N O T I C E

THIS DOCUMENT HAS BEEN REPRODUCED FROM MICROFICHE. ALTHOUGH IT IS RECOGNIZED THAT CERTAIN PORTIONS ARE ILLEGIBLE, IT IS BEING RELEASED IN THE INTEREST OF MAKING AVAILABLE AS MUCH INFORMATION AS POSSIBLE

E82-10291

CR-168860

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO

"Made available under NASA sponsorship in the interest of early dissemination of Earth Resources Survey Program information and without liability for any use made thereof."

(E82-10291) DYNAMIC STUDY OF THE UPPER SAO FRANCISCO RIVER AND TRES MARIAS RESERVOIR USING MSS/LANDSAT IMAGES M.S. Thesis (Instituto de Pesquisas Espaciais, Sao Jose) 272 p HC A12/MF A01 CSCL 05B G3/43

N82-24569

Unclas 00291

RECEIVED BY
NASA STI FACILITY
DATE 3-1-82
DCAF NO. 002949
PROCESSED BY
☒ NASA STI FACILITY
☐ ESA - SDS ☐ AIAA

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

1. Publicação nº	2. Versão	3. Data	5. Distribuição
INPE-2249-TDL/066		Out., 1981	☐ Interna ☒ Externa ☐ Restrita
4. Origem DSR	Programa ANAMB		

6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es)

SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO
RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS
IMAGEM LANDSAT

7. C.D.U.: 528.711.7:556.51(282.281.5)

8. Título INPE-2249-TDL/066

ESTUDO DA DINÂMICA DO ALTO RIO SÃO FRANCISCO E RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS, ATRAVÉS DE IMAGENS MSS/LANDSAT

10. Páginas: 272

11. Última página: D.9

12. Revisada por

Renato Hers

9. Autoria Tânia Maria Sausen

13. Autorizada por

Nelson de Jesus Parada
Diretor

Assinatura responsável

14. Resumo/Notas

Apresenta-se 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. 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 o 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. Esta pesquisa permitiu constatar que, através do uso simultâneo de variáveis físicas e ação antrópica sobre o espaço que abrange a bacia hidrográfica, é possível determinar os principais fatores que atuam na conjuntura dinâmica da bacia fluvial abastecedora de um reservatório artificial.

15. Observações Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto, aprovada em 14 de novembro de 1980.

Aprovada pela Banca Examinadora
em cumprimento dos requisitos exigidos
para a obtenção do Título de Mestre em
Sensoriamento Remoto

Dr.Hermann Kux _____ Presidente

Dr.Adilson Avansi de Abreu _____ Orientador

Dr.Renato Herz _____ Co-Orientador

Dr.Augusto Humberto Vairo Titarelli _____ Membro da Banca -convidado-

Dr.Icaro Vitorello _____ Membro da Banca

Tânia Maria Sausen _____ Candidato

São José dos Campos, 14 de novembro de 1980

Aos meus pais pelo apoio e incentivo.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

ABSTRACT

This paper presents a methodology that utilizes LANDSAT - MSS imagery to verify the relationship between the sediment dispersion and concentration in the superficial layers of the Três Marias reservoir and the dynamics of the drainage basins of its affluentes. Multispectral images corresponding to bands 4, 5 and 7, of dry and rainy seasons in the years of 1973, 1975, 1977 and 1978 were analysed considering the drainage network, dissection patterns, and land use of each watershed. Furthermore, the superficial water layers of the reservoir were divided according to the grey level pattern of each image. Two field trips were made to collect Secchi depths and in situ water reflectance. From this study it was concluded that it is possible to determine the main factors that act in the dynamics of the drainage basins of a reservoir, through the simultaneous control of the physical and variables antropic action of each basin.

PRECEDING PAGE BLANK NOT FILMED

SUMÁRIO

Pág.

LISTA DE FIGURAS ..... *ix*

LISTA DE TABELAS ..... *xiii*

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO 1

1.1 - Descrição geral da área de estudos 3

1.1.1 - Localização 3

1.1.2 - Hidrografia 3

1.1.3 - Geologia e relevo 6

1.1.4 - Clima, vegetação e solo 9

1.1.5 - Processos morfogenéticos 15

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 17

2.1 - Estudo da rede de drenagem através de imagens LANDSAT 17

2.2 - Estudo dos aspectos geomorfológicos através de imagens LANDSAT 18

2.3 - Estudo da cobertura vegetal através de imagens LANDSAT 19

2.4 - Transporte de sedimentos - sua dinâmica e seu estudo através de imagens LANDSAT 22

CAPÍTULO 3 - MÉTODO, MATERIAL E TÉCNICAS 29

3.1 - Método 30

3.2 - Materiais e equipamentos 32

3.2.1 - Sistema LANDSAT 33

3.2.2 - Material cartográfico e dados pluvio-fluviométricos 39

3.2.3 - Sistema de análise automática de imagens (IMAGE-100) 41

3.2.4 - Disco de Secchi 42

3.2.5 - Radiômetro 42

3.3 - Técnicas utilizadas para obtenção de informações sobre a área de estudo 42

3.3.1 - Análise visual da rede de drenagem 43

3.3.2 - Mapeamento das unidade de padrões de dissecação do relevo da área de estudo 43

3.3.3 - Análise visual da cobertura vegetal e uso do solo 46

3.3.4 - Coleta de dados de campo 49

3.3.5 - Análise dos dados simultâneos coletados no reservatório . 54

Pág.

3.3.6 - Análise automática dos dados orbitais 54

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO 63

4.1 - Ordenação temporo-espacial das variáveis físicas da bacia abastecedora do reservatório de Três Marias 63

4.1.1 - Mapeamento da rede de drenagem 63

4.1.2 - Mapeamento das unidades de padrões de dissecação do relevo da área de estudo 67

4.1.3 - Mapeamento esquemático do uso do solo 85

4.1.4 - Análise e avaliação da dinâmica da bacia do reservatório de Três Marias 96

4.1.5 - Características pluvio-fluviométricas da bacia do reservatório de Três Marias, em função do transporte de partículas sólidas 122

4.2 - Análise da dinâmica do reservatório de Três Marias 154

4.2.1 - Dados coletados simultaneamente no reservatório de Três Marias 155

4.2.2 - Interpretação automática dos dados LANDSAT, em função da dispersão do material em suspensão no reservatório de Três Marias 155

4.2.3 - Análise de correlação entre os valores médios de níveis de cinza (CCT) e dados coletados no reservatório de Três Marias 175

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 207

5.1 - Métodos e técnicas 207

5.2 - Área estudada 213

5.3 - Recomendações 217

AGRADECIMENTOS 223

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 225

APÊNDICE A - PROJETO TRÊS MARIAS A.1

APÊNDICE B - FICHA DE CAMPO PARA REFLECTÂNCIA D'ÁGUA B.1

APÊNDICE C - MAPAS DAS CARACTERÍSTICAS GEO-AMBIENTAIS DA BACIA ABASTECEDORA DO RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS C.1

APÊNDICE D - MAPAS TEMÁTICOS DA DISTRIBUIÇÃO DE SEDIMENTOS NO RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS D.1

LISTA DE FIGURAS

Pág.

1.1 - Localização da área de estudo 4

1.2 - Represa de Três Marias e seu sistema tributário 5

1.3 - Domínios morfoestruturais da região Sudeste 7

1.4 - Compatimentação geológica da área de estudo 8

1.5 - Regiões bioclimáticas do Estado de Minas Gerais, segundo Gaussen 10

1.6 - Vegetação da região Sudeste 12

1.7 - Levantamento de reconhecimento detalhado dos solos da área sob a influência do reservatório de Três Marias 14

2.1 - Curva de atenuação da água 26

2.2 - Interações de um raio de luz solar com a camada d'água ... 27

3.1 - Padrão de cobertura no solo para o sistema LANDSAT 34

3.2 - Esquema do imageador MSS/LANDSAT 35

3.3 - Cartograma do índice das imagens referentes à área de estudos 37

3.4 - Localização dos pontos de amostragem no reservatório de Três Marias 51

3.5 - Distribuição das amostras em relação a memória de imagem do sistema I-100 58

3.6 - Desenho de Single Pixel 60

4.1 - Localização das réguas fluviométricas do rios São Francisco, Pará e Paraopeba 124

4.2 - Gráficos ombrotérmicos da área da bacia abastecedora do reservatório de Três Marias 125

4.3 - Caracterização da estação seca e chuvosa em Bambuí, no ano de 1977 127

4.4 - Caracterização da estação seca e chuvosa em Bambuí, no ano de 1978 128

4.5 - Curvas de descargas líquida e sólida do rio São Francisco do período seco, no ano de 1973 130

4.6 - Curvas de descargas líquida e sólida, do rio São Francisco do período chuvoso, no ano de 1975 131

4.7 - Curvas de descargas líquida e sólida, do rio São Francisco do período chuvoso do ano de 1977 132

4.8 - Curvas de descargas líquida e sólida, do rio São Francisco do período seco, no ano de 1977 133

Pág.

4.9 - Curvas de descargas líquida e sólida, do rio São Francisco do período chuvoso, no ano de 1978 134

4.10 - Curvas de descargas líquida e sólida, do rio São Francisco do período seco, no no ano de 1978 135

4.11 - Curvas de descargas líquida e sólida, do rio Pará, do período seco, no ano de 1973 138

4.12 - Curvas de descargas líquida e sólida, do rio Pará, do período chuvoso, no ano de 1975 139

4.13 - Curvas de precipitação diária e de descargas líquida e sólida, do rio Pará, do período chuvoso, no ano de 1977 140

4.14 - Curvas de precipitação diária e de descargas líquida e sólida, do rio Pará, do período seco, no ano de 1977 141

4.15 - Curvas de precipitação diária e de descargas líquida e sólida, do rio Pará, do período chuvoso, no ano de 1978 142

4.16 - Curvas de precipitação diária e de descargas líquida e sólida, do rio Pará, do período seco, no ano de 1978 143

4.17 - Curvas de descargas líquida e sólida, do rio Paraopeba, do período seco, no ano de 1973 146

4.18 - Curvas de descargas líquida e sólida, do rio Paraopeba, do período chuvoso, no ano de 1975 147

4.19 - Curvas de precipitação diária, para o período chuvoso, em Porto Mesquita, no rio Paraopeba, no ano de 1977 148

4.20 - Curvas de descargas líquida e sólida, do período chuvoso, no rio Paraopeba, no ano 1977 149

4.21 - Curva de precipitação diária, no período chuvoso em Porto Mesquita, no rio Paropeba, no ano de 1977 150

4.22 - Curvas de descargas líquida e sólida, no período seco, no rio Paraopeba, no ano de 1977 151

4.23 - Curva de precipitação diária, no período chuvoso, em Porto Mesquita, no rio Paraopeba em 1978 152

4.24 - Curvas de descargas líquida e sólita, no período chuvoso, no rio Paraopeba, no ano de 1978 153

4.25 - Curvas de erosão e deposição para material uniforme 159

4.26 - Gráfico de regressão entre profundidade Secchi e níveis de cinza no canal MSS 4 do LANDSAT, passagem de 05 de abril de 1978 179

4.27 - Gráfico de regressão entre profundidade Secchi e níveis de cinza, no canal MSS 5 do LANDSAT, passagem de 05 de abril de 1978 180

Pág.

4.28 - Gráfico de regressão entre profundidade Secchi e níveis de cinza no canal MSS 6 do LANDSAT, passagem de 05 de abril de 1978 181

4.29 - Gráfico de regressão entre profundidade Secchi e níveis de cinza no canal MSS 7 do LANDSAT, passagem de 05 de abril de 1978 182

4.30 - Gráfico de regressão entre profundidade Secchi e níveis de cinza no canal MSS 4 do LANDSAT, passagem de 27 de agosto de 1978 187

4.31 - Gráfico de regressão entre profundidade Secchi e níveis de cinza no canal MSS 5 do LANDSAT, passagem de 27 de agosto de 1978 188

4.32 - Gráfico de regressão entre profundidade Secchi e níveis de cinza no canal MSS 6 do LANDSAT, passagem de 27 de agosto de 1978 189

4.33 - Gráfico de regressão entre profundidade Secchi e níveis de cinza no canal MSS 7 do LANDSAT, passagem de 27 de agosto de 1978 190

4.34 - Relação entre a quantidade da radiação solar refletida, comprimento de onda e concentração de sólidos em suspensão em superfícies d'água, com faixas de atuação dos quatro canais do MSS- LANDSAT 193

4.35 - Gráfico de regressão entre reflectância d'água coletada *in situ* e níveis de cinza (CCT) no canal MSS 4 198

4.36 - Gráfico de regressão entre reflectância d'água coletada *in situ* e níveis de cinza (CCT) no canal MSS 5 199

4.37 - Gráfico de regressão entre reflectância d'água coletada *in situ* e níveis de cinza (CCT) no canal MSS 6 200

4.38 - Gráfico de regressão entre reflectância d'água coletada *in situ* e níveis de cinza (CCT) no canal MSS 7 201

PRECEDING PAGE BLANK NOT FILMED

LISTA DE TABELAS

Pág.

3.1 - Relação das imagens MSS do satélite LANDSAT, utilizadas no trabalho 36

3.2 - Relação das CCTs utilizadas no trabalho 38

3.3 - Relação das cartas topográficas utilizadas neste trabalho 39

4.1 - Análise de variância dos índices de textura da topografia. 70

4.2 - Teste da menor diferença significativa para as classes de textura da topografia 71

4.3 - Análise de variância dos índices de densidade de drenagem. 73

4.4 - Teste da menor diferença significativa para as classes de densidade de drenagem 74

4.5 - Análise de variância do índice de extensão do percurso superficial 76

4.6 - Teste da menor diferença significativa para as classes de extensão do percurso superficial 77

4.7 - Análise de variância do índice de amplitude média 78

4.8 - Teste da menor diferença significativa para as classes de amplitude média 79

4.9 - Análise de variância do índice de altitude média 81

4.10 - Teste da menor diferença significativa paras classes de altitude média 82

4.11 - Descrição das unidades geomorfológicas 86

4.12 - Descrição das unidades de vegetação 97

4.13 - Descrição integrada da área de estudo 104

4.14 - Relação dos pontos de amostragem no reservatório de Três Marias, com seus respectivos dados de profundidade Secchi e reflectância; período chuvoso 156

4.15 - Relação dos pontos de amostragem no reservatório de Três Marias, com seus respectivos dados de profundidade Secchi e reflectância; período seco 157

4.16 - Valores de profundidade Secchi, obtidos durante o trabalho de campo, nos vinte e quatro (24) pontos de amostragem ... 164

4.17 - Valores médios e matriz de covariância para as classes de níveis de cinza e os valores de pronfudidade Secchi, referentes a passagem de 5 de abril de 1978 165

Pág.

4.18 - Matriz de classificação correta (%) para as 12 classes de nível de cinza 167

4.19 - Valores médios de nível de cinza, nos quatro canais do MSS do LANDSAT, para os 24 pontos de amostragem do reservatório de Três Marias 169

4.20 - Valores médios de nível de cinza, nos quatro canais do MSS do LANDSAT, para 24 pontos de amostragem do reservatório de Três Marias 170

4.21 - Dados de profundidade Secchi, obtidos durante o trabalho de campo, nos 25 pontos de amostragem 172

4.22 - Valores médios e matriz de covariância para as classes de nível de cinza e os valores de profundidade Secchi, referentes a passagem de 27 de agosto de 1978 173

4.23 - Matriz de classificação correta (%) para as 8 classes de nível de cinza 174

4.24 - Dados utilizados na análise de correlação entre valores médios de níveis de cinza (CCT) e profundidade Secchi 176

4.25 - Resultados das análises de correlação entre os níveis de cinza e a profundidade Secchi - 5 de abril de 1978. 178

4.26 - Dados utilizados para a análise de correlação entre níveis de cinza e profundidade Secchi 185

4.27 - Resultados das análises de correlação entre os níveis de cinza e a profundidade Secchi - 27 de agosto de 1978 186

4.28 - Relação dos dados utilizados para análise de correlação tre valores médios de níveis de cinza (CCT) e reflectância d'água "*in situ*" 195

4.29 - Resultado das análises de correlação entre valores médios de níveis de cinza (CCT) e reflectância d'água "*in situ*" 196

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O homem por sua necessidade crescente de fontes de energia e disponibilidade de água, procura cada vez mais utilizar o potencial hidrológico existente na natureza. Como prova deste fato, pode- se verificar o grande estímulo na construção de reservatórios de água, capazes de gerar enormes quantidades de energia e de fornecer grandes quantidades de água para as populações, servindo ainda como fator regulador da vazão dos rios, e permitindo a irrigação de vastas terras marginais.

Porém apesar dos benefícios obtidos através destes corpos d'água, não se pode ignorar o fato da barragem ser um obstáculo interposto no leito natural de um rio e constituir um corpo estranho em sua estrutura original, produzindo fatalmente uma reação de desequilíbrio em seu meio ambiente, que atinge com frequência, o próprio homem, conforme salientado pela CETESB (1975).

Tal fato, conforme mencionado por Machado (1975) provoca alterações no meio ambiente e no reservatório. Os principais efeitos negativos sobre o reservatório são: erosão de suas margens e transporte de sólidos em suspensão. Estes fenômenos provocam uma reação em cadeia de efeitos negativos, como exemplo: assoreamento da bacia de captação e do reservatório, com consequente redução do volume d'água, eutrofização das águas, redução da fauna aquática nativa, aumento extraordinário de vegetais nocivos, etc.

De acordo com referência feita por Castro (1975), em seu trabalho sobre "Aproveitamento Econômico e Proteção do Ecossistema na área do Reservatório de Três Marias" em 1973, as Secretarias Gerais do Ministério da Agricultura e do Ministério do Interior e o Instituto de Pesquisas Espaciais foram alertados a respeito do aumento frequente da turbidez de alguns pontos no reservatório de Três Marias, que apresentavam características possivelmente resultantes de assoreamento.

A partir daí, foi dada a devida atenção ao problema através do Ministério da Agricultura e do Interior, da Companhia de Desenvolvimento do Bale do São Francisco - CODEVASF - e das Centrais Elétricas de Minas Gerais - CEMIG.

Diversos autores já salientaram a validade do uso de imagens MSS do sistema LANDSAT, para estudo de turbidez em corpos d'água. Dentre eles, Herz (1977) salienta que a aplicação das imagens multiespectrais é um elemento valioso para o levantamento dos processos de dispersão de partículas sólidas nas águas. Vários estudos já têm comprovado que as propriedades óticas das águas refletem-se direta e diferentemente nos registros dos canais espectrais dessas imagens.

Constatou-se, também, que as respostas espectrais nos canais MSS do LANDSAT são linearmente correlacionadas com os níveis de turbidez (sólidos suspensos), possibilitando, assim, a identificação de áreas com diferentes concentrações de sólidos suspensos.

Os dados de sensores orbitais, por possibilitarem uma visão sinóptica, repetitiva e multiespectral da superfície terrestre, permitem o estudo regional de áreas que apresentam este tipo de problema, revelando, de forma rápida e precisa, as consequências ou os efeitos que o escoamento superficial provoca sobre o corpo d'água de reservatórios e sobre as terras que o circundam .

Levando-se em consideração os fatores acima mencionados, e sabendo-se da importância dos recursos hídricos para o desenvolvimento econômico regional, 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.

Assim, procurou-se avaliar por exemplo, o papel do uso do solo nos processos de erosão e o significado destes, em termos da liberação de sedimentos para o reservatório considerado. Este trabalho apoiiu-se nas alterações das características espectrais das águas, em função do transporte e da dispersão de material em suspensão.

Desta forma, neste estudo foram estabelecidas correlações entre o comportamento da dispersão de sedimentos em águas da camada superficial deste reservatório e as características ambientais de áreas adjacentes. Utilizaram-se imagens MSS do satélite LANDSAT, em dois períodos sazonais, de três anos alternados, para fazer uma avaliação do desenvolvimento destes fenômenos em um determinado período de tempo (5 anos), de modo a fornecer subsídios para um manejo racional das referidas áreas.

1.1 - DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDOS

1.1.1 - LOCALIZAÇÃO

A área de estudos, abrangida pelo alto curso do rio São Grancisco e pelo reservatório de Três Marias, está localizada na porção central do Estado de Minas Gerais, entre as coordenadas de $18^{o}00$ a $21^{o}00$ de latitude Sul e de $43^{o}30'$ a $46^{o}00$ de longitude Oeste, perfazendo um total de 48.200 Km^2 (Figura 1.1).

Vários conjuntos orográficos servem de limite para esta área. Na porção leste, este é limitada pela serra do Espinhaço e, na porção oeste, é separada do Brasil Central, pelos Chapadrões do oeste mineiro. Ao sul, é limitada pelas serras da Canastra e da Galga.

1.1.2 - HIDROGRAFIA

A bacia hidrográfica do alto rio São Francisco drena a área de estudos. Este rio, que apresenta um curso com orientação geral de sul para norte, tem suas cabeceiras localizadas na serra da Canastra, dez quilômetros do município de São Roque de Minas, numa altitude aproximada de 1400 metros (Figura 1.2).

Os principais rios que abastecem o São Francisco são o Pará e o Paraopeba pela margem direita, e o Borrachudo e o Indaiá pela margem esquerda.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

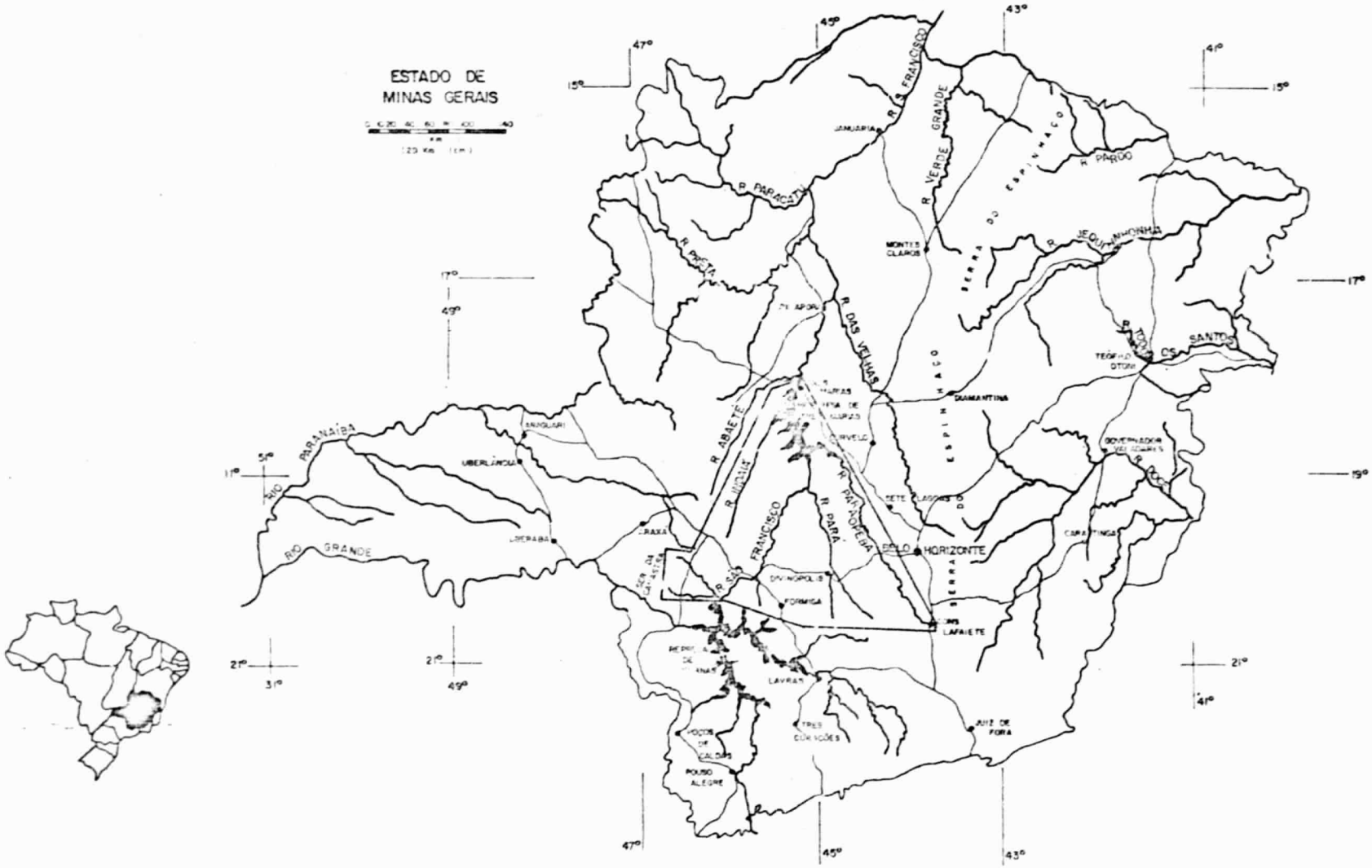
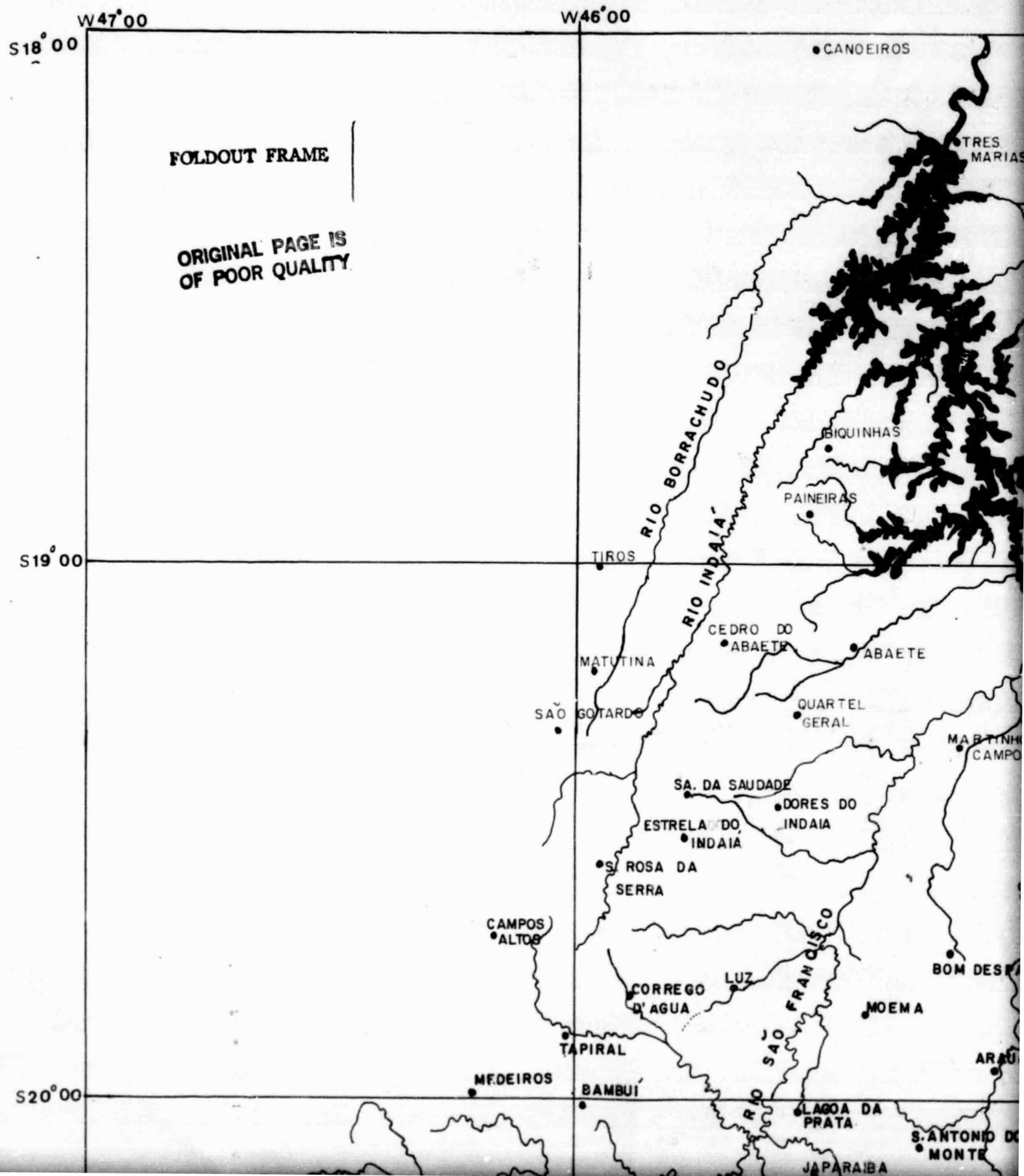


Fig. 1.1 - Localização da área de estudo.

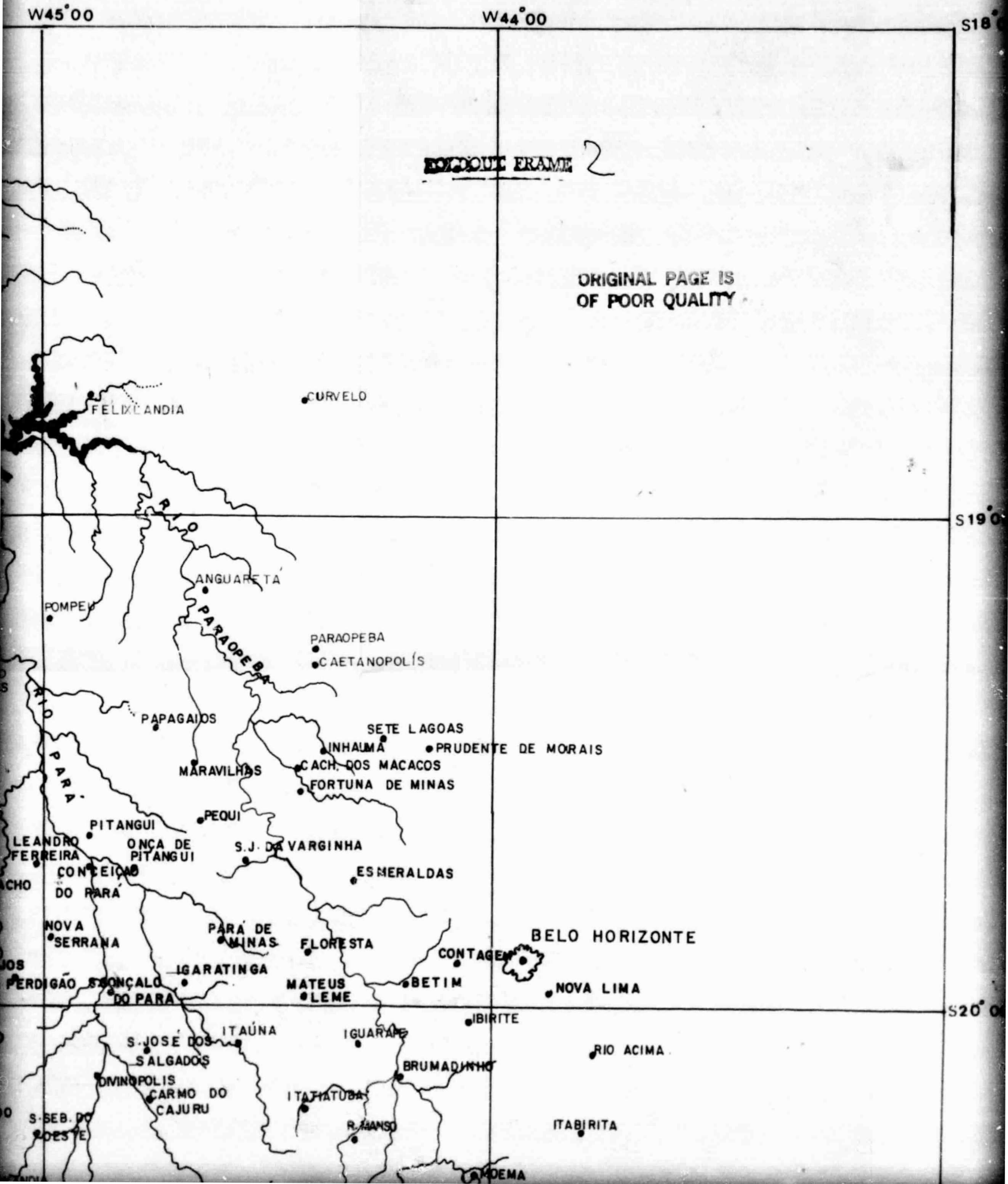
REPRESA DE TRES MARIAS E SEU SISTEMA TRIBUTARIO

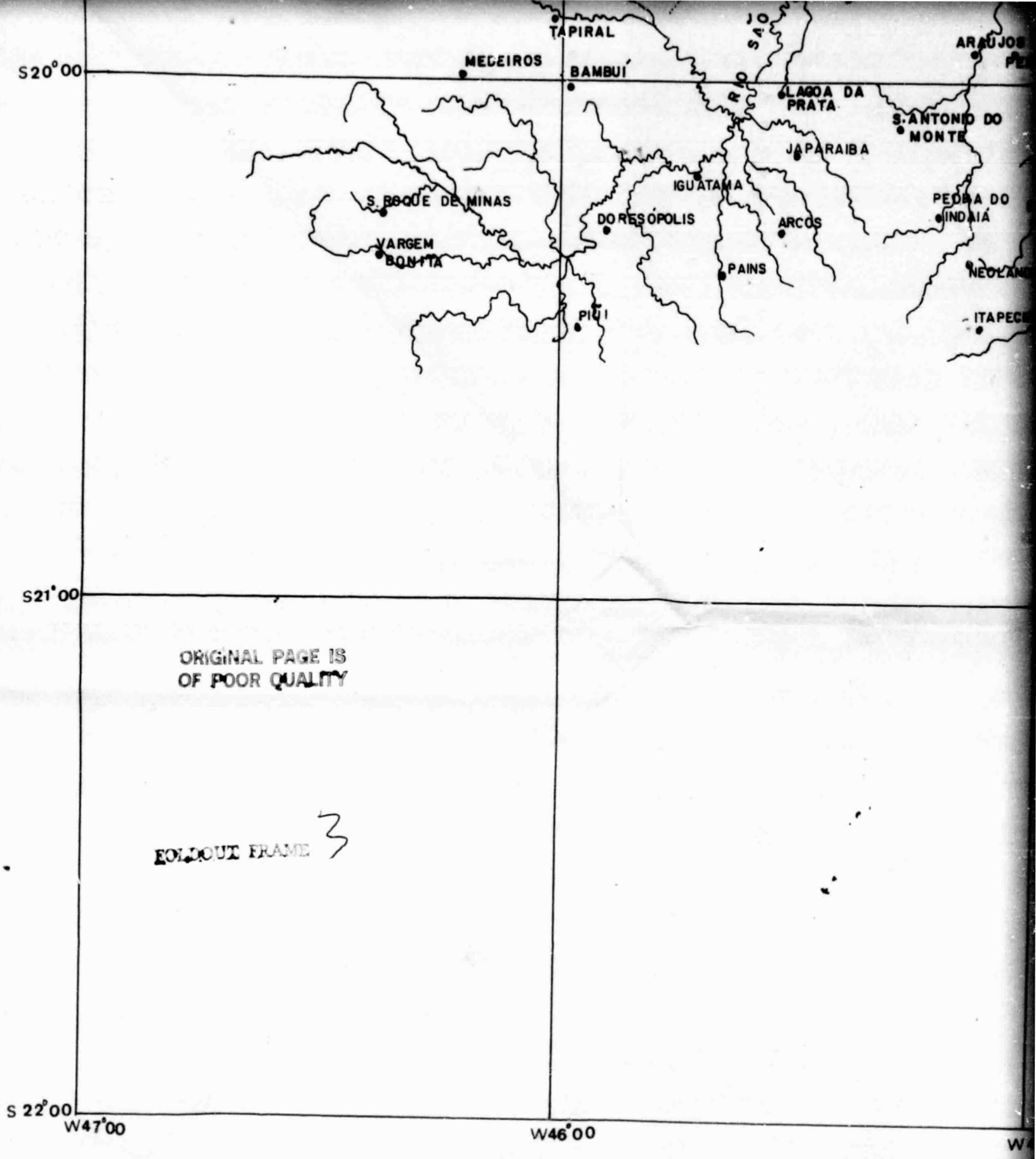


FOLDOUT FRAME

ORIGINAL PAGE IS OF POOR QUALITY

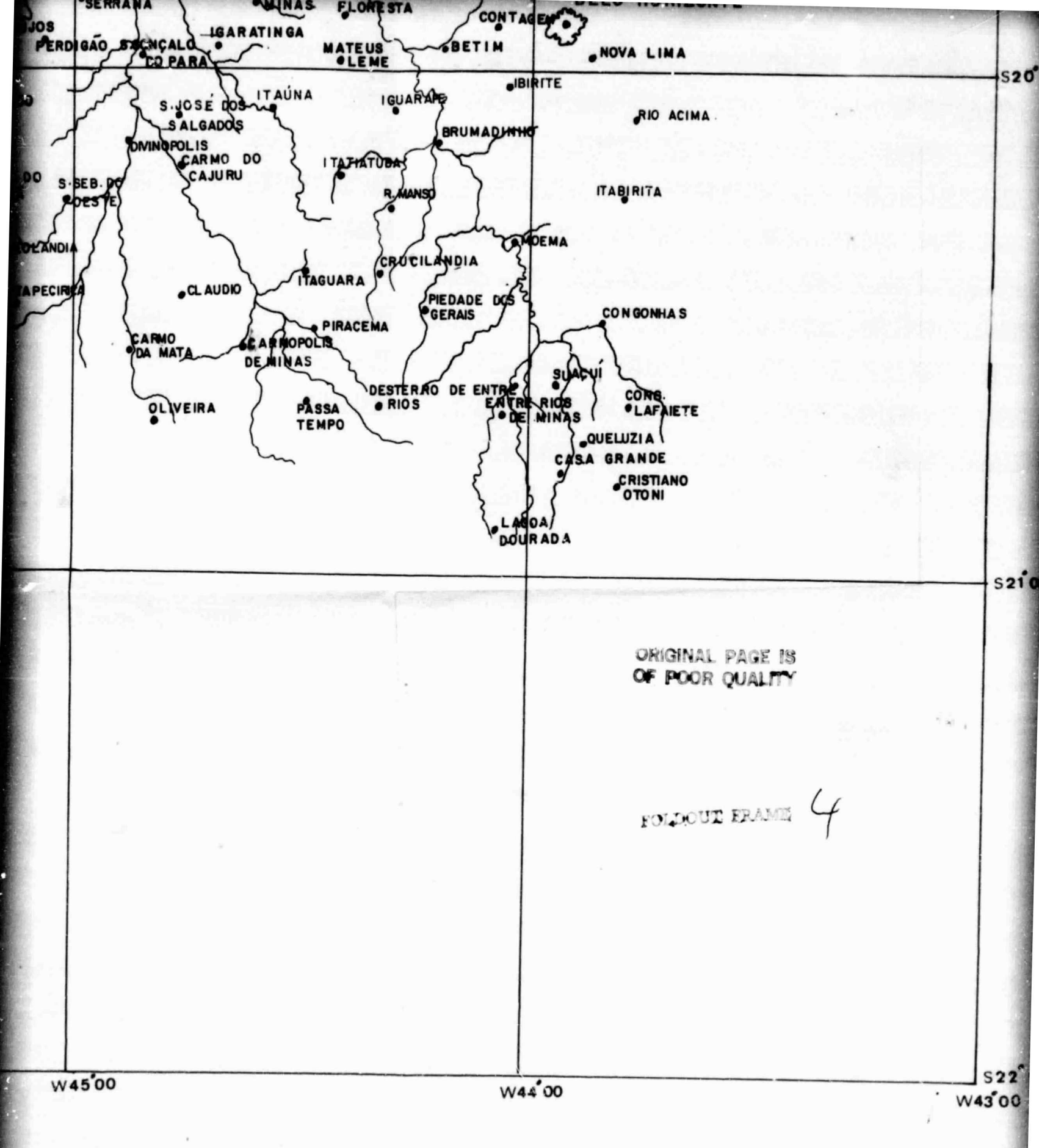
CNPq/INPE


W45°00
W44°00
S18°
S19°
S20°
FOLDOUT FRAME 2
ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY
CURVELO
FELIXLANDIA
RIO
ANGUARETÁ
POMPEU
PARAOPEBA
PARAOPEBA
CAETANOPOLÍS
RIO PARA
PAPAGAIOS
SETE LAGOAS
INHAUMA
PRUDENTE DE MORAIS
MARAVILHAS
CACH. DOS MACACOS
FORTUNA DE MINAS
PEQUI
PITANGUI
LEANDRO FERREIRA
ONÇA DE PITANGUI
S.J. DA VARGINHA
CONCEIÇÃO DO PARÁ
ESMERALDAS
NOVA SERRANA
PARÁ DE MINAS
FLORESTA
BELO HORIZONTE
CONTAGEM
PERDIGÃO
S.GONÇALO DO PARA
IGARATINGA
MATEUS LEME
BETIM
NOVA LIMA
IBIRITE
ITAÚNA
IGUARAPÉ
S.JOSÉ DOS SALGADOS
RIO ACIMA
BRUMADINHO
DIVINOPOLIS
CARMO DO CAJURU
ITATIATUBA
S.SEB. DO OESTE
R.MANSO
ITABIRITA
DEMA



ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

FOLDOUT FRAME 3



ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

FOLDOUT FRAME 4

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

O São Francisco é um rio de regime tipicamente tropical, relacionado às estações chuvosa e seca. Assim, no verão e início do outono, quando chove nesta área, sua vazão é de 163,9 m^3 (em Iguatama). Nos meses de inverno e primavera, que coincidem com o período seco, a vazão cai para 33,7 m^3/s (Mesquita, 1965).

Próximo ao local onde o rio Borrachudo se une ao São Francisco, localiza-se a barragem de Três Marias, nas imediações da cidade de mesmo nome. O reservatório armazena um volume d'água de 20 bilhões de m^3. A área inundável é de 1102 Km^2, sendo que o seu eixo maior atinge aproximadamente 140 Km, com profundidade máxima de 74 metros no período chuvoso (Menezes et alii 1977).

1.1.3 - GEOLOGIA E RELEVO

Morfologicamente a área se insere, em parte, na Depressão do São Francisco, onde predominam amplas várzeas, interflúvios tabulares e colinas, com altitudes de 500 - 550 metros. Na porção SE da área estudada, onde afloram rochas cristalinas do Pré-cambriano, predomina um relevo de morros com vertentes côncavo-convexas com altitudes de 600 a 800 metros. Na área próxima a Belo Horizonte, onde afloram os terrenos do Super-grupo Minas (quartzitos, dolomitos e ortoquarzitos, filitos, conglomerados e itabiritos), o relevo é enérgico, apresentando escarpas abruptas e cristas (Figura 1.3).

Segundo Menezes et alii (1977), a área é constituída essencialmente pelas litologias pré-cambrianas do grupo Bambuí - formações Três Marias e Paraopeba - (Figura 1.4).

As rochas da formação Paraopeba (ardósias, margas, calcarenitos, argilitos, siltitos e arenitos) estão em grande parte encobertas pela formação Três Marias, que por sua vez é capeada por formação arenosas indiferenciadas. Na parte oeste da área estudada, a formação Paraopeba é capeada pelas unidades Areado e Mata da Corda (Cretáceo).

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

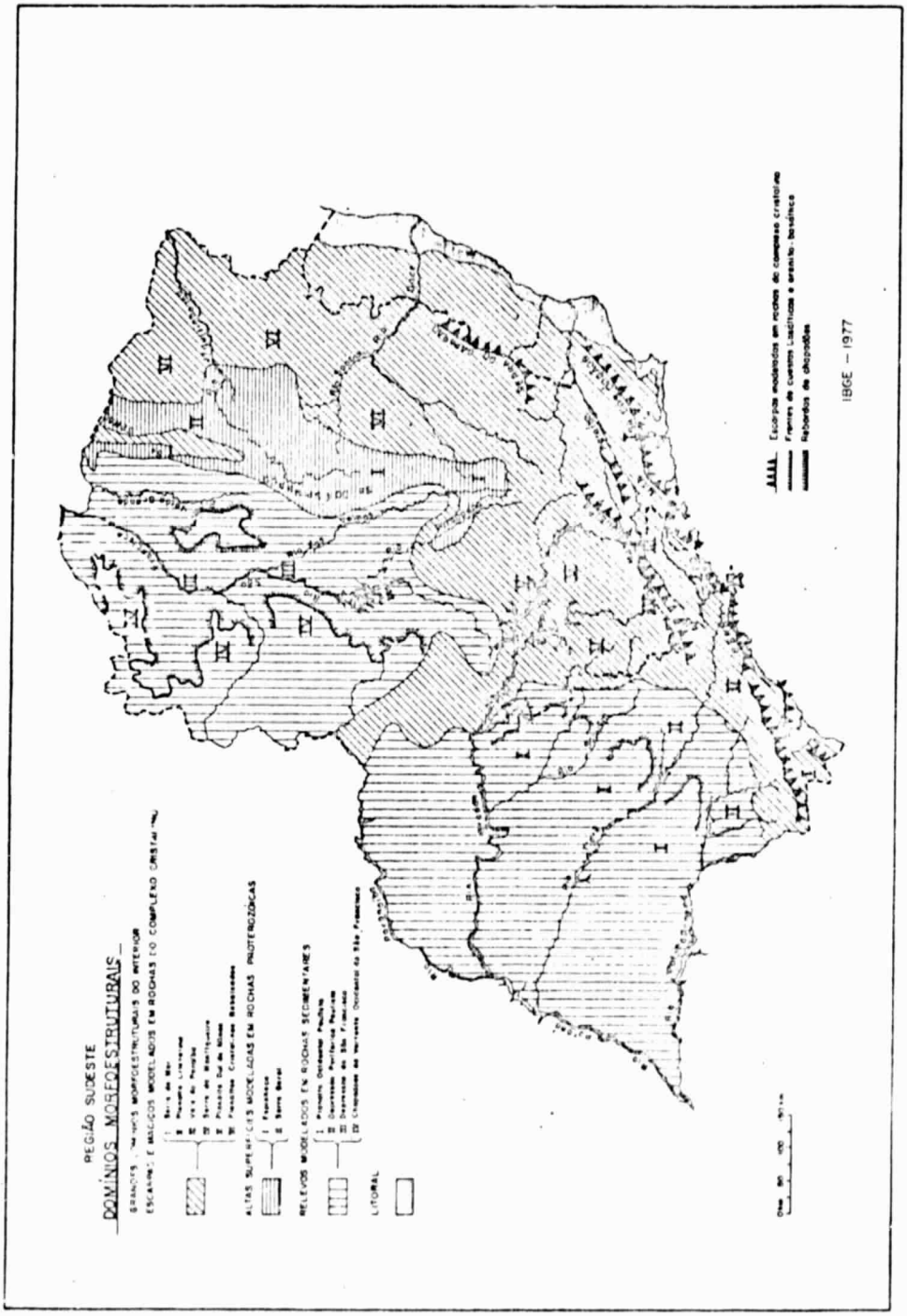
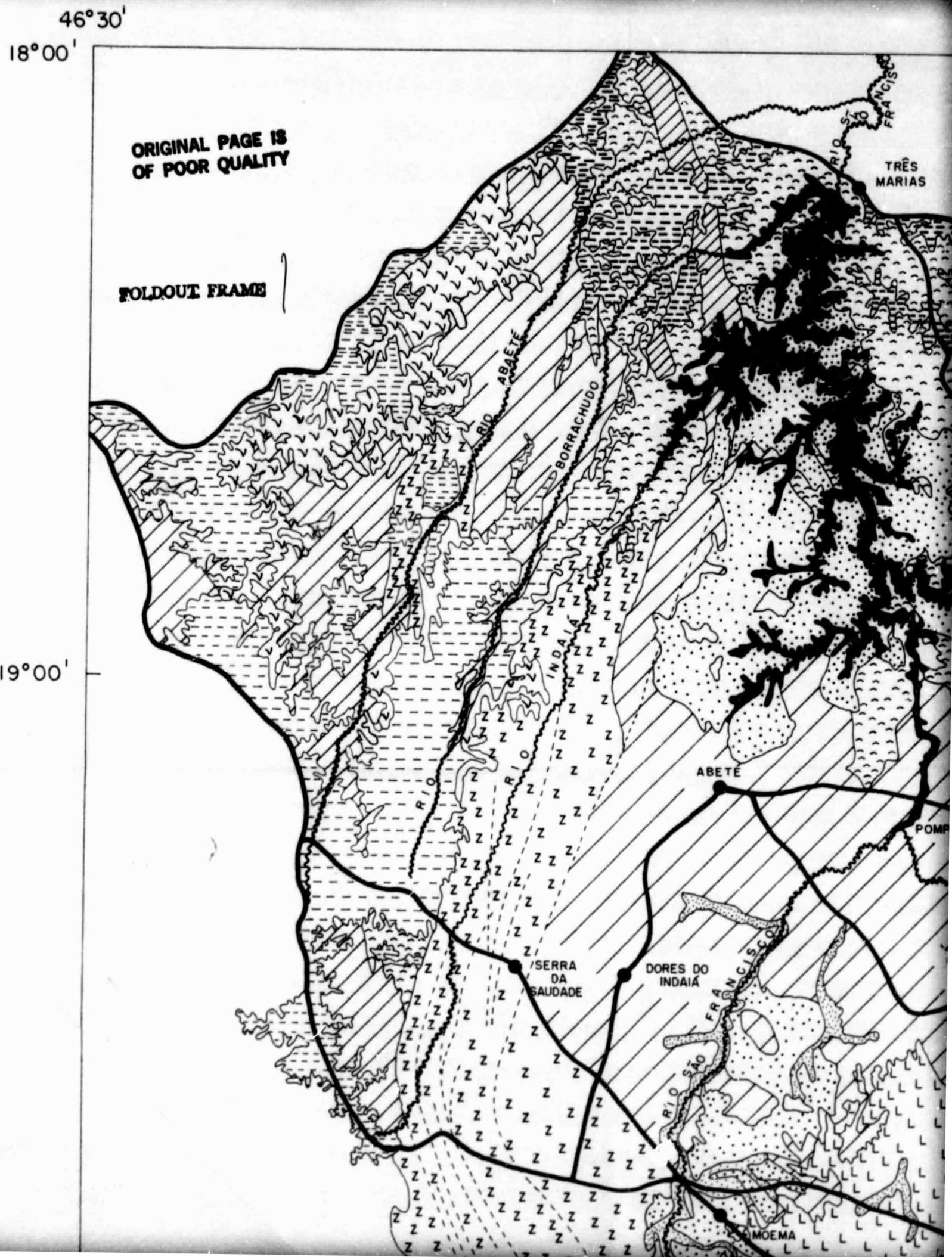


Fig. 1.3 - Domínios mofoestruturais da região sudeste.

