

GERAÇÃO DE DADOS TEMÁTICOS PARA ATUALIZAÇÃO DE CARTAS AERONÁUTICAS
DE PILOTAGEM UTILIZANDO IMAGENS LANDSAT-TM.

Carlos Alberto G. de Araújo*
Ernest Ulrich Fischer**
Nelson D.A. Mascarenhas***
Guaraci José Erthal***

Ministério da Aeronáutica - Instituto de Cartografia Aeronáutica*
Universidade Federal do Paraná**
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT***
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12201, São José dos Campos, SP, Brasil

RESUMO

Descreve-se um sistema de atualização de cartas aeronáuticas de pilotagem utilizando dados temáticos obtidos através da classificação de imagens LANDSAT-TM. Tal sistema compreende os seguintes módulos: a) registro de pontos de controle; b) classificação estatística destas imagens utilizando métodos supervisionados (algoritmo de máxima verossimilhança); c) homogeneização da classificação como etapa de pós-processamento para a eliminação de áreas não-significativas; d) detecção de bordas entre temas vizinhos; e) conversão de dados em estrutura de varredura para a estrutura vetorial; f) plotagem das fronteiras das classes. Estuda-se atualmente a utilização de dados obtidos por filtragem espacial na classificação supervisionada, visando obter uma maior homogeneização das áreas já na fase de classificação.

ABSTRACT

A system for the updating of aeronautical pilot charts is described, by using thematic maps obtained through the classification of LANDSAT-TM images. Such system comprises the following modules: a) registration of the orbital images with the pilot charts by means of control points; b) statistical classification of these images by using supervised methods (maximum likelihood algorithm); c) classification homogenizing as a post-processing stage, for deleting non-significant areas; d) edge detection between neighbor themes; e) data conversion from raster structure to vector structure; f) plotting of the borders between classes. Presently it is under study the use of data obtained by spatial filtering in the supervised classification, aiming at a greater area homogeneity already at the classification stage.

1. INTRODUÇÃO

A partir da última década tem havido um enorme crescimento na utilização de dados de sensoriamento remoto. Diversas áreas ligadas a recursos naturais já utilizam estes produtos em atividades do tipo: mapeamento estrutural, previsão de safras, crescimento urbano, etc.

Ultimamente com o emprego de sensores de alta resolução espacial, tem havido um crescente interesse no sentido da utilização destes dados no campo da cartografia.

Uma possível aplicação seria a atualização de dados temáticos obtidos a partir de imagens de satélite para a geração de um documento onde os temas estariam representados pelas suas fronteiras.

As imagens digitais obtidas por satélites utilizam uma estrutura do tipo matricial para o armazenamento dos dados, formato propício para a utilização de algoritmos em sistemas computacionais de tratamento de imagens.

Todavia, os dispositivos gráficos mais apropriados para a confecção do documento temático são as mesas traçadoras que utilizam uma estrutura vetorial para a saída dos dados.

Desta maneira faz-se necessária a aplicação de diversas técnicas de processamento digital de imagens e de cartografia digital para que, a partir de uma imagem de satélite bruta armazenada em formato matricial e sem correção geométrica, obtenha-se um documento temático com fidelidade geométrica, onde os temas estão representados pelas fronteiras. Os passos a serem efetuados resumem-se em:

- correção geométrica
- classificação
- homogeneização
- conversão raster-vetor
- plotagem das fronteiras entre classes (ver Figura 1).

