

# MAPEAMENTO DA FITOFISIONOMIA E DO USO DA TERRA DE PARTE DA BACIA DO ALTO TAQUARI MEDIANTE O USO DE IMAGENS TM/LANDSAT E HRV/SPOT<sup>1</sup>

PEDRO HERNANDEZ FILHO<sup>2</sup>, FLÁVIO JORGE PONZONI<sup>3</sup> e MADALENA NIERO PEREIRA<sup>4</sup>

**RESUMO** - Imagens TM/Landsat referentes a duas épocas do ano e HRV/SPOT foram utilizadas nos mapeamentos fitofisionômico e de uso da terra de parte da bacia do Alto Taquari (MS). Imagens analógicas foram dispostas sob a forma de composições coloridas (TM3B, TM4R e TM5G; HRV1B, HRV2R e HRV3G). Estas imagens foram interpretadas visualmente, procurando-se identificar os seguintes itens: 1) Campo; 2) Cerrado; 3) Cerradão; 4) Cerrado + mata aluvial; 5) mata aluvial; 6) formação alterada; 7) áreas destinadas à agropecuária; 8) culturas agrícolas implantadas; e 9) espelho d'água. A avaliação dos desempenhos dos dois produtos revelou uma ligeira superioridade dos produtos HRV/SPOT em relação aos produtos TM/Landsat. A área referente a uma das folhas topográficas (Pedro Gomes) foi considerada no processamento das imagens digitais TM/Landsat. Aplicou-se a técnica de componentes principais para a elaboração de duas novas imagens. Seguiu-se a classificação digital pelo algoritmo Maxver (Máxima Verossimilhança), cujo resultado foi introduzido no banco de dados mencionado sob a forma de um Plano de Informação (PI). O PI referente à interpretação visual da folha Pedro Gomes foi então comparado com o PI desta mesma folha, elaborado a partir da classificação digital pela estatística Kappa. Os resultados indicaram pouca similaridade entre os dois PIs.

Termos para indexação: mapeamento de vegetação, sensoriamento remoto

## PHYTOPHYSIOGNOMIC AND LAND USE MAPPING OF PARTIAL ALTO TAQUARI BASIN USING TM/LANDSAT AND HRV/SPOT IMAGES

**ABSTRACT** - TM/Landsat temporal images (dry and wet seasons) and HRV/SPOT images from a dry season, in analogical and digital presentation forms, were used in a physiognomic vegetation and land use mapping in part of Alto Taquari (MS) river basin. The images were available in form of color compositions (TM3B, TM4G and TM5R bands, and HRV1B, HRV2G and HRV3R bands). Visual interpretation was carried out considering the following vegetation and land use classes: Grassland, Savanna (Cerrado), Woodland (Cerradão), Savanna and aluvial forest, Aluvial forest, Disturbed formation, Cultivated pasture, Field crops, and Water bodies. The performance evaluation of TM and HRV products has shown a small superiority of HRV images, compared to TM images. The digital image processing was carried out over the Pedro Gomes topographic chart area, considering only the TM images. Principal component technique was applied in order to generate new images. These two new images were used in the Maxver digital classification procedure. The result of that classification was also transferred to the GIS and compared with visual thematic map through Kappa (KHAT) statistical parameter. The results have shown low similarity between these maps.

Index terms: vegetation mapping, remote sensing.

## INTRODUÇÃO

Nos últimos 25 anos, o crescimento demográfico, aliado a um programa de desenvolvimento direcionado para as necessidades básicas da população, tem conduzido o governo brasileiro a considerar a agricultura como um dos pilares para

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 27 de fevereiro de 1998.

<sup>2</sup> Eng. Florestal, M.Sc., Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE/DSR), Av. dos Astronautas, 1758, Jardim da Granja, CEP 12227-010 São José dos Campos, SP. E-mail: pedro@ltid.inpe.br

<sup>3</sup> Eng. Florestal, Dr., INPE/DSR. E-mail: flavio@ltid.inpe.br

<sup>4</sup> Geógrafo, M.Sc., INPE/DSR.

sustentar o modelo econômico e social corrente. Particularmente, o Estado do Mato Grosso do Sul tem sido afetado, tanto pela produção de alimentos, quanto pela expansão agrícola. Além disso, outras atividades, tanto na zona rural, como na urbana, têm conduzido o homem à exploração madeireira, pesqueira, mineral, e também à industrialização, as quais são necessárias para a sua sobrevivência. Todavia, nem sempre estas atividades têm sido ordenadas por planos que visem a uma ocupação racional do espaço urbano/territorial.

