

Classificação de áreas exploradas por sistema de corte seletivo na Amazônia

Luciane Yumie Sato ¹
Flora da Silva Ramos Vieira Martins ¹
Roberta Zecchini Cantinho ¹
Thales Sehn Korting ¹
Leila Maria Garcia Fonseca ¹
Cláudio Almeida ¹
Dalton de Morisson Valeriano ¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Av. dos Astronautas, 1758, 12.227-010 São José dos Campos, SP, Brasil
{florarvm, lusato, cantinho, claudio, dalton}@dsr.inpe.br; {tkorting,leila}@dpi.inpe.br

Abstract. Selective logging is a major cause of forest degradation. Its monitoring represents a key application of remote sensing and associated technologies of GIS. In this way, the DETEX Project has shown significant improvements in the detection of these areas, but the implemented methodology suffered from clear limitations. This paper aims to enhance the existing techniques of areas classification where selective cutting has occurred. In this purpose, the Linear Mixing Model (LMM) and the ratio between bands were used to detect impacted zones. Areas already cleared were removed from the analysis using the PRODES mask and the cropped image was imported into TerraView, where a mesh of 1 km² has been created. The system GeoDMA was used to extract, from each cell, representative attributes of the identified classes (i) non-forest, (ii) forest, (iii) initial selective logging, (iv) intermediary selective logging and (v) advanced selective logging. From summary statistics of the sampled cells (mean, standard deviation, entropy, amplitude, sum and mode), a decision tree was carried out to classify the remaining ones. Overall accuracy was 73% and the main discrepancies occurred in border areas. The classification technique was quite efficient in identifying initial (83%), advanced (85%) and intermediary (100%) explorations where they occurred. Although affected areas could not be quantified, these results can be useful in order to implement a powerful warning system.

Palavras-chave: pátios, MLME, GeoDMA, LMM, log dump.

1. Introdução

A Amazônia abriga uma das maiores biodiversidades do mundo, sendo responsável por uma importante ciclagem de água e armazenamento de carbono (Clemente & Higuchi, 2006; Nobre et al., 2007). Apesar de sua reconhecida importância, desde 1991 os índices de desmatamento têm aumentado, causando a degradação da floresta e mudanças em seu regime hidrológico, além da perda de biodiversidade e produtividade (Fearnside, 2005).

A exploração ilegal por meio do corte seletivo é uma das maiores causas da degradação florestal. Este tipo de exploração se dá pela retirada de um grupo de árvores com alto valor comercial. Esta prática geralmente provoca a fragmentação da paisagem deixando, associadas às porções de floresta intacta, áreas de clareiras, estradas, pátios de estocagem da madeira extraída e frações de floresta danificadas (Veríssimo et al., 1995, Matricardi et al., 2010). Além disto, a derrubada e arraste realizados de maneira não planejada acarretam mudanças no microclima da floresta, erosão e compactação dos solos, alteração na ciclagem dos nutrientes e alterações na composição florística e estrutural do povoamento. Todos esses fatores, somados aos resíduos deixados pela colheita, contribuem para uma maior susceptibilidade à ocorrência de incêndios (Holdsworth & Uhl, 1997; Johns et al., 1996). Por outro lado, quando baseado em um plano de manejo florestal, o corte seletivo torna-se um aliado na busca pelo uso sustentável dos recursos florestais.

Neste contexto, uma importante ação de proteção do bioma amazônico é o acompanhamento deste tipo de exploração. O projeto DETEX (Detecção de exploração

seletiva) do INPE tem como objetivo monitorar as áreas florestais concedidas legalmente para a exploração. Sua metodologia (Shimabukuro et al., 1997), baseia-se na utilização do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) para a localização tanto dos pátios de estocagem quanto das áreas exploradas. No entanto, a etapa de detecção ainda é realizada por interpretação visual, sendo que a detecção e o dimensionamento automáticos das áreas exploradas ainda é um desafio.

Desta forma, o presente trabalho tem como finalidade propor uma metodologia para detectar automaticamente as áreas sob regime de corte seletivo na Amazônia através de técnicas de mineração de dados implementadas no sistema GeoDMA (*Geographical Data Mining Analyst*) (Korting et al., 2008), integrado ao sistema TerraView¹. Com uma metodologia eficiente, o processo de detecção poderia ser aplicado não somente nas áreas concedidas legalmente, mas também naquelas sob exploração ilegal.

