

DINÂMICA DO COMPORTAMENTO RADIOMETRICO EM ÁREAS SOB EXPLORAÇÃO FLORESTAL A PARTIR DA ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE FEIÇÕES NO ESPAÇO DE ATRIBUTOS BIDIMENSIONAL

DYNAMIC OF THE RADIOMETRIC BEHAVIOR IN AREAS UNDER FOREST EXPLOITATION FROM ANALYSIS OF FREQUENCY OF PATTERNS IN THE BIDIMENSIONAL SPACE OF ATTIBUTES

Francisco Darío Maldonado ¹, Paulo Mauricio Lima Alencastro Graça ², João Roberto dos Santos ³

^{1,3} Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Av. dos Astronautas, 1758, 12.227-010 - São José dos Campos, SP, Brasil, francis@dsr.inpe.br; jroberto@dsr.inpe.br

² Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, Av. André Araujo, 1936, Aleixo, 69060-001 - Manaus, AM, Brasil, pmlag@inpa.gov.br

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo analisar as alterações das frequências das misturas espectrais floresta/solo em imagens multitemporais, em distintas condições de geometria de iluminação no espaço bidimensional de dados TM/Landsat. Para isto, foram utilizadas três subcenas em áreas sob condições de exploração madeireira, nas bandas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo, nas quais foram definidos *buffers* no contato linear entre áreas de floresta e de corte raso. Esses contatos foram determinados a partir de imagens multitemporais TM/Landsat, em passagens de julho, setembro e novembro de 2009. As subcenas formaram dois subconjuntos de áreas de contato: um, cuja borda de floresta está iluminada devido a sua orientação azimutal solar; e outro, em orientação oposta apresentando bordas sombreadas. Esses dois subconjuntos representados por dispersogramas tiveram seus valores de frequência subtraídos, eliminando aqueles que estão na mesma posição no espaço de atributos. Nos três grupos de dispersogramas resultantes de cada data investigada, pode-se observar a considerável distância entre os dois subconjuntos de misturas, aqueles de floresta com solo iluminado, daqueles com solo sombreado. Também foi observado que a posição relativa de cada subconjunto muda além da proporção entre datas. Na passagem de julho, com ângulo de elevação menor, as misturas com solo sombreado são as mais abundantes, e em novembro, com ângulo de elevação maior, as misturas com solo iluminado são as mais abundantes. Com base nos resultados, pôde-se concluir que as modificações na paisagem florestal provocadas pela ação antrópica aumentam a frequência de dois tipos de misturas espectrais com contribuição do solo nas áreas de exploração de madeira. Isso implica que algoritmos de detecção ou índices de degradação, que consideram estas estruturas como tendo comportamento radiométrico similar em uma mesma cena, obterão resultados limitados em virtude das alterações espaço-temporais que essas estruturas sofrem em suas características espectro-radiométricas.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, floresta tropical, exploração madeireira, detecção de mudanças, monitoramento.

ABSTRACT

The objective of this work is to analyze the modifications of the frequencies of the forest/soil spectral mixtures in multi-temporal images, for different conditions lighting geometry in the two-dimensional TM/Landsat datum space. Three scenes with timber exploitation areas, in the red and near infrared spectral bands were used. They were delimited by a buffer at the border between forest and clear cuts. These contacts were defined using multi-temporal Landsat images, acquired on July, September and November 2009. The sub-scenes formed two subsets of contact area: one whose forest edge is illuminated because of its solar azimuth orientation and the other, in the opposite orientation presenting shadow edges. These two subsets, represented by numeric fields of frequency, were subtracted one from the other. Therefore, those values that are in the same position in the space of attributes were eliminated. In the dispersions one observes a considerable radiometric distance between the two mixture groups, for every date. One group represents the spectral mixture of the forest with illuminated floor with high values in the red and near infrared. The other group represents the

spectral mixture of the forest with shady floor with low red values and middle values at the infrared. It was also observed that between the dates, the relative position of each group changes as well as the proportional size between them. In the image from July, with smaller sun elevation angle, the mixtures with shady floor are more abundant. At the images of November, with higher sun elevation angle, the mixtures with illuminated floor are more abundant. Based on these results, one can conclude that the modifications in the forest landscape in areas of selective logging, there is an increase in the frequency of the two groups of spectral mixture with ground contribution. This implies that detection algorithms or indices of degradation, that consider all the structures with similar spectral behavior in the same image, will obtain limited results caused by the space-temporal modifications suffered by these structures at its spectral-radiometric characteristics.

