

# MAPAS TEMÁTICOS UTILIZANDO DADOS DO SENSOR

## THEMATIC MAPPER DO SATÉLITE LANDSAT

LUÍS ANTONIO DE ANDRADE

Diretoria de Serviço Geográfico do Exército

### RESUMO

Desenvolve-se uma metodologia para a confecção de mapas temáticos na escala de 1:100.000 através de utilização de técnicas de processamento digital e análise visual de imagens de sensores remotos. Para o desenvolvimento da metodologia foi empregado o sensor Thematic Mapper do satélite LANDSAT e selecionada a área de Formosa, GO, de coordenadas  $\varphi = 15^{\circ} 30' / 15^{\circ} 37' 30''$  Sul e  $\lambda = 47^{\circ} 15' / 47^{\circ} 22' 30''$  Oeste de Greenwich. O estudo é baseado na análise de atributos espectrais, espaciais e temporais de dados digitais e de imagens em papel do TM LANDSAT, apoiado em dados prévios (mapas geológicos, topográficos, pedológicos, aptidão agrícola, etc), bem como em dados de campo, enfocando características gerais de paisagem de interesse na pesquisa. A principal contribuição do trabalho é possibilitar a confecção de mapas temáticos utilizando imagens de satélites, bem como permitir a constante atualização de mapas já existentes.

### ABSTRACT

A methodology for the elaboration of thematic maps in the scale 1:100.000 is developed. Techniques of digital processing and visual analysis of remote sensing images were used. The thematic mapper sensor of the Landsat Satellite was employed and the selected area of study was Formosa (GO), with coordinates ( $\varphi = 15^{\circ} 30' / 15^{\circ} 37' 30''$  south and  $\lambda = 47^{\circ} 15' / 47^{\circ} 22' 30''$  west). The analysis of the spectral, spatial and temporal attributes of digital and photographic paper images of the Thematic Mapper Landsat helped by ancillary data (pedology, topography, geology, potential agriculture use, etc) and ground observations of surficial characteristics constitute the framework for this paper. The principal contribution of the work is to make possible the use of thematic maps through satellite images as well allow a constant updating of existent maps.

## 1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

### 1.1 INTRODUÇÃO

A Diretoria de Serviço Geográfico do Exército, responsável direta pelo Mapeamento Sistemático do Território Nacional nas escalas de 1:250.000 e maiores, iniciou, a partir de 1978, a confecção de Cartas Temáticas de interesse do Exército utilizando para tal fim métodos convencionais. As cartas em questão apresentam, como base, uma carta topográfica, sendo seus temas transferidos para a base através de trabalhos de campo.

Com o advento das imagens de satélites, principalmente após o lançamento do satélite LANDSAT 5, no dia 01 de março de 1984, equipado com o sensor TM, com o desenvolvimento das técnicas de processamento de imagens e com o surgimento de novos algoritmos de classificação de imagens digitais, surgiu a possibilidade de a Diretoria de Serviço Geográfico utilizar estes recursos, fornecidos pelo Instituto de Pesquisas Espaciais, visando minimizar os trabalhos de campo, bem como melhorar a qualidade final dos produtos a que se propôs a confeccionar.

O trabalho em questão objetiva desenvolver uma metodologia de confecção

de novos produtos, bem como adaptá-los para o aprimoramento da confecção de cartas temáticas de interesse da DSG.

Os trabalhos de gabinete foram realizados no INPE utilizando imagens do sensor TM, nas bandas selecionadas como as mais apropriadas para a separação das classes de interesse temático. Foram utilizadas também imagens de razão entre canais, classificação não supervisionada objetivando a integração de dados provenientes de interpretação visual e processamento digital.

Os trabalhos de campo foram realizados em Formosa, GO para cuja realização foram usadas imagens em papel na escala de 1:100.000, uma carta geológica, na escala de 1:250.000, do Projeto Goiânia, do DNPM (Brasil, DNPM, 1968), uma carta topográfica na escala de 1:100.000 da DSG (Brasil, MEx/DSG, 1967), bem como mapas de reconhecimento de solos e de aptidão agrícola da EMBRAPA na escala de 1:250.000 (EMBRAPA, 1983).

### 1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

A presente pesquisa tem como objetivo principal a extração de dados de ima-

gens de satélites através da utilização de técnicas de processamento digital e a análise visual de produtos de sensores remotos visando desenvolver uma metodologia para a confecção de mapas temáticos de aplicação militar na escala de 1:100.000.

Considerando os padrões planimétricos de exatidão cartográfica exigidos pela Comissão de Cartografia (COCAR, 1985), bem como a escala de trabalho citada anteriormente, optou-se pelo sensor TM em virtude de ser, até o presente momento, o sensor orbital de maior resolução espacial e espectral disponível, o qual poderá atender os padrões de exatidão, desde que haja pontos de controle suficientes para o ajuste. Vale ressaltar as várias aplicações por órgãos como o US Geological Survey na confecção de mapas temáticos a partir de imagens de satélites (Cotvocoresses, 1984).

O estudo baseia-se na análise de atributos espectrais, espaciais e temporais de dados digitais e de imagens em papel do TM LANDSAT, apoiado em dados prévios, bem como em dados de observação de campo, enfocando características gerais de paisagem de interesse da pesquisa.

### 1.3 PLANO GERAL SEGUIDO

O plano seguido na pesquisa é o constante do fluxograma apresentado na figura 01 onde podem ser observadas todas as fases da pesquisa até a obtenção dos produtos temáticos finais.

## 2. A ÁREA DE TRABALHO

### 2.1 LOCALIZAÇÃO

A área escolhida para a confecção dos produtos foi a definida pelas coordenadas geográficas  $\varphi = 15^{\circ} 30' / 15^{\circ} 37' 30''$  Sul e  $\lambda = 47^{\circ} 15' / 47^{\circ} 22' 30''$  Oeste de Greenwich.

### 2.2 JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DA ÁREA

Dentre as vantagens apresentadas pela área selecionada para a execução do trabalho, destacam-se as seguintes:

- a) a representatividade do ambiente morfoclimático e fitogeográfico que é característico de grande extensão do território nacional;
- b) facilidade para a realização dos trabalhos de campo, tendo em vista o apoio logístico fornecido pela 2a DL;
- c) a área apresentar um grande número de alvos de interesse temático;
- d) a área possuir estações seca e chuvosa bem definidas, o que permite explorar o atributo sazonal de imagens orbitais;
- e) existência de cartas temáticas confeccionadas por métodos convencionais que

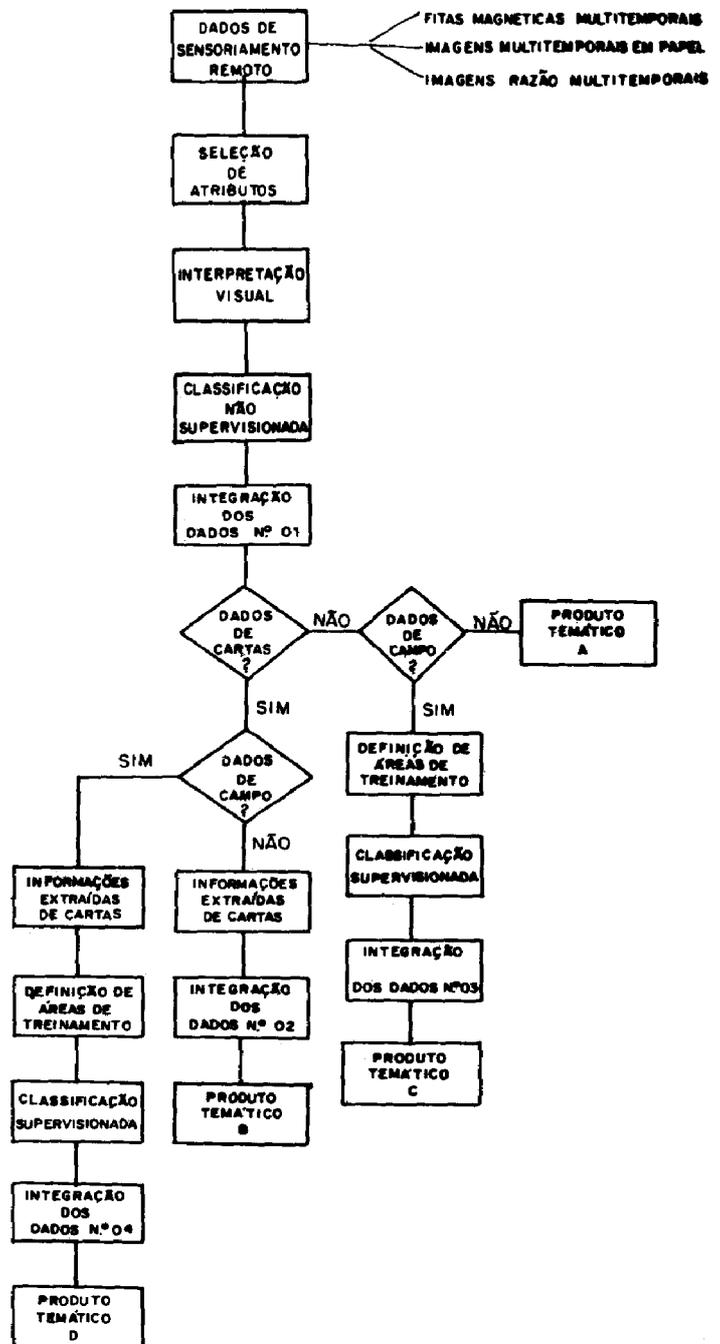


Fig 01 - Fluxograma geral do trabalho

servirão como termo de comparação dos produtos a serem desenvolvidos no presente estudo.

