1. Classificação *INPE-COM.4/RPE* *C.D.U.: 528.711.7:556.51(282.281.5)*	2. Período	4. Distribuição interna [ ] externa [X]
3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor) *IMAGENS LANDSAT* *SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO* *BACIA ABASTECEDORA* *ANÁLISE TEMPORAL*		
5. Relatório nº *INPE-2154-RPE/373*	6. Data *Julho, 1981*	7. Revisado por *Evlyn M.L.M. Novo*
8. Título e Sub-Título *ESTUDO DINÂMICO DO ALTO RIO SÃO FRANCISCO E RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS, ATRAVÉS DE IMAGENS MSS/LANDSAT*		9. Autorizado por *Nelson de Jesus Parada* *Diretor*
10. Setor *DSR/DDP*	Código *30.241.000*	11. Nº de cópias *08*
12. Autoria *Tania Maria Sausen*		14. Nº de páginas *76*
13. Assinatura Responsável		15. Preço

16. Sumário/Notas

Este trabalho tem por objetivo desenvolver uma metodologia de utilização de imagens MSS do sistema LANDSAT, para verificar o relacionamento entre o comportamento do reservatório de Três Marias, face à dispersão de sedimentos em suspensão e sua concentração na camada superficial da água, e a dinâmica de sua bacia abastecedora. Fez-se uma análise da área de estudo durante um período de cinco anos, nas estações seca e chuvosa, utilizando-se imagens dos canais MSS 4,5 e 7 dos anos de 1973, 1975, 1977 e 1978. Analisou-se a rede de drenagem, os padrões de dissecação do relevo e uso do solo da bacia abastecedora do reservatório de Três Marias e fez-se a compartimentação da camada superficial do reservatório, em função dos níveis de cinza. Realizaram-se dois trabalhos de campo para a coleta de dados de profundidade Secchi e reflectância d'água in situ. Este trabalho permitiu constatar que através da consideração simultânea de variáveis físicas e humanas de uma dada bacia, é possível determinar os principais fatores que atuam na dinâmica da bacia abastecedora de um reservatório artificial.

17. Observações

Trabalho aceito para apresentação na 33a. Reunião Anual da SBPC, 8 a 15 de junho de 1981, Salvador, Bahia.

Trabalho realizado através do convênio CNPq-INPE/CODEVASF.

Trabalho submetido para apresentação no "II Simposium Internacional de Percepción Remota", Valparaiso, Chile - 5-14 August/1981.

ESTUDO DINÂMICO DO ALTO RIO SÃO FRANCISCO E DO RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS, ATRAVÉS DE IMAGENS LANDSAT

Tania Maria Sausen

Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq
São José dos Campos - SP - Brasil

Resumo

Este trabalho tem por objetivo desenvolver uma metodologia de utilização de imagens MSS do sistema LANDSAT, para verificar o relacionamento entre o comportamento do reservatório de Três Marias, face à dispersão de sedimentos em suspensão e sua concentração na camada superficial d'água e a dinâmica de sua bacia abastecedora. Para tal, fez-se uma análise temporal da área de estudo durante um período de cinco anos, em duas estações distintas (seca e chuvosa). Utilizaram-se imagens MSS/LANDSAT de três canais 4,5 e 7 em dois períodos sazonais dos anos de 1973, 1975, 1977 e 1978.

Fez-se uma análise visual das imagens LANDSAT para obter informações sobre a rede de drenagem, os padrões de dissecação do relevo e o uso do solo da bacia abastecedora do reservatório de Três Marias. Fez-se, também, uma análise automática para a compartimentação da camada superficial d'água do reservatório, em função dos níveis de cinza, indicadores das diferentes concentrações de sedimentos.

Simultaneamente à cobertura orbital do satélite, em 1978, realizaram-se trabalhos de campo para a coleta de dados de profundidade Secchi e reflectância d'água in situ.

As análises realizadas permitiram que se chegasse, entre outros, aos seguintes resultados: a) através da consideração simultânea de variáveis físicas e humanas de uma dada bacia, é possível determinar os principais fatores que atuam na dinâmica da bacia abastecedora de um reservatório artificial, bem como avaliar os processos que estão diminuindo a vida útil dele, b) as imagens MSS/LANDSAT, principalmente através de suas características espectrais, são úteis para o estudo da dispersão dos sedimentos em suspensão em reservatórios artificiais.

1. INTRODUÇÃO

O homem, por sua necessidade crescente de fontes de energia e d'água, utiliza cada vez mais o potencial hidrológico existente na natureza, através da construção de grandes reservatórios. Porém, a barragem é um obstáculo interposto no leito natural de um rio, produzindo uma reação de desequilíbrio em seu ambiente, provocando consequências desastrosas como assoreamento da bacia de captação e do reservatório, com consequente redução do volume d'água (Machado, 1975).

Em 1973 observou-se o aumento frequente da turbidez de alguns pontos no reservatório de Três Marias, o que foi associado a possível assoreamento. Isto chamou a atenção dos órgãos encarregados da manutenção do reservatório, quais sejam - CODEVASF e CEMIG(Castro,1975).

Devido a este problema foi então firmado um convênio entre o CNPq/INPE e a CODEVASF com o objetivo de avaliar a viabilidade de utilização de dados do sistema LANDSAT para o monitoramento de reservatórios artificiais e de suas bacias abastecedoras.

Trabalhos anteriores como o de Herz (1977) já haviam demonstrado que as imagens LANDSAT eram instrumentos importantes para o estudo dos processos de dispersão de partículas sólidas em corpos d'água, pois as respostas espectrais dos canais 4 e 5 do MSS são correlacionadas linearmente com os níveis de turbidez, o que possibilita a identificação de áreas com diferentes concentrações de sólidos suspensos.

Desta forma, este trabalho tem por objetivo desenvolver

uma metodologia de utilização de imagens MSS do sistema LANDSAT, para verificar o relacionamento entre o comportamento do reservatório de Três Marias, face à dispersão de sedimentos em suspensão e a sua concentração na camada superficial d'água e a dinâmica de sua bacia abastecedora.

2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

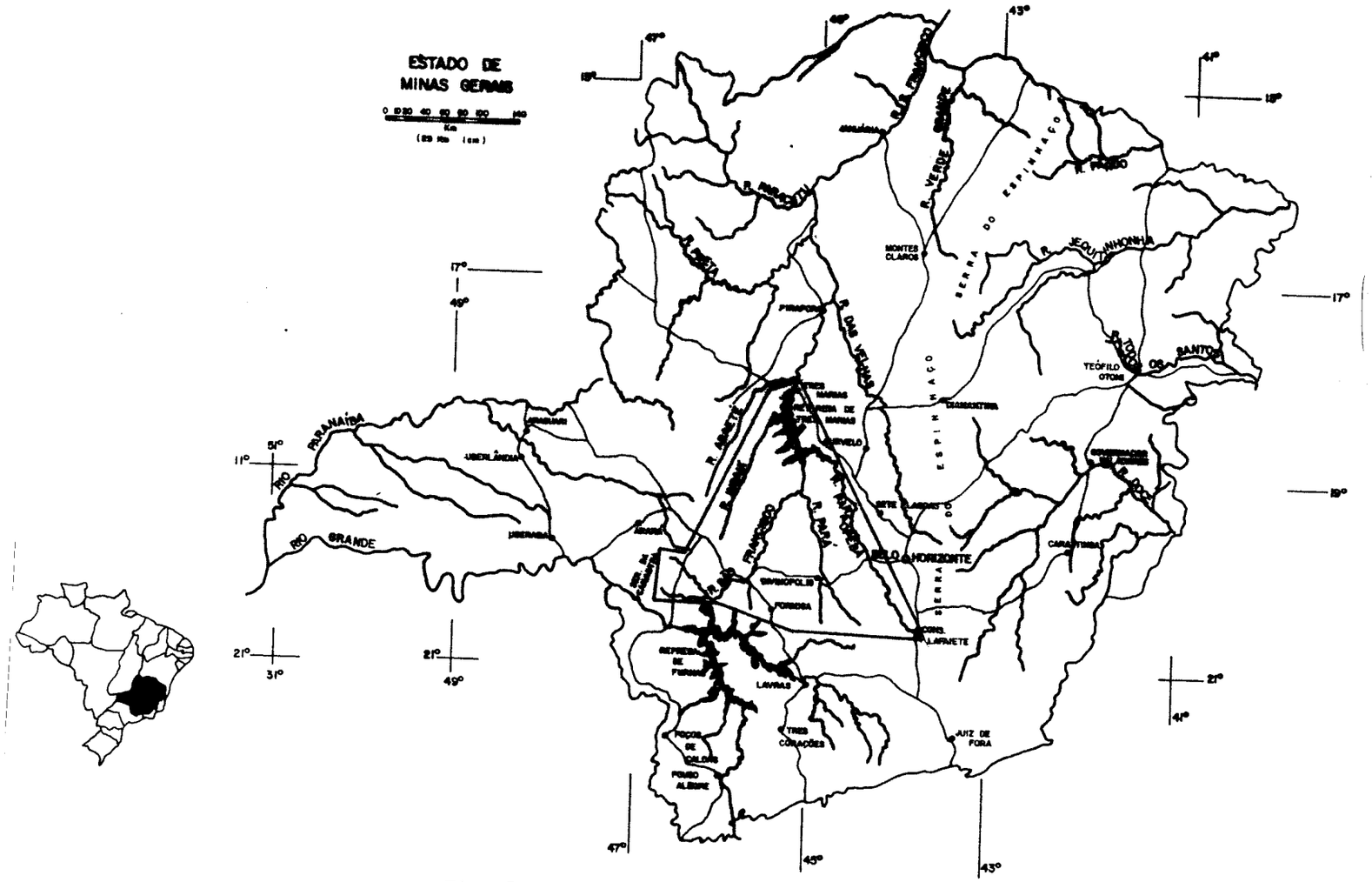
A área de estudo , abrangida pelo alto curso do rio São Francisco e pelo reservatório de Três Marias, está localizada na porção central do Estado de Minas Gerais, entre as coordenadas de 18°00 a 21°00 de latitude Sul e de 43°30' e de 46°00 de longitude Oeste, perfazendo um total de 48.200 Km^2 (Figura 1).

3. MÉTODO, MATERIAL E TÉCNICAS

De acordo com o objetivo proposto, fez-se uma análise temporal da área de estudo, durante um período de cinco anos, em duas estações distintas (seca e chuvosa), o que permitiu avaliar quais modificações atingiram direta ou indiretamente o reservatório.

Assim, foram levados em consideração fatores físicos, tais como, rede de drenagem, padrões de dissecação do relevo, geologia e solo, que permitiram uma caracterização da área. Foram considerados também fatores antrópicos, (como o uso do solo em geral), que possibilitaram a avaliação da influência humana na bacia.

Uma bacia de drenagem pode ser analisada em uma perspec


ESTADO DE
MINAS GERAIS
RIO PARANAÍBA
RIO GRANDE
UBERLÂNDIA
UBERABA
MONTES CLAROS
SERRA DO ESPINHAÇO
R. JEQUITINHONHA
R. PARDO
R. VERDE GRANDE
R. DAS VELHAS
R. PARAÚNA
R. PARANÃ
R. PARAOPEBA
R. PARA
R. PARAÍBA
R. PARAHYBUNA
R. PARAGUAÇU
R. PARAHYBA
R. PARAÍBA DO SUL
R. PARAHYBA DO NORTE
R. PARANAÍBA
R. PARANAGUÁ
R. PARANAPANEMA
R. PARANAÍBA
R. PARANAÍBA
R. PARANAÍB

tiva sistêmica, sendo então observada como se fosse um sistema. Desta forma, levando-se em consideração os elementos (físicos e humanos) da bacia abastecedora em questão, analisou-se a área como sendo um sistema. Com base na Teoria Geral dos Sistemas, procurou-se fazer uma análise integrada da área em estudo, de modo a avaliar as relações entre os diferentes elementos e fatores que compõem o reservatório e sua bacia abastecedora.

3.1 - METODO

A pesquisa propõe o estudo da dinâmica de uma dada área, através do tempo, comparando-se imagens representativas de uma condição morfogenética de períodos secos e chuvosos.

Para tal, fez-se um levantamento das condições das imagens MSS no período compreendido entre os anos de 1972 a 1977. Constatou-se que a estação brasileira de recepção de dados iniciou sua operação somente em junho de 1973 e que durante o ano de 1974, devido a problemas de ordem técnica no setor de recepção de dados, não foram coletadas informações do LANDSAT por um período de 6 meses.

Levando-se em consideração estes fatores, os anos escolhidos para a análise da área de estudo foram 1973, 1975, 1977 e 1978, fazendo-se coincidir as imagens deste último ano, com o controle de campo na área de interesse.

Como havia sido observado que o reservatório de Três Marias apresentava respostas espectrais diferentes nos períodos chuvoso

e seco, foram selecionadas imagens referentes a uma passagem de cada período sazonal.

O trabalho dividiu-se em duas etapas distintas de análise:

- a primeira, na qual fez-se um estudo da dinâmica da bacia abastecedora do reservatório de Três Marias, levando-se em consideração a rede de drenagem, os padrões de dissecação do relevo, a geologia, os solos e o uso do solo da região criando-se metodologias específicas para a sua aquisição.

- a segunda, em que se efetuou uma avaliação da influência exercida por estes fatores sobre a dispersão e a concentração de sedimentos, na camada superficial d'água do referido reservatório. Para a aquisição destes dados, utilizou-se, também, uma metodologia específica.

Como material básico para o desenvolvimento deste estudo, foram utilizados os dados MSS/LANDSAT. Estes dados, sob a forma de fitas magnéticas, foram utilizados para fazer a análise do comportamento do reservatório de Três Marias. Partiu-se do princípio de que os diferentes níveis de cinza observados na camada superficial d'água do reservatório, através das imagens, indicariam diferentes concentrações de sedimentos.

Como não existiam mapas de drenagem, de padrões de dissecação do relevo e de uso do solo da área de estudo, em escala compa

tível com a das imagens LANDSAT, estas foram utilizadas, também, para a compilação de tais informações, de modo a se obter uma visão geral da bacia abastecedora do reservatório de Três Marias.

As coletas de dados no campo (reservatório e bacia abastecedora) foram realizadas simultâneamente às passagens do satélite em 1978, possibilitando, assim, a obtenção de informações sobre a área que poderiam ser correlacionadas com as observadas nas imagens.

3.2 - MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Na realização deste trabalho, foram utilizados os seguintes materiais.

a) Dados do Sistema LANDSAT:

A Tabela 1 relaciona os dados do Sistema LANDSAT utilizados neste trabalho.

