

IDENTIFICAÇÃO DA FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL NO VÃO DO PARANÃ, ESTADO DE GOIÁS, A PARTIR DA ANÁLISE DA REFLECTÂNCIA ACUMULADA DE IMAGENS DO SENSOR ETM+/LANDSAT-7

Identifying Deciduous Forests from Vão do Paranã, State of Goiás, Through the Cumulative Reflectance Analysis of ETM+/Landsat-7 Images

Potira Meirelles Hermuche¹
Edson Eyji Sano^{1,2}

¹ **Universidade Federal de Goiás – UFG**
Programa de Doutorado em Ciências Ambientais - CIAMB
Campus Samambaia - Bloco ICB4 Caixa Postal 131 CEP 74001-970 - Goiânia – GO, Brasil
potira@posgrad.ufg.br

² **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA**
Embrapa Cerrados
BR-020 km 18 Cx. Postal 08223 CEP: 73301-970 – Planaltina – DF, Brasil
sano@cpac.embrapa.br

RESUMO

Atualmente, as áreas de Floresta Estacional Decidual (FED) na região do Vão do Paranã, Goiás, estão bastante fragmentadas principalmente em função das atividades antrópicas relacionadas com as fazendas de gado e coleta seletiva de madeira. O objetivo do presente trabalho é identificar a possibilidade de discriminar FED no Vão do Paranã por meio da análise espectral multitemporal de imagens Landsat. Imagens de abril a julho de 2001 (desde o final da estação chuvosa ao início da estação seca) foram convertidas em reflectância na superfície terrestre e somadas uma a uma (abril + maio, abril + maio + junho e abril + maio + junho + julho). Os resultados mostraram que houve melhora na identificação da FED na medida em que um maior número de imagens multitemporais foram consideradas. O mapa de distribuição da FED indicou um total de aproximadamente 190.000 ha distribuídos essencialmente na região centro-norte da área de estudo. Conclui-se que a técnica de reflectância acumulada considerada no presente estudo, é uma alternativa promissora para a melhor discriminação das áreas de FED.

Palavras-chave: Análise Multitemporal, Correção Atmosférica, Floresta Estacional Decidual, Mata Seca, Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

Nowadays, the areas of Dry Forest in the region of the Vão do Paranã, State of Goiás, Brazil, are very fragmented mainly due to land use activities related to cattle ranching and selective logging. The objective of this work is to identify the possibility of discriminating the Dry Forest in the Vão do Paranã through the spectral analysis of multitemporal Landsat images. The images from April to July, 2001 (from late wet season to early dry season) were converted into land surface reflectances and summed one-by-one (April + May, April + May + June, and April + May + June + July). The results showed an increasing improvement in the Dry Forest identification as more multitemporal images were considered. The distribution map of Dry Forest indicated a total of approximately 190,000 hectares distributed mainly in the northern and central parts of the study area. It was concluded that the technique of cumulative reflectance considered in this study is a promising alternative for improved discrimination of dry forested areas.

Keywords: Multitemporal Analysis, Atmospheric Correction, Floresta Estacional Decidual, Dry Forest, Remote Sensing.

1. INTRODUÇÃO

O bioma Cerrado apresenta fisionomias campestres, savânicas e florestais (EITEN, 1972; VELOSO *et al.*, 1991). Mesmo cobrindo menor extensão em área, as fisionomias florestais (Matas Ciliares, Matas de Galeria, Mata Seca e Cerradão - RIBEIRO e WALTER, 2008) são importantes no que diz respeito ao funcionamento dos ecossistemas, uma vez que podem contribuir, por exemplo, com o fluxo gênico (especialmente com a formação de corredores ecológicos) e com a preservação dos recursos hídricos (RESCK e SILVA, 1998; SILVA JÚNIOR *et al.*, 1998; FELFILI *et al.*, 2000).

A Mata Seca (assim denominada regionalmente), também chamada de floresta tropical seca (MURPHY e LUGO, 1986; PRADO, 2000; SANCHEZ-AZOFEIFA *et al.*, 2005), é uma Floresta Estacional Decidual (FED), que tem distribuição bastante restrita no Brasil e é composta por inúmeras espécies endêmicas (FELFILI *et al.*, 2007). Essa tem sofrido intensa degradação em função de sua localização em solos de alta fertilidade associados a substrato calcário (RIBEIRO e WALTER, 2008), como ocorre no Vão do Paranã (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2006), região nordeste do estado de Goiás, devido a atividades agropecuárias.

Essa região, totalmente inserida no Cerrado, possui extensos fragmentos de FED (SCARIOT e SEVILHA, 2005) amplamente estudados no que diz respeito à riqueza de espécies (SILVA e SCARIOT, 2003; NASCIMENTO *et al.*, 2004 e 2007; FELFILI e FAGG, 2007) e à elevada capacidade de regeneração natural (VIEIRA e SCARIOT, 2006; SAMPAIO *et al.*, 2007a, 2007b), mas não foram encontrados trabalhos que tenham mapeado sua distribuição atual em escala de semi-detalhe com resultado satisfatório.

Esse fato deve-se à grande dificuldade de discriminação com imagens monotemporais (SANO *et al.*, 2008), principalmente em função da semelhança na resposta espectral em determinadas fases do ciclo hidrológico, especialmente nas vegetações que apresentam grande variação fenológica, como é o caso da FED. Essa é composta por espécies com alta deciduidade nos períodos secos e grande perenidade nos períodos chuvosos, fazendo com que facilmente se confunda com formações campestres e com formações florestais, respectivamente, dificultando a elaboração de mapas precisos de sua localização, bastante úteis como subsídio à estratégias de conservação.

Nesse sentido, a disponibilidade atual de diversos dados de sensoriamento remoto, notadamente as imagens de satélites com diferentes resoluções espaciais, espectrais e temporais, têm sido de grande utilidade em trabalhos de mapeamento da cobertura vegetal (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2007; LIESENBERG *et al.*, 2007). No que diz respeito às florestas secas, Kalacska *et al.* (2007a; 2007b) trabalharam com dados hiperespectrais no Panamá e Costa Rica, e Sanchez-Azofeifa *et al.* (2001) fizeram uma análise quantitativa

multitemporal das florestas secas da América Central com uso de imagens do sensor Landsat, sugerindo altos níveis de fragmentação da vegetação.

Dando seguimento a estudos dessa natureza, o objetivo do presente trabalho é discriminar as FED no Vão do Paranã a partir da análise espectral de imagens multitemporais do sensor ETM+/Landsat-7, com ênfase na técnica de reflectância acumulada. A hipótese assumida é de que o método proposto possui capacidade maior do que cenas individuais para discriminação da FED, uma vez que permite o acompanhamento da variação sazonal e alteração do dossel dentro do ciclo hidrológico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo corresponde à microrregião do Vão do Paranã, localizada entre as latitudes 13,3° S e 15,5° S e entre as longitudes 45,5° W e 47,5° W. O Vão do Paranã está totalmente inserido na bacia hidrográfica do rio Paranã, sub-bacia do rio Tocantins, possui uma área de aproximadamente 17.000 km² e é composta por 12 municípios (IBGE, 2008). A altitude da área varia entre 400 m e 1.000 m (NASA, 2008a) e, em termos geológicos, predominam as rochas calcárias do Grupo Bambuí (BRASIL, 1982), com uma precipitação média anual de 1.190 mm (ANA, 2008).