Keywords: Remote sensing, Tropical forest, Timber exploration, Change detection, Monitoring.

INTRODUÇÃO

As atividades de exploração da floresta amazônica se distribuem amplamente e dada a extensão e dinâmica desta região, somente técnicas do Sensoriamento remoto com imagens de satélite podem obter resultados satisfatórios nesta escala. Algumas formas de exploração como a extração seletiva de madeira apresentam dificuldades para ser detectadas e mapeadas. Alguns esforços feitos na região amazônica para detecção e mapeamento dessa atividade foram os de ASNER *et al.*, 2005; SOUZA Jr. *et al.*, 2005; GRAÇA *et al.*, 2008.

O refinamento de algumas dessas metodologias necessariamente deve considerar que o comportamento espectral de alvos em ambiente florestal pode mudar no espaço e no tempo por influência de vários fatores, tais como, ângulo de elevação solar, ângulo azimutal solar, interferências atmosféricas, teor de umidade da superfície do solo, entre outros. Esses fatores levam a alterações radiométricas de elementos de interesse que podem dificultar a interpretação das imagens. Modificações na paisagem florestal provocadas pela ação antrópica aumentam a frequência das misturas espectrais, com maior contribuição do solo.

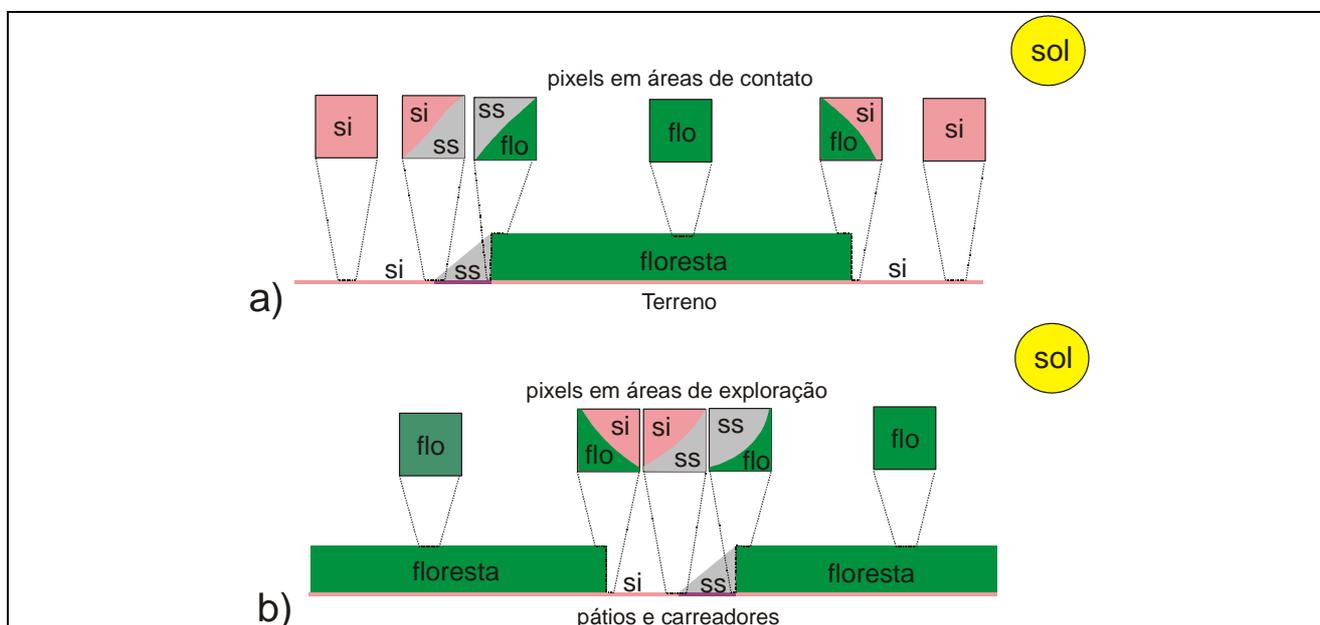


Figura 1. Diagrama da mistura dos pixels nas áreas de contato floresta /corte raso (a); e nas áreas de corte seletivo no interior da floresta (b). Sendo: flo = floresta; si = solo iluminado; ss = solo sombreado.

Figure 1. Diagramm of mixed pixels in contact areas of forest/clear cut (a); and selective logging areas (b). Thus, flo = forest; si = iluminated soil; ss = shadowed soil.

