

Detecção de agrupamentos arbóreos monoespecíficos na Amazônia brasileira.

Raphael Leduc do Espírito Santo¹
Paulo Maurício Lima de Alencastro Graça¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA
Caixa Postal 478 - 69060-001 - Manaus - AM, Brasil
{raphaell, pmlag}@inpa.gov.br

Abstract. Grouping of trees of the same species are a little rare in the tropical forests. In general it can be affirmed that each tree in the canopy is different from any one of their surrounding ones. The objective of this study was proving the efficiency of the products of the remote sensing and of one of their techniques, Linear Spectral Mixture Model (MLME), in detection and mapping of physiognomies in the Brazilian Amazon. Were used the bands 1, 2, 3, 4, 5 e 7 of Landsat TM/5, orbit point 01/62 and 01/63 of the year of 2005. The images were registered and georeferenced. The atmospheric correction was preceded using the method developed by Chavez (1996), based on the subtraction of the dark object, and known like COST. For this, an algorithm was developed in a computational language LEGAL (Space Language for Algebraic Geoprocessing), based on the method described by Skirvin (2002). Were derived fraction-images soil, shadow and vegetation through the technique of MLME. In the fraction-image shadow forest stains were detected with differentiated values of fraction shadow of the remaining of the area. In field it was verified that those stains correspond the monoespecifics grouping of trees belonging to the genera *Discocarpus sp.*

Palavras-chave: modelo linear de mistura espectral, *Discocarpus sp.*, linear mixing model, *Discocarpus sp.*

1. Introdução

Uma das razões para a ausência de um método objetivo para classificar e mapear formações vegetais na Amazônia é a própria complexidade encontrada nas associações de espécies. Citando uma dezena de levantamentos e estudos da vegetação conduzidos na Amazônia nos últimos vinte e cinco anos, Tuomisto *et al* (1994) concluem que mesmo os tipos de vegetação mais dissimilares estão ligados entre si por tipos intermediários de vegetação, nenhum dos quais podem ser representativos para toda a Amazônia.

Os agrupamentos de árvores de uma mesma espécie são um pouco raros nas florestas tropicais, de um modo geral pode-se afirmar que cada copa no dossel é diferente de qualquer uma de suas circundantes. Esse fato gera uma composição extremamente heterogênea, variável e aleatória do dossel, dificultando a definição e caracterização de tipologias em várias escalas de abordagem e, conseqüentemente, também dificultando a identificação de suas diferenciações em termos de agrupamentos.

O estudo dos padrões espectrais de uma única folha é fundamental para o entendimento do comportamento espectral das diferentes coberturas vegetais, mas não podem ser generalizados para uma planta ou para uma formação vegetal. A reflectância de uma cobertura vegetal é consideravelmente menor do que de uma simples folha devido principalmente ao ângulo de incidência da radiação e da arquitetura do dossel.

Nas áreas de florestas primárias, a complexidade do dossel faz com que apresentem um decréscimo na reflectância na região do infravermelho próximo, diferenciando-se das áreas de sucessão secundária, onde os dosséis são mais homogêneos e apresentam maior reflectância.

Alguns estudos comprovaram a eficiência de se distinguir fisionomias ou grandes densidades de vegetação pertencentes à mesma espécie, dentro da floresta primária por meio de técnicas de sensoriamento remoto. Thales (2001), por exemplo, caracterizou e mapeou o babaçu (*Attalea speciosa* Mart ex Spreng.).

Da mesma maneira foram detectadas em áreas ao norte da Reserva Extrativista do Baixo- Juruá/ AM, por meio de imagens do satélite *Landsat/TM5*, algumas “Manchas” de vegetação na floresta primária apresentando padrões espectrais diferentes do resto da cena. De

posse destas informações e a partir de um Modelo Linear de Mistura Espectral buscou-se mapear estas “Manchas”, com o intuito de caracterizar a fisionomia encontrada. A partir daí foi organizada uma expedição na parte norte da RESEX com o objetivo de se chegar, por via terrestre, o mais próximo do centro de uma destas “Manchas”.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Descrição e Localização da área de estudo