### 2.3 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA

#### 2.3.1 CLIMA

A área de trabalho, localizada na Região Centro Oeste do Brasil, possui um clima tropical de domínio climático quente com subdomínio semi-úmido, onde se estende o cerrado. O subdomínio semi-úmido é caracterizado pela existência de 4 a 5 meses secos.

#### 2.3.2 GEOLOGIA

A área de trabalho contém rochas do

Pré-Cambriano, Cenozóico e Quaternário.

No Proterozóico superior destaca-se o Grupo Bambuí que se apresenta subdividido, da base para o topo, nas formações Paranoá e Paraopeba, segundo Braun (1968).

O terciário é representado por uma cobertura detrítico-laterítica.

No quaternário destacam-se os depósitos aluvionais, predominantemente arenosos, os quais ocorrem preenchendo as calhas do rio.

### 2.3.3 SOLOS

Na área de trabalho são encontrados: Latossolo Vermelho Escuro, Latossolo Vermelho Amarelo e Cambissolo, segundo EMBRAPA (1983).

### 2.3.4 VEGETAÇÃO

A vegetação predominante e típica da área de trabalho é o cerrado.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1.1 O SENSOR TM DO SATÉLITE LANDSAT

Foi utilizado o sensor TM do satélite Landsat 4 que apresenta imagens em sete bandas espectrais distintas, sendo seis delas mais sensíveis à radiação emitida. Os intervalos de comprimento de onda de cada banda e suas aplicações potenciais (Freden and Gordon Jr, 1983) são mostradas na tabela 01.

TABELA 01

### BANDAS DO TM, INTERVALO DE COMPRIMENTO DE ONDA E APLICAÇÕES

BANDA	INTERVALO DE COMPRIMENTO DE ONDA ( $\lambda$ EM $\mu\text{m}$ )	APLICAÇÃO
1	0,45 - 0,52	Diferenciação solo/vegetação; diferenciação florestas decíduas e coníferas.
2	0,52 - 0,60	Reflectância do verde (vegetação sadia)
3	0,63 - 0,69	Diferenciação de espécies de plantas (absorção da clorofila).
4	0,76 - 0,90	Levantamento da biomassa; redes de drenagem.
5	1,55 - 1,75	Unidade da vegetação.
6	10,40 - 10,50	Mapeamento termal, "stress"
7	2,08 - 2,35	Mapeamento de alteração hidrotermal

Fonte: Freden and Gordon Jr, 1983

### 3.1.2 PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO OBTIDOS NO INPE

No INPE, em Cachoeira Paulista são obtidos, dentre outros, os dois produtos básicos na confecção deste trabalho. A seqüência da obtenção é mostrada na figura 02.

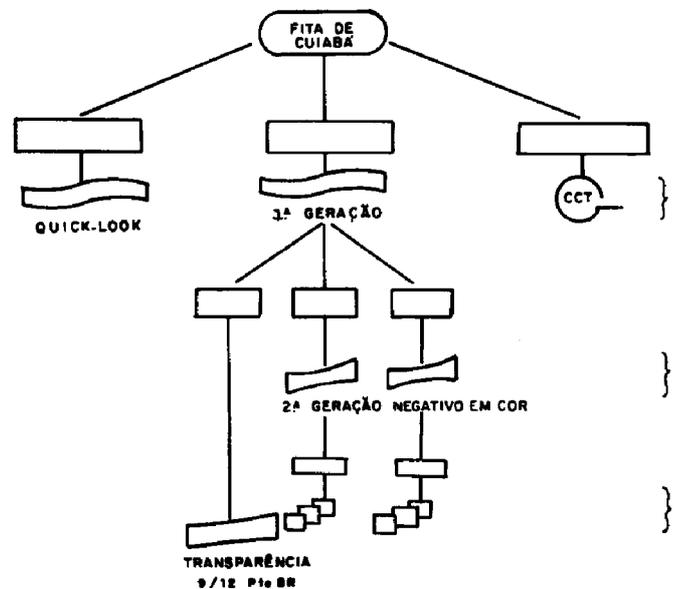


Fig. 02 - Genealogia dos Produtos LANDSAT, no INPE

A fita magnética CCT é obtida por processamento eletrônico através da realização da reamostragem para a correção dos efeitos de alta frequência. Tal fita é um produto digital e pode abranger uma imagem inteira (185 x 185 km) ou apenas um quadrante (92,5 x 92,5 km).

A imagem em filme também se origina de um processamento eletrônico em primeira geração e de processamentos fotográficos em gerações posteriores, dependendo do que se deseja, até se chegar a transparências ou imagens em papel na escala de 1:100.000. No produto em apreço as correções de alta frequência seriam adicionadas às correções de baixa frequência para a correção final da imagem no "Electron Beam Recorder". As correções de baixa frequência, aplicadas à imagem incluem os efeitos devidos ao movimento do satélite, atitude, distorções de perspectiva, rotação e curvatura da Terra, projeções utilizadas e são modeladas por uma matriz de pontos de corte regularmente distorcidos na imagem.

### 3.1.3 IMAGENS TM MULTISAZONAIS

Foram utilizadas imagens em papel do sensor Thematic Mapper, objetivando a realização da interpretação visual da área de trabalho. As referidas imagens foram obtidas através de ampliação dos originais relativos às bandas 3,4 e 5 em virtude de elas terem sido relacionadas como as mais significativas para a separação das classes de interesse temático. As imagens utilizadas foram TM 221-71A de 24 de abril e 11 de junho de 1984.

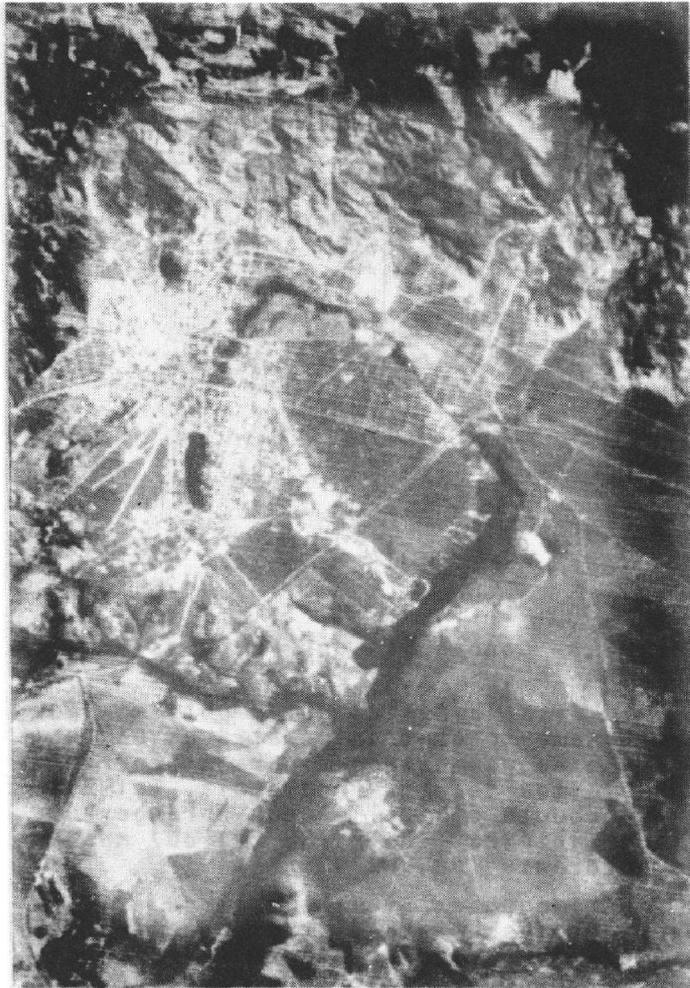


Fig. 03 - Imagem em papel, na escala de 1:100.000 sensor TM - Canal 5 - (Época Chuvosa - 24 Abr 84)

### 3.1.4 FITAS MAGNÉTICAS TM MULTISAZONAIS

As fitas em apreço foram utilizadas visando o processamento digital de imagens. No trabalho em questão foram obtidas imagens "ratio" (razão de canais), bem como imagens classificadas através da utilização dos algoritmos de classificação não supervisionados (K-MEDIAS) e supervisionados (MAXVER).