FONTE: IBGE (1977), p. 26 a 27.

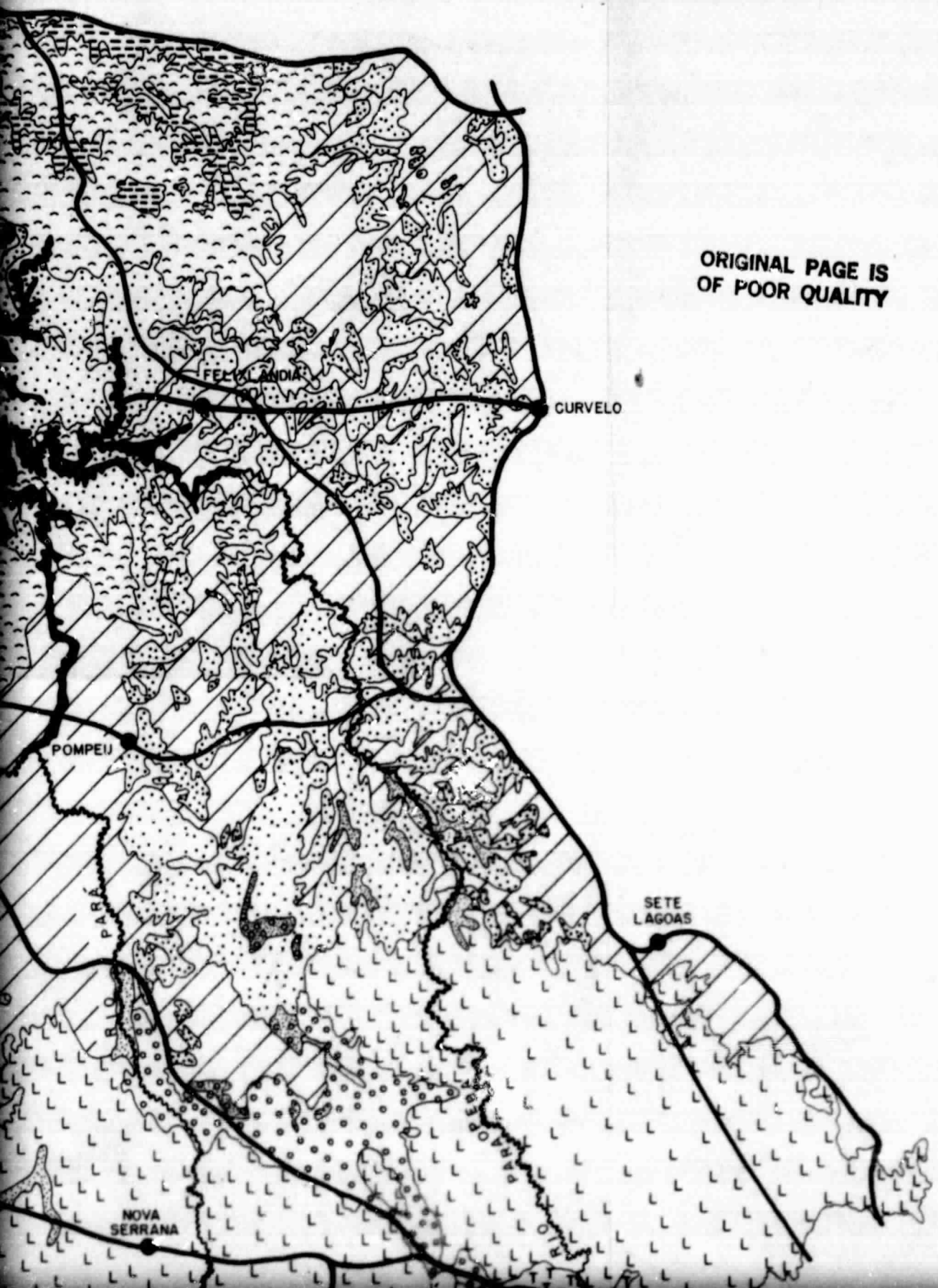

46°30'
18°00'
19°00'
ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY
FOLDOUT FRAME
RIO SÃO FRANCISCO
TRÊS MARIAS
RIO ABAETÉ
RIO BORRACHUDO
RIO INDAIÁ
ABETÉ
SERRA DA SAUDADE
DORES DO INDAIÁ
RIO SÃO FRANCISCO
MOEMA

45°00'

TRÊS
MARIAS

FOLDOUT FRAME 2

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY



43°30' W

18°00' S

CONVEÇÕES:

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

QUATERNÁRIO HOLOCENO

Aluviões, depósitos de várzeas e cabeceiras.

QUATERNÁRIO PLEISTOCENO/HOLOCENO

Coberturas indiferenciadas proveniente do retrabalhamento de coberturas antigas.

TERCIÁRIO / QUATERNÁRIO

Coberturas indiferenciadas - areias, cascalhos e material siltico argiloso inconsistente ou parcialmente lateritizado (silcrete e ferricrete).

CRETÁCEO TURONIANO - SENONIANO

Formação Mata da Corda - arenitos argilosos, lateritizados parcialmente, arenitos cineríticos, conglomerados vulcânicos, lavas de natureza alcalina ultrabásica, lufas e tufitos.

CRETÁCEO APTIANO - ALBIANO

Formação Areado - arenitos feldspáticos, arenitos líticos, folhelhos, argilitos, siltitos e conglomerados.

PRÉ - CAMBRIANO / CAMBRIANO

GRUPO - BAMBUÍ

19°00'

Formação Três Marias - siltitos calcíferos, siltitos arcosianos, arcósias, argilitos arenitos e conglomerados.

Formação Paracopeba - ardósias calcíferas ou não, margas, calcarenitos (cosparitos) argilitos, siltitos e arenitos finos
c- calcáreo.

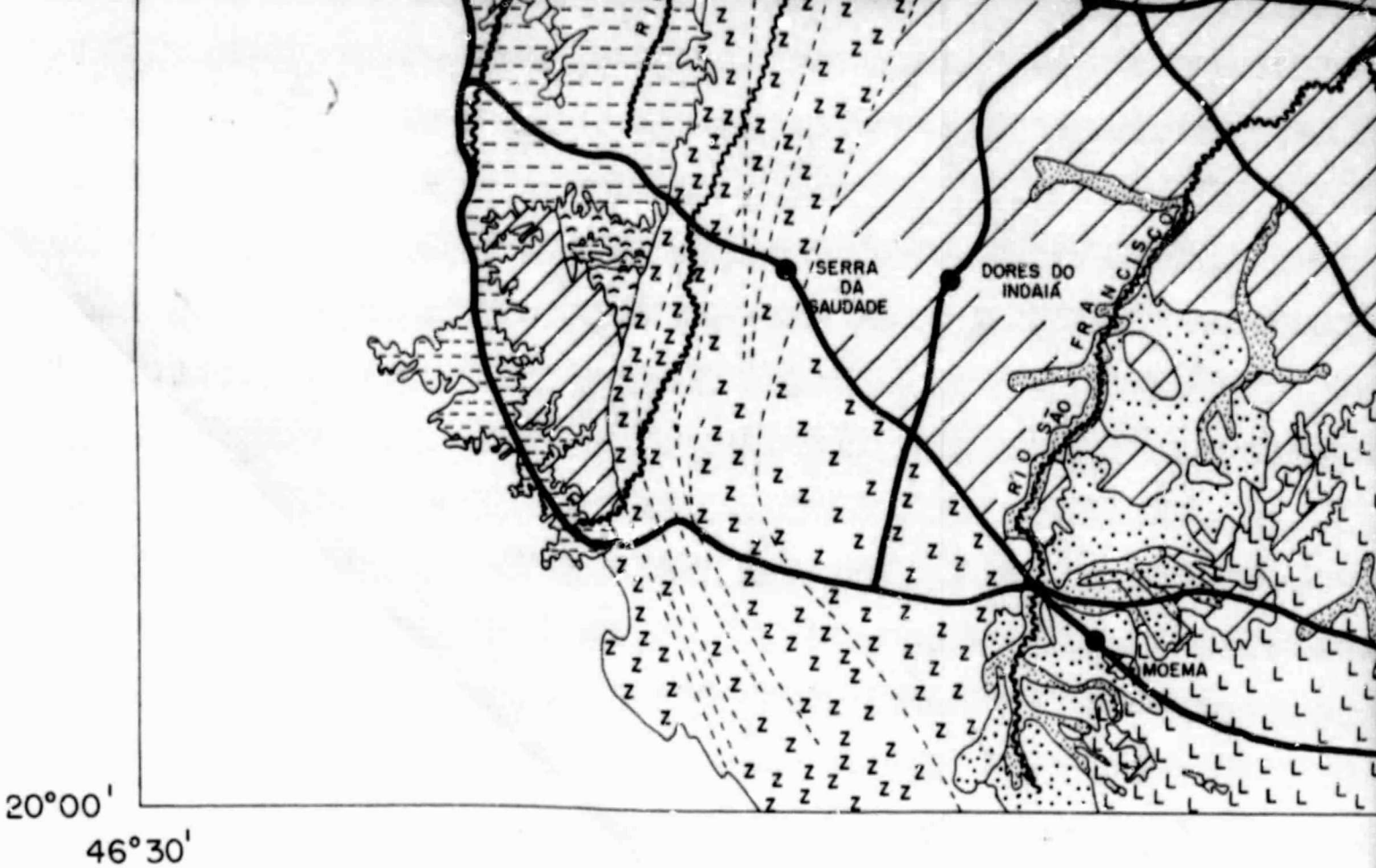
PEbpt - fácies pelítica de transição a Formação Três Marias.

PRÉ - CAMBRIANO

SUPER GRUPO ESPINHAÇO

Metavulcânica - metabasitos e xistos provavelmente de origem vulcânica (acida e básica), formando diques e soleiras.

Indiviso - quartzitos, quartzitos conglomeráticos, conglomerados, ortoquartzitos e brechas sedimenta-



PROJET

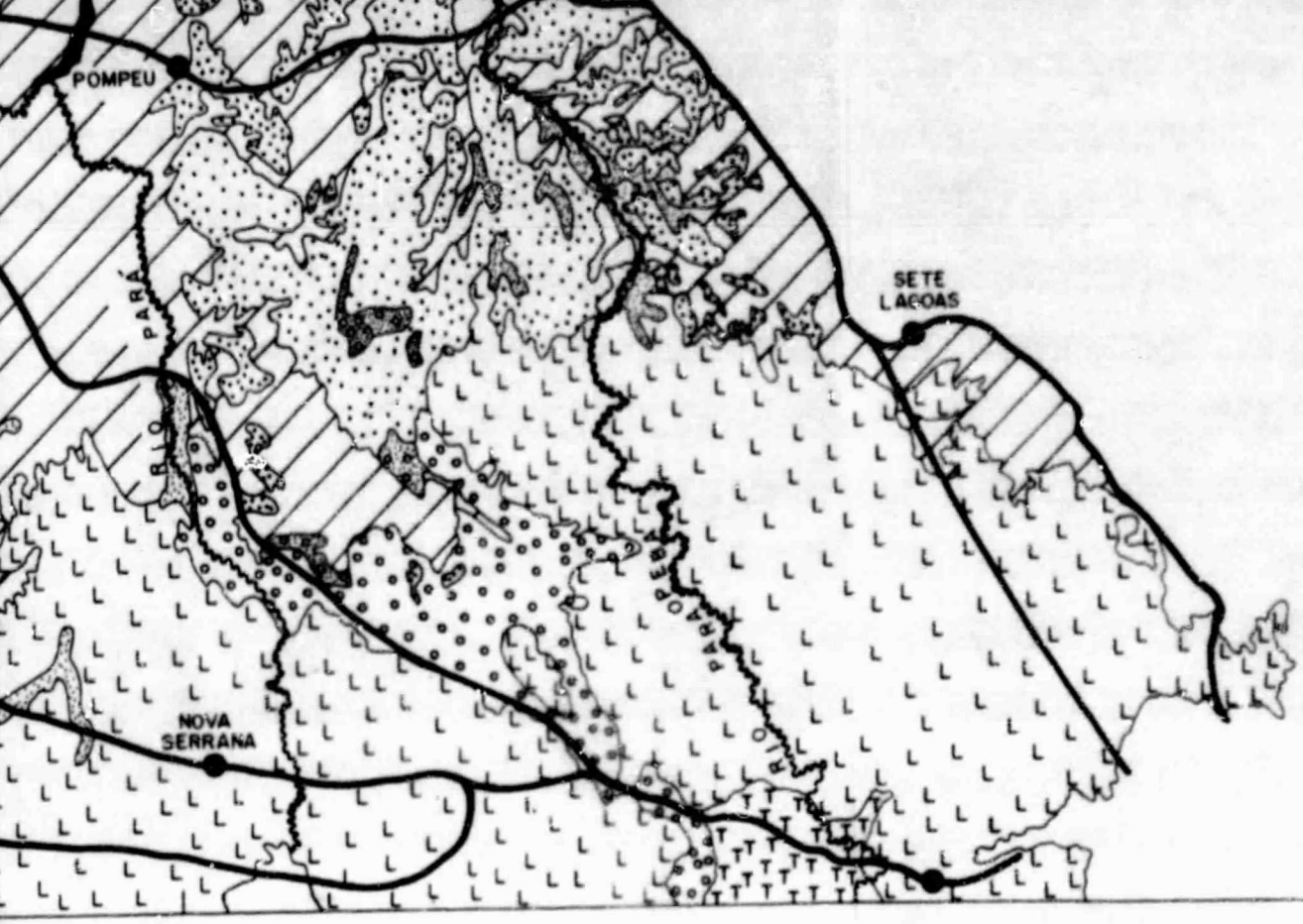
M

5 km 0

FONTE:

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

FOLDOUT FRAME 4



45°00'

ROJETO TRÊS MARIAS

MAPA GEOLÓGICO

ESCALA 1:500.000

0 5 10 15 20 km

1977

FONTE: MENEZES ET ALL

CPRM

ORIGINAL PAGE IS OF POOR QUALITY

FOLDOUT FRAME 5

Formação Paraopeba - ardósias calcíferas ou não, margas, calcarenitos (coeparitos) argilitos, siltitos e arenitos finos
c- calcário.

PЄbpt - fácies pelítica de transição a Formação Três Marias.

PRÉ - CAMBRIANO

SUPER GRUPO ESPINHAÇO

Metavulcânica - metabasitos e xistos provavelmente de origem vulcânica (acida e básica), formando diques e soleiras.

Indiviso - quartzitos, quartzitos conglomeráticos, conglomerados, ortoquartzitos e brechas sedimentares.

Quartzitos dolomitos, ortoquartzitos, filitos, conglomerados e itabiritos.

20°00'

43°30'

PRÉ - CAMBRIANO INDIFERENCIADO

Gnaisses, xistos, migmatitos
gr - granitos

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

FOLDOUT FRAME 6

FOLDOUT FRAME

Na formação Paraopeba onde predominam fácies síltico-argilosas, o relevo foi muito arrasado, sendo formado por colinas de baixa altitude. Já nos trechos em que predominam fácies síltico-arenosas, o relevo é mais movimentado, apresentando interflúvios alongados com esporões e presença de serras (Selada e Saudade).

A formação Três Marias, constituída de siltitos calcíferos e arcosianos, arcósios, arenitos e conglomerados, e que aflora em sua maior parte ao norte do reservatório de Três Marias, tem estratificação praticamente plano-paralela; apresenta um relevo de colinas suaves e, ao sul do reservatório, se constitui de chapadas com bordas escarpadas.

1.1.4 - CLIMA, VEGETAÇÃO E SOLO

A área de estudo apresenta um clima caracterizado por um período seco (inverno) e um período chuvoso (verão), ambos bem acentuados e nitidamente marcados.

Na estação chuvosa, que nesta região se estende de outubro a abril, há um predomínio da massa de ar Equatorial Continental (Ec). Esta, origina-se no setor noroeste da bacia Amazônica, sendo pois carregada de umidade, o que propicia, para o interior do País, neste período, uma boa distribuição de chuvas (Barros, 1957 Andrade, 1968).

Já na estação seca, cuja duração é de maio a setembro, há um predomínio da massa Tropical Atlântica (Ta), cuja umidade diminui em direção ao centro do País, devido à serra do Mar que funciona como uma barreira para a retenção de umidade oceânica.

Considerando-se a determinação do período seco e do índice xerotérmico (número de dias biologicamente secos), proposto por Bagnouls e Gaussen (1962), Galvão (1967) fez a caracterização do clima da área de estudo. Esla está localizada na região climática Xeroquimênica (Tropical) e suas características principais são: uma curva térmica sempre positiva, um índice xerotérmico entre 0 2 200 e, a uma duração do período seco, variando entre 0 e 8 meses consecutivos (Figura 1.5).

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

REGIÕES BIOCLIMÁTICAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS
(Segundo GAUSSEN)

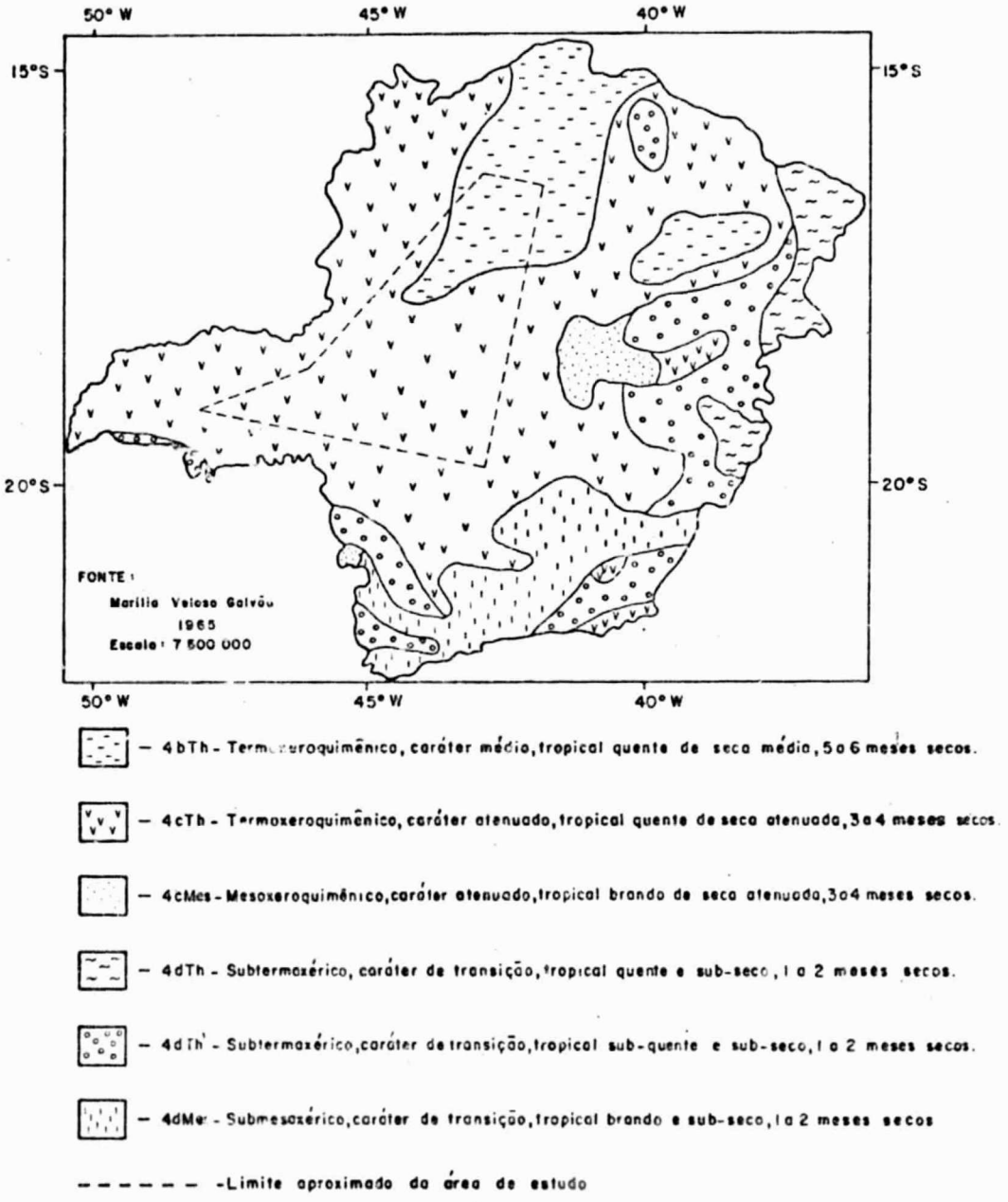


Fig. 1.5 - Regiões Bioclimáticas do Estado de Minas Gerais, segundo Gaussen.

FONTE: Galvão (1967), p. 9.

Na área de estudo, são encontradas duas subdivisões deste tipo de clima:

a) Termozeroquimênico médio - tropical quente, de xero média, com estação seca média de 5 a 6 meses e índice xerotérmico variável entre 100 e 150, correspondendo às regiões de caatinga e campo cerrado (Galvão, 1967).

b) Termoxeroquimênico atenuado - tropical quente, de seca atenuada, com estação seca curta de 3 a 4 meses consecutivos e índice xerotérmico variando entre 40 e 100, correspondendo às regiões de cerrado. Este tipo de clima é encontrado no alto vale do São Francisco, ocorrendo aí as mais altas porcentagens de umidade. Nesta região, a altitude alia-se à topografia para amenizar as temperaturas (Bernardes 1951; Senra, 1954).

Pela divisão climática descrita acima, constata-se que os tipos de vegetação encontrados na área de estudo estão diretamente condicionados ao clima existente (variações de temperaturas, de umidade e de chuva) e aos solos.

Desta forma, nas regiões de estação seca mais prolongada e índice xerotérmico mais elevado, há um predomínio dos cerrados e suas variações locais para a mata seca, cerradão, mata galeria e campo, sendo este tipo de vegetação o mais característico de toda a área de estudos. Apenas na porção sul, onde as altitudes são mais elevadas, a estação seca menos longa e o índice xerotérmico menor, verifica- se a ocorrência da Floresta Subcaducifólia Tropical (Figura 1.6).

O cerrado é um tipo de formação arbustiva, representativa das áreas de climas semi-úmido, com duas estações bem marcadas. Caracteriza-se pelo aspecto tortuoso de suas árvores e arbustos, com altura média de 5 metros, tendo caules geralmente recobertos por espessa casca que dá ao cerrado a aparência de vegetação adaptada às condições de seca.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

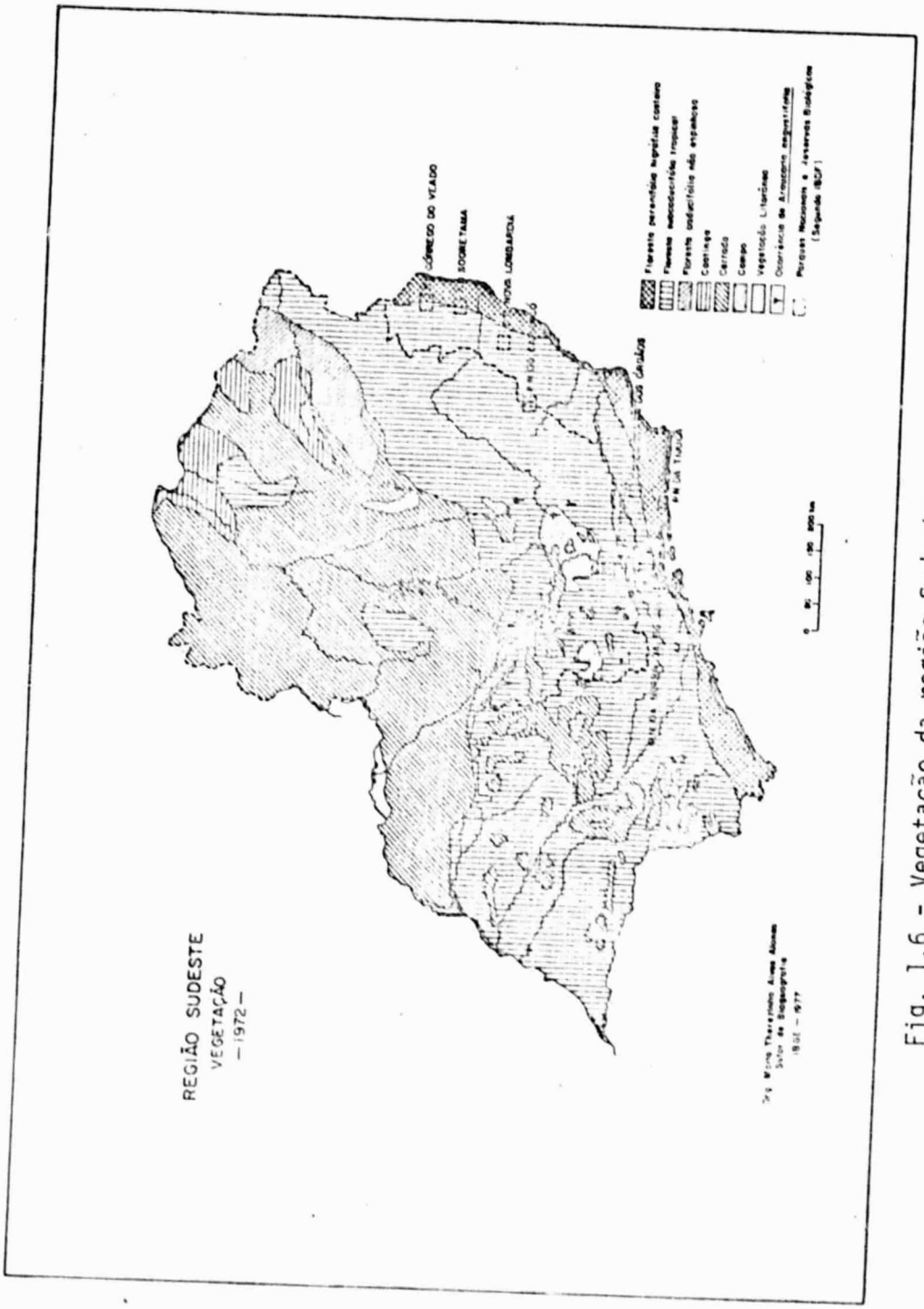


Fig. 1.6 - Vegetação da região Sudeste.

FONTE: IBGE (1977), p. 116.

Este tipo de vegetação apresenta gradações que vão das florestas xeromorfas (cerradões) às formações herbáceo-arbustivas (cerrados ralos), passando por formações intermediárias, correspondendo ao cerrado típico (Alonso, 1977).

Panoso et alii (1978) realizaram um mapeamento detalhado dos solos existentes na área adjacente ao reservatório de Três Marias. A área mapeada está compreendida entre as coordenadas de 18°00 a 19°08' de latitude Sul e 44°50' a 45°30' de longitude Oeste (Figura 1.7).

Levando-se em consideração as informações de vegetação fornecidas por estes mesmos autores, pode-se constatar que, onde ocorrem solos do tipo Latossolo Vermelho Escuro Distrófico a moderado, com textura muito argilosa, que ocupam a maior parte da área mapeada, o tipo de vegetação predominante é o de Floresta Xeromorfa (cerradão), havendo também a ocorrência de cerrados e campos cerrados, em menor extensão.

Onde predominam as associações de Solos Litólicos Distróficos de texturas indiscriminadas e afloramentos de rochas, ou solos Litólicos Distróficos de texturas indiscriminadas, ou, ainda, associações destes últimos com Cambissolos Distróficos de textura indiscriminada, os tipos de vegetação mais representativos são o cerrado e o campo cerrado. De forma esporádica pode ser observada a ocorrência de campos limpos, campos de várzea e floresta perenifólias de várzea.

Infelizmente este tipo de informação de solos restrige-se a uma área muito pequena. Desta forma, na porção sul da área de estudo, onde ocorre a Floresta Subcaducifólia Tropical, não há informações detalhadas sobre solos.

Este tipo de vegetação aparece sob a forma de manchas dentro do cerrado, sempre que as condições do solo são melhores, como a oeste e sudoeste de Belo Horizonte (Alonso, 1977).

LEVANTAMENTO DE RECONHECIMENTO DETALHADO DOS SOL

RESERVATÓRIO DE TRÊS M

ESTADO DE MINAS GERAIS

BRASIL

1976

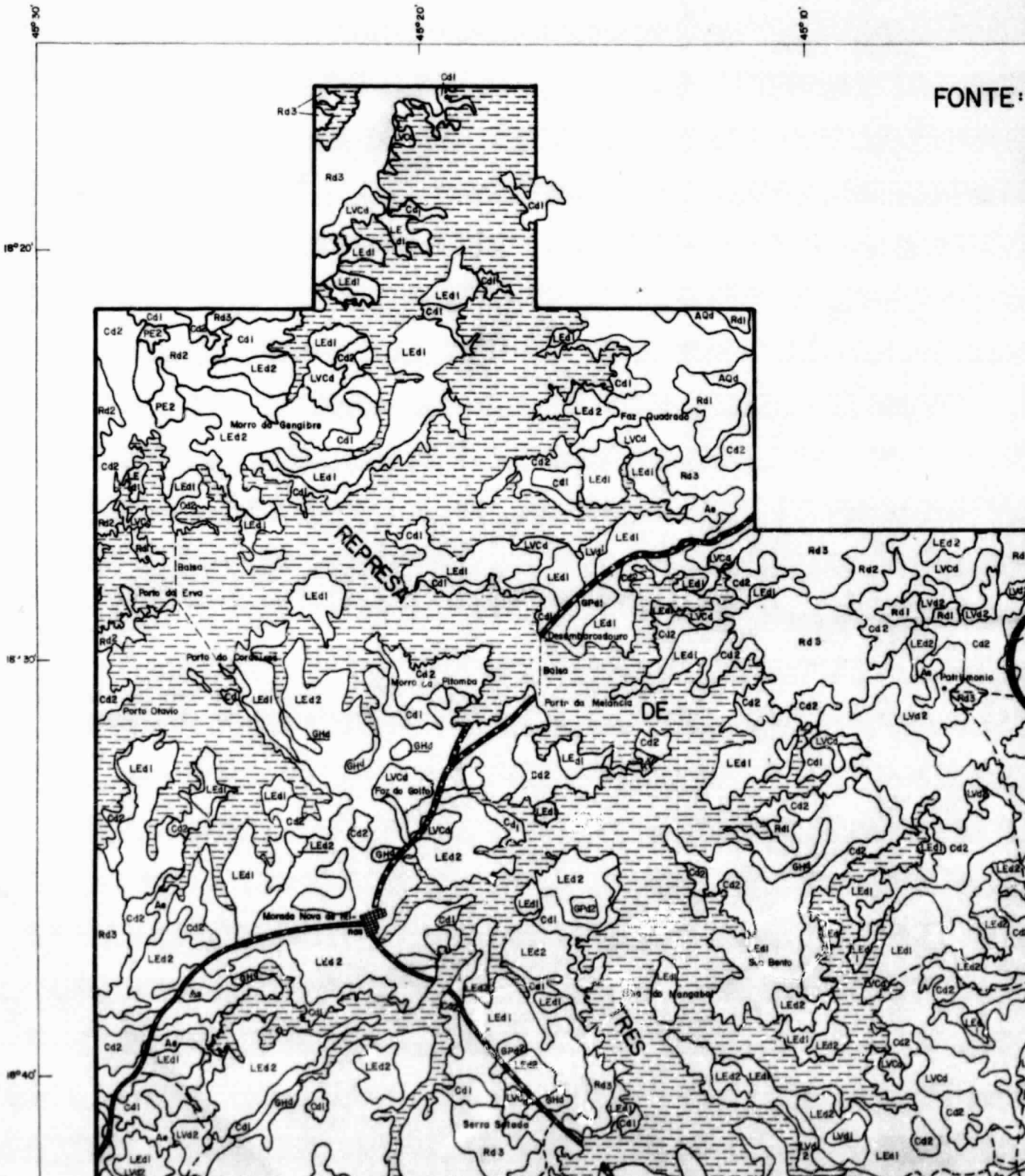
ESCALA

0 10 20 30 40 50 100 km

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

FOLDOUT FRAME

FONTE:



LHADO DOS SOLOS DA ÁREA SOB A INFLUÊNCIA DO

DE TRÊS MARIAS

DE MINAS GERAIS

BRASIL

1976

ESCALA

20 30 40 50 100 km

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

45°10' 45°00' 44°50'

FONTE: PANOSO ET ALL EPAMIG

FOLDOUT FRAME

2

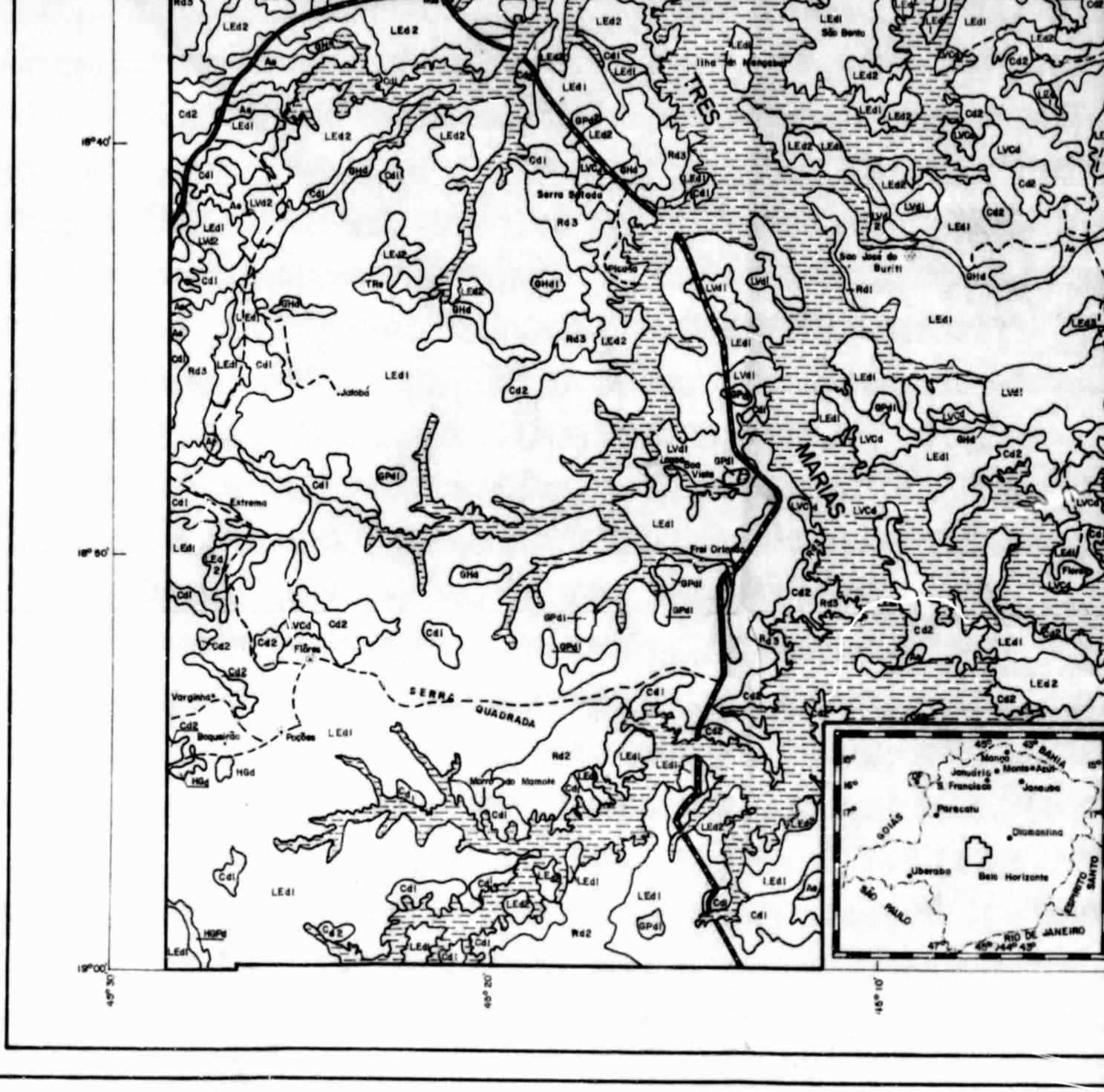
18°20'

18°30'

18°40'

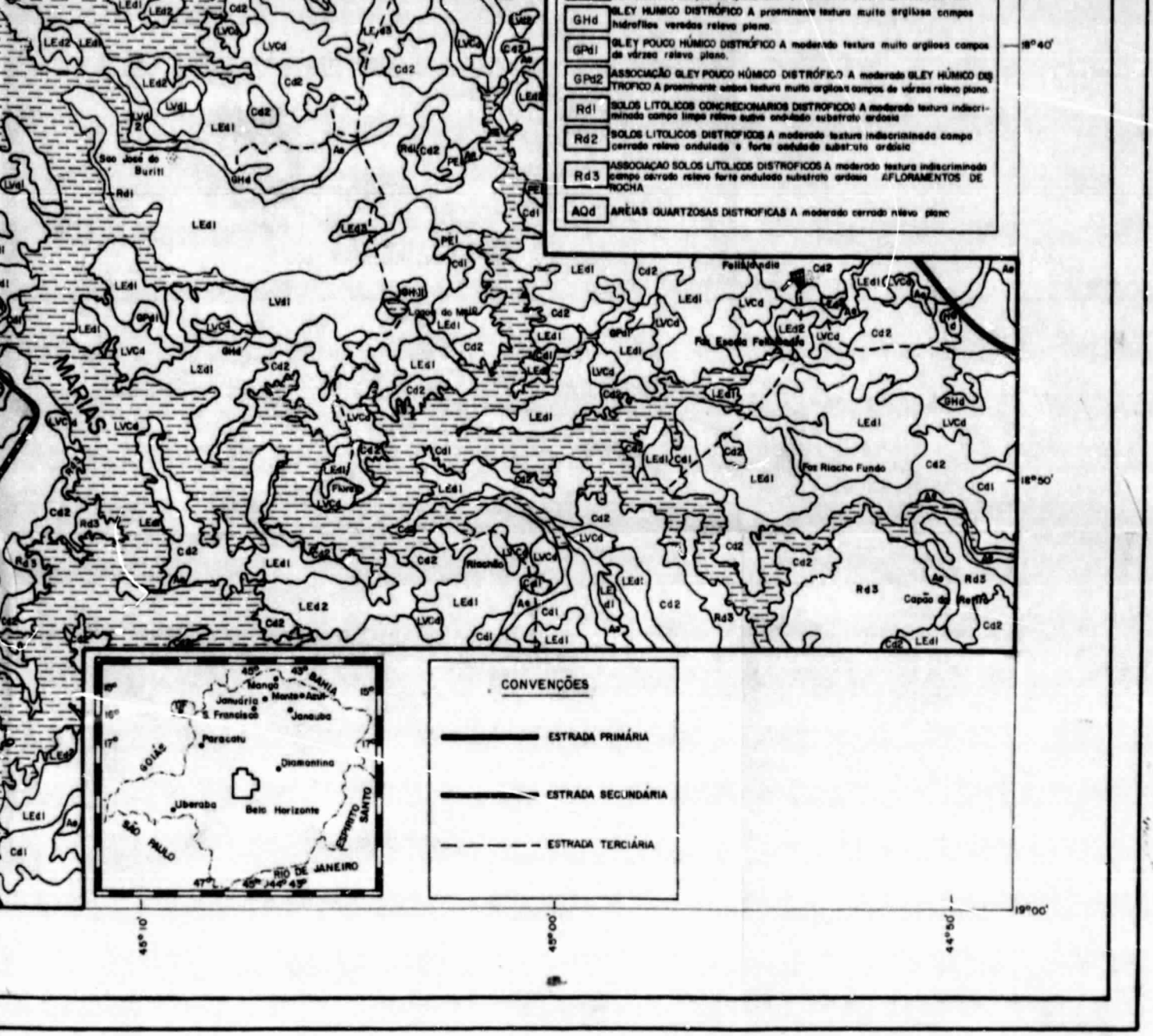
LEGENDA

LVd1	LATOSSOLO VERMELHO AMARELO DISTROFICO A moderado textura argilosa cerrado relevo plano.
LVd2	LATOSSOLO VERMELHO AMARELO DISTROFICO A moderado textura média cerrado relevo plano.
LVCd	LATOSSOLO VERMELHO AMARELO CAMBISSOLICO DISTROFICO A moderado textura argilosa cerrado relevo plano.
LEd1	LATOSSOLO VERMELHO ESCURO DISTRÓFICO A moderado textura muito argilosa cerradão relevo plano
LEd2	LATOSSOLO VERMELHO ESCURO DISTROFICO A moderado textura muito argilosa cerrado relevo
LEd3	LATOSSOLO VERMELHO ESCURO DISTROFICO A moderado textura média relevo plano
PE1	PODZÓLICO VERMELHO AMARELO EUTROFICO A moderado textura muito argilosa floresta subcadusifolia relevo suave ondulado.
PE2	ASSOCIAÇÃO PODZÓLICO VERMELHO AMARELO EUTRÓFICO SOLOS LITOLICOS EUTROFICOS substrato calcario ambos A moderado textura muito argilosa floresta caducifolia relevo montanhoso
TRe	TERRA ROXA ESTRUTURADA SIMILAR EUTROFICA A moderado textura muito argilosa floresta subperenifolia relevo plano.
Cd1	CAMBISSOLO DISTRÓFICO A moderado textura argilosa campo cerrado relevo suave ondulado e ondulado.
Cd2	ASSOCIAÇÃO CAMBISSOLO DISTRÓFICO textura argilosa SOLOS LITÓLICOS DISTROFICOS textura indiscriminada substrato crdosia ambos A moderado campo cerrado relevo suave ondulado e ondulado.
A e	SOLOS ALUVIAIS EUTRÓFICOS A moderado textura argilosa floresta perenifólia de varzea e campos antropicos relevo plano bem a moderadamente drenado.
Ghd	GLEY HUMICO DISTRÓFICO A proeminente textura muito argilosa campos hidrofilos veredas relevo plano.
GPd1	GLEY POUCO HÚMICO DISTRÓFICO A moderado textura muito argilosa campos de varzea relevo plano.
GPd2	ASSOCIAÇÃO GLEY POUCO HÚMICO DISTRÓFICO A moderado GLEY HÚMICO DISTROFICO A proeminente ambos textura muito argilosa campos de varzea relevo plano.
Rd1	SOLOS LITOLICOS CONCRECIONARIOS DISTROFICOS A moderado textura indiscriminada campo limpo relevo suave ondulado substrato ardosia
Rd2	SOLOS LITOLICOS DISTROFICOS A moderado textura indiscriminada campo



ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

FOLDOUT FRAME 3



ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

FOLDOUT FRAME 4

A existência de um clima semi-úmido, com estação seca bem marcada, condiciona a periodicidade de sua vida vegetativa, caracterizada pela perda de folhas durante a estação seca, sendo que o número de espécies decíduas aumenta progressivamente para o interior da região.

Seu estrato superior é constituído por árvores que atingem até cerca de 25 metros, e o inferior, ainda arbóreo, apresenta de 10 a 12 metros de altura. Esta vegetação foi quase totalmente devastada para dar lugar à agricultura que, em muitas áreas, foi substituída por pastagens ou capoeiras, quando as terras diminuiram a sua produtividade.

1.1.5 - PROCESSOS MORFOGENÉTICOS

Condicionadas pelas variações climáticas tropicais(estação seca e chuvosa), encontram-se, na área de estudo, múltiplas variedades de associações vegetais e de solo. Estas facilitam a ocorrência de processos morfogenéticos, que ora são dominados pela umidade ora pelas condições de seca.

Nos trechos em que a umidade é mais elevada e a vegetação mais densa, os processos morfogenéticos são condicionados pela decomposição química, perdendo sua intensidade na medida em que as áreas vão se interiorizando, e em que a ocorrência de uma estação seca mais prolongada favoreça o surgimento de processos mecânicos.

