


|   |                                      |   |
|---|--------------------------------------|---|
| 1. Classificação <i>INPE-COM.4/RPE</i><br><i>C.D.U.: 621.38 SR: 556.55</i>  | 2. Período                           | 4. Distribuição   |
| 3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor)<br><br><i>NÍVEIS DE CINZA</i> <i>IMAGE-100</i><br><i>PROFUNDIDADE SECCHI</i> <i>MAXVER</i><br><i>LANDSAT</i>   |                                      | interna <input type="checkbox"/><br><br>externa <input checked="" type="checkbox"/> |
| 5. Relatório nº<br><br><i>INPE-1572-RPE/071</i>   | 6. Data<br><br><i>Setembro, 1979</i> | 7. Revisado por<br><br><i>Evlyn M.L.M. Novo</i>                                     |
| 8. Título e Sub-Título<br><br><i>ANÁLISE AUTOMÁTICA DE DADOS LANDSAT NO ESTUDO DA<br/>DISPERSÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO EM RE<br/>SERVATÓRIOS ARTIFICIAIS</i>  |                                      | 9. Autorizado por<br><br><i>Nelson de Jesus Parada</i><br><i>Diretor</i>            |
| 10. Setor <i>DSR</i>  | Código                               | 11. Nº de cópias <i>10</i>  |
| 12. Autoria <i>Tania Maria Sausen</i><br><i>Vitor Celso de Carvalho</i>   |                                      | 14. Nº de páginas <i>39</i>   |
| 13. Assinatura Responsável   |                                      | 15. Preço   |
| 16. Sumário/Notas<br><br><i>Um dos fatores mais importante, que compromete a vida útil de reservatórios d'água, são as partículas sólidas em suspensão transportadas por intermédio de seus tributários e acumuladas no corpo principal do reservatório. Este trabalho tem como objetivo mostrar a utilidade da análise automática de imagens MSS do satélite LANDSAT, para caracterizar a distribuição das partículas sólidas em suspensão na superfície do reservatório de Três Marias e estimar a sua concentração na superfície da água. Além das informações das fitas CCT, utilizou-se também medidas de profundidade Secchi, coletadas em 24 pontos de amostragem ao longo do reservatório de Três Marias, em abril de 1978.</i> |                                      |   |
| 17. Observações   |                                      |   |

## ÍNDICE

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| ABSTRACT .....                  | <i>iv</i>  |
| LISTA DE FIGURAS .....          | <i>v</i>   |
| LISTA DE TABELAS .....          | <i>vii</i> |
| 1. INTRODUÇÃO .....             | 1          |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS .....     | 2          |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO ..... | 18         |
| 4. CONCLUSÃO .....              | 32         |
| 5. BIBLIOGRAFIA .....           | 33         |

## ABSTRACT

*This study intend to demmstrate the viability of using automatic interpretation of LANDSAT data to characterize the dispersion of solid particles in surface waters and to estimate its concentration in the Três Marias Dam. Several authors have abready reported high correlations between the concentration of suspended sediments and reflectance measured by remote sensing systems. They have also demonstrated that reflectance can be used to quantify the concentration of solid particles. The present work is based upon the se findings and was carried out using a CCT of april 5, 1978. The water surface of Três Marias dam was separated into different areas in accordance to their tonalities derived by an interactive supervised process on the IMAGE-100 system. The areal partitioning was performed based on reflectance data of channels 4 an 5 of 8 training areas. For classification a Maseimum Likekikood approach using training area information to classify the whole reservoir surface was used and the results are shown on the map. Results of field work are also presented in this report. Automatic analysis of CCT allowed the separation of the dam's surface water into 8 classes. These classes were ranked in according to their intensities of espectral response. The results show that the lowest spectral response is located at the dike of the reservoir and the highest one is at the river mouth. Secchi deep water measurements were obtained for 24 samples wich were selected on the map produced by automatic analisys. Those measurements were correlated to spectral responses of channel 4 and 5. Secchi measurements are roughly conversely proportional to gray tones. As the Secchi is related to the water attenuation coeficient which is correlated to the concentration of solid particles in the water, one can determine the quantity of suspended sediment for each gray tone class.*

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| 1 - Localização do Reservatório de Três Marias .....  | 3  |
| 2 - Diagrama mostrando a distribuição das classes no espaço espectral.....  | 5  |
| 3 - Mapa Espectral da classificação Temática do Reservatório de Três Marias.....  | 6  |
| 4 - Limites de nível de cinza usados para o programa compressão a ser utilizado no arquivo repres. 478 (Disco 6), usando como área de treinamento o tema Repres. Lim (Disco 0 e 6)..... | 7  |
| 5 - Áreas de treinamento selecionadas a partir dos diferentes níveis de cinza existentes na lâmina d'água.....  | 8  |
| 6 - Distribuição de frequência de níveis de cinza na classe 1 .....   | 10 |
| 7 - Distribuição de frequência de níveis de cinza na classe 2.....  | 11 |
| 8 - Distribuição de frequência de níveis de cinza na classe 3.....  | 12 |
| 9 - Distribuição de frequência de níveis de cinza na classe 4.....  | 13 |
| 10 - Distribuição de frequência de níveis de cinza na classe 5.....   | 14 |
| 11 - Distribuição de frequência de níveis de cinza na classe 6.....   | 15 |
| 12 - Distribuição de frequência de níveis de cinza na classe 7.....   | 16 |

|   |    |
|---|----|
| 13 - Distribuição de frequência de níveis de cinza na classe 8.....   | 17 |
| 14 - Localização dos pontos de amostragem no Reservatório de Três Marias.....   | 19 |
| 15 - Classificação temática da superfície da represa de Três Marias, através do programa MAXVER, baseada nas áreas de treinamento previamente escolhidas..... | 20 |
| 16 - Reservatório de Três Marias. Classificação Temática de acordo com os diferentes níveis de cinza.....   | 21 |
| 17 - Classificação temática da represa de Três Marias, através do sistema MAXVER, com a geração e ordenação de cores de acordo com os níveis de cinza.....    | 23 |
| 18 - Reservatório de Três Marias. Classificação Temática após a união das classes.....  | 29 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| 1. Resumo estatístico dos resultados da classificação pelo MAXVER .....                                  | 22 |
| 2. Geração de cores para as 8 classes determinadas através do programa MAXVER .....                      | 24 |
| 3. Relação dos pontos de amostragem com as respectivas medidas de profundidade SECCHI .....              | 25 |
| 4. Médias das respostas espectrais nos canais MSS 4 e 5 e medidas de profundidade SECCHI em metros ..... | 26 |
| 5. Relação das classes médias espectrais, profundidades SECCHI e pontos de amostragem .....              | 27 |

## 1. INTRODUÇÃO

A necessidade de se preservar a vida útil dos reservatórios de água, tem levado o homem a procurar meios mais capazes de controlar e controlar os fatores que possam ameaçar a longevidade desses corpos d'água. Dentre estes fatores, um dos mais importantes são as partículas sólidas em suspensão, transportadas por intermédio de seus tributários e acumuladas no corpo principal da represa.

Conforme Ritchie et al (1976), as técnicas utilizadas normalmente para a medida dos sedimentos em suspensão na água, envolvem a medida da sua turbidez por meios óticos ou gravimétricos, que determinam sua concentração de sedimentos. Essas medidas de acordo com estes mesmos autores, são de utilidade limitada, desde que elas representem pontos de amostragem e desta forma não permitem uma visão global de toda a área da represa.

Diversos estudos têm demonstrado haver uma alta correlação entre a quantidade de sedimentos em suspensão e os níveis de reflectância da radiação solar, medidos por intermédio de sistemas de sensoriamento remoto e, que estes níveis permitiriam uma estimativa quantitativa da concentração destes sedimentos.

A vantagem de se utilizar as medidas estimadas por intermédio desses sensores a bordo de satélites, como os da série LANDSAT ou aeronaves, seria a visão sinótica fornecida pelas imagens obtidas por esses sistemas. O ideal, na realidade, seria a conjugação dos dois sistemas de medidas, o convencional e o obtido por sensoriamento remoto, de modo a medir precisamente a quantidade de sedimentos e a sua distribuição no reservatório de água.

Este trabalho tem como objetivo mostrar a utilidade da análise automática de imagens MSS do satélite LANDSAT, para caracterizar a distribuição das partículas sólidas em suspensão na superfície da represa de Três Marias e estimar a sua concentração na superfície da água.

Os resultados aqui apresentados foram obtidos num estudo que está sendo desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Espaciais juntamente com a Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco, na área da represa de Três Marias e seu sistema tributário, e representam apenas parte do mesmo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A represa de Três Marias está localizada na parte central do Estado de Minas Gerais (Figura 1), apresentando uma área inundada de 1102 km<sup>2</sup>. Ela está situada numa região onde predominam latossolos vermelho escuro e vermelho amarelo distróficos (EPAMIG, 1978), formados sobre rochas de Pleistoceno - Holoceno e Pré-Cambriano (CPRM, 1977).