### 3.1.5 CARTAS TOPOGRÁFICAS

Foi utilizada a Carta Topográfica MI 2216, Formosa, da DSG, na escala de 1:100.000 (Brasil - MEX/DSG, 1967), para a obtenção de produtos cartográficos, utilizando imagens de satélite.

### 3.1.6 MAPA GEOLÓGICO

Foram utilizados dados extraídos do mapa geológico Folha SD.23-Y-C, Brasília, do DNPM, escala de 1:250.000 de 1968 (Brasil - DNPM, 1968).

### 3.1.7 MAPA DE RECONHECIMENTO DE SOLOS

Foi utilizado o Mapa de Reconhecimento de Solos da EMBRAPA, referente à folha SD.23-Y-C, Brasília, na escala de 1:250.000, de 1983 (EMBRAPA, 1983).

### 3.1.8 MAPA DE APTIDÃO AGRÍCOLA

Foi utilizado o Mapa de Aptidão agrícola da EMBRAPA, referente a folha SD.23-Y-C, Brasília, na escala de 1:250.000 de 1983 (EMBRAPA, 1983).

### 3.1.9 FOTOS EXTRAÍDAS DO VIDEO DE TV DO ANALISADOR DE IMAGENS DIGITAIS

Foram utilizados, no trabalho, fotos extraídas do video de TV do Analisador de Imagens Multiespectrais, Image-100 (GE, 1975) do Laboratório de Tratamento de Imagens Digitais, com o objetivo de auxiliar a interpretação visual e a classificação digital.

### 3.1.10 CARTA MILITAR

A Carta Temática em questão foi utilizada para servir de base de comparação com os produtos desenvolvidos no presente trabalho.

## 3.2 METODOLOGIA

### 3.2.1 SELEÇÃO DE ATRIBUTOS

#### 3.2.1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Considerando que o sensor TM do satélite LANDSAT possibilita a execução de trabalhos com resolução espacial de 30 metros em seis bandas espectrais distintas, considerando o fato de que as divisões de bandas em virtude de ser provenientes de transformações não-lineares poderão fornecer informações não enfatizadas nas bandas originais, e considerando, ainda, que existe um compromisso muito importante entre o número de atributos ou canais utilizados numa abordagem de sensoriamento remoto e o tempo computacional empregado (Swain and King, 1973) procurou-se nesta fase de trabalho, realizar uma seleção de atributos como meio de reduzir a dimensionalidade de dados. Esta fase foi realizada em três etapas. A primeira etapa visou a escolha das quatro melhores bandas dentre as seis disponíveis, tanto na passagem representativa do período seco quanto na do chuvoso. Na segunda etapa selecionaram-se as quatro divisões de canais dentre as doze visualmente mais representativas também nos dois períodos. Finalmente, considerando os resultados obtidos nas duas primeiras etapas escolheram-se as quatro bandas representativas de cada período entre canais originais e divisões de canais.

Deixou-se de considerar as bandas provenientes de transformações por componentes principais devido ao fato de elas serem oriundas de transformações lineares não trazendo, conseqüentemente nenhuma informação do ponto de vista da classificação multiespectral para a definição dos alvos de interesse do trabalho.

A escolha de um número de quatro bandas representativas de cada período baseou-se no fato de ser de 4 a limitação máxima para as bandas dos algoritmos

de classificação que serão utilizados nas fases subseqüentes do trabalho.

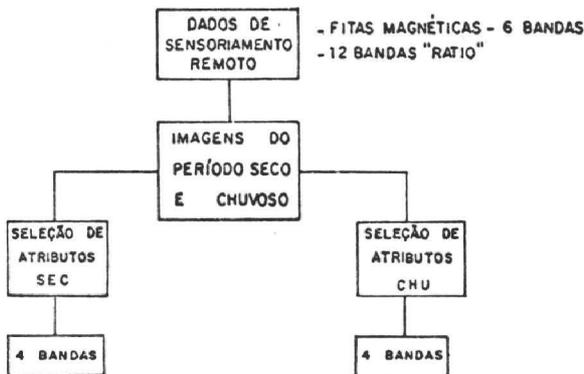


Fig. 04 - Esquema de Seleção de Atributos

### 3.2.1.2 CONSIDERAÇÕES PRÁTICAS

Visando atingir os objetivos definidos na Seção anterior foram selecionadas, inicialmente, 10 classes com um total de 48 amostras para a época seca. As classes selecionadas foram água (144 "pixels"), mata galeria (188 "pixels"), área urbana (280 "pixels"), cultura 1 (408 "pixels"), cerrado 1 (1368 "pixels"), cerrado 2 (308 "pixels"), área úmida (164 "pixels"), cultura 2 (108 "pixels"), cultura 3 (180 "pixels"), e escarpa (420 "pixels"). Posteriormente, selecionaram-se 9 classes com um total de 39 amostras para a época chuvosa. As classes selecionadas foram: água (108 "pixels"), mata galeria (188 "pixels"), área urbana (280 "pixels"), cultura 1 (272 "pixels"), cerrado 1 (784 "pixels"), cerrado 2 (336 "pixels"), cultura 2 (108 "pixels"), cultura 3 (180 "pixels"), e escarpa (420 "pixels"). I, e Dutra (1983) descrevem com detalhe os programas utilizados.

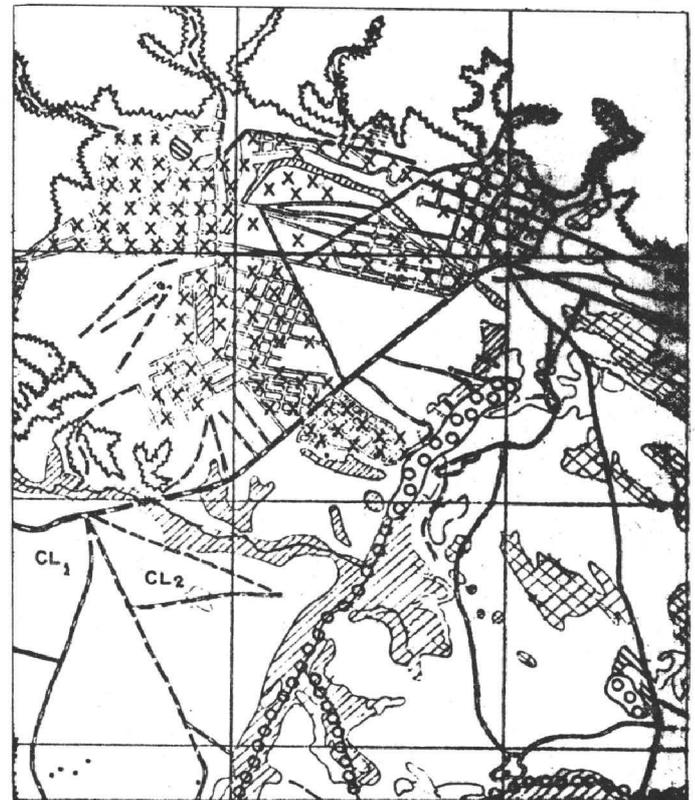
A seleção de atributos foi realizada da seguinte forma:

- seleção das 4 melhores bandas do TM, dentre as 6 disponíveis, referentes à época seca, utilizando os métodos descritos anteriormente;
- seleção dos 4 melhores "ratio", dentre 12 referentes à época seca;
- escolha das 4 bandas representativas da época seca, considerando os resultados dos dois primeiros critérios de seleção de atributos;
- seleção das 4 melhores bandas TM, dentre as 6 disponíveis, referentes à época chuvosa.
- seleção dos quatro melhores "ratio", dentre 12 referentes à época chuvosa;

f-) escolha das 4 bandas representativas da época chuvosa, considerando os resultados dos dois últimos critérios de seleção de atributos.