No caso particular da bacia do Alto Taquari, nos últimos 20 anos, observou-se a intensificação dos processos erosivos, consequência da expansão da fronteira agrícola, a qual foi conduzida sem a definição de um planejamento que envolvesse não só as atividades agropecuárias mas também a questão ambiental. Como resultado desta situação, esta região apresenta uma aceleração da erosão na parte do planalto, onde têm sido concentradas as atividades agrícolas. Além disso, o processo de transporte e acúmulo de sedimentos na região da planície pantaneira tem sido submetido a modificações que terão consequências imprevisíveis, caso não sejam definidas e implementadas ações corretivas. Esta situação revela a necessidade de promover ações para a formulação de uma estratégia que viabilize o planejamento da ocupação e a recuperação dos diferenciados espaços, não só da região do Alto Taquari mas também do próprio Estado do Mato Grosso do Sul.

O conhecimento dos processos que ocorrem nos sistemas ambientais possibilita a previsão de desequilíbrios, quer sejam causados por fenômenos naturais ou ainda resultantes de ações impactantes decorrentes de desmatamento, atividades agropecuárias, concentrações humanas, etc.

O conhecimento dos componentes do meio físico torna-se imperioso para subsidiar políticas direcionadas para a sua ocupação ordenada. Para isso, tecnologias espaciais que fornecem dados do terreno de forma sinóptica e repetitiva apresentam-se com um instrumento básico auxiliar no levantamento dos recursos naturais. Os sensores orbitais TM/Landsat e HRV/SPOT têm fornecido dados periódicos e constantes, o que garante a possibilidade do monitoramento da região em questão.

A vegetação é o componente biótico que exerce influência no processo erosivo. Todavia, observa-se que a remoção da cobertura vegetal de forma irracional tem acarretado a aceleração da degradação do meio físico.

O objetivo deste trabalho é avaliar a contribuição do sensoriamento remoto orbital no levantamento da cobertura vegetal e do uso e ocupação da terra na região do planalto e da planície do Alto Taquari, no sentido de contribuir para as ações corretivas e para o conseqüente ordenamento territorial desta região.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

A área de estudo está localizada no Estado do Mato Grosso do Sul, apresentando como cidades principais Coxim e Rio Verde do Mato Grosso. Está contida na folha SE.21, denominada Corumbá, abrangendo uma superfície de aproximadamente 28.000 km<sup>2</sup>. Está compreendida pelas coordenadas geográficas de 18° 00' 00" e 19° 30' 00" de latitude sul e 56° 20' 00" e 55° 30' 00" de longitude oeste.

Segundo Brasil (1982), esta região apresenta duas unidades geomorfológicas denominadas pela planície do Pantanal e pelos planaltos. A planície do Pantanal é uma área de características extremamente peculiares que definem uma paisagem própria. Possui terrenos quaternários aluviais em altitudes abaixo de 200 m. Apesar do que muitos pensam, não é uma área permanentemente alagada, semelhante a um pântano, mesmo no período das cheias. Entretanto, na época das chuvas, a área pantaneira assume o aspecto de alagado, em consequência do transbordamento das calhas dos rios componentes da bacia do rio Paraguai. À medida que começa a baixar o nível da água dos rios, o quadro hidrográfico assume sua feição natural, os rios retornam aos respectivos leitos e o lençol freático pode descer para mais de 10 m de profundidade. As inundações não afetam toda a planície pantaneira, restando algumas áreas não atingidas pelas águas, que são denominadas "cordilheiras". Os solos são formados sobretudo por lateritas hidromórficas com manchas de planossolos e podzólicos. Nos planaltos predominam as Areias Quartzosas, Latossolo Vermelho-Escuro e Podzólico álicos com baixo grau de fertilidade. A vegetação dominante é de savana, com formações vegetais que variam de densa a gramíneo-lenhosa. Possui no seu conteúdo agrupamentos florestais semidecíduais e decíduais. As formas lenhosas encontram-se quase sempre em contato, ora com a floresta estacional, ora com a savana.