TABELA 1

DADOS DO SISTEMA LANDSAT UTILIZADOS

PRODUTO (MSS)	CANAIS	PERÍODOS	ESCALA
IMAGENS FOTOGRÁFICAS	4,5 e 7	SECO E CHUVOSO DOS ANOS DE 73 75, 77 e 78	1:500.000
FITAS MAGNÉTICAS (CCT)	4,5,6 e 7	SECO E CHUVOSO DE 73,75,77 e 78	-

b) Material Cartográfico:

A Tabela 2 relaciona o material cartográfico utilizado neste trabalho.

TABELA 2

RELAÇÃO DO MATERIAL CARTOGRÁFICO UTILIZADO

CARTAS	ESCALA
BELO HORIZONTE	1:1.000.000
RIO DE JANEIRO	1:1.000.000
CARTAS TOPOGRÁFICAS	1:100.000
CARTAS TOPOGRÁFICAS	1:50.000

c) Dados plúvio-fluviométricos:

A Tabela 3 relaciona o material fluviométrico utilizado nesse trabalho.

TABELA 3

MATERIAL FLUVIOMÉTRICO UTILIZADO

DADOS	UNIDADE	LOCAL
DESCARGA LÍQUIDA	M^3/S	RIOS PARÁ, PARAOPEBA E SÃO FRANCISCO
DESCARGA SOLIDA	MG/L TON/DIA	RIOS PARÁ, PARAOPEBA E SÃO FRANCISCO

Utilizaram-se, também, dados de pluviometria (mm) de 5 postos meteorológicos.

Os dados relacionados foram cedidos pela CEMIG (Centrais Elétricas de Minas Gerais) e DNM (Departamento Nacional de Meteorologia).

Utilizaram-se, ainda, os equipamentos relacionados na Tabela 4.

TABELA 4

EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

EQUIPAMENTO	FUNÇÃO
SISTEMA I-100	ANÁLISES AUTOMÁTICAS DAS FITAS MAGNÉTICAS (CCT) CONFORME HERZ E TANAKA (1978).
DISCO DE SECCHI	MEDIDA DA TRANSMISSÃO DA LUZ VISÍVEL NA ÁGUA (PICKARD, 1963).
RADIÔMETRO	MEDIDA DOS FUXOS INCIDENTE E EMERGENTE DE RADIAÇÃO NA ÁGUA, NAS MESMAS FAIXAS ESPECTRAIS UTILIZADAS PELO MSS/LANDSAT.

3.3 - TÉCNICAS UTILIZADAS PARA OBTENÇÃO DE INFORMAÇÕES SOBRE A ÁREA DE ESTUDO

3.3.1 - ANÁLISE VISUAL DA REDE DE DRENAGEM

O mapeamento da rede de drenagem foi feito segundo metodologia proposta por Santos e Novo (1977) e Sausen (1978) e a análise dos padrões de drenagem foi feita segundo Howard (1967).

3.3.2 - MAPEAMENTO DAS UNIDADES DE PADRÕES DE DISSECAÇÃO DO RELEVO DA ÁREA DE ESTUDO

1) Análise visual dos padrões de dissecação do relevo da área de estudo

Esta análise foi realizada segundo metodologia proposta por Moraes e Leite, 1975; koffler, 1976; Nascimento e Nascimento, 1977.

Para a delimitação das unidades fotomorfológicas, levou-se em consideração as três principais categorias de dissecação: colinas, cristas e tabuleiros (Barbosa et alii, 1977).

A legenda do mapa de compartimentação da área foi definida, levando-se em consideração:

- as três principais categorias de dissecação já mencionadas:
  Colinas (C)
  Tabuleiros (T)

Cristas (K)

Estas foram aliadas aos índices de:

- intensidade de dissecação vertical, que significa o entalhe dos canais de drenagem, e tem três valores diferentes:

  (1) - baixa (0 a 60 metros)
  (2) - média (60 a 100 metros)
  (3) - alta (mais de 100 metros)

- amplitude de forma, em termos da distância entre um canal de drenagem e outro, tendo também três valores diferentes:

  (I) - pequena (0 a 1,60 Km)
  (II) - média (1,60 a 2,30 Km)
  (III) - alta (2,30 a 4,0 Km)

A legenda do mapa de unidades de padrões de dissecação compõe-se, pois, da combinação das categorias de dissecação com os dois índices mencionados.

Após a análise visual das imagens MSS/LANDSAT, foram caracterizadas 19 unidades preliminares de padrões de dissecação do relevo.

2) Análise estatística das unidades fotomorfológicas da área de estudo

Para verificar a validade da compartimentação geomorfológica, as variáveis morfométricas extraídas de imagens - textura da topografia, densidade de drenagem e extensão do percurso superficial (França, 1968; Gregory e Walling, 1973) - e de cartas topográficas - amplitude e altitude médias (Nascimento e Nascimento, 1977) - foram submetidas à Análise de Variância. Através do cálculo da Menor Diferença Significativa (MDS) foram definidas as unidades de relevo da área em estudo (Steel e Torrie, 1960). Para a coleta dos dados morfométricos, foi utilizada a amostragem em grade (Santos e Novo, 1977).

Após as análises visual, estatística e dos dados coletados no campo, definiu-se e montou-se o mapa final das unidades de padrões de dissecação do relevo da área de estudo.

3.3.3 - ANÁLISE VISUAL DA COBERTURA VEGETAL E USO DO SOLO

O mapeamento da cobertura vegetal foi realizado segundo metodologia proposta por Valério Filho et alli, 1976; Santos e Novo, 1977; Aoki e Santos, 1980. Ao término da interpretação visual das imagens e das informações obtidas nos trabalhos de campo, definiram-se algumas unidades em categorias de cerrado de acordo com Aoki e Santos (1980), a saber: cerradão, cerrado (stricto sensu), campo cerrado, campo sujo de cerrado, campo limpo e mata.

Após esta etapa foi definida a legenda final do mapa de cobertura vegetal e uso do solo da área de estudo.

3.3.4 - COLETA DE DADOS DE CAMPO

Os trabalhos de campo foram realizados em dois períodos sazonais diferentes: um no período chuvoso (Março/Abril, 1978) e outro no período seco (Agosto/Setembro, 1978).

Estes trabalhos foram divididos em duas etapas:

a) coleta de dados no reservatório:

Para a coleta de dados, estabeleceram-se 25 pontos de amostragem na área compreendida pelo reservatório de Três Marias, conforme metodologia proposta por Barker (1975). A Figura 2 apresenta a localização dos pontos de amostragem no reservatório de Três Marias. Em cada um dos pontos foram coletados os seguintes dados:

a.1 - Profundidade Secchi - decresce à medida que o coeficiente de absorção da água aumenta, estando relacionada linearmente com as concentrações de sedimentos em suspensão (Barker, 1975; Yarger e McCauley, 1973; Scherz e Van Domelen, 1975; Ritche et alli, 1976).

a.2 - Reflectância d'água in situ - a razão entre a radiação solar refletida (La) e a radiação solar incidente (Ls) dá

a reflectância d'água in situ (R), para cada ponto observado:

$$R = \frac{La}{Ls}$$

A finalidade da obtenção desses resultados foi verificar a existência de sua correlação com os diferentes níveis de cinza, apresentados pelas imagens MSS/LANDSAT, na superfície do reservatório.

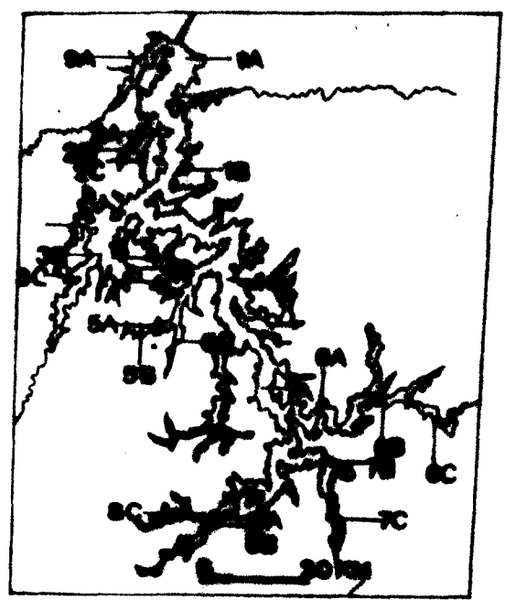


Fig.2 - Localização dos pontos de amostragem no reservatório de Três Marias.

b) coleta de dados na bacia abastecedora do reservatório de Três Marias:

As informações obtidas no campo foram sobre a geologia,

a dinâmica e a forma das vertentes, o solo, a cobertura vegetal (tipo e grau de alteração) e o uso do solo da área de estudo. Para a localização dos pontos de amostragem, utilizou-se o mapa preliminar de unidades de padrões de dissecação do relevo da área de estudo. Analisaram-se 41 pontos de amostragem no primeiro trabalho de campo e 44 no segundo, perfazendo um total de 85 pontos.

3.3.5 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS SIMULTÂNEOS, COLETADOS NO RESERVATÓRIO

Utilizaram-se os dados de profundidade Secchi e reflectância d'água in situ , coletados (simultaneamente à passagem do satélite) no reservatório de Três Marias, para verificar se havia correlação entre os diferentes níveis de cinza nas fitas e as diferentes concentrações de sedimentos em suspensão na água do reservatório. Para a análise estatística desses dados utilizou-se o coeficiente de correlação de Pearson e a regressão linear simples (Steel e Torrie, 1960).

3.3.6 - ANÁLISE AUTOMÁTICA DOS DADOS ORBITAIS

A análise automática de dados orbitais foi realizada para acompanhar a dispersão do material em suspensão, no reservatório de Três Marias, e estimar a sua concentração na camada superficial d'água, bem como desenvolver uma metodologia para este tipo de estudo.

Para a análise automática das fitas foram realizadas as seguintes etapas:

- Armazenamento de dados de radiância das CCTs na memória do sistema I-100, através do programa "E20QIO".
- Ampliação da área da represa para a escala 1:450.000, na tela do I-100, através do programa "D2IQIO".
- Definição dos limites terra / água, no canal MSS 7, através do programa Célula Única (Single Cell), conforme metodologia proposta por Herz e Tanaka (1978).
- Ampliação de diferentes partes da superfície do reservatório para a escala de 1:100.000, com o objetivo de se escolher as amostras (através do canal MSS 5) dos diferentes níveis de cinza. Tais amostras serviram para determinar os parâmetros das classes(média e matriz de covariância) a serem definidas (Velasco et alii, 1978).
- Classificação temática do reservatório de Três Marias, através do programa MAXVER (Velasco et alii, 1978), utilizando-se, como informações básicas, as classes definidas.
- Apresentação dos resultados da classificação temática na forma de uma imagem temática colorida na tela do vídeo, e na forma gráfica, por intermédio da impressora de linhas do sistema I-100 (Velasco et alii, 1978).

Para as fitas correspondentes às passagens de 05/abril/1978 e 27/agosto/1978, relativas aos dois trabalhos de campo na área de estudo, utilizou-se o procedimento que se segue:

- Ampliação de partes do reservatório, para a escala 1:50.000, com

o objetivo de localizar, na imagem, os pontos de amostragem in situ. Tal procedimento permitu associar as classes de níveis de cinza das imagens MSS/LANDSAT com a profundidade Secchi coleta da in situ, obtendo-se, assim, uma classificação semiquantitativa da dispersão de sedimentos em suspensão no reservatório de Três Marias.

- Obtenção das coordenadas das amostras, através do programa "Scaled Cursor".
- Criação, na memória do sistema I-100, de uma imagem composta apenas das amostras ampliadas, para a visualização de todas elas em conjunto, sem perda de resolução.
- Determinação dos parâmetros da classe e obtenção da "matriz de classificação correta", que dá uma previsão dos resultados da classificação, com base nas amostras escolhidas, permitindo dizer quais classes estão superpostas e quais estão separadas (Velasco et alii, 1978).
- Atribuição do valor da profundidade Secchi do ponto de amostragem in situ, para a classe a qual o ponto serviu de amostra.
- Ordenação das classes do menor para o maior valor de profundidade Secchi.
- Classificação temática do reservatório de Três Marias, através do programa MAXVER, utilizando-se as classes como informações básicas.
- Obtenção dos níveis de cinza dos pontos de amostragem in situ, em cada um dos quatro canais do MSS/LANDSAT, através do programa Treinamento de Pixel único - "Single Pixel" - (General Eletric,

1975).

- Cálculo dos valores médios de níveis de cinza, para todos pontos de amostragem in situ, nos quatro canais do MSS/LANDSAT, conforme metodologia proposta por Barker (1975). Estes valores médios foram utilizados para fazer a análise de correlação entre profundidade Secchi e reflectância d'água in situ.

4. RESULTADOS

4.1 - ORDENAÇÃO TEMPORO-ESPACIAL DAS VARIÁVEIS FÍSICAS DA BACIA ABASTECEDORA DO RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS

4.1.1 - MAPEAMENTO DA REDE DE DRENAGEM

O mapa de drenagem resultante da análise visual das imagens serviu de apoio cartográfico para a montagem dos mapas de compartimentação geomorfológica e de vegetação da área de estudos.

Fez-se uma análise dos padrões de drenagem, segundo os conceitos enunciados por Ricci e Petri (1965) e Howard (1967), obtendo-se informações sobre a litologia, a estrutura e a permeabilidade dos terrenos da bacia abastecedora do reservatório de Três Marias.

A análise visual das imagens LANDSAT, nos canais MSS 5 e 7, permitiu a identificação e o traçado da rede de drenagem da área de estudos com grande minúcia, exceção feita à região compreendida entre os rios Pará e Paraopeba, onde a drenagem se apresenta muito densa

e sem mata galeria, dificultando a identificação da drenagem secundária através das imagens (Figura 3).

Pela análise das imagens do canal MSS 7, do período chuvoso, pôde-se constatar a ocorrência de lagoas temporárias ao longo do rio São Francisco. Durante o período seco, estas lagoas desaparecem, podendo ser identificadas nas imagens do canal MSS 5 pelos tons de cinza-claro, refletido pelo fundo semi-exposto.

A rede de drenagem da área mostra predominância de dois tipos de padrão de drenagem:

a) padrão parelelo: ocorre em geral nos rios de maior volume como o Pará, Paraopeba e o São Francisco, ou no trecho do rio São Francisco, compreendido entre o ribeirão Perdizes e o rio São Mateus.

b) padrão dendrítico: ocorre na maior parte da área de estudo, exceção feita às nascentes dos rios Pará e Paraopeba e às áreas de relevos tabulares.

Analisando-se o mapa de drenagem da área de estudo, pode-se constatar a convergência da drenagem para Três Marias, com paralelismo em torno das direções SSW-NNE (rios São Francisco, Indaiá e Borrachudo) e SSE-NNW (rios Paraopeba e Pará), parecendo que se entrecruzam no reservatório.