### 3.2.2 INTERPRETAÇÃO VISUAL DE DADOS

A interpretação visual objetiva extrair, de imagens em filme ou papel, a gama de dados necessários para a execução de determinado mapeamento. Conforme pode ser constatado na Tabela 01 as bandas do TM distribuem-se ao longo de faixas espectrais distintas e, consequentemente, os alvos de interesse devem ser extraídos por análise dos atributos espectrais e espaciais das bandas utilizadas. A figura 05 representa a interpretação visual da área de trabalho utilizando imagens da época seca. Conforme pode ser constatado foi possível separar alvos como rede viária, drenagem, mata-galeria, áreas cultiváveis, área urbana, áreas de cerrado, escarpas, etc. Foram utilizadas as bandas 3,4,5 e "ratio" 7/1, selecionadas como as mais eficazes na separação dos alvos de interesse do trabalho.



- |     |                     |       |            |
|-----|---------------------|-------|------------|
| —   | Rede Viária         | ▨     | Cerrado 2  |
| x x | Área Urbana         | ~     | Escarpa    |
| /// | Mata Galeria (mata) | o o o | Drenagem   |
| xxx | Cerrado 1           | CL1   | Cultura 1  |
| CL2 | Cultura 2           | ///   | Área Úmida |

Fig. 05 - Interpretação visual da área de trabalho utilizando as bandas 3,4,5 e 7/1 SEC, escala 1:100.000

Os alvos foram extraídos das diferentes bandas, conforme especificação da tabela 02. A época chuvosa não apresentou diferença marcante da época seca no que se refere à interpretação visual de dados. Houve apenas desaparecimento da área úmida.

TABELA 02

ALVOS INTERPRETADOS VISUALMENTE E BANDAS UTILIZADAS NA ÉPOCA SECA

ALVO	CANAL			
	3	4	5	7/1
REDE VIÁRIA	X		X	
ÁREA URBANA	X		X	
MATA GALERIA	X			
ÁGUA		X		X
CERRADO 1			X	X
CERRADO 2			X	X
CULTURA 1	X	X	X	X
CULTURA 2	X	X	X	X
ÁREA ÚMIDA		X	X	
ESCARPA	X	X	X	

### 3.2.3 IMAGENS CLASSIFICADAS COM CORREÇÃO GEOMÉTRICA

Foram utilizadas imagens classificadas com correção geométrica com base no trabalho da Matta e Silva et alii (1985).

São corrigidos os efeitos de alta frequência (perfil do espelho e variação no comprimento da linha) através da utilização de um algoritmo do tipo "vizinho mais próximo", bem como os de baixa frequência (efeitos devidos ao movimento do satélite, atitude, distorções de perspectiva, rotação da Terra, curvatura da Terra e projeções utilizadas) por meio de modelamento por uma matriz de pontos de corte regularmente distorcidos na imagem.

### 3.2.4 CLASSIFICAÇÃO DIGITAL NÃO-SUPERVISIONADA

Objetivando a obtenção de uma classificação digital, foi aplicado o algoritmo de classificação não-supervisionado K-médias. O algoritmo em questão tem a finalidade de determinar conjuntos segundo um critério de separação no espaço de atributos por distância euclidiana. A massa de dados é dividida em classes, de maneira não-supervisionada, ou seja, sem a interferência do usuário (Dutra et alii 1981). Tal algoritmo tem a capacidade de agrupar dados em até 32 classes (Santos et alii, 1982).

### 3.2.5 INFORMAÇÕES EXTRAÍDAS DE CARTAS

Considerando a existência de cartas (topográfica, pedológica, geológica, de vegetação, etc) da área por mapear, poderão ser delas extraídas uma grande quantidade de dados que possibilitarão enriquecer sobremaneira o conteúdo das informações obtidas através de imagens

de satélites, fitas magnéticas e imagens classificadas com o algoritmo K-médias.

Das cartas topográficas podem ser extraídos dados planimétricos não-identificáveis nas imagens de satélites, tais como rede de alta tensão, campo de pouso, cemitério, hospital, etc; além da rede de ambulatório (nomenclatura) completa de todos os alvos de interesse. Podem ser extraídos também dados altimétricos que, inseridos nas imagens de satélites, fornecem informações altimétricas. Tais cartas possibilitam também posicionar precisamente, em latitude e longitude, a área por mapear, através da facilidade da locação com precisão de seus cantos.

Das cartas geológicas, pedológicas, de vegetação, etc; podem se extrair dados que possibilitem enriquecer sobremaneira a classificação temática relativa à trafegabilidade de solos existentes nas cartas temáticas confeccionadas pela DSG.

### 3.2.6 TRABALHOS DE CAMPO

Foram realizados trabalhos de campo objetivando fazer uma verificação dos resultados obtidos em gabinete com a interpretação visual e a classificação digital K-médias.

Os trabalhos desenvolveram-se ao longo da área de trabalho e foram utilizadas, na sua realização, as imagens multitemporais classificadas com o algoritmo K-médias; a interpretação visual da área; as imagens multitemporais em papel nas bandas 3, 4 e 5; canais "ratio"; a carta topográfica da área na escala de 1:100.000; o mapa geológico ampliado para a escala de 1:100.000; bem como os mapas de solos e aptidão agrícola na escala ampliada de 1:100.000.

Os trabalhos foram realizados no mês de junho de 1985, aproximadamente um ano após a data da passagem relativa do período seco (22 de junho de 1984).

### 3.2.7 CLASSIFICAÇÃO DIGITAL SUPERVISIONADA

Objetivando uma classificação digital mais precisa procedeu-se a uma classificação supervisionada através do fornecimento ao sistema, pelo analista, do número total de classes, bem como das áreas de treinamento correspondentes a cada classe.

O sistema MAXVER destina-se à classificação ponto a ponto de imagens multiespectrais. O critério usado na classificação é o de máxima verossimilhança ("maximum likelihood"), segundo classes escolhidas interativamente pelo usuário (Velasco et alii, 1978).

O classificador é estatístico e o programa baseia-se na regra de decisão

por máxima verossimilhança, ou seja, a regra consiste em associar o padrão à classe para a qual ele tenha maior probabilidade de pertencer, tendo em vista as suas características ou atributos.

No sistema supõe-se que cada classe tem uma distribuição normal multidimensional, e a função densidade condicional do ponto (vetor aleatório)  $x$ , fornecida a classe  $w_i$ , é dada por:

$$P(x|w_i) = \frac{1}{(2\pi)^{n/2} |C_i|^{1/2}} \exp\left[-\frac{1}{2}(x-M_i)^T C_i^{-1} (x-M_i)\right],$$

onde:

- $n$  é o número de bandas,
- $x$  é um vetor  $n$ -dimensional (aleatório),
- $M_i$  é o vetor média da classe,  $i$ ,
- $C_i$  é a matriz de covariância da classe  $i$ ,
- $|C_i|$  é o determinante de  $C_i$ ,
- $C_i^{-1}$  é a matriz inversa de  $C_i$ .

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

##### 4.1 PRODUTOS DESENVOLVIDOS

Foram desenvolvidos, no decorrer do presente trabalho, quatro produtos que poderão ser utilizados por qualquer usuário, principalmente o Exército, tendo em vista os tipos de informações que poderão ser extraídas desses produtos.

O tipo de produto a ser confeccionado dependerá da disponibilidade de dados. Tais dados, já descritos anteriormente, poderão ser dados de sensoriamento remoto extraídos de imagens digitais, informações extraídas de cartas de diversos tipos e dados oriundos da realização de trabalhos de campo. A figura 01 ilustra a função de cada uma destes dados na obtenção dos diversos produtos.

Os produtos desenvolvidos são:

- . produto temático A
- . produto temático B
- . produto temático C
- . produto temático D

##### 4.1.1 PRODUTO TEMÁTICO A

O produto A é uma aplicação direta de dados de sensoriamento remoto para a confecção de cartas temáticas de interesse do Exército. Tal produto é o ideal para a utilização em áreas inacessíveis e desprovidas de qualquer outro tipo de documento cartográfico, tais como cartas topográficas, cartas geológicas, cartas pedológicas, etc.

É, portanto, um produto planimétrico preliminar, e seus cantos geográficos não coincidirão com os cantos corretos, tendo em vista o fato de serem oriundos de um enquadramento inicial em relação aos "TICK MARKS" (marcadores geográficos), tornando-os defasados dos verdadeiros cantos por problemas de posicionamento do satélite. Outros erros oriundos da ampliação para a escala de 1:100.000

poderão causar também deslocamento nos cantos.

A integração de dados necessários à confecção do produto temático A, apresentada na figura 06 nada mais é do que uma composição num só original dos dados extraídos da interpretação visual e classificação digital K-médias multitemporal, únicos dados presentes no produto temático em questão. Na legenda da tabela 03 encontram-se especificados os principais temas abordados no produto A.