Para reconhecimento inicial da área de estudo, foi elaborado um mapa preliminar da distribuição da FED no Vão do Paranã a partir de análise monotemporal de imagens do sensor TM/Landsat-5 do ano de 2007, obtidas da página eletrônica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (2008) – Tabela 1. A resolução temporal do Landsat é de 16 dias e cada cena cobre uma área de 185 km x 185 km no terreno. As cenas foram georreferenciadas com base em imagens *geocover* (imagens ortorretificadas do ETM+/Landsat-7 e disponíveis na página eletrônica da Universidade de Maryland, 2009), no sistema de projeção UTM (zona 23 Sul) e referencial geodésico WGS 84, com erro quadrático médio inferior a 0,5 *pixels*.

TABELA 1 – ÓRBITAS/PONTOS E DATAS DE PASSAGEM DAS CENAS DO TM/LANDSAT-5 DA ÁREA DE ESTUDO.

Órbita/ Ponto	Data de Passagem
220/69	20/06/2007
220/70	20/06/2007
221/70	26/05/2007

As cenas foram mosaicadas e segmentadas no programa *Spring 5.0*. Nessa técnica, cada imagem é subdividida em um conjunto de sub-imagens e a união entre elas é feita por meio da definição, pelo usuário, do limiar de agregação (similaridade) e do tamanho da área mínima (unidade = *pixels*), onde cada segmento passa a corresponder a um conjunto de *pixels* contíguos e espectralmente uniformes. Não existem valores de similaridade e área considerados ideais, isto é, eles

dependem das características do terreno e do nível de detalhamento desejado. Nesse estudo, os valores de similaridade e área foram iguais a 30.

Os segmentos foram classificados pelo método do ISOSEG e convertidos para o formato *tif* (*tagged image file format*). Posteriormente foi feita uma reclassificação visual com base em pontos de campo, disponibilizados pelo projeto da Embrapa Recursos Genéticos intitulado “Conservação das Florestas Estacionais Deciduais do Vale do Paranã” (dados não publicados). Com base nessa classificação preliminar, foram selecionadas 59 pontos para visita em campo, conduzido nos dias 20 e 21 de outubro de 2008.

De posse do mapa preliminar e dos dados da campanha de campo, foi feita uma análise multitemporal da FED por meio de imagens do sensor ETM+ do Landsat 7 obtidas da página eletrônica do INPE (2008). Como a FED possui grande cobertura verde nos períodos chuvosos e deciduidade acentuada nos períodos secos, foram selecionadas cenas com datas de passagem entre abril (final da estação chuvosa) e julho (meio da estação seca) do ano de 2001 (Tabela 2). Não foi possível a utilização de imagens dos outros meses do ano devido à presença de cobertura de nuvens.

Embora ainda esteja em operação, optou-se por não utilizar dados do sensor TM da mesma família do Landsat por causa das diferenças nas respostas espectrais entre os dois sensores do Landsat (TEILLET *et al.*, 2001) e também porque os coeficientes de calibração do TM não tem sido constantes ao longo do tempo (CHANDER *et al.*, 2004, 2007; VICENTE-SERRANO *et al.*, 2008).

TABELA 2 – ÓRBITAS/PONTOS E DATAS DE PASSAGEM DAS IMAGENS MULTITEMPORAIS DO ETM+/LANDSAT-7 DA ÁREA DE ESTUDO.

Órbita/Ponto	Datas de Passagem
220/69	24/04/2001
	26/05/2001
	27/06/2001
	29/07/2001
220/70	24/04/2001
	26/05/2001
	27/06/2001
	29/07/2001
221/70	02/04/2002 ^(*)
	02/06/2001
	18/06/2001
	20/07/2001

(*) a escolha dessa cena de 2002 foi decorrente da presença de mais de 10% de cobertura de nuvens nas imagens de abril de 2001.

O ETM+ opera com seis bandas espectrais nos comprimentos de onda correspondentes ao visível, infravermelho próximo e infravermelho médio e com resolução espacial de 30 m; uma banda no infravermelho termal, com resolução espacial de 60 m; e uma banda pancromática, com resolução espacial de 15 m (GOWARD *et al.*, 2001). Neste estudo, foram consideradas apenas as seis bandas do visível,

infravermelho próximo e infravermelho médio do ETM+.

As imagens originais, em valores digitais, foram convertidas para radiância no topo da atmosfera e, em seguida, para a reflectância na superfície terrestre. Dados de ganho e *offset* das seis bandas espectrais, ângulo de elevação solar, latitude e longitude do centro da imagem e horário de passagem do sensor foram obtidos do cabeçalho da imagem e da *internet* (NASA, 2008b).

As altitudes médias de cada cena foram estimadas a partir de dados de elevação do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) (NASA, 2008a): órbita 220 e ponto 69 = 800 m; órbita 220 e ponto 70 = 640 m; e órbita 221 e ponto 70 = 772 m. A correção atmosférica foi feita a partir do módulo FLAASH, o qual é baseado no programa computacional de correção atmosférica denominado de MODTRAN-4 (BERK *et al.*, 1998; HALTHORE *et al.*, 1998) e disponível no ENVI 4.3TM, utilizando-se do modelo de atmosfera tropical. Após testes efetuados com as opções disponíveis no referido programa, os melhores resultados foram obtidos com visibilidade de 100 km, sem restauração de aerossol e modelo ISAACS de dispersão múltipla.

As cenas foram georreferenciadas com base em imagens *geocover*, no sistema de projeção UTM (zona 23 Sul) e referencial geodésico WGS 84, com erro quadrático médio inferior a 0,5 *pixel*. As cenas foram normalizadas tendo como referência as respectivas cenas do mês de abril. Os valores médios de reflectância nas seis bandas consideradas, utilizados para a referida normalização, foram obtidos de um reservatório localizado no rio São Domingos (total de *pixels* utilizados = 170), região nordeste do município de São Domingos.

Os valores de reflectância das cenas individuais foram acumulados mês a mês e banda a banda. Por hipótese, a capacidade de discriminação da FED nas imagens com reflectância acumulada é maior do que qualquer outra cena individual. Procedimento semelhante foi testado por Ratana *et al.* (2005), que conseguiram melhorar a capacidade de discriminação de algumas classes de cobertura vegetal natural e antrópica do Cerrado a partir do acúmulo de valores provenientes de dois índices de vegetação, o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e o índice de vegetação realçado (EVI). Nascimento e Sano (2010) também utilizaram procedimento similar para a discriminação de Cerrado Rupestre no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, em Goiás.