A área de estudo está localizada no centro-oeste do estado do Amazonas, nos municípios de Juruá e Uarini/AM. Com uma área aproximada de 188.000 ha, a Reserva Extrativista do Baixo - Juruá limita-se ao Leste com o Rio Juruá e a Oeste com o Rio Uarini. Esta região caracteriza-se pela floresta tropical densa, da sub-região aluvial da Amazônia, com terraços baixos e planos. Apresenta também, segundo Projeto RADAMBRASIL, uma Planície fluvial (Apf) com área aplainada, resultante de acumulação fluvial, periódica ou permanentemente alagada, que pode apresentar, geralmente, diques marginais, canais anastomosados e lagos.

O clima é pertencente ao grupo tropical chuvoso, com precipitação pluviométrica anual média de 2.500 mm. A temperatura média do ar gira em torno de 24°C, com pequena amplitude térmica. A umidade relativa do ar permanece geralmente acima de 90%.

2.2 Equipamentos utilizados no levantamento de campo

Foram utilizados uma bússola e um GPS (Sistema de Posicionamento Global) de navegação para aquisição das coordenadas geográficas dos pontos de interesse.

2.3 Produtos em formato digital

Foram utilizadas imagens do sensor *TM5 (Landsat)* correspondentes às bandas 1,2,3,4,5 e 7, órbita ponto 01/62 e 01/63 referentes ao ano de 2005 (Tabela 1).

As imagens foram fornecidas pela Divisão de Geração de Imagens (DGI) do INPE, em formato *Geotiff*. Estas foram adquiridas com nível de correção 1G, isto é, com correção geométrica e radiométrica.

Tab.1- Características da imagem *Landsat-TM5* utilizada.

Data de aquisição	Cena Órbita/Ponto	Tipo de Sensor	Elevação solar	Resolução espacial	Resolução radiométrica
04/09/2005	001/62	TM	59,12	30 metros	8 bits
04/09/2005	001/63	TM	59,12	30 metros	8 bits

2.4 Pré-processamento das imagens digitais *Landsat-TM5*

Os procedimentos utilizados no pré-processamento das imagens consistiram em quatro etapas consecutivas:

1. Registro e Mosaico das cenas 1/62 e 1/63 do sensor TM-5, *Landsat*;
2. Correção atmosférica e Calibração radiométrica;
3. Georreferenciamento e,
4. Geração de Imagens Fração, aplicando-se um Modelo Linear de Mistura Espectral.

2.4.1 Registro e Mosaico de imagens

As duas cenas foram ajustadas a partir de um registro “imagem-imagem”, que teve como objetivo ajustar geometricamente as linhas e colunas das cenas (1/62 e 1/63), sendo gerada uma “Imagem- Mosaico”.

O registro foi realizado selecionando-se dez pontos de controle comuns às duas imagens de locais de referência notória, tais como pista de pouso, cruzamento de ramais de terra e cursos de água. A partir do momento em que os pontos de controle foram definidos, o método de reamostragem “Vizinho mais próximo” (*Nearest Neighbor*) foi aplicado utilizando um polinômio do 1º grau para a transformação de coordenadas.

2.4.2 Correção atmosférica e Calibração Radiométrica

A correção atmosférica foi realizada utilizando o método desenvolvido por Chavez (1996), baseado na subtração do pixel escuro. Este método, também é denominado de COST, é uma reformulação do método proposto pelo próprio Chavez (1988). Segundo esse método, em toda e qualquer cena e em qualquer banda espectral, existem pixels que deveriam assumir o valor “0”, uma vez que estes poderiam não receber radiação incidente.

A correção atmosférica foi realizada para as primeiras quatro bandas espectrais (do visível ao infravermelho próximo) na Imagem Mosaico, que são notoriamente as bandas que mais sofrem interferência atmosférica (Slater, 1980). Para isto, foi desenvolvido um algoritmo em linguagem computacional LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) (Câmara *et al.* 1995) baseado no método descrito por Skirvin (2002). Este algoritmo combina o método COST para correção atmosférica com a calibração radiométrica, reduzindo o consumo de tempo nas etapas do processamento. A correção radiométrica tem por finalidade igualar as diferenças das sensibilidades radiométricas entre os detectores de cada banda espectral do sensor TM (*Thematic Mapper*).