O solo, também, pode influenciar com intensidades diferentes a mistura espectral de acordo com a geometria de iluminação. Em imagens geradas sob condição de alto ângulo de elevação solar a mistura espectral com solos iluminados é mais frequente. De forma inversa, quando as imagens são geradas sob condição de baixo

ângulo de elevação solar a influência dos solos sombreados é maior. Essas misturas espectrais caracterizam as ações antrópicas no interior da floresta, tais como feições encontradas em áreas de exploração madeireira (pátios de estocagem de madeira, trilhas de arraste, carregadores, clareiras formadas pela extração de árvores). Estas misturas espectrais também estão presentes em áreas de contato abrupto, encontradas nas bordas de florestas com pastagens.

Com base nessas premissas expostas acima, é possível compreender a dinâmica do comportamento radiométrico das feições presentes em áreas de corte seletivo de madeira. Neste contexto, este trabalho teve por objetivo analisar as alterações das frequências das misturas espectrais floresta/solo em imagens multitemporais em condições distintas de geometria de iluminação no espaço bidimensional.

MATERIAL E MÉTODO

Este estudo foi realizado no Município de Extrema do Abunã, Estado de Rondônia, no polígono com a coordenada central S 11° 50' e W 56° 20' (Figura 2).

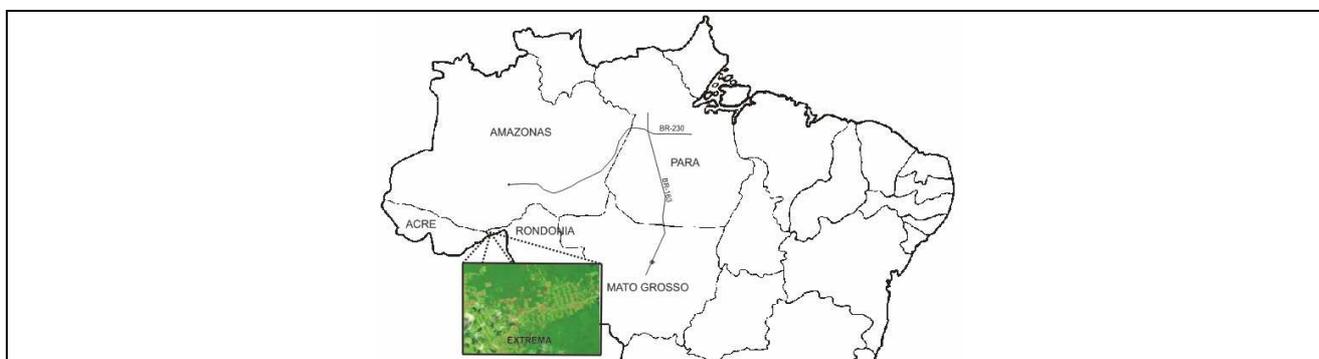


Figura 2. Localização da área do estudo na região de Extrema do Abunã no oeste do Estado de Rondônia.
Figure 2. Localization of study area in “Extrema do Abunã”, west of Rondônia state.