Para a elaboração do mapa de localização da FED no Vão do Paranã, inicialmente foi aplicada na imagem de reflectância acumulada dos quatro meses em estudo (abril + maio + junho + julho) da cena normalizada com órbita ponto 220/70 a metodologia de *endmembers*, com base na geometria do *simplex* de volume mínimo (BOARDMAN e KRUSE, 1994). Esse procedimento, explicado em detalhes por Carvalho Júnior *et al.* (2003), avalia a mistura espectral existente

nos *pixels*, separando os mais puros correspondentes aos materiais existentes nas cenas. Carvalho *et al.* (2002) afirmaram que esse procedimento consiste em uma etapa exploratória, ou seja, uma primeira avaliação dos constituintes da cena, e sua aplicação é interessante em regiões pouco estudadas, uma vez que podem surgir espectros inexistentes nas bibliotecas espectrais disponíveis.

A metodologia adotada pode ser descrita em três etapas diferentes (BOARDMAN e KRUSE, 1994): redução da dimensão espectral, utilizando a técnica *Minimization Noise Fraction* (MNF), redução da dimensão espacial utilizando o método *Pixel Purity Index* (PPI) e identificação de *clusters* utilizando um visualizador n-dimensional. O MNF consiste na redução da dimensão espectral da cena (GREEN *et al.*, 1988), possibilitando a eliminação do ruído e permitindo a diminuição da dimensionalidade da imagem em eixos descritos pelos materiais ou feições físicas ambientais que constituem a cena (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2007). O método PPI registra e contabiliza os *pixels* que são vértices nas diferentes projeções do *simplex*. Já a distribuição espacial dos atributos espectrais das componentes MNFs podem ser observadas pelo emprego do visualizador n-dimensional, que gera uma nuvem de pontos possibilitando a verificação da formação de *clusters*, ou famílias de *pixels* puros.

Para que os *pixels* relativos principalmente à cobertura vegetal da cena fossem identificados com maior acurácia, foi elaborada uma máscara para eliminar as áreas referentes à água e à sombra de nuvens.

Após a avaliação prévia dos materiais existentes na imagem por meio da redução da dimensão espectral da cena e eliminação dos ruídos, foi utilizada a ferramenta de “transformação inversa do MNF”, que consiste na transformação das bandas do MNF de volta ao seu dado espacial original, ou seja, a informação é redistribuída pelo número original de bandas (no caso, seis bandas). Desta forma, considerando apenas as componentes relativas ao sinal, ou seja, desprezando as frações ruidosas, efetua-se o processo de inversão da transformação MNF, fazendo com que as imagens geradas com esse processo apresentem espectros límpidos de ruído (Carvalho *et al.*, 2002).

Após esse procedimento, a imagem somatória de reflectância acumulada da cena 220/070, com os ruídos eliminados, foi processada por meio da técnica de segmentação por crescimento de regiões, descrita anteriormente. Os segmentos correspondentes à FED foram identificados por meio da análise visual. Eles foram sobrepostos na tela do monitor do computador à composição colorida RGB das bandas 4, 5 e 7, em escala de visualização correspondente à 1:100.000. Esse procedimento foi repetido para as outras duas cenas estudadas (órbita/ ponto 220/69 e 221/70).

O padrão espectral da referida fitofisionomia foi determinado a partir de um conjunto de pontos de localização da FED em campo formado pelos pontos

disponibilizados pela Embrapa Recursos Genéticos e provenientes da campanha de campo ocorrida nos dias 20 e 21 de outubro de 2008.

O mapa de localização da FED foi elaborado a partir da união dos vetores classificados provenientes das três cenas estudadas. Esse foi refinado com base em campanhas de campo conduzidas nos dias 30 de agosto a 02 de setembro e 01 a 03 de outubro de 2010, em que foram visitados fragmentos remanescentes de FED ao longo de todo o Vão do Paranã.

De posse do mapa da FED baseado nas imagens multitemporais do ano de 2001, o limite dos fragmentos foi atualizado a partir do mosaico de imagens do ano de 2007, elaborado anteriormente. O referido mosaico foi utilizado apenas para avaliação da alteração ocorrida nos fragmentos mapeados, principalmente no seu entorno, entre os anos de 2001 e 2007. Para isso, foi sobreposto o mapa da FED elaborado por meio de imagens multitemporais do ano de 2001 e o mosaico de imagens do ano de 2007, possibilitando a redefinição dos limites por meio de análise visual na escala 1:100.000. Esta etapa permitiu a elaboração de um mapa do estado atual da FED no Vão do Paranã.

A validação do mapa de ocorrência atual foi feita com base no método de exatidão global (BRITES *et al.* 1996; ESPÍRITO SANTO e SHIMABUKURO, 2005), com duas classes de interesse: FED e NÃO FED. Foi considerado um percentual de exatidão de 85% com erro de 5%, o que implica, segundo Jensen (1996), em um número mínimo de 204 pontos amostrais. Os pontos foram selecionados a partir da conversão da poligonal do Vão do Paranã em uma grade regular com 1.907 *pixels* de 3 km x 3 km. De posse dos pontos centróides de cada pixel, foram sorteados aleatoriamente 274 pontos, os quais foram exportados para o programa *Google Earth*® em formato *kml* para verificação de uso e cobertura (SIMARD *et al.*, 2008; MONTESANO *et al.*, 2009), especialmente no que diz respeito às classes de pastagem, mata galeria e formações campestres.

Os pontos não discriminados nas imagens de satélite de alta resolução (essencialmente as formações florestais) foram visitados em campo, conduzido nos dias 30 de agosto a 02 de setembro e 01 a 03 de outubro de 2010. As imagens do programa *Google Earth*® utilizadas na validação possuem resolução de 2,5 e 10 metros, são provenientes do sensor SPOT e possuem data de passagem entre 12 de março de 2009 e 21 de fevereiro de 2010.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Desempenho da Reflectância Acumulada

Com base nos resultados da análise monotemporal, optou-se por comparar a resposta espectral da FED com a do Cerrado Típico (RIBEIRO e WALTER, 2008) nas imagens multitemporais, uma vez que esse apresentou grande confusão com a FED no mapeamento preliminar. Na Figura 1 é mostrado

como exemplo o potencial da reflectância acumulada no mapeamento da FED no Vão do Paranã na cena 220/70, que possui maior representatividade de FED no Vão do Paranã. O padrão observado no exemplo se repetiu nas demais cenas.

Os pontos do gráfico correspondem à média das reflectâncias de quatro pontos da FED e mais quatro pontos de Cerrado Típico, selecionados aleatoriamente da campanha de campo realizada nos dias 20 e 21 de outubro de 2008.