Estes processos desenvolvem-se sob a cobertura florestal, e são intensificados na medida em que o desmatamento e a intensidade das chuvas aumentam. O mesmo ocorre com os movimentos de massa, quando a floresta é substituída por pastagens e áreas agrícolas.

Desta forma, a erosão diferencial que atua sobre as rochas alteradas, aliada à retirada das formações florestais e à alternância climática, são os principais agentes do modelado das formas on

duladas e colinosas existentes nesta área.

O escoamento superficial difuso, que ocorre nos terrenos sedimentares da bacia do São Francisco, é o principal responsável pelo processo de elaboração do modelado na região de campos cerrados, dando origem às extensas superfícies regulares, ou apenas suavemente onduladas, que aí ocorrem (Moreira e Camelier, 1977).

Pode-se ainda observar, na área de estudo, que quanto mais intensa for a devastação da cobertura vegetal, mais intensas serão as ações erosivas, decorrentes dos processos morfogenéticos.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para o conhecimento de fatores físicos e humanos que interferem na dinâmica de uma área e de reservatórios artificiais, bem como do comportamento espectral dos mesmos e utilização dos dados do MSS, fez-se uma pesquisa bibliográfica, a fim de obter os subsídios necessários para fundamentar o estudo em questão.

2.1 - ESTUDO DA REDE DE DRENAGEM ATRAVÉS DE IMAGENS LANDSAT

Para analisar imagens MSS, o traçado da rede de drenagem é um dos fatores mais importantes a ser destacado. Além de a rede fornecer uma indicação sobre a razão infiltração/deflúvio, capacidade de infiltração, permeabilidade, textura dos materiais, litologia e estrutura do terreno (Lueder, 1959), é também um elemento que, com o tempo, não modifica rapidamente sua distribuição espacial, sendo de fácil identificação nessas imagens. Portanto, ela é importante como informação básica para o estudo de bacias de drenagem, e um dos passos fundamentais para a interpretação geomorfológica de uma dada área.

Os padrões de cursos d'água refletem o controle exercido pela estrutura subjacente e o tipo de rocha. Porém, as características de cursos d'água podem ser influenciadas pela espessura e qualidade do material de cobertura, onde o controle estrutural é mínimo. Em muitas áreas, os padrões ou anomalias de cursos d'água são, sem dúvida, a mais útil evidência indireta de estruturas subsuperficiais. Isto é especialmente verdadeiro para as áreas costeiras de relevos suaves, várias bacias interiores, áreas de vegetação densa, ou outra cobertura subaérea (Ray, 1963).

Para a caracterização da rede de drenagem através das imagens MSS do LANDSAT, Moraes (1975), Valério Filho et alii (1976), Santos e Novo (1977), Nascimento e Nascimento (1977) e Sausen (1978) uti

lizaram o canal 7 para a identificação dos grandes rios, uma vez que, sendo geralmente mais largos, sua lâmina de água exposta absorve quase a totalidade da radiação eletromagnética, nesta faixa do infravermelho; isto resulta numa tonalidade cinza escura, facilitando, portanto, a identificação dos grandes rios neste canal. O canal 5 foi utilizado para o levantamento da rede de drenagem secundária, em áreas de cobertura vegetal pouco densa, devido à diferença de tonalidade entre a mata ciliar, que apresenta tom cinza escuro, e as áreas adjacentes.

Santos e Novo (1977) usaram imagens do canal MSS 7, do período seco, para um esboço da drenagem secundária em áreas recobertas por vegetação densa, pois nesse período sazonal existem diferenças entre as respostas espectrais da mata geleria e da mata adjacente. Ao longo dos cursos d'água, a mata galeria apresenta tonalidade de cinza mais escuro por causa do maior teor de umidade nos solos.

Sausen (1978) utilizou os canais MSS 5 e 7 das imagens LANDSAT para a identificação dos rios intermitentes, uma vez que nestes canais estes rios apresentam contraste de tonalidade e textura fotográfica bastante rugosa, resultante da alta reflectância relacionada ao intenso processo de erosão que, aliado ao caráter intermitente dos rios, é responsável pela exposição dos solos.

2.2 - ESTUDO DOS ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS ATRAVÉS DE IMAGENS LANDSAT

Os mapas geomorfológicos, por expressarem o resultado da interação das características geológicas, climáticas, pedológicas e de cobertura vegetal de uma determinada área, são de grande utilidade para o planejamento regional, bem como para um controle do meio ambiente.

Os processos morfogenéticos, responsáveis pela esculturação das formas de relevo, agindo de maneira conjunta sobre as vertentes, fornecem indícios da intensidade dos fatores que atuam sobre a áreas mais sujeitas ao trabalho dos agentes erosivos.

Em seus estudos sobre a bacia do lago Maracaibo na Venezuela, utilizando imagens do LANDSAT, Salas et alii (1973) identificaram as diferentes unidades geomorfológicas, deduzidas da modificação da tonalidade, textura, orientação das formas dos interflúvios e das características tectônicas de controle interfluvial dissimétrico.

Através de trabalho de campo, Moraes e Leite (1975)puderam constatar que as diferentes unidades geomorfológicas apresentam diferentes respostas espectrais, uma vez que são o resultado da interação de vegetação, solo, geologia, clima e ação do homem. As feições resultantes dessas interações são registradas pelo sensor. Estes autores constataram também que, para estudos geomorfológicos, os canais MSS 5 e 7 são os mais eficientes, pois apresentam maior número de informações do que os canais MSS 4 e 6.

Por meio das feições de textura fotográfica nas imagens do canal MSS 7 do sistema LANDSAT, Koffler (1976) observou que características tais como densidade de drenagem e textura da topografia podem ser avaliadas.

Ao elaborar mapas geomorfológicos utilizando o sensor de microondas (radar), Barbosa et alii (1977), levaram em consideração as características observadas nas imagens (textura, drenagem e sombreamento); deste modo, puderam identificar três formas básicas de relevo: Colinas (c), Cristas (K) e Tabuleiros (T).

2.3 - ESTUDO DA COBERTURA VEGETAL ATRAVÉS DE IMAGENS LANDSAT

O cerrado é uma formação vegetal que ocupa grande parte da porção centro-oriental do continente sul-americano; é constituído por dois grupos totalmente opostos: o das espécies permanentes (árvores e arbustos) e o das espécies efêmeras (compreende inúmeras herbáceas). Há ainda um terceiro grupo, o das gramíneas, com espécies anuais e outras perenes (Ferri, 1977).

De acordo com Arens (1958) e mencionado posteriormente por Aoki e Santos (1979), em seus estudos sobre "Fatores Ambientais do Cerrado e Imagens Orbitais", os cerrados constituem uma formação vegetal, cujo climax está mais relacionado à natureza edáfica do que à climática. Observa-se a presença do mesmo em diferentes regiões do território brasileiro, cujo regime de chuvas e condições de climas são as mais variadas possíveis. Os cerrados são encontrados nos mais variados tipos de solo. Porém, é certo que todos são deficientes em nutrientes e, geralmente ácidos.

O estudo da vegetação, através de dados sensoriados, pode ser feito por meio de medidas da radiação refletida e da emitida pela cobertura vegetal. A resposta espectral da vegetação está associada às características físicas do terreno (relevo, densidade de drenagem e material de origem). Assim sendo, é imprescindível o conhecimento destes fatores, para a interpretação dos referidos dados (Schrumf 1973; Aoki e Santos, 1980).

Diversos autores dedicaram-se aos estudos da vegetação através de dados de sensoriamento remoto; muitos deles, inclusive, com especial atenção ao cerrado. Por exemplo, Valério Filho et alii (1976) basearam-se nas diferenças tonais apresentadas nas imagens LANDSAT dos canais MSS 5 e 7, com a finalidade de caracterizar diferentes formações florestais.

Baseando-se nessas diferenças tonais, Santos e Novo (1977) puderam constatar que as áreas de vegetação densa, onde a cobertura do solo é total, apresentam tonalidade de cinza escuro no canal MSS 5, devido a maior absorção de energia solar pela vegetação nesta faixa do espectro.

Utilizando este mesmo critério de tonalidade (Nosseir et alii (1975), verificaram que no canal MSS 5 (0,50 a 0,60μm)o solo reflete mais do que a vegetação, caracterizando-se pois por uma tonalidade mais clara neste canal. Verificaram também que no canal MSS 5 (0,60 a 0,70 μm) ainda predomina a reflectância do solo; porém, observa-se que é uma área

onde a reflectância da vegetação é função da espécie da planta ou de suas condições vegetativas. Este canal é o que melhor diferencia os tipos de vegetação.

Na faixa espectral do canal MSS 7, há uma grande absorção de energia solar pela água e, por este motivo, a identificação de áreas sujeitas à inundação, vegetação de várzea e delimitação de trechos, em que as diferenças de cobertura vegetal estão associadas a variações de umidade do solo, torna-se mais fácil, pois as mesmas apresentam uma tonalidade de cinza escuro (Santos e Novo, 1977).

Devido à variação no total de precipitação entre as estações seca e chuvosa, pode-se observar um contraste marcante entre as diversas unidades de vegetação nestes dois períodos. Isto se deve ao fato de que na estação chuvosa, quando ocorre maior disponibilidade de água para a vegetação, há uma maior desenvolvimento vegetativo e, consequentemente, maior quantidade de vegetação.

Levando este fator em consideração, Valério Filho et alii (1976) e Aoki e Santos (1980) puderam constatar que as formas de cerrado absorvem maior quantidade de energia eletromagnética na faixa de 0,70 a 0,80 μm (canal MSS 6), na estação seca. Na estação chuvosa,a maior absorção da radiação se verifica na faixa de 0,50 a 0,70 μm (canais MSS 4 e 5).

Utilizando os critérios de tonalidade e padrão de textura fotográfica, Aoki e Santos (1980) verificaram que, no primeiro caso, as formas de cerrado, nas imagens multiespectrais, podem ser discriminadas tanto na estação seca quanto na chuvosa. Quanto à textura, esta expressa melhor a separabilidade das formas de cerrado nas imagens da estação seca, uma vez que, nesta época, o campo cerrado apresenta textura diferente da textura do cerrado e do campo sujo.

2.4 - TRANSPORTE DE SEDIMENTOS - SUA DINAMICA E SEU ESTUDO ATRAVÉS DE IMAGENS LANDSAT.

O trabalho erosivo dos agentes morfogenéticos sobre a superfície terrestre provoca a destruição dos diversos tipos de rochas, dando origem a partículas sólidas (sedimentos); estas partículas são transportadas das encostas para os estuários, ou para as regiões costeiras, pelos rios.

Shelley (1976), ao realizar medições de conteúdo de sedimentos em suspensão em estuários e áreas costeiras, empregou o termo sedimento para todos os sólidos que ocorrem naturalmente, bem como para aqueles resultantes direta ou indiretamente da atividade humana. Este termo foi usado para englobar partículas de todas as grandezas hidráulicas, variando de pedras grandes (metros/segundo) a argilas coloidais (centímetros/século).

A carga detrítica dos cursos d'água é uma mistura de partículas de várias espécies, tamanhos e formas (Morisawa, 1968). A maior parte destas partículas é fornecida pela remoção detrítica das vertentes; a menor é obtida pela ação erosiva que as águas exercem sobre as margens e fundo do leito.

Vários fatores hidrológicos contribuem para a produção e transporte da carga detrítica. Entre os mais importantes podem ser citados: a quantidade e distribuição das precipitações,a estrutura geológica, as condições topográficas, a cobertura vegetal, e o escoamento superficial. Estes fatores hidrológicos, além de exercerem controle sobre o transporte de sedimentos, controlam também as características e o regime dos cursos d'água.

Além dos fatores acima mencionados, as atividades humanas, tais como: uso da terra em geral, práticas domésticas, indústria e urbanização contribuem muito para a geração de sedimentos. De acordo com Shelley (1976), mesmo que a porção de sedimentos, provenientes direta ou indiretamente da atividade do homem, seja menor do que a provo

cada por causas naturais, ela é, na maioria das vezes, devido à sua natureza poluidora, muito mais nociva que estas últimas. A maior carga de poluição é, em geral, atribuída a siltes erodidos e sedimentos lavados da superfície da terra.

A erosão pelas águas, tanto pluviais como fluviais, pode se dar de várias maneiras, sendo ambas bastante prejudiciais. A erosão em canais, em que a água segue caminhos preferenciais escavando terreno, é a mais nociva para as águas receptoras, pois conduz maiores quantidades de detritos a distâncias também maiores.

As partículas transportadas pelos cursos d'água depositam-se nos lagos, de acordo com a sua granulometria e seu peso específico. As partículas maiores e mais pesadas formam "deltas" na entrada do reservatório; as menores e mais leves permanecem mais tempo em suspensão, decantando-se mais para jusante. As partículas mais finas, dotadas de movimento Browniano[1], permanecem pratica e indefinidamente em suspensão, e podem ultrapassar a barragem pelo vertedouro, caindo desta forma, novamente no canal do rio. (Hungria e Loberto, 1975).

Conforme referência feita por Herz (1977), a turbidez das águas é a propriedade ótica de uma suspensão, relacionada à capacidade com que a penetração da luz é atenuada em presença do material insolúvel nas águas, com uma função das concentrações e dimensão das partículas do material em suspensão.

Jerlov e Nielsen (1968), ao estudarem a interação da luz solar com a água do mar, puderam constatar que a atenuação é o resultado da combinação da ação do espalhamento com a da absorção, e que estes determinam o processo de propagação da luz na água.

---

[1] *Olhando-se para partículas muito pequenas (colóides) na água, através de um microscópio, ver-se-á um perpétuo movimento das partículas, que é o resultado do bombardeamento de átomos. Isto é chamado movimento Browniano (Feynman et alii, 1967).*

Morel (Jerlov e Nielsen, 1974), ao analisar a curva de atenuação da água no intervalo de 0,2 a 2,0 μm do espectro eletromagnético (Figura 2.1), concluiu que na parte visível do espectro, principalmente na região do azul (0,45 a 0,55 μm), o coeficiente de atenuação da água apresenta-se menor, agindo como uma janela de maior transmissão.

Em ambos os lados desta janela de transmissão, isto é, no ultravioleta, abaixo de 0,2 μm, e no infravermelho, acima de 0,7 μm, a absorção aumenta consideravelmente. A transparência relativamente alta da água, na parte visível e ultravioleta próximo, do espectro, varia com o comprimento de onda.

Segundo Herz (1977), se, a partir das curvas de atenuação seletiva das radiações do espectro visível, forem calculadas as profundidades ideais de penetração, ver-se-á que, para as águas oceânicas, teoricamente puras, ou para a água destilada, as maiores profundidades serão alcançadas a 0,470 μm. Na medida em que a turbidez aumenta, esse fator de penetração será gradualmente reduzido, deslocando os comprimentos de onda predominantes para faixas espectrais de comprimentos de onda maiores, ou seja, do azul para o vermelho.

A luz do Sol (radiação direta e radiação espalhada) ao incidir sobre uma superfície d'água, penetra-a sofrendo as mais variadas interações. As vezes, parte desta energia consegue alcançar o fundo, é refletida, e retorna à superfície, podendo ser detectada por um sistema sensor. Esta parte, ao alcançar o sistema, fornece vários tipos de informação (Figura 2.2).

Shelley (1976), levando em consideração o comportamento da luz solar, anteriormente mencionado, constatou que a tecnologia de sensoriamento remoto, para medida indireta de sedimentos em suspensão, baseia-se em dois ítens fundamentais:

a) toda a matéria, na superfície da terra ou dentro d'água, irradia ou reflete uma certa quantidade de energia eletromagnética;

b) a radiação, emitida ou refletida, pode ser usada como fator de classificação, desde a análise da distribuição das componentes por comprimento de onda e intensidade de energia.

Segundo esta linha de pensamento, Barker (1975) menciona que os detetores do sistems MSS do LANDSAT foram determinados para registar radiância, e que esta mostra uma aparente correlação inversa com a profundidade que pode ser medida na água (profundidade Secchi) e uma correlação direta com sólidos totais.

Levando-se em consideração que a penetração da luz solar é, em princípio, perturbada pelo material em suspensão, Yarger et alii (1973) constataram que o inverso da profundidade Secchi (ou 1/profundidade de penetração da luz solar) é linearmente relacionada com a carga suspensa. Eles mencionam também que os canais MSS 5 e 6, normalmente apresentam alta correlação com a carga suspensa e a profundidade Secchi, sendo o canal MSS 5 o mais apropriado para esta análise.

Bertolucci et alii (1977) constataram que as maiores diferenças, nas respostas espectrais entre águas túrbidas (99 mg/l de sólidos suspensos) e águas límpidas (10 mg/l de sólidos suspensos) ocorrem na região do espectro de 0,6 a 0,9 μm, que corresponde aos canais MSS 5, onde se encontra a maior diferença entre as respostas espectrais de águas túrbidas e límpidas. Estes autores constataram também que, para corpod d'água túrbidos (100 mg/l de sólidos suspensos), a reflectância de fundo não afeta a resposta espectral da água, se o fundo tiver profundidades superiores a 30 cm.

Baseando-se no comportamento espectral da água em função da presença de sedimentos, Herz (1977) concluiu que o materal em suspensão coletado em posições previamente selecionadas e acompanhado do registro da distribuição das radiações incidentes e refletidas seria um elemento de controle das interpretações automáticas das imagens multiespectrais, organizando áreas de treinamento e reconhecimento dos mesmos padrões para o restante de cena.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

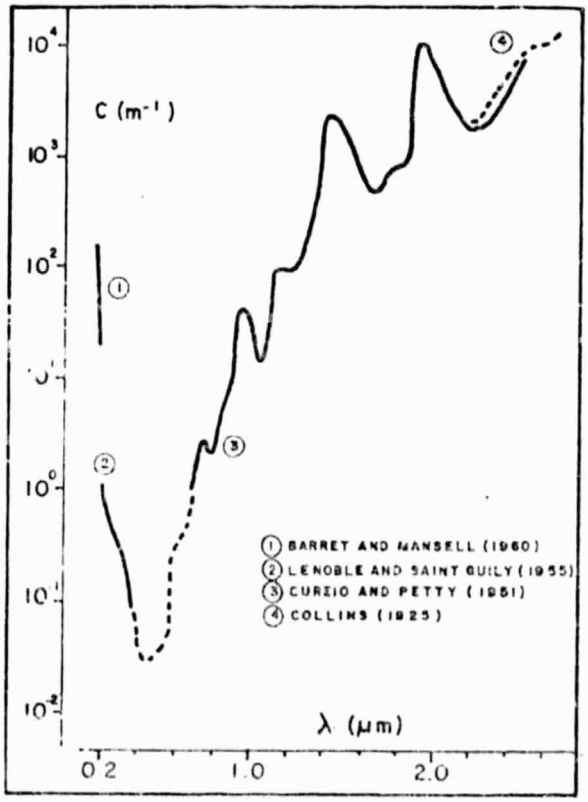


Fig. 2.1 - Curva de atenuação da água

FONTE: Jerlov e Nielsen (1974), p. 18

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

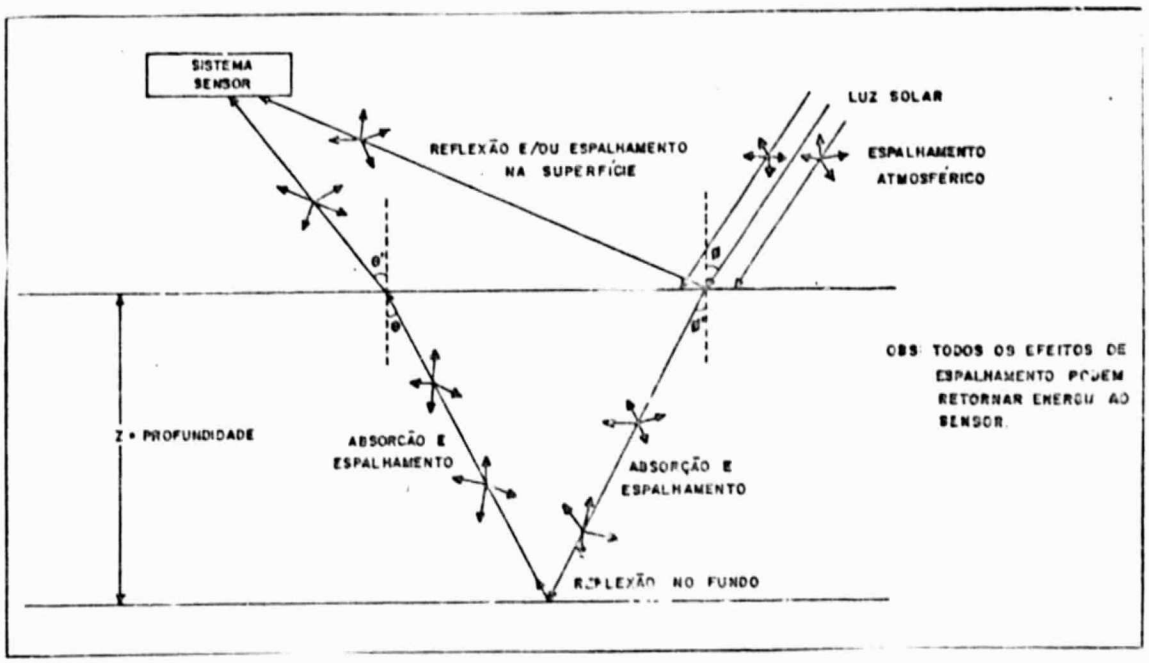


Fig. 2.2 - Interações de um raio de luz solar com camada d'água.

PRECEDING PAGE BLANK NOT FILMED

CAPÍTULO 3

MÉTODO, MATERIAL E TÉCNICAS

De acordo com o objetivo proposto no Capítulo 1, promoveu-se uma análise temporal da área de estudo, durante um período de cinco anos, em dois períodos sazonais distintos (seco e chuvoso), o que permitiu avaliar a importância de cada variável na escala temporo-espacial que envolve o reservatório em dado período.

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 da ação humana sobre a bacia.

Uma bacia de drenagem pode ser analisada em uma perspectiva sistêmica, sendo então observada como se fosse um sistema integrado. Desta forma, levando-se em consideração os elementos (físicos e antrópicos) 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.

Segundo a teoria geral dos sistemas, estes podem ser classificados de acordo com alguns critérios. Na análise geográfica, os mais importantes são o critério funcional e o da complexidade estrutural (Chorley e Kennedy, 1971).

Levando-se em consideração o critério funcional, a área de estudo seria um sistema não-isolado - que mantém relações com os demais sistemas do universo no qual funciona - e aberto - aquele no qual ocorrem trocas de energia e matéria, mantendo-se em um contínuo fluxo de entrada e saída (Chorley, 1971; Von Bertalanffy, 1950).

Tomando como base a complexidade estrutural, Chorley e Kennedy (1971) identificaram 10 tipos de sistemas. Dentre estes, os que pertecem ao âmbito da geomorfologia são os sistemas morfológicos, em sequência, processos-respostas e controlados.

A área de estudo é pois um sistema controlado, onde a complexidade aumenta com a intervenção humana.

3.1 - MÉTODO

A pesquisa propõe o estudo da dinâmica de uma dada área através do tempo, comparando-se imagens representativas de uma condição morfogenética (seca) com outra oposta (chuvosa).

Para tal, fez-se um levantamento da qualidade das imagens MSS, no período compreendido entre os anos de 1972 a 1977.

Ao final deste levantamento, pôde-se constatar que não foi possível obter dados orbitais durante cinco anos consecutivos, conforme o desejado. Por este motivo decidiu-se utilizar dados alternados a cada dois anos.

Os fatores que condicionaram esta alternativa, foram:

a) durante o ano de 1972, os dados do sistema LANDSAT eram processados pela NASA, sendo mais difícil sua aquisição.

b) durante o ano de 1974, ocorreram problemas de ordem técnica no setor de recepção dos dados LANDSAT na estação brasileira, ficando-se assim, por um prolongado período deste ano, sem as informações deste sistema.

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

Com já havia sido observado que o reservatório de Três Marias apresentava respostas espectrais diferentes nos períodos chuvoso e seco, foram selecionadas imagens (para cada ano a ser analisado), referentes a uma passagem de cada período sazonal.

A escolha da data destas imagens, para os três primeiros anos, deve-se ao fato de que a maior parte delas apresenta pouca cobertura de nuvens, fator relevante para que se possa fazer a avaliação e o monitoramento temporal da dinâmica de uma área específica, através de dados MSS do sistema LANDSAT.

O comportamento do reservatório de Três Marias, com relação à dispersão de sedimentos em suspensão e sua concentração na subsuperfície d'água, foi analisado face à dinâmica da bacia abastecedora do referido corpo d'água.

Dentre os fatores considerados relevantes para esta análise, destacam-se a rede de drenagem, o mapeamento das unidades de padrões de dissecação de relevo, a geologia, os solos e o uso da terra, da bacia em questão.

Assim, o trabalho dividiu-se em duas etapas distintas de análise:

- a primeira, onde se fez um estudo da dinâmica da bacia abastecedora do reservatório de Três Marias, levando-se em consideração os fatores acima mencionados, e criando metodologias específicas para a sua aquisição.

- a segunda, onde se efetou uma avaliação da influência exercida por estes fatores sobre a dispersão e 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 orbitais (MSS) do sistema da série LANDSAT (por suas características multiespectrais, de repetividade e visão sinótica), sob a forma de fitas magnéticas, para fazer a análise do comportamento do reservatório de Três Marias. Partiu-se do princípio de que os diferentes níveis de cinza observados no reservatório, através das imagens MSS-LANDSAT, indicariam diferentes concentrações de sedimentos.

Como não existiam mapas de drenagem, de unidades de padrões de dissecação do relevo e mapas de uso do solo da área de estudo em escala compatível com a das imagens LANDSAT, estas foram utilizadas também para a compilação de tais informações, de modo a obter uma visão geral da bacia abastecedora do reservatório de Três Marias.

As coletas de dados no campo (reservatório e bacia abastecedora) foram realizadas simultaneamente 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

Os materiais e equipamentos utilizados neste estudo são descritos a seguir.

3.2.1 - SISTEMA LANDSAT

Os satélites da série LANDSAT são plataformas de sensores remotos, colocadas em uma órbita quase polar, circular, síncrona com o sol, estando a uma altitude aproximada de 918 km.

O efeito da retrogradação da órbita destes satélites faz com que, a cada 18 dias, o satélite volte a imagear o mesmo local (Figura 3.1).

Acoplados ao sistema LANDSAT, estão em operação dois subsistemas sensores: o RBV ("Return Bean Vidicon") e o MSS ("Multispectral Scanner System"), sendo este último utilizado neste trabalho.

O MSS é um imageador multiespectral de varredura contínua, tendo um espelho oscilatório e um sistema ótico que reflete a radiância vinda da cena.

Seis linhas são varridas simultaneamente em cada uma das quatro faixas espectrais, para cada ciclo do espelho (5 faixas espectrais para o LANDSAT 3). Cada faixa é sensível a uma região do espectro eletromagnético, a saber:

- canal 4: 0,5 a 0,6 μm - verde-laranja
- canal 5: 0,6 a 0,7 μm - laranja-vermelho
- canal 6: 0,7 a 0,8 μm - vermelho-infravermelho próximo
- canal 7: 0,8 a 1,1 μm - infravermelho próximo
- canal 8: 10,4 a 12,6 μm - termal

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

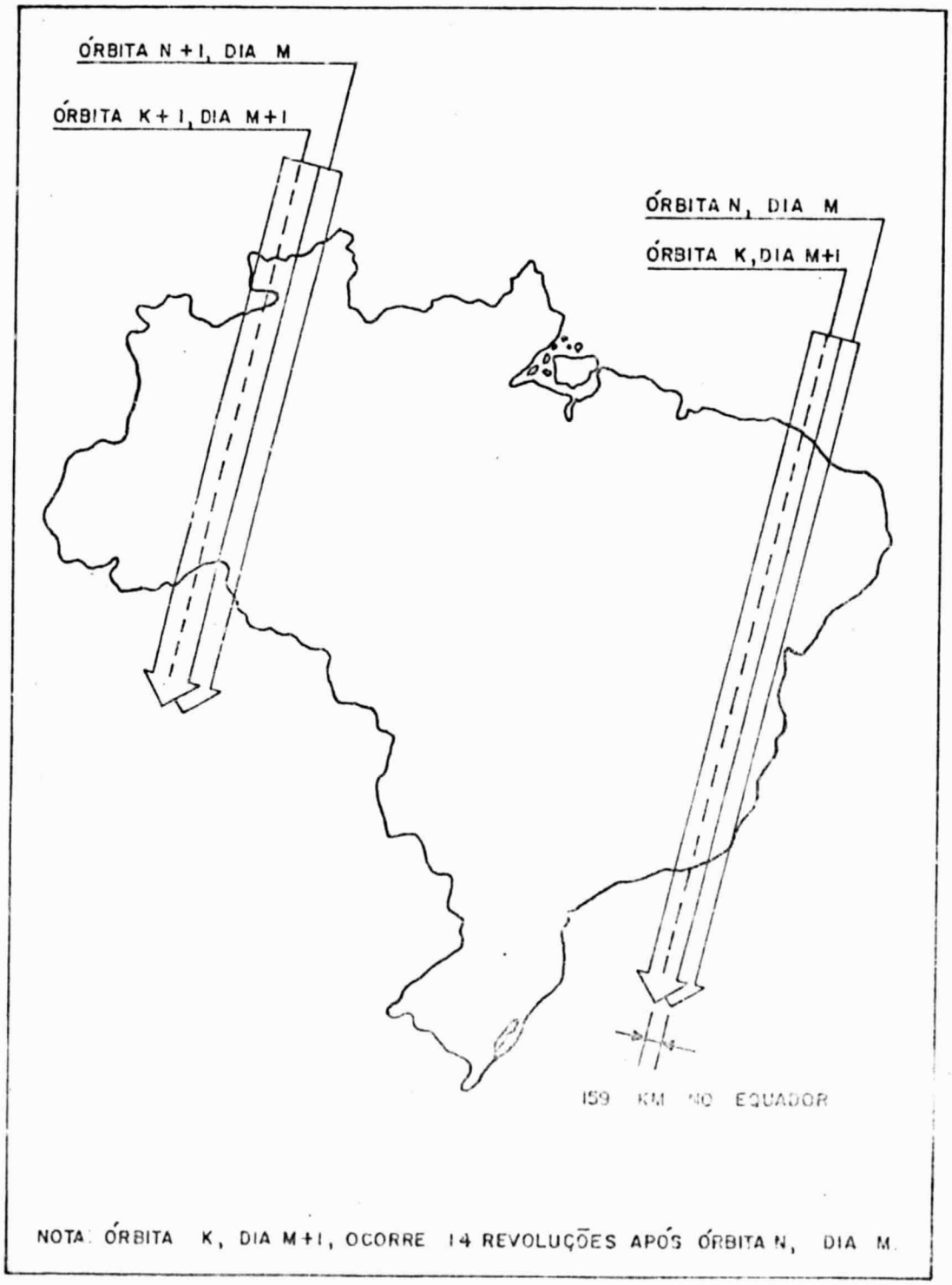


Fig. 3.1 - Padrão de cobertura no solo para o sistema LANDSAT.

Cada detetor tem a capacidade de receber energia de uma faixa de 79 metros por 79 metros (237 metros por 237 metros para o canal termal do LANDSAT 3). O ângulo de visada total do sensor é de 11,56° o que corresponde, no solo, a 184,86 km (Figura 3.2).

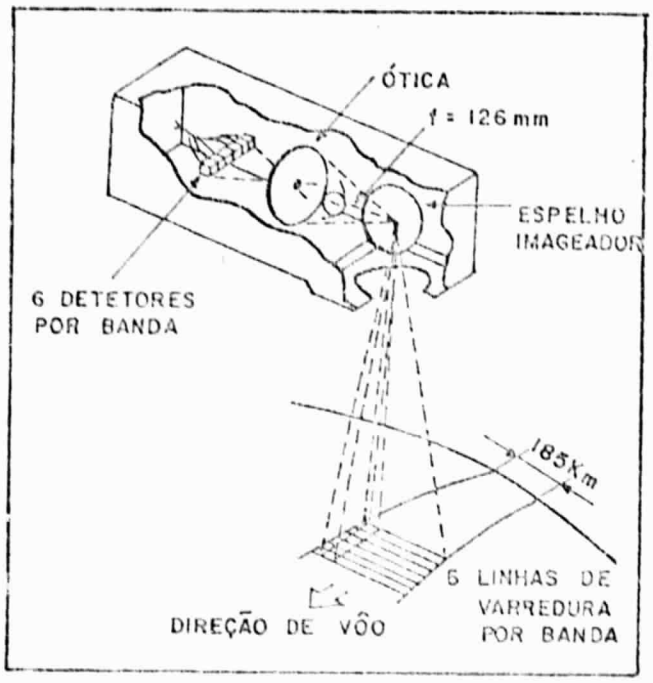


Fig. 3.2 - Esquema do imageador LANDSAT.

Os produtos do sensor MSS do LANDSAT podem ser apresentados sob a forma de cópias fotográficas, obtidas a partir de originais de 70 mm, na escala aproximada de 1:3.690.000, sendo capazes de reproduzir cerca de 16 tons de cinza. Podem ser apresentados também sob a forma de fitas compatíveis com computador (CCT), que registram até 256 níveis de cinza.

Neste trabalho, utilizaram-se cópias fotográfias (canais 4, 5 e 7) e fitas magnéticas, do sensor MSS, para a coleta de informações sobre a área.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

I) Imagens Fotográficas

Neste trabalho utilizaram-se imagens MSS do sistema LANDSAT na escala de 1:500.000, nos canais 4, 5 e 7. A Tabela 3.1 apresenta a relação das imagens utilizadas, e a Figura 3.3 mostra a disposição das mesmas na área de estudo.

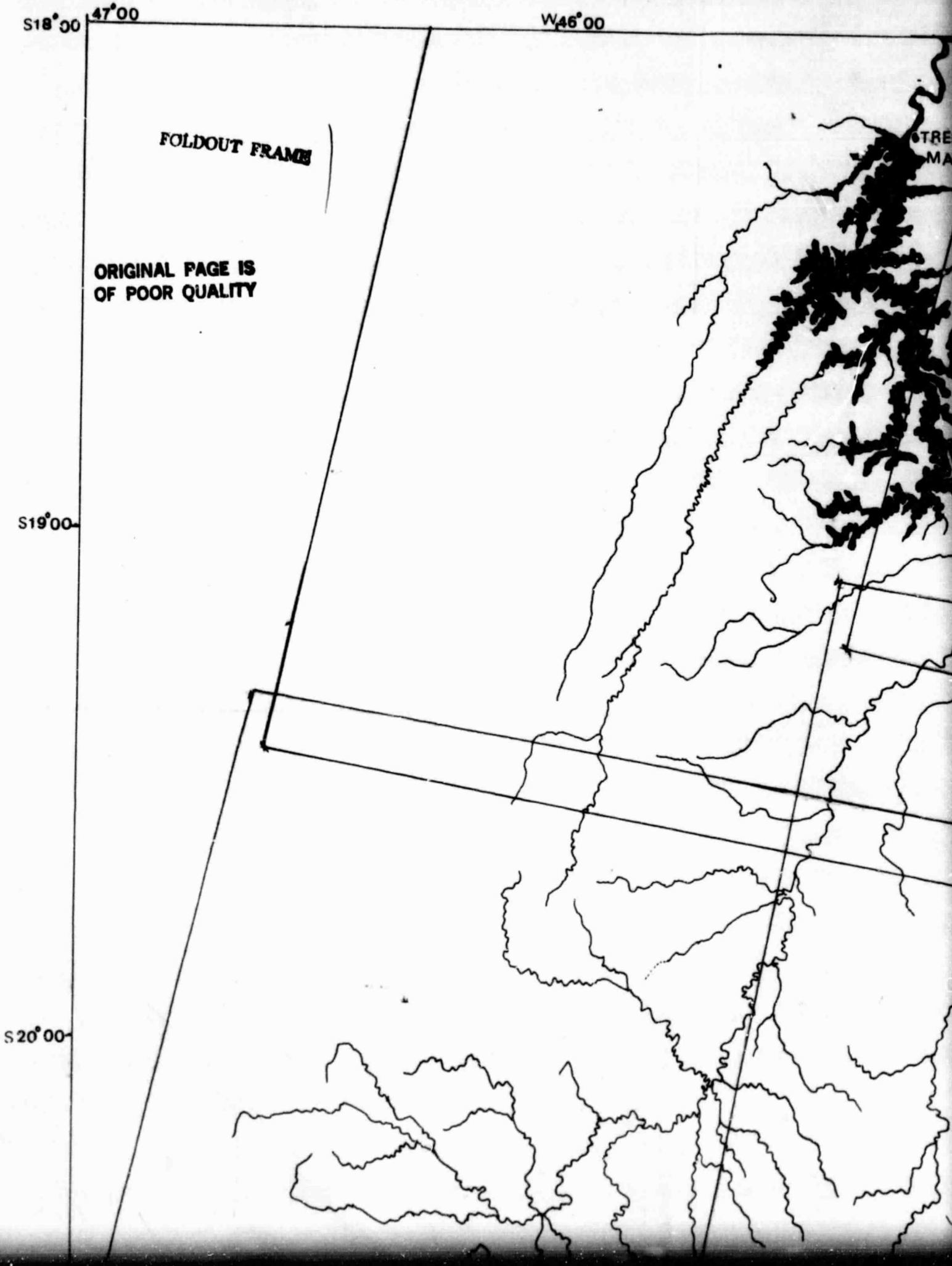
TABELA 3.1

RELAÇÃO DAS IMAGENS MSS DO SATÉLITE LANDSAT, UTILIZADAS NO TRABALHO

ÓRBITA	PONTO	DATA	COBERTURA DE NUVENS (%)	APRESENTAÇÃO	CANAIS
164	25	17.08.73	0	PB e CC	4, 5 e 7
164	26	17.08.73	20	PB e CC	4, 5 e 7
164	25	16.03.75	10	PB e CC	4, 5 e 7
150	25	15.03.75	0	PB e CC	4, 5 e 7
164	25	25.08.75	0	PB e CC	4, 5 e 7
164	25	25.07.75	0	PB	5 e 7
150	25	02.09.75	0	PB	5 e 7
150	26	02.09.75	0	PB	5 e 7
164	25	26.06.76	0	PB	5 e 7
150	25	25.06.76	0	PB	7
164	25	14.03.77	0	PB e CC	4, 5 e 7
164	26	06.02.77	0	PB e CC	4, 5 e 7
164	26	23.08.77	0	PB e CC	4, 5 e 7
164	25	05.04.78	70	PB e CC	4, 5 e 7
164	25	27.08.78	20	PB e CC	4, 5 e 7
164	26	04.07.78	0	PB	5 e 7
150	25	26.08.78	10	PB	5 e 7
150	26	26.08.78	0	PB	5 e 7

PB - preto e branco
CC - composição colorida

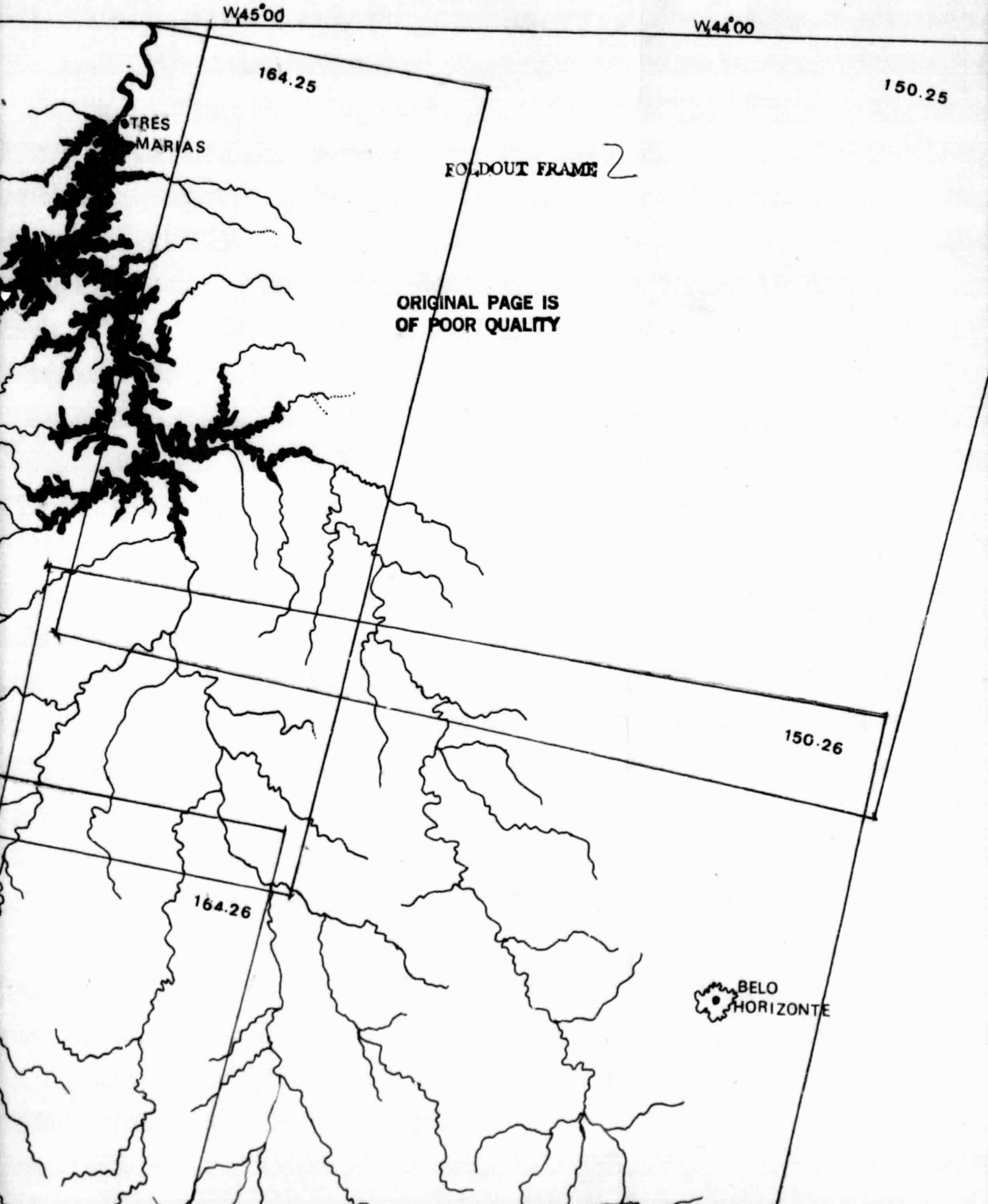
CARTOGRAMA INDICE DAS IMAGENS REFERENTES A



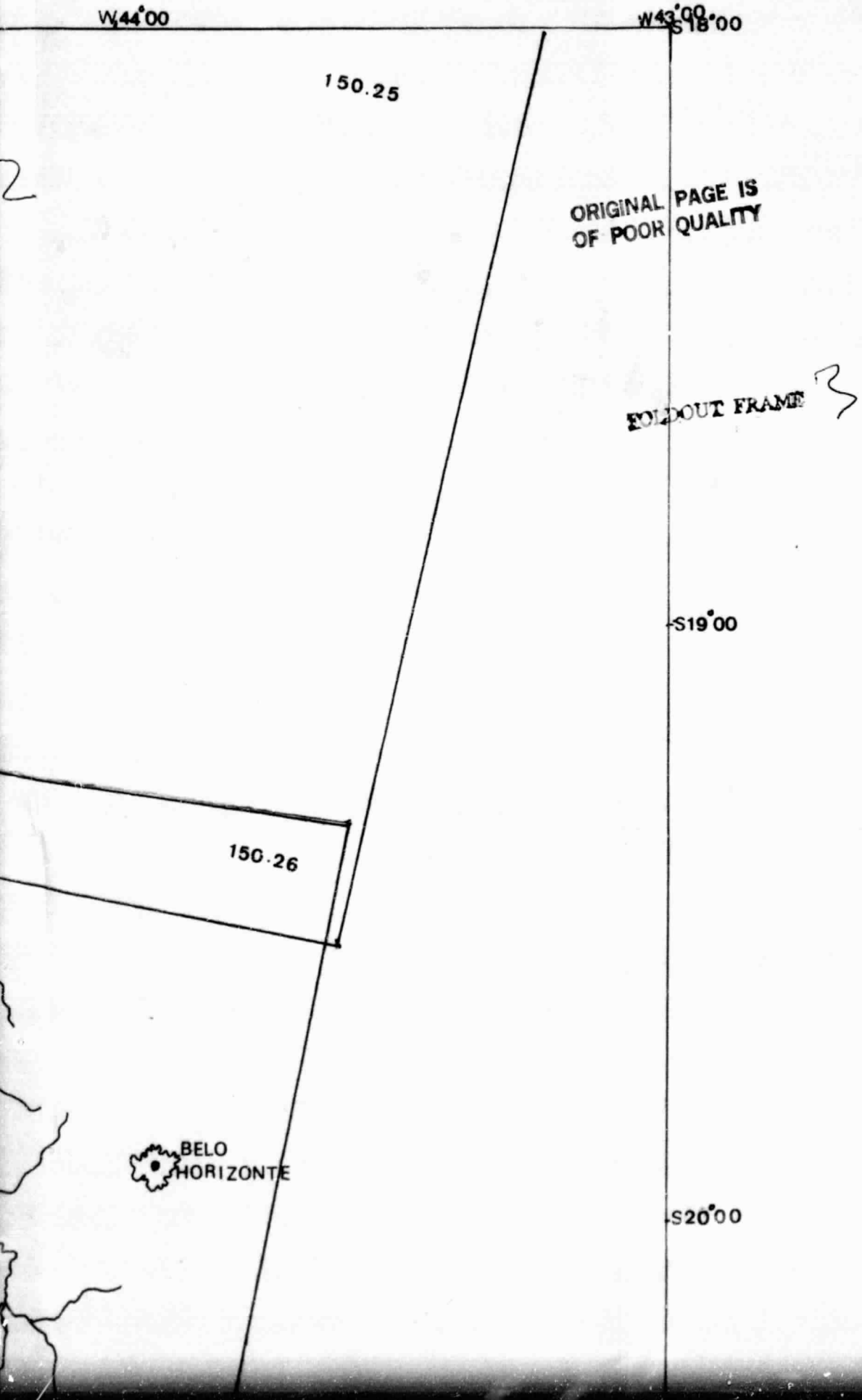
FOLDOUT FRAME

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

ERENTES A ÁREA DE ESTUDOS

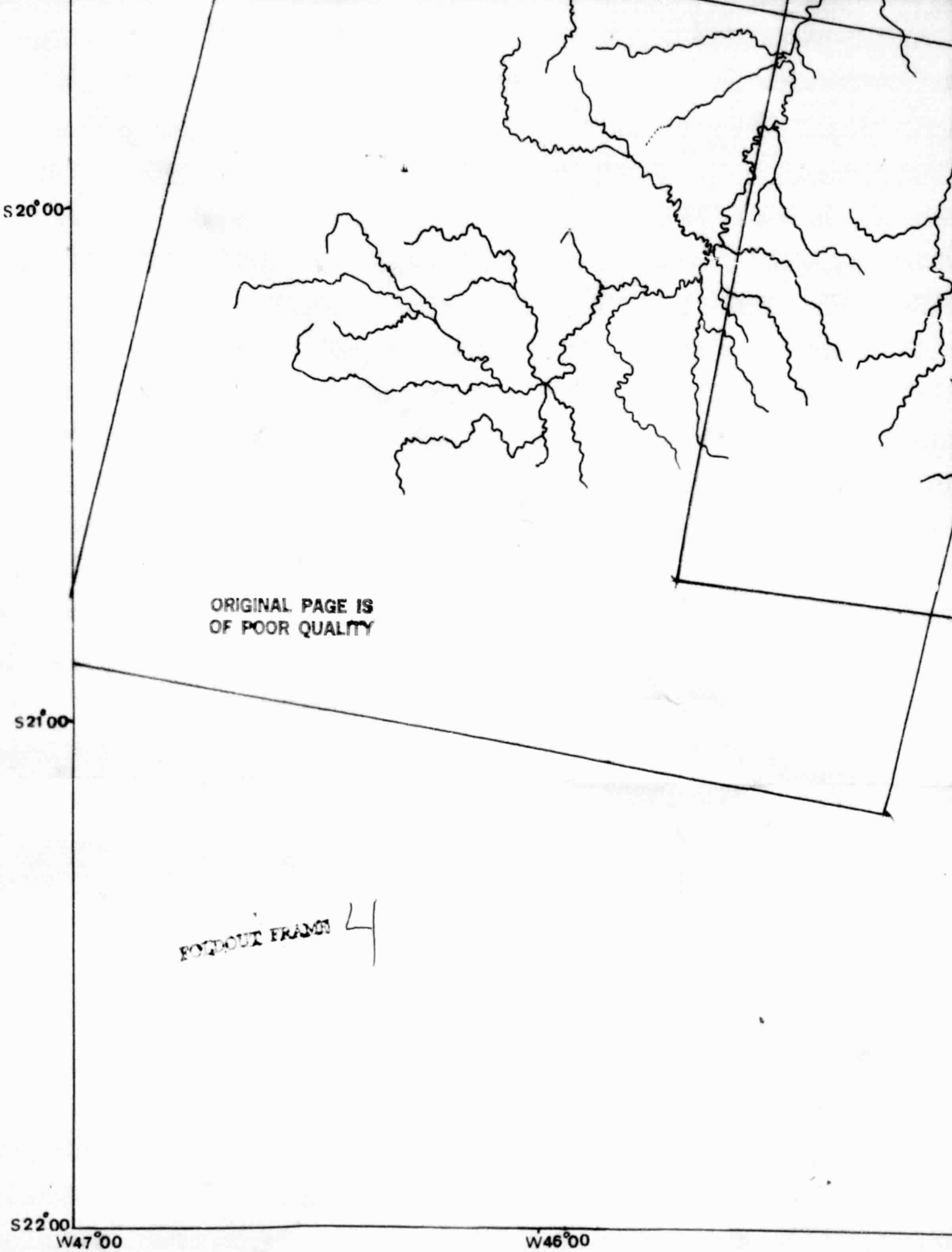


CNPq/INPE



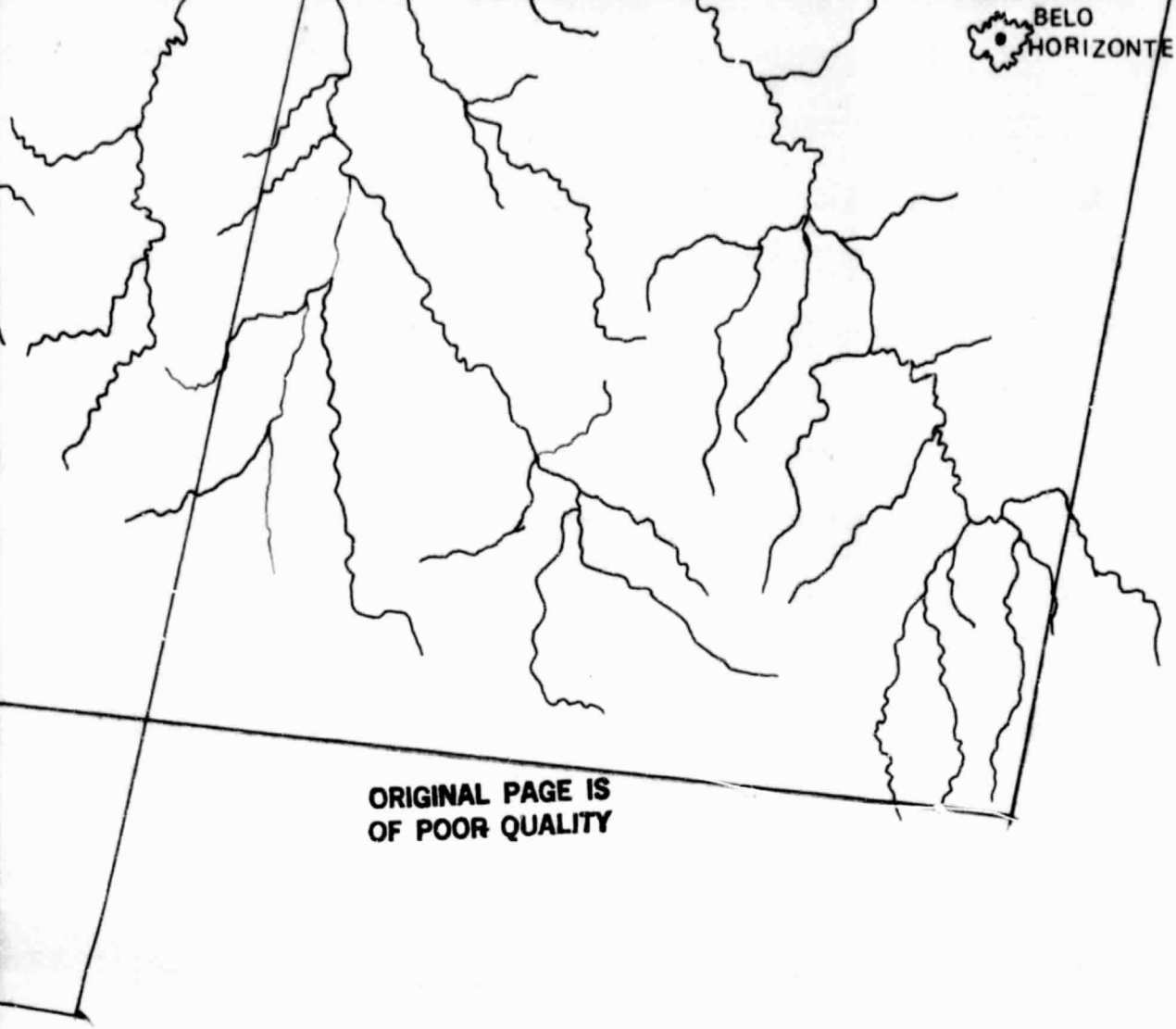
ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