2. Metodologia de trabalho

2.1 Área de Estudo

Este trabalho foi realizado em uma área localizada no norte do estado do Mato Grosso, no sul da Amazônia brasileira (Figura 1). Esta região é caracterizada por apresentar duas estações bem definidas: uma estação chuvosa de Setembro a Maio, e outra seca de pequena duração. O clima é classificado como tropical quente úmido, com precipitação pluviométrica anual de aproximadamente 1600 a 2100 mm e temperatura anual média fica em torno de 25°C. O solo predominante é do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo, sendo que a cobertura vegetal é composta por floresta tropical de transição, entre floresta ombrófila aberta e cerrado (Radambrasil, 1980). A escolha desta área de estudo se baseou na alta ocorrência de corte seletivo e extração madeireira, os quais se devem ao histórico da região e à presença de importantes pólos madeireiros (Pantoja, 2010).

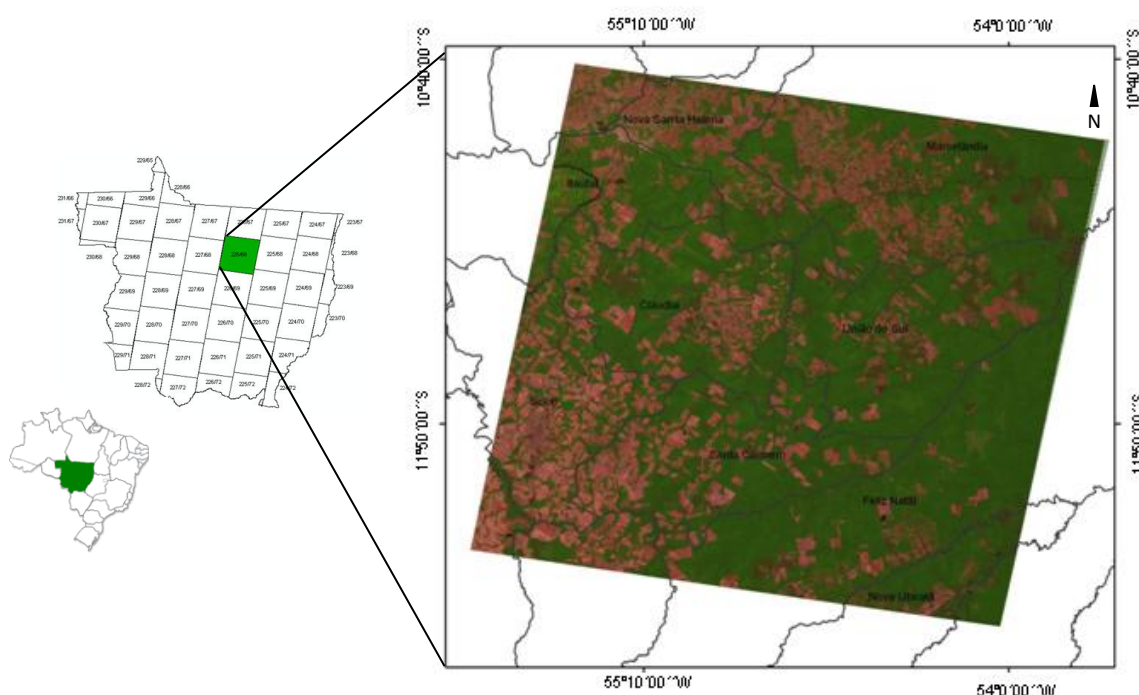


Figura 1. Localização da área de estudo. Imagem TM/Landsat-5, composição R(5)G(4)B(3), órbita/ponto TM/Landsat-5 226/68. Modificado de Pantoja (2010).

¹ O sistema TerraView está disponível para download em <http://www.dpi.inpe.br/terraview>.