A reflectância acumulada ao longo do período considerado (abril a julho) foi maior para o Cerrado Típico, em comparação com a FED, em todas as bandas do Landsat analisadas. Provavelmente este fato

foi decorrente da exposição maior do substrato rochoso (rochas calcárias escuras) e ausência de vegetação verde nas áreas com FED, durante a estação seca, onde há uma perda significativa de folhas (~ 90%; RIBEIRO e WALTER, 2008). Além disso, as FED tendem a apresentar maior rapidez nas mudanças de índices de área foliar no início da estação seca, em comparação com outras fitofisionomias (LIESENBERG *et al.*, 2007). A capacidade melhorada de discriminação de alvos foi comprovada por meio da aplicação do teste *t* de Student, que consiste em uma análise estatística que testa a igualdade entre duas médias. O nível de significância (α) utilizado foi igual a 5%.

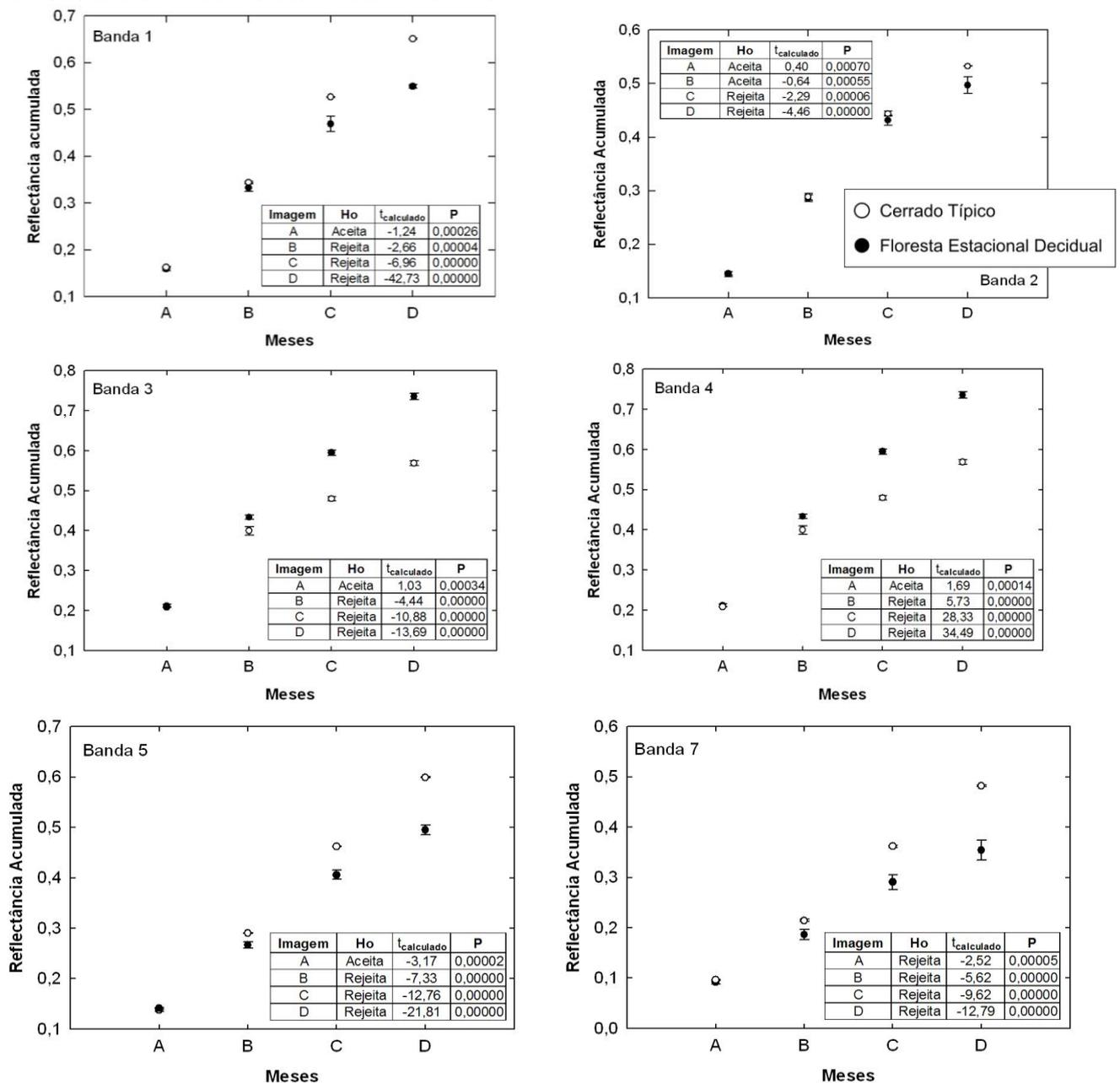


Fig. 1 – Média (círculos) e desvio-padrão (barras horizontais) da reflectância acumulada da FED e do Cerrado Típico nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do sensor ETM+/Landsat-7, no período de abril a julho. A = abril; B = abril + maio; C = abril + maio + junho; D = abril + maio + junho + julho; Ho = teste de hipótese (valores médios das reflectâncias da FED e do Cerrado Típico são iguais), considerando-se grau de liberdade = 6 e t_{crítico} = 2,45. P = probabilidade.

O teste *t* indicou que não é possível discriminar as duas fitofisionomias em uma única imagem de abril nas bandas 1 a 5. No entanto, à medida que as reflectâncias médias de abril, maio, junho e julho são acumuladas progressivamente, a capacidade de separação espectral melhorou sensivelmente. O Cerrado Típico apresentou valores acumulados de reflectância mais altos em relação aos da FED, o que já era esperado, uma vez que essa fisionomia não possui deciduidade acentuada na estação seca, permanecendo com alta resposta espectral em todas as bandas. Para as imagens individuais de maio, junho e julho, as estatísticas do teste *t* indicaram que essas imagens possuem capacidade de discriminar as duas fitofisionomias analisadas, provavelmente pelo fato das diferenças fenológicas entre as duas fitofisionomias analisadas na época da seca, mas a resposta dos alvos apresenta-se bastante próxima.

O resultado do teste *t* na banda 7 mostrou que é possível diferenciar as duas fitofisionomias em uma única imagem de abril. Esse fato deve-se, provavelmente, à sensibilidade nessa faixa espectral (2,08 – 2,4 μm) à resposta de minerais e rochas, fazendo com que haja grande absorção da radiação eletromagnética (REM) pelo calcário exposto nas áreas da FED, diminuindo sua reflectância e fazendo com que exista contraste em relação às áreas de Cerrado Típico. Já na banda 3 (0,63 - 0,69 μm), as respostas espectrais da FED e do Cerrado Típico apresentaram comportamentos opostos ao esperado, uma vez que a vegetação do Cerrado Típico (verde, densa e uniforme), deveria apresentar-se escura devido à grande absorção da REM, resultando em baixa reflectância em relação à FED, que possui pequena quantidade de clorofila devido à deciduidade acentuada. Esse comportamento, provavelmente, também se deve à presença de calcário exposto em áreas da FED, fazendo com que essa apresente menor reflectância devido à grande absorção da REM pelas rochas.