FOLDOUT FRAME 3



ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

FOLDOUT FRAME 4

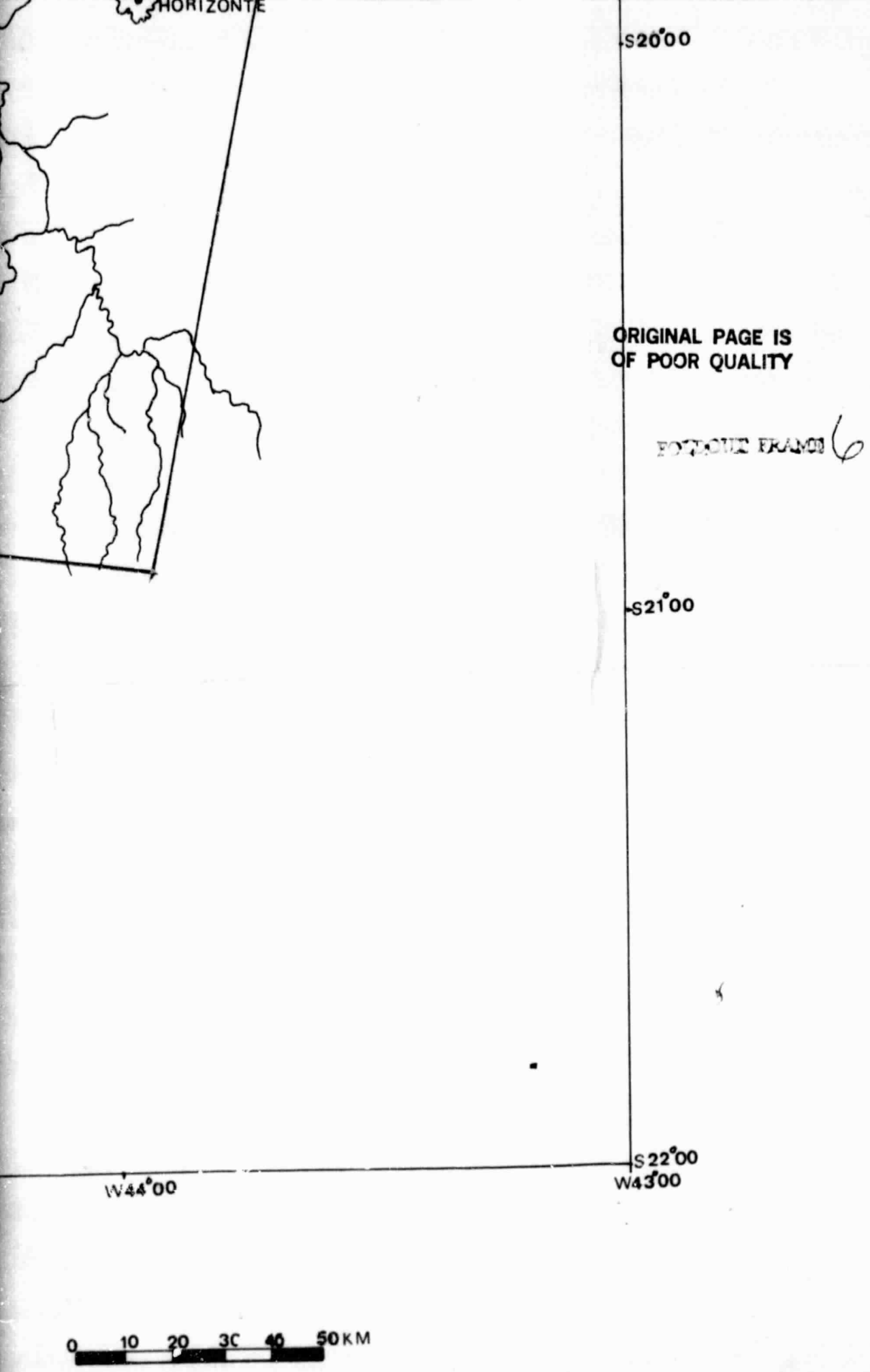


ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

FOLDOUT FRAME 5

W45°00 W44°00

0 10 20 30 40 50 KM



ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

FOLDOUT FRAME 6

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

As imagens do período chuvoso de 1973 não foram utilizadas, pois estas foram processadas pela National Aeronautic Space Administration (NASA) uma vez que a estação brasileira de recepção de dados, ainda não estava operacional, e só comelou a processar imagens a partir de junho de 1973.

O uso de imagens do ano de 1976 decorreu do excelente processamento fotográfico, permitindo uma melhor análise para o mapeamento das unidades de padrões de dissecação de relevo da área de estudo. Como não havia necessidade de avaliação temporal para este mapeamento, não foi necessária a utilização das imagens dos períodos escolhidos para a análise do reservatório e da ocupação humana.

2) Fitas magnégticas compatíveis com computador (CCT)

Para fazer a análise da dinâmica de dispersão de sedimentos em suspensão no reservatório, usou-se CCT órbita 164, ponto 25 dos anos de 1973, 1977 e 1978, um par para cada período sazonal (seco e chuvoso).

As datas das passagens das CCT são correspondentes às datas das imagens fotográficas. A Tabela 3.2 relaciona as fitas utilizadas no trabalho.

TABELA 3.2

RELAÇÃO DAS CCTs UTILIZADAS NO TRABALHO

ORBITA	PONTO	DATA
164	25	17/08/73
164	25	21/04/75
164	25	25/08/75
164	25	14/03/77
164	25	23/08/77
164	25	05/04/78
164	25	27/08/78

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

3.2.2 - MATERIAL CARTOGRÁFICO E DADOS PLÚVIO-FLUVIOMÉTRICOS

Para apoiar a localização e a coleta de informações sobre a área de estudo, utilizaram-se as Cartas Belo Horizonte e Rio de Janeiro do Atlas do Brasil ao Milionésimo do IBGE.

Utilizaram-se também as cartas topográficas do IBGE, nas escalas de 1:100.000 e 1:50.000, conforme relacionado na Tabela 3.3.

TABELA 3.3

RELAÇÃO DAS CARTAS TOPOGRÁFICAS UTILIZADAS NESTE TRABALHO

CARTAS TOPOGRÁFICAS	ESCALA
Serra Selada	1:100.000
Três Marias	1:100.000
Andrequicé	1:100.000
Serra das Almas	1:100.000
Morada Nova de Minas	1:100.000
Morro da Graça	1:100.000
Curvelo	1:100.000
Sao Gotardo	1:100.000
Dores de Indaiá	1:100.000
Abaeté	1:100.000
Pompeu	1:100.000
Sete Lagoas	1:100.000
Campos Altos	1:100.000
Luz	1:100.000
Bom Despacho	1:100.000
Pará de Minas	1:100.000
Cachoeira dos Macacos	1:50.000
Esmeraldas	1:50.000
Contagem	1:50.000
Divinópolis	1:50.000
Santo Antônio do Monte	1:50.000

(continua)

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

Tabela 3.3 - Conclusão

CARTAS TOPOGRÁFICAS	ESCALA
Lagoa da Prata	1:50.000
Bambuí	1:50.000
Rio Ajudas	1:50.000
São Roque de Minas	1:50.000
Vargem Bonita	1:50.000
Rio Piúi	1:50.000
Arcos	1:50.000
Formiga	1:50.000
Itapecirica	1:50.000
Piúi	1:50.000
Pedro Leopoldo	1:50.000
Serra Negra	1:50.000
Itaúna	1:50.000
Igarapé	1:50.000
Brumadinho	1:50.000
Itaguara	1:50.000
Belo Vale	1:50.000
Itabirito	1:50.000
Oliveira	1:50.000
Carmópolis de Minas	1:50.000
Passatempo	1:50.000
Entre Rios de Minas	1:50.000
Conselheiro Lafaiete	1:50.000
Resende Costa	1:50.000
Carandaí	1:50.000

Utilizaram-se também, para a análise dinâmica da área de estudo dados de pluviometria (mm) e de descarga líquida (m /s) e descarga sólida (mg/l; ton/dia) dos rios São Francisco (em Porto das Andorinhas), Pará (em Porto Pará) e Paraopeba (em Porto Mesquita e Ponte da Taquara). Estes dados foram cedidos pela CEMIG e DNM.

3.2.3 - ANALISADOR DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS (IMAGE-100)

Para o tratamento semiautomático das fitas magnéticas (CCT), utilizou-se o analisador interativo IMAGE-100.

Este sistema extrai informações temáticas de partes da cena ou de toda a cena, de imagens multiespectrais através de técnicas estatísticas de classificação e correlação.

O sistema realiza a classificaçao automática das imagens segundo um método interativo (homem/máquina), levando em consideração as informações fornecidas pelo analista e os programas de classificação. O resultado da classificação aparece em tempo real no terminal de vídeo.

Este equipamento permite o processamento e o tratamento dos diferentes níveis de radiância (niveis de cinza*), registrados em fitas magnéticas compatíveis com o computador, a partir do sinal sensoriado multiespectralmente pelo imageador MSS - LANDSAT (General Eletric 1975; Herz e Tanaka, 1978).

Uma descrição mais detalhada desse analisador automático de imagens poderá ser obtida em General Eletric Company (1975), e em Carvalho (1978).

3.2.4 - DISCO DE SECCHI

Utilizou-se o disco de Secchi para medir a transmissão das radiações do visível através d'água (profundidade Secchi) em diferentes pontos de amostragem ao longo do reservatório de Três Marias (Pickard, 1963). Tal disco é branco, com um diâmetro de aproximadamente 30 cm, em cujo centro encontra-se preso um fio graduado.

3.2.5 - RADIÔMETRO

Para medir os fluxos incidentes e emergente da água do reservatório utilizou-se um radiômetro Digital, modelo 820-10, da "Gamma Scientific Incorporated", que opera nas mesmas faixas espectrais utilizadas pelo MSS do satélite LANDSAT.

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

---

* *Níveis de Cinza - Derivam do modo pelo qual um preto e branco fotográfico (i. é, monocromático) represente diferentes valores radiométricos, ou intensidades, como graduações de cinza. Um sistema de processamento digital como o I-100, quantifica ou digitaliza os valores de dados para níveis discretos. Quando referindo-se a diferentes valores radiométricos de uma imagem, os níveis digitalizados são chamados de níveis de cinza.*

3.3.1 - ANÁLISE VISUAL DA REDE DE DRENAGEM

Para a análise visual da rede de drenagem, fez-se uso das imagens MSS-LANDSAT dos canais 5 e 7, conforme metodologia proposta por Moraes (1975), Santos e Novo (1977), e Sausen (1978).

Após a identificação e traçado da drenagem principal e secundária, fez-se a montagem do mapa preliminar da rede de drenagem da área de estudo. Este mapa permitiu a análise da rede quanto aos padrões de drenagem, conforme conceitos estabelecidos pod Howard (1967). Obtiveram-se, assim, informações sobre a litologia, estrutura e permeabilidade da área em estudo.

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.

Para a análise visual dos padrões de dissecação do relevo, fez-se uso das imagens dos canais MSS 5 e 7.

Para a identificação e traçado das unidades fotomorfológicas, fez-se uso do canal MSS 7, levando-se em consideração os aspectos de estrutura e textura fotográficas (Moraes e Leite, 1975;Koffler, 1976; Nascimento e Nascimento, 1977). Para a delimitação destas unidades, levou-se em consideração as três categorias de dissecação: colinas, tabuleiros e cristas (Barbosa et alii, 1977).

Após esta análise baseada na legenda utilizada no Projeto RADAR - Minas Gerais, ao fazer o mapeamento geomorfológico de parte do Estado de Minas Gerais em 1977, fez-se a definição da legenda referente à compartimentação do relevo da área.

Inicialmente, levou-se em consideração as três principais categorias de dissecação já mencionadas:

a) colinas (C)
b) tabuleiros (T)
c) cristas (K)

Estas, foram aliadas aos índices de:

a) *Intensidade de dissecação vertical,* significa o entalhe dos canais de drenagem, e tem três valores diferentes:

- baixa (0 a 60 metros);
- média (60 a 100 metros);
- alta (+ de 100 metros).

b) *Amplitude de forma,* em termos da distância entre um canal de drenagem e outro, tendo também três diferentes valores:

- pequena (0 a 1,60 km);
- média (1,60 a 2,30 km);
- grande (2,30 a 4,0 km).

Assim, se uma unidade for designada por C_3I, tem-se uma unidade de relevos de formas colinosas (C), com canais de drenagem profundos (3) e uma amplitude lateral pequena (I), isto é, pequena distância entre os canais de drenagem, sugerindo uma alta densidade hidrográfica.

Quando estas categorias de dissecação aparecem de forma combinada em uma unidade, sua designição também aparecerá combinada com a categoria predominante, grafada em tamanho maior. Assim, uma unidade designada, por exemplo, por Ck, indica que esta é uma unidade com relevos de formas colinosas, associadas à ocorrência esporádica de cristas.

O passo seguinte foi a identificação, através do canal MSS 5, dos diferentes tons de cinza, que indicam as áreas mais sujeitas a processos erosivos (Moraes, 1975; Moraes e Leite, 1975; Novo e Nascimento, 1977).

Após a conclusão da análise visual das imagens MSS do LANDSAT, nos canais 5 e 7, foram caracterizadas 19 unidades fotomorfológicas, que permitiram a elaboração de um mapa preliminar de padrões de dissecação da área de estudo.

Durante os períodos de março/abril e de agosto/setembro de 1978, realizaram-se trabalhos de campo, com a finalidade de obter informações sobre a geologia, a dinâmica e forma das vertentes, o solo e a cobertura vegetal. Estes trabalhos de campo tiveram por objetivo controlar o mapa preliminar das unidades de padrões de dissecação do relevo.

Como as imagens MSS/LANSDAT não permitem a visão estereoscópica, um controle de campo para complementar as informações extraídas das imagens é necessário.

2) Análise estatística das unidades fotomorfológicas da área de estudo

Para verificar a validade da compartimentação e caracterizar, de um modo mais efetivo, os compartimentos obtidos através da análise visual, efetuou-se uma análise estatística de variáveis morfométricas, extraídas das imagens LANDSAT e de cartas topográficas.

Para alcançar tais objetivos, usaram-se os seguintes tratamentos estatísticos:

a) Análise da Variância: Esta foi utilizada para testar se as unidades morfológicas identificadas apresentavam diferencas significativas quanto aos índices levantados. Este método permite de

terminar se duas amostras foram ou não extraídas da mesma população (Steel e Torrie, 1960).

b) Menor Diferença Significativa (M.D.S.) - Esta pode ser usada como intervalo grupador das classes, adicionando-se o seu valor a cada média, consecutivamente, e verificando-se se o resultado da adição supera o valor da média seguinte. Assim, identificam-se os possíveis grupamentos de maneira objetiva (Steel e Torrie, 1960).

Os dados morfométricos obtidos das imagens foram: a textura da topografia, a densidade de drenagem e a extensão do percurso superficial (França, 1968; Gregory e Walling, 1973). Os dados coletados nas cartas topográficas foram amplitude e altitude médias (Nascimento e Nascimento, 1977).

Para coleta dos dados morfométricos, fez-se uso da amostragem em grade; cada unidade fotomorfológica tem um número máximo de seis quatrículas com 0,5 cm de lado (nas imagens), e equivale, no terreno, a 6,25 km^2. As mesmas foram determinadas aleatoriamente. As quadrículas que se localizaram nas bordas da unidade foram desprezadas, uma vez que estão em área de transição (Santos e Novo, 1977).

Após a análise visual das imagens MSS/LANDSAT, a análise estatística dos dados morfométricos e a análise dos dados coletados no campo, revisou-se o mapa preliminar de padrões de dissecação.

A partir dos resultados obtidos nas análises mencionadas, 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 através da análise visual da tonalidade e textura, nos canais MSS 5 e 7 e com

posições coloridas das imagens LANDSAT, segundo metodologia preconizada por Valério Filho et alii, 1976; Santos e Novo, 1977 e Aoki e Santos, 1980.

Ao término da interpretação visual das imagens MSS do LANDSAT, obtiveram-se unidades preliminares de vegetação e uso do solo com diferentes tons de cinza e textura fotográfica. Atribuíram-se números a essas unidades, conforme as graduações de tonalidades e textura.

A partir destas unidades, fez-se um esboço preliminar da vegetação e do uso do solo, o qual foi utilizado durante os trabalhos de campo. Nos períodos de março/abril e de agosto/setembro de 1978, realizaram-se dois trabalhos de campo, com a finalidade de coletar informações sobre a vegetação da área (tipo e grau de alteração) e o uso do solo, e verificar a confiabilidade da interpretação preliminar das imagens.

Através dos resultados do primeiro trabalho de campo e da interpretação visual, definiram-se algumas unidades em categorias de cerrado de acordo com Aoki e Santos (1980), a saber:

- *Cerradão* - Caracteriza-se por uma vegetação mais baixa e menos densa que a maioria das florestas úmidas, cujas árvores apresentam altura superior a 7 metros. Encontram-se três estratos de vegetação: arbóreo, arbustivo e herbáceo. Nos cerradões, quase todas as espécies arbóreas e arbustivas são as mesmas que ocorrem nos cerrados.

- *Cerrado* - Uma das suas principais características é a presença de árvores e arbustos, cujos troncos e galhos são tortuosos recobertos de súber espesso. Em geral, as folhas são grandes e espessas, sendo algumas coriáceas.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

- *Campo Cerrado* - Caracteriza-se pela presença de pequenas árvores, arbustos baixos e espaçados, disseminados sobre uma sinúsia herbácea em que predominam gramíneas.

- *Campo Sujo de Cerrado* - Este pode ser considerado com um campo cerrado degradado, em consequência da ação do homem; caracteriza-se pela presença de poucas e pequenas árvores, e sinúsia herbácea arbustiva como a do cerrado.

- *Campo Limpo* - Caracteriza-se por ser totalmente desprovido de árvores e arbustos.

- *Mata* - Caracteriza-se por uma vegetação exuberante e densa, troncos eretos, com presença de humus, sem estrato arbustivo herbáceo, tendo o estrato superior mais de 12 metros de altura.

Após a análise dos dados coletados no campo, fez-se uma nova interpretação visual das imagens LANDSAT, levando-se em consideração todas as informações obtidas sobre a área de estudo até aquele momento.

Fez-se também uma coleta de dados extraídos de cartas topográficas e bibliografia existentes sobre a área, para complementar todos os dados já obtidos.

O passo seguinte foi a definição da legenda final do mapa de cobertura vegetal e uso do solo, levando-se em consideração as informações obtidas sobre a área, e a elaboração do mapa final de cobertura vegetal.

3.3.4 - COLETA DE DADOS DE CAMPO

Os trabalhos de campo foram realizados em dois períodos sazonais diferentes: um no final do período chuvoso (março/abril, 1978) e outro no período seco (agosto/setembro, 1978).

Estes trabalhos foram divididos em duas etapas: coleta de dados no reservatório e coleta de dados na bacia abastecedora do mesmo.

1) Coleta de dados no reservatório

Estabeleceram-se, inicialmente, 24 pontos de amostragem na área compreendida pelo reservatório. Estes pontos foram estabelecidos a partir de um mapa obtido pela análise automática de Fitas Compatíveis com Computador (CCTs - "Computer Compatible Tapes") da imagem MSS, correspondente à passagem do LANDSAT, na data de 6 de fevereiro de 1977, por ser esta a informação mais recente, para o período chuvoso, até o primeiro trabalho de campo.

De acordo com a metodologia proposta por Barker (1975), estabeleceram-se 8 classes de níveis de cinza, através do programa Slicer, a partir de áreas de treinamento coletadas ao longo do reservatório de Três Marias. Para cada uma das classes, determinaram-se 3 pontos de coletas de amostra *in situ*, perfazendo um total de 24 pontos de amostragem no reservatório.

Para auxiliar a localização dos mesmos durante os trabalhos de campo, utilizaram-se as cartas topográficas de Três Marias, Morada Nova de Minas e Morro da Garça, do IBGE na escala de 1:100.000.

Por ocasião da interpretação da fita coincidente com o primeiro trabalho de campo e com as observações *in situ*, pode-se constatar que o rio Borrachudo é um grande fornecedor de sedimentos para o reservatório de Três Marias. Por isto, fez-se necessário colocar um pon

to de amostragem no braço do reservatório alimentado por este rio, perfazendo um total de 25 pontos de amostragem. Assim, durante o trabalho de campo, no período seco, além da utlização dos primeiros 24 pontos de amostragem, utilizou-se este novo ponto para a coleta de dados no reservatório.

A Figura 3.4 apresenta a localização dos 25 pontos de amostragem no reservatório de Três Marias.

Em cada um dos pontos de amostragem foram coletados os seguintes dados:

- Profundidade Secchi - para determinar a pronfundidade Secchi, utiliza-se o disco de Secchi, que proporciona uma estiva do coeficiente de absorção, entre a superfície d'água e o ponto a partir do qual o disco se torna imperceptível ao olho humano.

A distância entre este ponto e superfície d'água é a profundidade Secchi do local (Pickard, 1963).

Esta profundidade 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 1975; Ritchie et alii, 1976; Scherz e Van Domelen, 1975).

- Reflectância d'água *in situ* - as palavras dos fluxos incidentes e emergentes d'água dc reservatório foram realizadas através de um radiômetro, no intervalo do espectro eletromagnético. eletromagnético de 0,5 a 1,1 μm.

A calibração do aparelho no campo realizou-se de acordo com a orientação fornecida pelo folheto explicativo do radiômetro.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

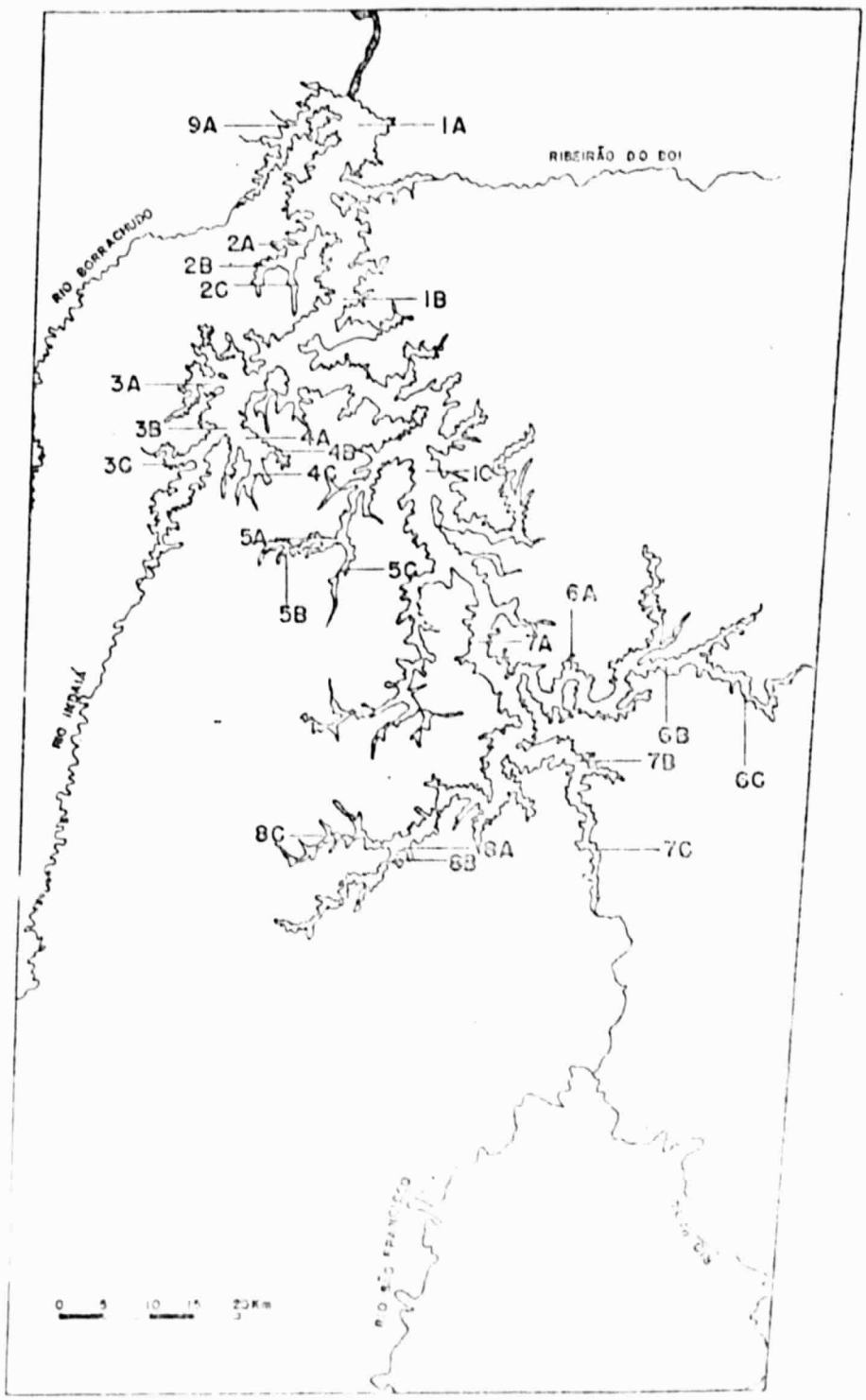


Fig. 3.4 - Localização dos pontos de amostragem no reservatório de Três Marias.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

O aparelho estava acoplado a uma barra de ferro de 2 metros de comprimento, a qual foi montada na lateral do barco, de modo que o radiômetro ficasse afastado do mesmo pelo menos 1,50 metros, para diminuir a interferência da reflexão do barco.

Logo após a calibração do aparelho mediu-se o fluxo de radiação solar incidente num arco de 180° sobre a superfície d'água, estando a unidade sensora voltada para o céu. Em seguida, mediu-se a radiação solar refletida, numa altura de 50 cm acima da superfície d'água, estando a unidade sensora voltada para a mesma.

Para o registro das radiações obtidas com o radiômetro, foi utilizada uma ficha de campo, conforme Apêndice A. Para cada faixa do espectro e para cada tipo de radiação, foram feitas cinco leituras e calculadas a média, para compensar as oscilações do barco sobre a água.

A razão entre a radiação solar refletida (La) e a radiação solar incidente (Ls) dá reflectância d'água *in situ* (R), para cada ponto observado.

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

As medidas dos 2 (dois) fluxos de radiação foram realizadas em um intervalo de tempo que corresponderia a 30 minutos antes e 30 minutos depois do horário da passagem do satélite (8:37 a 9:20 horas), para que o mesmo ângulo solar e a mesma quantidade de radiação solar captada pelo LANDSAT fosse também captada pelo radiômetro.

A finalidade da obtenção da reflectância d'água foi verificar a existência de sua correlação com os diferentes níveis de cinza, apresentados pelas imagens LANDSAT, na superfície do reservatório.

2) Coleta de dados na bacia abastecedora do reservatório

Para a coleta de informações na bacia abastecedora do reservatório, analisaram-se 41 pontos de amostragem no primeiro trabalho de campo, e 44 no segundo, perfazendo um total de 85 pontos. Os dados sobre geologia, morfologia, processos erosivos, solo e vegetação da área de estudo foram registrados em fichas de campo (Apendice B).

Para a escolha dos roteiros e localização dos pontos de coletas de dados na bacia utilizou-se o mapa preliminar de unidades de padrões de dissecação do relevo da área de estudo.

Devido ao fato de a bacia abastecedora ser muito extensa e de o tempo disponível para percorrê-la ter sido de 30 dias, não foi possível fazer uma amostragem muito densa da mesma. Por isto, para a escolha dos roteiros a serem percorridos, levou-se em consideração que os trajetos deveriam atravessar o maior número possível de unidades morfológicas.

Além disso, consideraram-se as condições de tráfego das estradas, de modo que o rendimento do trabalho fosse o melhor possível. De um modo geral, teve-se o cuidado de fazer coincidir o ponto final de cada roteiro com o ponto inicial do próximo, a fim de evitar deslocamentos desnecessários.

O número de pontos de coleta de dados variou de roteiro para roteiro, em função do número de unidades geomorfólogicas por eles atravessadas e da disponibilidade de tempo para percorrê-los. Para garantir uma maior representatividade, procurou-se localizá-los no meio de cada unidade, evitando-se sempre que possível, as bordas de unidades, por serem áreas de transição.

3.3.5 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS SIMULTÂNEOS COLETADOS NO RESERVATÓRIO

Para a análise dos dados simultâneos coletados no reservatório, foram utilizadas as técnicas descritas abaixo.

Os dados de profundidade Secchi e reflectância d'água, coletados no reservatório de Três Marias, foram utilizados para verificar se havia alguma correlação entre os diferentes níveis de cinza nas fitas e as diferentes concentrações de sedimentos em suspensão na água do reservatório.

Para fazer a análise estatística destes dados, utilizou-se o Coeficiente de Correlação de Pearson e a Regressão linear simples (Steel e Torie, 1960).

3.3.6 - ANÁLISE SEMI-AUTOMÁTICA DOS DADOS ORBITAIS

A análise semi-automática de dados orbitais foi realizada para acompanhar a dispersão do material de 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.

Utilizaram-se as diferenças de níveis de cinzas observadas na superfície d'água, nas imagens LANDSAT, como indicadores de diferentes concentrações de sedimentos.

A identificação das variações de níveis de cinza, gravados em fitas na forma digital, proporciona uma avaliação qualitativa da diluição e concentração de partículas sólidas transportadas pelos fluxos d'água. Levando-se em consideração as propriedades óticas das águas e estas em função da energia das correntes, pode-se constatar que os níveis de cinza maiores indicam maior turbidez, devido a maior capacidade de transporte das correntes envolvidas no fluxo, sendo que

os valores menores caracterizam os ambientes mais dispersos e de menor energia (Herz, 1977).

Yarger e McCauley (1975) mencionam que, em geral, os canais MSS 4, 5 e 6 (verde, vermelho e infravermelho) exibem substancial variações de níveis de cinza através da superfície do reservatório, registrados nas CCT (256 níveis). Estas variações de níveis de cinza, as quais estão relacionadas à energia refletida pelas águas de superfície, detectada pelo LANDSAT, estão altamente correlacionadas ao padrão de sedimentos suspensos no reservatório.

Utilizaram-se para a análise semi-automática de dados orbitais, as fitas magnéticas correspondentes a órbita 164 ponto 25 dos anos de 1973, 1975, 1977 e 1978, referentes ao final dos períodos seco e chuvoso.

Estas CCTs serviram para compartimentar a camada superficial d'água do reservatório de Três Marias, em diferentes áreas de maior ou menor concentração de sedimentos em suspensão. Para tal, a análise baseou-se nas respostas espectrais das águas, apresentadas em termos de níveis de cinza, através de um processo semi-automático, supervisionado e interativo, no sistema I-100.

Os dados de radiância gravados nas fitas magnéticas foram armazenados na memória do sistema I-100, por intermédio do programa "E2DQIO". Simultaneamente, estes valores foram apresentados pelo sistema, na tela do vídeo colorido, formando uma imagem completa.

A área desta imagem correspondente ao reservatório de Três Marias, foi ampliada para a escala de 1:450.000, por intermédio do programa "D2IQIO", incorporado no IMAGE-100 e, posteriormente gravada em disco.

Utilizou-se o canal MSS 7 (correspondente à faixa do infravermelho) para definir os limites terra/água com o programa Célula Única (Single Cell), conforme considerações apresentadas por Herz e Tanaka (1978).

Após a definição dos limites do reservatório, o restante da cena foi apagada, para que não houvesse interferência das áreas adjacentes ao corpo d'água, durante as análises.

De modo a permitir uma melhor visualização das diferenças de níveis de cinza na superfície do reservatório, fez-se a ampliação de suas diferentes partes para a escala de 1:100.000 através do programa "D2IQIO", para que se pudesse escolher com maior precisão as amostras dos diferentes níveis de cinza no reservatório; estas amostras serviram para determinar os parâmetros das classes a serem definidas (Velasco et alii, 1978).

Posteriormente estas classes constituíram informação básica para a classificação temática do reservatório, através do programa MAXVER.

As amostras foram adquiridas posicionando-se o cursor na região desejada, e especificando-se a classe a qual a amostra devia pertencer.

Determinou-se o número de amostras necessárias para uma boa classificação da imagem que estava sendo analisada; este número variou de imagem para imagem.

O refinamento na seleção das amostras pode ser feito através da subtração ou aquisição das mesmas.

Fez-se a escolha das amostras por intermédio do canal MSS 5, por ser este o que visualmente proporciona maior detalhamento nas informações, as quais resultam do retroespalhamento da luz pelos sólidos suspensos nas águas.

Após este procedimento aplicou-se o programa MAXVER.

De acordo com Velasco et alii (1978), este programa destina-se à classificação, ponto a ponto, de imagens multiespectrais, obtidas em geral de satélites.

O critério usado na classificação é o de máxima verossimilhança ("Maximum likelihood") segundo classes escolhidas interativamente pelo usuário.

Os resultados da classificação feita através do sistema MAXVER foram apresentados 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.

Para as fitas correspondentes às passagens de 5 de abril de 1978 e 27 de agosto de 1978, relativas aos dois trabalhos de campo na área de estudo, realizou-se uma análise automática mais detalhada, utilizando-se os pontos de amostragem *in situ* .

Para que se pudesse fazer a localização destes pontos na imagem, esta foi ampliada para a escala de 1:50.000, através do programa "D2IQIO", nas partes do reservatório a eles correspondentes.

A finalidade deste procedimento era associar as classes de níveis de cinza das imagens MSS/LANDSAT com a profundidade Secchi, coletada *in situ* , obtendo-se, assim, uma classificação semiquantitativa da dispersão de sedimentos em suspensão no reservatório de Três Marias.

Utilizou-se o programa "scaled cursor", para obter as coordenadas das amostras, e, posteriormente, fazer as ampliações das mesmas. Não sendo possível obter, de uma só vez todas as amostras na tela do vídeo colorido, na escala de 1:450.000, sem perda de resolução criou-se, na memória do sistema I-100, uma imagem composta apenas das amostras ampliadas - 6 "pixels" na horizontal x 4 "pixels" na vertical.

Para obter a máxima resolução possível das amostras, ampliou-se cada umadelas para125 "pixels" x 125 "pixels" (equivalente a 21 vezes na horizontal x 31 vezes na vertical). Cada ampliação correspondia a 15.000 pontos na memória do I-100 (Figura 3.5).

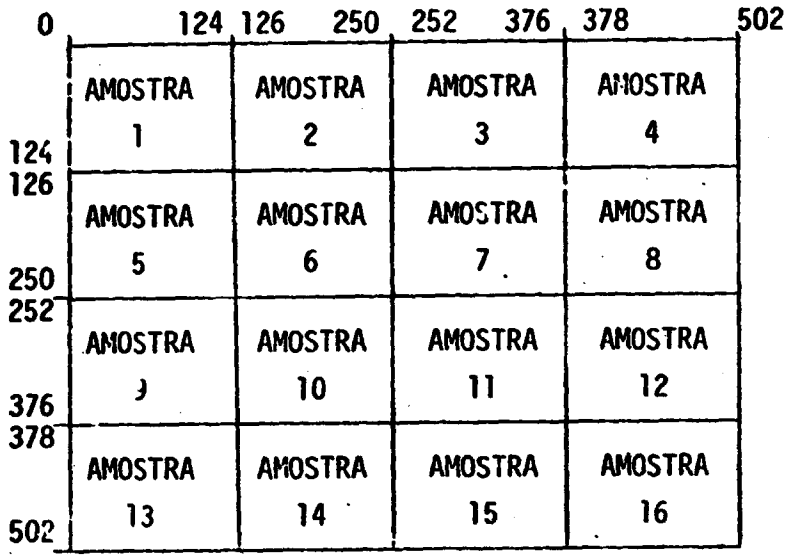


Fig. 3.5 - Distribuição das amostras em relação à memória de imagem do sistema I-100.

A partir das amostras, determinaram-se os parâmetros das classes (média e matriz de covariância).

Obteve-se também a "matriz de classificação", fornecida pelo sistema, que dá uma previsão dos resultados da classificação. Esta matriz permite dizer quais classes estão superpostas e quais estão separadas (Velasco et alii, 1978). Esta previsão dos resultados da classificação é feita com base nas amostras escolhidas. Em cada coluna desta matriz encontram-se as porcentagens dos pontos não classificados e classificados como de outras classes. O usuário deve entrar com uma constante real positiva "LIMIAR", com a qual é feita a classificação. Este limiar pode variar de 0 a 6, e permite ao usuário variar o rigor com que é feita a classificação. O limiar utilizado em todas as imagens analizadas automáticamente foi 5.

Para cada uma das classes definidas, atribuiu-se o valor da profundidade Secchi do ponto de amostragem "*in situ*", que serviu de amostra para a classe. Fez-se a ordenação das classes do menor para o maior valor de profundidade Secchi.

Logo após, fez-se a classificação temática do reservatório de Três Marias, através do programa MAXVER, utilizando-se as classes como informações básicas.

Para a classificação temática das CCt através do programa MAXVER, não foi utilizado o canal 7, devido ao fato de que a lâmina d'água de superfície (1mm), neste canal, absorve praticamente toda a radiação eletromagnética dessa faixa espectral, o que faz com que este canl, na matriz de covariância, apresente valor zero. Assim, apesar de usar várias amostras para a classificação temática, o sistema I-100, devido ao valor zero no canal MSS 7, sempre acusa número insuficiente de amostras.

Fazendo-se uso, ainda, dos pontos de amostragem "*in situ*", apliados para a escala de 1:50.000, obtiveram-se os níveis de cinza, em cada um dos quatro canais de MSS/LANDSAT, através do programa Treinamento de Pixel Único ("Single Pixel").

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

Este programa permite ao usuário classificar um só "pixel", que normalmente não é perceptível pelo olho nas 525 linhas do vídeo colorido.

Os "pixels" incluídos dentro e imediatamente ao redor da parte central da posição do cursor em cruz, são exibidos, e os valores de "pixel" (elemento de resolução no terreno) são expressos em níveis de resolução efetiva (General Eletric, 1975) (Figura 3.6).

CANAIS/NSS	*** SINGLE PIXEL TRAINING-VERSÃO C ***						SOMATÓRIO DE LINHA
4	14	14	15	15	15	16	89
5	8	8	8	8	8	8	48
6	5	5	5	5	5	5	30
7	2	2	4	4	4	2	18
4	14	14	15	15	15	16	89
5	8	8	8	8	8	8	48
6	5	5	5	5	5	5	30
7	2	2	4	4	4	2	18
		* * * * * *					
4	15	15 *	15 *	15 *	15	16	91
5	9	9 *	9 *	9 *	9	8	53
6	4	4 *	4 *	4 *	4	3	23
7	4	4 *	4 *	4 *	4	1	21
		* * * * * *					
4	15	15 *	15 *	15 *	15	16	91
5	9	9 *	9 *	9 *	9	8	53
6	4	4 *	4 *	4 *	4	3	23
7	4	4 *	4 *	4 *	4	1	21
		* * * * * *					
4	15	15	15	15	15	16	91
5	9	9	9	9	9	8	53
6	4	4	4	4	4	3	23
7	4	4	4	4	4	1	21
4	15	15	15	15	15	16	91
5	9	9	9	9	9	8	53
6	4	4	4	4	4	3	23
7	4	4	4	4	4	1	21

Fig. 3.6 - Desenho do Single Pixel.

Cada "pixel" consiste em 4 componentes, sendo que os canais do MSS dispõem-se de cima para baixo.

De acordo com a metodologia apresentada por Barker (1975), calcularam-se os valores médios sobre as 6 linhas correspondentes a cada um dos canais (Ex: canal MSS 4 = $\sum X4/N$), para remover as diferenças na radiância, devido à calibração desigual do sensor MSS do LANDSAT.

Este valores médios, para todos os pontos de amostragem "*in situ*" e nos 4 canais do MSS, foram utilizados para fazer a análise de correlação entre profundidade Secchi e reflectância d'água "*in situ*".

PRECEDING PAGE BLANK NOT FILMED

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

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

Todos os mapas obtidos através das análises referentes à bacia abastecedora do reservatório de Três Marias são apresentados nas Figuras do Apêncide C.

4.1.1 - MAPEAMENTO DA REDE DE DRENAGEM

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

Fez-se uma análise dos padrões de drenagem apresentados pela rede, obtendo-se informações sobre a litologia, a estrutura e permeabilidade dos terrenos da bacia abastecedora do reservatório de Três Marias.

Os conceitos de padrões de drenagem utilizados neste trabalho são os enunciados por Ricci e Petri (1965) e Howard (1967).

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 detalhamento, excessão feita à rejeição 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 C.1).

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 e refletido pelo fundo semi-exposto.

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

a) padrão paralelo - ocorre em geral nos rios de maior volume 3ª e 4ª ordens, descrito por Horton em 1945, 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.