As áreas de padrão de drenagem dendrítico apresentam

uma densidade de drenagem elevada e os cursos d'água com pequenos comprimentos (2,5 Km). Este padrão sugere a existência de rochas impermeáveis, facilitando o escoamento superficial e, consequentemente, uma densidade elevada.

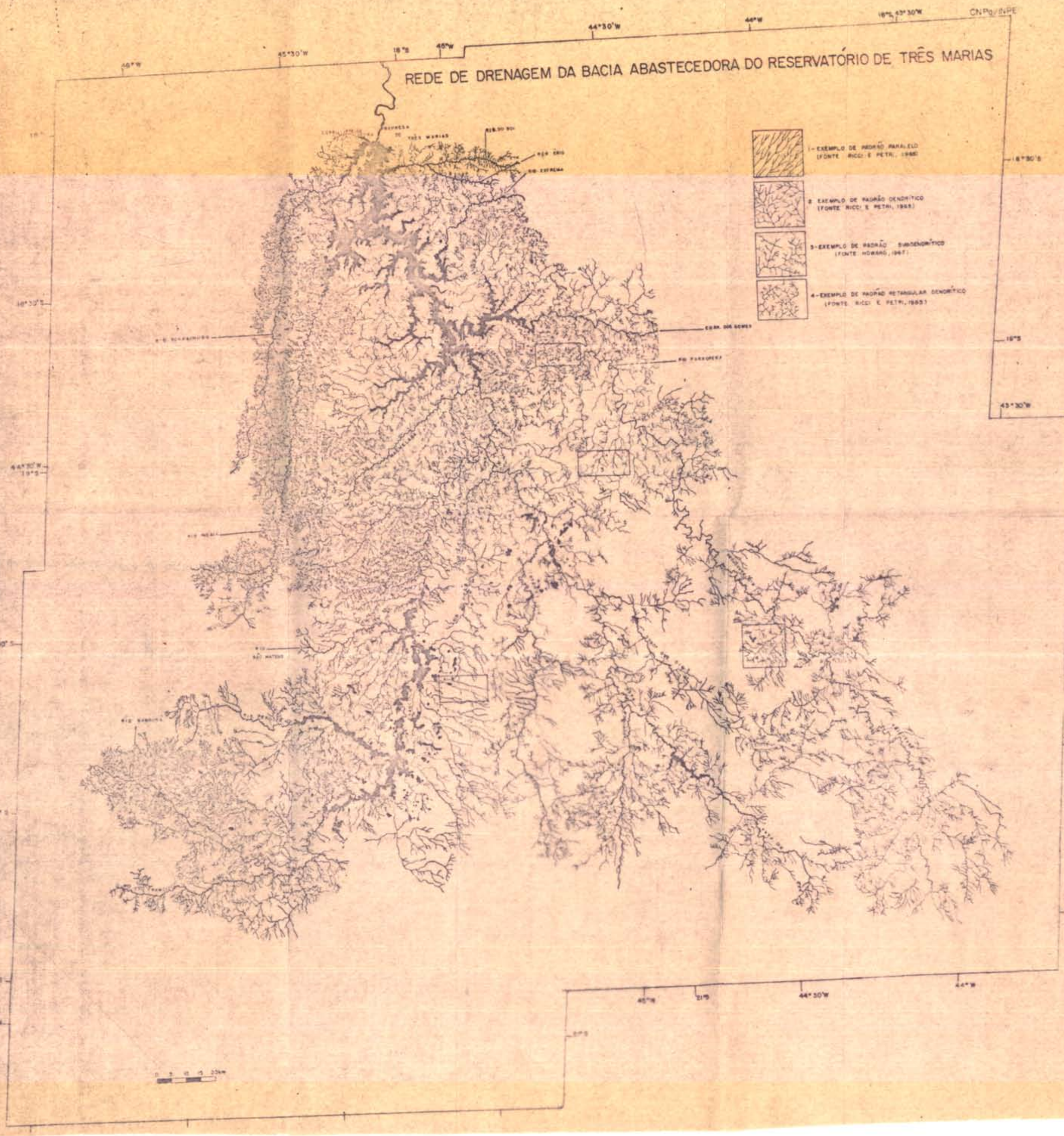
No caso, este padrão geralmente ocorre em áreas de relevos colinosos ou em áreas de relevos colinosos associados à ocorrência de cristas modeladas em rochas do grupo Bambuí - Pré-Cambriano/Cambriano, ou em formação Mata da Corda e Areado - Cretáceo (Menezes Filho et alii, 1977).

Nas áreas de relevos tabulares, pode-se observar a presença de um padrão subdendrítico, que está provavelmente condicionado a uma topografia mais plana, ou ao controle exercido pela litologia e estrutura de rochas subjacentes.

Na área de estudo, este padrão se desenvolve sobre áreas de coberturas indiferenciadas, datadas do Pleistoceno (correspondendo em geral aos interflúvios), intercalados com rochas do grupo Bambuí (correspondendo às calhas dos rios). Nestas áreas, a densidade hidrográfica é bem mais baixa do que nas áreas com padrão dendrítico, sugerindo uma maior permeabilidade dos terrenos. Os canais de drenagem em geral apresentam cursos de comprimentos médios a longos (20 Km), e o relevo caracteriza-se por superfícies planas.

Nos altos cursos dos rios Pará e Paraopeba ocorre o padrão retangular-dendrítico. Este padrão pode ocorrer em um complexo ro

REDE DE DRENAGEM DA BACIA ABASTECEDORA DO RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS



choso essencialmente homogêneo, cortado por sistemas de fraturas inter cruzadas com malhas relativamente grandes.

Nas cabeceiras dos rios Pará e Paraopeba, onde se observa este padrão, os rios de maior volume apresentam ângulos retos, enquanto os de 1ª ordem correm em todas as direções.

Podem-se observar alguns cursos condicionados às direções de fraturas, existentes com muita frequência nesta área.

O padrão retangular-dendrítico desenvolve-se sobre rochas do embasamento cristalino, em áreas de relevos com formas colinosas.

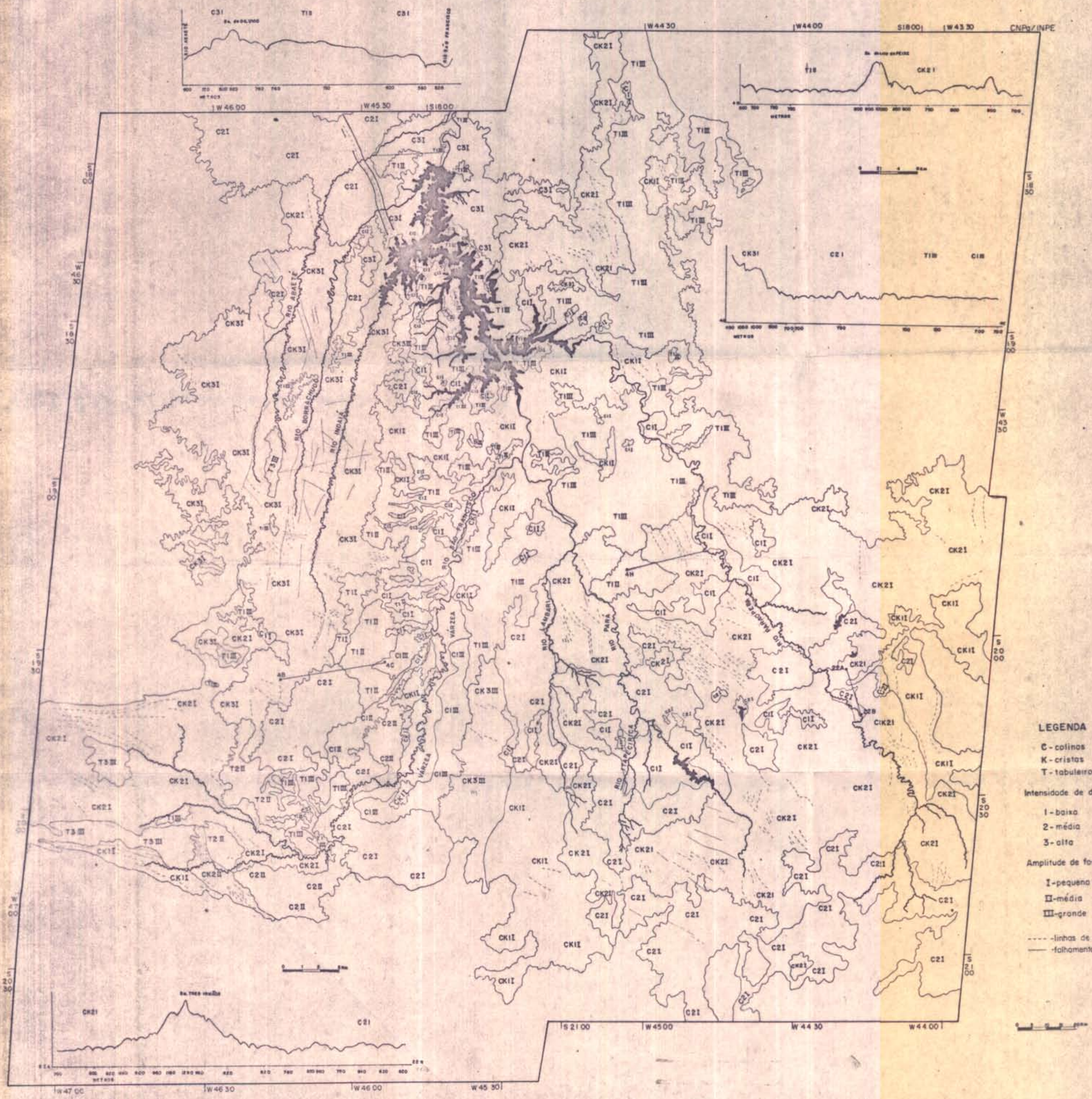
4.1.2 - MAPEAMENTO DAS UNIDADES DE PADRÕES DE DISSECAÇÃO DO RELEVO, DA ÁREA DE ESTUDO

Os resultados da análise dos dados, obtidos a partir da interpretação visual das imagens MSS/LANDSAT e da análise estatística das unidades fotomorfológicas, permitiram a compartimentação da área de estudo, conforme a Figura 4.

1) Análise visual dos padrões de dissecação do relevo da área de estudo

A análise visual, através do canal MSS 7, permitiu a caracterização das principais feições estruturais da área, tais como fa

COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA BACIA ABASTECEDORA DO RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS



lhas, superfícies estruturais e alinhamentos de cristas. As diferenças de textura fotográfica (mais rugosa e menos rugosa) permitiram separar as diferentes unidades fotomorfológicas. Estas diferenças de textura foram associadas às três categorias de dissecação (tabuleiros, colinas e cristas).

Pela análise visual do canal MSS 5, foi possível identificar unidades com diferentes tipos de cobertura vegetal, através das diferenças de tonalidades de cinza.

Concluída a análise visual das imagens MSS/LANDSAT, nos canais 5 e 7, caracterizaram-se 19 unidades morfológicas preliminares.

2) Análise estatística das unidades de padrões de dissecação do relevo da área de estudo

A principal finalidade da análise estatística foi verificar a validade da compartimentação fotomorfológica, através da análise visual. Por meio da análise estatística, fez-se a identificação das variáveis morfométricas discriminatórias, que poderiam auxiliar na compartimentação.

Das variáveis morfométricas analisadas (textura da topografia, densidade de drenagem, extensão do percurso superficial, amplitude média e altitude média), a textura da topografia é a variável mais discriminatória para a separação das diferentes unidades, conforme

os valores obtidos na análise de variância (Fcalculado = 40,6; Ftabelado = 2,26) a nível de significância de 0,01 (Steel e Torrie, 1960).

A Tabela 5 apresenta os resultados da MDS para este índice morfométrico.

O teste do MDS apresentou cinco classes de formas de relevo:

1ª) Unidades caracterizadas por colinas suavemente onduladas, com vertentes de formas côncavo-convexas, confundindo-se, às vezes, com tabuleiros. Estão associadas esporadicamente a cristas ; geralmente ocorrem em áreas de transição para o cristalino.

2ª) Unidades caracterizadas por tabuleiros com topos planos e vertentes mais abruptas. Localizam-se geralmente em áreas com terrenos sedimentares.

3ª) Unidades caracterizadas por colinas, com vertentes de formas convexas a côncavo-convexas.

4ª) Unidades caracterizadas por colinas suavemente onduladas, esporadicamente associadas a cristas, com vertentes do tipo côncavo-convexo.

5ª) Unidades caracterizadas por colinas associadas à ocorrência de cristas, com vertente do tipo convexo a côncavo; o relevo apresenta-se bastante movimentado, havendo a ocorrência de falhas e fraturas.

TABELA 5

TESTE DA MENOR DIFERENÇA SIGNIFICATIVA ÀS CLASSES DE TEXTURA DA TOPOGRAFIA

VALOR DA MDS A NÍVEL DE 0,01	CLASSES																		
	(13) C_1III	(15) Ck_1III	(16) C_1II	(18) T_3III	(14) C_2II	(6) T_1I	(1) T_1III	(19) Ck_2II	(7) T_2II	(11) T_1II	(17) T_3I	(9) T_3II	(10) C_1I	(3) C_2I	(8) C_3I	(12) T_2I	(2) Ck_1I	(5) Ck_2I	(4) C_k3I
0,44	0,20 -	0,38 -	0,40 -	0,53 -	0,56 -	0,61 -	0,66 -	0,66 -	0,81 -	0,88 -	0,93 -	0,98 -	1,58 -	1,68 -	2,01 -	2,03 -	2,20 -	2,53 -	2,63
	1ª					2ª							3ª		4ª		5ª		

(FONTE: STEEL E TORRIE, 1960)

As variáveis morfométricas densidade de drenagem, extensão do percurso superficial e amplitude média também se apresentaram como variáveis discriminatórias, porém, não tanto quanto a textura da topografia.

A variável altitude média foi a que se apresentou menos discriminatória, pois somente duas classes foram obtidas através da MDS, sendo que a primeira delas engloba 90% da área de estudo, o que impossibilitou a separação das diferentes unidades através deste teste estatístico.

Após a análise estatística das variáveis morfométricas, algumas unidades, que apresentavam características semelhantes, foram agrupadas como uma só unidade, outras tiveram os seus limites refeitos a partir dos resultados da análise, refinando-se assim a compartimentação geomorfológica preliminar da área. Desta forma, o número inicial de 19 unidades foi reduzido para 17.

Durante a análise das variáveis morfométricas, pôde-se constatar que o fator que mais influenciou os resultados foi a imprecisão na identificação e caracterização da rede de drenagem em algumas unidades, devido à sua alta densidade.