2.2 Dados de Sensoriamento Remoto

Para o desenvolvimento deste estudo, foi utilizada imagem TM Landsat-5 (resolução espacial de 30 metros) referente à órbita/ponto 226/68 adquirida em 22/08/2009. O georreferenciamento desta cena teve como referência a imagem disponível na base de dados da NASA (*Global Land Cover Facility: Earth Science Data Interface-GLCF* (<http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>), de mesma órbita/ponto. Esta etapa foi realizada no SPRING 4.3.3, e o ajuste foi feito com um polinômio de 1º grau. O erro obtido foi inferior a 0,5 pixel, o qual é considerado aceitável para este tipo de análise.

2.3 Modelo Linear de Mistura Espectral

O Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) visa estimar a proporção das componentes solo, sombra e vegetação para cada pixel com base na resposta espectral das bandas de entrada. Como resultado são geradas três imagens-fração: (i) imagem-fração solo, (ii) imagem-fração vegetação e (iii) imagem-fração sombra, conforme a seguinte equação (Shimabukuro e Smith, 1991; Shimabukuro et al., 1997):

$$r_i = a.vege_i + b.solo_i + c.sombra_i + e_i \quad (1)$$

onde r_i representa a resposta do pixel na banda i da imagem; a , b e c são proporções de vegetação, solo e sombra (ou água), respectivamente, que compõem o pixel; $vege_i$, $solo_i$ e $sombra_i$ correspondem às respostas espectrais de cada uma das componentes; e_i é o erro intrínseco para a banda i .

Segundo Mello et al. (2008), a ausência de correções radiométricas não compromete a qualidade dos resultados obtidos pelo MLME. Desta forma, a correção atmosférica não foi realizada na cena selecionada. As três componentes do MLME foram obtidas a partir das bandas 3, 4 e 5 do TM-5. Os histogramas das imagens-fração solo e vegetação foram ajustados por uma função linear com o intuito de realçar as áreas de ocorrência de corte seletivo. Considerando que as áreas de ocorrência de corte seletivo têm uma boa resposta espectral na imagem-fração solo (IS) e baixa resposta espectral na imagem-fração vegetação (IV), a razão entre estas duas imagens foi realizada para enfatizar as áreas de corte seletivo, de acordo com a metodologia do DETEX:

$$C = G \cdot \frac{IS}{IV} + Off \quad (2)$$

Onde: C representa a imagem resultante; G é o valor do ganho e Off é o valor do offset (neste caso, zero).

A fim de facilitar o processo de segmentação e classificação das áreas de extração seletiva de madeira, a imagem resultante foi recortada por uma máscara, fornecida pelo projeto PRODES (2009), de forma que apenas as áreas rotuladas como floresta foram processadas.

2.4 Classificação supervisionada no GeoDMA

A imagem resultante da operação aritmética entre as imagens-fração foi importada para o TerraView para que a etapa seguinte, de classificação, fosse realizada através do GeoDMA. Uma malha regular de 1 km² foi gerada, através da qual foram extraídos diversos atributos por célula (média, desvio padrão, entropia, amplitude, soma e moda).

Foram definidas cinco classes: (i) não-floresta, (ii) floresta, (iii) corte seletivo em estágio inicial, (iv) corte seletivo em estágio intermediário e (v) corte seletivo em estágio avançado. A classe “floresta” representa as áreas em que não foi detectado nenhum tipo de interferência.

Para cada uma destas classes foram selecionadas amostras de treinamento. Com base nos atributos extraídos destas células selecionadas, uma árvore de decisão foi estabelecida.

Para a avaliação da classificação, 95 pontos foram gerados aleatoriamente. Nestes pontos, a classificação obtida através da árvore de decisão foi comparada à classificação visual de referência. Em seguida, foi gerada uma matriz de confusão. O fluxograma das etapas descritas acima é apresentado na Figura 2.