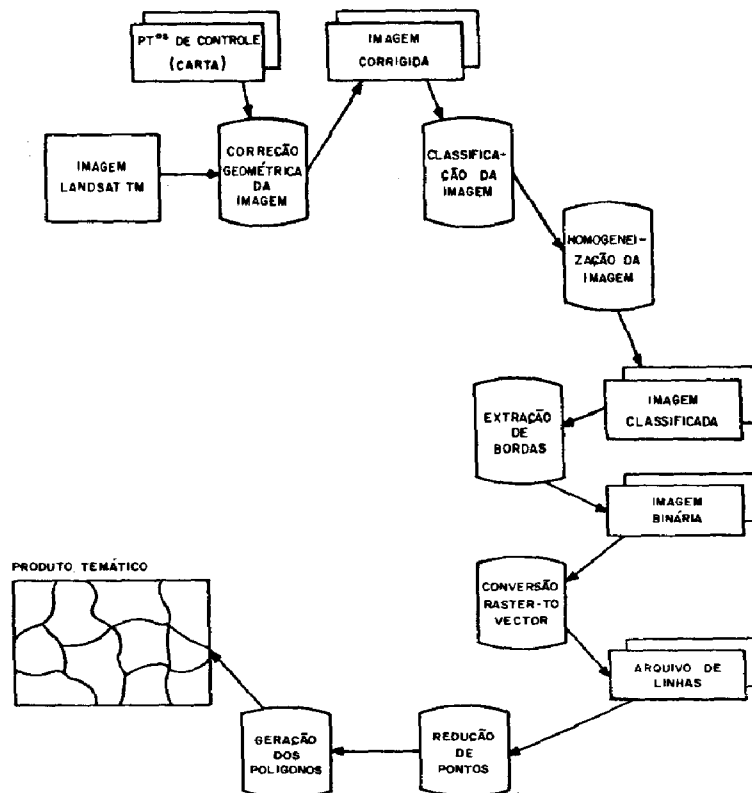


Fig. 1 - Fluxograma do sistema.

2. CORREÇÃO GEOMÉTRICA DE UMA IMAGEM DIGITAL

As imagens de sensoriamento remoto apresentam distorções geométricas devido às características do sistema sensor e as variações da plataforma, o que diminui a qualidade da informação. Uma série de aplicações, como na cartografia, pressupõe a disponibilidade de dados com boa precisão, o que leva à necessidade de uma correção geométrica na imagem digital.

Neste trabalho foi empregada (Araujo et alii, 1985) uma metodologia na qual se utilizam pontos de controle identificados em uma carta topográfica e na imagem digital.

Estes pontos são digitalizados em qualquer sistema de coordenadas retangulares, inclusive no da própria mesa digitalizadora. Através de uma transformação geométrica de similaridade, estes pontos são normalizados com o sistema de referência do sistema de processamento de imagens do Laboratório de Tratamento de Imagens Digitais do INPE (I-100). De posse das coordenadas extraídas da carta e das mesmas extraídas da imagem (através do I-100) é feito um mapeamento polinomial utilizando uma função de grau 1 (Mitsuoi, 1983), sendo que o brilho é interpolado através do vizinho mais próximo.

Estudos estão sendo feitos (Araújo et alii, 1986; Imai, 1986) no sentido de melhorar a qualidade geométrica de uma imagem digital do LANDSAT-TM.

3. CLASSIFICAÇÃO DA IMAGEM

Neste trabalho foram utilizados dois métodos para a fase de classificação. No primeiro método utilizaram-se atributos espectrais, e no segundo método, atributos espaciais. Em ambos, foi executada uma classificação supervisionada, utilizando o critério da máxima verossimilhança

(Velasco et alii, 1978).

No primeiro método, a classificação se faz ponto a ponto, ou seja, supõe-se que cada *pixel* é não-correlacionado com o vizinho, porque a classe a ser associada ao *pixel* não depende dos vetores representativos dos *pixels* vizinhos. Foram selecionadas 6 classes, que representam os alvos de maior interesse para o trabalho de atuação temática, e um total de 21 segmentos de amostras de tamanho variável.

No segundo método utilizaram-se atributos espaciais, onde o valor a ser atribuído a cada ponto na nova imagem depende de uma vizinhança do ponto correspondente na imagem original.

Neste trabalho foram gerados 8 atributos a partir dos 4 canais originais. Os canais 5, 6, 7 e 8 foram obtidos da filtragem dos canais espectrais originais substituindo o *pixel* de uma janela 3×3 , por um *pixel* médio.

Os canais 9, 10, 11 e 12 foram obtidos através da utilização do filtro de variação total (Schachter et alii, 1979) sobre os canais originais. A função denominada variação é a soma da variação vertical com a variação horizontal.