Considerando-se que as variáveis morfométricas, retiradas das imagens LANDSAT, basearam-se em dados fornecidos pela rede de drenagem, a imprecisão na sua definição se refletiu na compartimentação das unidades de relevo.

3) Compartimentação das unidades de padrões de dissecação do relevo

As unidades geomorfológicas obtidas com este estudo foram:

1 - T3III	7 - C1III	13 - CK3III
2 - T1III	8 - C1II	14 - CK3I
3 - T1II	9 - C1I	15 - CK2II
4 - T1I	10 - C2II	16 - CK2I
5 - T2II	11 - C2I	17 - CK1I
6 - T3I	12 - C3I	

Pela análise do mapa final (Fig.4) pôde-se observar que há um predomínio das unidades de formas colinosas (11 unidades) sobre as unidades tabulares (6 unidades). As unidades tabulares localizam-se geralmente ao redor do reservatório de Três Marias ou em áreas próximas a ele. As unidades colinosas localizam-se no restante da área de estudo.

4.1.3 - MAPEAMENTO ESQUEMÁTICO DO USO DO SOLO

O mapa final do uso do solo da área de estudo (Fig.5) resultou da combinação de informações de campo e imagem o que permitiu a identificação das seguintes unidades:

a) áreas agrícolas ou solo preparado para a agricultura (milho, café e mandioca);

Fig. 5 - Mapeamento esquemático do uso do solo da região do Alto São Francisco.

b) áreas de solo exposto (ocupam mais de 30% da área de estudo; cobertura vegetal muito deficiente; presença de voçorocas);

c) reflorestamento (eucalipto);

d) mata e cerradão (mata natural e cerradão);

e) mata e cerradão alterado (mata natural e cerradão alterados, que ocorrem no alto das serras).

f) cerrado stricto sensu (cerrado, mata galeria e de forma esparsa, áreas agrícolas);

g) cerrado stricto sensu alterado (cerrado muito alterado devido à ocupação humana);

h) campo cerrado (campo cerrado e esporadicamente, campo sujo de cerrado, pastagem e mata galeria);

i) campo cerrado alterado (campo cerrado com alto grau de alteração e, esporadicamente, áreas agrícolas, reflorestamento e presença elevada de mata galeria);

j) campo sujo de cerrado (campo sujo de cerrado e esporadicamente cerrados, pastagens, mata galeria e reflorestamento);

l) campo sujo de cerrado alterado (campo sujo de cerrado muito alterado e manchas de cerrado e pastagem);

m) campo limpo e pastagem (campo limpo, pastagem, mata galeria e áreas agrícolas);

n) cerrado (Lato Sensu) cerradão, cerrado, campo sujo de cerrado

pastagem, campo limpo, mata galeria);

o) cerrado (Lato Sensu) alterado (cerrado, campo limpo, pastagem, campo sujo de cerrado, campo cerrado, todos muito alterados).

4.1.4 - ANÁLISE E AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DA BACIA DO RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS

Após a compilação dos dados de drenagem, geomorfologia e uso do solo, pode-se ter uma visão do comportamento do sistema estudado, permitindo-se assim, a avaliação de sua dinâmica temporo-espacial e a sua importância no comportamento do reservatório de Três Marias. Isto possibilitou a indicação de quatro prováveis áreas fontes de sedimentos para o reservatório de Três Marias (Figura 6).

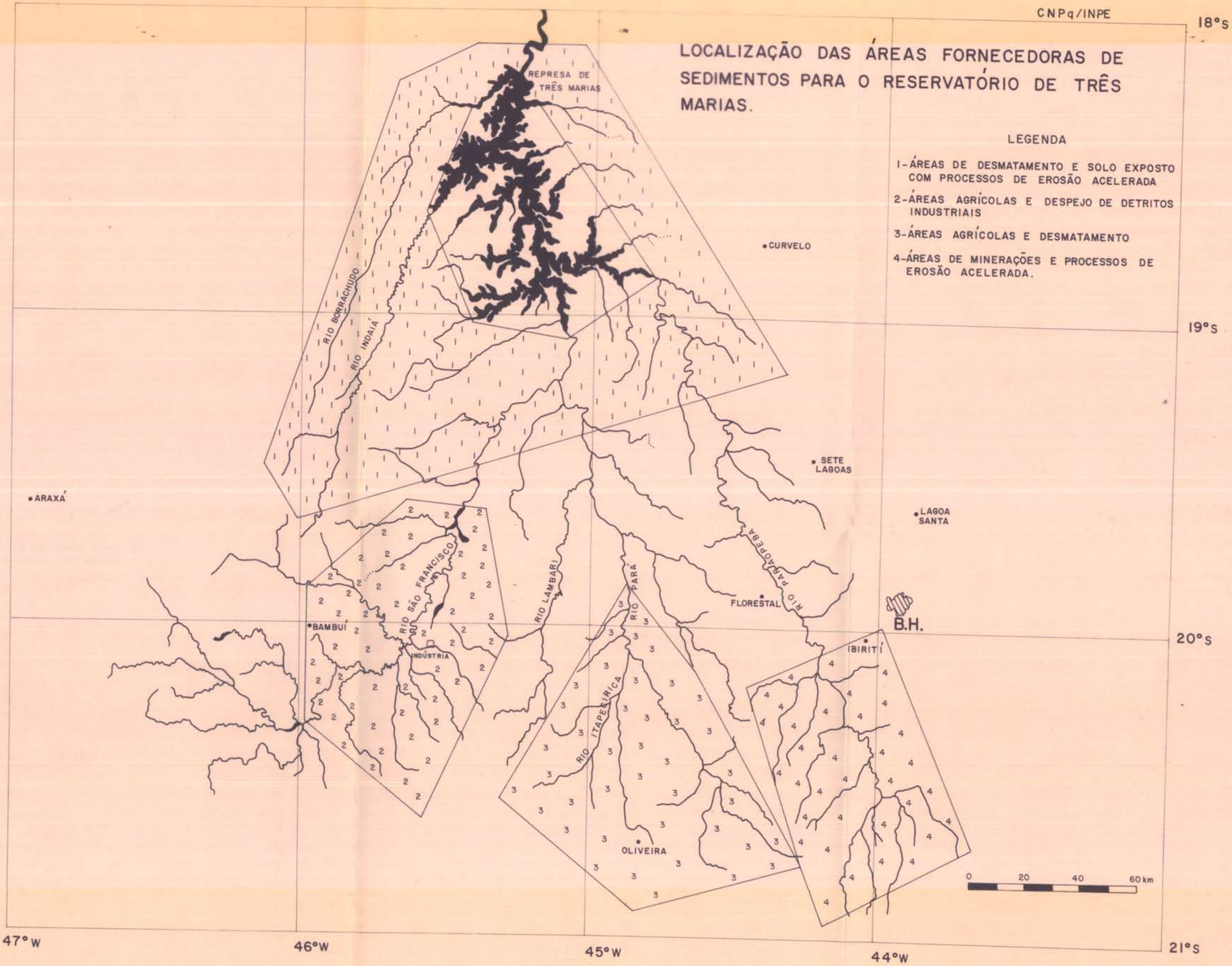
1 - Área de Mineração e de processos de erosão acelerada

Pelo tipo de atividade desenvolvida na região do alto curso do rio Paraopeba, esta é uma das mais importantes fontes de sedimentos para o reservatório de Três Marias, estando localizado entre a cidade de Ibirité e as nascentes do rio Paraopeba.

O relevo existente nesta região é de colinas (CK2I), ou de colinas associadas à ocorrência de cristas (CK2I e CK1I). O padrão de drenagem é retangular-dendrítico com alta densidade hidrográfica, sugerindo um alto coeficiente de escoamento superficial. Predominam gnaisses da Associação Gnaissica-Migmatítica (Pré-Cambriano), que dão

CNPq/INPE

LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS FORNECEDORAS DE SEDIMENTOS PARA O RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS.



origem a solos rasos.

A vegetação original mais densa (mata, cerradão, cerrado, campo cerrado) foi aos poucos cedendo lugar a uma vegetação tipo pastagem, que nem sempre oferece proteção adequada ao solo, principalmente após a estação seca (de 3 a 4 meses).

Dois importantes fatores contribuem para a produção de sedimentos nessa área quais sejam: a extração de minério de ferro, que despeja seus detritos no rio Paraopeba e a ocorrência de processos de erosão acelerada nas cabeceiras do rio Paraopeba. As voçorocas aí existentes podem ser associadas à retirada da vegetação natural (mata), para fins agrícolas; à existência de manto de alteração espesso; e à pluviosidade concentrada em uma só estação do ano.

2 - Área de desmatamento e solo exposto, com processos de erosão acelerada

Esta área está localizada próximo ao reservatório de Três Marias, correspondendo às unidades de relevos de colinas (C3I) e de colinas associadas à ocorrência de cristas (CK3I, CK2I e CK1I).

A cobertura vegetal original nesta região (cerrado, campo cerrado e campo sujo de cerrado) está extremamente alterada, tendo sido desbastada para a produção de carvão vegetal destinada às siderúrgicas. Com esta devastação, surge gradativamente uma vegetação rasteira, do tipo gramínea, que oferece uma proteção muito deficiente para o solo.

Comparando-se as imagens MSS/LANDSAT do período seco, nos anos de 1973 e 1978, constata-se que esta área de desmatamento e solo exposto aumentou consideravelmente a sua extensão (aproximadamente 140 Km^2 em 1973, para aproximadamente, 240 Km^2 em 1978), principalmente a sudoeste do reservatório, na região das cidades de Dores do Indaiá, Abaetê, Paineiras, Tiros e Matutina.

O clima encontrado nesta região é tropical quente, com um período seco de 5 a 6 meses. Os solos são geralmente pobres do tipo argiloso, produto final da decomposição de ardósias do grupo Bambuí ou são provenientes de siltitos do mesmo grupo (Menezes Filho et alii, 1977).

O padrão de drenagem é dendrítico, com densidade hidrográfica elevada e o escoamento superficial intenso. Esta região é formada por rochas sedimentares, como siltitos, argilitos e arcósios, que são pouco resistentes aos processos erosivos do final da estação seca, conforme pôde ser observado no campo, a ocorrência de solos expostos é muito frequente, permitindo que, durante o período chuvoso, o manto de intemperismo seja desagregado pela ação mecânica e arrastado pelo escoamento superficial concentrado. Nesta região, encontram-se processos intensos de erosão acelerada com voçorocas de grandes extensões, principalmente nas bacias dos rios Borrachudo e Indaiá, abastecedores do reservatório de Três Marias.

3 - Área agrícola e de despejos industriais

Esta área está localizada no alto curso do rio São Fran

cisco, onde há um alargamento de sua várzea, que é ocupada intensamente por atividades agrícolas, e onde a vegetação original está bastante alterada.

O período seco na região é de 3 a 4 meses e os solos são mais férteis, favorecendo um maior adensamento da cobertura vegetal. Estes fatores, aliados à altitude, favorecem o surgimento das vegetações de campo.

A vegetação natural (cerrado, campo limpo, campo sujo de cerrado e pastagem) está muito alterada pela ocupação humana, através da agricultura.

Nas áreas de atividades agrícolas, encontram-se extensas culturas de cana-de-açúcar, milho, feijão, mandioca e café. Observam-se, também, áreas de reflorestamento com eucalipto. Estas áreas de agricultura aumentaram e sua extensão de 1973 para 1978, principalmente na várzea do São Francisco, conforme constatação feita através das imagens LANDSAT.

Na várzea do rio São Francisco, margem esquerda e ao longo do rio Santana (seu afluente) observa-se uma grande plantação de cana-de-açúcar, destinada ao abastecimento de uma usina de açúcar e álcool. Pelas imagens LANDSAT, pôde-se observar que a área plantada aumentou de 1973 para 1978. Provavelmente a maior parte do material detrítico, proveniente desta plantação, e os resíduos da usina devem ser transportados para estes rios.

Esta região apresenta os mesmos processos morfogenéticos da região anterior, uma vez que possui características semelhantes. Porém, estes processos agem com menor intensidade por haver na região uma maior cobertura vegetal, apesar da alternância de estações (seca-chuvosa).

Nesta região, os agricultores costumam utilizar o final do período seco (agosto/setembro) e o início do chuvoso (outubro/novembro) para a aração das terras, preparando-as para o plantio, que em geral é feito no final do mês de outubro e início de novembro, quando já se iniciaram as chuvas na área.

Durante o processo de preparo da terra para o plantio, o solo é revolvido, ficando desagregado e sem proteção. Com a vinda das primeiras chuvas, parte deste material é transportado para os rios afluentes do São Francisco, pelo escoamento superficial.

4- Área de agricultura e de desmatamento

Esta área está localizada no alto curso do rio Pará, que é um afluente importante do São Francisco; a maior parte do material transportado pelo rio Pará é despejado no rio São Francisco, que por sua vez, o transporta para o reservatório.

Nesta região há também uma intensa atividade agrícola, que está destruindo as poucas áreas remanescentes de cobertura vegetal mais densa (cerrado, mata e cerradão). Comparando-se as imagens do ano

de 1973 com as do ano de 1978, nota-se que esta área de vegetação mais densa teve o seu tamanho muito reduzido (aproximadamente 60 Km^2 em 1973 para 40 Km^2 em 1978).

O relevo encontrado é o de colinas (C1I e C2I) ou de colinas associadas a cristas (CK2I); o padrão de drenagem é retangular-dendrítico, com alta densidade hidrográfica. A estação seca tem duração de 3 a 4 meses, com uma diferença sensível no total pluviométrico entre o período seco e chuvoso e há um predomínio da Floresta Subcaducifólia Tropical.

Sabe-se que nas áreas de domínio florestal e pluviosidade mais intensa, os processos morfogenéticos atuantes são guiados pela decomposição química, propiciando o aparecimento de mantos de intemperismo mais espessos. Porém, à medida que a cobertura vegetal vai sendo substituída por pastos e lavouras, vão surgindo os processos de ação mecânica, como os deslizamentos.

Nesta região, também se observa o escoamento superficial difuso, que é acentuado pela devastação florestal. O escoamento superficial transporta cargas detríticas que entulham os rios, causando, no período seco, o aparecimento de amplos bancos de areia, como os observados no rio Pará, explorado para fins comerciais.

As áreas de agricultura localizadas em toda a bacia abastecedora do rio Itapecirica, afluente do rio Pará, contribuem também com cargas de sedimentos para o reservatório.

4.1.5 - CARACTERÍSTICAS PLUVIO-FLUVIOMÉTRICAS DA BACIA ABASTECEDORA DO RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS, EM FUNÇÃO DO TRANSPORTE DE PARTÍCULAS SÓLIDAS.