Nessa região estudada há domínio da floresta ombrófila aberta, com atividades de exploração madeireira, categorizadas por baixo a moderado impacto, decorrente de planos de manejo estaduais implantados. Extensas áreas de pastagens, particularmente sob satisfatórias condições de pastoreio fazem parte do contexto de ocupação atual da paisagem.

Para o estudo, foram utilizadas três subcenas do Landsat/TM, nas bandas espectrais TM3 e TM4, órbita 001/67, com passagens de 13/07/2009, 15/09/2009 e 01/10/2009. Os ângulos de elevação solar no momento do imageamento foram de 45°, 58° e de 62°, respectivamente. O algoritmo usado foi programado em Matlab 2009b.

No procedimento metodológico adotado utilizou-se separadamente cada sub-cena nas bandas espectrais do vermelho (TM3) e do infravermelho próximo (TM4). Em cada uma das quais foram delimitadas as áreas utilizando um algoritmo de faixa de distância (buffer), considerando um faixa de 120 metros em ambos os lados do contato linear entre as áreas de floresta e de corte raso. Esses contatos foram determinados a partir de imagens multitemporais TM/Landsat de julho, setembro e novembro de 2009. Essas imagens foram classificadas em três temas: floresta, corte raso e outro não-classificado. As sub-cenas formaram dois sub-conjuntos de áreas de contato, sendo um cuja borda de floresta está iluminada devido a sua orientação azimutal solar, e outro, em orientação oposta apresentando bordas sombreadas, como se observa na Figura 3.

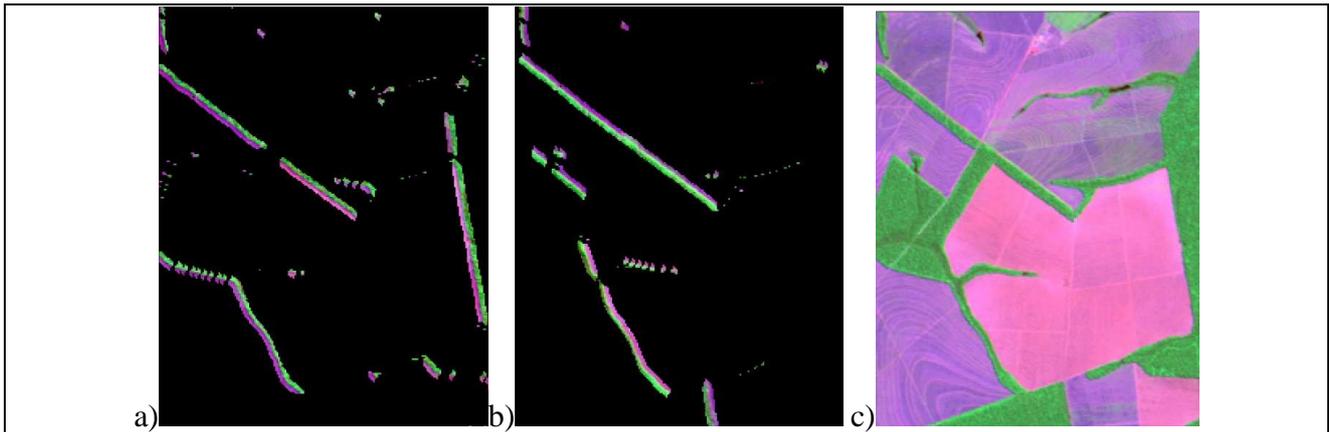


Figura 3. Detalhe da técnica de delimitação dos contatos floresta/corte raso. Sub-imagem com as bordas sombreadas em (a); sub-imagem das bordas iluminadas em (b) e sub-imagem referência, em composição colorida (c).

Figure 3. Detail of delimitation technique of the contact area forest/clear cut. Subset of image with shadowed border (a); illuminated border and sub-image reference in color composite (c).