Este tipo de padrão de drenagem localiza-se em áreas de declives acentuados, ou onde existem controles estruturais que motivam a ocorrência de espaçamento regular, quase paralelo, dos canais fluviais.

b) padrão dendrítico - ocorre na maior parte da área de estudo (geralmente nos rios de 1ª e 2ª ordens), exceção feita às nascentes dos rios Pará e Paraopeba, e às áreas de relevo tabular.

Este padrão de drenagem sugere a presença de rochas sedimentares, com plano de estratificação horizontal e com ausência de fraturas, como também rochas sedimentares dobradas mas sem zonas ou linhas de menor resistência à erosão. Sugere também a presença de rochas altamente metamórficas ou de depósitos inconsolidados.

Os cursos d'água correm em todas as direções, aparentando não haver nehum controle estrutural sobre os mesmos.

Analisando-se o mapa de drenagem da área de estudo, pode-se constatar a convergência da drenagem para Três Marias, com paralelismos 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.

O padrão paralelo no rio São Francisco, provavelmente, é devido a um controle topográfico ou ainda a um controle litológico exercido por rochas do grupo Bambuí.

O rio Samburá, por apresentar direção geral noroeste- sudeste, foge a este paralelismo, unindo-se ao rio São Francisco, num ângulo de 45°. A direção deste rio está provavelmente condicionada à disposição da serra da Canastra.

Os rios Indaiá e Borrachudo têm a maior parte de seus cursos orientados por linhas de falhas, conforme observado nas imagens do LANDSAT. O rio Borrachudo, em seu trecho inferior, inflete para leste, condicionado, provavelmente, pela mudança de litologia (formação Paraopeba para formação Três Marias), e pela ocorrência de uma região de falhamentos, a qual o rio corta transversalmente, para desaguar no reservatório de Três Marias.

O rio Indaiá apresenta um comportamento semelhante ao do rio Borrachudo.

O rio São Francisco, próximo à nascente, tem direção oeste-leste, paralela à serra da Canastra (seu divisor com o rio Grande), tomando depois a direção sul-norte. A orientação inicial do seu curso está provavelmente condicionada à orientação da serra. Mais à jusante, talvez devido às várias mudanças litológicas encontradas ao longo do seu curso, ele segue a direção geral sul-norte, provavelmente de acordo com os planos de maior fraqueza das rochas, até aingir a barragem de Três Marias.

Os rios Pará e Paraopeba parecem ser controlados, na maioria das vezes, pela estrutura, ou, como ocorre em alguns trechos, por outros fatores. No trecho inferior do rio Paraopeba, pode-se notar com clareza a influência destes fatores na orientação do seu curso.

Na margem direita do rio São Francisco, no trecho compreendido entre o ribeirão Perdizes e o rio São Mateus, os rios apresentam cursos longos (45 Km), profundos e encaixados. Aos interflúvios, amplos (2,410 Km) e com formas de colinas muito semelhantes à forma tabular, correspondem as regiões capeadas por coberturas indiferenciadas, datadas do Pleistoceno-Holoceno. Aos vales, correspondem os aluviões

pertencentes ao Holoceno. Todo este material está capeando rochas do grupo Bambuí, que estão sendo dissecadas pela ação dos rios.

A disposição da drenagem, nesta seção do São Francisco, sugere que o material subjacente estaria condicionando a direção geral dos rios (leste-oeste), talvez devido à presença de linhas de falhas.

As áreas de padrão de drenagem dendrítico apresentam uma densidade de drenagem elevada e 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, em áreas de relevos colinosos associados à ocorrência de cristas modeladas em rochas do grupo Bambuí - Pré-cambriano/Cambriano, ou em formações Mata da Corda e Areado-Cretáceo (Menezes et alii, 1977).

Nas áreas de relevos tabulares, como ao redor do reservatório de Três Marias, em alguns trechos entre os rios Pará e Paraopeba, ou em alguns trechos ao longo da margem esquerda do rio São Francisco, 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. De acordo com Howard (1967), este padrão é uma variação do padrão dendrítico. Estas variações são provavelmente decorrentes do controle regional secundário, ou seja, do controle estrutural.

Na área de estudo, este padrão se desenvolve sobre áreas de coberturas indiferenciadas, datadas do Pleistoceno (correspondendo em geral aos interflúvios), intercaladas 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, pode-se notar a presença de um modelo de drenagem, considerado por Ricci e Petri (1965) como uma modificação do padrão dentrítico que é o padrão retangular-dendrítico.

Este padrão pode ocorrer em um complexo rochoso essencialmente homogêneo, cortado por sistemas de fraturas intercruzadas com malhas relativamente grandes. Os rios principais, colocando-se subsequentemente sobre tais planos de menor resistência, formam um modelo retangular (ou angular), enquanto os blocos de rochas, isolados pelas fraturas, são drenados por tributários insequentes, formando modelos dendríticos locais.

Nas cabeceiras dos rios Pará e Paraopeba, onde se observa este padrão, os rios de maior porte 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-dentrítico 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 LANDSAT e da análise estatística das unidades fotomorfológicas, permitiram a compartimentação da área de estudo, conforme Figura C.2.

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 falhas, 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.

Considerando-se os dados retirados das imagens (diferenças de textura fotográfica, densidade hidrográfica, bem como categorias de dissecação), constatou-se que, em geral, as áreas de colinas, nas imagens do canal MSS 7, apresentam uma textura fotográfica de rugosidade média, com frequência elevada de canais de drenagem. Esta rugosidade permite diferenciar uma unidade de colinas de outra, através do que aparenta ser um maior ou menor entalhe vertical dos canais e mudanças na densidade hidrográfica.

A textura fotográfica indica que os vales são mais largos, sugerindo formas de relevos mais arredondadas.

Nas imagens do canal MSS 5, as áreas de colinas estão geralmente associadas às tonalidades de cinza, variando de médio a claro, sugerindo, por isto, variações no tipo de cobertura vegetal, bem como diferenças na densidade da mesma.

No canal MSS 7, as áreas de formas tabulares aparecem como superfícies de textura lisa, homogênea, geralmente com um número pequeno de canais de drenagem, havendo em alguns casos, o que se supõe serem diferenças no entalhamento dos canais e na densidade hidrográ

fica. No canal MSS 5 estas áreas correspondem às tonalidades de cinza escuro, sugerindo uma cobertura vegetal densa e processos erosivos pouco acentuados.

As cristas, nas imagens LANDSAT, do canal MSS 7, aparecem sempre associadas às formas colinosas, sendo mais evidenciadas que as primeiras, por serem topograficamente mais elevadas e de aspecto linear, ocorrendo sempre de forma esporádica. Estas áreas de associações de colinas com cristas sempre apresentam um número elevado de canais de drenagem, sendo, em alguns casos, difícil defini-los, mesmo através de mata galeria no canal MSS 5. A textura fotográfica destas áreas é, em alguns trechos, bastante rugosa.

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

1 - T_1III	8 - C_3I	15 - C_k1 II
2 - C_k1 I	9 - T_3II	16 - C_1II
3 - C_2I	10 - C_1I	17 - $T_3$1
4 - C_k3 I	11 - T_1II	18 - C_k1 III
5 - C_k2 I	12 - T_2I	19 - C_k2 II
6 - $T_1$1	13 - C_1III	
7 - T_2II	14 - C_2II	

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

Apresentam-se os resultados das análises de Variância e de Menor Diferença Significativa (MDS), realizadas para os dados morfométricos extraídos das imagens LANDSAT e para as cartas topográficas.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

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 morfológica da área, vistas a seguir:

a) Variáveis morfométricas extraídas das imagens MSS - LANDSAT

- Textura da Topografia.

Pela análise quantitativa do Índice de Textura da Topografia, que informa sobre o grau de entalhamento e dissecação da superfície terrestre, pôde-se verificar que esta variável é a mais discriminatória para a separação das diferentes unidades.

As Tabelas 4.1 e 4.2 apresentam os resultados da análise de Variância e da MDS, realizadas para o Índice de Textura da Topografia.

TABELA 4.1

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS ÍNDICES DE TEXTURA DA TOPOGRAFIA

FONTE DE VARIAÇÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F CALCULADO	F TABELADO
TRATAMENTO	18	65,88	3,66	40,6**	2,26
ERRO	95	8,7	0,09		
TOTAL	113	74,58	3,75		

** *significante ao nível de 0,01*

FONTE: Steel e Torrie (1960), p. 436.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

TABELA 4.2

TESTE DA MENOR DIFERENÇA SIGNIFICATIVA PARA AS 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_2II	(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) Ck_3I
0,44	0,20 - 0,38 - 0,40 - 0,53 - 0,56 - 0,61 - 0,65 - 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), p. 440

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

1) Representada pelas médias de 0,20 a 0,61 rios/km e constituída por terrenos de formas colinosas, suavemente onduladas, que se confundem algumas vezes com relevos tabulares por apresentarem topos relativamente planos, porém com vertentes de formas côncavo - convexas. Em alguns casos estão associadas à ocorrência esporádica de cristas. Estas unidades geralmente ocorrem em áreas de transição para o cristalino.

2) Representada pelas médias de 0,61 a 0,98 rios/km e constituída por relevos de formas tabulares, apresentando topos planos e vertentes mais abruptas. Geralmente estas unidades localizam-se em áreas com terrenos sedimentares.

3) Representada pelas médias de 1,58 a 2,01 rios/km e constituída por relevos de formas colinosas, com vertentes de formas convexas a côncavo-convexas.

4) Representada pelas médias de 2,10 a 2,20 rios/km e constituída por terrenos de formas colinosas, suavemente ondulados, associados à ocorrência esporádica de cristas, com vertentes do tipo côncavo-convexo.

5) Representada pelas médias de 2,20 a 2,63 rios/km e constituída por unidades de relevos colinosos, associados à ocorrência de cristas, com vertentes do tipo convexo a côncavo-convexo. Nestas unidades geralmente o relevo apresenta-se bastante movimentado, havendo a ocorrência de falhas e fraturas.

C-2

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

- Densidade de Drenagem

Pela análise de variância, pôde-se verificar que a variável morfométrica "Densidade de Drenagem", que fornece informações sobre a permeabilidade de uma área, apresentou-se muito discriminatória para à separação das diferentes unidades morfológicas.

As Tabelas 4.3 e 4.4 apresentam os resultados da análise de variância e da MDS, realizadas para o índice de densidade de drenagem.

TABELA 4.3

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS ÍNDICES DE DENSIDADE DE DRENAGEM

FONTES DE VARIAÇÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F CALCULADO	F TABELADO
TRATAMENTO	18	1,024	0,056	12,44**	2,26
ERRO	95	0,431	0,0045		
TOTAL	113	1,455	0,0605		

** *significante ao nível de 0,01*

FONTE: Steel e Torrie (1960), p. 436.

TABELA 4.4

TESTE DA MENOR DIFERENÇA SIGNIFICATIVA PARA AS CLASSES DE DENSIDADE DE DRENAGEM

VALOR DA MDS A NÍVEL DE 0,01	CLASSES																		
	(13) C_1III	(14) C_2II	(15) Ck_1II	(19) Ck_2II	(1) T_1III	(18) T_3III	(16) C_1II	(6) T_1I	(7) T_2II	(9) T_3II	(17) T_3I	(11) T_1II	(10) C_1I	(5) Ck_2I	(2) Ck_1I	(12) T_2I	(4) Ck_3I	(3) C_2I	(8) C_3I
0,10	0,141 -	0,186 -	0,192 -	0,213 -	0,221 -	0,224 -	0,226 -	0,230 -	0,238 -	0,240 -	0,256 -	0,301 -	0,357 -	0,361 -	0,421 -	0,421 -	0,428 -	0,437 -	0,450
	1a.																		
										2a.									
												3a.							
														4a.					

FONTE: Steel e Torrie (1960), p. 440

ORIGINAL PAGE IS OF POOR QUALITY

O teste da MDS apresentou quatro classes, a saber:

1) Representada pelas médias de 0,141 a 0,240 km/km² e constituída por relevos colinosos suavemente ondulados ou relevos tabulares, com vales amplos e canais de drenagem de comprimentos de longo a médio.

2) Representada pelas médias de 0,240 a 0,301 km/km² e constituída por terrenos de formas tabulares, com vales mais estreitos que os da primeira classe e canais de drenagem de comprimentos médios.

3) Representada pelas médias de 0,301 a 0,361 km/km² e constituída por relevos de colinas e de colinas associadas a ocorrência de cristas, com vales estreitos e canais de drenagem com cursos pequenos.

4) Representada pelas médias de 0,361 a 0,450 km/km² e com as mesmas características da classe anterior.

A dificuldade na identificação da rede de drenagem em algumas áreas, aliada à grande variabilidade entre as amostras de uma mesma unidade, afetaram o poder discriminatório desta variável. Assim, apesar das duas últimas classes apresentarem características semelhantes, elas foram classificadas como duas classes distintas.

- Extensão do Percurso Superficial

A análise de variância desta variável, relacionada com o comprimento das vertentes, indicou ser, esta, uma variável discriminatória para a separação das diferentes unidades morfológicas.

As Tabelas 4.5 e 4.6 apresentam os resultados da análise de variância e da MDS, realizadas para o índice de Extensão do Percurso Superficial.

TABELA 4.5

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO ÍNDICE DE EXTENSÃO DO PERCURSO SUPERFICIAL

FONTES DE VARIAÇÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F CALCULADO	T TABELADO
TRATAMENTO	18	55,322	3,07	10,23**	2,26
ERRO	95	28,626	0,30		
TOTAL	113	83,948	3,37		

** *significante ao nível de 0,01*

FONTE: Steel e Torrie (1960), p. 436.

O teste da MDS apresentou quatro classes de extensão do percurso superficial, a saber:

1) Representada pelas médias de 1,21 a 1,699 km e constituída, em geral, de relevos de colinas ou de colinas associadas à cristas, com as vertentes apresentando pouca extensão.

2) Representada pelas médias de 1,699 a 2,290 km e constituída, em geral, de unidades de relevos tabulares, com as vertentes apresentando extensão maiores que as da primeira classe.

3) Representada pelas médias de 2,290 a 2,804 km e constituída, em geral, de relevos de colinas associadas a cristas ou de relevos tabulares, com as vertentes apresentando extensões mais longas.

4) Representada pela média de 3,801 km e constituída de relevos de colinas extremamente suaves, com as vertentes apresentando uma grande extensão.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

TABELA 4.6

TESTE DA MENOR DIFERENÇA SIGNIFICATIVA PARA AS CLASSES DE EXTENSÃO DO PERCURSO SUPERFICIAL

VALOR DA MDS A NÍVEL DE 0,01	CLASSES																		
	(3) C_3I	(4) Ck_3I	(12) T_2I	(2) Ck_1I	(3) C_2I	(5) Ck_2I	(10) C_1I	(11) T_1II	(17) T_3I	(7) T_2II	(9) T_3I	(16) C_1II	(6) T_1I	(18) T_3III	(1) T_1III	(19) Ck_2II	(14) C_2II	(15) Ck_1II	(13) C_1III
0,61	1,121	1,188	1,229	1,239	1,255	1,406	1,425	1,699	2,100	2,170	2,1[illegible]5	2,290	2,315	2,410	2,436	2,511	2,723	2,804	3,801
	1a.								2a.				3a.						4a.

FONTE: Steel e Torrie (1960), p. 440

b) Variáveis morfométricas extraídas das cartas topográficas.

- Amplitude Média.

A variável Amplitude Média teve como objetivo verificar se os índices atribuídos visualmente à intensidade de dissecação vertical estavam coerentes, uma vez que as imagens LANDSAT não permitem visão estereoscópica, o que dificulta a definição da profundidade dos canais de drenagem.

Pela análise de variância pôde-se verificar que esta variável é discriminatória para a separação das unidades morfológicas.

As Tabelas 4.7 e 4.8 apresentam os resultados das análises de variância e da MDS, realizadas para o índice de Amplitude Média.

TABELA 4.7

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO ÍNDICE DE AMPLITUDE MÉDIA

FONTES DE VARIÂNCIA	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F CALCULADO	F TABELADO
TRATAMENTO	18	165519	9195,5	6,22*	2,26
ERRO	95	140311	1476,95		
TOTAL	113	305830	10672,45		

** *significante a nível de 0,01*

FONTE: Steel e Torrie (1960),p. 436

TABELA 4.8

TESTE DA MENOR DIFERENÇA SIGNIFICATIVA PARA AS CLASSES DE AMPLITUDE MÉDIA

VALOR DA NDS A NÍVEL DE 0,01	CLASSES																		
	(1) T_1III	(10) C_1I	(6) T_1I	(13) C_1III	(14) C_2II	(7) T_2II	(12) T_2I	(2) Ck_1I	(16) C_1II	(11) T_1II	(3) C_2I	(17) T_2II	(5) Ck_2I	(4) Ck_3I	(8) C_3I	(9) T_3II	(18) T_3III	(15) Ck_1II	(19) Ck_2II
58,2	31,6 -	40,0 -	41,6 -	44,16 -	45,0 -	49,83 -	52,66 -	55,0 -	60,0 -	66,6 -	94,16 -	96,6 -	100 -	110 -	113,3 -	116,6 -	123,3 -	136,3 -	166,6
	1a.										2a.							3a.	

FONTE: Steel e Torrie (1960), p. 410

ORIGINAL PAGE IS OF POOR QUALITY

O teste da MDS apresentou três classes de amplitude média, sem levar em consideração as formas de relevo. As classes obtidas foram:

1) Representada pelas médias de 31,6 a 66,6 metros, corresponde a unidades com canais de drenagem, cuja intensidade de dissecação vertical varia de pequena a média.

2) Representada pelas médias de 66,6 a 123,3 metros, corresponde a unidades com canais de drenagem, cuja intensidade de dissecação vertical varia de média a grande.

3) Representada pelas médias de 123,3 a 166,6 metros, corresponde a unidades com canais de drenagem, cuja intensidade de dissecação vertical é grande.

- Altitude Média

Apesar de esta variável ter apresentado um valor significativo na análise de variância, não foi utilizada como variável discriminatória para a separação das unidades morfológicas. Somente duas classes foram obtidas através da MDS, sendo que a primeira delas englo ba 90% da área de estudo, o que impossibilitou a separação das diferentes unidades, através deste teste estatístico.

Na área da Bacia Sedimentar do São Francisco, onde afloram as formações Três Marias, Paraopeba, Areado e Mata da Corda, as variações de altitude são da ordem de 200 metros. No alto curso do rio São Francisco, quando o mesmo atravessa a serra da Canastra, ou num trecho de superfícies tabulares conservadas ao longo do rio Borrachudo, as variações de altitudes são da ordem de 400 metros.

As Tabela 4.9 e 4.10 apresentam os resultados das análises de variância e da MDS, realizadas para o índice de altitude média.

O teste da MDS permitiu a separação de duas classes distintas, independentes das formas de relevo:

1) Representada pelas médias de 601,16 a 851,6 metros e correspondendo a 90% da área de estudo, engloba unidades de colinas, associadas a cristas e tabuleiros.

2) Representada pelas médias de 1050 a 1130,3 metros e correspondendo aos 10% restantes da área de estudo, caracteriza-se por unidades tabulares e chapadões.

TABELA 4.9

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO ÍNDICE DE ALTITUDE MÉDIA

FONTES DE VARIAÇÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F CALCULADO	F TABELADO
TRATAMENTO	18	11.878.159	659.892,72	6,88**	2,26
ERRO	95	9.103.911	95830,64		
TOTAL	113	20.982.070	755.728,38		

** *significante ao nível de 0,01*

FONTE: Steel e Torrie (1960), p. 436

A análise visual e a análise das variáveis morfométricas discriminatórias permitiram realizar uma compartimentação geomorfológica da área de estudo.

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.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

TABELA 4.10

TESTE DA MENOR DIFERENÇA SIGNIFICATIVA PARA AS CLASSES DE ALTITUDE MÉDIA

VALOR DA MDS A NÍVEL DE 0,01	CLASSES																	
	(1) T_1III	(10) C_1I	(2) Ck_1I	(13) C_1III	(8) C_3I	(12) C_2II	(7) T_2II	(6) T_1I	(3) C_2I	(17) T_3I	(16) C_1II	(11) T_1II	(4) Ck_3I	(5) Ck_2I	(19) Ck_2II	(15) Ck_1II	(9) T_3II	(18) T_3III
356,25	601,1 -	633,3 -	644,1 -	673,3 -	676,6 -	676,6 -	678,5 -	687,5 -	712,5 -	730,5 -	736,5 -	793,3 -	801,6 -	812,2 -	830,0 -	851,6 -	1050 -	1130,3
	1a.																2a.	

FONTE: Steel e Torrie (1960), p. 440

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. Em alguns pontos, devido à pequena extensão da área da unidade analisada ou à drenagem que aparece difusa nas imagens, também não foi possível defini-la com precisão.

Geralmente, quando se trabalha com imagens LANDSAT para estudos de geomorfologia, faz-se uso de dados morfométricos que tenham por base a rede de drenagem, e/ou leva-se em consideração as variações de textura e tonalidade fotográfica, uma vez que as mesmas não permitem visão estereoscópica, impossibilitando o uso de dados altimétricos extraídos das imagens.

A falta do efeito estereoscópico destas imagens, e a disposição dos cursos d'água, fez com que a unidade 15 (Tabela 4.10) fosse inicialmente classificada como CklII. Isto é, uma unidade com canais de drenagem pouco profundos e amplitude lateral média.

Após a análise estatística das variáveis morfométricas e observações de campo, constatou-se que esta é uma unidade de relevos colinosos, associados à ocorrência de cristas, com canais de drenagem de grande profundidade e com grande amplitude lateral (CK3III).

Através da análise dos dados morfométricos e das observações feitas no campo, pôde-se constatar também que as unidades 2 (C_kl I) e 12(T_2I) apresentavam as mesmas características.

A unidade 12 foi classificada, inicialmente, através da análise visual, como uma unidade de relevos tabulares, muito dissecada, com canais de drenagem de profundidade média e com pequena amplitude lateral.

Um dos motivos que ocasionou esta classificação errônea, foi o fato de esta unidade aparecer de forma intercalada com outras unidades tabulares, o que deu a percepção visual de relevos suavizados.

Inicialmente, a unidade 6(T_1I) foi classificada como uma área com amplitude lateral pequena. Durante os trabalhos de campo e as análises dos dados morfométricos, constatou-se que ela apresentava as mesmas características da unidade 11(T_1II), isto é, unidade de relevos tabulares, com canais de drenagem de pequana profundidade e com média amplitude lateral.

Um dos motivos que favoreceu este erro de classificação foi a diferença da extensão das áreas das respectivas unidades. Como a extensão da área da unidade 6 é bem maior que a da unidade 11, foi possível ver os rios de primeira ordem, que correm de forma paralela e dão ao observador a percepção visual de maior frequência de rios naquela unidade, em relação a esta última. Além disto, a drenagem na unidade 6 aparece mais difusa que na 11, o que favorece o aumento da sensação de maior rugosidade.

3) Compartimentação das unidades de padrões de dissecação do relevo da área de estudo.

Ao ser feita a montagem do mapa final da compartimentação das unidades de padrões de dissecação do relevo da área de estudo, obteve-se uma idéia da distribuição espacial dos compartimentos caracterizados.

Assim, pode-se observar que há um predomínio das unidades de formas colinosas sobre as unidades tabulares. Caracterizaram-se unidades de formas tabulares e 11 de formas colinosas.

As primeiras localizam-se geralmente ao redor do reservatório de Três Marias, ou em áreas próximas a ele. Nas nascentes do São Francisco ou ao longo do rio Borrachudo, encontram-se algumas unidades tabulares residuais, porém pouco extensas.

As unidades colinosas localizam-se no restante da área de estudo. As unidades de maior expressão em área são a Ck_3I e Ck_2I; esta última ocupa mais ou menos 30% da área de estudo e ocorre, em sua maior parte, nos alto e médio cursos dos rios Pará e Paraopeba.

A área de estudo é caracterizada de forma mais expressiva, por cinco grandes unidades, T_1III, Ck_2I, Ck_1I, Ck_2I e Ck_3I, com o predomínio das formas colinosas sobre as tabulares.

Estas unidades colinosas geralmente apresentam densidade hidrográfica elevada, vertentes cujas formas variam de convexas à côncavo-convexas e, em alguns trechos, apresentam processos de erosão acelerada. A litologia encontrada é em geral composta de rochas sedimentares (ao norte da área de estudo), ou rochas cristalinas (ao sul).

A Tabela 4.11 descreve as 17 unidades geomorfológicas obtidas com este estudo.

4.1.3 - MAPEAMENTO ESQUEMÁTICO DO USO DO SOLO

Após a realização das três etapas de coleta de dados (análise visual, trabalho de campo e revisão bibliográfica), definiu-se a legenda final do mapa esquemático do uso do solo, englobando - se 14 diferentes unidades (Figura C.3).

A partir das observações de campo definiram-se outras unidades, além das mencionadas no Capítulo 3. Convém lembrar que a vegetação de Cerrado (*Lato Sensu*) por apresentar diferentes graus de biomassa, pode ser separada, conforme Eiten (1974), em 5 unidades fisionômicas: cerradão, cerrado (*Stricto Sensu*), campo cerrado, campo sujo de cerrado e campo limpo.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

TABELA 4.11

DESCRIÇÃO DAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

UNIDADE	MORFOLOGIA	DRENAGEM	GEOLOGIA	ALTITUDE (M)	OBSERVAÇÕES
T_3III	De acôrdo com a textura da topografia (0,53 rios/km) e as observações de campo, esta é uma unidade de relevos de tabuleiros, com vertentes do tipo retilíneo. A extensão do percurso superficial é de 2,410 km, sendo as vertentes de comprimentos médios a grandes, sugerindo grande amplitude lateral.	Os canais de drenagem apresentam cursos longos, a densidade de drenagem é de 0,224 km/km², a profundidade dos canais de drenagem é grande, sendo a amplitude média de 123 metros.	Falta informações.	1130	Não há informações.
T_1III	As observações de campo e a textura da topografia (0,66 rios/km) dizem que esta é uma unidade de formas tabulares, com topos planos, superfícies conservadas, vertentes retilíneas. As vertentes apresentam-se longas, tendo em média 2,43 km, sugerindo amplitude lateral grande.	Os canais de drenagem apresentam pouca profundidade, sendo a amplitude média de 32 metros. A densidade hidrográfica é baixa, tendo os canais em geral, cursos muito longos, sendo por isso a densidade de drenagem de 0,22 km/km².	Esta unidade é modelada em terrenos de coberturas indiferenciadas datadas do Pleistoceno/Holoceno, ao redor do reservatório de Três Marias ou em áreas de intercalações destas coberturas detríticas com as rochas da formação Paraopeba, grupo Bambuí, Pré-cambriano (ardósias calcíferas ou não, margas, calcarenitos, argilitos, siltitos e arenitos finos) na região ao sul deste reservatório (Menezes et alii, 1977).	600	Conforme observações de campo, em alguns trechos o solo é proveniente de um colúvio, com mais de 2 metros de espessura, de cor vermelho-escuro; em outros o solo apresenta profundidade maior do que 1,5 metros e de cor vermelho-escuro ou vermelho-amarelo.

(continua)

Tabela 4.11 - Continuação

UNIDADE	MORFOLOGIA	DRENAGEM	GEOLOGIA	ALTITUDE (M)	OBSERVAÇÕES
T_1II	É uma unidade de formas tabulares com topos planos e vertentes retilíneas e convexas. Os valores de textura da topografia (0,74 rios/km) sugerem ser esta uma unidade em estágio inicial de dissecação, porém mais dissecada do que a unidade anterior. As vertentes apresentam 2,00 km, sugerindo amplitude lateral média.	A profundidade dos canais de drenagem é pequena (54 m) e o comprimento dos cursos varia de médio a longo (0,260 km/km).	Esta unidade está modelada em terrenos da formação Paraopeba, grupo Bambuí, Pré-cambriano/cambriano ou em áreas de Coberturas Indiferenciadas datadas do Terciário/Quaternário (coberturas areno-argilosas de coloração avermelhada, com blocos de canga ferruginosa e concreções lateríticas) (Menezes et alli, 1977).	740	Falta informações.
T_1I	É uma unidade de relevos de formas tabulares, com topos planos, tendo vertentes do tipo retilíneo a convexo, estando num estágio de dissecação mais avançado do que o da unidade anterior. Devido a alta densidade hidrográfica, não foi possível definir-se com clareza os canais de drenagem durante a análise visual, sendo pois os valores de textura da topografia de 2,81 rios/km. As vertentes apresentam comprimentos de pequenos a médios, tendo em geral 2,170 km.	Os canais de drenagem apresentam pouca profundidade, tendo em média uma amplitude vertical de 50 metros. Os cursos apresentam comprimentos médios a pequenos, sendo a densidade de drenagem de 0,235 km. A amplitude lateral é pequena, sendo a extensão das vertentes também pequena.	Falta informações.	678	Falta informações.

(continua)

ORIGINAL PAGE IS OF POOR QUALITY

Tabela 4.11 - Continuação

UNIDADE	MORFOLOGIA	DRENAGEM	GEOLOGIA	ALTITUDE (M)	OBSERVAÇÕES
T_2II	De acordo com a textura da topografia (0,93 rios/km) e os dados de campo, esta é uma unidade de relevos tabulares com vertentes do tipo retilíneo a convexo; as vertentes apresentam extensão média (2,100 km), sugerindo uma amplitude lateral média.	Os canais de drenagem apresentam profundidade média (96 m), com cursos de comprimentos médios (0,256 km/km²).	Não há informações.	730	Em alguns pontos de amostragem analisados nos trabalhos de campo, a camada superficial do terreno é constituída por um colúvio pedogenizado, com mais de 1 metro de espessura e cor vermelho escuro.
T_1I	Esta é uma unidade residual de forma tabular de pequena extensão, tendo vertentes do tipo retilíneo e front abrupto. Das unidades de relevo tabular, esta foi a que apresentou um estágio mais avançado de entalhamento e dissecação, conforme os valores de textura da topografia (0,98 rios/km). As vertentes têm comprimentos médios (2,195 km), indicando amplitude lateral média.	Os rios principais apresentam cursos bastante longos, chegando mesmo a ter quase a mesma extensão da unidade. Já os rios de primeira ordem apresentam cursos pequenos uma densidade hidrográfica elevada. Assim, a densidade de drenagem da área é de 0,240 km/km².	Esta unidade é modelada em terrenos da formação Mata da Corda, Turoniano-Senoniano lavas de natureza alcalina-ultrabásicas, tufos, tufitos e aglomerados vulcânicos (Menezes et alli, 1977).	1250	As observações feitas em diferentes pontos de amostragem no campo permitiram constatar que a camada superficial do terreno é proveniente de um colúvio com uma profundidade em torno de 2 metros, de cor vermelho-escuro ou vermelho-amarelo.

(continua)

ORIGINAL PAGE IS OF POOR QUALITY

Tabela 4.11 - Continuação

UNIDADE	MORFOLOGIA	DRENAGEM	GEOLOGIA	ALTITUDE (M)	OBSERVAÇÕES
C_1III	As observações de campo e os valores de textura da topografia (0,20 rios/km) indicam que esta é uma unidade de colinas extremamente suaves, chegando mesmo a confundir-se com relevos tabulares. As vertentes são do tipo côncavo-convexo, a extensão do percurso superficial é de 3,801 km, indicando amplitude lateral muito grande e vertentes muito longas.	Os canais de drenagem apresentam profundidade pequena (44 m), sendo a densidade de drenagem de 0,141 km/km², o que indica canais de drenagem com cursos muito longos.	Esta unidade é modelada em terrenos de coberturas indiferenciadas datadas do Pleistoceno/Holoceno e regiões do Pré-cambriano indiferenciado, associação Gnáissica Migmatítica - gnaisse, xistos migmatíticos e granitos-(Menezes et alii, 1977)	673	Não há informações.
C_1II	É uma unidade de colinas, com vertentes do tipo côncavo-convexo, com pequeno grau de dissecação, de acordo com a textura da topografia (0,56 rios/km). A extensão do percurso superficial é de 2,723 km, indicando vertentes com comprimentos médios a longos e conseqüentemente, amplitude lateral média.	Os canais de drenagem são pouco profundos (45 m), a densidade de drenagem é de 0,186 km/km², indicando canais de comprimentos longos a médio.	Falta informações.	676	Não há informações.

(continua)

ORIGINAL PAGE IS OF POOR QUALITY

Tabela 4.11 - Continuação

UNIDADE	MORFOLOGIA	DRENAGEM	GEOLOGIA	ALTITUDE (M)	OBSERVAÇÕES
C_1I	Os dados de campo e de textura da topografia (1,50 rios/km) indicam ser esta uma unidade de colinas, com vertentes do tipo côncavo-convexo. A extensão do percurso superficial é de 1,425 km, sugerindo vertentes pequenas e consequentemente uma amplitude pequena.	A profundidade dos canais de drenagem é pequena tendo uma amplitude média de 40 metros. A densidade de drenagem é de 0,357 km/km², indicando cursos de pequena extensão.	Esta unidade é modelada em terrenos da formação Três Marias, Pré-cambriano/cambriano - siltitos calcíferos, siltitos arcosianos, arcósios, arenitos e conglomerados -(Menezes et alii, 1977).	633	Não há informações.
C_2II	Conforme as observações de campo e os valores de textura da topografia (0,40 rios/km), está é uma unidade de colinas suavemente ondulada, com vertentes do tipo côncavo-convexo. A extensão do percurso superficial é de 2,290 km o que indica vertentes de comprimento médio e, consequentemente, uma amplitude lateral média.	Os canais de drenagem são de média profundidade (60 m), com uma densidade de drenagem de 0,226 km/km² indicando que os cursos d'água variam de longos a médios.	Falta informações.	736	De acordo com os dados coletados em campo, a camada superficial do terreno é um material pedogenizado, com mais de 1 metro de espessura, e de coloração vermelho-escuro.

(continua)

ORIGINAL PAGE IS OF POOR QUALITY

Tabela 4.11 - Continuação

UNIDADE	MORFOLOGIA	DRENAGEM	GEOLOGIA	ALTITUDE (M)	OBSERVAÇÕES
C_2I	De acordo com os dados de campo e dados de textura da topografia (1,68 rios/km), pode-se concluir que esta é uma unidade de relevo de formas colinosas, algumas do tipo mamelonar, com topos arredondados, e vertentes do tipo convexo a côncavo-convexo. As vertentes são pequenas (1,255 km), sugerindo uma amplitude lateral pequena.	Os canais de drenagem são de média profundidade, tendo uma amplitude média de 94 metros. O comprimento dos canais varia de longos (rios principais) até pequenos (rios de primeira ordem), sendo esses últimos em número elevado, o que faz com que esta área tenha uma alta densidade de drenagem (0437 km/km²).	Esta unidade está modelada em terrenos de três diferentes formações: coberturas indiferenciadas datadas do Terciário/Quaternário; formação Areado, fácies Conglomerado Abaetê, Cretáceo, Aptiano-Albiano (conglomerados, arenitos grosseiro e arenitos líticos) e finalmente a formação Três Marias do grupo Bambuí, (Menezes et alii, 1977).		Não há informações.
C_3I	De acordo com as observações de campo e os valores de textura da topografia (2,01 rios/km), esta é uma unidade em fase inicial de dissecação, com formas bem definidas sendo o relevo de formas colinosas e as vertentes do tipo convexo. As vertentes são pequenas (1,121 km), indicando uma amplitude lateral pequena.	Os canais de drenagem apresentam grande profundidade, tendo uma amplitude média de 113 metros e vales relativamente estreitos. Os rios principais apresentam cursos de tamanho médio e os secundários, cursos pequenos, que aliados a um número elevado de canais, faz com que esta unidade apresente a mais alta densidade de drenagem (0,450 km/km²) entre todas as unidades estudadas.	Esta unidade está modelada em terrenos pertencentes a formação Três Marias, do grupo Bambuí (Menezes et alii, 1977).	676	Não há informações.

(continua)

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

Tabela 4.11 - Continuação

UNIDADE	MORFOLOGIA	DRENAGEM	GEOLOGIA	ALTITUDE (M)	OBSERVAÇÕES
Ck,III	As análises morfométricas e as observações de campo levam a concluir que esta é uma unidade de colinas associadas à ocorrência esporádica de cristas, conforme pode ser observados pelos valores de textura da topografia (0,38 rios/km), tendo vertentes do tipo côncavo a côncavo - convexo. A extensão do percurso superficial é de 2,804 km, sugerindo vertentes longas e consequentemente uma amplitude lateral grande.	Os canais de drenagem apresentam cursos longos, tendo pois uma densidade de drenagem de 0,192 km/km². A profundidade dos canais de drenagem é grande, tendo uma amplitude média de 136 metros.	Esta unidade é modelada em terrenos do Pré-cambriano indiferenciado, associação Gnaissica-Migmatítica e uma área de intercalações de argilitos e siltitos, pertencentes à formação Paraopeba do grupo Bambuí (Menezes et alii, 1977).	850	Não há informações.
Ck,I	De acordo com os valores de textura da topografia (2,63 rios/km) e as observações de campo, esta é uma unidade de relevo bastante rigoroso, com formas definidas, numa fase inicial de dissecação. Seu relevo é de formas colinosas associadas à ocorrência esporádica de cristas, tendo vertentes do tipo convexo. Nesta unidade foi observado um grande número de fraturas e falhas. A extensão do percurso superficial do terreno é de 1,188 km, sugerindo vertentes pequenas e uma amplitude lateral pequena.	Os canais de drenagem são encaixados, controlados muitas vezes pela estrutura, com vales estreitos, tendo uma amplitude média de 110 m. Os cursos são pequenos e em número muito elevado, sendo a densidade de drenagem de 0,428 km/km².	Esta unidade é modelada em terrenos de três diferentes formações: formação Mata da Corda, datada do Turoniano-Senoniano; uma região representada pela unidade de topo da formação Paraopeba que se constitui numa transição para a formação Três Marias, fácies silto-arenosa, e, finalmente, a formação Paraopeba, do grupo Bambuí (Menezes et alii, 1977).	800	Não há informações.

(continua)

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

Tabela 4.11 - Continuação

UNIDADE	MORFOLOGIA	DRENAGEM	GEOLOGIA	ALTITUDE (M)	OBSERVAÇÕES
Ck_2II	Esta é uma unidade de colinas com vertentes do tipo convexo a côncavo-convexo, associada a ocorrência de cristas, conforme pôde ser observado pelos valores de textura da topografia (0,66 rios/km) e pelos trabalhos de campo. A extensão do percurso superficial é de 2,51 km, sendo as vertentes de comprimentos médios a longos, sugerindo amplitude lateral média.	Os canais de drenagem apresentam cursos de comprimento médio, sendo a densidade de drenagem de 0,243 km/km². Os canais de drenagem tem uma profundidade média, e em geral uma amplitude média de 80 m.	Falta informações.	830	Não há informações.
Ck_2I	De acôrdo com as observações de campo e os valores de textura da topografia (2,53 rios/km), esta é uma unidade de relevo de colinas com vertentes do tipo convexo a côncavo-convexo associada a ocorrência de linhas de cristas. A extensão do percurso superficial é de 1,406 km, sugerindo vertentes de pequena extensão e consequentemente uma amplitude lateral pequena.	A profundidade dos canais de drenagem é média, sendo a amplitude média de 100 metros. Os cursos dos rios apresentam comprimentos de médio a pequenos com um número elevado de canais, principalmente os de primeira ordem, fazendo com que esta unidade tenha uma densidade de drenagem de 0,361 km/km².	Esta unidade é modelada em terrenos da formação Três Marias, grupo Bambuí e da Associação Gnaissica-Migmatítica, Pré-Cambriano (Menezes et alii, 1977).	812	Não há informações.

(continua)

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

Tabela 4.11 - Conclusão

UNIDADE	MORFOLOGIA	DRENAGEM	GEOLOGIA	ALTITUDE (M)	OBSERVAÇÕES
Ck_1I	Esta é uma unidade de formas colinosas, suavemente onduladas, com vertentes do tipo convexo à côncavo-convexo, associadas à ocorrência esporádica de cristas, conforme os valores da textura da topografia (3,36 rios/km). A extensão do percurso superficial é de 1,234 km, sendo as vertentes de pouca extensão, sugerindo amplitude lateral pequena.	Os canais de drenagem apresentam pouca profundidade (54 metros), sendo os cursos de comprimentos médio a pequeno, havendo um número elevado de canais, principalmente os de primeira ordem, e a densidade de drenagem de 0,421 km/km².	Esta unidade é modelada, em alguns trechos, em terrenos da formação Paraopeba, do grupo Bambuí (Menezes et alii, 1977).	664	Falta informações.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

As unidades definidas a partir dos dados de campo foram:

a) alterado - todas as unidades que apresentavam sua vegetação original alterada (agricultura, solo exposto, etc) devido à ocupação humana, mas mantendo ainda características da vegetação predominante.

b) reflorestamento - áreas com plantio de eucalipto.

c) áreas agrícolas ou solo preparado - aquelas ocupadas por atividades agrícolas, geralmente temporárias, com períodos em que o solo é preparado para o plantio.

d) cerrado (*Lato Sensu*) - esta unidade engloba áreas com associações de formas de cerrado, apresentando um gradiente intenso de biomassa por unidade de área. (Esta variação em termos de biomassa é explicada por não haver predominância de determinada unidade fisionômica de cerrado).

Levando-se em consideração as definições acima, as unidades que constam da legenda final do mapa esquemático de uso do solo foram designadas com o nome da forma predominante de vegetação, na área por elas ocupadas.

As unidades relacionadas abaixo, encontram-se descritas na Tabela 4.12.

a) áreas agrícolas ou solo preparado para agricultura;
b) áreas de solo exposto;
c) reflorestamento;
d) mata e cerradão;
e) mata e cerradão alterado;
f) cerrado (*Strieto Sensu*);
g) cerrado (*Strieto Sensu*) alterado;
h) campo cerrado;

i) campo cerrado alterado;
j) campo sujo de cerrado;
l) campo sujo de cerrado alterado;
m) campo limpo e pastagem;
n) cerrado (*Lato Sensu*);
o) cerrado (*Lato Sensu*) alterado.

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, foi possível obter uma visão integrada do comportamento do sistema estudado, permitindo, assim, a avaliação de sua dinâmica têmporo-espacial e a importância da mesma no comportamento do reservatório de Três Marias.

A Tabela 4.13 dá uma descrição integrada das principais características da área de estudo, tomando-se como base a compartimentação geomorfológica da mesma. A análise desta compartimentação possibilitou a constatação da ocorrência de quatro grandes áreas fontes de sedimentos para o reservatório de Três Marias. (Figura C.4).

1) Área de Mineração e de processos de erosão acelarada

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

O relevo existente nesta região é o de colinas (C_2I),ou de colinas associadas à ocorrência de cristas (Ck_2I e Ck_1I).

A drenagem apresenta um padrão retangular-dendrítico,alta densidade hidrográfica, sugerindo, em alguns trechos, rochas mais impermeáveis e um alto coeficiente de escoamento superficial.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

TABELA 4.12

DESCRIÇÃO DAS UNIDADES DE VEGETAÇÃO

UNIDADES	CARACTERÍSTICAS OBSERVADAS NAS IMAGENS LANDSAT	TIPO DE VEGETAÇÃO DOMINANTE	OUTROS TIPOS DE VEGETAÇÃO	RELEVO	DRENAGEM	OBSERVAÇÕES
ÁREAS AGRÍCOLAS OU SOLOS PREPARADOS PARA A AGRICULTURA	Apresentam, no canal MSS 5, tom de cinza claro e textura fotográfica homogênea; nas composições coloridas, apresentam-se com tonalidades claras. Estas áreas possuem forma geométrica definida, o que facilita a sua identificação.	milho, café e mandioca	-	Várzea de rios ou relevo plano, do tipo tabular.	Apresentam baixa densidade de drenagem e canais com cursos longos.	Estas áreas estão geralmente localizadas próximas de cidades, estradas ou várzeas de rios, principalmente a do São Francisco. O tipo de cultivo é em geral o temporário.
ÁREAS DE SOLO EXPOSTO	Caracterizam-se por alta reflectância no canal MSS 5 e nas composições coloridas, devido a exposição do solo. A mata galeria apresenta tons de cinza escuro, devido à alta absorção da radiação eletromagnética pela vegetação de copa bastante fechada, neste canal, e, nas composições coloridas, apresenta uma cor vermelha bem destacada pelo seu brilho, sendo pois de fácil identificação. A textura fotográfica é heterogênea.	Mata galeria, cerrado, campo cerrado e campo sujo de cerrado.	-	Áreas de colinas associadas à ocorrência de cristas.	Densidade hidrografica elevada, com canais de cursos pequenos.	Estão localizadas em regiões adjacentes ao reservatório de Três Marias ocupando mais de 30% da área de estudo. Cobertura vegetal muito deficiente havendo o ocorrência de voçorocas.

(continua)

Tabela 4.12 - Continuação

UNIDADES	CARACTERÍSTICAS OBSERVADAS NAS IMAGENS LANDSAT	TIPO DE VEGETAÇÃO DOMINANTE	OUTROS TIPOS DE VEGETAÇÃO	RELEVO	DRENAGEM	OBSERVAÇÕES
REFLORESTAMENTO	Apresentam tom de cinza escuro no canal MSS 5, devido a alta absorção da radiação eletromagnética deste tipo de vegetação, nesta faixa do espectro. No canal MSS 7, apresentam tom de cinza claro devido a alta reflectância das copas das árvores. Nas composições coloridas, apresentam cor vermelha forte, devido a alta refletividade da vegetação. Geralmente apresentam formas geométricas, o que facilita sua identificação. Apresentam textura fotográfica homogênea.	Eucalipto	-	Várzeas ou superfícies tabulares.	Densidade hidrográfica baixa e canais de drenagem com cursos longos.	Estão localizados ao longo de estradas ou margens do reservatório de Três Marias. A grande maioria destas áreas reflorestadas são cultivadas por empresas especializadas em reflorestamento. Apresentam, às vezes, 2 a 3 km de extensão.
MATA E CERRADÃO	Apresentam tom cinza escuro no canal MSS 5, semelhante ao das áreas de reflorestamento, mas diferenciam-se destas por não apresentarem formas geométricas definidas. Nas composições coloridas apresentam cor avermelhada, mais suave que as áreas de reflorestamento. A textura fotográfica é homogênea.	Mata natural	-	Tabular	Densidade hidrográfica baixa e canais de drenagem bastante longos.	Estão geralmente localizadas ao redor do reservatório de Três Marias ou à sudoeste deste.