A intensidade do fenômeno do transporte fluvial de material depende, entre outros fatores, da quantidade e duração de chuvas, estrutura e composição geológica do terreno, declividade e cobertura vegetal. A quantidade e a concentração de sedimentos transportados possuem relação direta com o débito. A maior parte da carga detrítica é transportada durante as fases de cheia, quando os débitos são mais elevados.

O regime dos rios que abastecem o reservatório de Três Marias é essencialmente controlado pelo regime das precipitações da região. A estação seca, na área de estudo, ocorre de forma bem característica nos meses de maio, junho, julho, agosto e setembro. Há um aumento progressivo do período seco, para o norte da área de estudo. Ao sul (cidade de Oliveira), a estação seca prolonga-se por 3 a 4 meses e, mais ao norte (em Curvelo), sua duração é de 5 a 6 meses, com uma diminuição total de precipitações também neste sentido.

Nesta seção, fez-se uma análise dos principais rios abastecedores do reservatório de Três Marias, levando-se em consideração suas descargas líquidas e sólidas, aliadas às precipitações ocorridas na área.

A CEMIG instalou réguas fluviométricas, nos rios São Francisco, Pará e Paraopeba, para a coleta de dados de descarga líqui

da (m^3/s) e sedimentos em suspensão (concentração média - gr/l e ton/dia).

Como exemplo, serão analisadas as curvas de descarga líquida e sólida, dos períodos chuvoso e seco, do ano de 1977, dos rios São Francisco e Paraopeba; estas curvas são bastante características para este tipo de informação.

1) Rio São Francisco

As Figuras 7 e 8 apresentam as curvas de descarga líquida e sólida do rio São Francisco no ano de 1977, para os períodos chuvoso e seco, respectivamente.

Através destas curvas pôde-se constatar que durante o período chuvoso nem sempre os máximos apresentados pela descarga de sedimentos em suspensão coincidem com os máximos de descarga líquida, e que os primeiros aparecem de uma forma mais abrupta e por curto espaço de tempo, e os segundos aparecem de forma mais contínua e por espaço de tempo mais longo.

Isto talvez se deva a alguma possível forma de interferência antrópica no despejo de detritos no rio.

A análise das curvas do período seco evidencia alguma forma de interferência mais direta na produção da carga detrítica transportada para este rio, devido à periodicidade dos picos de carga em suspensão.

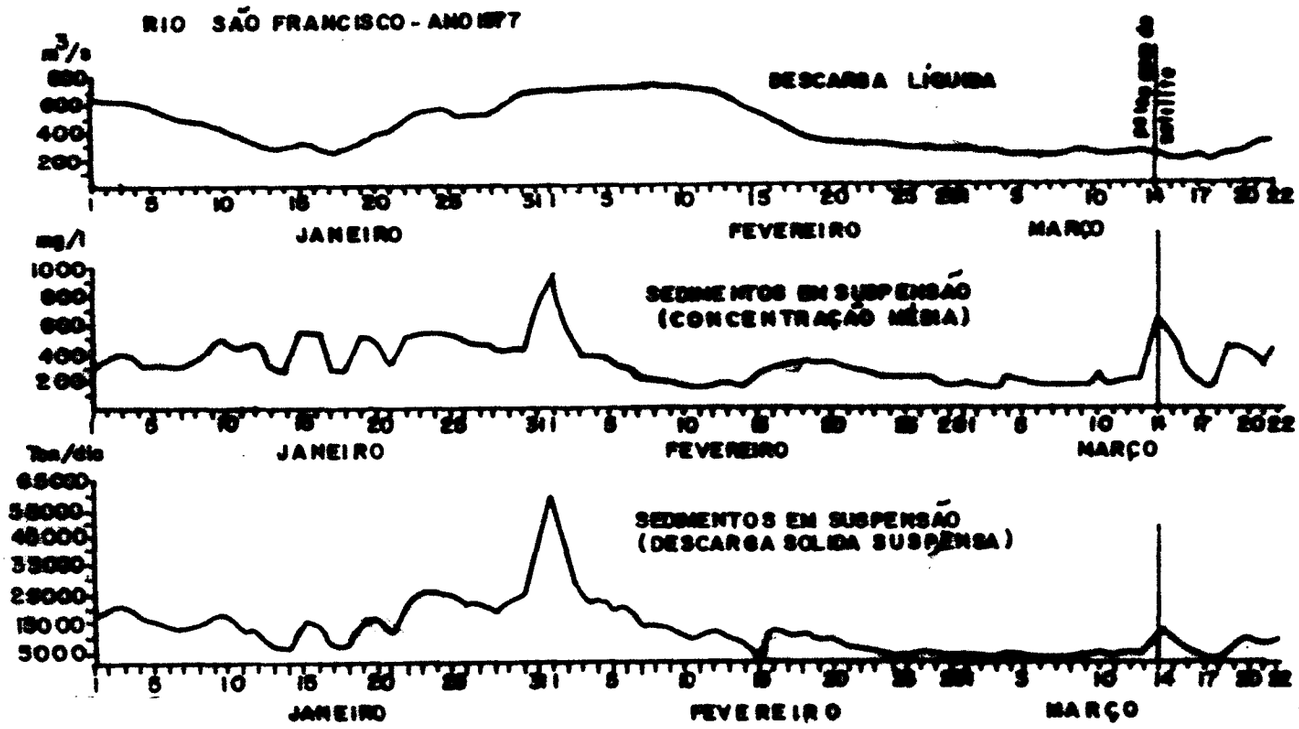


Fig. 7 - Curvas de descargas líquida e sólida do rio São Francisco para o período chuvoso, no ano de 1977.

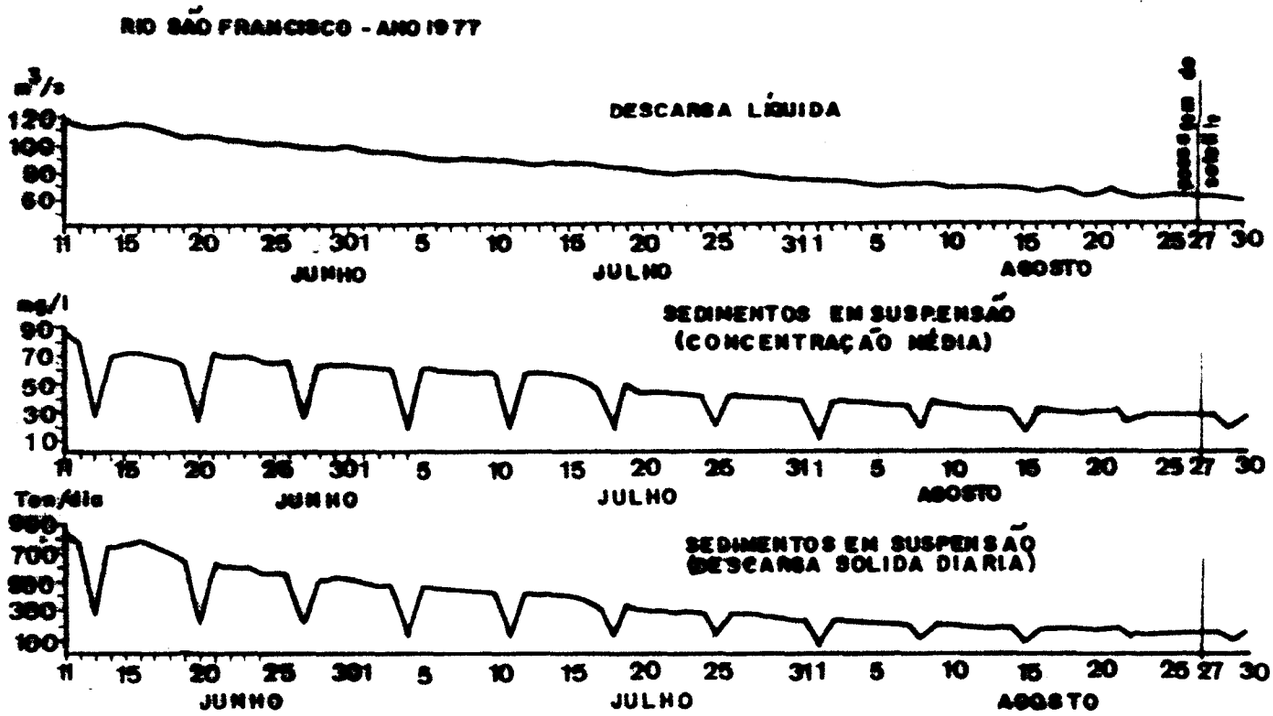


Fig. 8 - Curvas de descargas líquida e sólida do rio São Francisco, no período de 1977.

De acordo com a Seção 4.1.4 constatou-se ao longo do rio São Francisco, no trecho compreendido entre as cidades de Iguatama e Lagoa da Prata, e ao longo do rio Santana (afluente da margem direita do São Francisco), a ocorrência de grandes plantações de cana-de-açúcar e, na cidade de Luciânia, quase às margens do rio Santana, uma usina produtora de açúcar e álcool. Associando-se este fato ao comportamento periódico das descargas sólidas do rio São Francisco, pôde-se supor que tal comportamento se deva ao despejo de detritos desta usina na corrente do rio Santana. Salienta-se também que no período seco realiza-se o corte de cana, o que contribui também para o despejo de carga detrítica no rio. Estes máximos apresentam um decréscimo a cada sete dias; no ano de 1977 estes decréscimos ocorreram sempre às segundas-feiras.

Nota-se também que, durante o período chuvoso, o caráter periódico destas descargas apresenta-se mascarado pelos outros fatores que contribuem para a produção de sedimentos para o rio São Francisco.

2) Rio Paraopeba

As Figuras 9 e 10 apresentam as curvas de descarga líquida e sólida do rio Paraopeba, no ano de 1977, para os períodos chuvoso e seco respectivamente.

Através das Figuras 9 e 10 constata-se que a ocorrência de picos de curta duração é mais frequente no período chuvoso. Ape

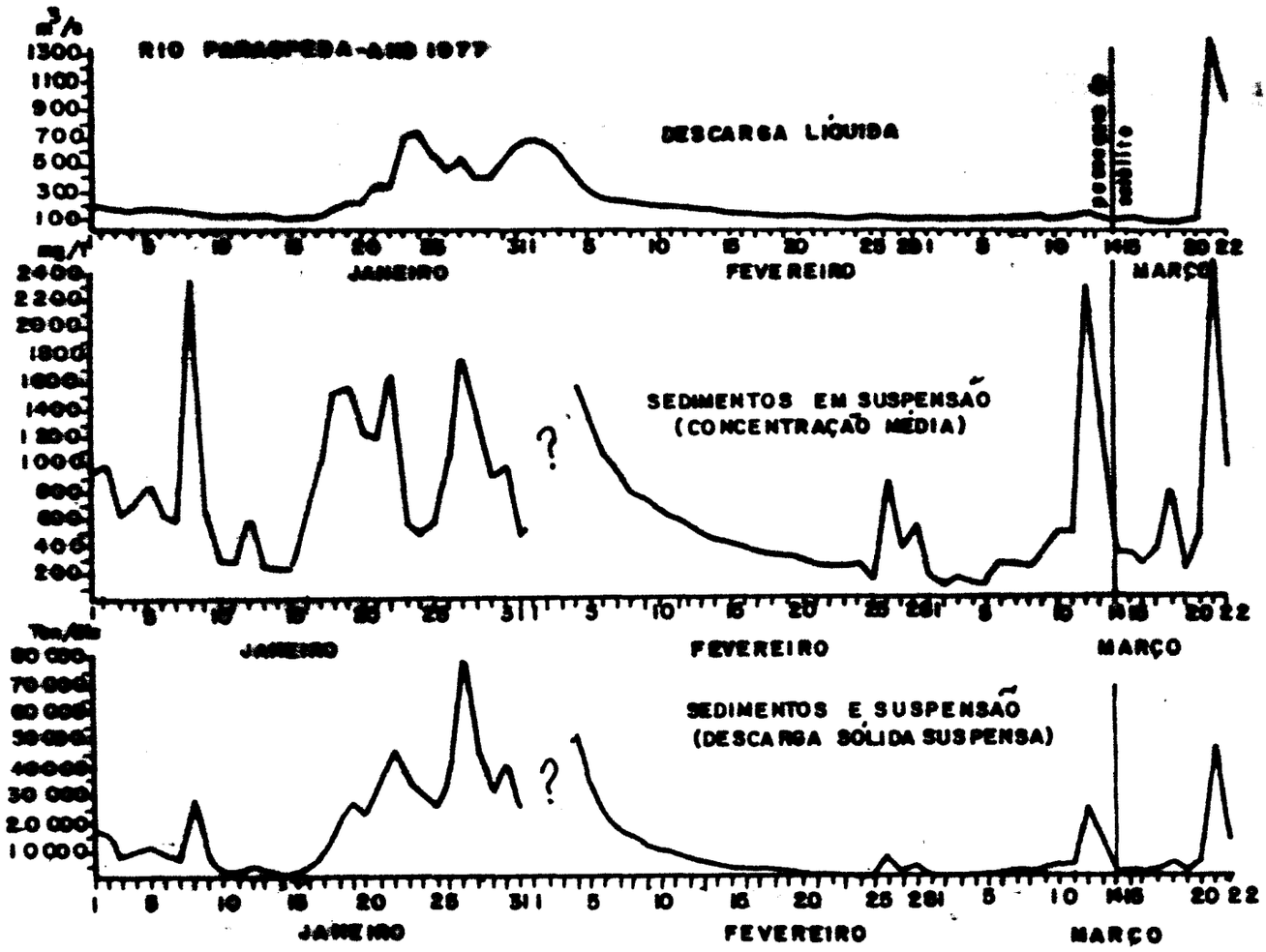


Fig. 9 - Curvas de descarga líquida e sólida do rio Paraopeba, no período chuvoso de 1977.