Estes dois subconjuntos representados por dispersogramas tiveram seus valores de frequência subtraídos, eliminando aqueles que estão na mesma posição no espaço de atributos. Desta forma, o resultado da subtração entre o subconjunto sombreado e o iluminado são os pixels cujo par espectral corresponde à floresta com solo sombreado. Por sua vez, se a diferença for entre o subconjunto iluminado menos o sombreado, os pares espectrais resultantes serão correspondentes àqueles de florestas com solo iluminado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados observados nos diagramas de dispersão das três datas indicam que as feições encontradas no contato floresta/corte raso estão divididas em dois subconjuntos distintos. A imagem de julho, de menor ângulo de elevação solar e maior umidade na superfície dos solos, mostra o grupo do elemento sombreado mais abundante do que aqueles iluminado. No dispersograma, esse subconjunto dos elementos sombreados está numa posição radiométrica mais baixa que a floresta na faixa espectral do vermelho (Figura 4a e 4b).

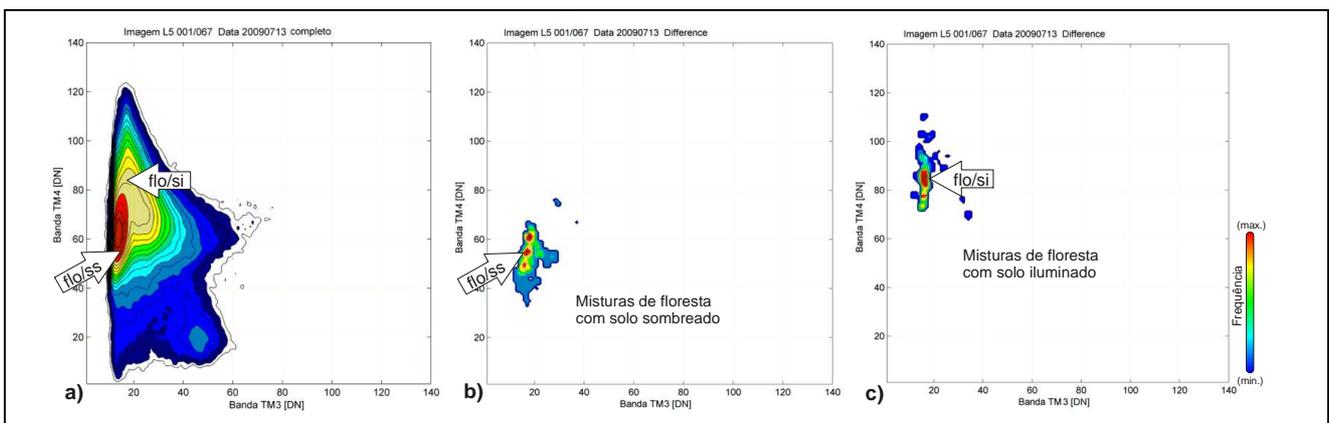


Figura 4. Dispersogramas da imagem de Julho, mês em que o ângulo de elevação solar é menor (45°), bandas TM3 (eixo x) e TM4 (eixo y). O dispersograma da cena completa (a); dispersograma da subtração sombreado menos iluminado (b) e subtração iluminado menos sombreado (c).

Figure 4. Scatterograms of image of July, angle of elevation solar is minor in this month, band TM3 (x axis) and TM4 (y axis). The scatterogram of complete image (a); scatterogram of subtraction shadowed minus illuminated (b) and subtraction illuminated minus shadowed (c).

O dispersograma da imagem na data de setembro apresentou uma redução do grupo de elementos sombreados, em consequência de essa ser obtida num momento de maior ângulo de elevação solar. Esse grupo apresentou também um deslocamento da sua posição anterior em julho para uma outra, com maiores níveis na escala radiométrica do vermelho (Figura 5).