Após a aplicação do filtro de variação as imagens (canais 9, 10, 11 e 12) apresentaram uma aparência muito realçada nas bordas. Então foi utilizado um filtro passa-baixa 5×5 (média de peso = 1) com a finalidade de suavizar a imagem.

Com a geração de 8 canais através de atributos espaciais, além dos 4 canais originais, faz-se necessária uma seleção de atributos de maneira a selecionar, dentre os 12 canais, apenas os 4 canais que possibilitem uma melhor separabilidade entre as classes. A distância estatística utilizada para a separação das classes foi a chamada *Distância de Jeffreys-Matusita* (Distância J-M).

Os canais 5, 6, 7 e 9 foram os que apresentaram uma melhor separabilidade entre as classes.

As classes e as amostras utilizadas foram as mesmas do primeiro processo.

3.1 - ANÁLISE DOS RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO

Analisando a informação espectral dos canais utilizados, conforme mostra o gráfico da Figura 2 observou-se que as bandas 3 e 7 do TM (canais 1 e 4 originais) apresentaram uma separação bastante pequena e portanto, desfavorável para o trabalho de classificação.

Na classificação empregando atributos espaciais (Dutra et alii, 1983) foi utilizado o limiar máximo (6.03) do algoritmo de máxima verossimilhança para evitar a rejeição de áreas classificadas. É oportuno ressaltar que o fato de se aumentar o limiar pode provocar um acréscimo na probabilidade de erro na fase de classificação, em função das características espectrais dos alvos em questão.

A medida em que é melhorada a resolução geométrica de um sensor, aumenta a frequência espacial da imagem, da mesma forma que cresce a dispersão estatística das classes. Com o aumento da variância de cada classe, aumenta a probabilidade de uma determinada classe confundir-se com outra. Antes de uma classificação na qual são utilizados dados de sensores de alta resolução, é sugerido o emprego de uma filtragem passa-baixa, para que valores de uma determinada classe fiquem mais concentrados em torno da média, havendo diminuição da probabilidade de erro na classificação (Toll, 1983).

A classificação utilizando atributos espaciais foi selecionada por apresentar uma aparência mais homogênea e assim evitar que seja utilizado muitas vezes o programa de homogeneização da imagem.

Nas Figuras 3, 4 e 5 encontram-se os parâmetros e resultados das duas classificações.

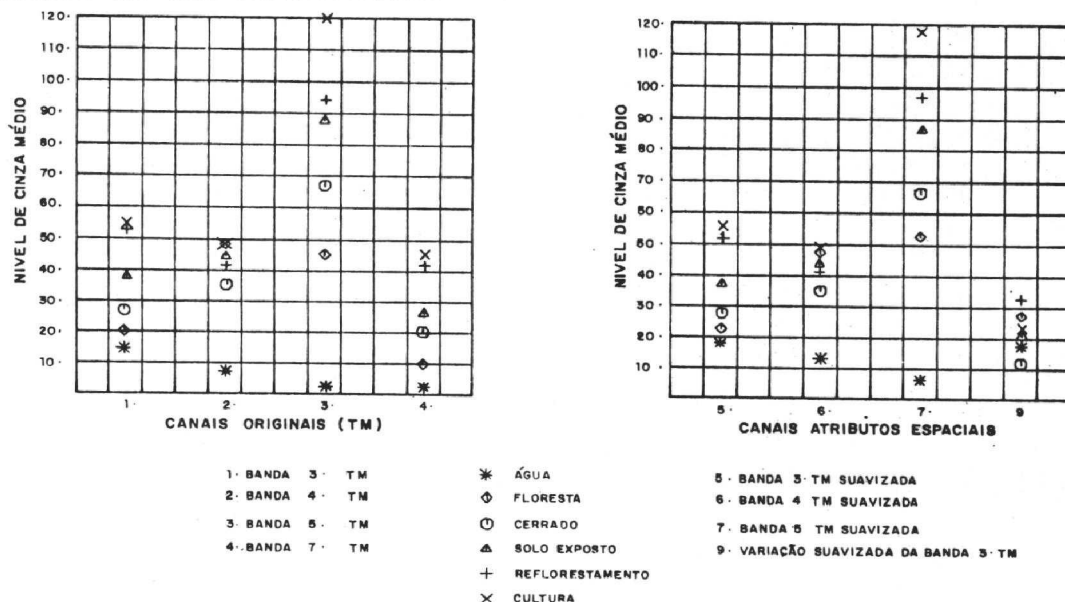


Fig. 2 - Gráfico contendo o nível de cinza médio das classificações utilizadas.