2.4.3 Georreferenciamento

A Imagem- Mosaico foi georreferenciada com o auxílio do software ENVI 4.2 (Sulsoft), co-registrando esta com as imagens do *Geocover* (NASA, 2000). Para isto, utilizaram-se 10 pontos de controle correspondentes às suas coordenadas geográficas.

Um modelo polinomial de primeiro grau, com reamostragem dos níveis de cinza pelo interpolador do vizinho mais próximo e a avaliação da confiabilidade do processo foi baseada no erro (RMS) das posições dos pontos controle.

2.4.4 Modelo linear de mistura espectral

A Imagem- Mosaico foi processada pelo *software* ENVI 4.2, usando um Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) para a obtenção das imagens fração solo, vegetação e sombra. O MLME visa estimar a proporção dos componentes solo, vegetação e sombra para cada pixel, a partir da resposta espectral nas diversas bandas do *TM5*, gerando as imagens fração correspondentes.

Para a geração das imagens fração, foram utilizadas as 6 bandas ópticas da Imagem Mosaico do *TM5*, formando um sistema de equações lineares, resolvido pelo método dos Mínimos Quadrados. Esse modelo é expresso por um modelo matemático de mistura espectral, conforme a equação abaixo, com restrição de solução (soma das frações igual a 1).

$r_i = \sum_{j=1}^n \rho_{ij} f_j + e_i$ onde, r_i = reflectância de um dado pixel na banda espectral i de n - bandas espectrais; n = número de componentes de mistura; f_j fração de cada componente puro j dentro do pixel e, ρ_{ij} reflectância do componente puro j na banda espectral i ;

Uma das maneiras de selecionar os componentes puros do Modelo Linear de Mistura Espectral foi feito na própria imagem. Os pixels candidatos, com maior probabilidade a serem considerados puros foram obtidos usando um algoritmo de Índice de Pureza de Pixel – PPI (Boardman et al. 1995). Logo após este procedimento foi construído um gráfico contrapondo valores de reflectância na região do visível e do infravermelho próximo, em um espaço bidimensional, conforme figura 1.

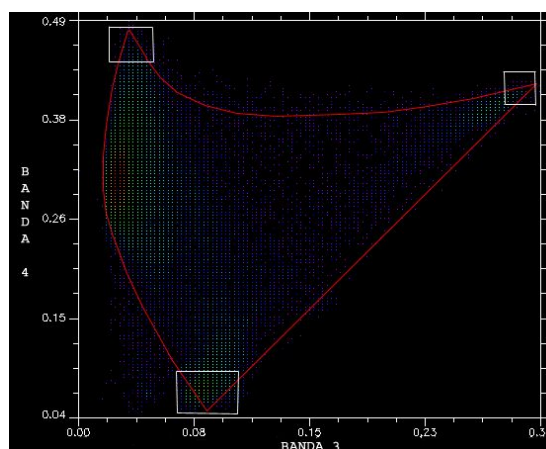


Fig.1- Espaço bidimensional (bandas 3 e 4 do sensor TM5). Triângulo vermelho corresponde à área de distribuição de pontos; retângulos brancos a provável localização dos pixels puros.

Observando o gráfico da figura 1 verifica-se que a distribuição da reflectância no espaço bidimensional segue um padrão. Este padrão depende das propriedades espectrais dos elementos mais freqüentemente encontrados em uma cena, que, em se tratando de recursos naturais, seriam a água, o solo e a vegetação.

Considerando que cada um dos elementos da cena ocorre em proporções diferenciadas dentro de um mesmo pixel, aqueles pixels que contém as proporções mais “puras” de um desses elementos se localizarão nos extremos dessa distribuição de pontos, a qual freqüentemente assume a forma de um triângulo. Desta maneira, foram encontrados os pixels com as proporções mais puras de solo, sombra e vegetação.