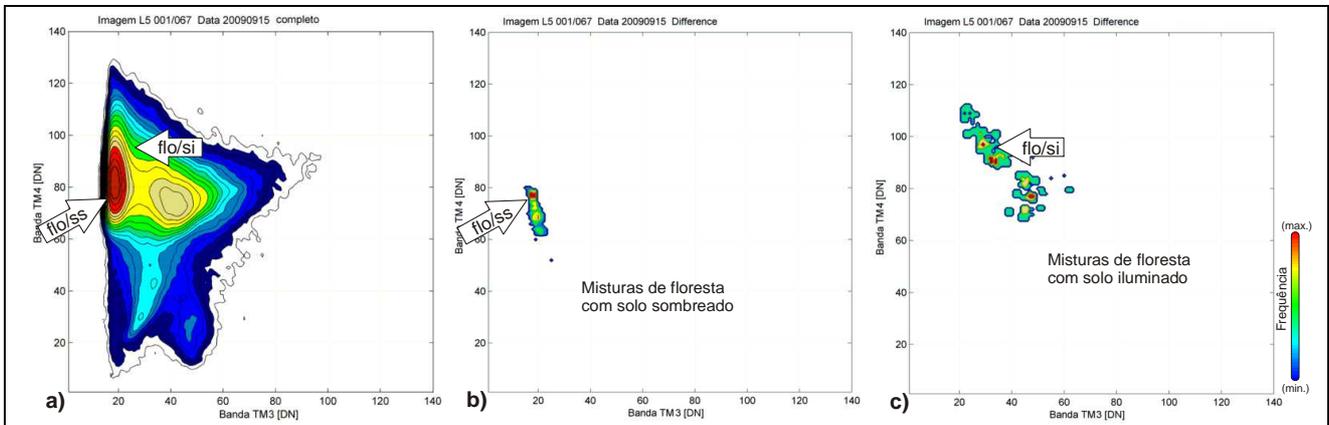


Figura 5. Dispersogramas da imagem de setembro, onde o ângulo de elevação solar é intermedio (58°), bandas TM3 (eixo x) e TM4 (eixo y). O dispersograma da cena completa (a); dispersograma da subtração sombreado menos iluminado (b) e subtração iluminado menos sombreado (c).

Figure 5. Scatterograms of image of September, angle of elevation solar is intermediate, band TM3 (x axis) and TM4 (y axis). The scatterogram of complete image (a); scatterogram of subtraction shadowed minus illuminated (b) and subtraction illuminated minus shadowed (c).

A imagem de outubro da Figura 6, foi obtida com o maior ângulo de elevação solar (61°) e numa data de maior variação de umidade dos solos, desde secos até muito úmidos, mostra o subconjunto dos elementos iluminados e de grande tamanho comparado com aquele dos sombreados. No dispersograma, o grupo dos elementos sombreados está numa posição radiométrica mais baixa do que a floresta na faixa espectral do vermelho (Figura 6).