##### 4.1.2 PRODUTO TEMÁTICO B

O produto B nada mais é do que o produto A enriquecido de dados cartográficos extraídos de cartas topográficas, geológicas, pedológicas, etc disponíveis em determinada área de trabalho. Tal produto é o ideal para a utilização em áreas inacessíveis quando se possuem outros dados cartográficos. Tem uma precisão bem maior que a do anterior em virtude da possibilidade de realização de ajustes entre o material de sensoriamento remoto e os dados cartográficos utilizados. Há também a possibilidade de extrair informações de nomes (rios, povoados, fazendas, informações geológicas, informações pedológicas, etc), as quais complementarão os dados extraídos de imagens em papel e fitas magnéticas. Chegará a ser um produto planialtimétrico, desde que a altimetria seja extraída de cartas topográficas.

A integração de dados necessários à confecção do produto temático B, apresentada na figura 07 nada mais é do que uma composição num só original dos dados extraídos da interpretação visual, classificação digital K-médias multitemporal e de cartas (geológicas, topográficas, pedológicas, etc). Na legenda apresentada na tabela 04 encontram-se especificados os principais temas abordados no produto B.

##### 4.1.3 PRODUTO TEMÁTICO C

O produto C é o produto A enriquecido de informações extraídas de trabalho de campo. Tais informações são divididas em dois grupos: aquelas coletadas através da definição de áreas de treinamento referentes a cada classe e aquelas oriundas da coleta no campo de dados de reambulação. As informações do primeiro grupo permitirão a execução de uma classificação digital supervisionada com um nível de precisão temático muito mais apurado do que a do produto A, enquanto as do segundo grupo servirão como complemento para os dados extraídos de fitas magnéticas e imagens em papel. Tal produto é o ideal para a utilização em áreas acessíveis e onde não se possua qualquer dado auxiliar (carta topográfica, geológica, vegetação, etc), possui precisão planimétrica idêntica ao do produto A e é me-

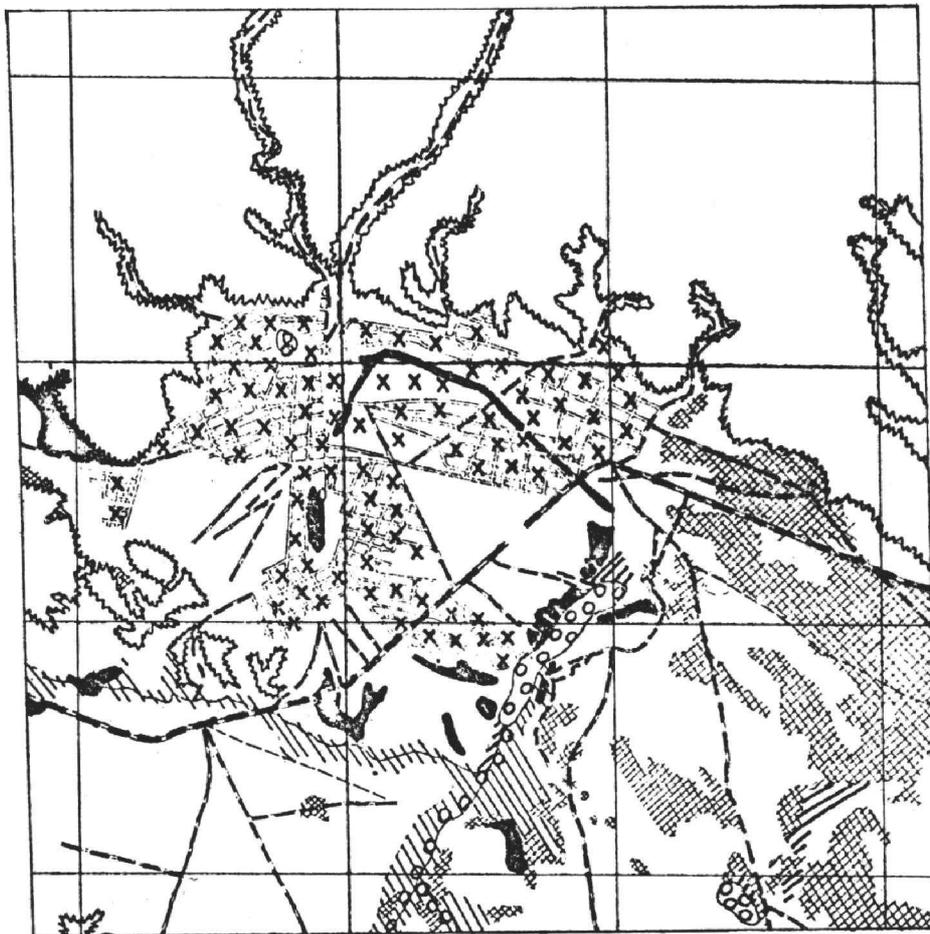


Fig. 6 - Integração de dados necessários à confecção do produto temático A, escala 1:100.000

TABELA 03

TEMAS ABORDADOS NO PRODUTO A

TEMA	REPRESENTAÇÃO	TRAFEGABILIDADE DOS SOLOS
Área Urbana	xxxxxxxxx	Trafegável em qualquer tempo.
Rede Viária	-----	Trafegável em qualquer tempo.
Mata Galeria	///////	Intrafegável em qualquer tempo.
Água	oooooooo	Intrafegável em qualquer tempo.
Área Úmida	///////	Intrafegável em tempo chuvoso e trafegável em tempo seco.
Escarpa	~~~~~	Intrafegável em qualquer tempo. $i > 60\%$ .
Cerrado 1	xxxxxxx	Trafegável com dificuldade em qualquer tempo.
Mata densa	—————	Intrafegável em qualquer tempo.
Cerrado 2, Cultura e outros.	———	Trafegável em qualquer tempo.

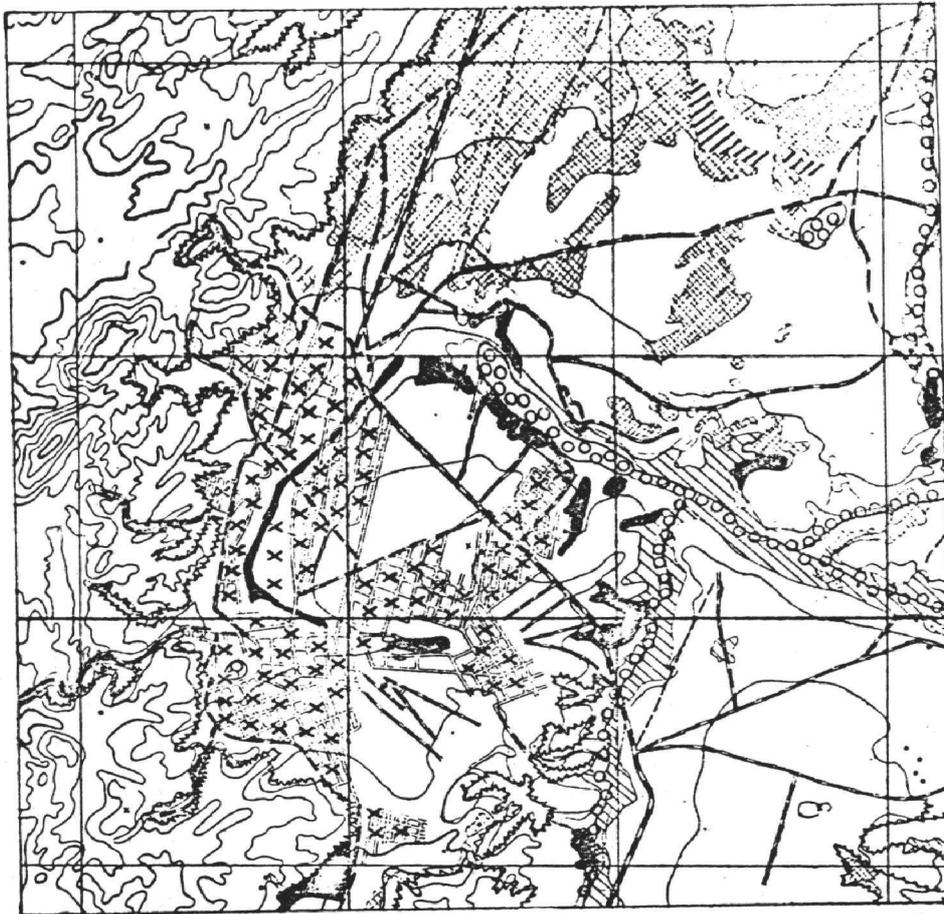


Fig. 07 - Integração de dados necessários à confecção do produto temático B, escala 1:100.000