As fitas magnéticas, compatíveis com computador - CCT (Computer Compatible Tape), correspondentes a órbita 164, ponto 25, da passagem de 5 de abril de 1978, foram utilizadas para compartimentar a represa em diferentes áreas, de acordo com as suas respostas espectrais, apresentadas em termos de níveis de cinza, através de um processo automático supervisionado e interativo, no sistema IMAGE-100(I.100).

Os dados de reflectância gravados nas fitas CCT, foram armazenadas na memória do sistema I-100, com nível de resolução igual a 256, por intermédio do programa Entrada e Saída do Vídeo ("Vídeo I/O"). Simultaneamente estes valores são apresentados pelo sistema na tela do vídeo colorido, formando uma imagem composta.



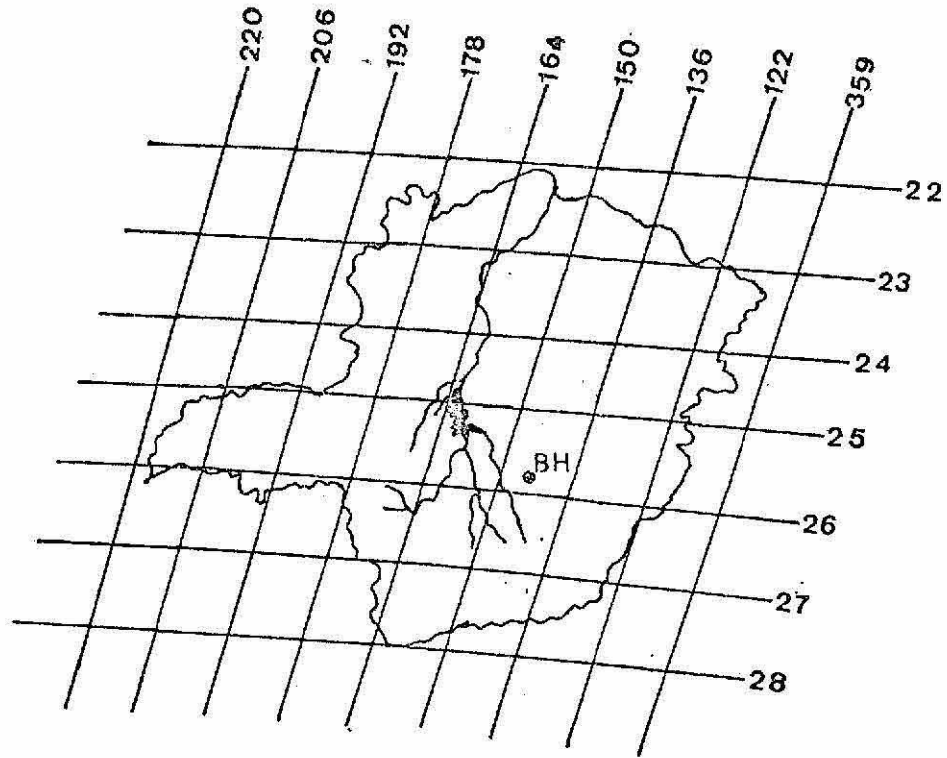


Fig. 1 - Localização do Reservatório de Três Marias.

A área desta imagem composta, correspondente à represa de Três Marias, situada entre as coordenadas da imagem de:

$$\begin{array}{ll} x_1 = 1390 & y_1 = 138 \\ x_2 = 3186 & y_2 = 1422 \end{array}$$

foi ampliada por intermédio do Programa Carregador de CCT para as escalas:

$$\text{horizontal} = 1:356.907$$

$$\text{vertical} = 1:401.380$$

e gravada no Disco 6, no arquivo denominado REPRES. 478.

Em seguida, fez-se a delimitação da área referente, exclusivamente a lâmina d'água da represa. Para isto foram seleccionadas amostras de treinamento, por intermédio do cursor, sobre a área da represa definida claramente na cena do canal MSS 7. Com escolha dessas áreas e a aplicação do Programa de Célula Única ("Single Cell"), foram definidos os limites mínimo e máximo de variação da resposta espectral da água neste canal, os quais são apresentados a seguir:

$$\text{Limite inferior} = 1$$

$$\text{Limite superior} = 28$$

Feita a delimitação, gravou-se esta área no arquivo denominado REPRES. LIM, do disco 0 (zero)

De modo a permitir a visualização do espaço espectral de assinatura, a ser obtido a partir da aplicação do programa de Máxima Verossimilhança (MAXVER) (Figura 2 e 3), foi necessário comprimir os valores de nível de cinza de 256 para 64. Assim, utilizou-se o programa "COMPRES", tomando-se a área da represa definida no arquivo REPRES. LIM, como área de interesse (Figura 4).

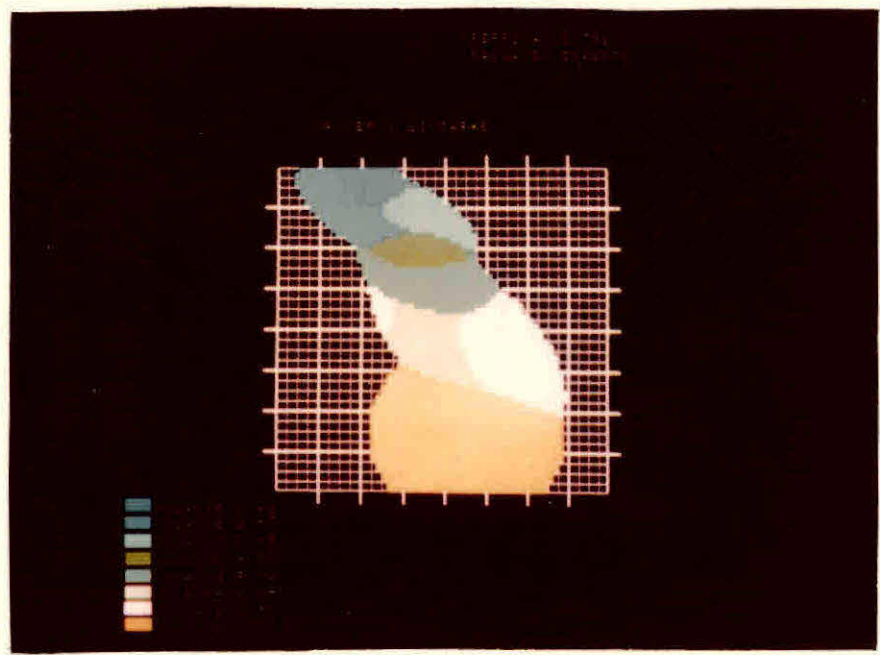


Fig. 2 - Diagrama mostrando a distribuição das classes no espaço espectral.