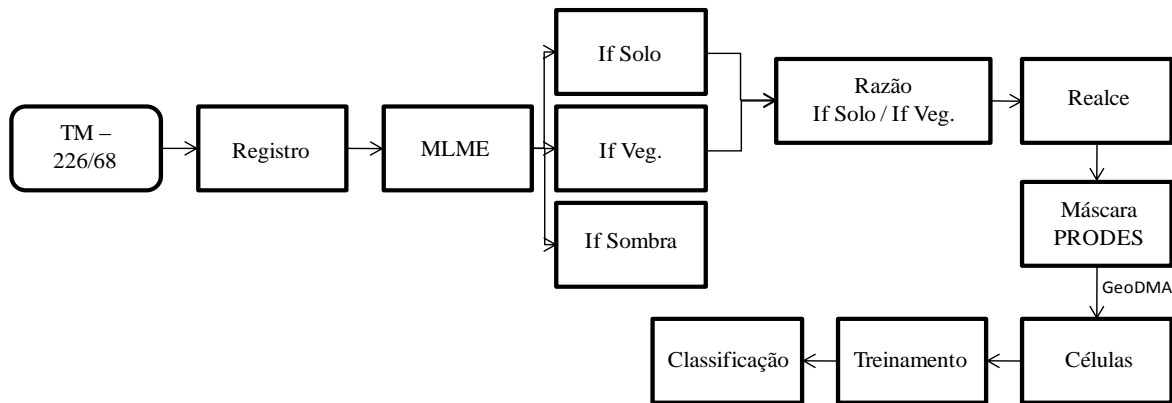


Figura 2. Esquema da metodologia aplicada para mapeamento das áreas de corte seletivo, onde If=imagem-fração e Veg=vegetação.

3. Resultados e Discussão

Conforme proposto por Barbosa et al. (2009), a razão entre as imagens-fração solo e vegetação facilitou a identificação dos pátios (Figura 3). Ao visualizar a composição colorida (Figura 3a) é possível notar uma sutil diferença entre os tons de verde em algumas das áreas onde o desmatamento seletivo é praticado. No entanto, em termos operacionais, a identificação a partir desta composição exige experiência, acuidade visual e demasiado tempo do intérprete, que pode inclusive não identificar pátios que se tornaram muito mais realçados ao realizar a operação aritmética entre as imagens-fração (Figura 4b).

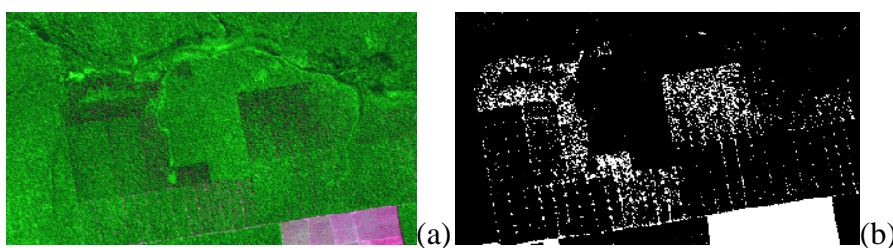


Figura 3. Realce do padrão de desmatamento seletivo: (a) composição colorida R5G4B3 e (b) razão entre as imagens-fração solo e vegetação.

A Figura 4 apresenta exemplos de células-amostra selecionadas para a caracterização das classes estabelecidas para a classificação. Na geração da árvore de decisão no processo de classificação, o algoritmo seleciona as variáveis dentre todos os atributos extraídos para cada célula. A árvore de decisão gerada a partir das amostras selecionadas é ilustrada na Figura 6. Nota-se que os atributos que mais contribuíram na distinção das classes foram o desvio padrão e a entropia, que estão relacionados com informação de textura da imagem.