3. Resultados e Discussão

3.1 Correção atmosférica

A correção atmosférica foi aplicada nas primeiras 4 bandas do sensor TM5 e apresentou um resultado satisfatório. Quando comparado com os valores de reflectância aparente, sem a correção atmosférica, nas bandas do visível (0,45 a 0,69 nm), nota-se que a correção reduziu visivelmente o efeito do espalhamento atmosférico nestas bandas. Isso pode ser observado na figura 2.

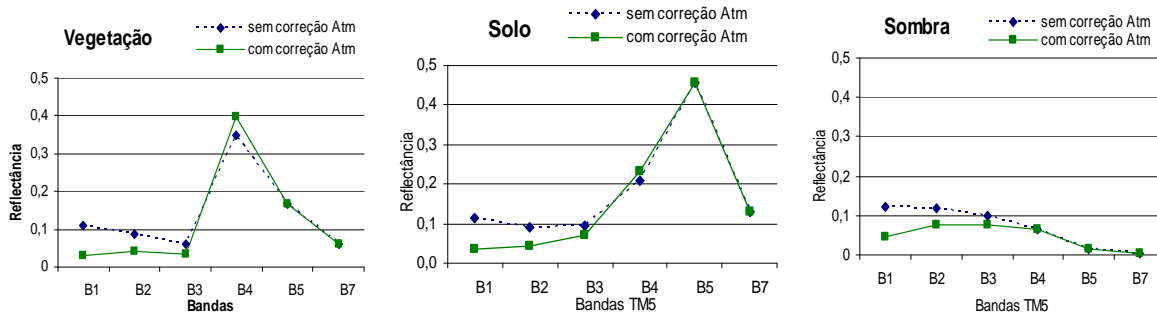


Fig.2- Curva espectral dos alvos: vegetação (a), solo (b) e sombra (c), em reflectância aparente (sem correção) e reflectância de superfície (após correção). Os valores para as bandas 5 e 7 estão em reflectância aparente.

A atenuação do espalhamento atmosférico foi mais evidente para a banda espectral do azul (TM1), e que, segundo Chavez (1988), é considerada a mais afetada pela interferência atmosférica.

3.2 Georreferenciamento

O modelo polinomial de primeiro grau, com reamostragem pelo interpolador do vizinho mais próximo resultou num erro quadrado médio (RMS) de 0,193, ou aproximadamente 5,8 metros, podendo ser considerado aceitável para este tipo de estudo.

3.3 Modelo Linear de Mistura Espectral

O principal problema associado à mistura espectral está relacionado ao problema da identificação de um pixel dito puro (Endmember), do qual possa ser extraída a curva espectral de um determinado componente da cena. Na figura 3, são apresentadas as curvas espectrais dos alvos puros de solo, sombra e vegetação, selecionados para a aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral.

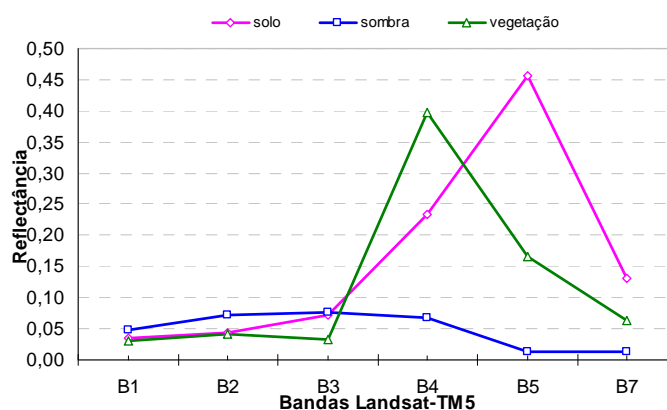


Fig.3- Curvas espectrais dos alvos puros selecionados para o MLME.

O resultado demonstrou que o modelo empregado foi bem ajustado, obtendo-se um erro médio quadrático do modelo (RMS – *Root Mean Squared “error”*) de 1,03. De acordo com Adams et al. (1995) um modelo pode ser considerado bem ajustado quando o valor do RMS é baixo e as frações estão dentro de um limite entre 0 e 1. As imagens fração solo, sombra e vegetação sem a interferência da atmosfera são apresentadas na figura 4. Esta figura mostra, em tons de cinza mais claro, a predominância dos componentes puros de suas respectivas frações. Na figura 4(A) observa-se que as “Manchas” de vegetação possuem uma coloração mais esverdeada.