(continua)

ORIGINAL PAGE IS OF POOR QUALITY

Tabela 4.12 - Continuação

UNIDADES	CARACTERÍSTICAS OBSERVADAS NAS IMAGENS LANDSAT	TIPO DE VEGETAÇÃO DOMINANTE	OUTROS TIPOS DE VEGETAÇÃO	RELEVO	DRENAGEM	OBSERVAÇÕES
MATA E CERRADÃO ALTERADO	Apresenta tom cinza médio, devido à alteração da vegetação que permite maior exposição do solo, do que na unidade anterior. A textura fotográfica é um pouco menos homogênea do que a da unidade anterior.	Mata natural e cerradão com um grau de alteração mais elevado do que a unidade anterior.		Geralmente ocorre no alto de serras.	Apresenta densidade hidrográfica média e canais com cursos de comprimentos médios.	Ocorre ao redor da cidade de Belo Horizonte, nas serras Três Irmãos e Moeda.
CERRADO *(STRICTO SENSU)*	Nas imagens do canal MSS 5, apresenta um tom de cinza médio, devido à sua menor densidade de cobertura vegetal, em relação às áreas de floresta e cerradão. Nas composições coloridas, apresenta uma cor vermelha suave. A textura fotográfica é homogênea.	Cerrado *(stricto sensu)*.	Mata galeria e de forma esparsa, áreas agrícolas.	Geralmente ocorre em áreas de relevos de formas tabulares, com exceção da região próxima à Divinópolis, onde ocorrem em áreas de colinas.	Apresenta baixa densidade hidrográfica. Os canais de drenagem geralmente apresentam cursos longos e poucos profundos.	Ocorre sob a forma de manchas esparsas, sugerindo serem remanescentes de áreas anteriormente extensas, que com o passar do tempo foram sendo alteradas.

(continua)

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

Tabela 4.12 - Continuação

UNIDADES	CARACTERÍSTICAS OBSERVADAS NAS IMAGENS LANDSAT	TIPO DE VEGETAÇÃO DOMINANTE	OUTROS TIPOS DE VEGETAÇÃO	RELEVO	DRENAGEM	OBSERVAÇÃO
CERRADO (*stricto sensu*) ALTERADO	Apresenta o mesmo tipo de vegetação da unidade anterior, porém de forma alterada. Nas imagens do canal MSS 5, apresenta um tom cinza mais claro do que a unidade anterior e uma textura homogênea. Isto é provocado pela ateração da vegetação original, condicionando a maior exposição do solo, o que faz com que haja ocorrência de pequenissimas manchas de tom cinza claro.	Cerrado (*stricto sensu*) excessivamente alterado devido à ocupação humana.	Ocorrem de forma intercalada com o cerrado, vegetação de pastagem e mata galeria.	O relevo é o de colinas.	A densidade hidrográfica é alta e os rios apresentam comprimento médio a pequeno.	Não há informações.
CAMPO CERRADO	Esta unidade do canal MSS 5, apresenta um tom cinza médio, porém bem mais claro que o apresentado pelas áreas de cerrado, sendo também menos homogênea. Nas composições coloridas apresenta uma cor vermelha suave, sendo mais difícil a sua definição, por confundir-se com as áreas de cerrado (*stricto sensu*)	Campo cerrado.	Ocorre de forma esporádica campo sujo de cerrado com alto grau de alteração. Há também a ocorrência de pastagens e mata galeria.	Nas áreas próximas as áreas de cerrado (*stricto sensu*) e ao redor do reservatório de Três Marias ocorre em relevos tabulares. Na porção sudoeste da área de estudo, ocorre em relevos colinosos suavemente ondulados à ondulados.	Nos relevos tabulares a densidade hidrográfica é baixa. Nos relevos colinosos, é elevada.	Ocorrem junto às áreas de cerrado (*stricto sensu*) ao redor do reservatório de Três Marias e, na porção sudoeste da área de estudo, principalmente junto ao rio São Francisco.

(continua)

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

Tabela 4.12 - Continuação

UNIDADES	CARACTERÍSTICAS OBSERVADAS NAS IMAGENS LANDSAT	TIPO DE VEGETAÇÃO DOMINANTE	OUTROS TIPOS DE VEGETAÇÃO	RELEVO	DRENAGEM	OBSERVAÇÕES
CAMPO CERRADO ALTERADO	Nas imagens do canal MSS 5 apresenta um tom de cinza variando de médio a claro, de acordo com o grau de alteração da vegetação. O mesmo ocorre nas composições coloridas, onde apresenta um tom vermelho suave, entremeado de tons verde claro. A textura fotográfica desta unidade é bastante heterogênea.	Campo cerrado com alto grau de alteração.	De forma esporádica ocorrem áreas agrícolas, reflorestamento, e de forma elevada, mata galeria.	O relevo é de formas colinosas com ocorrências esporádicas de linhas de cristas.	A densidade de drenagem é elevada, com os canais apresentando cursos pequenos.	Ocupa quase 40% da área de estudo, tendo sua maior área de ocorrência nos médios e altos cursos dos rios Pará e Paraopeba. Ocorre também nas cabeceiras do rio Indaiá, sob a forma de manchas esparsas.
CAMPO SUJO DE CERRADO	Das formas de cerrado, esta é a que apresenta o tom de cinza mais claro no canal MSS 5, devido naturalmente a menor densidade de cobertura vegetal. É também a que apresenta a textura fotográfica menos homogênea.	Campo sujo de cerrado.	De forma esporádica ocorrem cerrados e campos cerrados com altos graus de alteração. Ocorrem também pastagens, mata galeria, áreas agrícolas e reflorestamento.	Geralmente ocorre em áreas de relevos tabulares ou de colinas suavemente onduladas.	A densidade hidrográfica varia de pequena a média. Os canais de drenagem, em geral, apresentam cursos de comprimentos longos a médios.	A principal área de ocorrência se dá no sentido leste-oeste, numa região compreendida pelos médios cursos dos rios Paraopeba, Pará e São Francisco. De forma intercalada com o campo cerrado, na porção sudoeste do reservatório de Três Marias e nas cabeceiras dos rios Pará e São Francisco.

(continua)

ORIGINAL PAGE IS OF POOR QUALITY

Tabela 4.12 - Continuação

UNIDADES	CARACTERÍSTICAS OBSERVADAS NAS IMAGENS LANDSAT	TIPO DE VEGETAÇÃO DOMINANTE	OUTROS TIPOS DE VEGETAÇÃO	RELEVO	DRENAGEM	OBSERVAÇÕES
CAMPO SUJO DE CERRADO ALTERADO	No canal MSS 5, esta unidade apresenta um tom de cinza claro e textura fotográfica heterogênea.	Campo sujo de cerrado com um grau de alteração elevado.	Ocorrência de pequenas manchas de cerrado e áreas de pastagem.	O relevo em geral é de formas colinosas com ocorrência esporádica de linhas de cristas.	A densidade hidrográfica é elevada, e os canais de drenagem apresentam cursos pequenos.	A área de ocorrência é nas cabeceiras do Rio São Francisco e na região próxima ao seu curso médio.
CAMPO LIMPO E PASTAGEM.	Apresenta no canal MSS 5, uma tonalidade de cinza que varia do cinza médio ao cinza claro quase branco, sendo a textura fotográfica heterogênea.	As espécies de pastagem encontradas foram o jaraguá e o gordura.	Mata galeria e áreas de cultivo.	O relevo caracteriza-se pela forma de colinas onduladas e áreas de formas tabulares bastante desgastadas.	A densidade hidrográfica é elevada e os canais de drenagem apresentam cursos pequenos.	A área de ocorrência é nas cabeceiras do rio São Francisco e na região próxima ao seu curso médio.

(continua)

ORIGINAL PAGE IS OF POOR QUALITY

Tabela 4.12 - Conclusão.

UNIDADES	CARACTERÍSTICAS OBSERVADAS NAS IMAGENS LANDSAT	TIPO DE VEGETAÇÃO DOMINANTE	OUTROS TIPOS DE VEGETAÇÃO	RELEVO	DRENAGEM	OBSERVAÇÕES
CERRADO *(LATO SENSU)*	No canal MSS 5, esta unidade apresenta dominância de um tom cinza médio. Nas composições coloridas, apresenta uma intercalação de tons vermelhos suaves e verde. A textura fotográfica é heterogênea.	Nesta unidade foi difícil definir-se um tipo predominante de vegetação.	Os tipos de vegetação encontrados foram o cerradão, cerrado, campo sujo de cerrado, pastagem e a ocorrência muito elevada de mata galeria. Há também algumas áreas de campo limpo e campo cerrado.	O relevo é bastante movimentado tendo a forma colinosa associada a ocorrência esporádica de cristas.	A densidade hidrográfica é elevada e os canais de drenagem apresentam pequenos cursos.	Sua área de ocorrência está localizada nos médios e altos cursos dos rios Indaiá e Borrachudo e também, num trecho do médio curso do Paraopeba.
CERRADO *(LATO SENSU)* ALTERADO	Nas imagens do canal MSS 5, esta unidade aparece em tom de cinza médio, entremeado de manchas claras. A textura fotográfica é bastante heterogênea.	A vegetação encontrada nesta unidade não difere muito da unidade anterior; o grau de alteração é muito elevado principalmente na várzea do São Francisco onde a ocupação humana com fins agrícola alterou muito a vegetação natural.	Os tipos de vegetação encontrados foram o cerrado, campo limpo, pastagem, campo sujo de cerrado, campo cerrado e mata galeria. Foram também encontradas áreas agrícolas e manchas de solo nú.	O relevo é de colinas suavemente onduladas a onduladas.	A densidade hidrográfica é elevada e os canais de drenagem apresentam cursos pequenos.	A área de ocorrência desta unidade é a várzea do São Francisco e o alto curso desse rio.

ORIGINAL PAGE IS OF POOR QUALITY

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

TABELA 4.13

DESCRIÇÃO INTEGRADA DA ÁREA DE ESTUDO

UNIDADE	REDE DE DRENAGEM	GEOLOGIA	MORFOLOGIA	SOLO	VEGETAÇÃO	ALTITUDE MÉDIA
T_3III	*Padrão:* subdendrítico *Comprimento dos canais:* longo *Frequência hidrográfica:* pequena *Distância entre os canais de drenagem:* grande *Entalhe vertical:* grande	Faltam informações	*Tipo de relevo:* tabular *Vertentes:* retilíneas *Rampas:* abruptas, com extensão média a longa	Faltam informações	*Tipos:* 1 - Campo sujo de cerrado 2 - Campo limpo 3 - Pastagem 4 - Mata galeria	1130 m
T_1III	*Padrão:* subdendrítico *Comprimento dos canais:* longo *Frequência de rios:* pequena *Distância entre os canais de drenagem:* grande *Entalhe vertical:* pequeno	*Unidades litoestratigráficas:* 1 - Coberturas Indiferenciadas, Pleistocênicas-Holocênicas 2 - Formação Paraopeba (Grupo Bambuí)	*Tipo de relevo:* tabular *Vertentes:* retilínea *Rampas:* abruptas, com grandes extensões	1 - *Pedogênese:* colúvio *Cor:* vermelho-escura *Textura:* argilo-arenosa *Profundidade:* mais de 2 m 2 - *Cor* vermelho-amarela *Profundidade:* 1,5 m *Textura:* siltico-argilo-arenosa	*Tipos:* 1 - Mata 2 - Cerradão 3 - Cerrado 4 - Campo cerrado 5 - Campo cerrado alterado 6 - Campo sujo de cerrado 7 - Campo sujo de cerrado alterado 8 - Reflorestamento OBS: mancha de solo nú	600 m

(continua)

Tabela 4.13 - Continuação

UNIDADE	REDE DE DRENAGEM	GEOLOGIA	MORFOLOGIA	SOLO	VEGETAÇÃO	ALTITUDE MÉDIA
T_1II	*Padrão:* subdendrítico e dendrítico *Comprimento dos canais:* de médio a longo *Frequência de rios:* média *Distância entre os canais:* média *Entalhe vertical:* pequeno	*Unidades litó-estratigráficas:* 1 - Coberturas Indiferenciadas Terciárias / Quaternárias 2 - Formação Paraopeba (Grupo Bambuí)	*Tipo de relevo:* tabular *Vertentes:* retilíneas a convexas *Rampas:* com extensão média OBS: Esta unidade parece estar num estágio inicial de dissecação.	Faltam informações	*Tipos:* 1 - Campo sujo de cerrado 2 - Campo limpo 3 - Pastagem 4 - Cerrado *(Lato sensu)* 5 - Campo sujo alterado 6 - Áreas agrícolas OBS: foram encontradas manchas de solo exposto	740 m
T_1I	*Padrão:* dendrítico *Comprimento dos canais:* pequeno *Frequência dos rios:* alta *Distância entre os canais:* pequena *Entalhe vertical:* pequeno	Faltam informações	*Tipo de relevo:* tabular *Vertentes:* retilíneas a convexas *Rampas:* com pouca extensão OBS: esta unidade parece estar num estágio avançado de dissecação.	Faltam informações	*Tipos:* 1 - Campo limpo e pastagem 2 - Campo sujo de cerrado 3 - Áreas agrícolas	690 m

(continua)

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

Tabela 4.13 - Continuação

UNIDADE	REDE DE DRENAGEM	GEOLOGIA	MORFOLOGIA	SOLO	VEGETAÇÃO	ALTITUDE MÉDIA
T_2II	*Padrão:* dendrítico *Comprimento dos canais:* médio *Frequência de rios:* média *Distância entre os canais:* média *Entalhe vertical:* médio	Faltam informações	*Tipo de relevo:* tabular *Vertentes:* retilíneas a convexas *Rampas:* com extensão média	*Pedogênese:* colúvio *Cor:* vermelho-escura *Espessura:* 1 metro *Textura:* siltico-argilosa ou argilo-siltosa	*Tipos:* 1 - Campo cerrado 2 - Campo limpo e pastagem 3 - Cerradão *(Lato sensu)* alterado	680 m
T_3II	*Padrão:* subdendrítico *Comprimento dos canais:* rios principais com cursos longos e rios secundários com cursos pequenos *Frequência de rios:* média *Distância entre os canais:* média *Entalhe vertical:* grande	*Unidades lito-estratigráficas:* 1 - Formação Mata da Corda (Turoniano-Senoniana)	*Tipo de relevo:* tabular *Vertentes:* de extensão média com "front" abrupto OBS: unidade residual, de pequena extensão, com estágio avançado de dissecação	*Pedogênese:* colúvio *Cor:* vermelho-amarela *Textura:* arenosa *Espessura:* 2 metros	*Tipos:* 1 - Campo cerrado *(Lato sensu)* 2 - Mata e cerradão	1050 m

(continua)

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

Tabela 4.13 - Continuação

UNIDADE	REDE DE DRENAGEM	GEOLOGIA	MORFOLOGIA	SOLO	VEGETAÇÃO	ALTITUDE MÉDIA
C_1III	*Padrão:* paralelo *Comprimento dos canais:* longo *Frequência dos rios:* pequena *Distância entre os canais:* grande *Entalhe vertical:* pequeno	*Unidades lito-estratigráficas:* 1 - Coberturas Indiferenciadas, do Pleistoceno/Holoceno 2 - Associação Gnáissica-Migmatítica, Pré-cambriano Indiferenciado	*Tipo de relevo:* colinoso *Vertentes:* côncavo-convexas *Rampas:* muito suaves e de grande extensão	Faltam informações	*Tipos:* 1 - Campo sujo de cerrado 2 - Campo limpo e pastagem 3 - Manchas de cerrado 4 - Áreas agrícolas	670 m
C_1II	*Padrão:* dendrítico e subdendrítico *Comprimento dos canais:* longo a médio *Frequência de rios:* média *Distância entre os canais:* média *Entalhe vertical:* pequeno	Faltam informações	*Tipo de relevo:* colinoso *Vertentes:* côncavo-convexas *Rampas:* suaves, com extensão média a longa	Faltam informações	*Tipos:* 1 - Campo sujo de cerrado 2 - Campo limpo e pastagem	676 m

(continua)

Tabela 4.13 - Continuação

UNIDADE	REDE DE DRENAGEM	GEOLOGIA	MORFOLOGIA	SOLO	VEGETAÇÃO	ALTITUDE MÉDIA
C_1 I	*Padrão:* subdendrítico e retangular-dendrítico *Comprimento dos canais:* pequeno *Frequência dos rios:* alta *Distância entre os canais:* pequena *Entalhe vertical:* pequeno	*Unidades lito-estratigráficas:* 1 - Formação Três Marias (Grupo Bambuí)	*Tipo de relevo:* colinoso *Rampas:* com pequena extensão *Vertentes:* côncavo-convexas	Faltam informações	*Tipos:* 1 - Cerrado 2 - Campo cerrado 3 - Campo sujo de cerrado 4 - Campo limpo e pastagem 5 - Campo cerrado alterado 6 - Campo sujo de cerrado alterado 7 - Cerrado *(Lato sensu)* 8 - Áreas agrícolas OBS: ocorrência de solo exposto	630 m
C_2 II	*Padrão:* subdendrítico *Comprimento dos canais:* médio a longo *Frequência dos rios:* média *Distância entre os canais:* média *Entalhe vertical:* médio	Faltam informações	*Tipo de relevo:* colinoso *Vertentes:* côncavo-convexas *Rampas:* com extensão média	*Cor:* vermelho-escura *Espessura:* mais de 1 m *Textura:* silto-argilo-arenosa	*Tipos:* 1 - Campo cerrado 2 - Cerrado *(Lato sensu)* alterado	736 m

(continua)

ORIGINAL PAGE IS OF POOR QUALITY

Tabela 4.13 - Continuação

UNIDADE	REDE DE DRENAGEM	GEOLOGIA	MORFOLOGIA	SOLO	VEGETAÇÃO	ALTITUDE MÉDIA
C_2I	*Padrão:* dendrítico e retangular-dendrítico *Comprimento dos canais:* longo (rios principais), pequeno (rios de primeira ordem) *Frequência de rios:* elevada *Distância entre os canais:* pequena *Entalhe vertical:* médio	*Unidades lito-estratigráficas:* 1 - Coberturas Indiferenciadas, Terciário/Quaternário 2 - Formação Areado; Cretáceo Aptiano-Albiano 3 - Formação Três Marias (Grupo Bambuí) 4 - Associação Gnáissica-Migmatítica, Pré-cambriano	*Tipo de relevo:* colinoso *Vertentes:* convexas a côncavo-convexas *Rampas:* com pouca extensão	Faltam informações	*Tipos:* 1 - Campo cerrado alterado 2 - Campo sujo de cerrado alterado 3 - Cerrado 4 - Cerrado *(Lato sensu)* alterado 5 - Campo limpo e pastagem 6 - Campo cerrado 7 - Cerrado *(Lato sensu)*. 8 - Áreas agrícolas e reflorestamento OBS: manchas de solo nú	712 m
C_3I	*Padrão:* dendrítico *Comprimento dos canais:* principais (médio), secundários (pequeno) *Frequência de rios:* elevada *Distância entre os canais:* pequena *Entalhe vertical:* grande	*Unidades lito-estratigráficas:* 1 - Formação Três Marias (Grupo Bambuí)	*Tipo de relevo:* colinoso *Vertentes:* convexas *Rampas:* de pequena extensão	*cor:* vermelho-amarela *Espessura:* 1,5 m	*Tipos:* 1 - Campo cerrado 2 - Manchas de cerrado OBS: Áreas de solo exposto	676 m

(continua)

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

Tabela 4.13 - Continuação

UNIDADE	REDE DE DRENAGEM	GEOLOGIA	MORFOLOGIA	SOLO	VEGETAÇÃO	ALTITUDE MÉDIA
CK_3III	*Padrão:* paralelo *Comprimento dos canais:* longo *Frequência dos rios:* pequena *Distância entre os canais:* grande *Entalhe vertical:* grande	*Unidades lito-estratigráficas:* 1 - Formação Paraopeba (Grupo Bambuí) 2 - Associação Gnáissica-Migmatítica, Pré-cambriano	*Tipo de relevo:* colinoso associado à ocorrência esporádica de cristas *Vertentes:* convexas a côncavo-convexas *Rampas:* com grande extensão	Faltam informações	*Tipos:* 1 - Manchas de cerrado 2 - Campo cerrado alterado 3 - Campo sujo de cerrado 4 - Campo limpo e pastagem 5 - Áreas agrícolas e reflorestamento	851 m
CK_3I	*Padrão:* dendrítico *Comprimento dos canais:* pequeno *Frequência dos rios:* elevada *Distância entre os canais:* pequena *Entalhe vertical:* grande	*Unidades lito-estratigráficas:* 1 - Mata da Corda, Turoniano-Senoniana 2 - Unidade de topo da formação Paraopeba, que se constitui numa transição para a formação Três Marias 3 - Formação Paraopeba (Grupo Bambuí)	*Tipo de relevo:* formas colinosas associadas à ocorrência esporádica de cristas *Vertentes:* convexas *Rampas:* íngremes com pequena extensão OBS: ocorrência de grande número de falhamentos e fraturas; ocorrência de voçorocas	Faltam informações	*Tipos:* 1 - Cerrado *(Lato sensu)* 2 - Algumas áreas de campo cerrado 3 - Campo cerrado alterado OBS: grande ocorrência de solo exposto	800 m

(continua)

Tabela 4.13 - Continuação

UNIDADE	REDE DE DRENAGEM	GEOLOGIA	MORFOLOGIA	SOLO	VEGETAÇÃO	ALTITUDE MÉDIA
CK_2II	*Padrão:* dendrítico *Comprimento dos canais:* médio *Frequência de rios:* média *Distância entre os canais de drenagem:* média *Entalhe vertical:* médio	Faltam informações	*Tipo de relevo:* colinoso associado a cristas *Vertentes:* convexas a côncavo-convexas *Rampas:* com extensão média	Faltam informações	*Tipos:* 1 - Campo cerrado 2 - Cerrado *(Lato sensu)* alterado	830 m
CK_2I	*Padrão:* dendrítico e retangular-dendrítico *Comprimento dos canais:* médio a pequeno *Distância entre os canais:* pequena *Entalhe vertical:* médio *Frequência de rios:* elevada	*Unidades lito-estratigráficas:* 1 - Formação Três Marias (Grupo Bambuí) 2 - Associação Gnáissica-Migmatítica (Pré-cambriano) OBS: áreas de exploração de minério de ferro e manganês	*Tipo de relevo:* colinoso associado a ocorrência de cristas *Vertentes:* convexas a côncavo-convexas *Rampas:* com pequenas extensões	*Cor:* vermelha ou amarela *Espessura:* varia de 30 cm a 1 m *Textura:* arenosa ou argilo-arenosa OBS: ocorrência de concreções nodulares	*Tipos:* 1 - Campo cerrado 2 - Campo cerrado alterado 3 - Cerrado *(Lato sensu)* 4 - Cerrado *(Lato sensu)* alterado 5 - Cerrado *(Stricto sensu)* 6 - Cerrado alterado 7 - Campo sujo de cerrado 8 - Campo limpo e pastagens OBS: elevada ocorrência de manchas no solo nú	812 m

(continua)

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

Tabela 4.13 - Conclusão

UNIDADE	REDE DE DRENAGEM	GEOLOGIA	MORFOLOGIA	SOLO	VEGETAÇÃO	ALTITUDE MÉDIA
CX_1I	*Padrão:* dendrítico e retangular-dendrítico *Comprimento dos canais:* varia de médio a pequeno *Frequência de rios:* elevada *Distância entre os canais:* pequena *Entalho vertical:* pequeno	*Unidades lito-estratigráficas:* 1 - formação Paraopeba (Grupo Bambuí) OBS: áreas de exploração de minério de ferro e manganês	*Tipo de relevo:* colinoso associado à ocorrência esporádica de cristas *Vertentes:* convexas à côncavo-convexas *Rampas:* muito suaves e de pouca extensão	*Cor:* vermelho escura *Textura:* areno-argilosa ou argilo-silticô-arenosa *Espessura:* variando de 1 a 1,50 m OBS: presença de concreções nodulares	*Tipos:* 1 - Cerrado *(Lato sensu)* 2 - Campo cerrado alterado 3 - Algumas manchas de campo sujo de cerrado 4 - Cerrado *(Stricto sensu)* 5 - Áreas agrícolas e mata galeria OBS: ocorrência de áreas de solo exposto	664 m

Nesta região, predominam gnaisses da Associação Gnáissica Migmatítica (Pré-Cambriano). Esta rocha, em geral, está muito próxima à superfície, ou mesmo aflorando, dando origem por isso a solos rasos. Como, devido ao clima tropical, a lixiviação dos solos é intensa, estes são predominantemente ácidos.

A vegetação original de toda a região (mata, cerradão, cerrado, campo cerrado) foi aos poucos cedendo lugar a uma vegetação do 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, que faz parte do "Quadrilátero Ferrífero", ocorrendo, desta forma, um despejo de detritos no rio Paraopeba, provenientes dos locais de extração de minério de ferro. Além disso, observa - se nas cabeceiras do rio Paraopeba a ocorrência de processos de erosão acelerada.

No trecho compreendido entre as cidades de Ibirité e Congonhas (aproximadamente de 100 km) encontram-se 18 minas, sendo que de 15 delas se extraem minério de ferro e das três restantes, minério de manganês. O material proveniente das minerações é facilmente transportado para o rio Paraopeba. A água deste rio apresenta uma cor vermelho-escura e, na medida em que se segue o curso do rio em direção à sua nascente, esta coloração vai mudando para amarelo-clara. Assim, a cor avermelhada atribuída à água, pelo óxido de ferro, só começa a surgir de Congonhas para jusante.

Os processos morfogenéticos que atuam nesta área são influenciados, principalmente, pelas características climáticas e pelos tipos de vegetação que ai ocorrem.

Originalmente, esta região teve uma cobertura vegetal mais densa, do tipo floresta (Floresta Subcaducifólia Tropical), servindo de proteção para os solos.

Conforme salientado, esta vegetação vem sendo gradualmente desbastada para dar lugar a pastagens, principalmente nas cabeceiras do rio Paraopeba. Estas últimas oferecem proteção ao solo, diminuindo o escoamento superficial. Porém, o pisoteio intensivo do gado pode causar o aparecimento de "PIEDS DE VACHE", que em estágios mais avançados podem prococar voçorocas (Moreira e Camelier, 1977).

Devido à presença de vegetação do tipo florestal e de uma umidade maior, ocorre nesta área uma meteorização química mais intensa, dando origem a mantos de decomposição mais espessos. Durante os trabalhos de campo, observou-se que a camada superficial do terreno geralmente apresenta uma espessura superior a 2 metros, sendo constituída de material inconsolidado.

Com a retirada da vegetação mais densa para fins agrícolas ou de pastoreio, os processos de ação mecânica começam a agir de forma mais intensa, principalmente após períodos de intensa pluviosidade, dando origem a voçorocas. Este material detrítico é transportado para o Paraopeba pelo escoamento superficial.

2) Área de desmatamento e solo exposto com processos de erosão acelerada

Esta área está localizada próxima ao reservatório de Três Marias, correspondendo às unidades de relevos de colinas e de colinas associadas à ocorrência de cristas (Ck_3I, Ck_2I, Ck_1I, e C_3I).

A cobertura vegetal original existente nas colinas consiste em: cerrado, campo cerrado e campo sujo de cerrado. Esta cobertura está extremamente alterada, tendo sido desbastada para a produção de carvão vegetal, destinado às siderúrgicas.

Com a devastação da vegetação original, surge gradativamente uma vegetação rasteira, do tipo gramínea, que oferece uma proteção muito deficiente para o solo. A vegetação arbórea e arbustiva res

tringem-se cada vez mais às margens dos rios, formando as matas galeria, que nesta área são bastante frequentes.

Comparando-se as imagens LANDSAT do período seco, nos anos de 1973 a 1978, constata-se que esta área de desmatamento e de solo exposto aumentou consideravelmente a sua extensão (aproximadamente 140 km² em 1973, para, aproximadamente, 240 km² em 1978), principalmente a sudoeste do reservatório, na região das cidades de Dores do Indaiá, Abaeté, Paineiras, Tiros e Matutina.

Sabe-se que um dos fatores condicionantes da vegetação é o tipo de clima existente no local, o encontrado nesta região é o tropical quente, com um período seco de 5 a 6 meses (1500 mm de chuvas anuais); este clima caracteriza-se pela alternância de um período seco e outro chuvoso, havendo acentuada diferença de pluviosidade entre as duas estações (em 1964, 1040 mm no período chuvoso e, 134 mm no período seco).

Outro fator condicionante da vegetação é o tipo de solo. Os encontrados nesta área geralmente são pobres, do tipo argiloso, produto final da decomposição de ardósias do grupo Bambuí ou provenientes de siltitos do mesmo grupo (Menezes et alii,1977), os quais, aliados às condições de clima, fazem com que a cobertura vegetal se torne menos densa, na medida em que diminui o total de chuvas.

Conforme foi observado nas imagens LANDSAT, e no campo, a vegetação original, que é mais densa e oferece melhor proteção ao solo, está sendo removida e substituída por uma cobertura vegetal mais pobre.

Considerando-se que a falta de cobertura vegetal diminui a retenção d'água no solo, com o avanço da estação seca, este se resseca intensamente e fica desprovido de qualquer proteção, tornando-se mais susceptível aos processos erosivos, principalmente os de ação mecânica, quando ocorre a estação chuvosa.

No Capítulo 1 foi salientado que a alternância sazonal das precipitações é um elemento importante dos processos de esculturação do relevo, nas áreas de campo cerrado.

Durante a estação chuvosa nesta área, a vegetação protege o solo da erosão pluvial, favorecendo a infiltração e a alteração química. Esta produz um manto de alteração de 1 a 2 metros de espessura.

No final da estação seca, conforme pôde ser observado no campo, a ocorrência de solos expostos é muito frequente, permitindo que, na chegada das primeiras chuvas, o manto de intemperismo comece a ser desagregado pela ação mecânica e arrastado pelo escoamento superficial, aumentando a desnudação das encostas.

Sabe-se que o escoamento superficial concentrado é o principal agente modelador das formas de relevo, sendo que a topografia, a litologia, a permeabilidade das rochas e a cobertura vegetal regulam a intensidade da sua ação.

O padrão de drenagem existente nestas áreas de solo exposto é dendrítico, a densidade hidrográfica é elevada, e os rios apresentam cursos de pequeno comprimento. Isto, sugere terrenos impermeáveis, pouca infiltração da água da chuva e, consequentemente, um alto coeficiente de escoamento superficial.

Esta região é formada por rochas sedimentares, como siltitos, argilitos e arcósios, que são pouco resistentes aos processos erosivos.

A evolução do relevo é relativamente rápida e, na medida em que a drenagem escava os vales, as vertentes são desbastadas, apresentando formas suavemente onduladas.

Uma vez que a capacidade de infiltração das rochas é pequena, quando ocorrem as primeiras chuvas na região, o escoamento superficial é intenso. Após as chuvas mais intensas, o escoamento superfi

cial concentra-se nas vertentes (erosão linear), esculpindo fundas ravinas. Assim, no final do período chuvoso, quando os horizontes subsuperficiais impermeáveis estão saturados, ocorrem os movimentos de massa; à medida que estes horizontes forem saturando, os processos erosivos tornar-se-ão mais intensos, maiores quantidades de detritos serão transportados. Assim, nesta área de desmatamento e solo exposto, encontram-se processos intensos de erosão acelerada, havendo em diversos lugares a ocorrência de voçorocas de grandes extensões, principalmente nas bacias dos rios Borrachudo e Indaiá, abastecedores do reservatório de Três Marias. Este tipo de erosão é acelerada, em geral, pela ocupação humana desordenada, como o desmatamento indiscriminado.

3) Área agrícola e de despejos industriais

Esta outra área fornecedora de sedimentos para o reservatório de Três Marias está localizada no alto curso do rio São Francisco, onde há um alargamento de sua várzea, que é ocupada intensamente por atividades agrícolas, e onde a vegetação original está bastante alterada.

Esta região apresenta uma pluviosidade maior (1750mm) e um período seco menor (3 a 4 meses) em relação à região anterior. Aqui são encontradas altitudes mais elevadas, que proporcionam temperaturas mais amenas e favorecem as precipitações. Aliado a isto, há provavelmente a ocorrência de solos férteis, que permitem assim um maior adensamento da cobertura vegetal, bem como o surgimento das vegetações de campo. Por este motivo, apesar de serem observadas áreas de solo exposto nesta região, as mesmas não assumem a importância das áreas da região anterior.

A vegetação encontrada consiste em cerrado, campo limpo, pastagem, campo sujo de cerrado, campo cerrado e mata galeria, tendo sido muito alterada pela ocupação humana com fins agrícolas.

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 a sua extensão de 1973 para 1978, principalmente na várzea do rio São Francisco, conforme constatação feita através das imagens LANDSAT.

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, que protege melhor os solos.

Em geral, as formas de relevo encontradas são colinas (C_2II, C_2I, C_1III, C_1I) ou colinas associadas à ocorrência de cristas (Ck_2I, Ck_2II), com exceção de algumas áreas, banhadas por afluentes do São Francisco, que apresentam formas tabulares (T_1III).

A drenagem caracteriza-se, em geral, por um padrão dendrítico, com exceção da margem esquerda do rio São Francisco, que apresenta padrão paralelo. Neste trecho, os rios possuem cursos longos e uma baixa densidade hidrográfica. O mesmo acontece nos trechos de relevos tabulares, onde o padrão de drenagem tem um aspecto subdendrítico. Estas características sugerem a presença de terrenos mais permeáveis e, consequentemente, um escoamento superficial mais moderado.

Em todas as outras unidades de relevo, a densidade hidrográfica apresenta-se mais elevada e os cursos dos rios são pequenos, sugerindo a presença de terrenos mais impermeáveis e, portanto, um escoamento superficial mais intenso.

A litologia desta região é semelhante a da anterior, sendo a mesma constituída principalmente por rochas do grupo Bambuí. No trecho que apresenta relevos mais planos e padrão paralelo, encontram-se capeamentos de coberturas indiferenciadas, datadas do Pleistoceno-Holoceno, e aluviões recentes.

Conforme mencionado anteriormente, o escoamento superficial difuso constitui-se no principal processo de elaboração do modelado dos relevos recobertos pelos campos cerrados. Porém, a intensidade do escoamento depende da proteção que a cobertura vegetal oferece ao solo, assim como das características litológicas e das formações superficiais.

A região do alto curso do São Francisco apresenta cobertura vegetal herbácea-arbustiva densa durante o ano todo, apesar da alternância de estações (seca-chuvosa), e esta exerce uma eficaz proteção contra a lavagem dos solos e o escoamento superficial mais intenso durante as primeiras chuvas na área.

Além disso, a presença de relevos mais planos e solos permeáveis faz com que o escoamento superficial diminua, ao contrário da região onde se localizam as áreas de solo exposto, onde as declividades são maiores, favorecendo a ação dos processos erosivos e o transporte de material.

Deata forma, havendo uma maior infiltração, há uma diminuição do escoamento superficial, favorecendo a alteração química e diminuindo a ocorrência de processos de erosão acelerada.

Nesta região, no entanto, há uma atividade agrícola muito intensa, e os agricultores costumam utilizar o final do período seco (agosto/setembro) e o início do chuvoso (outubro) 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.

Na várzea do rio São Francisco, na sua margem esquerda, 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. Esta, localiza-se às margens do rio São Francisco e de um dos seus afluentes, o rio Santana. Provavelmente, a maior parte do material detrítico proveniente desta plantação, e os resíduos da usina devem ser transportados para estes rios.

4) Área agrícola e de destamento

Uma outra área fornecedora de sedimentos para o reservatório de Três Marias 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 e 40 km^2 em 1978). A vegetação mais densa aparece sob a forma alterada (cerrado alterado, campo cerrado alterado, campo sujo de cerrado alterado) após a interferência humana que, somada aos solos, geralmente de natureza ácida, fazem com que a vegetação mais densa ceda lugar a uma vegetação mais pobre e menos densa (pastagem). A vegetação de mata restringe-se, cada vez mais, a faixas ao longo de rios (mata galeria).

Na área predominam as seguintes formas de relevo: colinas (C_1I e C_2I) ou colinas associadas a cristas (Ck_2I). A drenagem apresenta um padrão retangular-dendrítico, alta densidade hidrográfica, rios com cursos de comprimento médio a pequeno, sugerindo a presença de rochas impermeáveis e, consequentemente, um escoamento superficial elevado.

Algumas áreas, como C_1I, apresentam-se morfologicamente arrasadas, devido ao forte intemperismo, estando as rochas normalmente muito alteradas. A camada superficial do terreno varia entre 1 e 2 metros.

Sabe-se que, nas regiões de domínio florestal, os processos morfogenéticos atuantes são guiados pela decomposição química, que perde a sua importância à medida que as áreas se interiorizam, e a ocorrência de uma estação seca mais prolongada e a retirada da cobertura vegeral favorecem o surgimento de processos mecânicos. Conforme a intensidade dos processos erosivos, o manto de alteração é mais ou menos espesso.

As características climáticas encontradas nesta região são as mesmas encontradas na região anterior, sendo a estação seca de 3 a 4 meses e os totais pluviométricos superiores a 1500 mm anuais. A alternância das estações não é tão marcada como na segunda área analisada porém, há uma diferença sensível entre o período seco e o chuvoso. Além desta característica climática nesta região predomina a Floresta Subcaducifólia Tropical.Assim à maior umidade, a atuação da meteorização química propicia o surgimento de mantos de intemperismo mais espessos.

Porém à medida que esta 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, sendo o mesmo acentuado pela devastação florestal.

O escoamento superficial transporta cargas detríticas que atulham os rios, causando, no período seco, o aparecimento de amplos bancos de areia, como os observados no rio Pará, explorados para fins comerciais.

Desta forma, levando-se em consideração todos os fatores mencionados, pode-se constatar que esta é uma região que contribui com uma carga de sedimentos relativamente grande para o reservatório de Três Marias. Contribuem também para esta carga de sedimentos as áreas de agricultura localizadas em toda a bacia abastecedora do rio Itapecirica, afluente do rio Pará.

Infelizmente a presença de reflorestamento na região é muito pequena e não substituem as áreas florestais que estão sendo dizimadas.

De um modo geral, as áreas de baixa densidade hidrográfica, alta permeabilidade e superfícies mais planas apresentam cobertura vegetal mais densa, menor interferência do homem e processos erosivos de pouca significação. Nestas áreas, a vegetação original geralmente apresenta um grau de alteração muito baixo; quando desbastada, esta vegetação é substituída por reflorestamentos com eucaliptos em grandes extensões, que tiveram sua área total praticamente duplicada de 1973 para 1978. Estes reflorestamentos normalmente se localizam ao longo de estradas.

4.1.5 - CARACTERÍSTICAS PLUVIOFLUVIOMÉTRICAS DA BACIA DO RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS, EM FUNÇÃO DO TRANSPORTE DE PARTÍCULAS SÓLIDAS

A intensidade do fenômeno do transporte de material depende da quantidade e duração das chuvas, estrutura e composição geológica do terreno, declividade e cobertura vegetal. Na análise feita na Seção 4.1.4, foram caracterizadas quatro diferentes áreas que fornecem sedimentos para os rios abastecedores do reservatório de Três Marias.

Nesta seção, faz-se uma análise dos rios São Francisco, Pará e Paraopeba, levando-se em consideração suas descargas líquidas e sólidas, aliadas às precipitações ocorridas na área.

Os dados analisados referem-se aos períodos chuvosos e secos dos anos de 1973, 1975, 1977 e 1978. Os períodos considerados referem-se a 3 meses antes da data da passagem do satélite, por caracterizarem, de forma elucidativa, as respostas obtidas nas imagens, e por serem os meses mais significativos de cada período.

A CEMIG - Centrais Elétricas de Minas Gerais - instalou réguas fluviométricas em cada um destes rios, onde são coletados dados de descarga líquida (m^3/s) e sedimentos em suspensão (concentração média-gr/l e toneladas/dia). Estas réguas fluviométricas estão localizadas em Porto Pará, no rio Pará; Ponte da Taquara, e Porto Mesquita no rio Paraopeba; e Porto das Andorinhas, no rio São Francisco (Figura 4.1).

A régua localizada no rio Pará dista aproximadamente 10 km da confluência deste rio com o São Francisco. A régua que está localizada no rio São Francisco dista 96 m da confluência deste rio com o reservatório de Três Marias, e a régua que está no rio Paraopeba dista 135 km da confluência deste rio com o reservatório. Uma vez que estas réguas estão situadas nos baixos cursos dos rios mencionados, a maior parte da descarga sólida destes rios passa pelas réguas, o que se constitui em dados de grande utilidade para a análise do transporte de sedimentos desta região.

Sabe-se que o regime dos rios que abastecem o reservatório de Três Marias é essencialmente controlado pelo regime das precipitações na região. Para que se tenha uma idéia de como é a distribuição destas últimas a Figura 4.2 apresenta gráficos ombrotérmicos de um ano característico (1978), obtidos a partir de dados de temperatura e precipitação de cinco postos meteorológicos, cedidos pelo Departamento Nacional de Meteorologia. Nestes gráficos a estação seca, na região, aparece bem caracterizada nos meses de maio, junho, julho, agosto e setembro. Pode ser observado também o progressivo aumento da duração do período seco, para o norte da área de estudo. Na região da cidade de Oliveira, a estação seca prolonga-se por 3 a 4 meses, já em Curvelo, mais ao norte, sua duração é de 5 a 6 meses, com uma diminuição total de precipitações também neste sentido.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

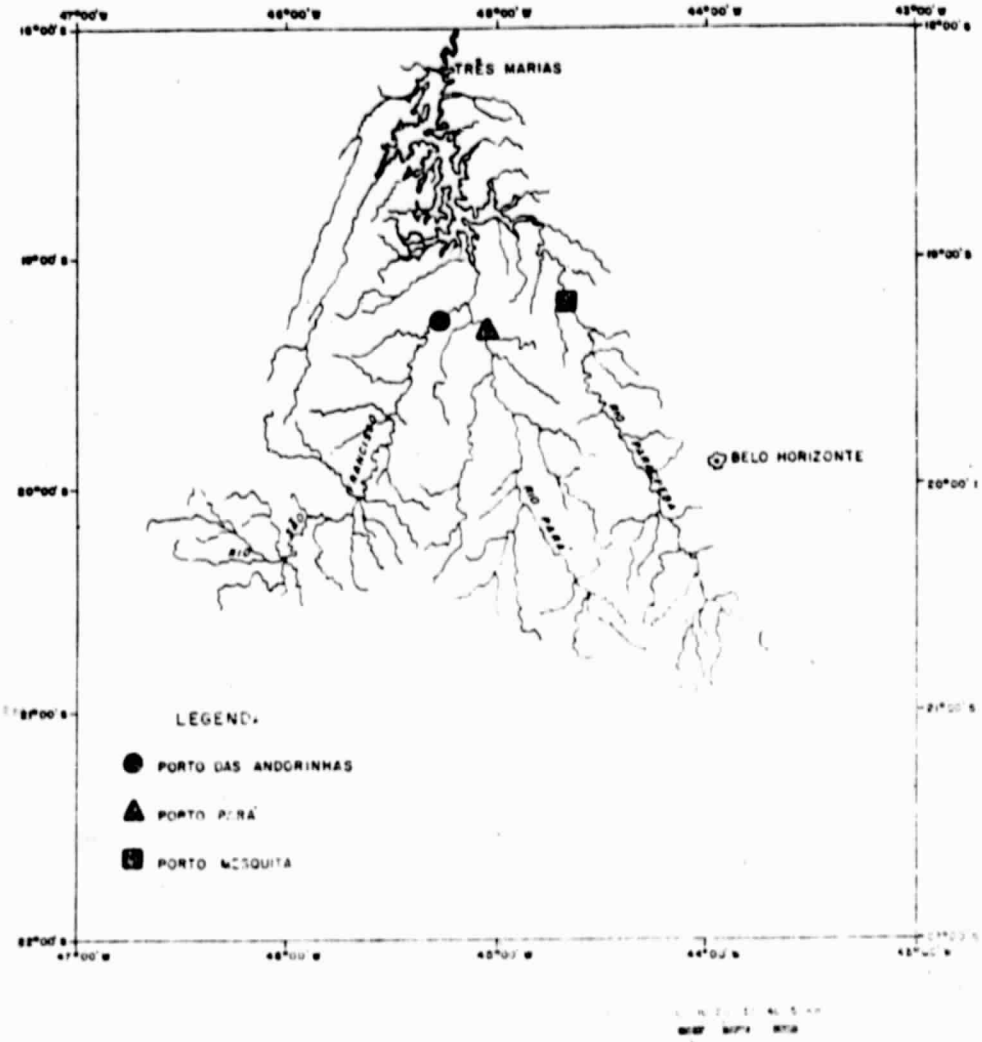
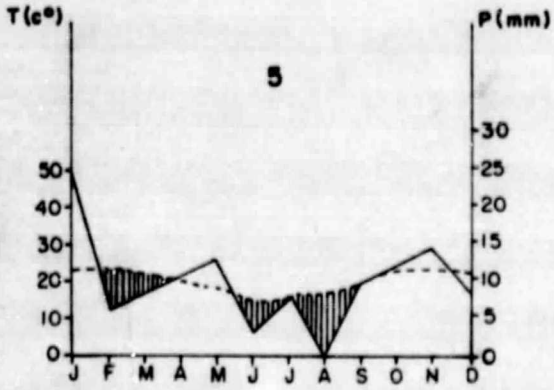


Fig. 4.1 - Localização das réguas fluviométricas nos rios São Francisco, Pará e Paraopeba.