Conforme mencionado anteriormente, por problemas de cobertura de nuvens, não foi possível incluir as imagens dos demais meses do ano, nas quais, teoricamente, as diferenças espectrais entre os dois alvos analisados seriam ainda mais acentuadas. Uma projeção com base nos dados de abril a julho, feita a partir de regressão linear, confirmou esse aumento na capacidade de discriminação das duas classes.

3.2 Mapeamento da FED no Vão do Paranã

3.2.1 Detecção dos *endmembers*

Para a área em estudo, observou-se uma concentração do sinal nas quatro primeiras componentes do MNF (Figuras 2 e 3), que juntas somam 90,5% das informações da imagem. As duas componentes com maior concentração do ruído foram desprezadas na segunda etapa de processamento, o PPI.

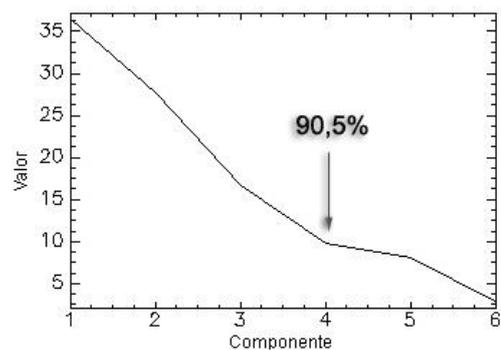


Fig. 2 – Histograma de frequência de valores das componentes do MNF.

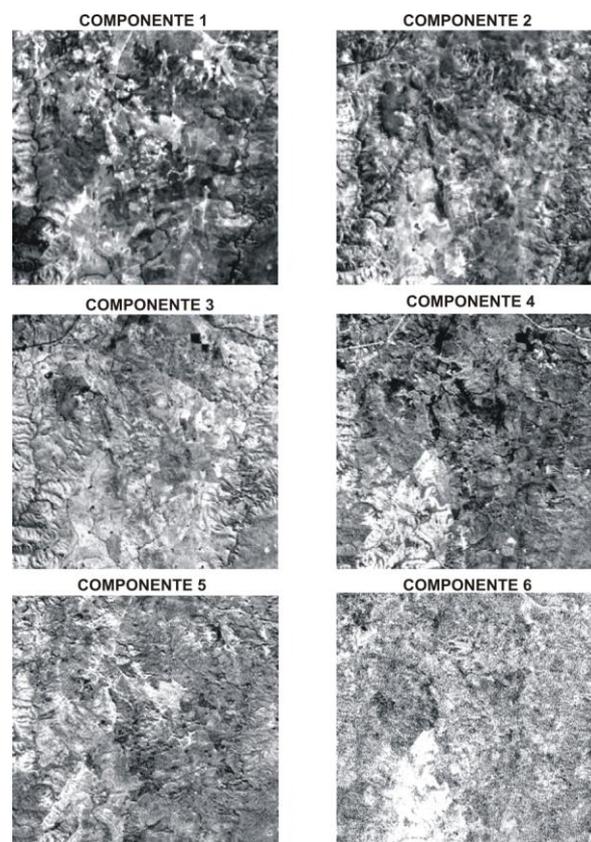


Fig. 3 – Componentes 1 a 6 da imagem MNF.

O número de interações estipulado para o processamento do PPI foi igual a 1.000 e o valor de corte foi de 59 para um resultado amostral de 98 *pixels*. Utilizando o visualizador *n*-dimensional, foram identificados os *pixels* posicionados nos vértices do *simplex*, formando cinco *clusters* distintos. A partir das curvas espectrais médias dessas famílias de *pixels* puros (Figura 4), os diferentes alvos que compõem a cena puderam ser identificados (excluindo as classes referentes à água e sombras).

Apesar dos altos valores de reflectância em função do somatório dos meses, os espectros puderam ser comparados às bibliotecas existentes, indicando que a imagem somatório, após a eliminação dos ruídos, conseguiu separar bem os *clusters* relativos às áreas de Mata de Galeria, solo exposto, pastagem e Cerrado. O espectro da FED não existe em bibliotecas espectrais,

mas pode ser individualizado na imagem somatório devido ao fato de que a região do infravermelho médio, banda 5 (1,55 - 1,75 μm), apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, sendo de grande utilidade na observação de estresse hídrico na vegetação. Dessa forma, a FED, ao ser comparada ao Cerrado, apresenta maior reflectância na banda 5, uma vez que no período de seca perde as folhas e praticamente toda a umidade.

Corroborando o resultado, Ponzoni (2001) e Ponzoni e Shimabukuro (2009) afirmaram que nas imagens da região do infravermelho médio tem-se uma queda valores de reflectância do dossel de uma floresta, devido à presença de água no interior das folhas, fazendo com que as áreas com presença de folhas com maior umidade apresentem reflectâncias mais baixas que áreas com presença de folhas secas.

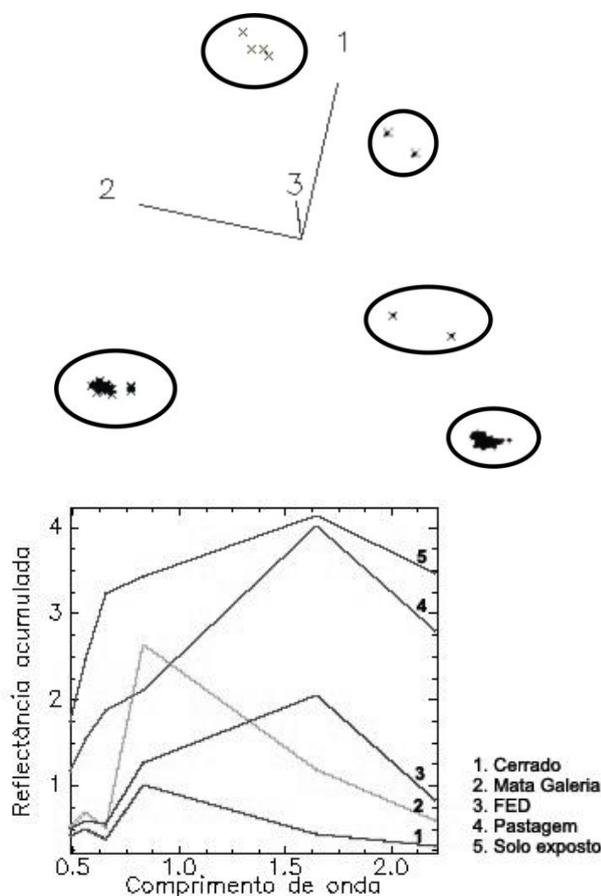


Fig. 4 – Visualização de *clusters* no espaço n-dimensional e espectros eletromagnéticos dos *endmembers*.

3.2.2 Classificação da imagem somatório

A transformação inversa do MNF converteu as bandas, após eliminação das componentes ruidosas, de volta ao seu número original (seis bandas). Esse procedimento foi de extrema importância para a qualidade final do mapa de ocorrência de FED no Vão do Paranã do ano de 2007 na escala 1:100.000, elaborado com base na metodologia de reflectância

acumulada, componentes principais, pontos de controle de campo e observação visual em imagem de satélite.