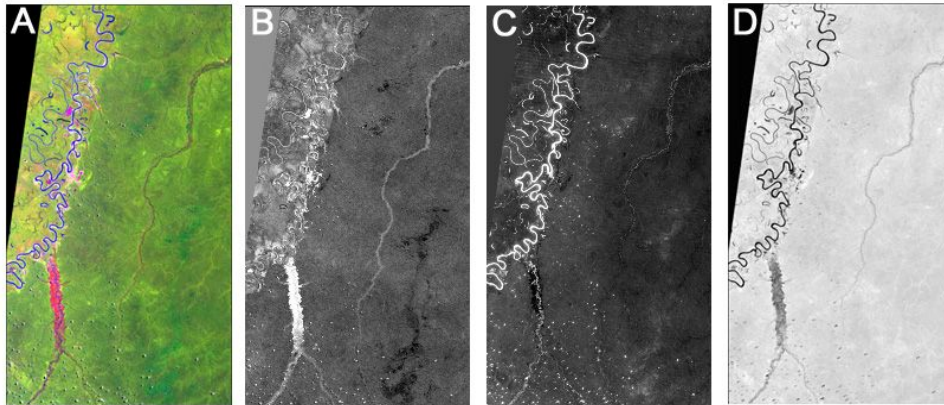


Fig.4- (A) Composição colorida TM/Landsat 5 (R5G4B3) da região de Juruá/AM; (B) Imagem fração solo; (C) Imagem fração sombra; e (D) Imagem fração vegetação.

As imagens fração geradas pelo Modelo Linear de Mistura Espectral se mostraram eficientes na detecção destas manchas de vegetação na RESEX do Baixo- Juruá. A proporção dos componentes nas imagens resultantes da aplicação do MLME é representada pela variação em seu nível de cinza, em que, quanto mais claro o pixel, maior será a quantidade do componente em questão. Pode-se observar, na figura 5, as diferenças existentes entre as fisionomias de Floresta primária e “Mancha” de vegetação, nas Imagens fração solo e sombra.

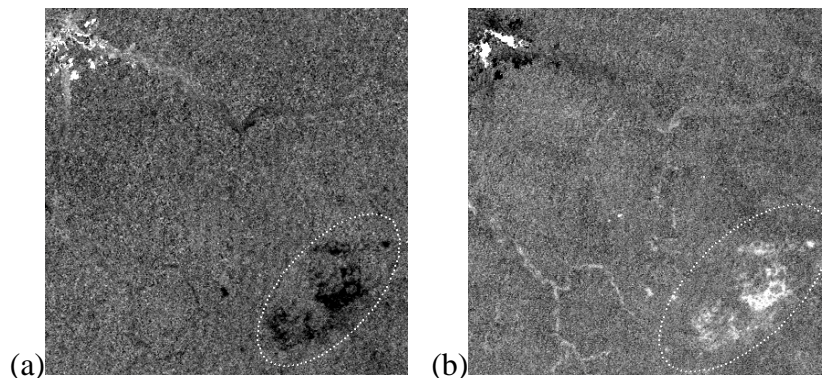


Fig.5- Imagens fração solo(a) e sombra(b). Variação dos níveis de cinza na área investigada.

Na figura 6, abaixo, se observa que os componentes solo, sombra e vegetação obtidos do MLME ajudaram na discriminação da fisionomia investigada. A “Mancha” de vegetação apresentou valores mais baixos da fração solo e valores ligeiramente mais altos nas frações sombra e vegetação.

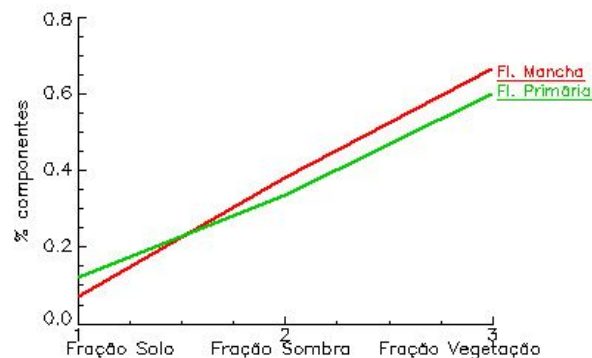


Fig.6- Proporção das componentes nas 3 frações para a “Mancha” e Floresta primária.