FOLDOUT FRAME



ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

REPRÊSA DE
TRÊS MARI

RIO BORRACHUDO

RIO INDAIÁ

RIO SÃO FRANCISCO

RIO LAMBARI

5

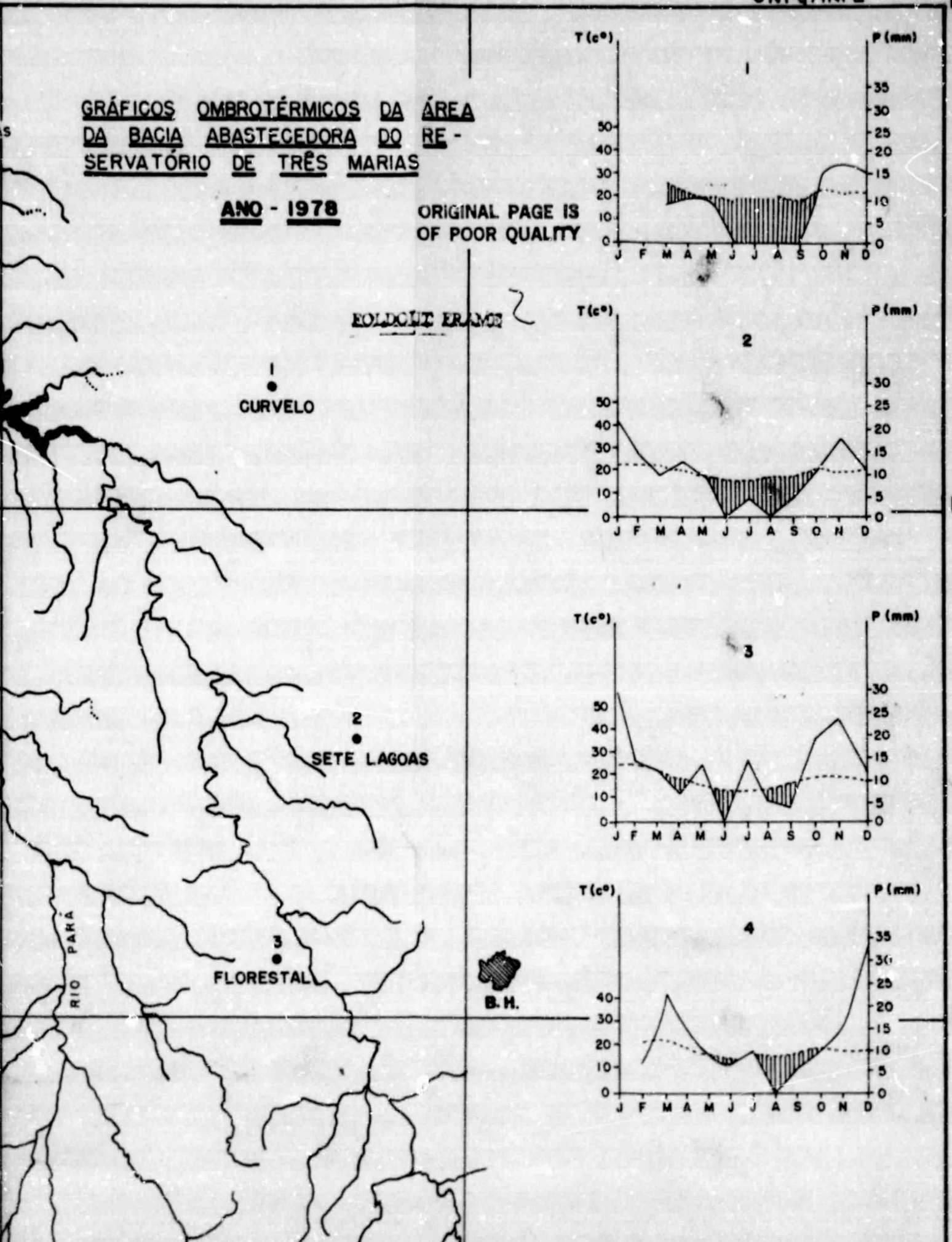
BAMBIÚ

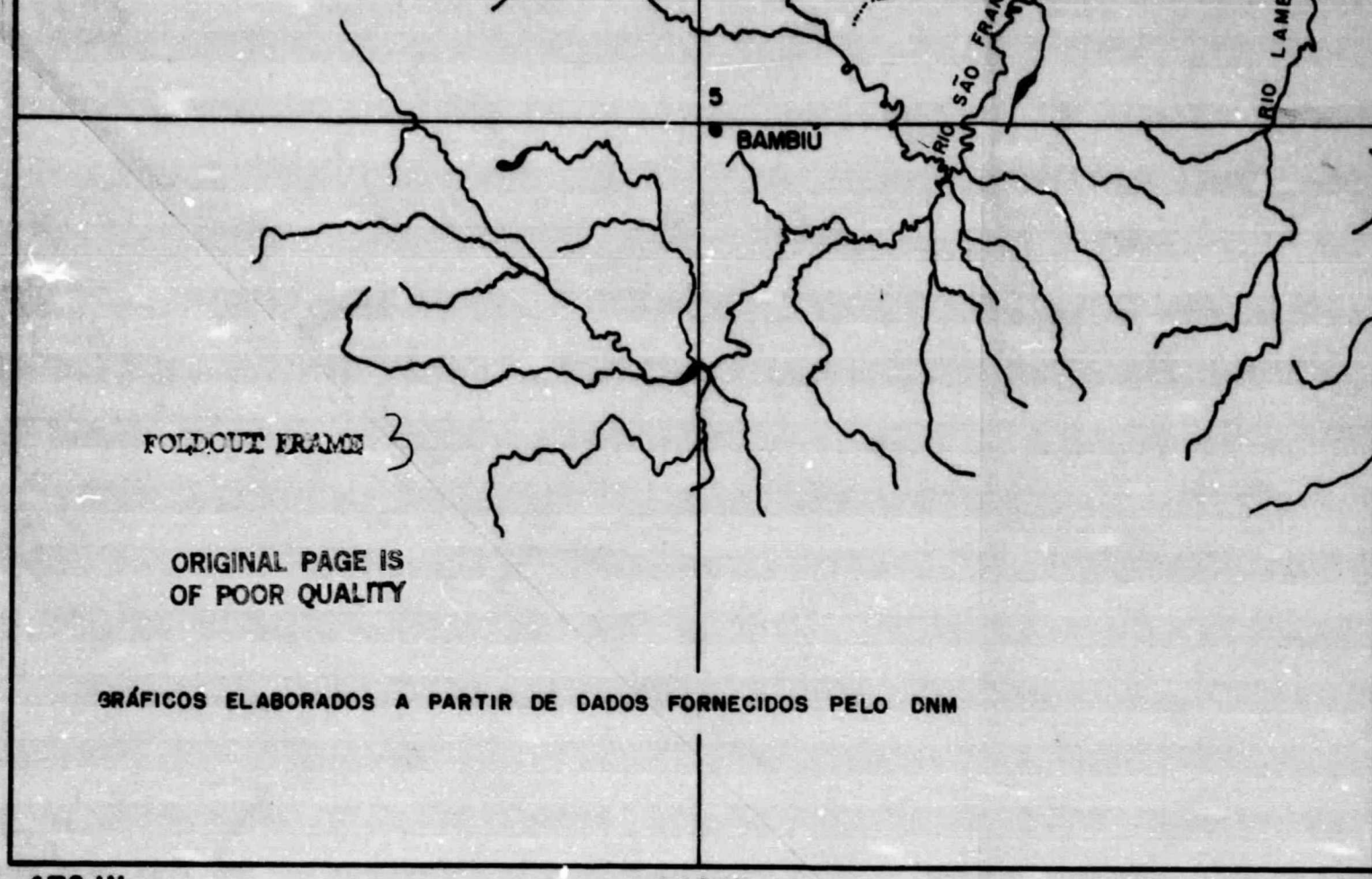
CNPq/INPE

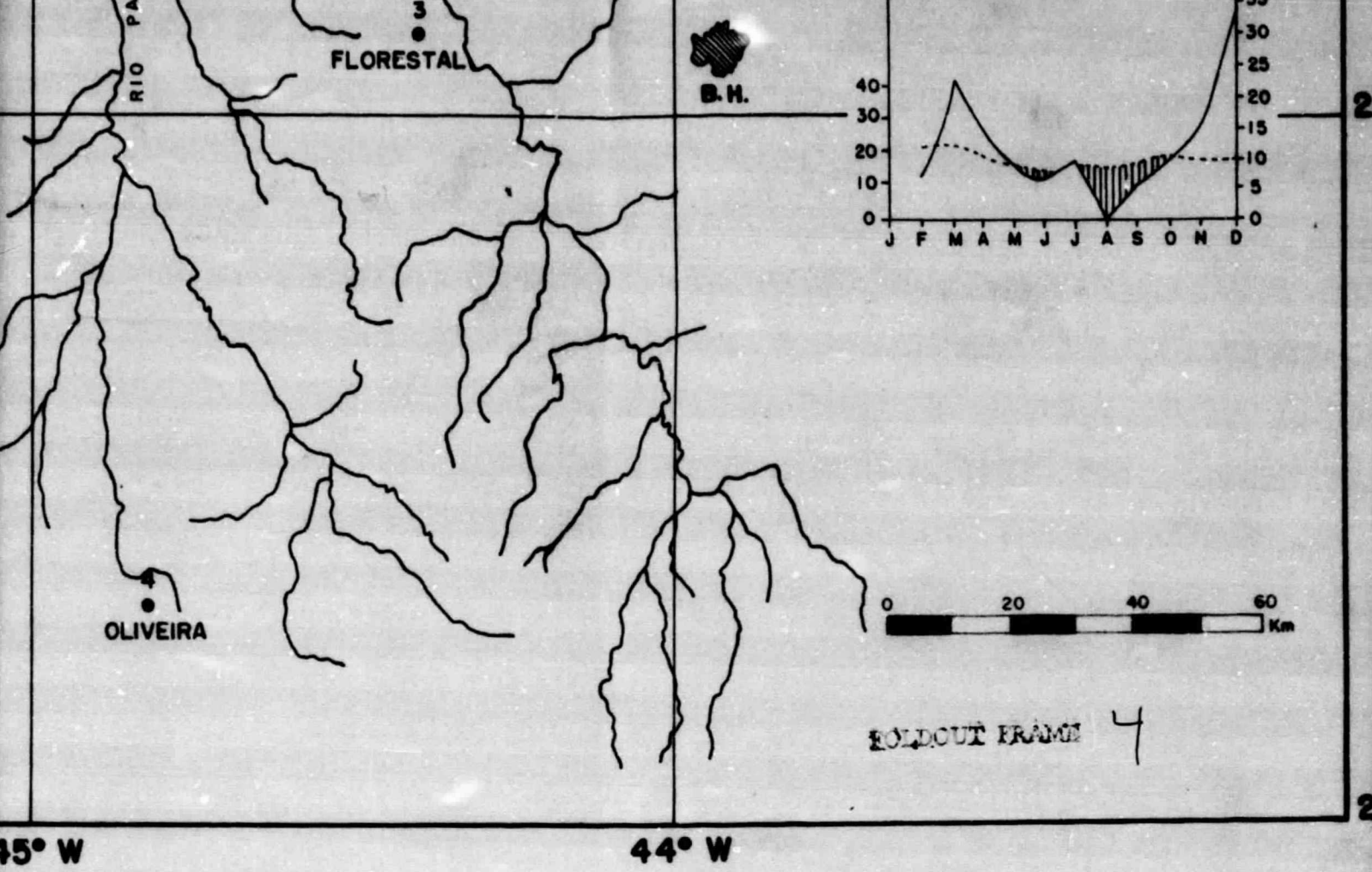
GRÁFICOS OMBROTÉRMICOS DA ÁREA DA BACIA ABASTECEDORA DO RE-SERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS

ANO - 1978

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY




5
BAMBIÚ
RIO SÃO FRA
RIO LAME
FOLDOUT FRAME 3
ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY
GRÁFICOS ELABORADOS A PARTIR DE DADOS FORNECIDOS PELO DNM
47° W
46° W
45



ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

Com a finalidade de caracterizar melhor o comportamento dos rios São Francisco, Pará e Paraopeba faz-se,a seguir, a análise de cada um separadamente.

1) Rio São Francisco

Os dados de descarga líquida e sólida analisados do rio São Francisco referem-se ao período seco do ano de 1973, ao período chuvoso de 1975, aos períodos chuvoso e seco de 1977 e 1978. Houve ausência de dados nos períodos chuvosos de 1973 e 1975. Como não houve dados de precipitação diária, coletados na bacia deste rio, fez-se o uso de gráficos ombrotérmicos para os anos de 1977 e 1978, com os dados mensais de precipitação e temperatura, coletados no posto meteorológico de Bambuí (Figuras 4.3 e 4.4).

Pelos gráficos ombrotérmicos, pode-se constatar que o período seco no vale do São Francisco ocorre principalmente nos meses de junho, julho e agosto. Neste período é comum ocorrer durante três ou quatro meses índices pluviométricos de 0.0 mm.

A diminuição nos totais de chuvas para o mês de fevereiro, observada nas Figuras 4.3 e 4.4 tem caráter esporádico, ocorrendo normalmente pluviosidade elevada neste mês.

Havendo uma diminuição considerável no total de precipitações, em relação ao período chuvoso, haverá também no período seco, uma considerável diminuição de descarga líquida e sólida dos rios, uma vez que se sabe que há uma boa relação entre a carga do material em suspensão e o débito fluvial.

A quantidade de carga aumenta em proporção muito maior que qualquer elemento relacionado com a vazão. A causa principal é que a carga detrítica não provém só da ação abrasiva do rio sobre o fundo e a margem, mas principalmente da lavagem sobre as vertentes efetuada pelo escoamento superficial. Tais fatos sugerem também que

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

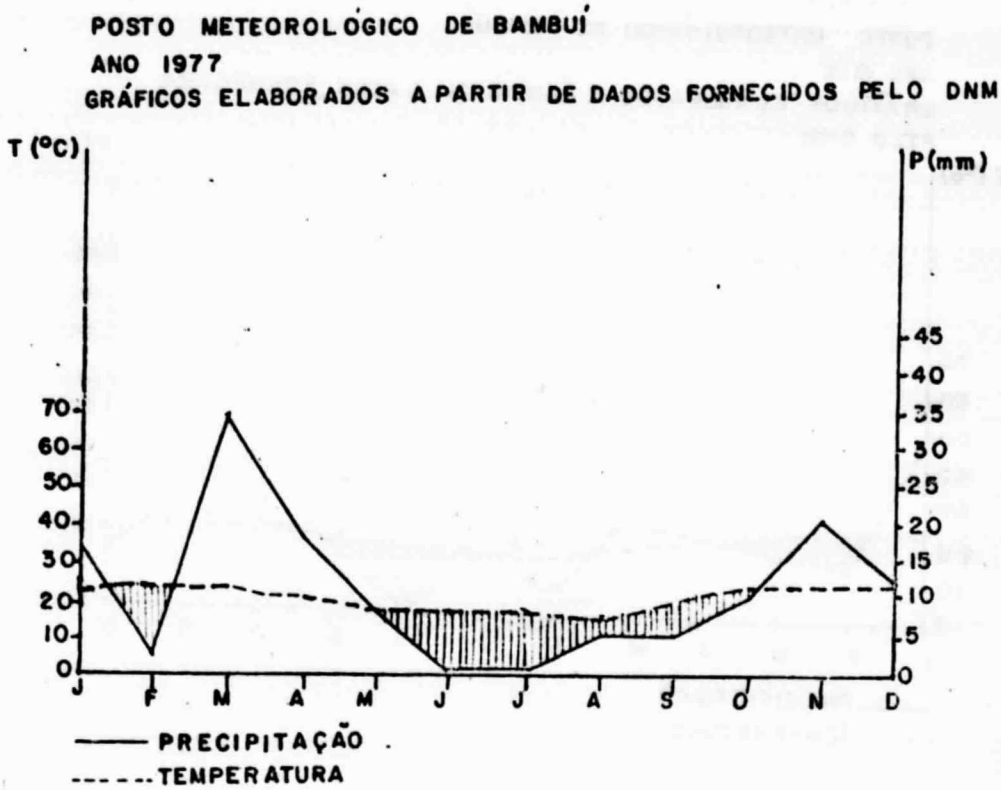


Fig. 4.3 - Caracterização da estação seca e chuvosa em Bambuí, de 1977.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

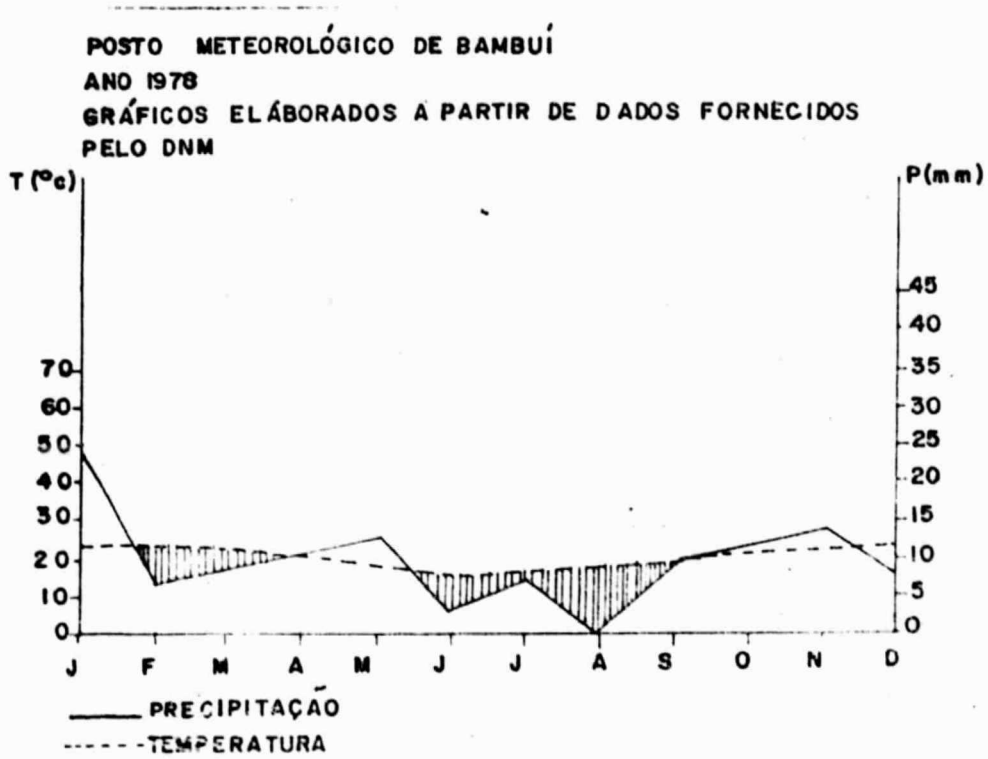


Fig. 4.4 - Caracterização da estação seca e chuvosa em Bambuí, de 1978.

a maior parte da carga detrítica é transportada durante as fases da cheia, quando os débitos são mais elevados. A quantidade e a concentração de sedimentos transportados possuem relação direta com o débito.

As Figuras 4.5 e 4.6 apresentam as curvas de descarga líquida e descarga sólida do rio São Francisco, nos anos de 1973 (período seco) e 1975 (período chuvoso).

Observando-se estas curvas, nota-se que há uma sensível diminuição na vazão e na carga detrítica do período chuvoso para o seco. Nota-se ainda que, no decorrer do período seco, há uma diminuição significativa destas duas componentes.

As curvas de concentração média e de descarga sólida suspensa comportam-se de forma semelhante à de descarga líquida. Isto vem reforçar o que foi dito na Seção 4.1.4, ou seja, durante o período chuvoso há um aumento no trabalho erosivo exercido pelo escoamento superficial. O aumento das precipitações aumenta o escoamento, provocando um acréscimo no transporte de sedimentos.

A partir das curvas referentes ao período chuvoso em 1977 até às curvas do período seco em 1978, o comportamento da concentração média e o da descarga sólida suspensa apresentam-se diferentes do comportamento da descarda líquida (Figuras 4.7, 4.8, 4.9, 4.10).

Através destas curvas, pôde-se constatar que durante os períodos chuvosos nem sempre os máximos apresentados pela descarga de sedimentos em suspensão coincidem com os máximos da 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 seja provocado pelo fato de não haver uma resposta imediata entre o aumento de chuva e o aumento de erosão (ou seja, aumento de sedimentos em suspensão). Ou talvez, deva-se a alguma possível forma de interferência antrópica no despejo de detritos no rio.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

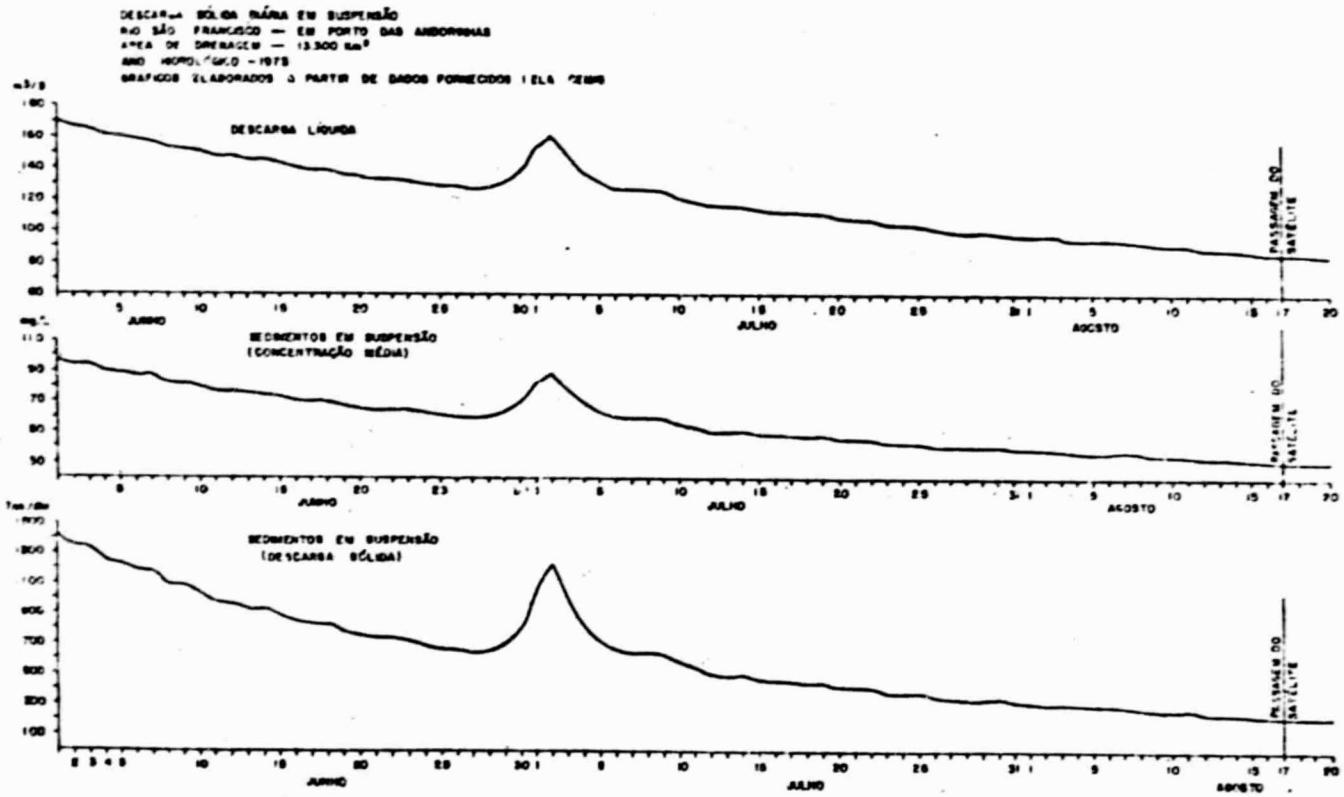


Fig. 4.5 - Curvas de descargas líquida e sólida do rio São Francisco, do periodo seco, ano de 1973.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

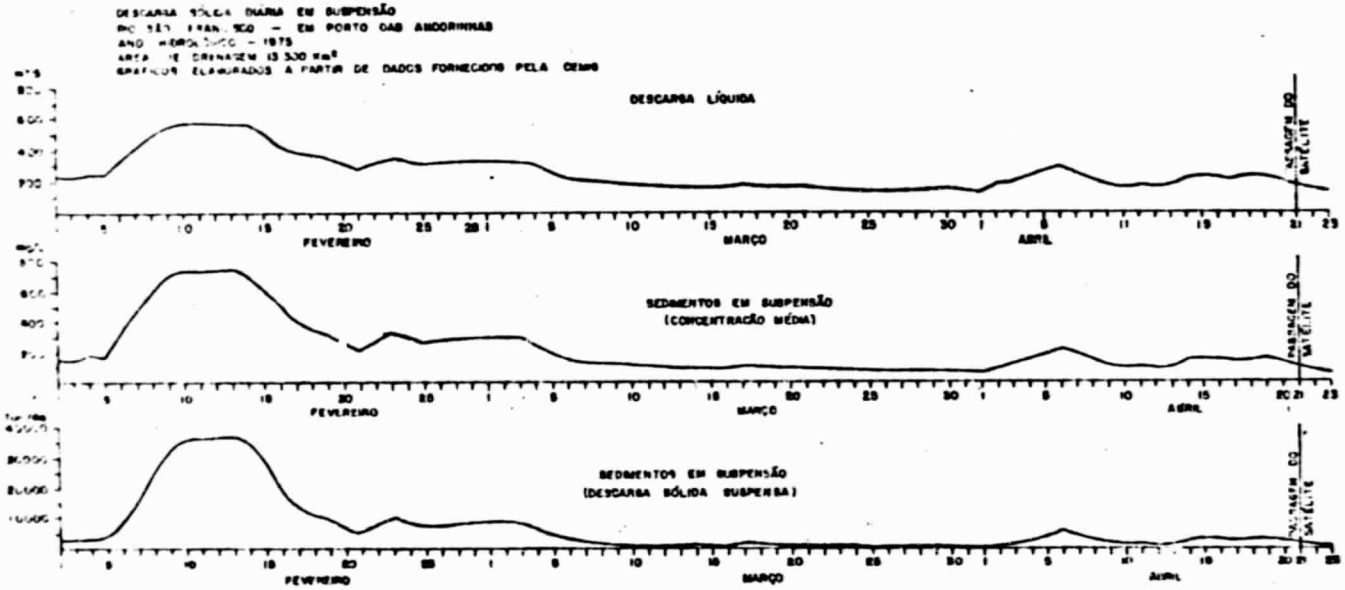


Fig. 4.6 - Curvas de descargas líquida e sólida do rio São Francisco, durante o período seco, de 1975.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

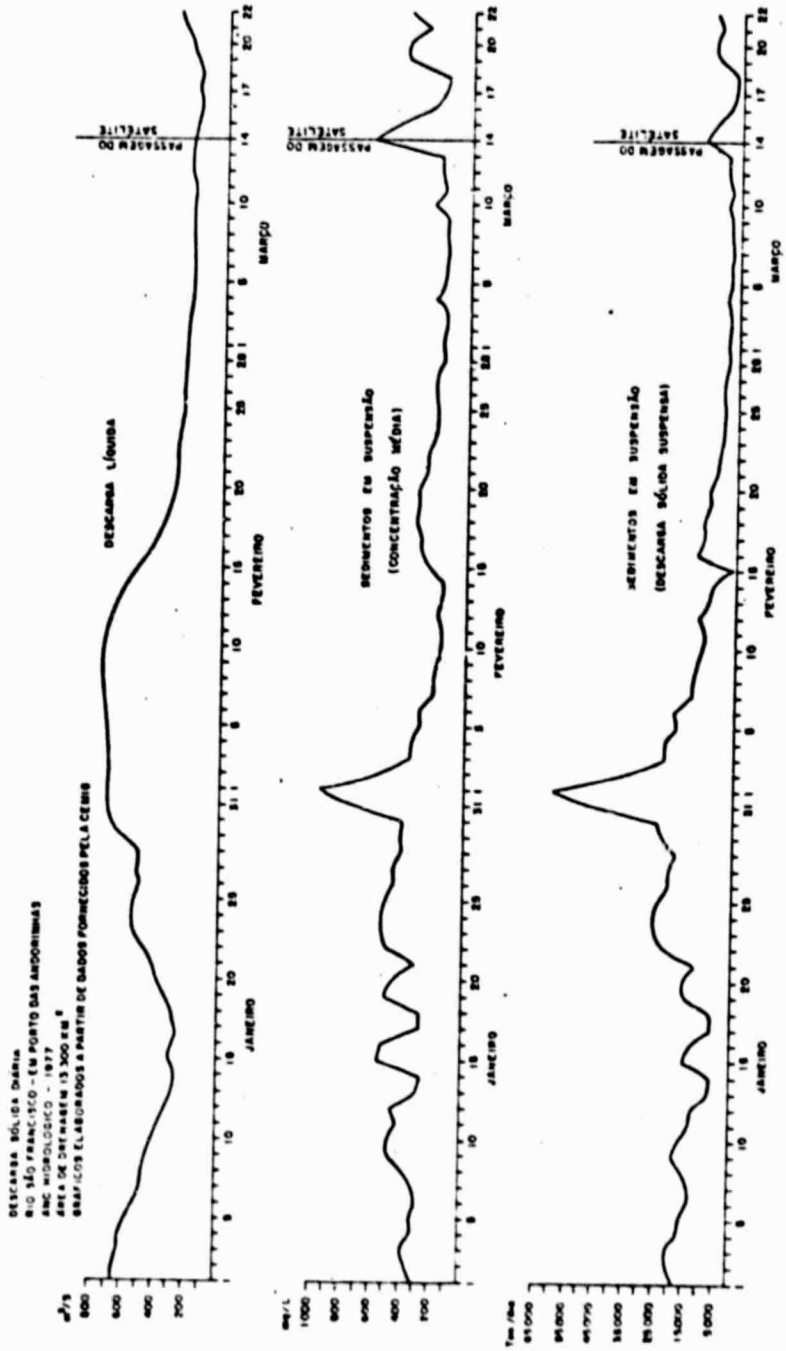


Fig. 4.7 - Curvas de descargas líquida e sólida do rio São Francisco do período chuvoso do ano de 1977.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

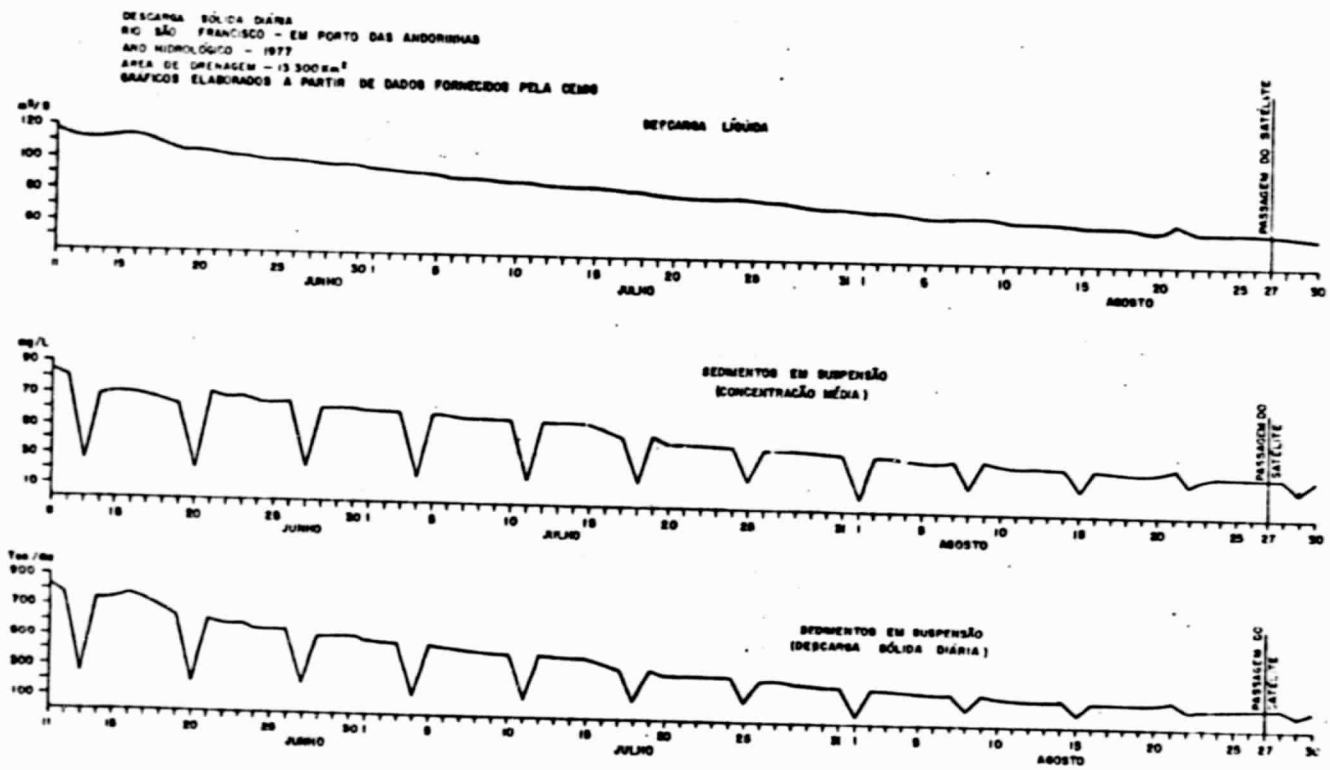


Fig. 4.8 - Curvas de descargas líquidas e sólidas do rio São Francisco, durante o período seco de 1977.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

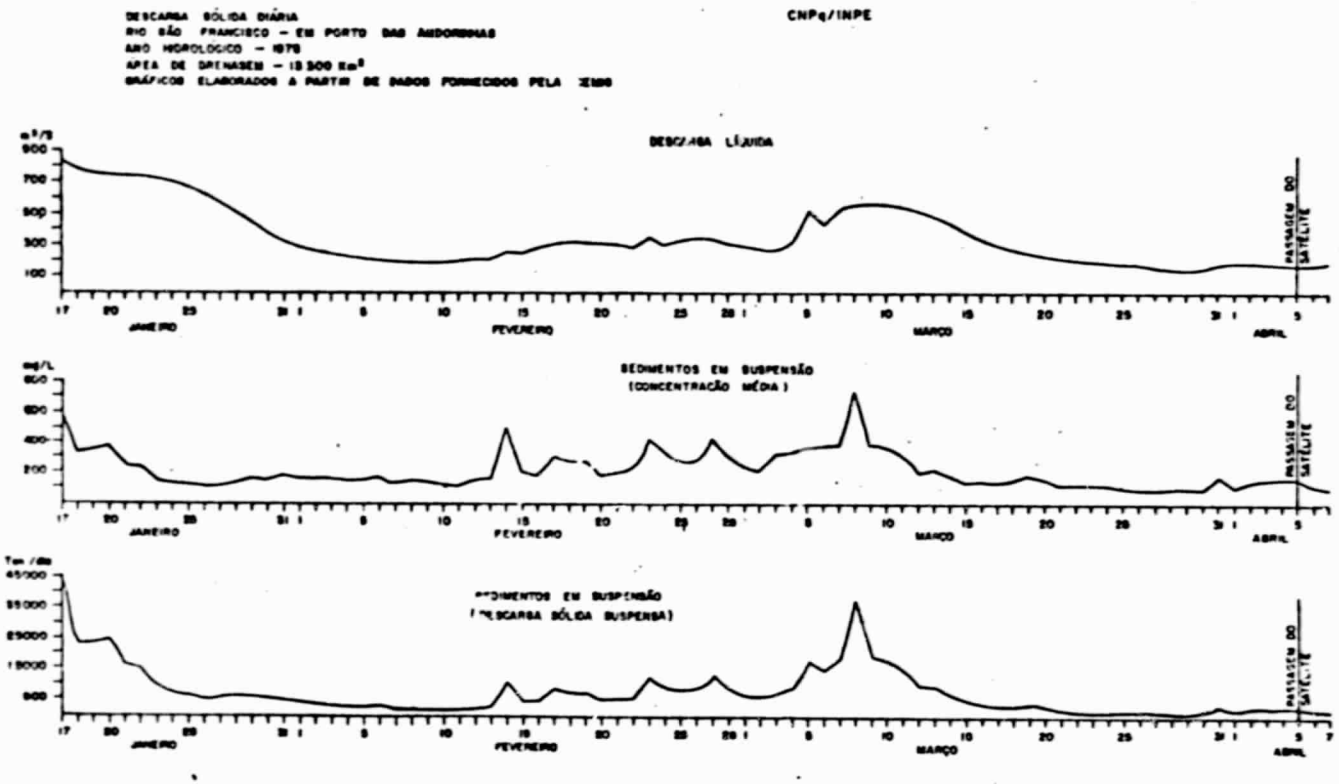


Fig. 4.9 - Curvas de descargas líquidas e sólida do rio São Francisco, durante o período chuvoso, em 1978

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

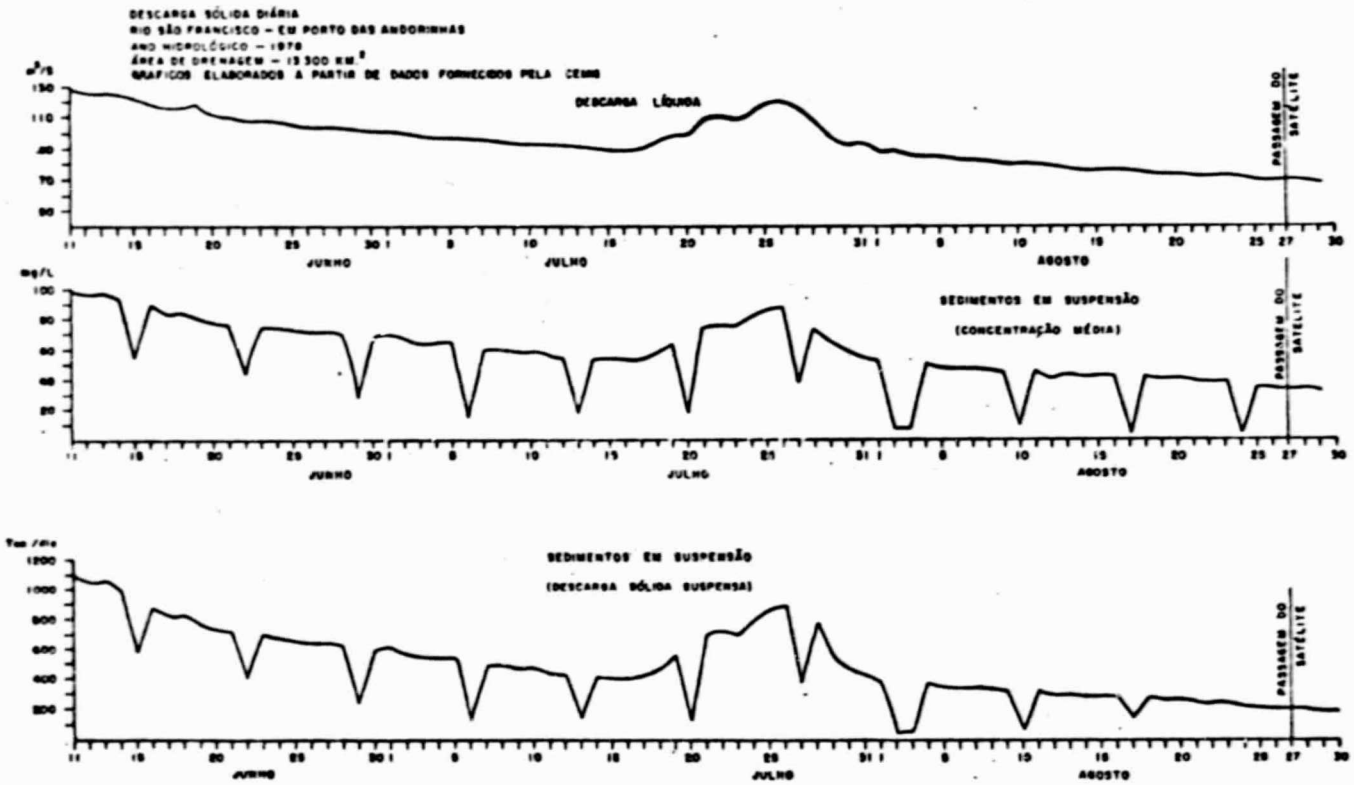


Fig. 4.10 - Curvas de descargas líquida e sólida do rio São Francisco, durante o período seco, em 1978.

Ao analisar as curvas do período seco, pôde-se constatar, pela forma periódica em que os máximos da carga de sedimentos em suspensão aparecem, que ocorreu alguma forma de interferência mais direta na produção da carga detrítica transportada para este rio. Notou-se também que à medida que a descarga líquida diminuiu, o transporte de sedimentos também diminuiu.

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 da cana, e 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 e no ano de 1978, sempre às quintas-feiras. A distância entre o local onde o rio Santana deságua no São Francisco e o local onde se encontra a régua fluviométrica é de aproximadamente 160 Km. Levando-se em consideração esta distância, possivelmente durante o ano de 1977, a usina de açúcar deveria diminuir o despejo de detritos no rio Santana aos domingos e, pela distância entre a usina e a régua fluviométrica, este fato só foi registrado na segunda-feira no local da régua. O mesmo aconteceu no ano de 1978, o despejo de detritos deve ter diminuído nas quartas-feiras e foi acusado na régua às quintas-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 e transporte de sedimentos para o rio São Francisco.

2) Rio Pará

O rio Pará é um dos principais afluentes do rio São Francisco, nesta região,e despeja neste a maior parte da sua carga detrítica.

A Figura 4.11 apresenta as curvas de descargas líquida e sólida durante o período seco em 1973. A Figura 4.12 apresenta estas mesmas curvas durante o período chuvoso em 1975. Para estes dois períodos não foram feitos gráficos ombrotérmicos, devido à ausência de dados de precipitação e de temperatura.

Pelas Figuras 4.11 e 4.12 referentes aos anos de 1973 e 1975, constatou-se que a curva de descarga sólida apresentou um comportamento semelhante à de descarga líquida.

Notou-se também que o ano de 1975 deve ter sido particularmente seco, pois as curvas de descarga líquida e sólida apresentam valores baixos, os quais tem relação direta com a quantidade de chuvas. Estas curvas apresentam dados até o dia 23 de abril, ou seja, final da estação chuvosa, e, conforme o que foi observado, à medida que a estação chuvosa chega ao fim, há um decréscimo nos valores dessas curvas.

Na Figura 4.11 referente ao período seco em 1973,observa-se um pico na descarga líquida e sólida. Isto provavelmente se deva à ocorrência de chuvas neste dia ou ao fato de que as comportas do reservatório do Cajuru, no alto curso do rio Pará, tenham sido abertas para que o nível do rio fosse mantido. Infelizmente não há dados de precipitação que possam auxiliar no esclarecimento deste fenômeno.