O mapa indicou que, atualmente, existem na região aproximadamente 190.000 hectares dessa fitofisionomia, distribuídos essencialmente na região centro-norte do Vão do Paranã (Figura 5).

Em campo, foram observadas ocorrências na porção sudeste do Vão do Paranã, sobre calcários, mas os fragmentos encontrados apresentam-se bastante espaçados, pouco densos (provavelmente queimados em várias situações e com coleta seletiva) e com tamanho reduzido a pequenas manchas (Figura 6). Essas características ocorrem principalmente em função da área ser bastante plana e com intensa atividade pecuária, o que proporcionou acentuado desmatamento.

Dessa forma, apesar da ocorrência de FED comprovada pela presença de fragmentos testemunhos, o mapa de distribuição do ano de 2007 elaborado na escala 1:100.000 não incluiu essas áreas.

Dos 274 pontos sorteados aleatoriamente para avaliar a acurácia do mapeamento a partir do método de exatidão global, cinco foram excluídos por falta de informação nas imagens de alta resolução ou pela impossibilidade de acesso em campo, 251 foram classificados a partir de análise visual das imagens de satélite de alta resolução provenientes do *Google Earth*® (classes: pastagem, mata galeria, agricultura, campo sujo e campo limpo) e 18 foram verificados em campo ao longo de toda a área de estudo. Dos 269 pontos válidos, 244 foram mapeados corretamente, fazendo com que a exatidão global do mapeamento seja de 90,7%, como observado na matriz de confusão (Tabela 3).

TABELA 3 – MATRIZ DE CONFUSÃO REFERENTE AO MAPEAMENTO DE ÁREAS DE FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL (FED) DO VÃO DO PARANÃ, GOIÁS.

Mapeamento	Dados de campo		
	FED	Não FED	Total
FED	13	9	22
Não FED	16	231	247
Total	29	240	244

A concentração de ocorrências de FED no Vão do Paranã na porção centro-norte e o alinhamento preferencial na direção norte-sul fornecem indícios de que há um acentuado controle geoambiental dessas ocorrências. Nesse mapeamento, foram incluídas as FED localizadas tanto em áreas planas como em afloramentos rochosos, em todos os estágios de sucessão ecológica (inicial, intermediário e tardio), uma vez que a diferenciação desses estágios é difícil de ser analisada em imagens orbitais, como comprovado no trabalho de Amaral *et al.* (2009).

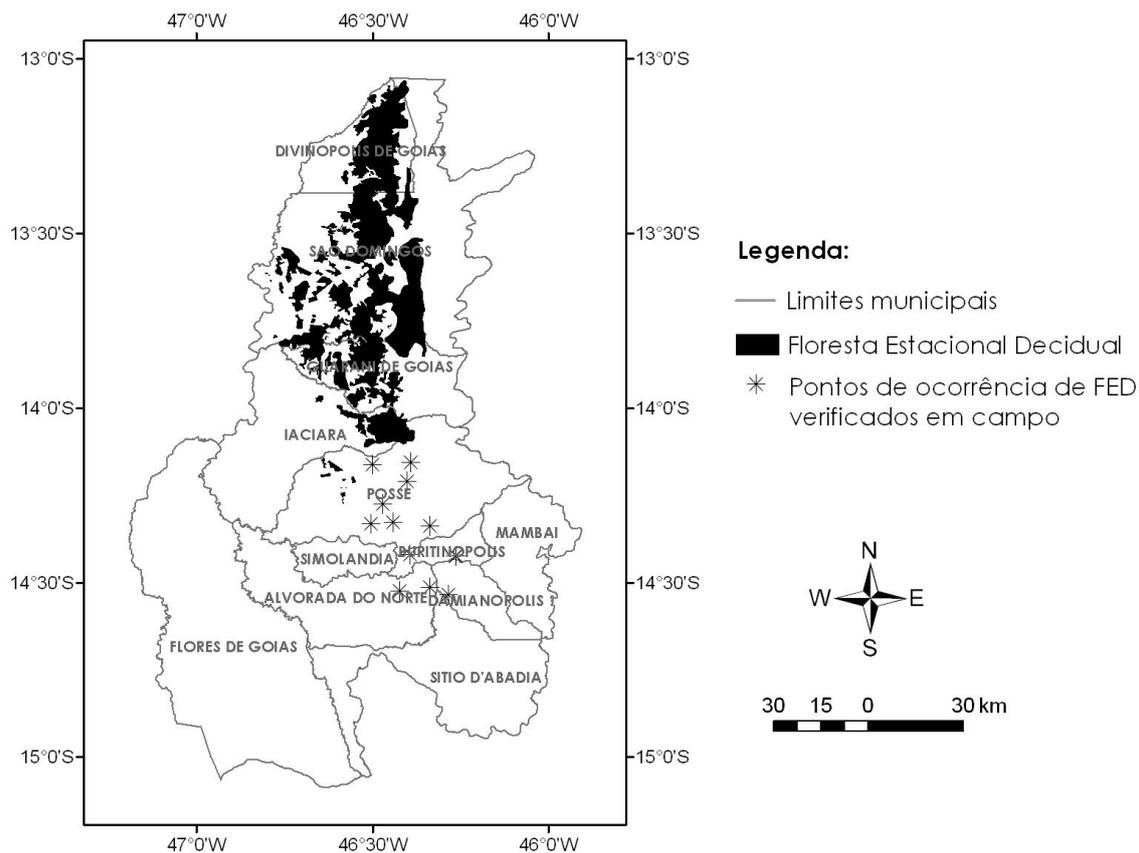


Fig. 5 – Mapa de localização da Floresta Estacional na escala 1:100.000 no Vão do Paranã.



Fig. 6 – Áreas de FED na região sudeste do Vão do Paranã.

4. CONCLUSÕES

Tomando-se como base o conhecimento de campo e a estrutura e características das áreas ocorrência da FED, principalmente para ocorrências em áreas planas, observa-se confusão espectral na época de chuva com algumas fitofisionomias florestais, como o Cerrado Típico, quando a análise é feita com imagens monotemporais do Landsat.

A diferenciação entre a FED e fisionomias florestais a partir do método de reflectância acumulada mostrou-se eficiente uma vez que considera o comportamento da vegetação ao longo do ciclo hidrológico. Os resultados obtidos indicam que, caso haja disponibilidade de imagens dos meses de agosto e setembro, essa capacidade de diferenciação será ainda maior, uma vez que nos referidos meses a FED apresenta maior estresse hídrico e, por consequência, maior deciduidade.

Estudos mais aprofundados a respeito das características da FED no terreno devem ser feitos para maior compreensão do comportamento espectral dessa fitofisionomia nas bandas 3 e 7. Por hipótese, assume-se que a alta reflectância da FED nessas bandas deve-se à presença de calcário exposto influenciando na resposta da vegetação

A metodologia de detecção dos *endmembers* por meio da análise do *simplex* mostrou-se adequada para a

avaliação da imagem de reflectância acumulada, uma vez que distinguiu *clusters* referentes às famílias de *pixels* puros, incluindo a FED.