TABELA 04

TEMAS ABORDADOS NO PRODUTO B

TEMA	REPRESENTAÇÃO	TRAFEGABILIDADE DOS SOLOS
Área Urbana	xxxxxxxxx	Trafegável em qualquer tempo.
Rede Viária	-----	Trafegável em qualquer tempo.
Mata Galeria	//////////	Intrafegável em qualquer tempo.
Água	ooooooooo	Intrafegável em qualquer tempo.
Área Úmida	\\\\\\\\\\\\	Intrafegável em tempo chuvoso e trafegável em tempo seco.
Escarpa	~~~~~	Intrafegável em qualquer tempo.
Cerrado 1	XXXXXXXXXX	Trafegável em qualquer tempo.
Mata densa	████████	Intrafegável em qualquer tempo.
Cerrado 2, Cultura e outros.	▬▬▬▬	Trafegável em qualquer tempo.
Curva de nível	∞	-
Nomenclatura	Rio Preto	-

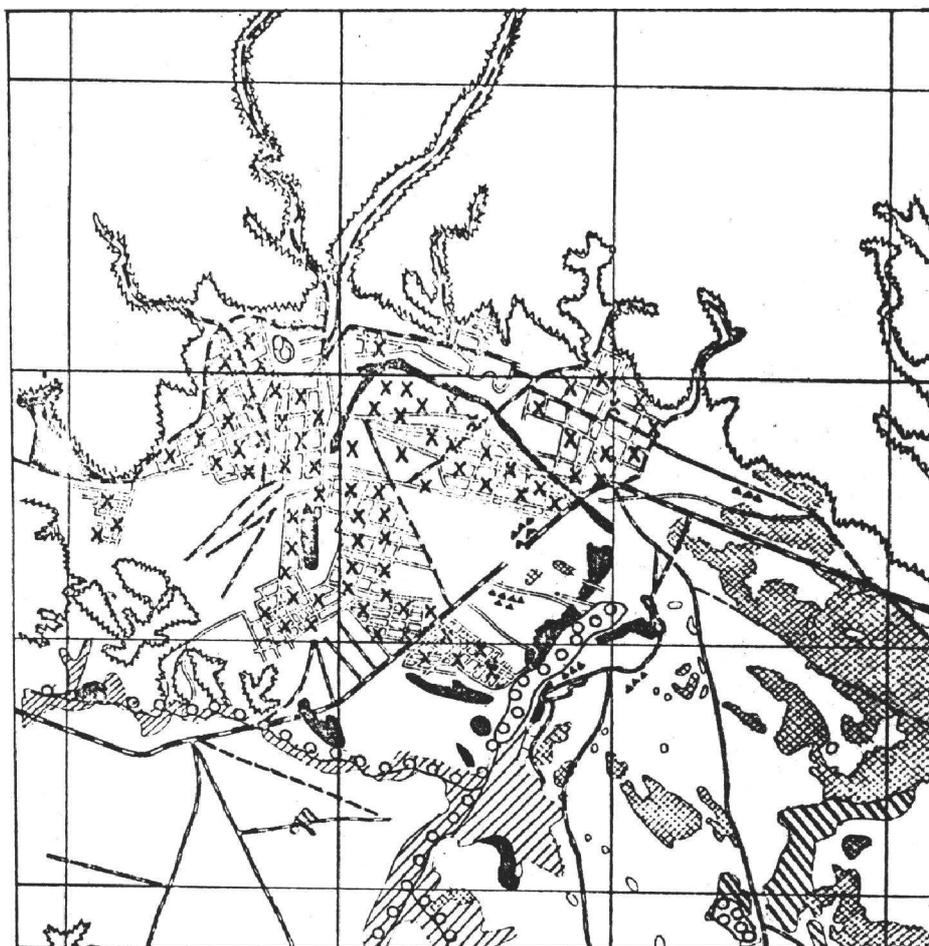


Fig. 08 - Integração de dados necessários à confecção do produto temático C, escala 1:100.000

TABELA 05

TEMAS ABORDADOS NO PRODUTO C

TEMA	REPRESENTAÇÃO	TRAFEGABILIDADE DE SOLOS
Área Urbana	xxxxxxxx	Trafegável em qualquer tempo.
Rede Viária	-----	Trafegável em qualquer tempo.
Mata Galeria	////////	Intrafegável em qualquer tempo.
Água	oooooooo	Intrafegável em qualquer tempo.
Área Úmida	\\\\\\\\	Intrafegável em tempo chuvoso e trafegável em tempo seco.
Escarpa	~~~~~	Intrafegável em qualquer tempo.
Cerrado 1	xxxxxxxxxx	Trafegável com dificuldade em qualquer tempo.
Mata Densa	████████	Intrafegável em qualquer tempo.
Queimada	△ △ △ △ △	Trafegável em qualquer tempo.
Cerrado 2, Cultura e Outros	▬▬▬▬	Trafegável em qualquer tempo.
Nomenclatura	Rio Preto	

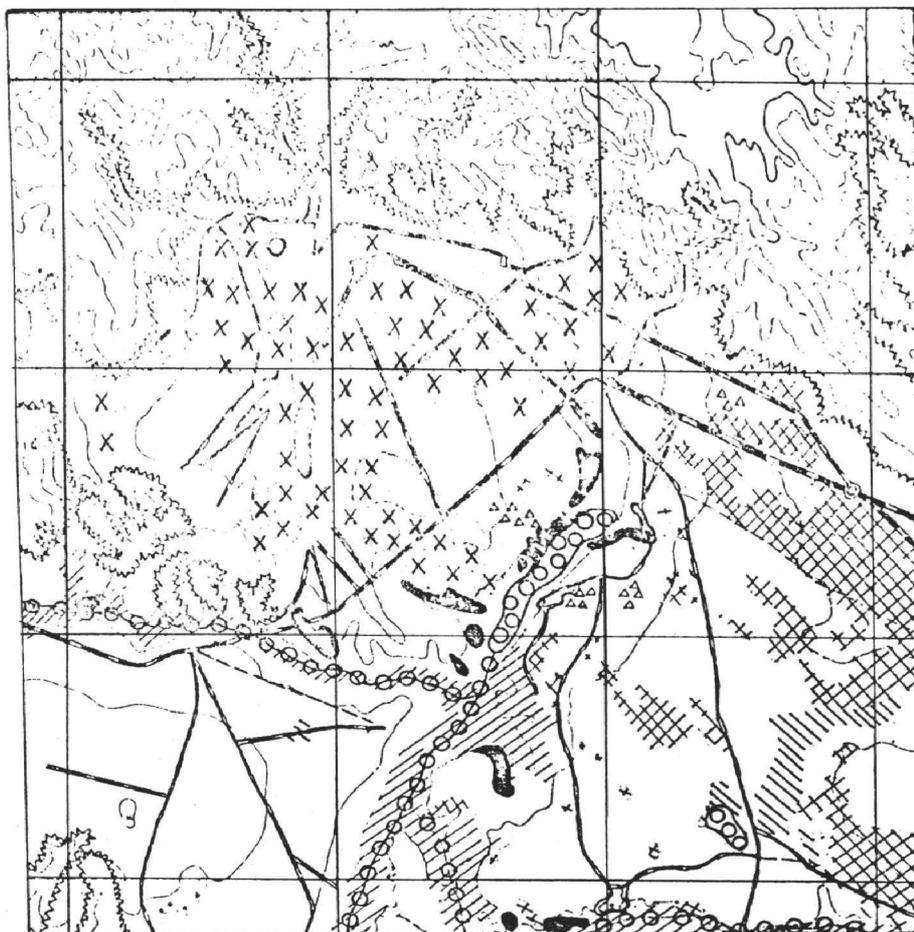


Fig. 09 - Integração de dados necessários à confecção do produto temático D, escala 1:100.000

TABELA 06

TEMAS ABORDADOS NO PRODUTO D

TEMA	REPRESENTAÇÃO	TRAFEGABILIDADE DE SOLOS
Área Urbana	xxxxxxxxx	Trafegável em qualquer tempo.
Rede Viária	-----	Trafegável em qualquer tempo.
Mata Galeria	/////////	Intrafegável em qualquer tempo.
Água	ooooooooo	Intrafegável em qualquer tempo.
Área Úmida	\\\\\\\\\\	Intrafegável em tempo seco e intrafegável em tempo chuvoso.
Escarpa	~~~~~	Intrafegável em qualquer tempo.
Cerrado 1	XXXXXXXXXX	Trafegável com dificuldade em qualquer tempo.
Mata Densa	██████████	Intrafegável em qualquer tempo.
Queimada	△ △ △ △ △	Trafegável em qualquer tempo.
Cerrado 2, Cultura e outros	▬	Trafegável em qualquer tempo.
Curva de nível	○	
Nomenclatura	Rio Preto	

hor do que este quanto ao aspecto temático.

