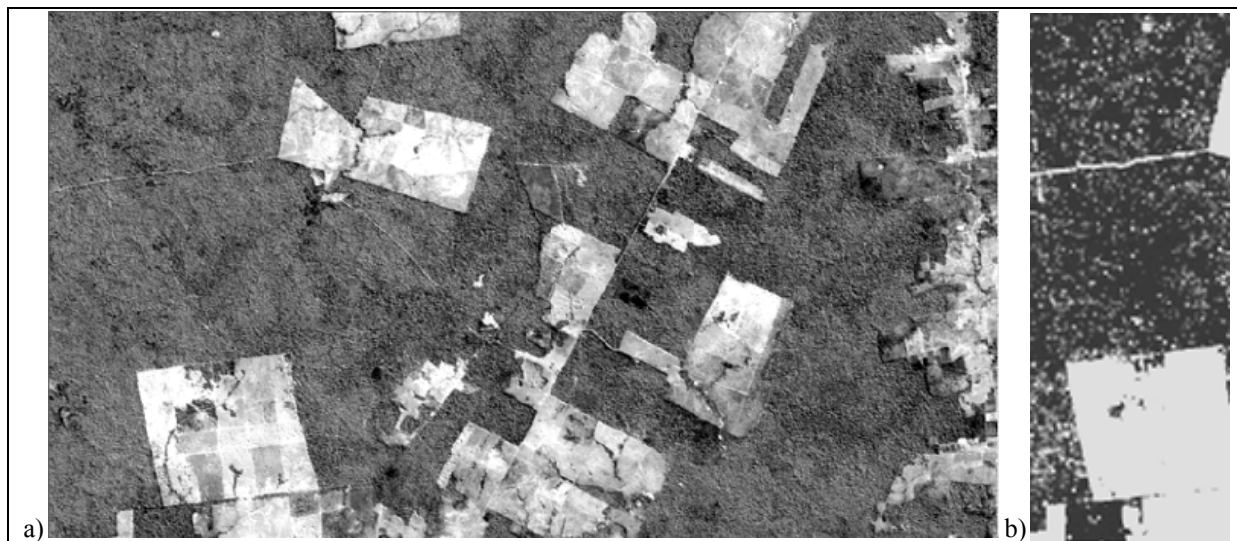


Figura 7 – Componente-solo calculada por Rotação Radiométrica Controlada, com resultados similares aos esperados para uma imagem fração-solo do MLME (a), detalhe da imagem fração fortemente contrastada se observam pátios e clareiras e a degradação ao redor.

Na figura 8 é apresentada uma composição colorida onde a razão de bandas ocupa o canal do vermelho, a banda TM4 o verde e a banda TM5 o azul. Nesta composição são realçadas as clareiras e pátios que caracterizam o corte seletivo. Também podem-se notar as mudanças de cor e de textura, em volta de alguns grupos de pátios, o que caracterizar a intensidade da exploração e o nível atual de regeneração.



Figura 8 - Composição colorida mostrando uma série de pontos avermelhados no interior da floresta (verde) referentes aos pátios de estocagem.

Para formar essa imagem-composição (Figura 8) a componente-solo no canal do vermelho deve ser fortemente contrastada. Esse contraste se baseia em eliminar todos os valores menores da média da floresta. Assim a floresta pouco alterada aparece verde sem proporção de vermelho na composição e as clareiras, situadas à direita da floresta aparecem com valores altos do vermelho.

A presença e posição das clareiras e pátios foram confirmadas com fotografias aéreas georreferenciadas observando a floresta alta em bom estado nas áreas de exploração o que, em geral, dificulta à maioria das técnicas e confirma o bom desempenho da técnica de rotação e combinação e contraste das imagens para interpretação.

5. Conclusões

O algoritmo de rotação apresentado é adequado para formar parte de um sistema operacional para detecção e delimitação da extração seletiva de madeira. A principal qualidade da técnica é ser pouco complexa e dispensar da extração de elementos puros das imagens. Essa operação em muitas imagens apresenta ambigüidades que dificultam a padronização necessária para o bom funcionamento de um sistema operacional.

A substituição da banda fração-solo do MLME pela banda calculada por rotação, teve bons resultados para a detecção do corte seletivo na Amazônia. Esses resultados são preliminares e serão concentrados esforços para o aprimoramento da técnica, sobretudo explorando o conceito de trajetórias espectrais o deverá ser explorado para operacionalizar a razão da fração solo sobre a fração-vegetação.

Essas imagens podem ser utilizadas num processo de detecção de mudanças para diferenciar exploração recente da antiga. Sendo que a exploração com mais de dois anos apresentam a degradação parcial do dossel imperceptível. O mesmo pode estar ocorrendo nesta área, onde a regeneração do dossel em termos espectrais pode não ser mais observável.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Amazonas - FAPEAM pela bolsa DCR e auxílio à pesquisa; ao CNPq (Universal N°480108/2007-2) e a FINEP(Projeto integrado MCT-EMBRAPA-PIME), INPA (PPI PRJ 03.12) pelo suporte financeiro.

Referências

- Asner, G. P.; Knapp, D. E.; Broadbent, E. N.; Oliveira, P. J. C.; Keller, M.; Silva, J. N. Selective logging in the Brazilian Amazon. *Science*, v. 310, n. 5747, p. 480-482, 2005.
- 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.
- Dematte, J.A. M.; Epiphanyo, J.C. N.; Formaggio, A.R. Influência da matéria orgânica e de formas de ferro na reflectância de solos tropicais. *Bragantia*, v.62, n.3, p.451-464, 2003.
- 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.
- Graça, P.M.L.; Maldonado, F.D.; Santos, J.R.; Soares, J.V. Detecção de corte seletivo de madeira por técnica de rotação radiométrica na floresta amazônica. *Ambiência*, v.4, n.esp.2008, p.97-106, 2008.
- 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*, v.28, n.8, p.1789-1804, 2007.

Monteiro, A.L.S.; Souza, C.M.; Lingnau, C. Avaliação de imagem de abundância de vegetação para o monitoramento de indicadores de manejo florestal na Amazônia. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3151-3158.

Nanni, M.R.; Dematte, J. A. M. Comportamento da linha do solo obtida por espectrorradiometria laboratorial para diferentes classes de solo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v.30, n.6, p.1031-1038, 2006.

Richardson, A. J. and Wiegand, C. L. 1977. Distinguishing vegetation from soil background information, **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, vol. 43, pp. 1541-1552.

Santos, J.R.; Maldonado, F.D.; Graça, P.M.L. 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.

Souza Junior, C. M.; Roberts, D. A.; Cochrane, M.A. Combining spectral and spatial information to map canopy damage from selective logging and forest fires. **Remote Sensing of Environment**. V. 98, p. 329-343, 2005.

Sousa Junior, J. G. A.; Dematte, J. A. M.; Genu, A. M. Comportamento espectral dos solos na paisagem a partir de dados coletados por sensores terrestre e orbital. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v.32, n.2, p.727-738. 2008.

Valeriano, D.M. Metodologia para monitoramento do corte seletivo em florestas públicas. MMA: Brasília. **Workshop de avaliação de metodologia para o DETEX**. Censipam, Brasília, setembro de 2006.