A leste, margeando a planície do Pantanal, há escarpas das serras do Maracaju e do Pantanal. Os planaltos a leste desta área são todos do Paleozóico, com rochas do Cretáceo. A área serrana e os planaltos residuais, geologicamente, são considerados pré-cambrianos. A hidrografia é formada por dois rios principais denominados Taquari e Coxim, além de outros rios que compõem esta bacia, com suas respectivas nascentes situadas nos mais diferentes pontos da área.

As atividades de uso e ocupação do solo estão direcionadas, predominantemente, para pecuária e culturas de soja e milho no planalto, e exclusivamente para pecuária na planície.

### Material

Na realização deste trabalho, utilizaram-se os seguintes materiais e equipamentos: 1) carta topográfica, 6 folhas (Pedro Gomes, Rio Negro, São Francisco de Assis, Rio Verde do Mato Grosso, Morrinho da Pimenteira, Fazenda Rancho Novo), de um total de 17 que compõem toda a bacia do Taquari, na escala de 1:100.000; 2) carta temática de vegetação Brasil (1982); 3) imagens do sensor TM/Landsat, órbita/ponto (225/73): a) produto fotográfico, bandas 3 (B), 4 (R) e 5(G), escala de 1:100.000, datas da passagem correspondente a 29/10/92, 22/12/92 e 12/03/93; b) produto digital, canais 3, 4 e 5, data da passagem correspondente a 22/12/92 e 12/03/93; 4) imagens do sensor HRV/SPOT, órbita /ponto (696/387 e 697/387): produto fotográfico, bandas 1 (B), 2 (R) e 3 (G), escala de 1:100.000, datas das passagens correspondentes a 12/05/87 e 28/06/87, respectivamente; 5) sistema de tratamento de imagens digitais (SITIM) e sistema de informações geográficas (SGI); e 6) sistema de posicionamento geográfico (GPS).

### Métodos

No desenvolvimento deste trabalho, utilizou-se uma metodologia que incluiu a interpretação visual, o processamento e a análise digital dos dados do sensor TM/Landsat e HRV/SPOT.

### Interpretação visual das imagens

Inicialmente, estabeleceu-se uma legenda preliminar, procurando-se adequar as terminologias adotadas pelos profissionais que atuam na região com as características dos dados existentes nos produtos orbitais TM e HRV. Uma vez definida esta legenda, os contornos de rios, a drenagem, os limites de manchas urbanas e estradas principais, referentes à área geográfica das 6 cartas topográficas listadas no item Material, foram transferidos para um papel transparente ("overlay"). Posteriormente, elaboraram-se 12 folhas, em "overlay", contendo estes dados de cada uma das 6 cartas topográficas, em duplicata,

para a interpretação das imagens nas duas estações do ano: seca e de cheias.

Estabeleceu-se a seguinte legenda preliminar de vegetação e uso da terra para a interpretação visual das imagens TM/Landsat:

1) Campo; 2) Cerrado; 3) Cerradão; 4) Cerrado e Mata aluvial; 5) Mata aluvial; 6) Formação alterada; 7) Áreas destinadas à agropecuária; 8) Culturas agrícolas implantadas; e 9) Espelho d'água.

Identificaram-se dois temas relacionados ao uso da terra (áreas destinadas à agropecuária e culturas agrícolas implantadas), as quais foram diferenciadas entre si por apresentarem ou não cultura implantada em pleno desenvolvimento vegetativo. Assim, o tema áreas destinadas à agropecuária referiu-se às áreas destinadas a plantios agrícolas, mas que ainda não haviam sido plantados ou apresentavam-se em estádios iniciais de desenvolvimento, e ainda a áreas de pastagens. O tema culturas agrícolas implantadas referiu-se àquelas áreas cujos plantios já se encontravam em pleno desenvolvimento, apresentando maior parte do solo recoberto por folhas.

O tema denominado Formação alterada referiu-se às áreas ocupadas por qualquer um dos temas referentes à vegetação, mas que apresentavam indícios de alteração antrópica ou apresentavam-se em estádios sucessionais diferentes do clímax.