A integração de dados necessários à confecção do produto temático C, apresentada na Figura 08 nada mais é do que uma composição num só original de dados extraídos da interpretação visual, classificação digital MAXVER multitemporal e trabalhos de campo. Na legenda apresentada na Tabela 05 encontram-se especificados os principais temas abordados no produto C.

#### 4.1.4 PRODUTO TEMÁTICO D

O produto D é o produto completo, pois, para a sua confecção lançou-se mão de todos os tipos de dados já definidos e especificados em produtos anteriores. Tal produto até poderia ser definido como "Carta Militar", desde que sejam realizados trabalhos de campo com aquele fim, isto é, fornecendo informações que ainda não podem ser extraídas de imagens de satélite nem de cartas topográficas normais, tais como especificação de pontes, dados referentes à velocidade de corrente de rios, medição de taludes, inclinação de rampas, etc. Da imagem de satélite seriam extraídos temas tais como trafegabilidade de solos, natureza de solos, etc.

A integração de dados necessários à confecção do produto temático D, apresentada na Figura 09, nada mais é do que uma composição num só original de dados extraídos da interpretação visual, classificação digital MAXVER multitemporal, trabalhos de campo e de cartas (geológicas, topográficas, pedológicas, etc). Na legenda apresentada na Tabela 06 encontram-se especificados os principais temas abordados no produto D.

#### 4.2. ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS PRODUTOS

Realizou-se um estudo comparativo entre os quatro produtos definidos anteriormente, onde se consideraram os seguintes aspectos: referência geográfica, exatidão cartográfica, precisão temática, reambulação e interesse militar.

##### 4.2.1 REFERÊNCIA GEOGRÁFICA

Quanto a este aspecto a precisão do posicionamento dos produtos A e C são equivalentes, pois em ambos, os cantos na escala de 1:100.000 apresentam um grau de imprecisão da ordem de 1,5 km em latitude e 200 metros em longitude. Este erro não é sistemático, pois é função exclusiva do posicionamento do satélite. No caso do produto C, a imprecisão de posicionamento pode ser corrigida, desde que se meçam no terreno, as coordenadas de dois pontos de apoio identificáveis na imagem.

Os produtos B e D, por terem seus cantos locados através da utilização de

dados extraídos de cartas topográficas, são bem mais precisos.

A imprecisão do produto A não inviabiliza sua confecção tendo em vista ser ele o único produto possível de ser confeccionado em áreas inacessíveis ou desprovidos de qualquer dado cartográfico.

##### 4.2.2 EXATIDÃO CARTOGRÁFICA

Quanto a este aspecto, a ordem de exatidão entre os produtos é D, B, C e A.

O D é o de maior exatidão porque na sua confecção são utilizados imagens, cartas e dados de campo que possibilitarão exatidão planialtimétrica compatível com a escala de 1:100.000. A informação altimétrica extraída das cartas topográficas enriquecerá sobremaneira o conteúdo dos produtos B e D.

O produto B, por ser desprovido de trabalhos de campo, pode ser considerado menos preciso que o D, muito embora o produto final seja praticamente idêntico ao primeiro.

O produto C, desde que se meçam, no terreno, as coordenadas de dois pontos de apoio, poderá apresentar exatidão cartográfica equivalente ao produto B.

O produto B é bem menos preciso que os anteriores, haja visto a imprecisão de seus cantos, já abordada em tópico anterior.

Para a definição do padrão de exatidão cartográfica, foram consideradas as especificações constantes das instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional. Foram alocados 15 pontos de controle extraídos de uma área de 7'30" x 7'30" de uma carta topográfica e da imagem TM correspondente, ambas na escala de 1:100.000. Para a avaliação do padrão dos produtos A e B (cantos locados com precisão na imagem), calculou-se o desvio padrão relativo aos pontos amostrados, obtendo-se 0,3867 que resultou em um padrão de exatidão cartográfica de 0,6435. Os resultados obtidos permitem afirmar que para a área em estudo, a imagem TM pode ser classificada como produto cartográfico de classe B. Para a área de estudo, os pontos de controle selecionados podem ser visualizados na Figura 10. A formulação utilizada para chegar ao resultado acima apresentado foi:

$$d = P_c - P_i \quad x = \frac{d_i}{n} \quad m = 0,3867$$

$$PEC = 1,664 \times 0,3867 = 0,6435$$

onde:

d = diferença entre o ponto na carta e o ponto na imagem,

x = média das diferenças,

m = desvio padrão (erro padrão),

PEC = Padrão de Exatidão Cartográfica = 1,664xm

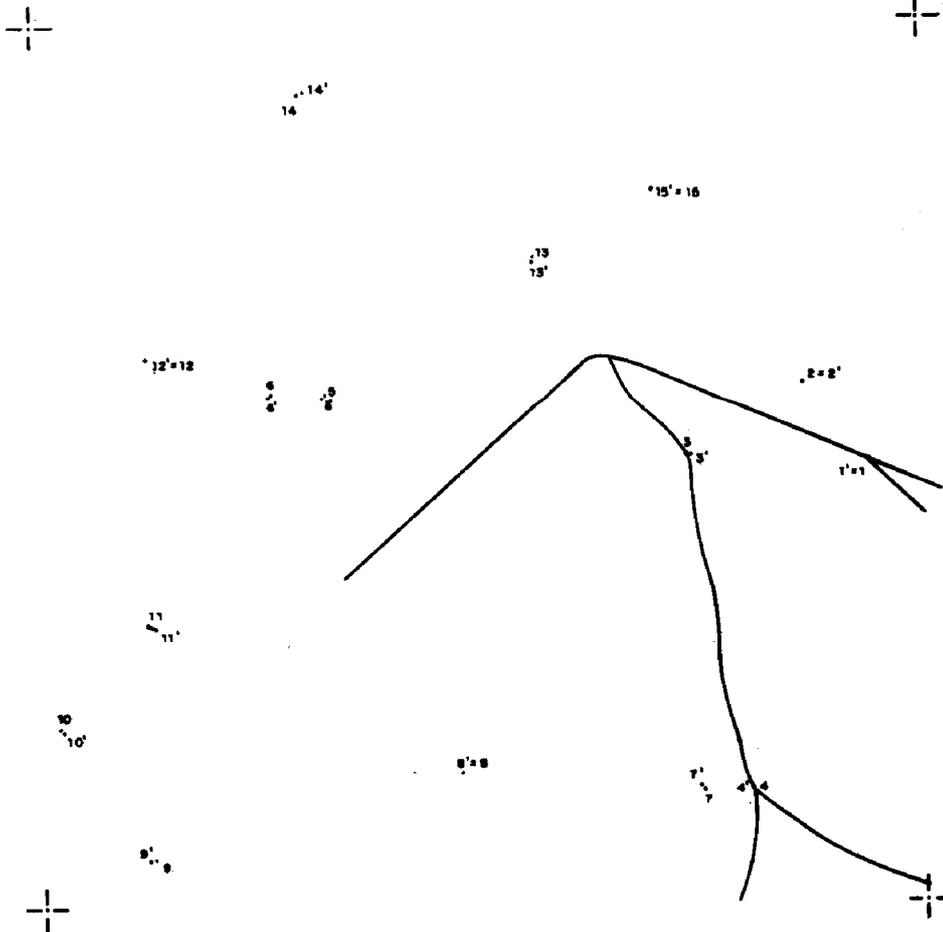


Fig. 10 - Pontos de controle selecionados para a avaliação do Padrão de Exatidão Cartográfica da imagem TM

#### 4.3 COMPARAÇÃO DOS PRODUTOS COM UMA CARTA MILITAR CONFECCIONADA PELA DSG USANDO MÉTODOS CONVENCIONAIS

Considerando a quantidade de informações contidas numa carta temática confeccionada pela DSG, utilizando métodos convencionais, procurou-se neste tópico realizar um estudo comparativo entre as informações fornecidas por uma carta militar confeccionada na região de Formosa, Goiás, escala 1:25.000 e os quatro produtos propostos no presente trabalho.

Como parâmetros comparativos consideram-se as "Informações Militares" constantes do rodapé da carta militar que são divididos em: vias de circulação, elementos planimétricos, características da lâmina d'água, características dos leitos dos rios, características das margens dos rios, obstáculos diversos e traçabilidade de solos.

No que se refere às vias de circulação, elas poderão ser perfeitamente extraídas de imagens TM em quaisquer dos produtos. Tal afirmação pode ser perfeitamente constatada comparando a redução da Carta Militar com a integração dos da

dos de quaisquer dos produtos. Quanto à classificação de via bem como informações relativas a solo e revestimentos constantes das tabelas 1 e 2, encontrados no rodapé das cartas militares logo após todas as "informações militares", concluiu-se que o produto D poderá fornecer com exatidão todos estes dados. Os produtos B e C poderão fornecer partes destes dados e ao produto A será impossível fornecer quaisquer destes dados.