	CLASSIF. 1	CLASSIF. 2
LIMIAR	5	6.03
DESEMPENHO MÉDIO	97.9%	99.1%
ABSTENÇÃO MÉDIA	0.4%	0.2%
CONFUSÃO MÉDIA	1.6%	0.7%

Fig. 3 - Resultado das classificações.

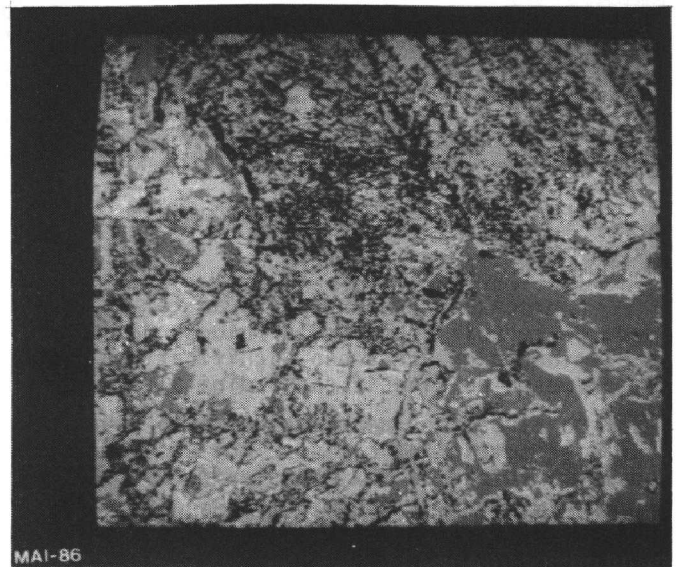


Fig. 4 - Classificação espectral.

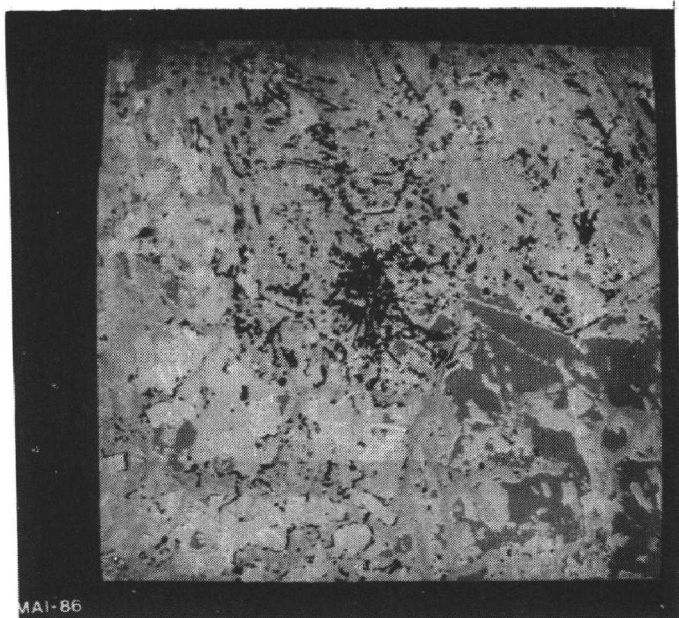


Fig. 5 - Classificação espacial.

4. HOMOGENEIZAÇÃO DA IMAGEM

O processo de homogeneização tem a finalidade de reduzir a aparência ruidosa da imagem e a eliminação de áreas não-significativas, após um processo de classificação digital.

Os algoritmos de homogeneização podem alterar a geometria das classes. Por essa razão deve-se minimizar ao máximo este processo de forma a obter-se uma imagem homogênea sem causar modificadores consideráveis em sua geometria.