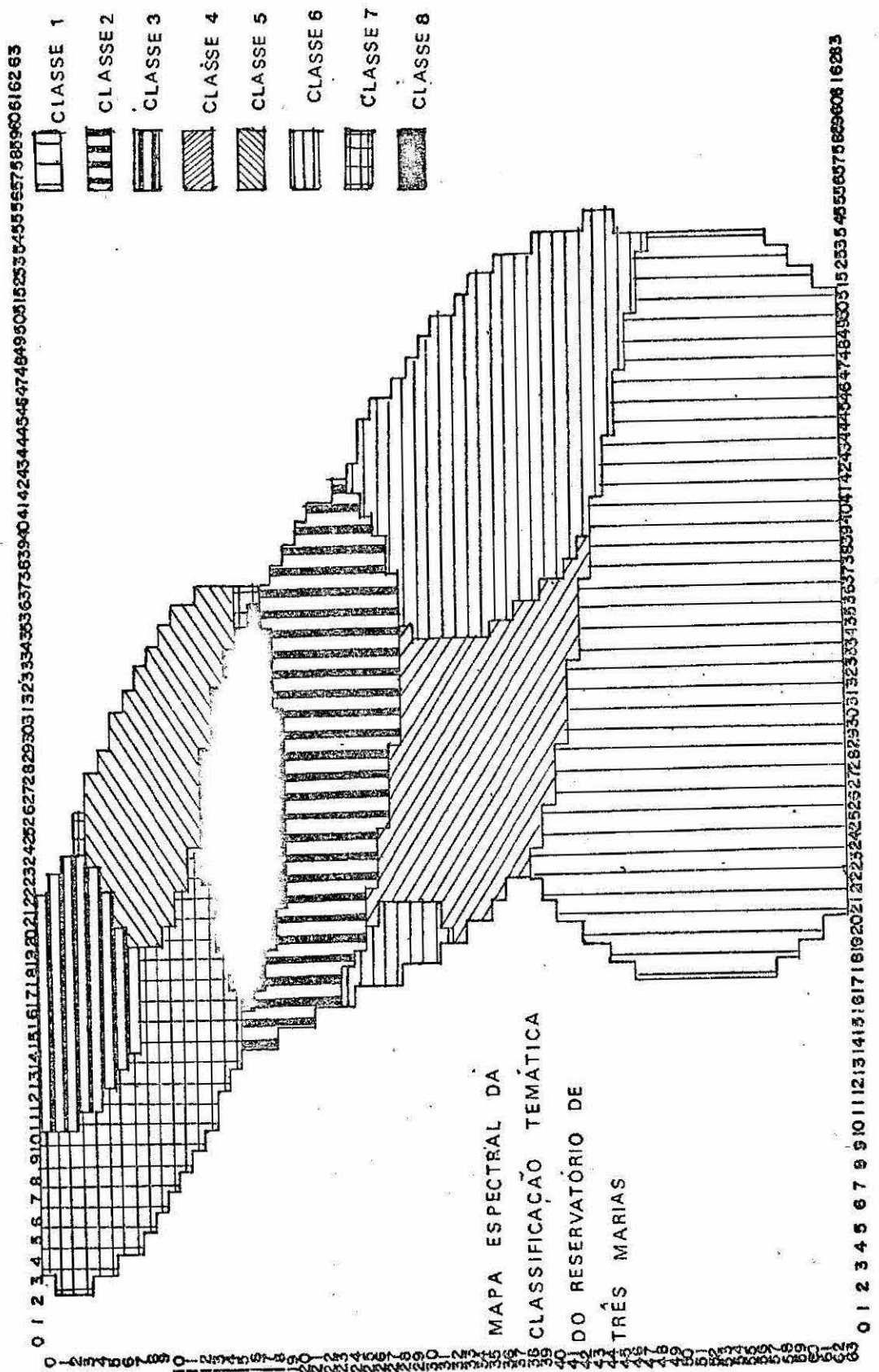


Fig. 3 - Mapa Espectral da Classificação Temática do Reservatório de Três Marias.

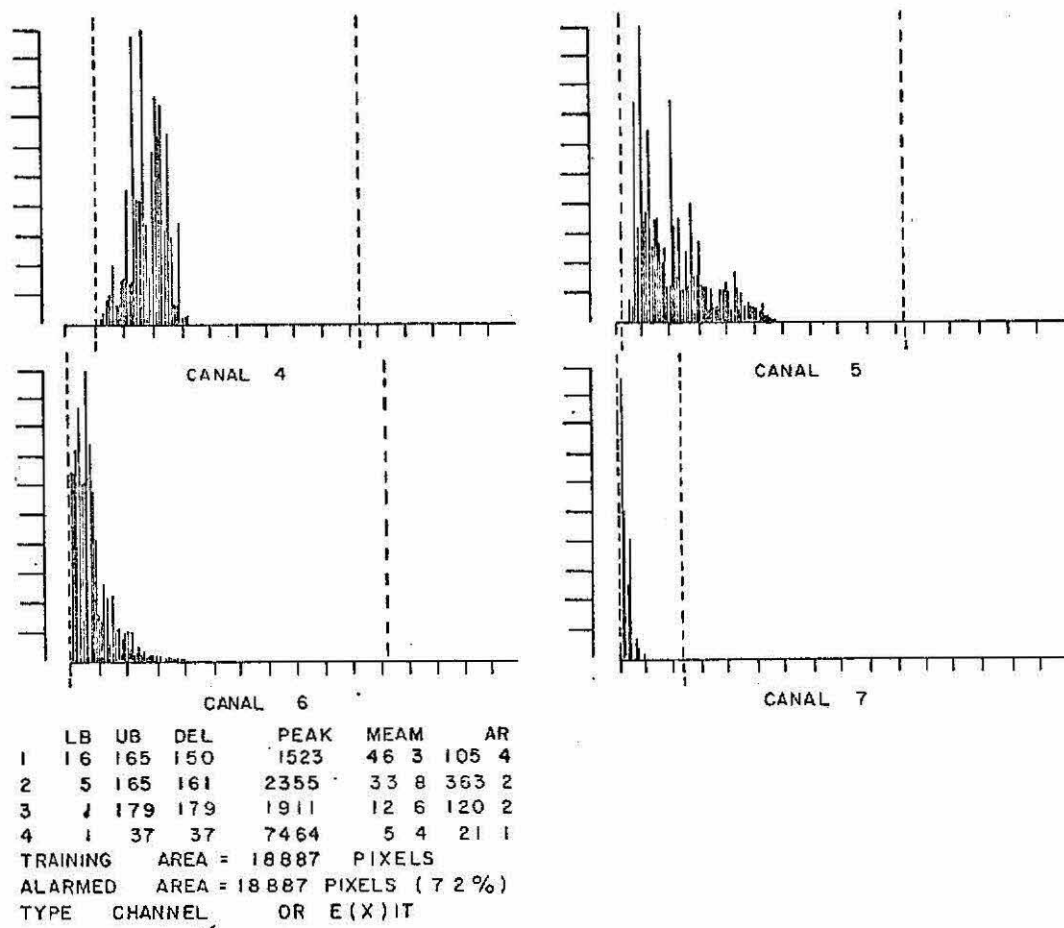


Fig. 4 - Limites de nível de cinza usados para o programa com pressão a ser utilizado no arquivo repres. 478 (Disco 6), usando como área de treinamento o tema Repres. Lim (Disco 0 e 6).

Em seguida usou-se o programa "CONTRAST STRECH", nos canais MSS 4 e 5, de modo a se obter uma melhor visualização da compartimentação da represa, para a escolha das áreas de treinamento. A seleção das oito áreas de treinamento, foi realizada através do resultado da aplicação deste programa no canal MSS 5, pelo fato do mesmo possibilitar uma melhor visualização da compartimentação da represa, em diferentes níveis de cinza (Figura 5).

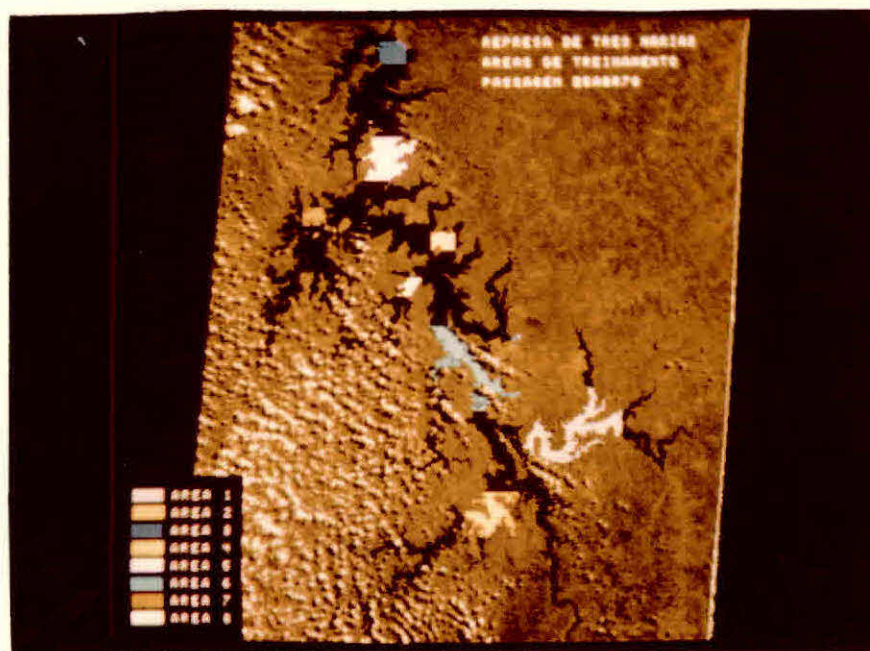


Fig. 5 - Áreas de treinamento selecionadas a partir dos diferentes níveis de cinza existentes na lâmina d'água.

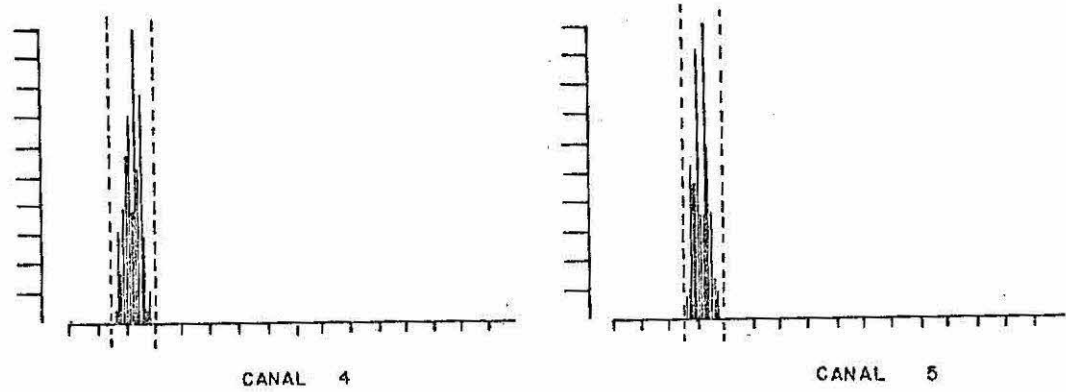
Para cada área de treinamento foi realizada uma classificação do tipo Célula Única ("SINGLE-CELL"), considerando-se apenas os canais MSS 4 e 5. Obtendo-se desta forma a distribuição de frequência dos níveis de cinza de cada área de treinamento. A apresentação desses histogramas de frequência permite verificar a forma da distribuição dos dados (Figura 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13). No caso desta não ser Gaussiana, característica básica para a aplicação do Programa de Máxima Verossimilhança, é necessário que se proceda a um novo treinamento e classificação ou que se faça um processo de refinamento de assinatura, até que se satisfaça esta condição.