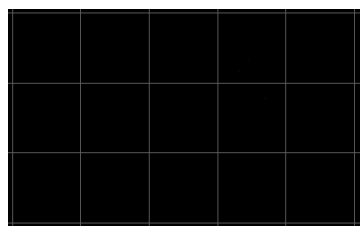
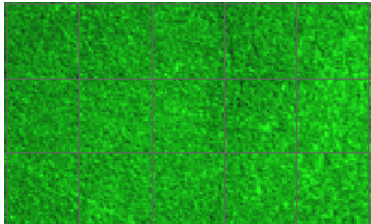
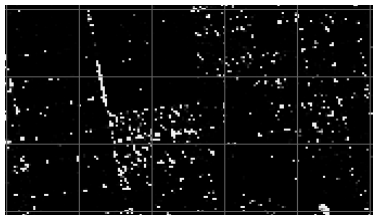
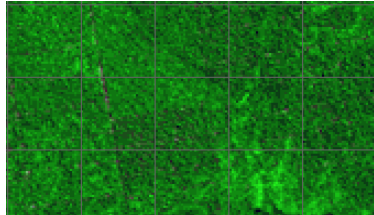
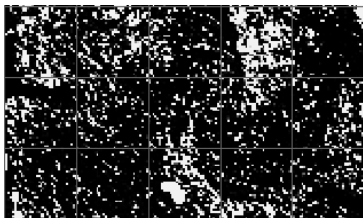
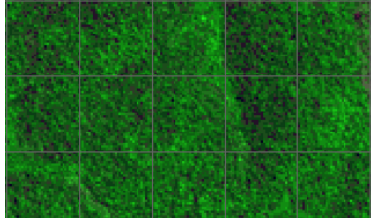
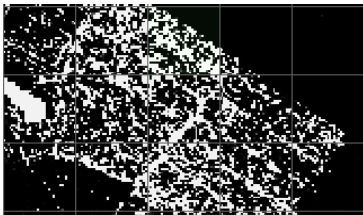
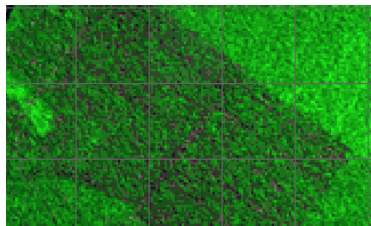
Classe	Células na razão de bandas	Células na composição R(5) G(4) B(3)
Floresta		
Corte seletivo inicial		
Corte seletivo médio		
Corte seletivo avançado		

Figura 4. Padrões de reconhecimento das classes de interesse.

Alguns exemplos da classificação resultante são apresentados na Figura 6. Visualmente, pode-se destacar a eficiência do classificador na detecção de áreas com exploração em estágio “Avançado” (textura mais grosseira) e áreas com exploração em nível “Médio”. No que se refere ao corte seletivo “Inicial”, as áreas foram também bem identificadas, porém constatou-se um grande impacto das bordas da imagem, causando confusão desta classe com áreas de floresta ou de não floresta. Outra confusão ocorrida na detecção da classe “Inicial” foi com as regiões próximas aos corpos d’água devido à semelhança na informação de textura.

A Tabela 1 apresenta a matriz de confusão da classificação resultante. A comparação realizada a partir dos 95 pontos aleatórios mostrou que o resultado foi satisfatório, com uma precisão final de 0,73. Para a classe “Não Floresta” o acerto foi de 53%, sendo que as maiores confusões ocorreram com as classes “Inicial” e “Avançado”. Isto se deve, principalmente, à ocorrência de células nas bordas da imagem, que são regiões em que a baixa proporção de não floresta na célula influenciou o classificador de maneira incorreta. Este problema poderia ser minimizado com um melhor delineamento dos limites da máscara do PRODES de forma que

as células fossem apenas localizadas em seu interior. Quanto à classe “Floresta”, ou seja, onde não há corte seletivo, a precisão chegou a 55%, sendo que em 41% dos casos houve confusão com a classe “Inicial”, pois, neste caso, o classificador considerou a textura suficiente para que um estágio inicial de corte seletivo pudesse ser caracterizado quando, na verdade, não era.