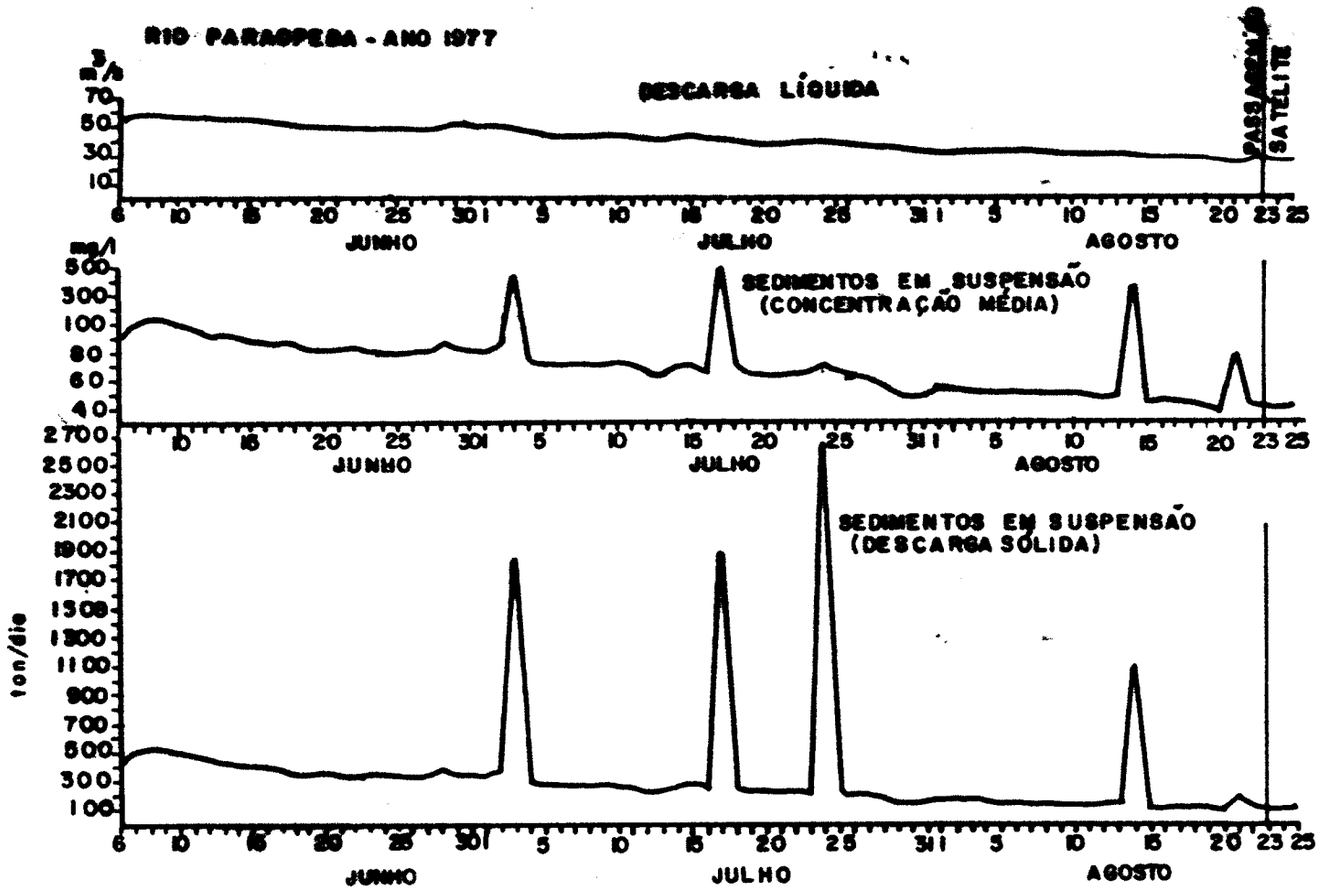


Fig. 10 - Curvas de descarga líquida e sólida do rio Paraopeba, no ano de 1977, para o período seco.

sar de não ter havido dados por um período de 4 dias, as curvas de descarga sólida apresentaram uma tendência para a ocorrência de um máximo de descarga nesses dias.

Durante o período seco, apesar de haver um decréscimo considerável e contínuo nas descargas líquidas, pode-se constatar a ocorrência de picos acentuados na curva de descargas sólidas.

De acordo com a seção 4.1.4, o rio Paraopeba corre numa região onde há intensa exploração de minérios. Assim, associando-se este fato com o comportamento apresentado pelas descargas sólidas deste rio, e com a coloração de suas águas, observadas no campo, supôs-se que grande parte do material residual das minerações é lançado no rio Paraopeba.

Isto provavelmente faz com que ocorram altos valores de descargas sólidas, mesmo por ocasião do período seco, quando há um considerável decréscimo tanto das precipitações, como das descargas líquidas.

Além dos sedimentos produzidos pela mineração, há também aqueles produzidos nas cabeceiras do rio Paraopeba, onde ocorrem processos de erosão acelerada, fazendo com que o Paraopeba seja o maior contribuidor de carga detrítica para o reservatório de Três Marias.

4.2 - ANÁLISE DA DINÂMICA DO RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS

4.2.1 - INTERPRETAÇÃO AUTOMÁTICA DOS DADOS LANDSAT, EM FUNÇÃO DA DISPERSÃO DO MATERIAL EM SUSPENSÃO NO RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS

Partindo-se do princípio de que os diferentes níveis de cinza, gravados nas CCTs, significam diferentes concentrações de material em suspensão, a análise automática das fitas considerou as diferenças de níveis de cinza apresentadas pela camada superficial d'água do reservatório de Três Marias.

As passagens orbitais analisadas e o número de classes obtidas em cada uma estão relacionadas na Tabela 6.

TABELA 6

RELAÇÃO DAS PASSAGENS ORBITAIS E SUAS RESPECTIVAS CLASSES DE NÍVEIS DE CINZA

PASSAGEM ORBITAL	PERÍODO SAZONAL	Nº DE CLASSES OBTIDAS
17/AGOSTO/1973	SECO	7
21/ABRIL/1975	CHUVOSO	8
25/AGOSTO/1975	SECO	5
14/MARÇO/1977	CHUVOSO	8
23/AGOSTO/1977	SECO	6

Por esta tabela pode-se observar que as passagens do período seco apresentaram menor número de classes do que o período chuvoso.

Durante o período seco, na área de estudo, o reservatório se apresenta com a camada d'água superficial bastante homogênea, não sendo observadas visualmente muitas variações de tons de cinza nas imagens MSS/LANDSAT. Isto provavelmente é devido ao fato de que durante o período seco, que nesta área varia de 3 a 6 meses, há uma menor descarga de sedimentos no reservatório. Considerando-se que a quantidade de chuvas diminui consideravelmente neste período, as descargas líquidas e sólidas dos rios que abastecem o reservatório de Três Marias também diminuem, exceto quando há despejos industriais. Por este motivo, sempre é obtido um menor número de classes de níveis de cinza no período seco.

Durante o período chuvoso, a camada superficial d'água apresenta uma maior variação na distribuição da energia retroespalhada por partículas suspensas, sendo mais fácil dicerni-las visualmente neste período do que por ocasião do período seco.

Como há um aumento na precipitação durante este período, há um aumento no volume d'água do reservatório, sendo perceptível esta diferença de volume entre as duas estações (seca e chuvosa), através das imagens LANDSAT.

Fazendo-se uso do mesmo raciocínio aplicado à cobertura orbital anterior, admite-se que, havendo um aumento na precipitação

durante o período chuvoso, provavelmente haverá também um aumento na concentração de sedimentos no reservatório, o que faz com que haja uma maior variação na energia refletida, caracterizada pelas águas de superfície. Assim sendo, nas passagens orbitais do período chuvoso é obtido um número maior de classes de níveis de cinza.

As passagens orbitais de 05/abril e 27/agosto de 1978 foram submetidas a uma análise automática mais detalhada, através da combinação de dados de profundidade Secchi e níveis de cinza.

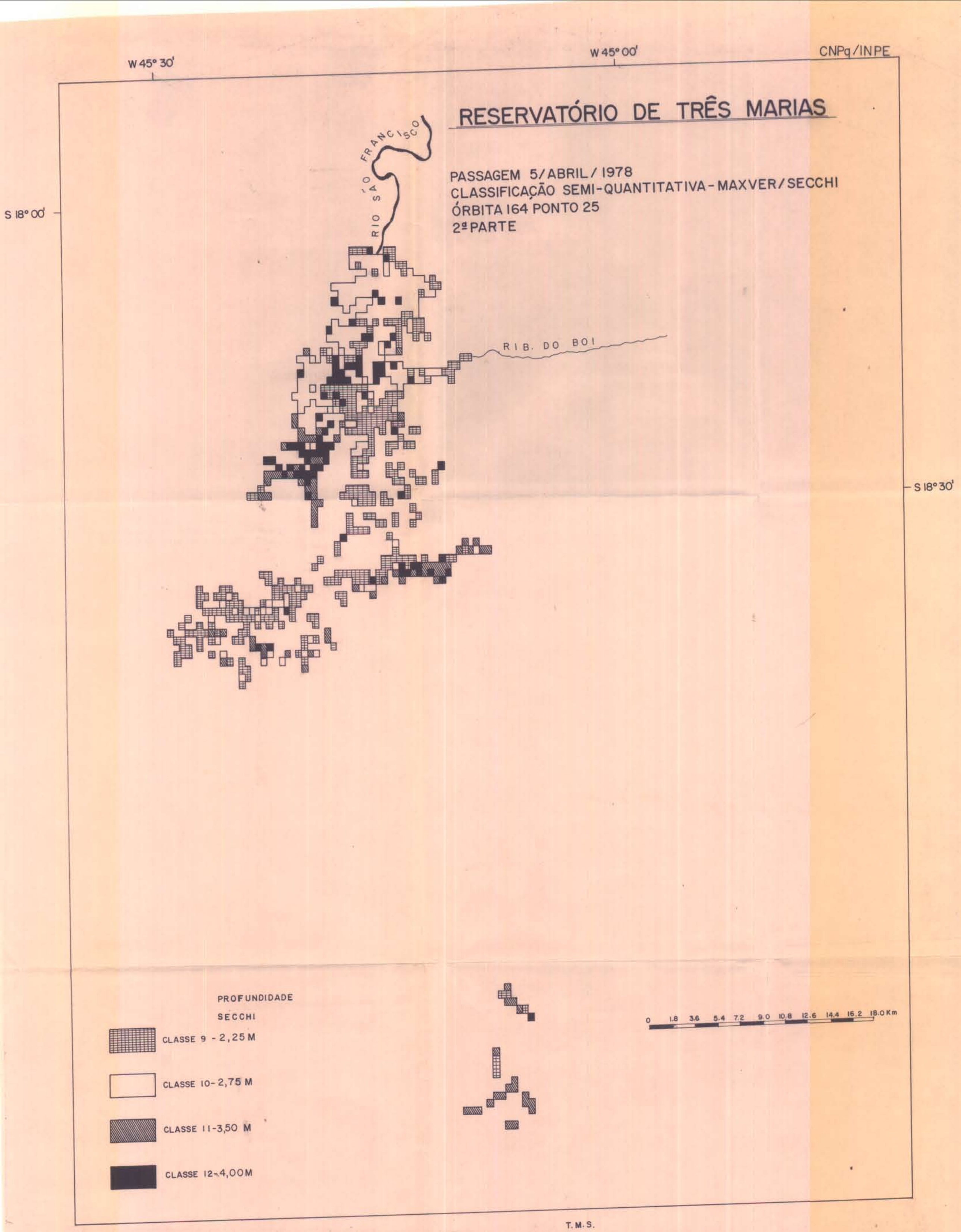
Estas duas passagens são coincidentes com o trabalho de campo na área de estudo. Nestas passagens, as classes foram definidas a partir dos valores de níveis de cinza, apresentados pelos pontos de amostragem in situ.

Assim, para a passagem de 05/04(período chuvoso) obtiveram-se doze (12) classes. Após a definição destas, fez-se a sua ordenação, utilizando-se para tal os valores de profundidade Secchi coletados em cada ponto de amostragem do reservatório, durante o trabalho de campo.

Fez-se a ordenação das classes partindo-se da menor para a maior profundidade Secchi. Com isto, obteve-se uma classificação semiquantitativa da dispersão de sedimentos em suspensão no reservatório, que resultou em um total de doze classes diferentes.

As Figuras 11a e 11b apresentam o mapa temático das diferentes classes de nível de cinza, obtidos através da impressora de

Fig. 11a - Reservatório de Três Marias, classificação automática, passagem de 05/abril/1978 (continua).


CNPq/INPE
W 45° 30'
W 45° 00'
S 18° 00'
S 18° 30'
RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS
PASSAGEM 5/ABRIL/1978
CLASSIFICAÇÃO SEMI-QUANTITATIVA-MAXVER/SECCHI
ÓRBITA 164 PONTO 25
2ª PARTE
RIO SÃO FRANCISCO
RIB. DO BOI
PROFUNDIDADE
SECCHI
CLASSE 9 - 2,25 M
CLASSE 10-2,75 M
CLASSE 11-3,50 M
CLASSE 12-4,00M
0 1.8 3.6 5.4 7.2 9.0 10.8 12.6 14.4 16.2 18.0 Km
T.M.S.

linhas do sistema I-100. Este mapa temático é apresentado em duas partes separadas devido ao fato de o sistema possuir apenas 8 temas e como foram obtidas doze classes, foi necessário fazer o mapa em duas partes.

A Tabela 7 apresenta a matriz de classificação obtida para a passagem de 05/abril/1978. Esta matriz fornece uma estimativa da correção da classificação para cada classe obtida, em função das amostras utilizadas. A classificação é tanto melhor quanto mais"separadas" as classes estiverem umas das outras (Velasco et alii, 1978).

Para a passagem de 27/agosto/1978 (período seco) obtiveram-se oito(8) diferentes classes de intervalos de dispersão de sedimentos em suspensão. Nesta passagem fez-se também a ordenação das classes partindo-se da menor para a maior profundidade Secchi.

A Figura 12 apresenta o mapa temático das diferentes classes de nível de cinza, obtido através da impressora de linhas do sistema I-100. A Tabela 8 apresenta a matriz de classificação.

Fazendo-se uma análise das matrizes de classificação correta (Tabelas 7 e 8) das passagens de 05/abril e 27/agosto/1978, períodos chuvoso e seco, respectivamente, pôde-se constatar que as classes referentes ao período chuvoso foram melhor caracterizadas do que as referentes ao período seco.

No período chuvoso, quatro (4) classes apresentaram 100%

Fig. 12 - Reservatório de Três Marias, classificação automática, passagem de 27/agosto/1978.

TABELA 7

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO CORRETA (%) PARA AS 12 CLASSES DE NÍVEL DE CINZA

A	B	N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,25	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,50	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,75	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	1,25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	84,8	11,6	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	1,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,3	80,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	1,75	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	87,1	12,9	0,0	0,0	0,0	0,0
8	2,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,7	91,3	0,0	0,0	0,0	0,0
9	2,25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,3	90,4	2,4	0,0	0,0
10	2,75	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	97,0	0,0	0,0
11	3,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	80,0	20,0
12	4,00	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,4	73,7

Limiar = 5, A = classes, B = profundidade Secchi, N = não classificado.