Após este procedimento foi aplicado o programa MAXVER, usando, como dados básicos, as 8 áreas de treinamento previamente escolhidas.

O programa MAXVER, destina-se à classificação ponto a ponto de imagem multi-espectrais, obtidas em geral de satélites. O método de se utilizar este programa pode ser dividido em duas fases distintas: a) de treinamento, na qual o usuário escolhe e determina os parâmetros espectrais; e b) de classificação propriamente dita.

Como resultado, pode-se ter estatísticas para cada classe de treinamento, além da própria imagem classificada ponto a ponto (Velasco et al, 1978).

Os resultados da classificação feita através do sistema MAXVER, foram apresentados na forma de uma imagem temática colorida, na tela do vídeo colorido, e na forma gráfica, por intermédio da impressora de linhas.



OVERVIEW

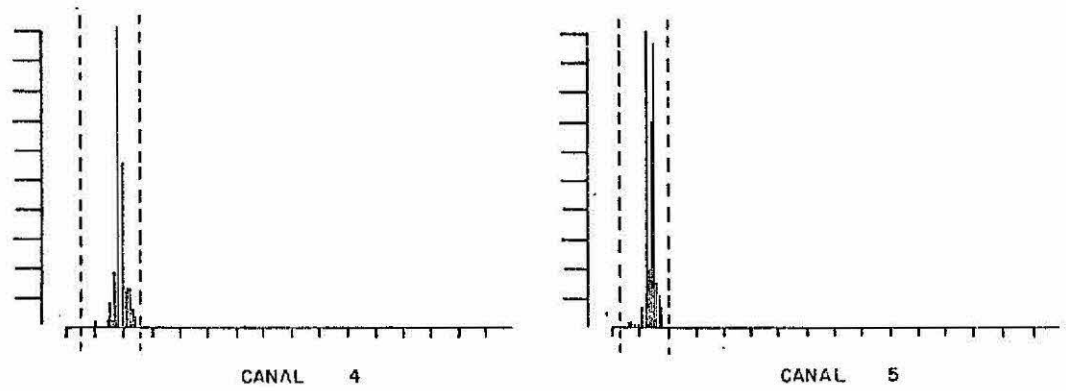
|   | LB | UB | DEL | PEAK | MEAN | VAP  |
|---|----|----|-----|------|------|------|
| 1 | 24 | 49 | 26  | 212  | 36 5 | 16 1 |
| 2 | 41 | 63 | 23  | 332  | 51 0 | 16 9 |

TRAINING AREA = 1307 PIXELS  
ALARMED AREA = 2823 PIXELS ( 1 1%)  
TYPE CHANNEL OP E(X)IT

CLASSE 1  
PASSAGEM 05 ABRIL /78  
COMPRESSÃO PARA 64 NÍVEIS

Fig. 6 - Distribuição de frequência de níveis de cinza na classe 1.





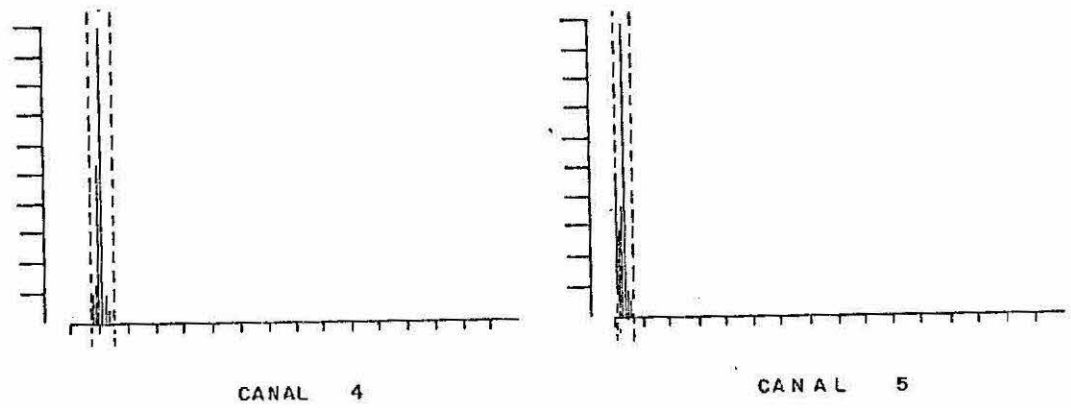
OVERVIEW

|   | LB | UB | DEL | PEAK | MEAN | VAR  |
|---|----|----|-----|------|------|------|
| 1 | 8  | 41 | 34  | 57   | 30 5 | 12 0 |
| 2 | 5  | 33 | 29  | 84   | 22 9 | 10   |

TRAINING AREA = 214 PIXELS  
ALARMED AREA = 12396 PIXELS (47%)

CLASSE 2  
PASSAGEM 05 ABRIL /78  
COMPRESSÃO PARA 64 NÍVEIS

Fig. 7 - Distribuição de frequência de níveis de cinza na classe 2.



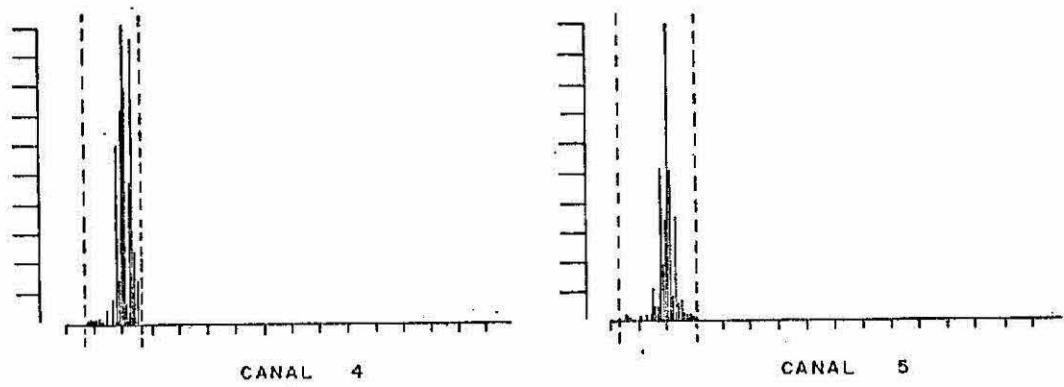
OVERVIEW

|   | LB | UB | DEL | PEAK | MEAN | VAR |
|---|----|----|-----|------|------|-----|
| 1 | 11 | 24 | 14  | 144  | 16.8 | 4.1 |
| 2 | 1  | 10 | 10  | 178  | 4.2  | 3.7 |

TRAINING AREA = 361 PIXELS  
ALARMED AREA = 4698 PIXELS ( 1.8%)

CLASSE 3  
PASSAGEM 05 ABRIL /78  
COMPRESSÃO PARA 64 NÍVEIS

Fig. 8 - Distribuição de frequência de níveis de cinza na classe 3.



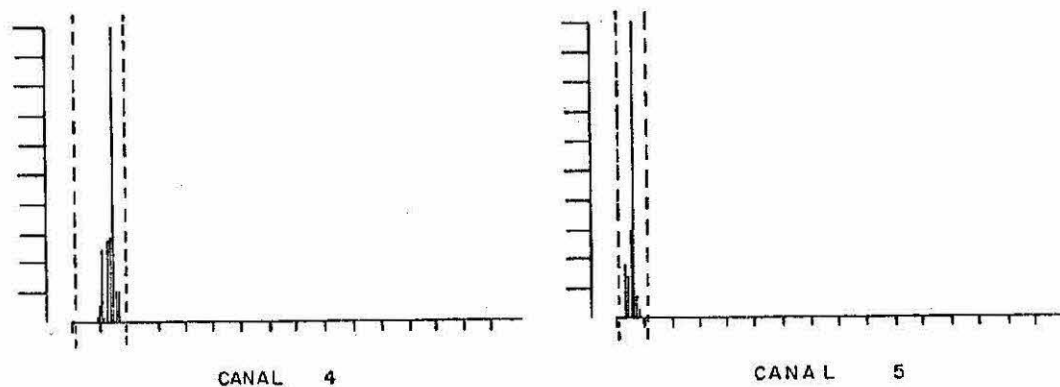
OVERVIEW

|   | LB | UB | DEL | PEAK | MEAN | VAR  |
|---|----|----|-----|------|------|------|
| 1 | 11 | 42 | 32  | 102  | 33 6 | 15 3 |
| 2 | 5  | 48 | 44  | 223  | 32 7 | 22 0 |

TRAINING AREA = 598 PIXELS  
ALARMED AREA = 14929 PIXELS ( 5 7%)

CLASSE 4  
PASSAGEM 05 ABRIL 78  
COMPRESSÃO PARA 64 NÍVEIS

Fig. 9 - Distribuição de frequência de níveis de cinza na classe 4.