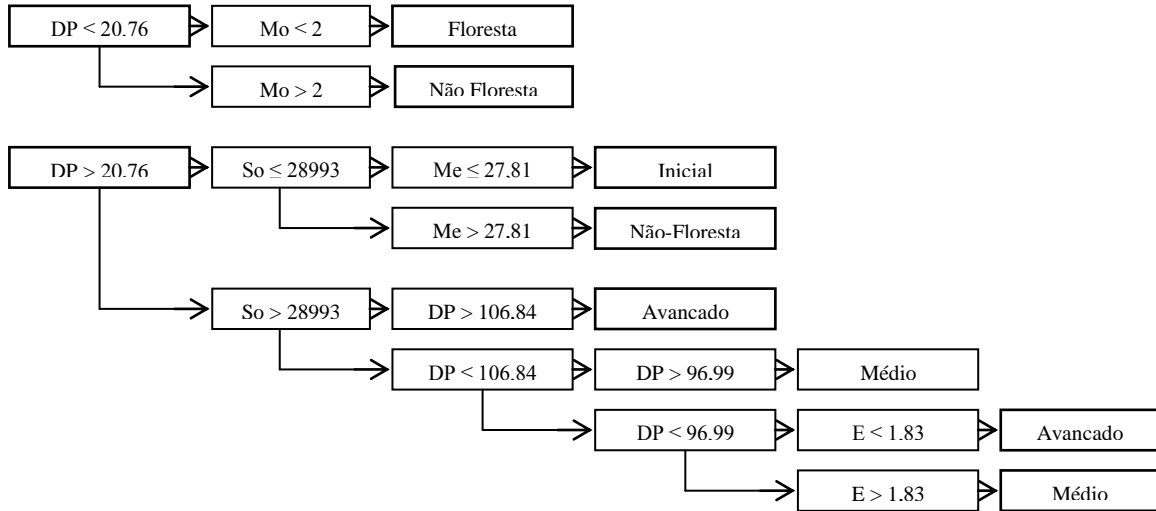


Figura 5. Árvore de decisão gerada pelo sistema GeoDMA com base nos atributos extraídos das células para classificação dos diferentes níveis de desmatamento, onde: DP= desvio padrão; Mo= moda; So= soma; Me= média; E= entropia.

Na classificação do estágio “Inicial” de corte seletivo, a precisão atingiu 85%, ou seja, quando havia presença de pátios relativamente dispersos, o classificador foi capaz de identificá-los. Ainda mais precisa foi a classificação do estágio “Médio”, já que todas os pontos de controle foram corretamente classificados. No que se refere à classe “Avançado”, a precisão foi de 83%, havendo confusões com as classes “Inicial” e “Médio”.

A partir destes resultados, conclui-se que a árvore de decisão estabelecida neste trabalho foi adequada para a detecção dos diferentes níveis de exploração por corte seletivo. Ainda que as células não possibilitem quantificar precisamente a área atingida pela extração seletiva, estas podem servir como um sistema de alerta, de maneira que o analista possa voltar sua atenção para áreas em que foi identificado algum tipo de interferência humana.

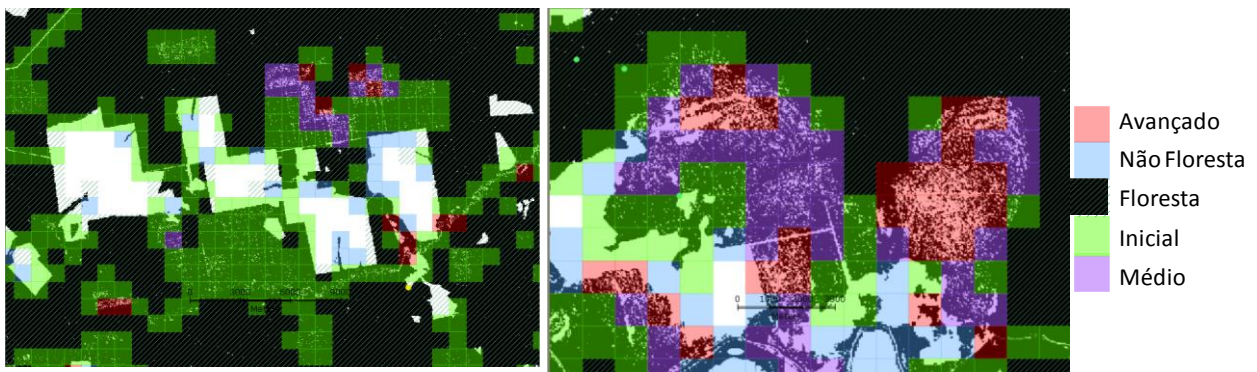


Figura 6. Células classificadas pelo GeoDMA quanto ao nível de impacto do corte seletivo em uma região na floresta Amazônica.

Tabela 1. Matriz de confusão obtida com 95 pontos de referência.