Identificaram-se também as áreas ocupadas por espelho d'água aparente, não estando incluídas nesta classe as áreas inundadas providas de cobertura vegetal de qualquer porte.

As imagens utilizadas nesta etapa estavam disponíveis sob a forma de composições coloridas elaboradas com as imagens das bandas TM 3, TM 4 e TM 5, com os filtros azul, vermelho e verde, respectivamente.

Nas imagens TM, correspondentes ao período seco, os temas da legenda preliminar foram identificados e transpostos para os "overlays" das seis cartas topográficas. Durante esta fase do processo de interpretação visual das imagens, a minimização dos erros cartográficos do posicionamento dos polígonos de cada tema foi feita pelo próprio intérprete, promovendo deslocamentos do "overlay" sobre a imagem, procurando sobrepor, tanto quanto possível, os rios, a drenagem e as estradas. O mesmo procedimento foi adotado na interpretação das imagens do sensor HRV, as quais estavam disponíveis sob a forma de uma composição colorida com as bandas HRV 1, HRV 2 e HRV 3, com os filtros, azul, vermelho e verde, respectivamente. Estas imagens não cobriram toda a área das seis folhas topográficas, permitindo somente a interpretação da área parcial de quatro destas folhas.

Na etapa de interpretação das imagens TM referentes ao período de cheias, consideraram-se somente os

polígonos representativos dos espelhos d'água, para posterior sobreposição nos mapas do período de seca. O objetivo aqui era permitir uma avaliação visual da influência da água sobre as diferentes fisionomias vegetais identificadas.

Uma vez tendo sido concluída a etapa de interpretação preliminar das imagens, seguiu-se o trabalho de campo, procurando-se verificar pontos de dúvida identificados nos mapas e também procedeu-se à caracterização estrutural dos temas relacionados às formações arbóreas. Esta caracterização foi realizada através da coleta de dados estruturais dos dosséis, os quais foram constituídos por diâmetro a altura do peito (DAP), altura total, dimensão da copa (em dois sentidos ortogonais entre si), posição sociológica (inferior, média e superior), qualidade do fuste (bom, médio e ruim) e forma da copa. Estes dados foram coletados em parcelas de 5 x 20 m, selecionadas em função da representatividade e da facilidade de acesso durante os deslocamentos em campo nas áreas ocupadas pelos temas definidos na legenda. Com os dados contidos nesta planilha, desenharam-se esquemas representativos dos perfis verticais dos dosséis arbóreos com o objetivo de ilustrar as diferenças estruturais entre eles. A Fig. 1 apresenta alguns perfis elaborados para cada um dos temas de vegetação arbórea.

Os pontos de dúvida foram reconhecidos em campo e também pontos adicionais foram visitados e devidamente assinalados nos mapas e/ou imagens, com o auxílio dos dados de um GPS, para posterior análise em escritório. Tomaram-se também fotografias de alguns destes pontos que serviram de auxílio no estabelecimento da legenda final.

Com o objetivo de uniformizar a nomenclatura da legenda e, assim, permitir a análise por parte de profissionais pouco familiarizados com a terminologia regional, optou-se por associar as designações dos itens desta legenda final com aquela proposta no Programa de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (PCBAP), em desenvolvimento pela Embrapa e INPE, fundamentada em um critério fisionômico-ecológico, adaptado de Veloso et al. (1992), resultando nos seguintes itens específicos para aqueles referentes à cobertura vegetal: 1) Campo  $\Rightarrow$  Savana gramíneo-lenhosa (*Sg*); 2) Cerrado  $\Rightarrow$  Savana arborizada (*Sa*); 3) Cerradão  $\Rightarrow$  Savana florestada (*Sd*); 4) Cerrado e Mata aluvial  $\Rightarrow$  Savana/Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (*Sa + Fa*); e 5) Mata aluvial  $\Rightarrow$  Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (*Fa*).

Os seis mapas temáticos de vegetação e uso da terra elaborados a partir da interpretação visual das imagens TM foram digitalizados e armazenados no Sistema de Informações Geográficas (SGI) desenvolvido pelo INPE. O mesmo foi feito para aqueles mapas elaborados a partir das imagens HRV.