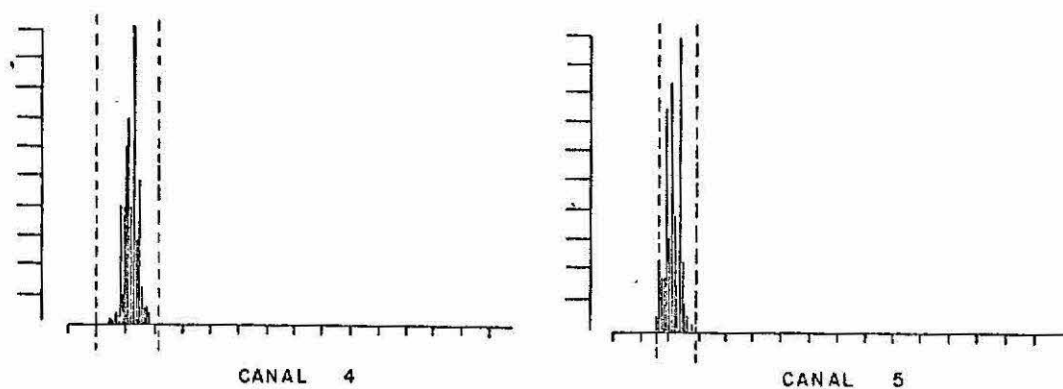
OVERVIEW

|   | LB | UB | DEL | PEAK | MEAN | VAR  |
|---|----|----|-----|------|------|------|
| 1 | 2  | 29 | 28  | 270  | 22.1 | 11.5 |
| 2 | 1  | 17 | 17  | 460  | 8.8  | 4.6  |

TRAINING AREA = 766 PIXELS  
ALARMED AREA = 8827 PIXELS ( 3.4%)

CLASSE 5  
PASSAGEM 05 ABRIL / 78  
COMPRESSÃO PARA 64 NÍVEIS

Fig. 10 - Distribuição de frequência de níveis de cinza na classe 5.



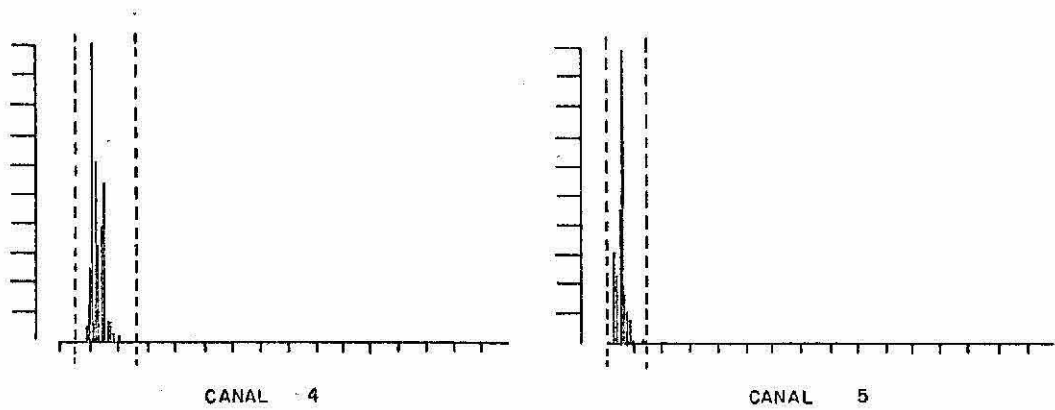
OVERVIEW

|   | LB | UB | DEL | PEAK | MEAN | VAR  |
|---|----|----|-----|------|------|------|
| 1 | 16 | 51 | 36  | 155  | 35 6 | 17 5 |
| 2 | 25 | 47 | 23  | 219  | 33 6 | 18 4 |

TRAINING AREA = 839 PIXELS  
ALARMED AREA = 5572 PIXELS ( 2 1%)

CLASSE 6  
PASSAGEM 05 ABRIL /78  
COMPRESSÃO PARA 64 NÍVEIS

Fig. 11 - Distribuição de frequência de níveis de cinza na classe 6.



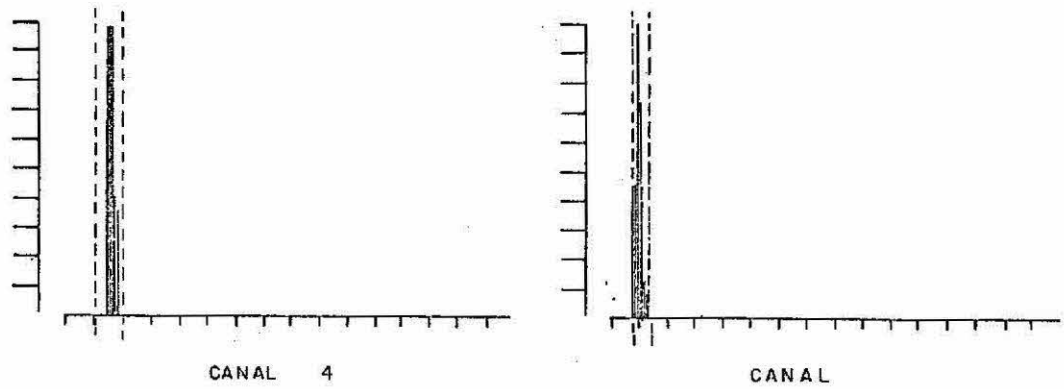
OVERVIEW

|   | LB | UB | DEL | PEAK | MEAN | VAR  |
|---|----|----|-----|------|------|------|
| 1 | 8  | 42 | 35  | 44   | 20 3 | 14 5 |
| 2 | 1  | 23 | 23  | 88   | 8 9  | 7 1  |

TRAINING AREA = 182 PIXELS  
ALARMED AREA = 10642 PIXELS ( 4 1%)

CLASSE 7  
PASSAGEM 05 ABRIL / 78  
COMPRESSÃO PARA 64 NÍVEIS

Fig. 12 - Distribuição de frequência de níveis de cinza na classe 7.



```
OVERVIEW
  LB  UB DEL  PEAK  MEAN  VAR
  1  17  33  17   30   26.5  5.2
  2  13  22  10   49   16.1  4.0
TRAINING AREA = 118 PIXELS
ALARMED  ÁREA = 2784 PIXELS ( 1.1%)
CLASSE 8
PASSAGEM 05 ABRIL /78
COMPRESSÃO PARA 64 NÍVEIS
```

Fig. 13 - Distribuição de frequência de níveis de cinza na classe 8.

Ao resultado desta classificação, foram associados os valores da profundidade de Secchi, expressa em metros, que foram obtidas durante o trabalho de campo realizado nesta represa, no período de 31 de março a 19 de abril de 1978. Estes valores foram medidos na superfície, em 24 pontos de amostragem, conforme indicado na Figura 14.

Estes pontos de amostragem foram definidos a partir de uma classificação temática feita em uma fita CCT, da passagem de 06/02/77. Para a escolha dos pontos de amostragem, foi levado em consideração os diferentes níveis de cinza, encontrados na superfície da represa, e os principais rios abastecedores da mesma. Em cada área da represa que houvesse um nível de cinza representativo e um rio abastecedor de importância, foi colocado um ponto de amostragem, de modo a permitir que se fizesse uma estimativa da concentração de partículas sólidas em suspensão, em cada classe mapeada.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise automática das fitas CCT, foi obtida uma classificação temática da represa, mostrando a compartimentação da mesma em oito classes diferenciadas em termos de níveis de cinza. Isto foi apresentado no vídeo colorido do sistema I-100 e, por intermédio de um "Slide", obteve-se um negativo fotográfico colorido, cuja cópia em papel fotográfico é apresentada na Figura 15.

Pela impressora de linhas obteve-se um mapa temático nas escalas aproximadas: Horizontal - 4:157.583 Vertical - 1:156.176, que é apresentado em escala reduzida na Figura 16.

As classes representadas no mapa e na classificação temática, apresentada no vídeo colorido, foram definidas pelo programa MAXVER, a partir dos valores de média e matriz de covariância, calculados com os dados de resposta espectral encontrados nas áreas de treinamento, cujos os resultados são apresentados na Tabela 1.