TABELA 8

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO CORRETA (%) PARA AS 8 CLASSES DE NÍVEL DE CINZA

A	B	N	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,25	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	1,50	0,0	0,0	93,9	0,0	1,1	5,0	0,0	0,0	0,0
3	2,00	0,0	0,0	0,0	53,4	25,6	0,0	18,1	3,0	0,0
4	2,50	0,0	0,0	17,5	7,0	40,4	35,1	0,0	0,0	0,0
5	3,00	0,0	0,0	0,0	0,0	8,8	77,4	13,9	0,0	0,0
6	4,00	0,0	0,0	0,0	6,4	2,6	8,4	82,7	0,0	0,0
7	4,50	0,0	0,0	0,0	0,0	16,7	0,0	0,0	62,2	21,0
8	6,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,6	89,4

Limiar = 5

A = classes

B = profundidade Secchi

N = não classificado

de classificação correta e pouca superposição entre as outras classes. No período seco, apenas uma (1) classe apresentou 100% de classificação correta e houve maior superposição entre as outras classes. Isto se deve ao fato de que no período seco a camada superficial d'água apresenta-se bastante homogênea e a variação na concentração de sedimentos é muito pequena. Por este motivo, torna-se mais difícil obter amostras que sejam representativas de apenas uma classe de nível de cinza, ao contrário do período chuvoso em que a concentração de sedimentos é maior, facilitando a caracterização das classes por meio de amostras.

4.2.4 - ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE NÍVEIS DE CINZA (CCT) E OS DADOS COLETADOS NO RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS.

A análise de correlação foi realizada aplicando-se o Coeficiente de Correlação de Pearson (Steel e Torrie, 1960) aos dados de profundidade Secchi e níveis de cinza. A seguir, apresentam-se os resultados das análises.

1) Análises de correlação entre os valores médios de níveis de cinza x profundidade Secchi

A profundidade Secchi é relacionada ao coeficiente de atenuação da água. Gordon e McClauney (1975), fazendo uso de curvas de atenuação, caracterizadas por Jerlov e Nielsen em 1968, determinaram as profundidades limite, em que há possibilidade de obtenção de informações de subsuperfície por radiações do espectro visível. Através dos valores médios de penetração por eles calculados, foi fixada a profun

didade média para emergência de radiações de subsuperfície em águas oceânicas, sendo que ela é função da transparência das águas e do comprimento de onda dominante, nas radiações incidentes e emergentes. A profundidade média de penetração ($\bar{z}$ 90) para sensores de banda larga foi definida e aplicada para o MSS/LANDSAT, mostrando que a penetração média máxima esperada para o canal 4 é algo menor do que 20 metros, enquanto para o canal 5, o resultado é de cerca de 2 metros.

a) Cobertura orbital de 05/abril/1978

Por ocasião desta cobertura orbital, fez-se uma análise de correlação das informações coletadas nos 25 pontos de amostragem. Alguns pontos de amostragem apresentaram problemas de cobertura de nuvens (70% de cobertura de nuvens nesta passagem) ou de ruído. Assim, para a análise de correlação foram usados apenas dezenove (19) pontos de amostragem.

A Tabela 9 apresenta os resultados da análise de correlação para os dados apresentados.

Pelos resultados da análise de correlação, pôde-se constatar que o canal MSS4 (Figura 13) foi o que apresentou um intervalo maior de profundidades Secchi (de 0,50 a 3,0 metros), permitindo a caracterização das maiores profundidades obtidas. Dos quatro canais analisados, o 4 apresentou menor erro de estimativa, tanto para as pequenas como para as grandes profundidades Secchi. Este canal é menos sensível às variações de energia refletida do que o canal MSS5 (Figura 14) onde uma pequena variação na profundidade Secchi provoca uma grande variação

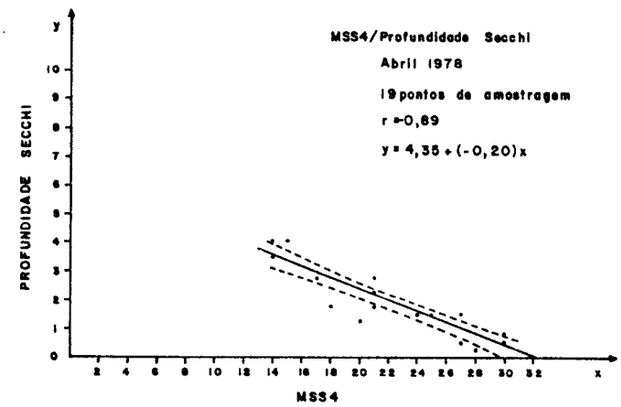


Fig. 13 - Gráfico de regressão simples entre profundidade Secchi e canal MSS4 do LANDSAT, passagem de 5/abril/1978.

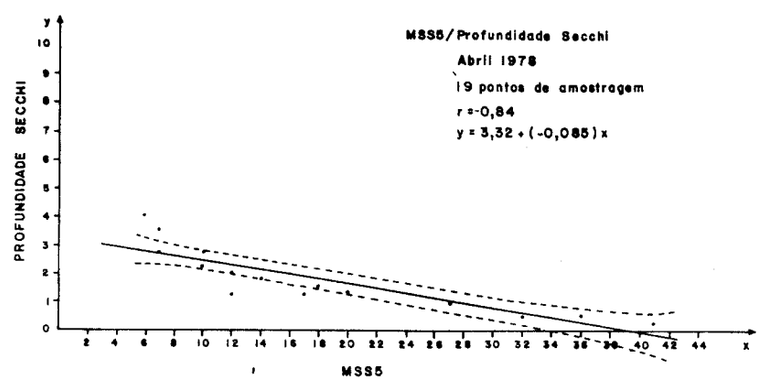


Fig. 14 - Gráfico de regressão simples entre profundidade Secchi e canal MSS5 do LANDSAT, passagem de 05/abril/1978.

nos níveis de cinza da imagem LANDSAT.

No canal MSS5, à medida que as profundidades Secchi diminuem e consequentemente há uma maior reflexão da água, há a tendência do erro das estimativas aumentar. Os canais MSS 6 e MSS 7 são pouco sensíveis às variações de níveis de cinza resultantes das diferentes concentrações, devido à alta absorção da radiação eletromagnética, pela água, na faixa do infravermelho.

TABELA 9

RESULTADOS DAS ANÁLISES DE CORRELAÇÃO ENTRE OS NÍVEIS DE CINZA E A PROFUNDIDADE SECCHI - 05/ABRIL/1978

VARIÁVEIS	b	a	r	Se
MSS 4 / SECCHI	-0,20	6,35	-0,89	0,43
MSS 5 / SECCHI	- 0,085	3,32	-0,84	0,60
MSS 6 / SECCHI	-0,16	2,80	-0,77	0,75
MSS 7 / SECCHI	-0,60	3,30	-0,71	0,80

b = mede a sensibilidade da regressão

a = registra o ponto de interseção da reta de regressão com o eixo dos γ

r = coeficiente de correlação simples

Se = erro padrão das estimativas

Estes resultados estão de acordo com o que foi mencionado por Morel (Jerlov e Nielsen, 1974), de que na faixa do espectro eletromagnético na região do azul (0,45 a 0,55 μm) o coeficiente de atenuação d'água apresenta-se menor, e que acima de 0,70 μm a absorção aumenta consideravelmente. Portanto, na região do espectro compreendida entre 0,45 a 0,70 μm (canais MSS 4 e 5) é possível obter informações de subsuperfície por radiação do espectro visível.

Os gráficos de regressão simples (Figuras 13 e 14) mostraram que os pontos de amostragem que estão plotados fora da zona de confiança do gráfico foram amostrados de 1 a 5 dias após a passagem do satélite.

b) Cobertura orbital de 27/agosto/1978

Para esta cobertura fez-se uma análise de correlação das informações coletadas em apenas 24 pontos de amostragem durante o trabalho de campo, pois um dos pontos não apresenta dados de níveis de cinza, devido à cobertura de nuvens.

A Tabela 10 apresenta os resultados das análises de correlação para esta cobertura orbital. Pela análise dos gráficos de regressão simples, pode-se constatar que o canal MSS 5 (Figura 5) foi o que apresentou o melhor ajuste, tendo sido o que forneceu o maior número de informações para as pequenas profundidades Secchi (0,25 a 5,0 metros) e o que apresentou maior sensibilidade às variações de níveis de cinza provocadas pelas variações nas concentrações de sedimentos. Pelo

traçado da reta e da zona de confiança do canal MSS 4 (Figura 16) observa-se que o erro da estimativa aumenta de forma acentuada para as profundidades extremas. Nos canais MSS 6 e 7, à medida em que a faixa espectral destes canais tende para a região do infravermelho (0,70 μm), o erro padrão da estimativa aumenta.

Pode ser observado também que os pontos de amostragem que estão fora da zona de confiança traçada nos gráficos (Figuras 15 e 16) correspondem à coleta in situ muito defasada da passagem do satélite.

Assim, pela análise de correlação constatou-se que os níveis de cinza apresentados pelas águas de superfície, nas imagens LANDSAT, são inversamente proporcionais aos valores de profundidade Secchi, isto é, quanto menor a profundidade Secchi, mais alto é o nível de cinza.

Foi possivel também observar que o melhor período para fazer este tipo de análise é o período chuvoso, devido ao maior contraste entre os níveis de cinza. Outro fator que contribuiu para que os dados do período chuvoso tivessem um ajuste maior, é que um número maior de pontos foram amostrados no dia da passagem do satélite, ao contrário do período seco em que os dados são mais defasados em relação à passagem do satélite.

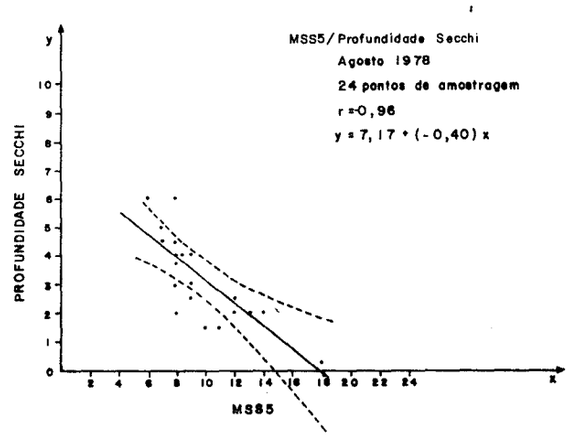


Fig. 15 - Gráfico de regressão simples entre profundidade Secchi e canal MSS5, passagem 27/agosto/1978.

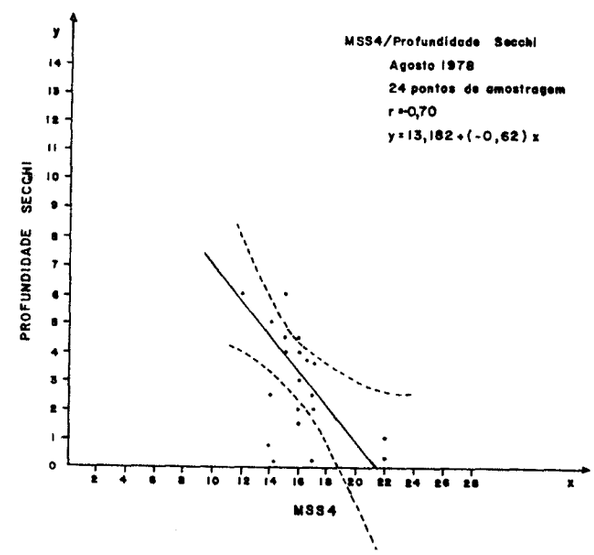


Fig. 16 - Gráfico de regressão simples entre profundidade Secchi e canal MSS 4 do LANDSAT, passagem 27/agosto/1978.

2) Análise de correlação entre valores médios de níveis de cinza x reflectância d'água in situ

Ritchie et alii (1976) levando em consideração o comprimento de onda e a concentração de sólidos suspensos na camada superficial d'água, constataram que quando há uma menor concentração de sólidos em suspensão, ou sedimentos, há um maior retorno de energia do sensor em todos os canais do MSS/LANDSAT.

Para os valores médios de níveis de cinza obtidos das fitas magnéticas e para os valores de reflectância d'água obtidos no campo, fez-se uma análise de correlação semelhante à 4.2.4 - seção 1.

a) Cobertura orbital de 05/abril/1978

Tal como foi mencionado no ítem (b), somente dezenove (19) pontos de amostragem foram utilizados para a análise de correlação, pois cinco pontos apresentaram problemas de cobertura de nuvens ou ruído.

A Tabela 10 apresenta os resultados da análise de correlação.

Analisando-se os gráficos de regressão simples para cada um dos canais, observou-se que os canais que apresentaram melhor ajuste foram o MSS 5 (Figura 17) e MSS 6 (Figura 18). O canal MSS 5 foi o que apresentou maior coeficiente de correlação, maior sensibilidade às variações de nível de sinal refletido pelas águas.

TABELA 10

RESULTADO DAS ANÁLISES DE CORRELAÇÃO ENTRE OS NÍVEIS DE CINZA (CCT) E REFLECTÂNCIA D'ÁGUA IN SITU

VARIÁVEIS	b	a	r	Se
MSS 4 / ℓ	0,030	-0,20	0,60	0,41
MSS 5 / ℓ	0,025	-0,05	0,96	0,18
MSS 6 / ℓ	0,04	0,06	0,80	0,10
MSS 7 / ℓ	0,10	-0,042	0,55	0,24

b = mede a sensibilidade da regressão

a = registra o ponto de interseção da reta de regressão com o eixo dos γ

r = coeficiente de correlação simples

Se = erro padrão das estimativas

O canal MSS 7 foi o que apresentou menor sensibilidade às variações de energia refletida e o canal MSS 4 foi o que apresentou menor ajuste.

Pelos gráficos de regressão para os quatro canais também constatou-se que os pontos plotados fora do traçado da zona de confiança foram amostrados com mais de 5 dias de defasagem com a passagem do satélite.

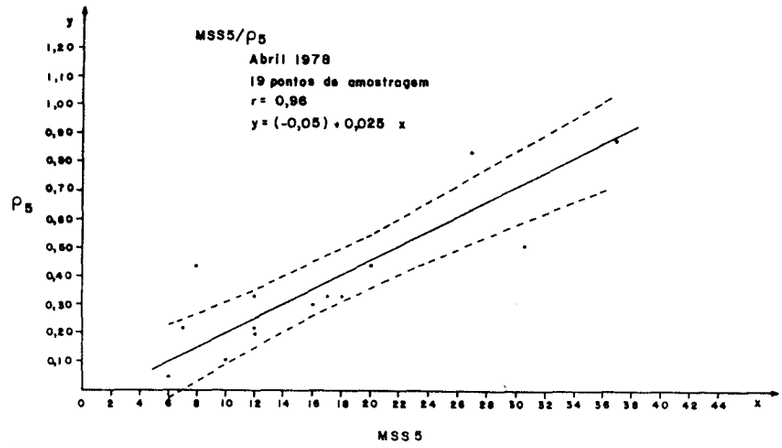


Fig. 17 - Gráfico de regressão simples entre reflectância d'água in situ e canal MSS5 do LANDSAT, passagem de 05/abril/1978.