Aplicou-se o método utilizado por Hernandez Filho et al. (1994) para avaliação dos desempenhos dos produtos HRV/Spot e TM/Landsat na separabilidade dos itens da legenda.

#### Processamento de Imagens digitais

Devido à extensão da área de estudo e às limitações quanto à utilização de equipamentos, definiu-se a área referente à folha Pedro Gomes como aquela a ser trabalhada na forma digital, por incluir tanto a parte da planície quanto a parte do planalto. Somente as imagens TM/Landsat foram consideradas, uma vez que as imagens HRV disponíveis não cobriam integralmente a extensão de toda uma folha topográfica.

Elaborou-se um módulo composto pelas imagens orbitais TM, nas seis bandas espectrais que cobrem a área desta folha, referindo-se à cena do período seco do ano (29/10/92). Em seguida elaboraram-se mais duas imagens através da aplicação do algoritmo componentes principais, disponível no aplicativo denominado Sistema Interativo de Tratamento de Imagens (SITIM), desenvolvido pelo INPE. Uma das imagens referiu-se ao primeiro componente das três bandas do visível (bandas TM 1, TM 2 e TM 3) e a outra ao primeiro componente das duas outras bandas da região do infravermelho médio (bandas TM 5 e TM 7). Estas duas imagens, mais aquela referente à banda TM 4, foram utilizadas na elaboração de uma composição colorida, para visualização no monitor do equipamento e posterior seleção de amostras durante a etapa de treinamento do classificador Maxver, que utilizou os dados destas imagens transformadas.

Os dados referentes aos contornos dos rios, drenagens e estradas da folha Pedro Gomes foram introduzidos no Sistema de Informações Geográficas, desenvolvido pelo INPE (SGI), através do procedimento de digitalização, os quais passaram a constituir então um Plano de Informação (PI). O mapa de vegetação e uso da terra correspondente à área da folha Pedro Gomes e ao período de seca, oriundo da interpretação visual das imagens, foi digitalizado e sobreposto (registrado) ao PI contendo os elementos da toponímia (rios, drenagem, estradas). Outro PI foi elaborado a partir do resultado da classificação digital Maxver referente ao período seco. Este PI foi também sobreposto ao PI contendo o mapa de vegetação e uso da terra, elaborado a partir da interpretação visual de imagens, para mútua comparação através do cálculo do parâmetro  $k$  (kappa), assumindo este último PI como referência.

No cálculo do parâmetro  $k$ , utilizou-se o programa desenvolvido por Ponzoni & Almeida (1996), e foram coletadas amostras, observando o monitor do equipamento, segundo dois critérios, sendo um denominado sistemático