Utilizou-se um filtro modal (denominado UNITOT) (Dutra et alii, 1986), sendo que na imagem resultante da classificação espectral, este filtro foi aplicado 10 vezes e na classificação espacial apenas 6 vezes (Figuras 6 e 7).

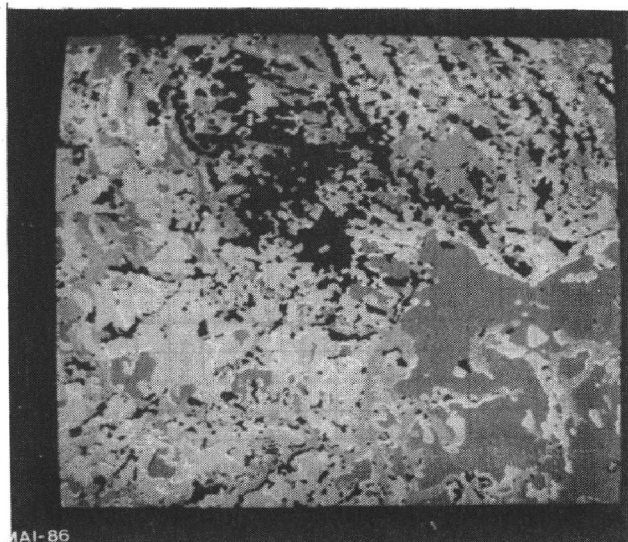


Fig. 6 - Classificação espectral
Utilização do filtro modal UNITOT
10 vezes; peso = 2; limiar = 2.

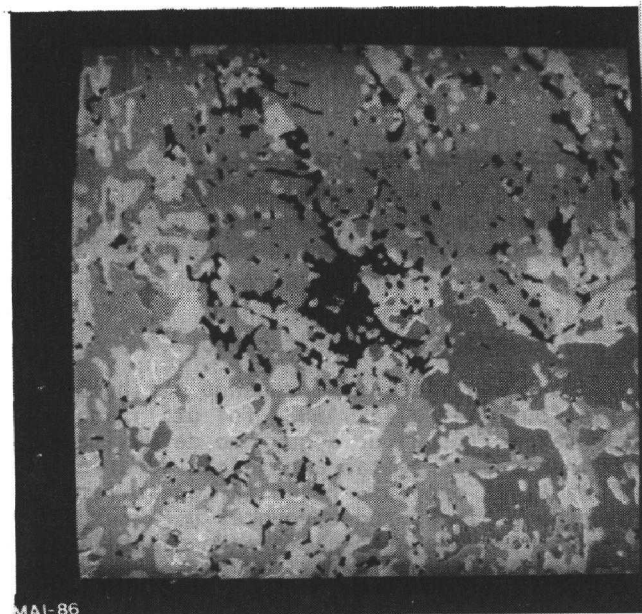


Fig. 7 - Classificação espacial
Utilização do filtro modal UNITOT
6 vezes; peso = 2; limiar = 2.

5. DETECÇÃO DE BORDAS

A finalidade deste processo é identificar as fronteiras entre as classes e tornar a imagem binária, isto é, com apenas informação de bordas e interior.

Foi utilizado um algoritmo (Paiva et alii, 1985) na qual uma janela de 2×2 é transladada na imagem, e a partir do momento em que é detectada uma região de fronteira entre classes é criado um *pixel* de borda entre os *pixels* de fronteiras. Caso contrário é criado um pixel de interior (ver Figura 10).

6. CONVERSÃO DE DADOS DE ESTRUTURA MATRICIAL PARA ESTRUTURA VETORIAL

Com o advento da aplicação de dados de sensoriamento remoto, tem sido intensamente abordado o processo da transformação destes dados numa estrutura vetorial, principalmente para aplicações em cartografia.

O sistema apresentado neste trabalho foi projetado com a finalidade apenas de, a partir de dados em formato matricial criar um arquivo de linhas numa estrutura vetorial para que as mesmas sejam recuperadas por uma plotadora e assim gerar um documento contendo as fronteiras entre as classes de uma imagem.

6.1 - TÉCNICA DE *CHAIN-CODE*

Para a geração de uma imagem binária são conectados sequencialmente os *pixels* de valor 1, representando características extraídas da imagem tais como bordas (fronteiras entre classes).