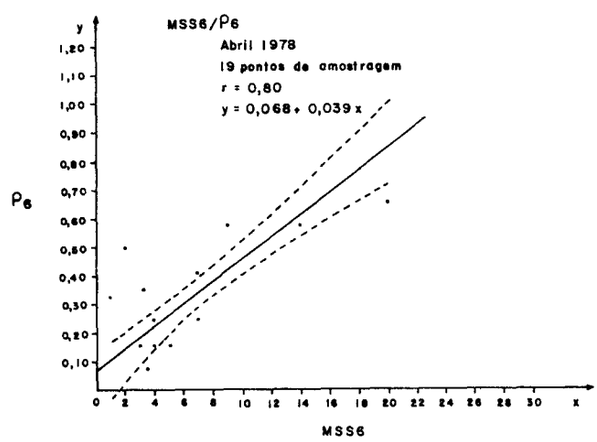


Fig. 18 - Gráfico de regressão simples entre reflectância d'água in situ e canal MSS 6 do LANDSAT, passagem de 05/abril/1978.

Ao término da análise da dinâmica do reservatório de Três Marias, constatou-se que no período chuvoso, o reservatório apresenta um comportamento totalmente diverso daquele apresentado no período seco.

No período chuvoso, além do reservatório apresentar um aumento da área inundada, a superfície d'água apresenta-se também mais heterogênea, ou seja, pode-se perfeitamente caracterizar (por meio dos níveis de cinza) a diferença de concentração de sedimentos nestes dois períodos.

A quantidade e a concentração de sedimentos têm relação direta com o débito fluvial. Assim, durante o período chuvoso, quando os débitos aumentam, há uma maior produção e transporte de carga detrítica e a superfície d'água do reservatório apresenta-se com grande variação de níveis de cinza. No período seco, ela é bastante homogênea, sendo este período o menos adequado para a análise dinâmica.

Em todas as coberturas orbitais analisadas, as classes de níveis de cinza mais altos se localizaram nas entradas de água do reservatório. Pelos dados de profundidade Secchi, constatou-se que as entradas de água são os locais onde há maiores concentrações de sedimentos. Como o reservatório funciona como um decantador natural, à medida que estes sedimentos são levados em direção à barragem, eles vão se dispersando e se depositando. Desta forma, as concentrações tornam-se menores, até a água ficar praticamente limpa.

Pelos mapas temáticos do reservatório (Figuras 11a,11b e 12), pode-se observar que grandes concentrações de sedimentos entram através dos braços abastecidos pelos rios Paraopeba, São Francisco e Borrachudo.

Confirmando-se os dados de descargas líquida e sólida analisados na Seção 4.1.5, as principais fontes de sedimentos para o reservatório são os rios São Francisco e Paraopeba, com especial atenção a este último, pois mesmo durante o período seco, quando há uma diminuição sensível nas descargas líquidas e sólidas, este braço é o único que apresenta tons de cinza-claro, indicativos de altas concentrações de sedimentos. Estas são certamente decorrentes dos despejos dos resíduos de minerações de ferro no alto curso deste rio.

A entrada de água abastecida pelo rio Borrachudo também apresenta altas concentrações de sedimentos, uma vez que todo o seu curso percorre uma região de solos expostos e processos de erosão acelerada.

5. CONCLUSÕES

Da metodologia utilizada pôde-se constatar que,através da consideração simultânea de variáveis físicas e humanas de uma dada área, é possível determinar os principais fatores que atuam na dinâmica da bacia abastecedora de um reservatório artificial, bem como avaliar os processos que estão diminuindo a vida útil dele.

A análise sistemática e repetitiva das imagens multies

pectrais do satélite LANDSAT é essencial para a classificação dos diferentes graus de contaminação das águas por partículas sólidas, liberadas pelas áreas marginais às bacias de drenagem abastecedoras do reservatório de Três Marias.

O controle de campo simultâneo através de amostragens, elaborado a partir da análise preliminar de algumas imagens, é fundamental no aproveitamento de dados orbitais, para a análise automática da distribuição das partículas sólidas em suspensão nas águas, tendendo essa análise para a temática semiquantitativa. Para que as correlações resultantes entre o dado do sensor e o dado medido in situ sejam efetivamente de alto grau , o fator tempo, na distribuição espacial das amostras, deve ser considerado, em função da coleta. Como é praticamente impossível realizar as coletas em tempo real, constatou-se que os desvios identificados nos cálculos realizados são derivados dessa dificuldade.

A utilização de imagens MSS do satélite LANDSAT, referentes a dois períodos sazonais (seco e chuvoso), evidenciou um comportamento hidrográfico (condicionado às variações pluviométricas nos dois períodos) que resulta em variações na qualidade das águas no interior do reservatório de Três Marias. Aliado a isso, a análise temporal da bacia abastecedora desse reservatório, em combinação com os dados de verdade terrestre, possibilitou a caracterização e avaliação do modo pelo qual os fenômenos físicos e humanos vêm se desenvolvendo, nesta bacia, ao longo dos últimos cinco anos.

A análise dos aspectos sazonais, da rede de drenagem, da

morfologia e do uso do solo da área de estudo, permitiu a identificação de possíveis áreas fontes de material removido pela ação do homem, assinalando, dessa forma, áreas críticas de erosão e transporte na bacia abastecedora do reservatório de Três Marias, as quais agem como elementos responsáveis por um possível assoreamento do reservatório.

A classificação automática das imagens MSS/LANDSAT, no sistema I-100, permitiu uma compartimentação da camada superficial d'água do reservatório de Três Marias, em função dos níveis de cinza, com uma precisão relativamente alta. Neste caso, os melhores resultados foram alcançados nas imagens correspondentes a períodos de estação chuvosa, quando a liberação e incorporação das partículas às águas é mais intensa. A classificação realizada sobre imagens do período seco oferece maiores dificuldades na busca de limites precisos de separação de classes, em razão dos baixos contrastes apresentados pelos contingentes de partículas em dispersão.

A atividade humana exerce um papel preponderante na atuação dos processos existentes nas quatro áreas críticas identificadas. Esta influência está sendo sistematicamente ampliada, acentuando cada vez mais os processos erosivos na região.

Constatou-se também que os trechos que apresentam menores problemas de erosão acelerada caracterizam-se por apresentar: relevos de colinas ou colinas associadas a cristas; solos pobres; densidade hidrográfica elevada; terrenos mais impermeáveis com escoamento superficial intenso e concentrado, por ocasião do período chuvoso. Nes

tes trechos, a vegetação original mais densa está sendo substituída por uma vegetação mais rala, em geral do tipo gramínea. Ao final do período seco, esta vegetação oferece pouca proteção ao solo, favorecendo a ação dos processos erosivos com a chegada das chuvas.

Os níveis de cinza observados nas imagens MSS/LANDSAT, associados aos valores de descargas sólidas dos rios e à dinâmica da bacia abastecedora do reservatório de Três Marias, permitiram constatar que os locais que apresentam os níveis de cinza mais altos são os braços do reservatório abastecidos pelos rios São Francisco, Borrachudo e Paraopeba, em especial este último. Estes três rios são grandes contribuintes de carga detrítica para este corpo d'água, uma vez que seus cursos percorrem as principais áreas fontes de sedimentos.

6. RECOMENDAÇÕES

Objetivando-se uma busca de maior equilíbrio da dinâmica ambiental, torna-se necessário um replanejamento da ocupação e uso da terra na área de estudo, destacando-se como críticas: 1) a área de ocupação agrícola e industrial ao longo do rio São Francisco; 2) o alto curso do rio Paraopeba; 3) a área de erosão acelerada, adjacente ao reservatório de Três Marias.

As quatro áreas críticas, possíveis fontes de sedimento, localizadas na bacia abastecedora do reservatório de Três Marias, poderiam ser transformadas em áreas de estudos independentes, sendo analisadas com maior detalhamento e controle, em função dos fenômenos físicos e humanos nelas existentes.

Utilizando-se dados periódicos das imagens LANDSAT (MSS e RBV), poderia ser feito um acompanhamento sistemático da ocupação das áreas críticas mencionadas, que aliado a um controle de campo simultâneo, permitiria avaliar e monitorar o desmatamento na região. A partir destas informações planejar-se-ia a implantação de reflorestamento (especialmente de espécies naturais) na área, bem como a sua fiscalização, a fim de evitar o desmatamento desordenado, um dos principais fatores de ocorrência de processos erosivos na região.

Considerando-se que uma das principais finalidades da construção do reservatório de Três Marias foi manter o nível d'água do rio São Francisco, deve-se fazer um monitoramento da dispersão de sedimentos neste reservatório. Tal procedimento oferece subsídios aos órgãos públicos e empresas interessadas na sua manutenção (p. ex. CEMIG, CODEVASF e outros), proporcionando maior controle das atividades agropecuárias, mineradoras e industriais na área da bacia abastecedora do reservatório. Com isto, espera-se diminuir o seu assoreamento, aumentando, em consequência, a sua vida útil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOKI, H.; SANTOS, J.R. dos Estudos da vegetação de cerrado na área do Distrito Federal, a partir de dados orbitais. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações; São José dos Campos, INPE, 1980 (INPE-1730-TDL/026).

BARBOSA, G.V.; FRANCO, E.M.S.; MOREIRA, M.M.M.A. Mapas geomorfológicos elaborados a partir de radar. Notícia Geomorfológica, 17(33): 137-152, Jun.1977.

BARKER, J.L. Monitoring water quality from LANDSAT NASA. Earth Resources Survey Symposium, Houston, Tx., June 9-12, 1975. Proceedings. Houston, Tx., NASA, 1975, V. 1-A, p: 383-418. (NASA TMX-58168).

CASTRO, R. N. de Aproveitamento econômico e proteção do ecosistema na área do reservatório de Três Marias. Revista Brasileira de Energia Elétrica, (32):50-57, out/dez. 1975.

FRANÇA, G.V. Interpretação fotográfica de bacias e redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba. Tese de Doutoramento em Agronomia, Piracicaba, ESALQ, USP, 1968. 151 p.

GENERAL ELECTRIC Space Division Ground Systems Department. Image 100: User Manual. Daytona Beach, FA, 1975.

GORDON, H.R.; MACCLAUNEY, W.R. Estimation of the depth of sunlight penetration in the sea for remote sensing. Applied Optics, 14(2): 413-416, Fev. 1975.

GREGORY, K.J.; WALLING, D.E. Drainage Basin Form and Process; a geo-

morphological approach. In: Drainage Basin Measurements, London, 1973, Part A, p. 37-86.

HERZ, R. Circulação das águas de superfície da Lagoa dos Patos: contribuição metodológica do estudo de processos lagunares e costeiros do Rio Grande do Sul através da aplicação de técnicas de sensoriamento remoto. Tese de Doutorado. São Paulo, USP. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, 1977.

HERZ, R.; TANAKA, K. Método para classificação automática de padrões multiespectrais de imagens orbitais em águas costeiras. INPE-1395-PE/179, out. 1978, São José dos Campos - SP.

HOWARD, A.D. Drainage analysis in geologic interpretation: a summation. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 51(11):2246-2259, Nov. 1967.

JERLOV, N.G.; NIELSEN, E.S. Beam attenuation. In: ——— Optical Aspects of Oceanography. London, Academic, 1974. Cap. 3.

KOFFLER, N.F. Utilização de imagens aerofotográficas e orbitais no estudo do padrão de drenagem em solos originados do arenito Botucatu. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE, Jun., 1976. (INPE-898-TPT/029).

MACHADO, G.E.M. Efeitos do meio ambiente sobre barragem e reservatórios. Revista Brasileira de Energia Elétrica (32):19-22, out./dez. 1975.

MENEZES FILHO, N.R. DE; MATTOS, G.M.M.; FERRARI, P.G. Projeto Três Marias; relatório final. Belo Horizonte. DNPM, 1977. v.1, 399 p.

MORAES, E.M.L. DE Análise morfométrica de bacias hidrográficas atra

vés de imagens LANDSAT. São José dos Campos, INPE, ago. 1975 (INPE-728-NTI/026).

MORAES, E.M.L. de; LEITE, M.A. Mapeamento fotogeomorfológico através de imagem do LANDSAT-1. São José dos Campos, INPE, jul. 1975 (INPE-715-NTE/017).

MASCIMENTO, F.S. do; NASCIMENTO, M.A.L.S. do Sensoriamento remoto aplicado a mapeamento geológico, compartimentação geomorfológica e identificação de zona mineralizada em zinco e chumbo na região de Vazante, MG. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE,1977 (INPE-1157-TPT/072).

PICKARD, G.L. Instruments and method. In:———. Descriptive physical oceanography. Oxford; Pergamo, C. 1963. Cap. 6, p.73-106.

RICCI, M.; PETRI, S. Princípios de aerofotogrametria e interpretação geológica. São Paulo, Nacional, 1965.

RITCHIE, J.C.; SCHIEBE, E.B.; MCHENRY, J.R. Remote Sensing of suspended sediments in surface waters. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 42 (12): 1539-1545, Dec. 1976.

SANTOS, A.P. dos; NOVO E.M.L. de M. Uso de dados do LANDSAT-1 na implantação, controle e acompanhamento de projetos agropecuários no sudoeste da Amazônia Legal. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações, São José dos Campos, INPE, 1977. (INPE-1044-TPT/056).

SAUSEN, T.M. Mapeamento da rede de drenagem da folha de Brasília através de imagens LANDSAT. São José dos Campos, INPE, jun., 1978 (INPE-1279-NTE/122).

SCHERZ, J.R.; VAN DOMELEN, J. F. Water quality indicators obtainable from aircraft and LANDSAT images their use in classifying lakes. In: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 10. v. 1, p. 447-460, 1975.

STEEL, R.G.D.; TORRE, J.H. Principle and procedures of statistics special reference to the biological sciences. New York, McGraw-Hill, 1960.

VALÉRIO FILHO, M.; HIGA, N.T.; CARVALHO, V.C. Avaliação das imagens orbitais (LANDSAT-1) como base para levantamento de solos. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, 1976 (INPE-912-TPT/030).

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-NTI/110).

YARGER, H.L.; MCCAULEY, J.R.; JAMES, G.W.; MAGNUSON, L.M. Water turbidity detection using ERTS-1 imagery, In: NASA Symposium on Significant results obtained from the Earth Resources Technology Satellite-1, New Carrolton, MD., March 5-9, 1973, Proceedings, Washington, DC. NASA, 1973, A1, p. 651-658 (NASA SP-327).