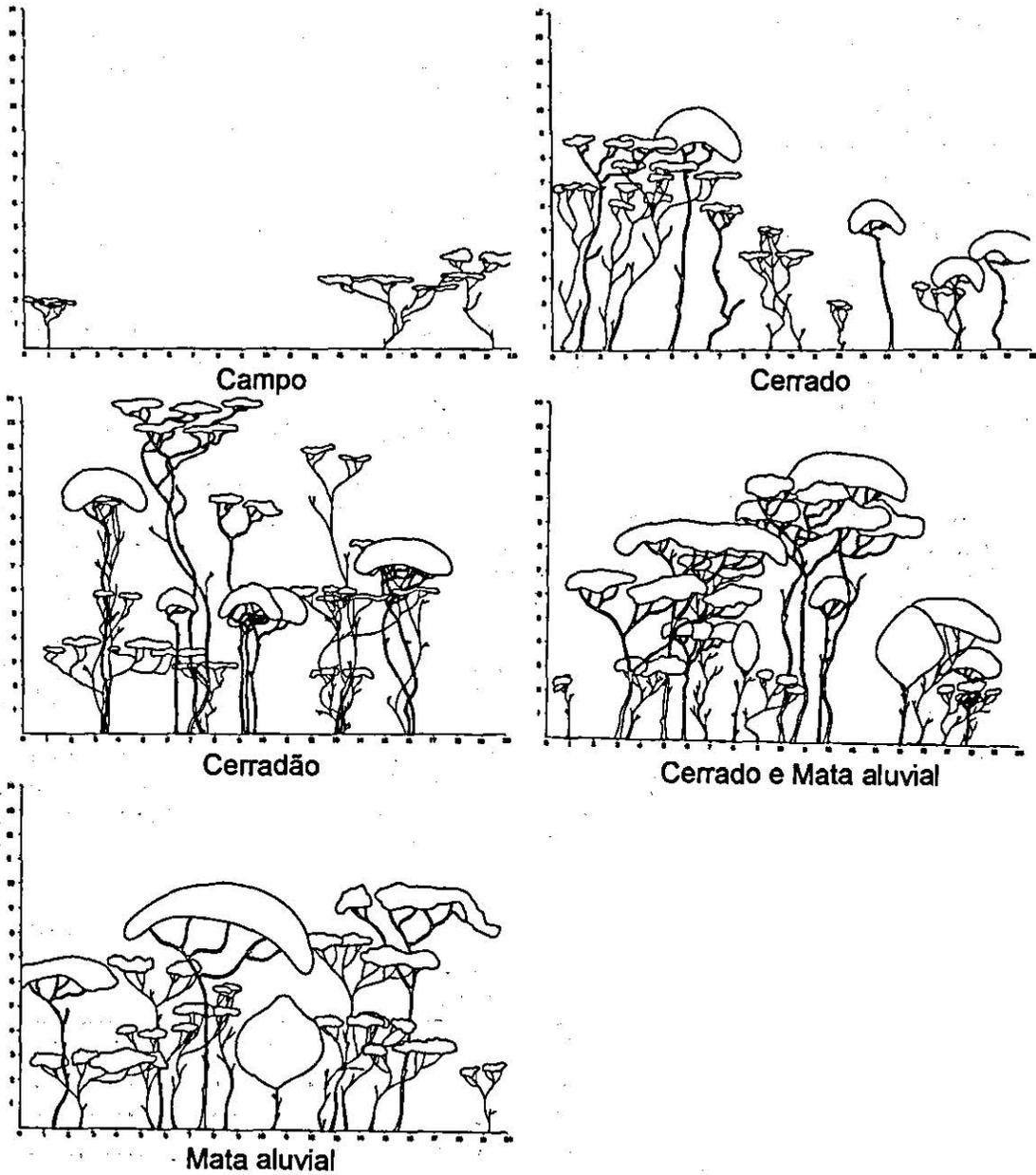


FIG. 1 Perfis dos itens da legenda referentes à vegetação arbórea (medidas dos eixos em metro).

e outro aleatório. No primeiro, o operador selecionava áreas amostrais na tela do equipamento movimentando o cursor segundo um número pré-estabelecido de pontos, de forma a percorrer toda a área da folha considerada. No segundo (aleatório), o operador selecionava áreas amostrais ao acaso na tela do monitor.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

**Interpretação visual de imagens dos mapas temáticos elaborados**

A Tabela 1 apresenta o desempenho de separabilidade visual entre os itens da legenda utilizando

imagens HRV/SPOT. A primeira coluna e a segunda linha mostram de forma ordenada as classes de mapeamento. Os valores de desempenho apresentados pelas classes são mostrados da 2ª até a 10ª colunas. Os valores da classe 6 (formação alterada) não foram considerados, uma vez que esta classe apresentou várias formas e tipos de vegetação e por conseguinte, tornou impossível realizar este tipo de avaliação. A classe 8 (culturas agrícolas implantadas) não foi possível de ser avaliada porque a imagem de 1987 não apresentava áreas com este item. Observa-se que as classes 7 (áreas destinadas à agropecuária) e 9 (espelho d'água) apresentaram o melhor desempenho, cujas avaliações foram consideradas como excelentes (\*\*\*\*), concluindo-se que áreas destinadas à agropecuária e corpos d'água foram bem discriminados. Verificou-se, também, que as classes 2 (Cerrado) e 3 (Cerradão), quando comparadas com a classe 1 (Campo), apresentaram resultados de separabilidade considerados regulares (\*\*).