Para a conversão da posição do pixel na imagem utilizando um código de cadeia (*chain code*) uma janela de 3×3 pixels é utilizada numa estrutura matricial, na qual a posição dos 8 vizinhos

é representada através do código que varia de 0 a 7 conforme mostra a Figura 8.

3	2	1
4	x, y	0
5	6	7

Fig. 8 - Janela 3x3 utilizada no processo de *chain code*.

Nesta técnica o *pixel* central (x,y) é o ponto de teste, sendo que os vizinhos são verificados e apenas um é eleito como *pixel* de borda. Neste caso é armazenado o número (0-7) referente à sua posição na janela.

Foi utilizada uma lista sequencial de tamanho variável para o armazenamento dos *pixels*, onde é armazenada apenas a posição (x,y) do início da linha e as demais posições são armazenadas através da técnica de *chain code* (Figura 9).

X_i	Y_i	*	*	*	N_p
-------	-------	---	---	---	-------	-------

X_i → coordenada X do início da linha;

Y_i → coordenada Y do início da linha;

* → posições referenciadas através de *chain code*

N_p → número de pontos da linha.

Fig. 9 - Representação do armazenamento dos pontos.

7. PLOTAGEM DAS FRONTEIRAS DAS CLASSES

A entrada deste subsistema é um arquivo contendo todas as linhas ou bordas em uma estrutura vetorial que possibilita sua recuperação através de uma mesa traçadora vetorial.

Esta fase de plotagem pode ser subdividida em três sub-fases que são: decodificação, redução de pontos e plotagem propriamente dita.

Na decodificação são recuperadas as coordenadas (x,y) dos *pixels* a partir do código de cadeia.

Na etapa seguinte é conservado apenas o número mínimo de pontos necessários para representar a linha de maneira a preservar a sua forma original. O produto apresenta uma aparência mais suave pois elimina o efeito escada oriundo das imagens digitais (Figuras 11 e 12).

A plotagem dos pontos é executada linha após linha e iniciada após ter sido concluído o processo de decodificação e redução dos pontos.

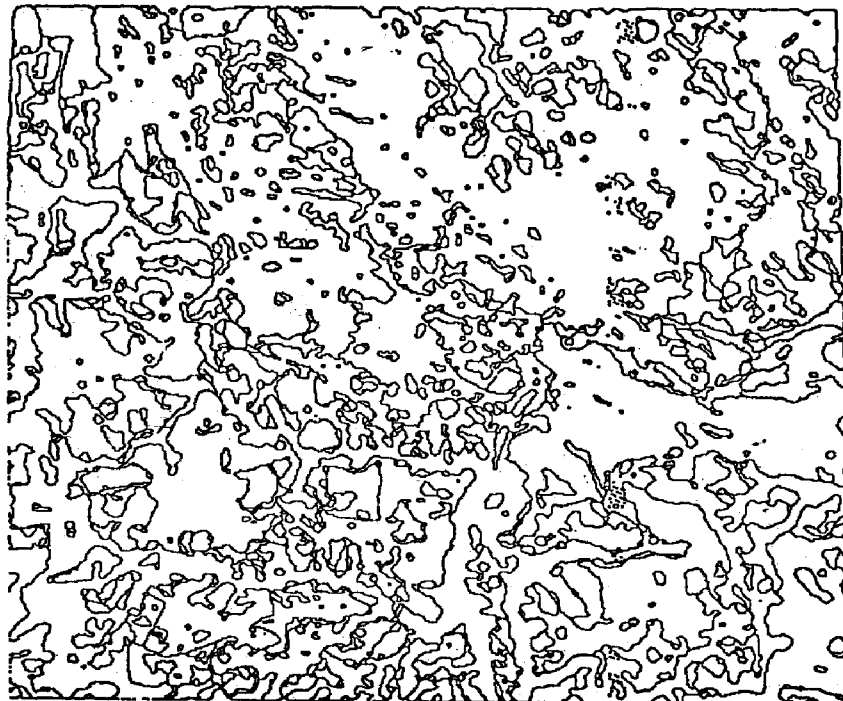


Fig. 10 - Imagem de bordas em varredura.