O mapa final de localização da Mata Seca no Vão do Paranã mostrou que as áreas remanescentes representadas por grandes fragmentos (maiores que 1.000 ha) estão localizadas principalmente nas imediações dos afloramentos rochosos, fato justificado pela dificuldade de extração da vegetação sobre o subsolo rochoso. Apesar disso, foi observado em campo que grande parte dessas áreas sofreu coleta seletiva de espécies com alto valor econômico e, atualmente, encontram-se em diferentes níveis de degradação.

As áreas da FED distribuídas de forma esparsa não foram tão bem definidas pela metodologia e escala adotadas (1:100.000). Dessa forma, a densidade da floresta foi fator determinante para o mapeamento na escala utilizada.

AGRADECIMENTOS

Este estudo fez parte da tese de doutorado da primeira autora no Programa de Doutorado em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Goiás - UFG. Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de doutorado à primeira autora e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento de bolsa de produtividade de pesquisa ao co-autor. Agradecemos à EMBRAPA CERRADOS pelo apoio logístico e de pessoal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, M. V. F.; SOUZA, A. L.; SOARES, V. P.; SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; MARTINS, S. V.; FERNANDES FILHO, E. I.; LANA, J. M. Avaliação e comparação de métodos de classificação de imagens de satélites para o mapeamento de estádios de sucessão florestal. **Revista Árvore**, v.33, n.3, p.575-582, 2009.

ANA. Agência Nacional de Águas. 2008. **Hidroweb – Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>. Acesso em: 10 out. 2008.

ARAÚJO FILHO, M. C.; MENESES, P. R.; SANO, E. E. Sistema de classificação de uso e cobertura da terra com base na análise de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.59, p.171-179, 2007.

BERK, A.; BERNSTEIN, L. S.; ANDERSON, G. P.; ACHARYA, P. K.; ROBERTSON, D. C.; CHETWYND, J. H.; ADLER-GOLDEN, S. M. MODTRAN cloud and multiple scattering upgrades with application to AVIRIS. **Remote Sensing of Environment**, v.65, p.367-375, 1998.

BOARDMAN, J. W.; KRUSE, F. A. Automated spectral analysis: A geologic example using AVIRIS data, north Grapevine Mountains, Nevada. **Proceedings of 10th Thematic Conference on Geologic Remote Sensing**, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, MI, v.1, p.407-418, 1994.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SD. 23 Brasília; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 660p., 5 mapas (Levantamento de Recursos Naturais, 29), 1982.

BRITES, R. S.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, C. A. A. S. Verificação da exatidão em classificações de uma imagem orbital mediante a utilização de três índices. **Revista Árvore**, v.20, p.415-424, 1996.

CARVALHO, A. P. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; MARTINS, E. S.; BUSTAMANTE, M. M. C. Utilização do classificador *spectral correlation mapper* em imagens TM-Landsat. **Espaço & Geografia**, v.5, n.1, p.219-232, 2002.

CARVALHO JÚNIOR, O. A.; CARVALHO, A. P. F.; GUIMARÃES, R. F.; MENESES, P. R.; SHIMABUKURO, Y. E. Mistura espectral: (I) Detecção dos membros finais utilizando a geometria do simplex. **Espaço & Geografia**, v.6, n.1, p.147-173, 2003.

CARVALHO JÚNIOR, O. A.; HERMUCHE, P. M.; GUIMARÃES, R. F. Identificação regional da floresta estacional decidual na bacia do rio Paranã a partir da análise multitemporal de imagens MODIS. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.24, n.3, p.319-332, 2006.

CARVALHO JÚNIOR, O. A.; RIBEIRO, M. N. C.; MARTINS, E. S. Análise de dados hiperespectrais em mina de manganês laterítico, São João da Aliança (GO). **Revista Brasileira de Geofísica**, v.25, n.2, p.199-212, 2007.

CHANDER, G.; HELDER, D. L.; MARKHAM, B. L.; DEWALD, J. D.; KAITA, E.; THOME, K. J.; MICIJEVIC, E.; RUGGLES, T. A. Landsat-5 TM reflective-band absolute radiometric calibration. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.42, p.2746-2760, 2004.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; BARSİ, J. A. Revised Landsat 5 Thematic Mapper radiometric calibration. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.4, p.490-494, 2007.

EITEN, G. The cerrado vegetation of Brazil. **Botanical Review**, v.38, n.2, p.201-341, 1972.

ESPÍRITO-SANTO, F. D. B.; SHIMABUKURO, Y. E. Validação do mapeamento de uma área de floresta tropical com o uso de imagens de videografia aérea e dados de levantamento de campo. **Revista Árvore**, v.29, n.2, p.227-239, 2005.