A Tabela 2 apresenta a performance de separabilidade visual entre as classes utilizando imagens TM/Landsat. Observou-se que os melhores desempenhos de separabilidade das classes foram verificados nas classes 7 (áreas destinadas à agropecuária), 8 (culturas agrícolas implantadas) e 9 (espelho d'água). Verificou-se ainda que as classes 2 (Cerrado) e 3 (Cerradão) apresentam desempenhos considerados péssimos (\*) quando comparadas com a classe 4 (Cerrado + Mata aluvial).

Se todos os valores de separabilidade entre as classes fossem excelentes (\*\*\*\*), excluindo as classes 6 e 8, pelas considerações expostas anteriormente, resultaria num total de 84\*. E se todos os classes obtivessem desempenho de separabilidade péssimo (\*), resultaria num total de 21\*. Observou-se que as imagens HRV/SPOT e TM/Landsat apresentaram 71\* (84,5%) e 66\* (78,6%) respectivamente, o que resulta num desempenho compreendido entre bom e excelente. O desempenho do HRV/SPOT foi ligeiramente superior ao TM/Landsat, principalmente na separabilidade entre a classe 4 das classes 2 e 3.

A principal limitação do uso de imagens analógicas reside nos ganhos e "off set", que são atribuídos às cores, e que nem sempre poderão garantir a identificação de temas, como aqueles aqui identificados. As imagens SPOT, por exemplo, apresentaram um contraste ligeiramente maior entre os temas em função de uma escolha, provavelmente, mais cuidadosa destes parâmetros por parte dos operadores responsáveis pela produção da imagem.

A análise do resultado da interpretação visual das áreas ocupadas pelos espelhos d'água, nas imagens referentes ao período de cheias, revelou que a fisionomia de Campo foi a mais afetada. Contudo, Ponzoni & Hernandez Filho (1988) encontraram resultado semelhante no mapeamento fisionômico da cobertura vegetal do Parque Nacional do Pantanal

TABELA 1. Desempenho de separabilidade visual entre as classes: HRV/SPOT.

| Classe | HRV/SPOT |    |     |      |     |   |      |   |      |
|--------|----------|----|-----|------|-----|---|------|---|------|
|        | 1        | 2  | 3   | 4    | 5   | 6 | 7    | 8 | 9    |
| 1      |          | ** | **  | **** | *** | - | **** | - | ***  |
| 2      |          |    | *** | ***  | *** | - | **** | - | **** |
| 3      |          |    |     | ***  | **  | - | **** | - | **** |
| 4      |          |    |     |      | **  | - | **** | - | **** |
| 5      |          |    |     |      |     | - | **** | - | **** |
| 6      |          |    |     |      |     |   | -    | - | -    |
| 7      |          |    |     |      |     |   |      | - | **** |
| 8      |          |    |     |      |     |   |      |   | -    |
| 9      |          |    |     |      |     |   |      |   |      |

TABELA 2. Desempenho de separabilidade visual entre as classes: TM/Landsat.

| Classe | TM/Landsat |    |     |      |      |   |      |      |      |
|--------|------------|----|-----|------|------|---|------|------|------|
|        | 1          | 2  | 3   | 4    | 5    | 6 | 7    | 8    | 9    |
| 1      |            | ** | *** | **** | **** | - | **** | **** | ***  |
| 2      |            |    | **  | *    | ***  | - | **** | **** | **** |
| 3      |            |    |     | *    | **   | - | **** | **** | **** |
| 4      |            |    |     |      | **   | - | **** | **** | **** |
| 5      |            |    |     |      |      | - | **** | **** | **** |
| 6      |            |    |     |      |      |   | -    | -    | -    |
| 7      |            |    |     |      |      |   |      | ***  | **** |
| 8      |            |    |     |      |      |   |      |      | **** |
| 9      |            |    |     |      |      |   |      |      |      |

Mato-grossense, mas em seus trabalhos de campo foi constatado que a água esteve presente em fisionomias arbóreas, embora sua presença fosse ocultada pela predominância da reflectância do topo do dossel, em detrimento da reflectância da água.

### Processamento de imagens digitais

Como mencionado em Processamento de Imagens Digitais, na etapa de processamento de imagens digitais, somente considerou-se a área da folha Pedro Gomes e as imagens TM/Landsat.