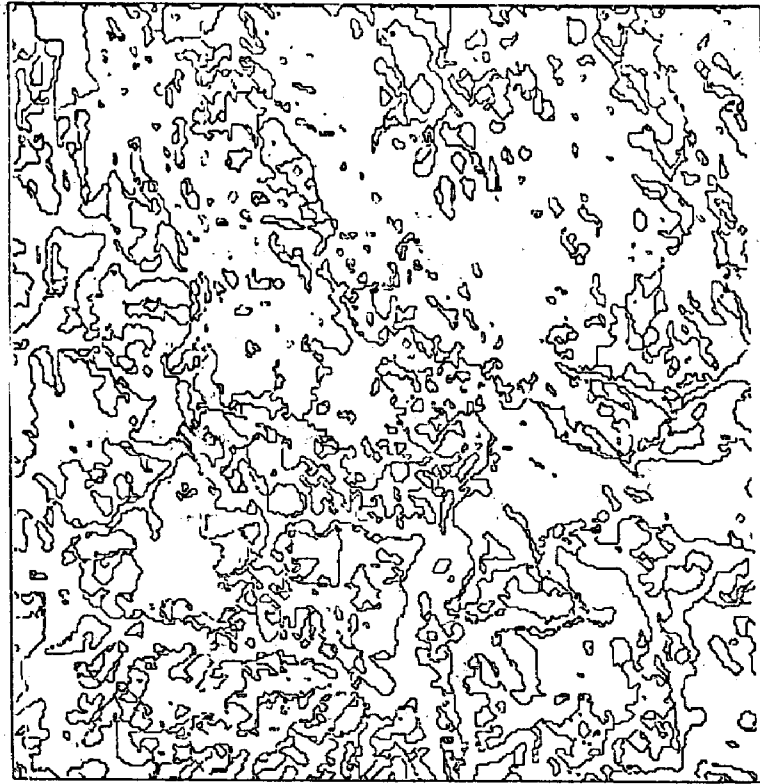


Fig. 11 - Imagens de bordas vetorial.

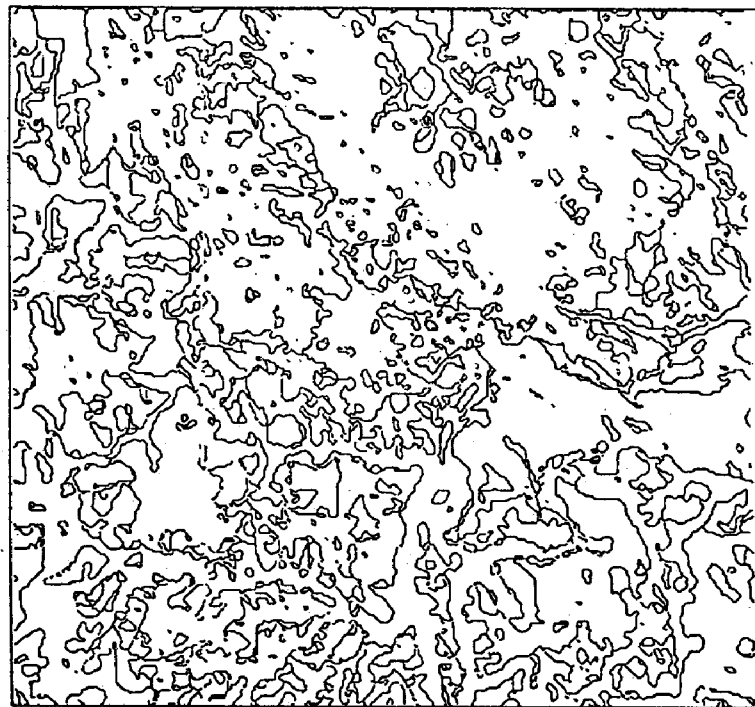


Fig. 12 - Imagens de bordas vetorial
com redução de pontos.

8. CONCLUSÕES

A precisão geométrica do produto final, isto é, da imagem de bordas obtida por uma mesa traçadora vetorial, depende basicamente dos erros inseridos durante a fase de pré-processamento que são:

- correção geométrica da imagem digital;
- classificação da imagem;
- homogeneização da imagem.