No que tange a elementos planimétricos, considerações idênticas as anteriores levam a concluir que os 4 produtos são bem diferenciados quanto à possibilidade de fornecimento de tais tipos de dados. O campo de pouso, como exemplo, poderá ser definido em todos os produtos, mas determinados dados como largura de pista, comprimento e tipo de revestimento, somente poderão ser fornecidos mediante trabalhos de campo ou extraídos de uma carta topográfica.

Quanto aos elementos de hidrografia, é praticamente impossível a identificação em imagens LANDSAT através da utilização do sensor TM. Os produtos que lançam mão de cartas topográficas e aque

les que possibilitem trabalhos de campo poderão fornecer tais elementos.

Quanto à lâmina d'água, somente os produtos que prevêem trabalhos de campo poderão fornecer tais dados.

Quanto a característica de leito e margem dos rios, além de cartas topográficas e trabalhos de campo, há necessidade de utilização de tabelas do Manual de Engenharia de Campanha, somente utilizadas na confecção de Cartas Militares.

No que tange a indícios de obstáculos diversos, mata densa e afloramentos poderão ser extraídos de imagens TM em quaisquer dos produtos. Caso haja possibilidade de trabalhos de campo e disponibilidade de mapas de solos, mapas geológicos e de vegetação, a extração será feita com muito maior precisão. No que se refere à elevação de taludes, estes poderão ser mais facilmente representados pelos produtos B e D, pois a carta topográfica facilita a obtenção dos dados necessários a sua representação, porém, também poderão ser representados pelo produto C, embora com maiores dificuldades devido à necessidade de colher os dados no campo. Quanto a informações relativas à largura e profundidade de cursos d'água, trabalhos de campo são essenciais para tal representação. Estes somente poderão ser deixados de lado no caso de existirem cartas batimétricas, o que é muito difícil. Desta forma, os produtos C e D são os que melhor podem realizar tal representação.

Finalmente, quanto à trafegabilidade de solos, pode-se afirmar que a interpretação visual de dados, associada à classificação digital utilizando os algoritmos K-médias e MAXVER, possibilita a definição de zonas trafegáveis intrafegáveis e intermediárias com maior abrangência que a atualmente feita utilizando somente métodos convencionais. Um simples estudo comparativo entre o positivo da Carta Militar com quaisquer dos produtos atesta tal informação. Logicamente, quanto maior o número de informações adicionais, melhor o refinamento das zonas trafegáveis e a carta geológica e as cartas de solos e aptidão agrícola contribuirão muito para a perfeita definição do tema.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1 CONCLUSÕES

A aplicação dos dados obtidos por sensoriamento remoto pode apresentar-se sob a forma de quatro produtos, resultantes de diferenciados estágios de obtenção, de acordo com as disponibilidades, tendo todos grande valor como documento de interesse militar. São portanto diferentes produtos para diferentes situações.

Considerando o estágio atual da Carta Militar confeccionada na DSG, fica claro que os subprodutos temáticos apresentados neste trabalho serão os que trarão melhores contribuições, particularmente quanto à trafegabilidade de veículos blindados.

No que diz respeito ao atendimento do Padrão Planimétrico de Exatidão Cartográfica, a imagem do sensor TM conforme se constatou, presta-se muito bem para a confecção de produtos cartográficos na escala de 1:100.000.

A metodologia aqui apresentada poderá ser utilizada em áreas de cerrado, correspondentes a cerca de 25% do Território Nacional. Para outras áreas, estudos preliminares serão necessários para a definição dos alvos por mapear, principalmente no que se refere a solos, vegetação, geologia e climatologia.

As classificações digitais referentes às épocas secas e chuvosas comportaram-se coerentemente e a descrição detalhada dos temas pode constatar tal afirmação.

Apesar de as imagens LANDSAT possibilitarem a extração de dados planimétricos, as informações de relevo também poderão ser extraídas através da utilização de técnicas de interpretação visual de dados.

Apesar de o objetivo primordial do trabalho ser a confecção de mapas temáticos, constatou-se que cartas topográficas poderão ser atualizadas planimetricamente através da utilização de imagens do sensor TM do satélite LANDSAT.

### 5.2 RECOMENDAÇÕES

Da experiência adquirida no decorrer do presente trabalho, recomenda-se o seguinte:

- Confeccionar uma carta temática abrangendo uma área de 30' x 30', em virtude de ser este o formato normal de uma carta sistemática na escala de 1:100.000

- Utilizar, por ocasião de trabalhos de campo relativos às próximas cartas militares, imagens classificadas no I-100, objetivando o aprimoramento dos temas, principalmente os relativos à trafegabilidade de solos.

- Realizar pesquisas visando fornecer aos usuários de cartografia uma saída em "plotter" para os temas desenvolvidos neste trabalho. Tal produto facilitará sobremaneira o trabalho do cartógrafo, permitindo, com precisão, compor temas, registrá-los sobre imagens, etc.

- Quanto à seleção de atributos, escolher os canais que tenham aparecidos com maior frequência independente do método empregado, e selecionar, detalhadamente, as possíveis classes realizando

Uma amostragem com o maior número possível de amostras.

- Realizar pesquisa sobre o melhor método de seleção de atributos considerando a operacionalidade futura do método.

- Realizar pesquisa sobre a possibilidade de redução de dimensionalidade de dados tipo componentes principais para composições coloridas.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, L.A. Metodologia para a Confecção de Mapas Temáticos utilizando Dados T.M. LANDSAT. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE, Dez. 1985. Não prelo.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Folha SD.23-Y-C, mapa geológico - escala 1:250.000. Rio de Janeiro, 1968.

BRASIL. Ministério do Exército. Diretoria de Serviço Geográfico (MEX/DSG). Formosa, MI 2216, carta topográfica - escala 1:100.000. Rio de Janeiro, 1967

- Formosa, MI 2216/1-NE, carta militar - escala 1:25.000. Rio de Janeiro, 1979

- Ministério do Exército, Convenções Cartográficas. Catálogo de símbolos. (Rio de Janeiro) 1976. Parte 2 (Manual Técnico T 34-700).

BRASIL. Ministério do Planejamento. In - formativo COCAR, (SEPLAN/COCAR). Brasília, maio 1985. Fls. 6,7 e 8.

COLVOCORESSES, A.P. The status and future of satellite image mapping based on experience of the U.S. Geological Survey. International Congress of Photogrammetry and Remote Sensing, 15; Rio de Janeiro, June 1984. 4p.

DUTRA, L.V.D; SOUZA, R.C.M; II, F.A.M; MOREIRA, J.C. Análise Automática de Imagens Multiespectrais. São José dos Campos, SP, ago. 1981. 31p. (INPE-2212-MD/009).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Folha SD.23-Y-C, mapa de aptidão agrícola - escala 1:250.000. Brasília, 1983.

Folha SD.23-Y-C, mapa de reconhecimento de solos - escala 1:250.000. Brasília, 1983 b.

- Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos e aptidão agrícola das terras de parte da região agroeconômica de Brasília, Convênio EMBRAPA/SUDECO, Rio de Janeiro, 1983a.

GENERAL ELECTRIC (GE). Image 100 User manual. Flórida. 1975. 119p.

MATA E SILVA, N.P; GODOY JR; M; SERRA, P.R. M; ANDRADE, L.A. Geração de imagens classificadas do sensor TM do Satélite LANDSAT com precisão cartográfica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 12; Brasília, DF, 1985. Brasília, DF, SBC, 1985.

PARADELLA, W.R. Avaliação de Critérios de seleção de atributos espectrais de imagens digitais MSS-LANDSAT em Discriminações Litológicas no Baixo Vale do Rio Curaçã, BA. Revista Brasileira de Geofísica, 2 (2): 105-117, 1984.

- Discriminação de Unidades litológicas no baixo vale do Rio Curaçã (Bahia), através de realces por processamento digital de dados MSS-LANDSAT 3. Tese de Doutorado, IGUSP, S. Paulo, 1983.

RIBEIRO, J.F.; SANO, S.M; SILVA, J.A. Chave preliminar de identificação dos tipos fisionômicos de vegetação dos cerrados. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 32; Terezina, PI, 1981. Anais. Terezina, Universidade Federal do Piauí, 1981. p. 124-133.

SWAIN, P.H; KING, R.C. Two effective feature selection criteria for multispectral remote sensing. West Lafayette, Purdue, 1973. (LARS Information Note 0426 73).

VELASCO, F.R.D; PRADO, L.O.C; SOUZA, R.C. M. Sistema Maxver. Manual do usuário. São José dos Campos, Jul. 1978. (INPE 1315-NII/110).