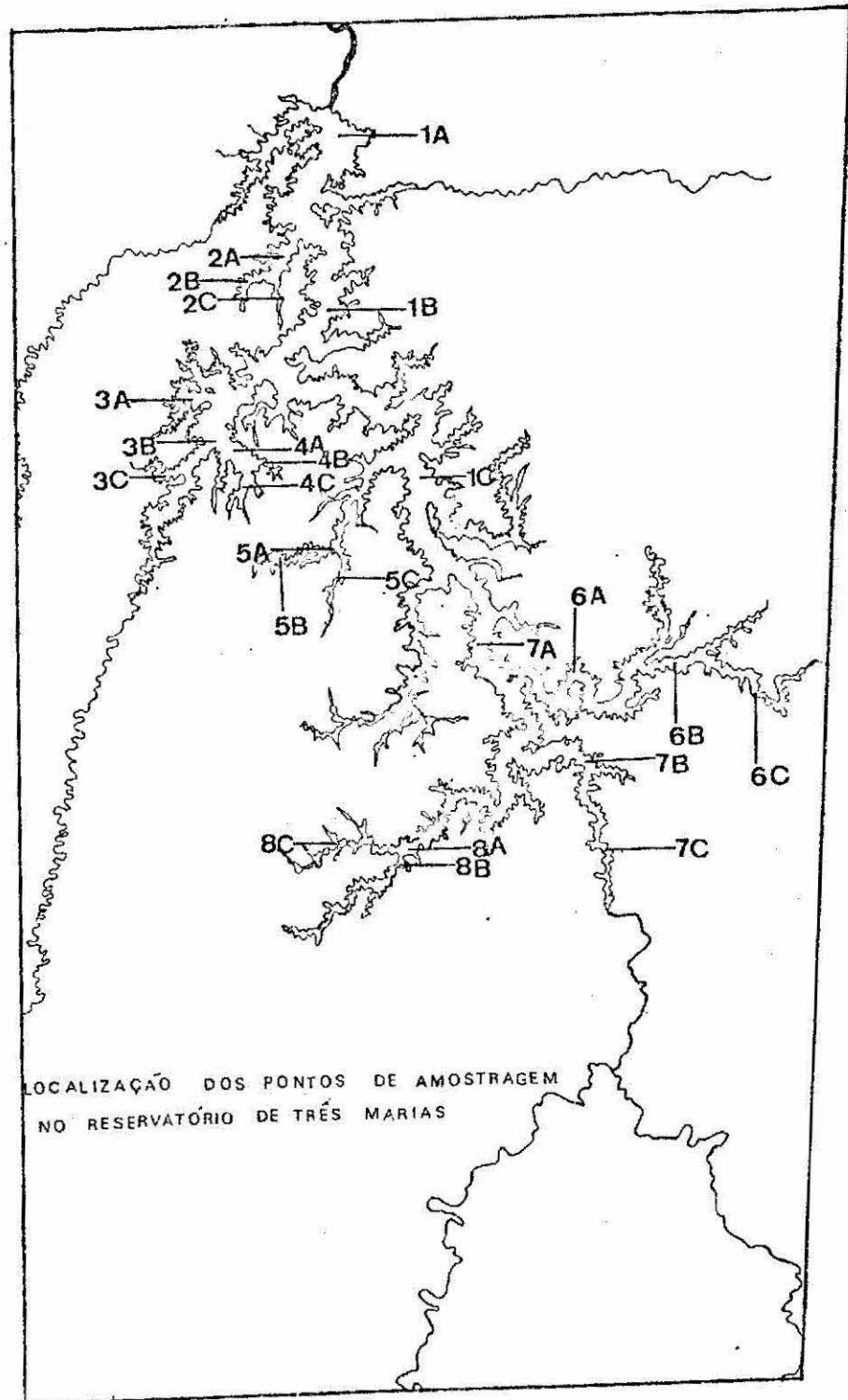


Fig. 14 - Localização dos pontos de amostragem no Reservatório de Três Marias.

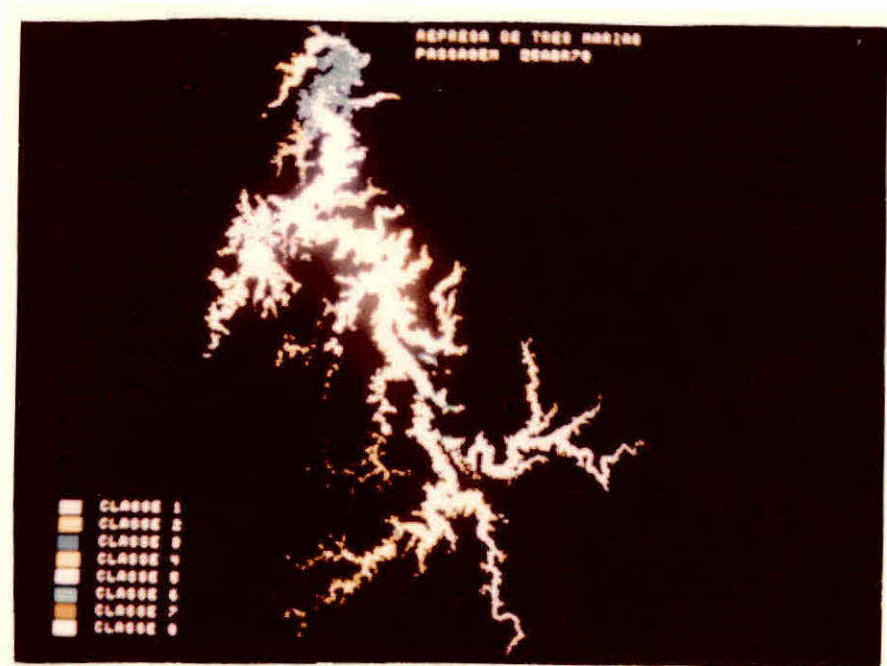


Fig. 15 - Classificação temática da superfície da represa de Três Marias, através do programa MAXVER, baseada nas áreas de treinamento previamente escolhidas.

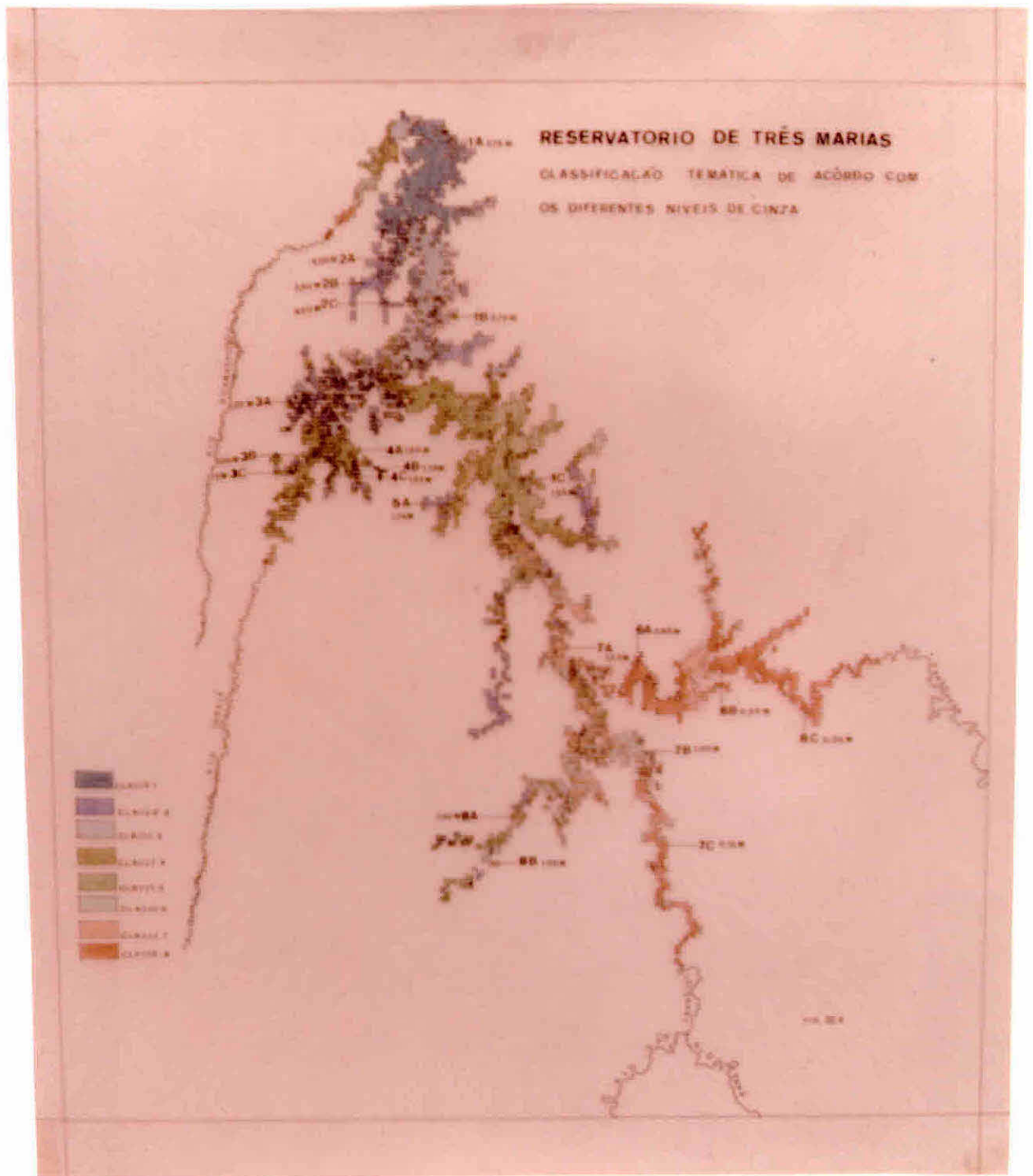


Fig. 16 - Reservatório de Três Marias.  
Classificação Temática de acôrdo com os diferentes níveis de cinza.