Uma imagem digital LANDSAT-TM possui um erro médio quadrático inicial da ordem de 14 *pixels*, sendo que com a aplicação de um polinômio de grau 1 este erro diminui para cerca de 4 *pixels*. Métodos alternativos estão sendo desenvolvidos de forma a melhorar a qualidade geométrica da imagem digital TM. Quanto à classificação, sugere-se que sejam aplicadas técnicas utilizando atributos espaciais que é a maneira de obter-se uma classificação homogênea sem alterar consideravelmente a geometria da imagem. Uma alternativa seria utilizar algoritmos de extração de áreas (Monteiro et alii, 1986) que visam eliminar pequenas áreas ou inseri-las na classe mais envolvente. Como o sistema de transformação de dados em estrutura varredura para vetorial visa obter um produto gráfico através de uma plotadora a partir de uma imagem digital classificada, este produto pode ser utilizado em diversas áreas afins ao sensoriamento remoto.

Considerando-se que o erro gráfico numa carta topográfica é de 0,5 mm x denominador da escala da carta, sugere-se que a escala do produto final seja menor que 1:100000 devido aos erros de pré-processamento e da própria resolução geométrica do sensor TM.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAUJO, C.A.G.; D'ALGE, J.C.L.; MEDEIROS, J.S. *Correção geométrica de imagens: uma abordagem para o registro de imagens digitais LANDSAT-TM apoiado em cartas topográficas de grande e média escala*. São José dos Campos, (no prelo).
- CHAKRAVARTY, I. A single-pass chain generating algorithms for region boundaries. *Computer Graphics and Image Processing*, 15: 182-193, 1981.
- DUTRA, L.V.; MASCARENHAS, N.D.A. Some experiments with spatial feature extraction methods in multispectral classification. *Int. J. Remote Sensing*, 5(2): 303-313, 1984.
- DUTRA, L.V.; MOREIRA, J.C. Estudo de métodos de pós-processamento aplicado a problemas de classificação de padrões. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO, IV, Gramado, RS, 10-15 agosto, 1986.
- GANE, C.; SARSON, T. Structured systems analysis: tools and techniques. *System Technologies, Inc.*, New York, NY, 1979, pp 25-35.
- Ii, F.A.M. Seleção de atributos aplicada a imagens multiespectrais. São José dos Campos, INPE, jan. 1982 (INPE-2303-TDL/072).

- Ii, F.A.M. Sistema registro. Arquivo de documentação de software no LTID/DSC - INPE, São José dos Campos, 1983.
- IMAI, N.N. Estudo da viabilidade da utilização de imagens LANDSAT-TM para a utilização de Sistemas Geográficos de Informação. São José dos Campos, (no prelo).
- LOGAN, T.L.; WOODCOCK, C.E. User alternatives in pos-processing for raster-to-vector conversion. ISPRS Commission IV Symposium, 1982, pp. 395-407.
- MONTEIRO, A.M.V.; COSTA, M.H.A., DUTRA, L.V. Rotulação de regiões em imagens temáticas. São José dos Campos, (no prelo).
- PAIVA, J.A.; DUTRA, L.V. Programa BORDIX. Arquivo de documentação de software LTID/DSC - INPE, São José dos Campos, 1985.
- RIBEIRO, E.A.; Ii, F.A.M.; MOREIRA, J.C.; DUTRA, L.V. Manual do usuário dos sistemas de tratamento de imagens digitais. São José dos Campos, INPE, DSC/LTID, 1982.
- SCHACHTER, B.F.; DAVIS, L.S.; ROSENFELD, A. Some experiments in image segmentation by clustering of local features values. *Pattern Recognition*, 11(19), 1979.
- TOLL, D.L. Effect of LANDSAT thematic mapper sensor parameters - on land cover classification. In: REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 17(2); 129-140, April, 1985.
- VELASCO, F.R.D.; SOUZA, R.C.M. Sistema Maxver. São José dos Campos, INPE, DSC/LTID, jul. 1983.