O componente puro da vegetação está associado a uma vegetação com dossel uniforme e bem iluminado e pode explicar os altos valores encontrados para a “Mancha” de vegetação. Tais características estão associadas a uma vegetação mais jovem, como as florestas secundárias, onde uma diversidade menor de espécies pioneiras constitui um dossel menos complexo que as florestas primárias.

A análise das bandas do Landsat/TM também indicou que a “Mancha” de vegetação investigada possuía indícios de ser uma formação mais uniforme do que a floresta primária ao seu entorno pois padrões como este são característicos de florestas secundárias, ou de áreas em recuperação, onde a vegetação em sucessão apresenta um dossel mais homogêneo com espécies pioneiras extremamente dependentes da alta luminosidade, fornecendo índices mais elevados na resposta espectral da banda 4.

Já para os comprimentos de onda no infravermelho médio (bandas 5 e 7), a resposta espectral das duas fisionomias também são similares entre si. Nestes comprimentos de onda a energia incidente é controlada pela quantidade de água presente no alvo, sendo que um maior conteúdo de umidade fará diminuir proporcionalmente a reflectância nas bandas do infravermelho médio. Ao analisar o gráfico abaixo (figura 7) supôs-se que a região onde se encontrava a “Mancha” de vegetação fosse mais úmida e jovem que a floresta de entorno.

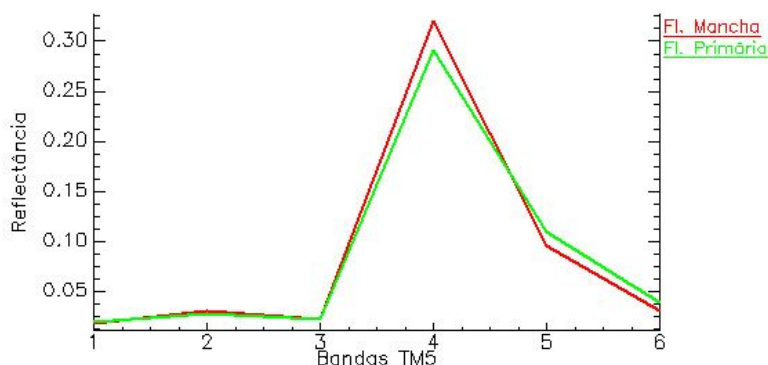


Fig.7- Curvas espectrais da Floresta primária de Terra Firme e Floresta Mancha.

Foi constatado em campo, no decorrer de todo o percurso de Terra- Firme até a “Mancha” de vegetação, algumas variações na fisionomia da floresta. Estas variações foram aumentando à medida que se aproximava do ponto geográfico escolhido no mapa como centro da “Mancha”. Esta mudança foi claramente perceptível a partir do quilometro onze da expedição de campo, onde uma vegetação densa, uniforme e aparentemente jovem tomou conta de todo o campo de visão, dando lugar a uma composição florestal homogênea e dominada quase que totalmente por uma única espécie arbórea. A figura 8, abaixo, mostra as características da “Mancha” de vegetação após expedição de campo.