A composição colorida elaborada a partir das imagens dos primeiros componentes principais das imagens das bandas TM do visível (bandas 1, 2 e 3) e do infravermelho médio (bandas 5 e 7), e ainda a imagem da banda do infravermelho próximo (banda 4), nos filtros azul, verde e vermelho, respectivamente, permitiu maior contraste entre os temas da legenda, quando comparada com a composição colorida do produto analógico. Este resultado permitiu que fossem identificadas com maior facilidade as amostras de cada tema existente na legenda visando ao procedimento de classificação MAXVER.

A área da folha Pedro Gomes, que foi introduzida no SGI, e o mapa temático elaborado na etapa de interpretação visual de imagens, que foi considerado como referência, foram comparados entre si através do parâmetro  $k$  (kappa). Esta comparação de ambos os PIs resultou nos seguintes valores mostrados na Tabela 3.

Os valores de  $Z$  referem-se à significância do intervalo de confiança apresentado, a 5% de significância. Uma vez que estes valores superaram o valor de 1,96, considera-se que há 95% de chance de que o verdadeiro valor de  $k$  esteja contido no intervalo de confiança apresentado.

**TABELA 3. Valores de  $k$  para os critérios sistemático e aleatório.**

| Critério    | Limite inferior | Kappa     | Limite superior | Z      |
|-------------|-----------------|-----------|-----------------|--------|
| Sistemático | 0,0990414       | 0,1001930 | 0,101344        | 170,58 |
| Aleatório   | 0,0984443       | 0,0999471 | 0,101450        | 15,34  |

Pelos agrupamentos estabelecidos por Landis & Koch (1977), tanto o critério sistemático quanto o aleatório apresentaram índice "ruim" de similaridade ou de qualidade de ajuste entre os PIs, indicando que o mapa temático resultante da classificação digital MAXVER foi muito diferente daquele elaborado a partir da interpretação visual de imagens.

### CONCLUSÕES

1. A avaliação da separabilidade visual entre os itens da legenda apresenta a ligeira superioridade de desempenho das imagens HRV/SPOT em relação às imagens TM/Landsat; as classes 7 (áreas destinadas à agropecuária) e 9 (espelho d'água) apresentam o melhor desempenho; os melhores desempenhos de separabilidade das classes, nas imagens TM/Landsat, são observados nas classes 7 (áreas destinadas à agropecuária), 8 (culturas agrícolas implantadas) e 9 (espelho d'água).

2. A técnica de componentes principais aplicada sobre as imagens TM/Landsat e a elaboração de uma composição colorida com as imagens resultantes mostram-se eficazes na ampliação do contraste visual entre os temas da legenda, e melhoram a qualidade visual, facilitando a seleção de amostras durante a etapa de treinamento inerente ao algoritmo Maxver.

3. O algoritmo de classificação Maxver não apresenta desempenho satisfatório no mapeamento fitofisionômico e de uso da terra da área de estudo.

### REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto Radambrasil. Folha SE-21 Corumbá e parte da folha SE-20. Rio de Janeiro, 1982. 452p. (Levantamento de Recursos Naturais, 27).
- HERNANDEZ FILHO, P.; DUTRA, L. V.; AMARAL, S. Resultados preliminares da análise visual de dados SAREX e descrição das atividades de campo na Floresta Nacional do Tapajós. São José dos Campos: INPE, 1994. (INPE-5567-NCT/314).
- LANDIS, J.; KOCH, G.G. The measurements of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, v.33, n.3, p.159-174, 1977.
- PONZONI, F.J.; ALMEIDA, E.S. de. O parâmetro KHAT ( $k$ ) da análise multivariada discreta no contexto de um SIG. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador, BA. Anais... São José dos Campos: INPE, 1996.

- PONZONI, F. J.; HERNANDEZ FILHO, P. A fisionomia da cobertura vegetal do Parque Nacional do Pantanal Matogrossense (PNPM) identificada através do sensor TM/Landsat: uma análise temporal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5., 1988, Natal, RN. *Anals...* São José dos Campos: INPE, 1988. p.670-674.
- VELOSO, H.P.; OLIVEIRA FILHO, L.C. de; VAZ, A.M.S.F.; LIMA, M.P.M.; MARQUETE, R. *Manual técnico da vegetação brasileira*. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. (Série Manuais Técnicos em Geociências, 1).