TABELA 1

RESUMO ESTATÍSTICO DOS RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO PELO MAXVER

| CLASSES | MÉDIAS |       | MATRIZ DE COVARIÂNCIA |                |
|---------|--------|-------|-----------------------|----------------|
|         | MSS4   | MSS5  |                       |                |
| 1       | 16.81  | 4.72  | 4.09<br>0.80          | 0.80<br>2.73   |
| 2       | 20.31  | 9.24  | 14.53<br>5.44         | 5.44<br>5.91   |
| 3       | 22.11  | 9.20  | 11.46<br>3.99         | 3.99<br>4.09   |
| 4       | 26.46  | 16.47 | 5.23<br>0.83          | 0.83<br>3.22   |
| 5       | 30.47  | 23.69 | 11.98<br>6.22         | 6.22<br>9.57   |
| 6       | 33.64  | 33.17 | 15.31<br>10.58        | 10.58<br>22.03 |
| 7       | 35.51  | 34.02 | 16.36<br>18.01        | 18.01<br>0.57  |
| 8       | 36.41  | 51.66 | 18.01<br>0.57         | 0.57<br>20.88  |

As classes foram ordenadas de acordo com a intensidade da resposta espectral, atribuindo-se para efeitos visuais, coloração azul para a classe com a resposta espectral mais baixa e vermelho para a resposta espectral mais alta. As classes intermediárias receberam uma combinação de cores, indo do azul até o vermelho, passando pelo verde (Figura 17). O mapa obedece a esta mesma ordenação.

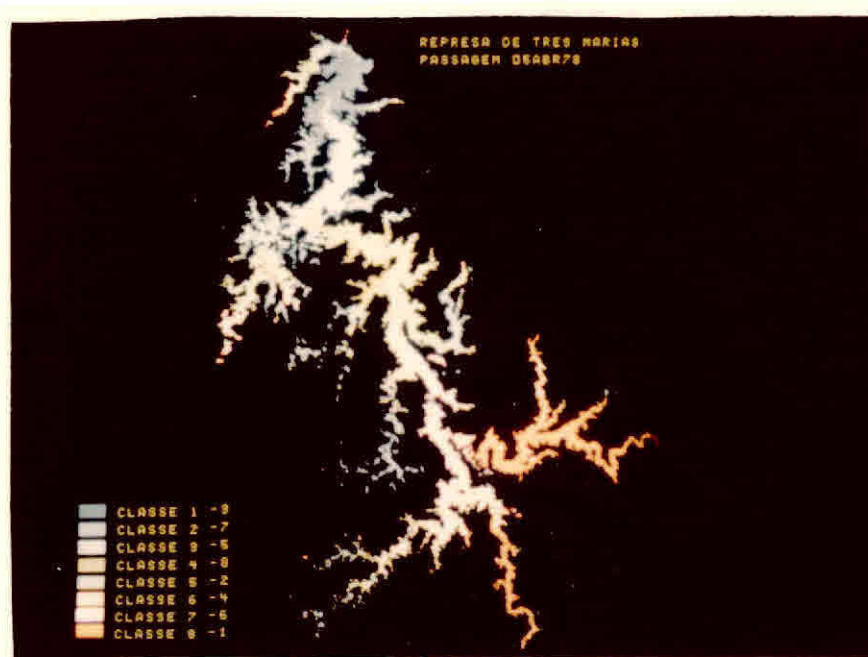


Fig. 17 - Classificação temática da represa de Três Marias, através do sistema MAXVER, com a geração e ordenação de cores de acordo com os níveis de cinza.

A Tabela 2 mostra como foram gerados as cores para cada uma das classes.

TABELA 2

GERAÇÃO DE CORES PARA AS 8 CLASSES DETERMINADAS  
ATRAVÉS DO PROGRAMA MAXVER

|        |   |   |   |             |   |   |         |     |     |
|--------|---|---|---|-------------|---|---|---------|-----|-----|
| NÍVEIS | R | G | B | para classe | 1 | > | 0       | 0   | 255 |
| NÍVEIS | R | G | B | para classe | 2 | > | 0       | 110 | 255 |
| NÍVEIS | R | G | B | para classe | 3 | > | 0       | 255 | 255 |
| NÍVEIS | R | G | B | para classe | 4 | > | 0       | 255 |     |
| NÍVEIS | R | G | B | para classe | 5 | > | 0       | 255 | 110 |
| NÍVEIS | R | G | B | para classe | 6 | > | 110     | 255 | 110 |
| NÍVEIS | R | G | B | para classe | 7 | > | 255     | 0   | 255 |
| NÍVEIS | R | G | B | para classe | 8 | > | 23/3/55 |     |     |

R - vermelho

G - verde

B - azul

Através da análise do mapa, pode-se observar que as respostas espectrais mais baixas localizaram-se próximas à saída de água e as respostas espectrais mais altas, localizaram-se nas entradas de águas principalmente aquelas alimentadas pelos rios Paraopeba, São Francisco e Borrachudo.

Sobre este mapa foram localizados os 24 pontos de amostragem, onde foram realizadas as medidas de profundidade Secchi, permitindo-se fazer uma relação das respostas com os valores de profundidade obtidos, os quais são apresentados na Tabela 3.

TABELA 3

RELAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM COM AS RESPECTIVAS  
MEDIDAS DE PROFUNDIDADE SECCHI

| PONTOS | PROFUNDIDADE EM M |
|--------|-------------------|
| 1A     | 2.75              |
| 1B     | 2.75              |
| 1C     | 1.25              |
| 2A     | 4.00              |
| 2B     | 3.50              |
| 2C     | 4.00              |
| 3A     | 2.25              |
| 3B     | 2.00              |
| 3C     | 1.75              |
| 4A     | 1.50              |
| 4B     | 1.75              |
| 4C     | 1.25              |
| 5A     | 1.75              |
| 5B     | 2.00              |
| 5C     | 1.75              |
| 6A     | 0.80              |
| 6B     | 0.50              |
| 6C     | 0.25              |
| 7A     | 1.25              |
| 7B     | 1.00              |
| 7C     | 0.75              |
| 8A     | 1.50              |
| 8B     | 1.25              |
| 8C     | 1.75              |

A Tabela 4 apresenta a relação existente entre as respostas espectrais e as medidas de profundidade Secchi.

TABELA 4

MÉDIAS DAS RESPOSTAS ESPECTRAIS NOS CANAIS MSS 4 e 5  
E MEDIDAS DE PROFUNDIDADE SECCHI EM METROS

| CLASSES | MÉDIAS |       | PROFUNDIDADE EM M |
|---------|--------|-------|-------------------|
|         | MSS4   | MSS5  |                   |
| 1       | 16.81  | 4.72  | 4.00              |
| 2       | 20.31  | 9.24  | 1.75 a 3.00       |
| 3       | 22.11  | 9.20  | 2.25              |
| 4       | 26.46  | 16.47 | 1.75 a 2.00       |
| 5       | 30.47  | 23.69 | 1.25 a 1.50       |
| 6       | 33.64  | 33.17 | 1.00 a 1.25       |
| 7       | 35.51  | 34.02 | 1.25              |
| 8       | 36.41  | 51.66 | 0.25 a 0.80       |



Como pode ser observado na Tabela 5, as classes 2, 3 e 4 poderiam ser agrupadas em uma única classe, o mesmo acontecendo com as classes 6 e 7.

TABELA 5

RELAÇÃO DAS CLASSES, MÉDIAS ESPECTRAIS, PROFUNDIDADES  
SECCHI E PONTOS DE AMOSTRAGEM

| CLASSES |       |       | PROFUNDIDADE EM M | PONTOS DE AMOSTRAGEM |
|---------|-------|-------|-------------------|----------------------|
|         | MSS4  | MSS5  |                   |                      |
| 1       | 16.81 | 4.72  | 4.00              | 2A - 2C              |
| 2       | 20.31 | 9.24  | 1.75 a 3.00       | 2B, 1B, 4B           |
| 3       | 22.11 | 9.20  | 2.25              | 3A                   |
| 4       | 26.46 | 16.47 | 1.75 a 2.00       | 3B, 3C, 5A           |
| 5       | 30.47 | 23.69 | 1.25 a 1.50       | 4A, 4C, 1C, 8A       |
| 6       | 33.64 | 33.17 | 1.00 a 1.25       | 7B, 8B               |
| 7       | 35.51 | 34.02 | 1.25              | 7A                   |
| 8       | 36.41 | 51.66 | 0.25 a 0.80       | 6A, 6B, 6C, 7C       |

O agrupamento das classes 2,3 e 4 apresentaria as seguintes características:

- a) resposta espectral média no canal MSS4, variando de 20.31 a 26.46;
- b) resposta espectral média no canal MSS5, variando de 9.24 a 16.47;
- c) profundidade Secchi, variando de 1.75 a 3.00 m.

Já no agrupamento das classes 6 e 7, as características seriam as seguintes:

- a) respostas espectral média no canal MSS4, variando de 33.64 a 35.51;
- b) resposta espectral média no canal MSS5, variando de 33.17 a 34.02;
- c) profundidade Secchi, variam do de 1.00 a 1.25 m.

Este fato pode ser explicado pela localização das áreas de treinamento, selecionadas para representar essas classes, ocorrerem em zonas de transição sendo, portanto, as mesmas pouco diferenciadas entre si, dificultando a definição de seus limites.

A Figura 18 mostra o resultado das uniões das classes, feita no sistema I-100.