- FELFILI, J. M.; FAGG, C. W. Floristic composition, diversity and structure of the Cerrado sensu stricto on rocky soils in northern Goiás and southern Tocantins, Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, v.30, n.3, p.375-385, 2007.
- FELFILI, J. M.; RIBEIRO, J. F.; FAGG, C. W.; MACHADO, J. W. B. **Cerrado: Manual para recuperação de Matas de Galeria**. (Série Documentos, 21) Planaltina: Embrapa Cerrados, 45p., 2000.
- FELFILI, J. M.; CARVALHO, F. A.; FAGG, C. W. **Recuperação de matas secas e vegetações associadas no Vale do Paranã, Goiás**. Brasília: Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, 32p., 2007.
- GOWARD, S. N.; MASEK, J. G.; WILLIAMS, D. L.; IRONS, J. R.; THOMPSON, R. J. The Landsat 7 mission: terrestrial research and applications for the 21st century. **Remote Sensing of Environment**, v.78, p.3-12, 2001.
- GREEN, A. A.; BERMAN, M.; SWITZER, P.; CRAIG, M. D. A transformation for ordering multispectral data in terms of images quality with implications for noise removal. **IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing**, v.26, n.1, p.65-74, 1988.
- HALTHORE, R. N.; NEMESURE, S.; SCHWARTZ, S. E.; IMRE, D. G.; BERK, A.; DUTTON, E. G.; BERGIN, M. H. Models overestimate diffuse clear-sky surface irradiance: a case for excess atmospheric absorption. **Geophysical Research Letters**, v.25, n.19, p.3591-3594, 1998.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geociências: Divisão Regional**. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/de_fault_div_int.shtm?c=1. Acesso em: 08 out. 2008.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Catálogo de imagens Landsat**. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br>. Acesso em: 20 out. 2008.
- JENSEN, J. R. **Introductory Digital Image Processing: A remote sensing perspective**. Nova Jersey: Prentice-Hall, 2^a ed., 1996.
- KALACSKA, M.; SANCHEZ-AZOFEIFA, G. A.; RIVARD, B.; CAELLI, T.; PETER WHITE, H.; CALVO-ALVARADO, J. C. Ecological fingerprinting of ecosystem succession: Estimating secondary tropical dry forest structure and diversity using imaging spectroscopy. **Remote Sensing of Environment**, v.108, n.1, p.82-96, 2007a.
- KALACSKA, M.; BOHLMAN, S.; SANCHEZ-AZOFEIFA, G. A.; CASTRO-ESAU, K.; CAELLI, T. Hyperspectral discrimination of tropical dry forest lianas and trees: Comparative data reduction approaches at the leaf and canopy levels. **Remote Sensing of Environment**, v.109, n.4, p.406-415, 2007b.
- LIESENBERG, V.; GALVÃO, L. S.; PONZONI, F. J. Variations in reflectance with seasonality and viewing geometry: Implications for classification of Brazilian savanna physiognomies with MISR/Terra data. **Remote Sensing of Environment**, v.107, n.1-2, p.276-286, 2007.
- MONTESANO, P. M.; NELSON, R.; SUN, G.; MARGOLIS, H.; KERBER, A.; RANSON, K. J. MODIS tree cover validation for the circumpolar taiga-tundra transition zone. **Remote Sensing of Environment**, v.113, p.2130-2141, 2009.
- MURPHY, P. G.; LUGO, A. E. Ecology of tropical dry forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v.17, p.67-88, 1986.
- NASA. National Aeronautics and Space Administration. **SRTM – Shuttle Radar Topography Mission**. Disponível em: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/costaric.htm>. Acesso em: 12 out. 2008a.
- NASA. National Aeronautics and Space Administration. **Landsat 7 (L7) Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) - Calibration Parameter Files (CPFs)**. Disponível em: http://Landsat.usgs.gov/science_L7_cpf.php. Acesso em: 29 out. 2008b.
- NASCIMENTO, E. R. P.; SANO, E. E. Identificação de Cerrado Rupestre por meio de imagens multitemporais do Landsat: proposta metodológica. **Sociedade & Natureza**, v.22, n.1, p.93-106, 2010.
- NASCIMENTO, A. R. T.; FELFILI, J. M.; MEIRELLES, E. M. Florística e estrutura da comunidade arbórea de um remanescente de Floresta Estacional de encosta, Monte Alegre, Goiás, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v.18, n.3, p.659-669, 2004.
- NASCIMENTO, A. R. T.; FAGG, J. M. F.; FAGG, C. W. Canopy openness and LAI estimates in two seasonally deciduous forests on limestone outcrops in central Brazil using hemispherical photographs. **Revista Árvore**, v.31, n.1, p.167-176, 2007.
- PONZONI, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In: MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. S. (orgs.). **Sensoriamento Remoto. Reflectância de Alvos Naturais**. Brasília: UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados, 262p. Cap.5, p.157-199, 2001.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Ed. Parêntese, 130p., 2009.

- PRADO, D. E. Seasonally dry forests of tropical South America: from forgotten ecosystems to a new phytogeographic unit. **Edinburgh Journal of Botany**, v.57, n.3, p.437-461, 2000.
- RATANA, P.; HUETE, A. R.; FERREIRA, L. Analysis of Cerrado physiognomies and conversion in the MODIS seasonal-temporal domain. **Earth Interactions**, v.9, Paper no. 3, 22p., 2005.
- RESCK, D. V. S.; SILVA, J. E. Importância das matas de galeria no ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica. In: RIBEIRO, J.F. (ed.). **Cerrado: Matas de Galeria**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 164p., 1998.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: Ecologia e Flora**. Planaltina: Embrapa Cerrados; Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, v.1, Cap.6, p.151-199, 2008.
- SAMPAIO, A. B.; SCARIOT, A.; HOLL, K. Regeneration of seasonal deciduous forest tree species in long-used pastures in Central Brazil. **Biotropica**, v.39, p.655-659, 2007a.
- SAMPAIO, A. B.; SCARIOT, A.; HOLL, K. Does restoration enhance regeneration of seasonal deciduous forests in pastures in central Brazil? **Restoration Ecology**, v.15, p.462-471, 2007b.
- SANCHEZ-AZOFEIFA, G. A.; HARRISS, R. C.; SKOLE, D. L. Deforestation in Costa Rica: a quantitative analysis using remote sensing imagery. **Biotropica**, v.33, n.3, p.378-384, 2001.
- SANCHEZ-AZOFEIFA, G. A.; KALACSKA, M.; QUESADA, M.; CALVO-ALVARADO, J. C.; NASSAR, J. M.; RODRIGUEZ, J. P. Need for integrated research for a sustainable future in tropical dry forests. **Conservation Biology**, v.19, n.2, p.285-286, 2005.
- SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L.; FERREIRA, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.153-156, 2008.
- SCARIOT, A.; SEVILHA, A. C. Biodiversidade, estrutura e conservação de Florestas Estacionais Deciduais no Cerrado. In: SCARIOT, A.; SOUZA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. (eds.). **Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.
- SILVA, L. A.; SCARIOT, A. Composição florística e estrutura da comunidade arbórea em uma floresta estacional decidual em afloramento calcário (Fazenda São José, São Domingos, GO, bacia do rio Paranã). **Acta Botanica Brasilica**, v.17, n.2, p.305-313, 2003.
- SILVA JÚNIOR, M. C.; FELFILI, J. M.; NOGUEIRA, P. E.; REZENDE, A. V. Análise florística das matas de galeria do Distrito Federal. In: RIBEIRO, J. F. (ed.). **Cerrado: Matas de Galeria**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 164p., 1998.
- SIMARD, M.; RIVERA-MONROY, V. H.; MANCERA-PINEDA, J. E.; CASTAÑEDA-MOYA, E.; TWILLEY, R. R. A systematic method for 3D mapping of mangrove forests based on Shuttle Radar Topography Mission elevation data, ICESat/GLAS waveforms and field data: Application to Ciénaga Grande de Santa Marta, Colômbia. **Remote Sensing of Environment**, v.112, p.2131-2144, 2008.
- TEILLET, P. M.; BARKER, J. L.; MARKHAM, B. L.; IRISH, R. R.; FEDOSEJEVS, G.; STOREY, J. C. Radiometric cross-calibration of the Landsat-7 ETM+ and Landsat-5 TM sensors based on tandem data sets. **Remote Sensing of Environment**, v.78, p.39-54, 2001.
- UNIVERSIDADE DE MARYLAND. Catálogo de imagens Geocover. Disponível em: <<http://glcf.umd.edu/data/degree/>>. Acesso em: 05 jan. 2009.
- VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991.
- VICENTE-SERRANO, S. M.; PÉREZ-CABELLO, F.; LASANTA, T. Assessment of radiometric correction techniques in analyzing vegetation variability and change using time series of Landsat images. **Remote Sensing of Environment**, v.112, p.3916-3934, 2008.
- VIEIRA, D. M.; SCARIOT, A. Principles of natural regeneration of tropical dry forests for restoration. **Restoration Ecology**, v.14, n.1, p.11-20, 2006.