Classificação	Referência					
	Não floresta	Floresta	Inicial	Médio	Avançado	
Não floresta	10	0	1	0	0	11
Floresta	0	15	0	0	0	15
Inicial	4	11	11	0	1	27
Médio	1	1	1	18	2	23
Avançado	4	0	0	0	15	19
	19	27	13	18	18	95

4. Conclusões

Como proposto pelo projeto DETEX, o realce das áreas exploradas obtido pela divisão das imagens-fração solo e vegetação, oriundas do MLME, de fato permitiu a melhor visualização dos pátios de estocagem de madeira e áreas exploradas através de corte seletivo. A utilização do GeDMA para extração dos atributos através de células e sua classificação com base em uma árvore de decisão mostrou resultados promissores para a identificação de diferentes níveis de impacto. Neste sentido, este mapeamento pode servir como uma ferramenta de alerta para os intérpretes do projeto DETEX.

Neste estudo, a precisão global atingida foi de 0,73, o que representa um resultado satisfatório como ponto de partida. As principais fontes de confusão foram as regiões de borda da imagem e regiões às margens de rios. No geral, quando havia algum grau de impacto devido ao corte seletivo, este foi identificado e as maiores incertezas foram encontradas na classificação de áreas de floresta (não degradada) e não floresta. Novos testes estão sendo realizados de modo a incorporar métricas da paisagem à classificação e, com isto, espera-se obter resultados melhores.

Agradecimentos

Nossos sinceros agradecimentos MSc. Márcio Pupin pela colaboração e esclarecimentos. Os autores também agradecem ao CNPq pelas bolsas de estudos concedidas às três primeiras autoras.

Referências Bibliográficas

- Barbosa, A. M.; Salum, M. R.; Almeida, C. A.; Valeriano, D. M. Identificação multitemporal da exploração seletiva de madeira na Floresta Nacional do Jamari-RO. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14., 2005, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 5625-5632. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-0044-7. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.18.35.53/doc/5625-5632.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2010.
- Clement, C. R.; Higuchi, N. A floresta Amazônica e o futuro do Brasil. **Jornal da Ciência**, p. 44-49, 2006.
- Fearnside, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e conseqüências. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p.113-123, 2005.
- Holdworth, A. R.; Uhl, C. Fire in amazonian selectively logged rain forest and the potential for fire reduction. **Ecological Applications**, v. 7, n. 2, p. 713-725, 1997.

Johns, J. S.; Barreto, P.; Uhl, C. Logging damage during planned and unplanned logging operations in the eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 89, p. 59-77, 1996.

Korting, T. S.; Fonseca, L. M.; Escada, M. I. S.; Silva, F. C.; Silva, M. P. S. GeoDMA: a novel system for spatial data mining. **IEEE International Conference on Data Mining Workshops**, p. 975 – 978, 2008.

Matricardi, E. A. T.; Skole, D. L.; Pedlowski, M. A.; Chomentowski, W.; Fernandes, L. C. Assessment of tropical forest degradation by selective logging and fire using Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, p. 1117-1129, 2010.

Mello, M. P.; Silva, G. B.; Pereira, G. Avaliação do uso do modelo linear de mistura espectral na discriminação de fitofisionomias do Cerrado. In: **Anais do IX simpósio Nacional do Cerrado & II Simpósio Internacional de Savanas Tropicais**. Anais... Brasília, DF, Brazil: Embrapa Cerrados, 2008.

Nobre, C. A.; Sampaio, G.; Salazar, L. Mudanças climáticas e Amazônia. **Ciência e Cultura**, v. 59, n.3, p. 22-27, 2007.

Veríssimo, A. Barreto, P.; Tarifa, R.; Uhl, C. Extraction of a high-value natural resource in Amazonia: the case of mahogany. **Forest Ecology and Management**, v. 72, p. 39-60, 1995.

Pantoja, N. V. Desenvolvimento de técnica de processamento digital de imagens para detecção de feições associadas ao corte seletivo de madeira na amazônia. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m19/2010/08.31.20.11>>. Acesso em: 24 set. 2010.

Radambrasil. Folha SC. 21 - Juruena: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Levantamento de Recursos Naturais, Rio de Janeiro, v. 20, p. 458, 1980

Shimabukuro, Y. E.; Mello, E. M. K.; Moreira, J. C.; Duarte, V. **Segmentação e classificação da imagem sombra do modelo de mistura para mapear desflorestamento na Amazônia**. São José dos Campos, INPE, 1997. 16 p. (INPE-6147-PUD/029).

Shimabukuro, Y. E.; Smith, J.A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, n. 1, p. 16-20, 1991.