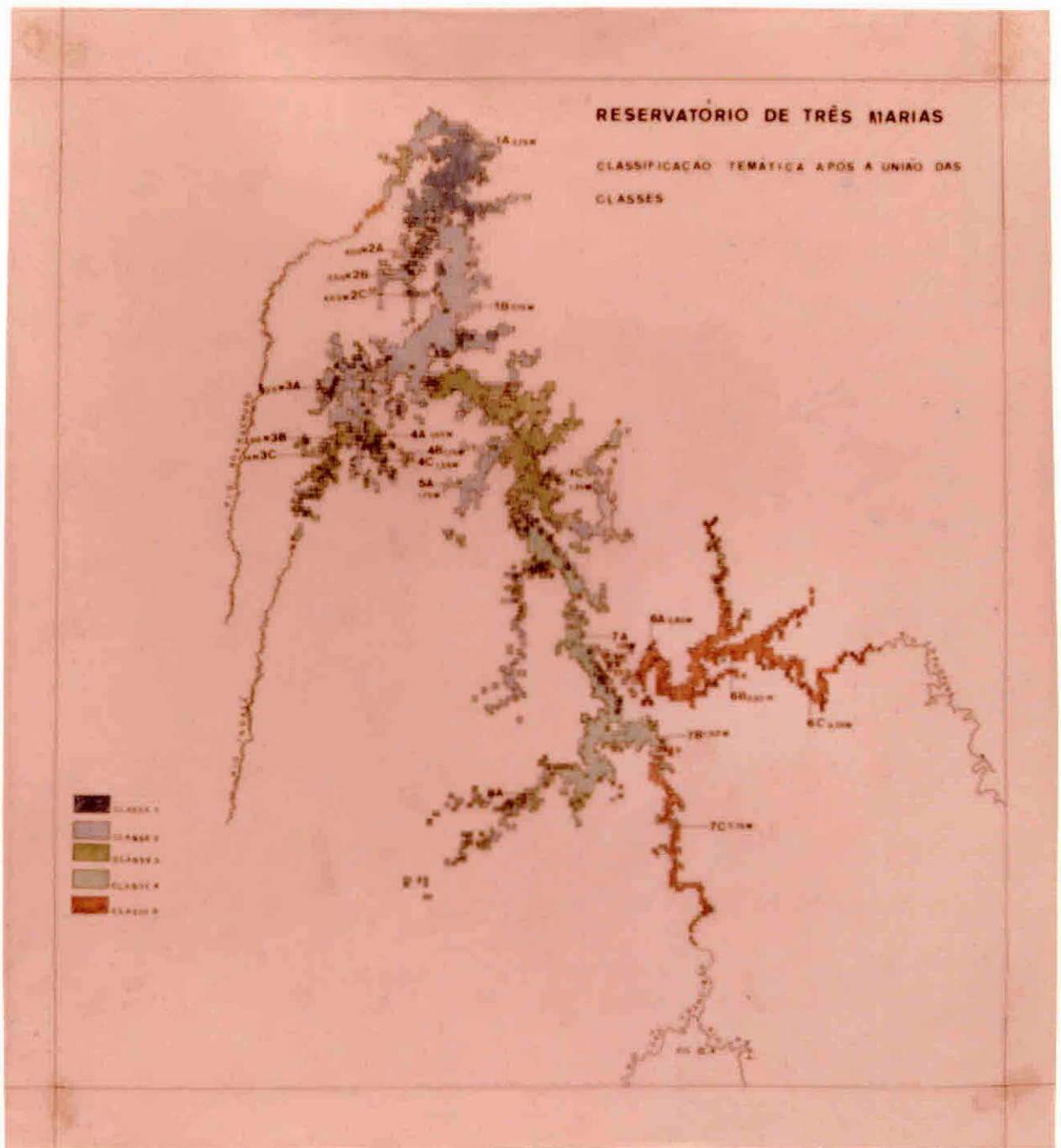


Fig. 18 - Reservatório de Três Marias.  
Classificação Temática após a união das classes.

Deve-se salientar que os pontos de amostragem foram estabelecidos a partir de uma análise automática preliminar, de uma fita CCT, do mês de fevereiro de 1977, e que os mesmos foram mantidos para o período em que foi realizado o trabalho de campo deste estudo. Isto se deve ao fato de que a referida fita era a única informação do período chuvoso, existente até a época do trabalho de campo, uma vez que a imagem utilizada neste estudo, só foi obtida pelo sensor MSS do LANDSAT por ocasião do mencionado trabalho.

Devido a este fato, os pontos de amostragem podem não estar localizados com precisão, de modo a serem perfeitamente representativos das classes por eles caracterizados.

Com foi mencionado anteriormente, deve-se observar que este trabalho apresenta apenas os resultados parciais de uma pesquisa mais ampla, que está sendo desenvolvida pelo INPE e CODEVASF, envolvendo dois períodos sazonais em três anos diferentes.

O ponto de amostragem mais problemático foi o ponto 1A, que apresentou resultados anormais. A explicação para este acontecimento poderá ser dada através de sua observação em outros anos, no mesmo período sazonal.

Um fator causou problemas na interpretação automática das fitas CCT, foi a cobertura de nuvens sobre alguns braços da represa.

O resultado da comparação desses dados mostrou que os níveis de cinza, que representam as diferentes reflectâncias da água, são inversamente proporcionais à profundidade Secchi, isto é, quanto maior for a reflectância, menor é a profundidade Secchi. Como a profundidade Secchi (SD) está correlacionada ao coeficiente de atenuação da água ( $\alpha$ ) pela relação:

$$SD = \frac{2,3}{\alpha}$$

e este fator, por sua vez, está correlacionado com a quantidade de partículas em suspensão na água, conclui-se que, conhecendo-se a relação matemática entre a profundidade Secchi e a quantidade de partículas sólidas em suspensão, poder-se-ia estabelecer valores quantitativos da dispersão de sedimentos em suspensão, para as diferentes classes de níveis de cinza.

Para exemplificar tal afirmação, usaremos dados da Tabela 5 para obtermos o coeficiente de atenuação das classes 1 e 8.

1 - Exemplo da Classe 1:

Reflectância - MSS4: 16.81  
MSS5: 4.72

Ponto de amostragem - 2A  
Profundidade Secchi - 4.00 m

$$SD = \frac{2,3}{\alpha} \quad \alpha = \frac{2,3}{SD} = \frac{2,3}{4,0} = 0,57$$

2 - Exemplo da Classe 8:

Reflectância - MSS4 - 36.41  
MSS5 - 51.66

Ponto de Amostragem - 6C  
Profundidade Secchi - 0.25 m

$$SD = \frac{2,3}{\alpha} \quad \alpha = \frac{2,3}{SD} = \frac{2,3}{0.25} = 9,2$$

Como pode ser observado no exemplo acima, as reflectâncias da classe 1, o coeficiente de absorção de um dos pontos de amostragem pertencentes a esta classe e a sua profundidade Secchi são bem menores do que os da classe 8. Portanto, podemos dizer que a quantidade de sedimentos em suspensão na classe 1, ponto 2A, é bem menor do que na classe 8, ponto 6C.

Conclui-se, portanto, que, sabendo-se a profundidade de Secchi, podemos calcular o coeficiente de atenuação da água. Associando-se este às diferentes classes de níveis de cinza, pode-se ter o comportamento da dispersão de sedimentos em suspensão na superfície d'água, além de se obter, para o mesmo, valores quantitativos nas diferentes classes de níveis de cinza.

#### 4. CONCLUSÃO

Este trabalho mostrou que as respostas espectrais de corpos d'água, gravadas nas fita CCT, obtidas a partir de dados medidos pelo sensor MSS do satélite LANDSAT, podem ser usadas no atual estágio de pesquisa do INPE, para fazer o mapa de contorno da distribuição das partículas sólidas em suspensão, através de sua análise automática no sistema I-100.

A utilização rotineira desses dados, permitiria a constatação rápida e eficiente de algum problema em grande escala, que viesse a acontecer na represa, relacionada principalmente à distribuição das partículas sólidas em suspensão.

Além disso, esse mapa poderia ser utilizado para estabelecer pontos de amostragem mais representativos, capazes de permitirem o controle da qualidade da água de reservatórios semelhantes a este.

A conjugação desses mapas com um sistema de amostragem eficiente e contínuo, permitiria obter dados quantitativos e consequentemente um resultado mais efetivo para este tipo de estudo.

5. BIBLIOGRAFIA

FERRARI, P.G.; MATTOS, G.M.M.; MENEZES FILHO, N.R. *Projeto Três Marias: Relatório Final*. Belo Horizonte, DNPM, CPRM, 1977, v.1.

PANOSO, L.A.; SANTANA, D.P.; BARUQUI, A.M.; BARUQUI, F.M.; ALMEIDA, J. R.; NAIME, U.J. *Levantamento de reconhecimento detalhado dos solos da área sob a influência do reservatório de Três Marias*. Belo Horizonte, EPAMIG, 1978. (SNLCS, Boletim Técnico, 57).

RITCHIE, J.; SCHIEBE, F.R.; MCHENRY, J.R. Remote Sensing of suspended sediments in surface waters. *Photogram metric Engineering and Remote Sensing*, 42(12): 1539-1545, Dec., 1976.

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