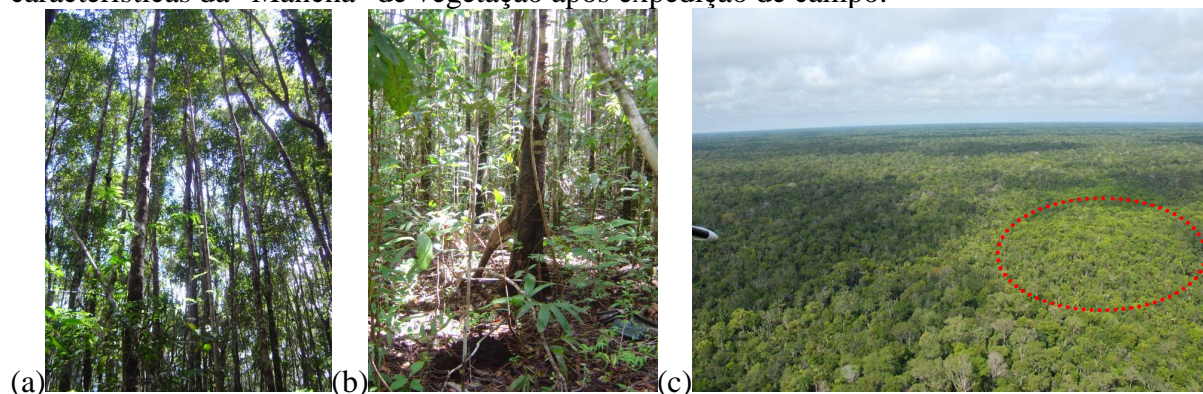


Fig.8-Características: (a)dossel baixo dominado por apenas uma espécie, (b)raízes características de áreas alagáveis e (c)Elipse vermelha indica agrupamento de *Discocarpus sp.*

A espécie em questão pertence à família Euphorbiaceae, gênero *Discocarpus sp* e tem ampla distribuição nos trópicos, contando com cerca de 8.000 espécies agrupadas em 317 gêneros Webster (1994).

Não foram encontrados na literatura indícios de grandes agrupamentos homogêneos desta espécie, também podendo ser consequência de ações antrópicas que permaneceram por longos períodos nestas áreas (civilizações indígenas), ou até mesmo áreas de sucessão pós-distúrbios naturais. A figura 8 (c) nos mostra uma fotografia digital feita a partir de um sobrevôo realizado na aérea da “Mancha” de vegetação, em outubro de 2007.

4. Conclusão

Este estudo mostrou que a análise detalhada de uma única cena do sensor Landsat aliada com técnicas de processamento de imagens, como o Modelo Linear de Mistura Espectral, é ferramenta eficaz na distinção de diferentes tipos de fitofisionomias em florestas tropicais, podendo ser um passo importante para a manutenção da integridade dessas áreas consideradas fontes de recursos naturais e de biodiversidade, por meio de seu monitoramento e no auxílio à elaboração de práticas sustentáveis de uso da terra.

Agradecimentos

Ao CNPQ pela bolsa. Ao INPA e a todos os seus funcionários e atuantes

Referências Bibliográficas

Adams, J.B.; Sabol, D.E.; Kapos, V.; Almeida Filho, R.; Roberts, D.A.; Smith, M.O.; Gillespie, A. R. Classification of multispectral images based on fractions of endmembers: application to land-cover change in the Brazilian Amazon. **Remote Sensing of Environment**. v.52, p.137-154. 1995

Boardman et al., Mapping target signatures via partial unmixing of AVIRIS data. Summaries of the Fifth Annual JLP Airborne **Geoscience Workshop** (pp.23-26). Pasadena, CA: Jet Propulsion Laboratory. 1995.

Câmara, G. **Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos**. São José dos Campos, 286p. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1995.

Chavez Jr., P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v.24, p. 459-479, 1988.

Chavez Jr., P.S. Image-based atmospheric corrections - revisited and improved. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 62, n. 9, p.1025-1036, 1996.

RADAMBRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL, Folha SA. 20 Manaus – **Levantamento de recursos naturais**, 18. DNPM, Rio de Janeiro – RJ. 1978.

Slater, P.N. Remote sensing: optics and optical systems. Reading, MA, Addison - Wesley, 1980. 574 p. 1980.

Thales, M.C. **Imagem fração sombra na caracterização e mapeamento de babaçu (*Attalea speciosa Mart ex Spreng.*) em áreas de floresta**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) (INPE-8382-TDI/772). – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais São José dos Campos. 140p. 2001.

Tuomisto, H., Linna, A., & Kalliola, R. Use of digitally processed satellite images in studies of tropical rain forest vegetation. **International Journal of Remote Sensing**, 15, 1595–1610. 1994.

Webster G. Synopsis of the genera and suprageneric taxa of Euphorbiaceae **Annals of the Missouri Botanical Garden** 81:33-144. 1994.