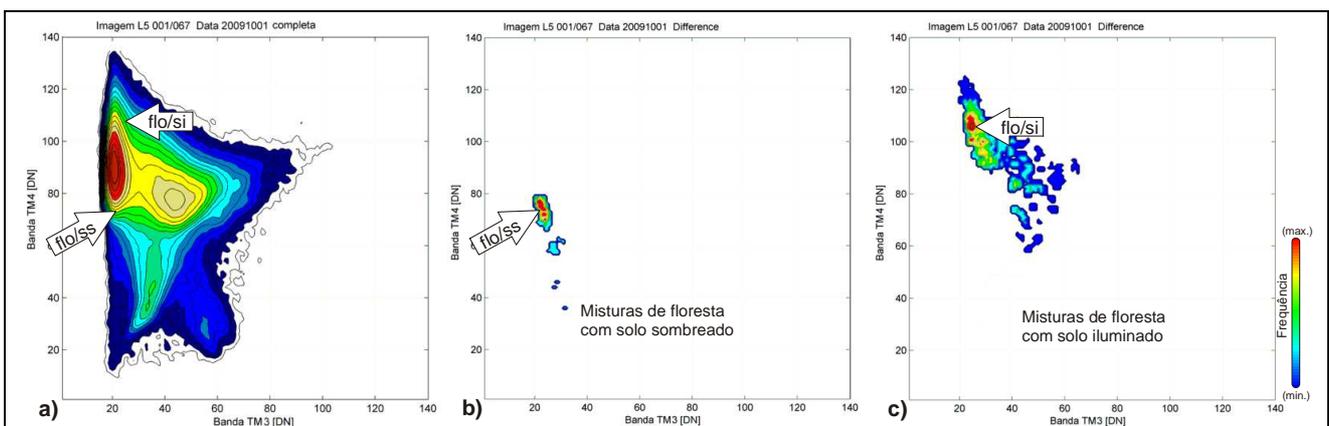


Figura 6. Dispersogramas da imagem de outubro, onde o ângulo de elevação solar é maior (61°), bandas TM3 (eixo x) e TM4 (eixo y). O dispersograma da cena completa (a); dispersograma da subtração sombreado menos iluminado (b) e subtração iluminado menos sombreado (c).

Figure 6. Scatterograms of image of Outubro, angle of elevation solar is major, band TM3 (x axis) and TM4 (y axis). The scatterogram of complete image (a); scatterogram of subtraction shadowed minus illuminated (b) and subtraction illuminated minus shadowed (c).

Nas Figuras 4, 5 e 6, pode-se observar também o distanciamento, nas três figuras, das feições com relação à floresta. Os pixels de floresta estão localizados na elipse vermelha (maior frequência) no dispersograma (a). Na imagem de Outubro o distanciamento de ambas é maior o que se traduz em maior separabilidade da floresta ou maior possibilidade de algum algoritmo ou até mesmo os intérpretes poder discriminar os elementos característicos da exploração madeireira no interior da floresta.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados observados pode-se concluir que as modificações na paisagem florestal aumentam a frequência de dois subconjuntos de misturas espectrais com contribuição do solo. O solo pode influenciar a mistura espectral de acordo com a geometria de iluminação. Em imagens geradas sob condição de alto ângulo de elevação solar a mistura espectral com solos iluminados é mais frequente. De forma inversa, quando as imagens são geradas sob condição de baixo ângulo de elevação solar, a influência dos solos sombreados é maior. Essas misturas espectrais caracterizam as ações antrópicas no interior da floresta, tais como feições encontradas em áreas de exploração madeireira (pátios de estocagem de madeira, trilhas de arraste, carregadores, clareiras formadas pela extração de árvores). Estas misturas espectrais também estão presentes em áreas de contato abrupto, encontradas nas bordas de florestas com pastagens.

Com base nesta análise da dinâmica radiométrica pode-se observar que as feições encontradas em áreas sob exploração madeireira, que constituem os elementos estruturantes desta paisagem antropizada numa mesma imagem, podem estar representadas em posições diferentes no espaço de atributos bidimensional. Por exemplo, os pixels que representam os pátios de estocagem (em áreas de corte seletivo) ocupam duas posições diferentes no espaço de atributos. Essas posições se alteram no tempo, conforme a sua geometria de iluminação (elevação solar, relação entre o ângulo azimutal e a orientação dos pátios, altura da floresta e umidade do solo, entre outros).

Esses resultados implicam que algoritmos de detecção ou índices de degradação, que consideram estas estruturas como tendo comportamento radiométrico similares em uma mesma cena, devem propiciar resultados de classificação limitados, em virtude das alterações espaços-temporais que essas estruturas sofrem em suas características espectro-radiométricas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo suporte financeiro advindo do Projeto Universal número 480108/2007-2.

REFERÊNCIAS

- ASNER, G, *et al.* Selective Logging in the Brazilian Amazon. *Science*. n.310, n.4757, p. 480-482, 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). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos: INPE, 2004. 275p.
- GRAÇA, P.M.L., *et al.* 2008. Detecção de corte seletivo de madeira por técnica de rotação radiométrica na floresta amazônica. *Ambiência*, v.4, n. SPI 2008, p. 97-106, 2008.
- JOHNS, S.J. *et al.* Logging damage during planned and unplanned logging operations in the eastern Amazon. *Forest Ecology and Management*, v.89, n.1-3, p. 59-77, 1996.
- SOUZA JR, C.; BARRETO, P. An alternative approach for detecting and monitoring selectively logged forests in the Amazon. *International Journal of Remote Sensing*, v.21, n.1, p.173-179, 2000.