As Figuras 4.13 e 4.14 apresentam as curvas de precipitação diária e de descarga líquida e sólida durante os períodos chuvoso e seco, respectivamente, em 1977. As Figuras 4.15 e 4.16, apresentam estas mesmas curvas durante estes períodos, em 1978.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

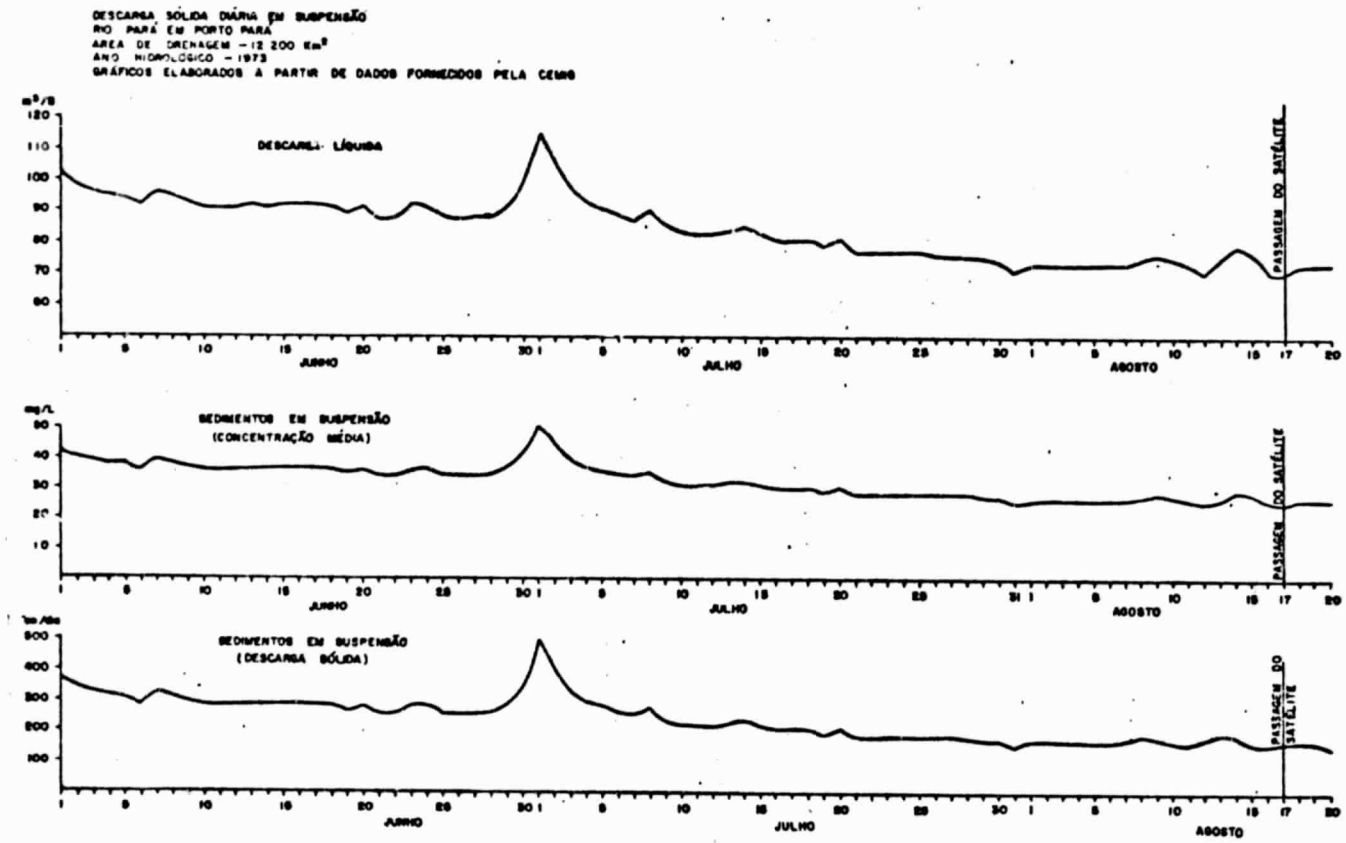


Fig- 4.11 - Curvas de descargas líquida e sólida do rio Pará, durante o período seco, em 1973.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

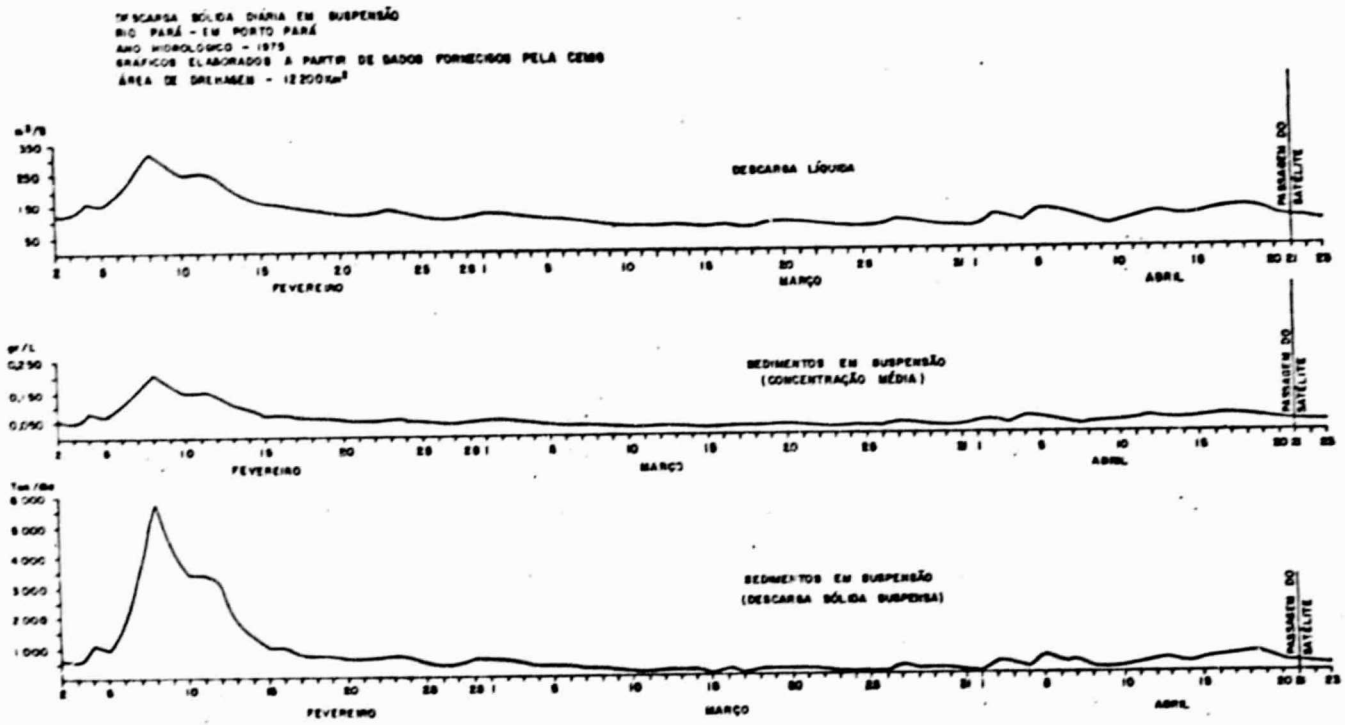


Fig. 4.12 - Curvas de descargas líquida e sólida do rio Pará, durante o período chuvoso, em 1975.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

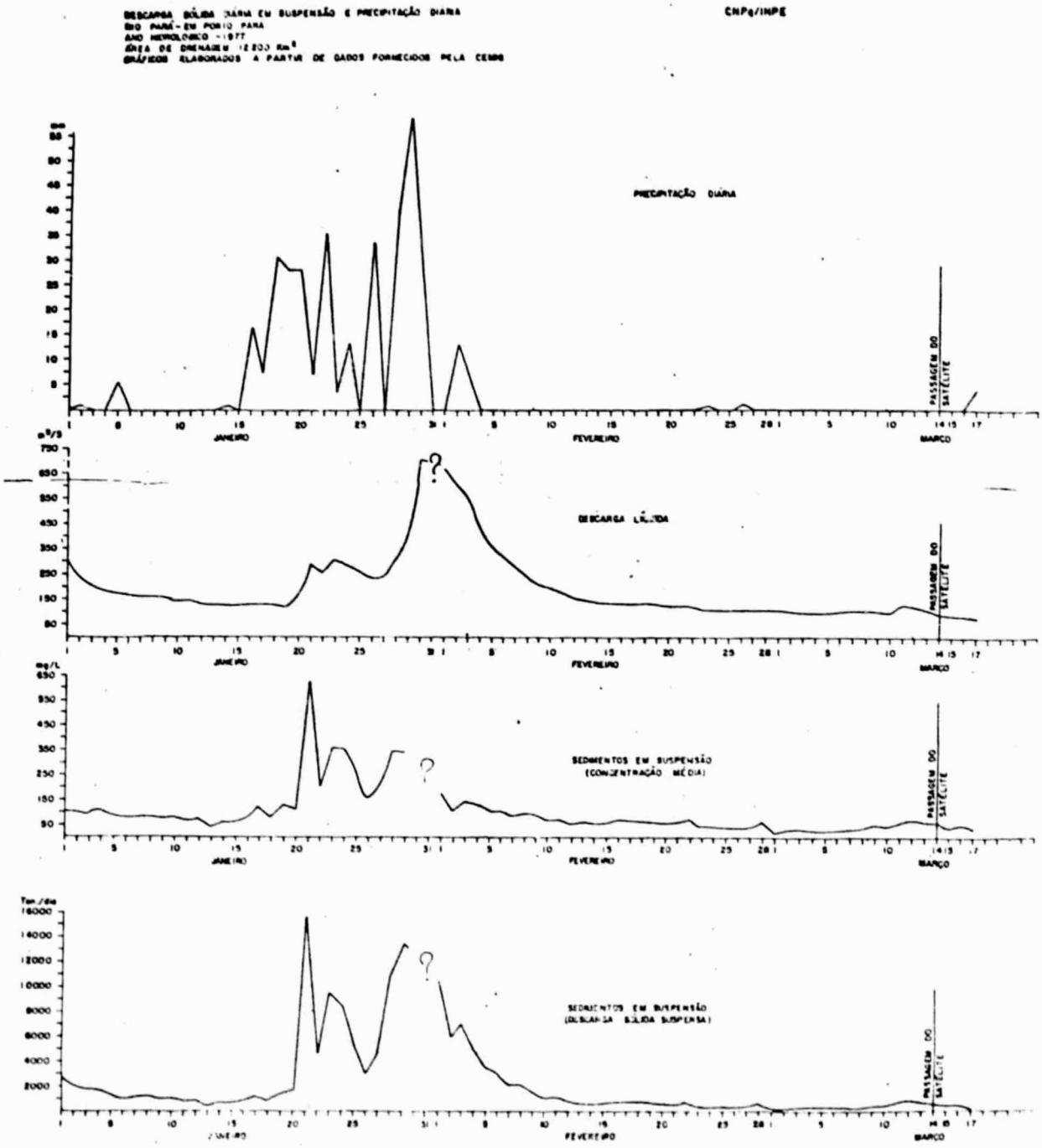


Fig. 4.13 - Curvas de precipitação diária e de descargas líquida e sólida do rio Pará, durante o período chuvoso, em 1977.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

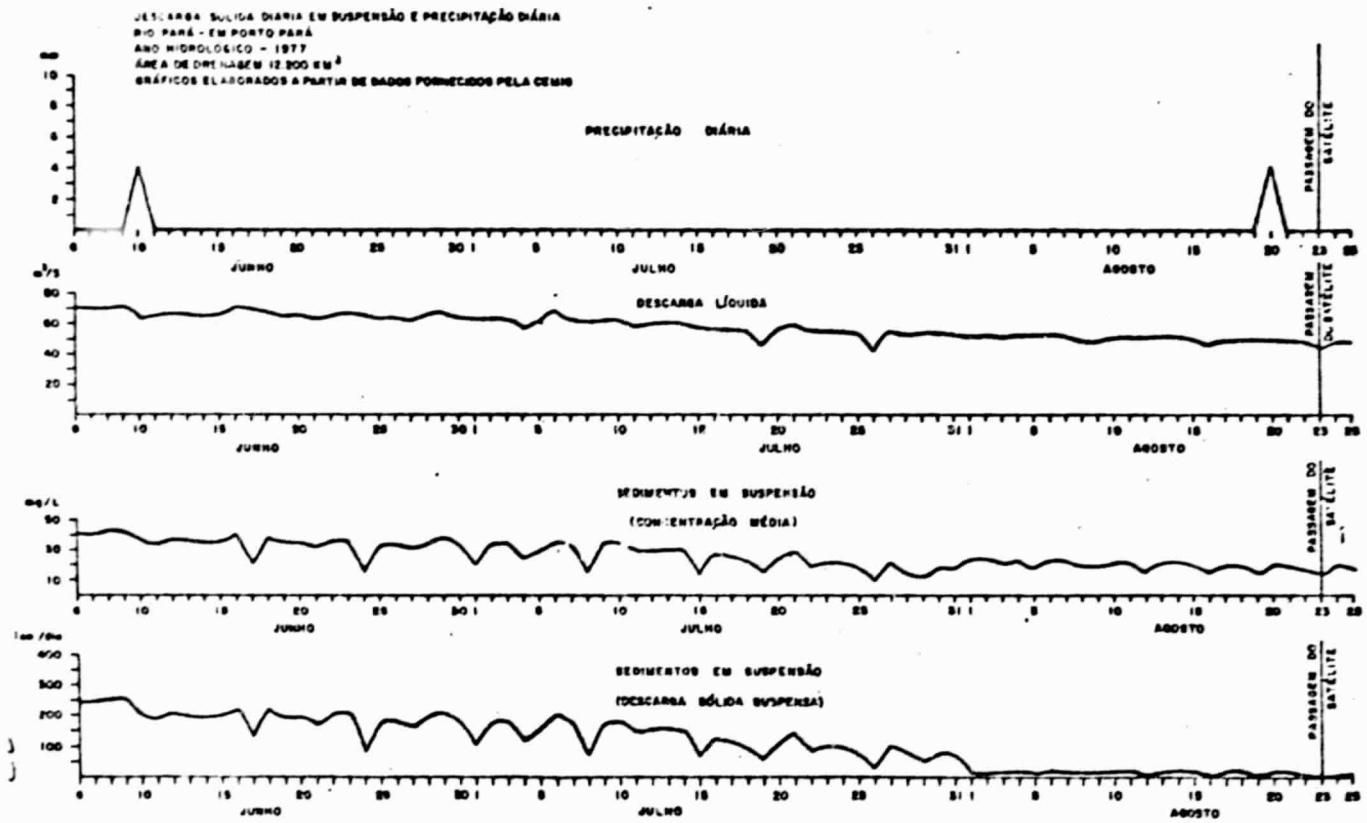


Fig. 4.14 - Curvas de precipitação diária e de descargas líquida e sólida do rio Pará, durante um período seco, em 1977.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

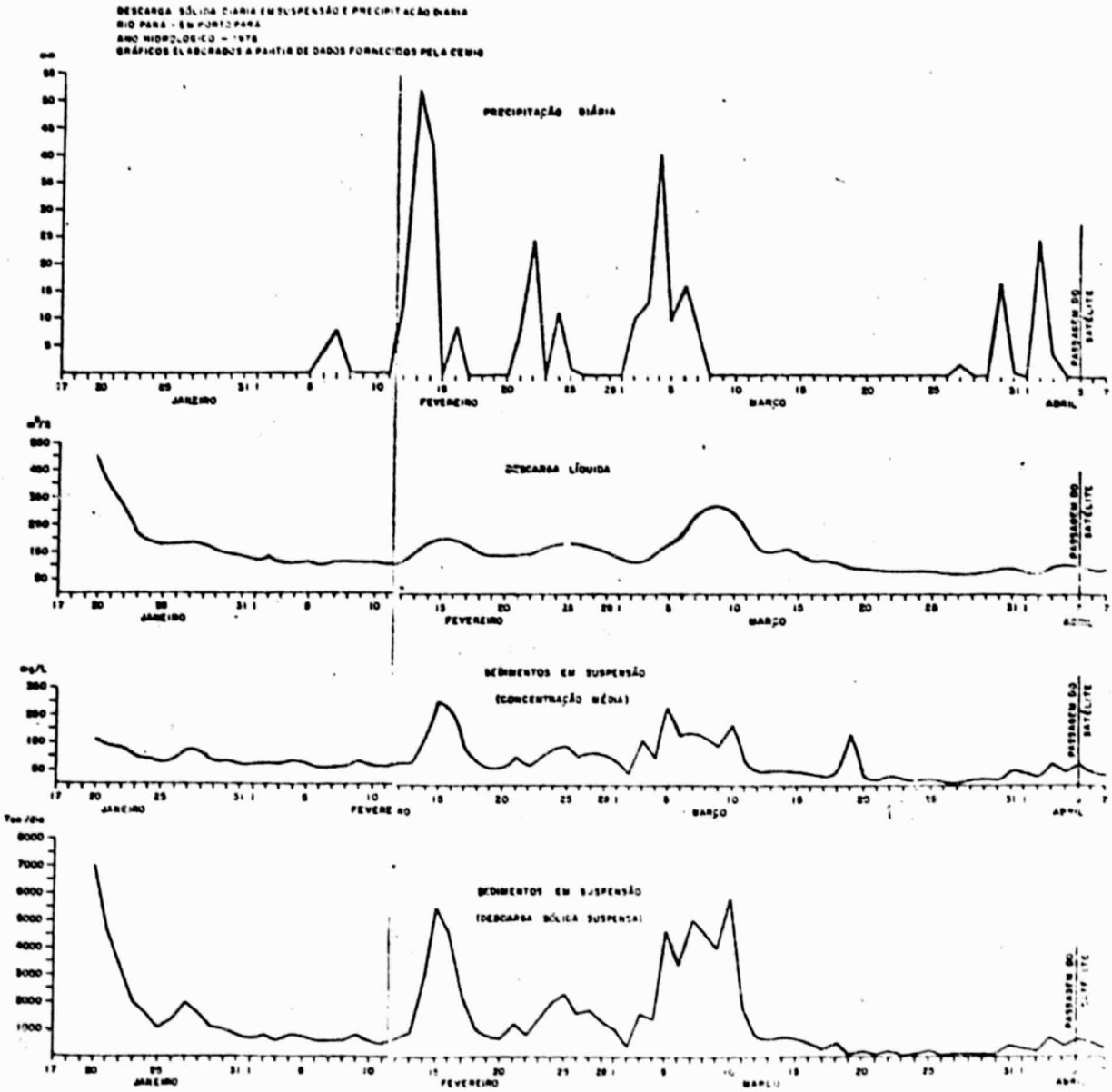


Fig. 4.15 - Curvas de precipitação diária e de descargas líquida e sólida do rio Pará, durante o período chuvoso, em 1978.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

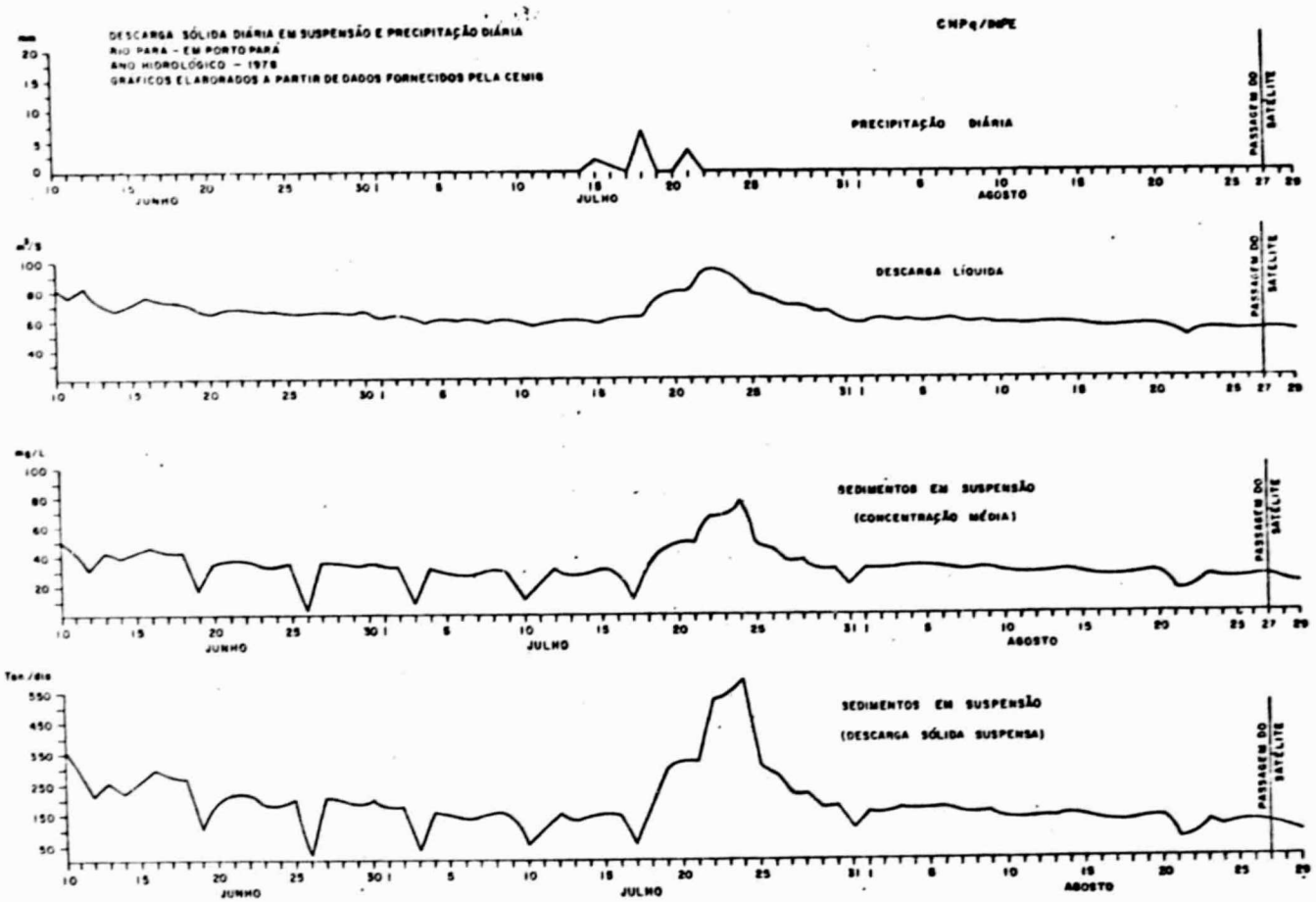


Fig. 4.16 - Curvas de precipitação diária e de descargas líquida e sólida do rio Pará, durante um período seco, em 1978.

As curvas do período chuvoso em 1977 apresentam altos valores para todos os dados, reforçando o que foi mencionado no Capítulo 2, ou seja, quanto mais intensas forem as chuvas, maiores serão as descargas líquidas e a produção da carga detrítica. Além disso, quanto mais tempo transcorrer entre um período chuvoso e outro, mais intenso será o efeito das chuvas, aumentando assim a carga de sedimentos.

Pela Figura 4.13 pode-se constatar também que as curvas de sedimentos em suspensão apresentam picos abruptos e de curta duração, não observados na curva de descarga líquida. Isto sugere uma produção de sedimentos, cuja causa não esteja ligada somente a problemas de erosão e pluviosidade.

Nas curvas de descargas líquida e sólida, há um espaço de tempo (3 dias) sem informações; porém, pela curva de precipitação, supõe-se que neste período deve ter ocorrido um máximo de descarga, uma vez que tais curvas têm seu comportamento regido pela precipitação.

As curvas referentes ao período chuvoso, em 1978, apresentam comportamento semelhante às do ano de 1977.

Observando-se as curvas dos períodos secos dos anos de 1977 e 1978, pôde-se notar um comportamento periódico nas curvas de descarga sólida como o encontrado no rio São Francisco, porém não tão acentuado. Isto provavelmente é devido à abertura das comportas da represa do Cajuru, localizada no alto curso do rio Pará, no município de Carmo do Cajuru. Com o despejo das águas deste reservatório, a carga de sedimentos em suspensão e o material de fundo do leito do rio Pará são revolvidos, postos na corrente e transportados em direção ao rio São Francisco.

Durante o período seco isto é feito de forma mais periódica, a fim de que o nível do rio Pará seja mantido. Observou-se que durante o período chuvoso, estes máximos na descarga sólida, em geral, coincidem com máximos acentuados de precipitação, quando as comportas são abertas, não permitindo que as águas ultrapassem o limite máximo de capacidade do reservatório.

3) Rio Paraopeba

A Figura 4.17 apresenta as curvas de descargas líquida e sólida durante o período seco em 1973. A Figura 4.18, apresenta estas mesmas curvas durante o período chuvoso em 1975. Não foram feitos gráficos ombrotérmicos para estes dois períodos, devido à ausência de dados de temperatura e precipitação.

Nas Figuras 4.17 e 4.18 a curva de descarga sólida apresentou comportamento semelhante ao da descarga líquida, isto é, com aumento da última houve o consequente aumento da primeira.

Apesar de não ter havido dados durante 3 dias, para as curvas durante o período seco em 1973, c comportamento da curva faz supor a ocorrência de um máximo de descargas nestes 3 dias.

Na curva referente ao ano de 1975, notou-se, também, uma acentuada diminuição da descarga líquida em direção ao final do mês de abril, sugerindo, tal como no caso do rio Pará, um ano seco.

Os máximos que ocorrem nestas curvas, provavelmente, é devido à ocorrência de chuvas na região. Porém, nas curvas referentes ao ano de 1975, pôde-se observar que a de descarga sólida apresenta um máximo muito acentuado em relação ao pico da curva de descarga líquida, apesar das duas coincidirem. Isto talvez se deva ao maior despejo de detritos na corrente do rio Paraopeba, por parte das minerações ao longo do mesmo.

A Figura 4.19 apresenta a curva de precipitação diária para o período chuvoso de 1977, e a Figura 4.24, as curvas de descargas líquida e sólida. As Figuras 4.20 e 4.21 apresentam estas mesmas curvas para o período seco de 1977 e as Figuras 4.22 e 4.23 apresentam estas curvas para o período chuvoso de 1978.

Não há dados de descargas líquida e sólida, deste rio, durante o período seco de 1978.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

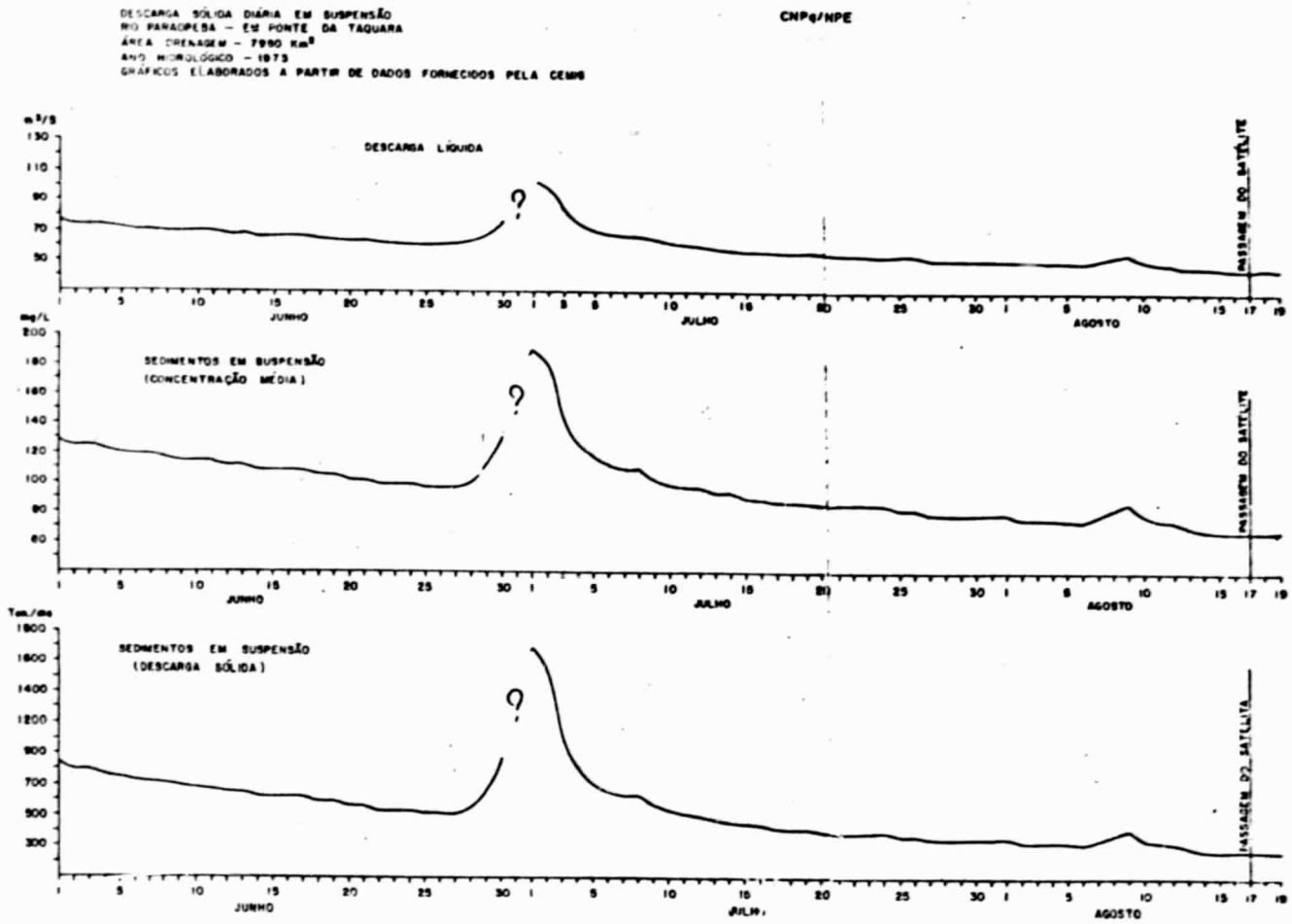


Fig. 4.17 - Curvas de descargas líquida e sólida do rio Paraopeba, durante o período seco, em 1973.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

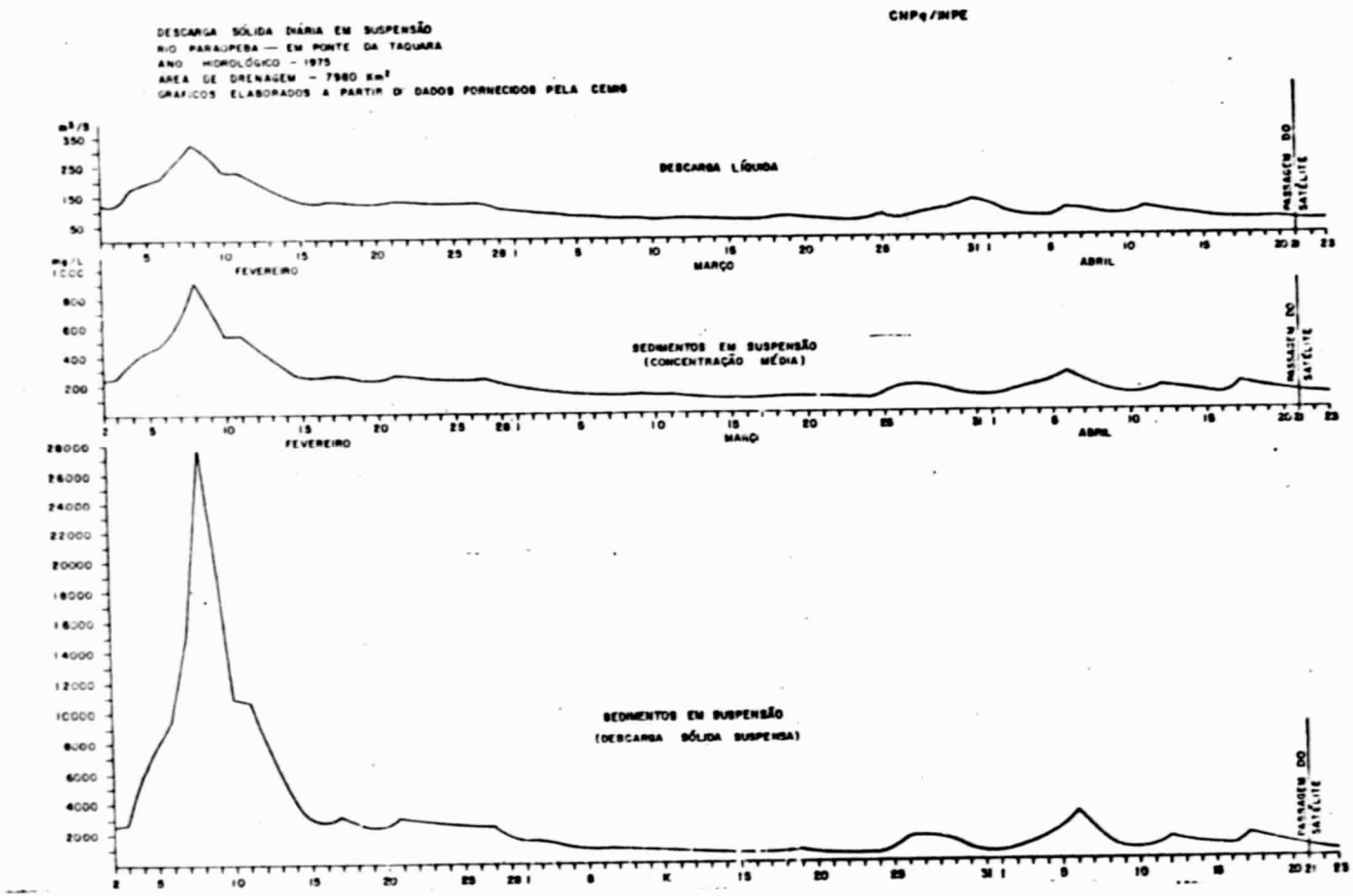


Fig. 4.18 - Curvas de descargas líquida e sólida do rio Paraopeba, durante o período chuvoso, em 1975.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

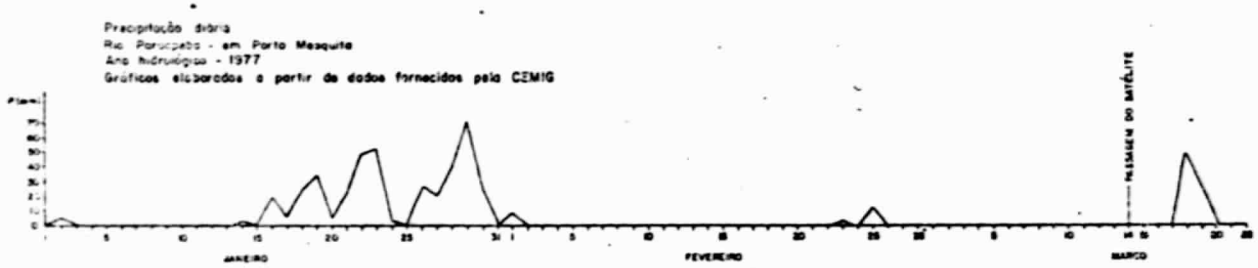


Fig. 4.19 - Curvas de precipitação diária, durante o período chuvoso, em Porto Mesquita no rio Paraopeba, em 1977.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

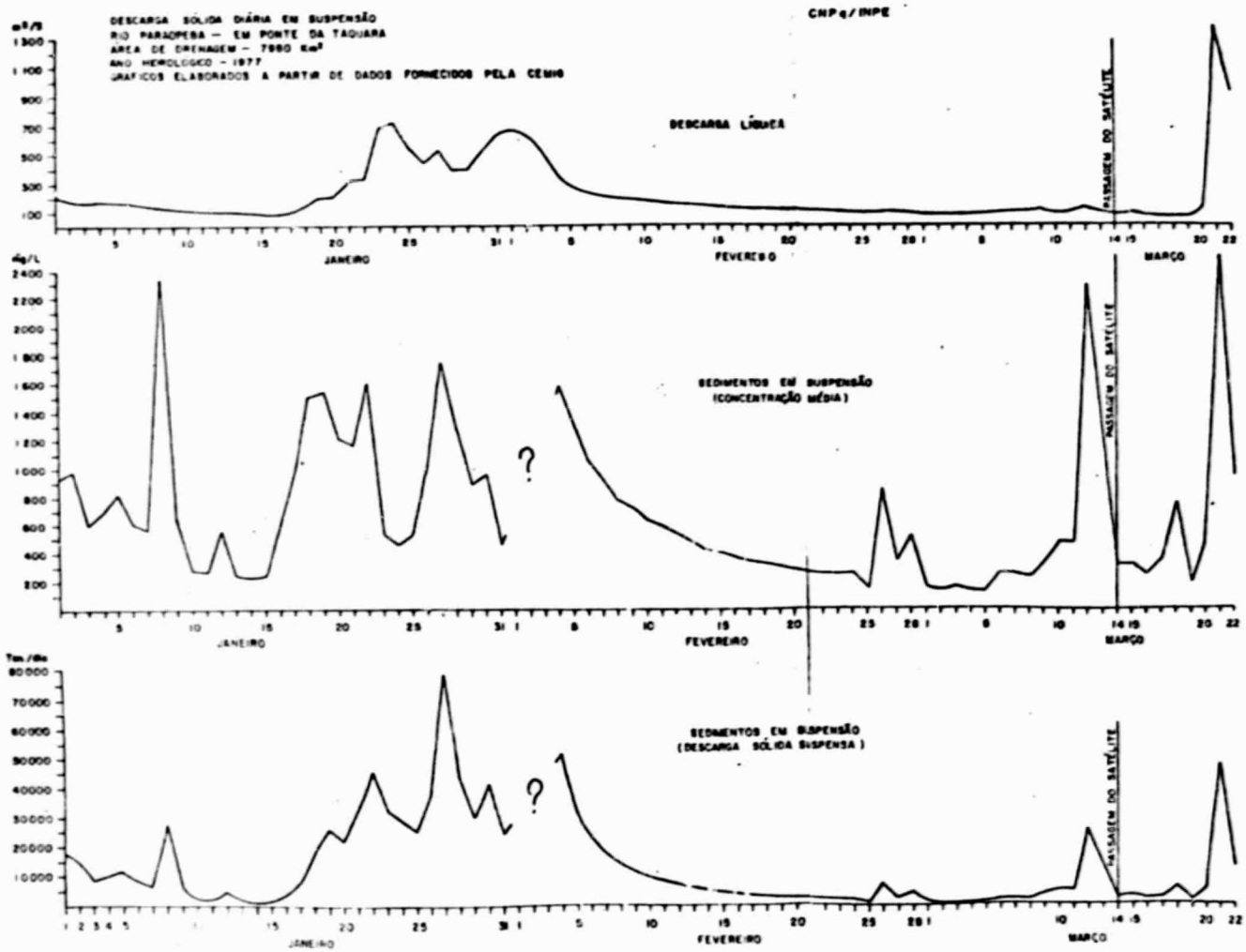


Fig. 4.20 - Curvas de descargas líquida e sólida, durante o período chuvoso, no rio Paraopeba, em 1977.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

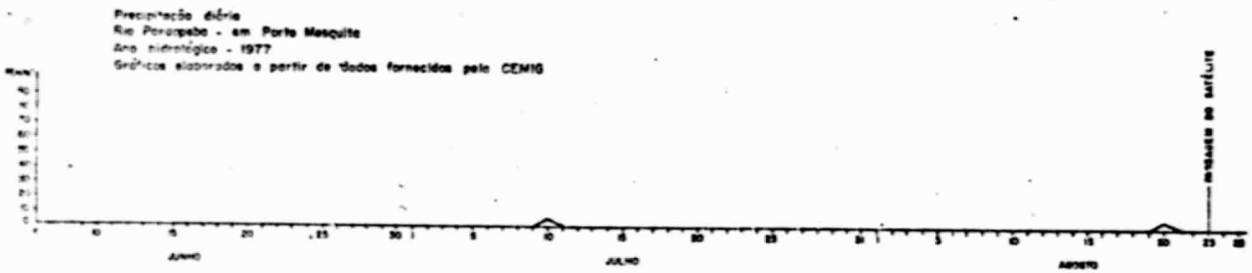


Fig. 4.21 - Curva de precipitação diária, durante o período chuvoso, em Porto Mesquita no rio Paraopeba, em 1977.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

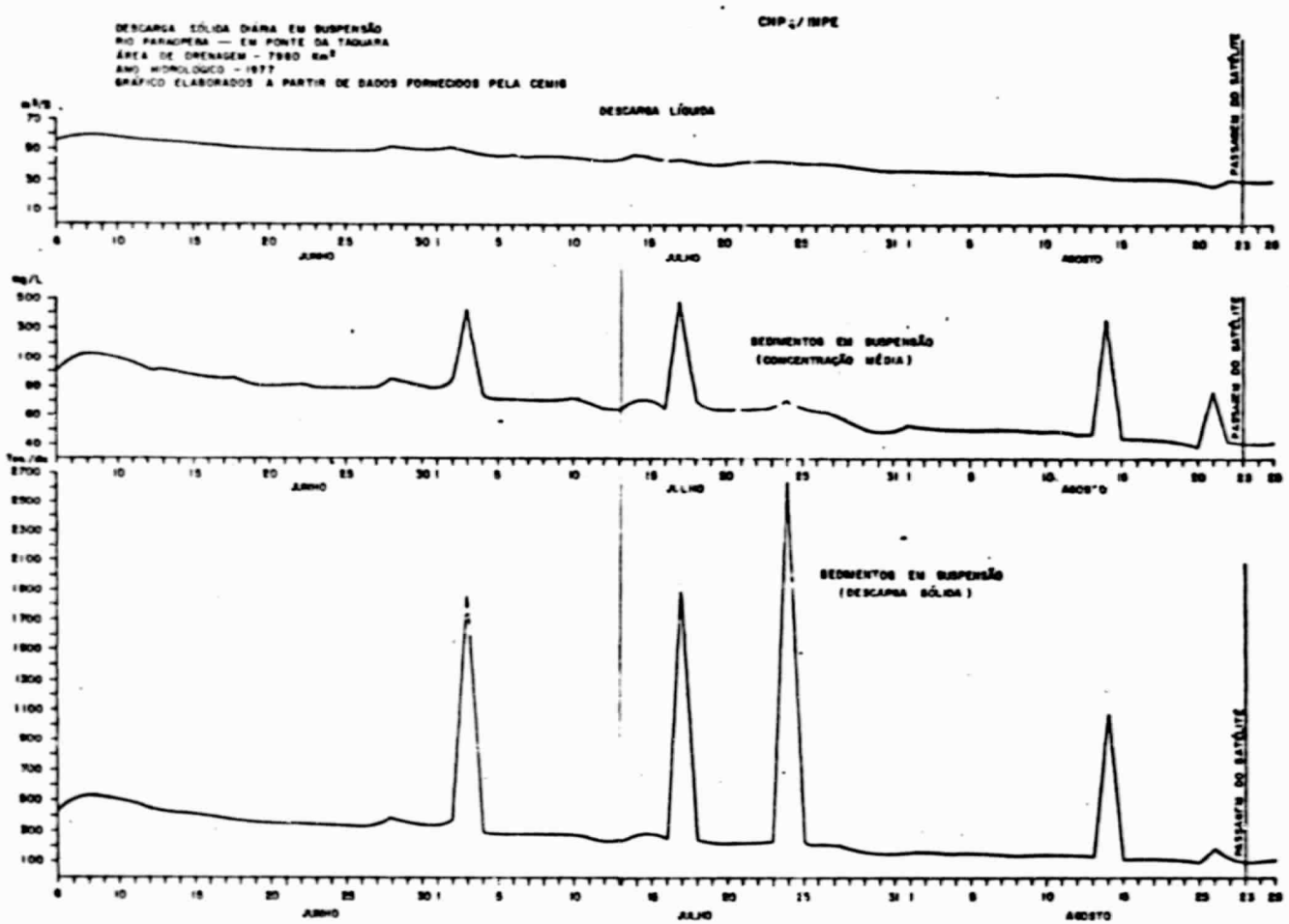


Fig. 4.22 - Curvas de descargas líquida e sólida, durante o período seco, no rio Paraopeba, em 1977.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

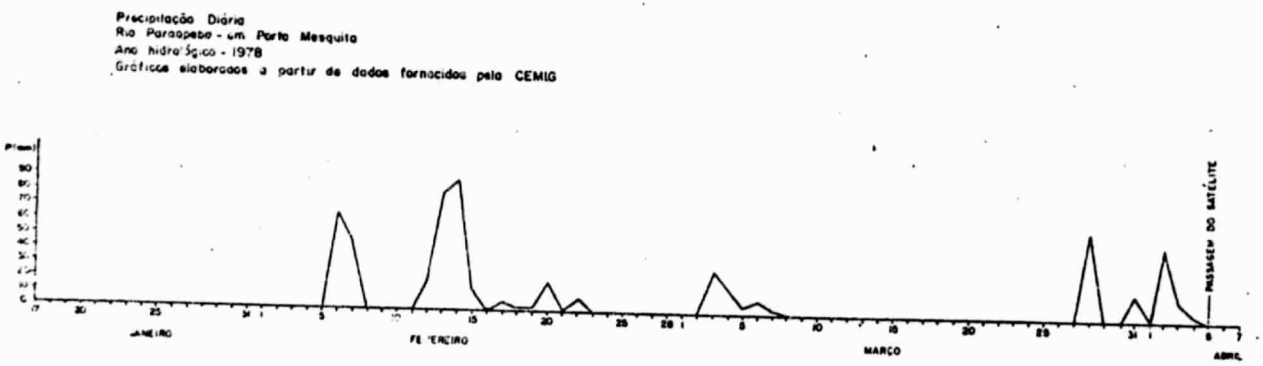


Fig. 4.23 - Curva de precipitação diária, durante o período chuvoso, em Porto Mesquita no rio Paraopeba, em 1978.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

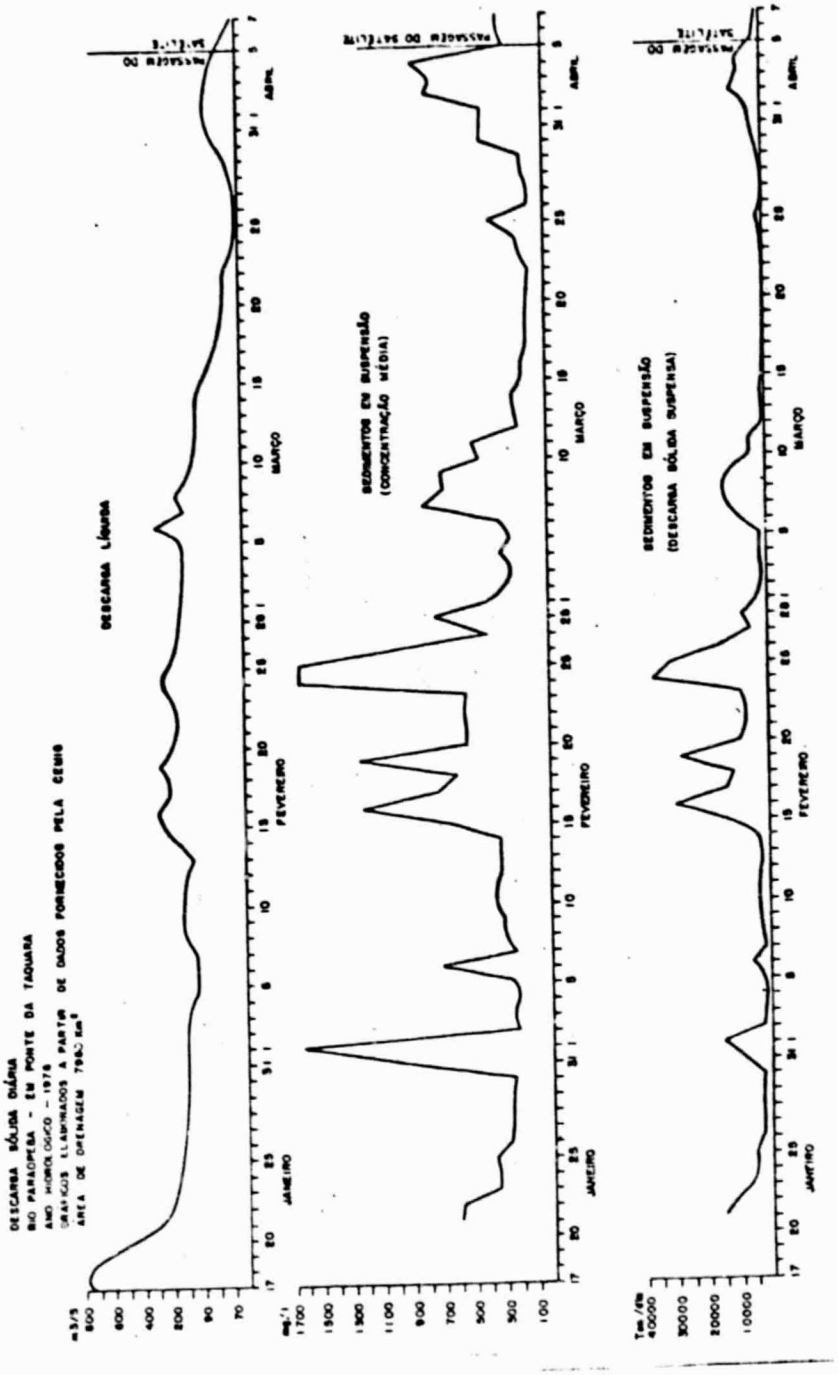


Fig. 4.24 - Curvas de descargas líquida e sólida, durante o período chuvoso, no rio Paraopeba, em 1978.

Pôde-se constatar que, nos anos de 1977 e 1978, as curvas de descarga líquida e sólida apresentam um comportamento semelhante.

As curvas de descarga líquida coincidem com a distribuição das precipitações na região, ou seja, quanto maior a precipitação, maior a descarga líquida. Já as curvas de descarga sólida apresentam uma frequência maior de picos, em geral de forma abrupta e de curta duração, ocorrendo em maior número por ocasião do período chuvoso.

Apesar de não ter havido dados por um período de 4 dias, em 1977 as curvas de descarga sólida referentes ao período chuvoso apresentaram uma tendência para a ocorrência de um máximo de descarga nesses dias.

De acordo com a Seção 4.14, 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 pela 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 conteúdo sólido, 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. Se forem levadas em consideração as curvas de descargas dos rios analisados e os fatores acima mencionados, pode - se concluir que o rio Paraopeba é o maior contribuidor de carga detrítica para o reservatório de Três Marias

4.2 - ANÁLISE DA DINÂMICA DO RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS

Os mapas obtidos através da análise dinamica do reservatório de Três Marias são apresentados nas Figuras do Apêndice D.

4.2.1 - DADOS COLETADOS SIMULTANEAMENTE NO RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS

Conforme o Capítulo 3, foram coletados dados de profundidade Secchi e de reflectancia d'água no reservatório de Três Marias, em 25 pontos de amostragem, durante os trabalhos de campo.

De acordo com Bartolucci et alii (1977), para corpos d'água túrbidos (100 mg/l de sólidos suspensos), a reflectancia de fundo não afeta a resposta espectral da água, se o fundo tiver profundidades superiores a 30 cm.

No reservatório de Três Marias, durante o período seco no qual este corpo d'água diminui consideravelmente o seu volume, a profundidade máxima é de 57 metros (região de águas mais límpidas) e a mínima encontrada foi de 5 metros (região de águas mais túrbidas). Levando-se em consideração esses fatos, pode-se afirmar que os dados coletados "in situ", não sofreram interferência da reflexão de fundo.

Estes dados foram utilizados para se fazer a análise de correlação com os valores de níveis de cinza das águas da camada superficial do servatório de Três Marias, obtidos através da interpretação automática dos dados LANDSAT.

As Tabelas 4.14, e 4.15, apresentam estes resultados para os períodos chuvoso e seco respectivamente, do ano de 1978.

4.2.2 - INTERPRETAÇÃO SEMI-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 semi-automática das fitas considerou as diferenças de níveis de cinza apresentadas pela camada superficial d'água do reservatório Três Marias.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

TABELA 4.14

RELAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM NO RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS COM SEUS RESPECTIVOS DADOS DE PROFUNDIDADE SECCHI E REFLECTÂNCIA (PERÍODO CHUVOSO)

ROTEIRO	PONTO	REFLECTÂNCIA				ESCALA	PROFUNDIDADE SECCHI EM METROS
		CANAL 1	CANAL 2	CANAL 3	CANAL 4		
1	1.A	0,10	0,08	0,06	0,05	10^2	2,75
	1.B	0,14	0,07	0,08	0,07	10^2	2,75
	1.C	0,15	0,10	0,04	0,03	10^2	1,25
2	2.A	0,06	0,05	0,02	0,03	10^2	4,00
	2.B	0,06	0,04	0,02	0,03	10^2	3,50
	2.C	0,06	0,04	0,02	0,03	10^2	4,00
3	3.A	0,09	0,06	0,04	0,03	10^2	2,25
	3.B	0,09	0,07	0,03	0,03	10^2	2,00
	3.C	0,11	0,08	0,05	0,03	10^2	1,75
4	4.A	0,14	0,09	0,05	0,04	10^2	1,50
	4.B	0,13	0,10	0,05	0,05	10^2	1,75
	4.C	0,16	0,08	0,04	0,04	10^2	1,25
5	5.A	0,12	0,11	0,07	0,07	10^2	1,75
	5.B	0,07	0,07	0,04	0,03	10^2	2,00
	5.C	0,07	0,05	0,03	0,03	10^2	0,80
6	6.A	0,13	0,16	0,07	0,04	10^2	0,50
	6.B	0,12	0,16	0,09	0,09	10^2	0,50
	6.C	0 18	0,22	0,09	0,06	10^2	0,25
7	7.A	0,11	0,09	0,04	0,03	10^2	1,25
	7.B	0,21	0,19	0,09	0,07	10^2	1,00
	7.C	0,21	0,20	0,14	0,11	10^2	0,75
8	8.A	0,10	0,10	0,05	0,04	10^2	1,50
	8.B	0,15	0,12	0,06	0,05	10^2	1,25
	8.C	0,08	0,07	0,04	0,03	10^2	1,75

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

TABELA 4.15

RELAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM NO RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS, COM SEUS RESPECTIVOS DADOS DE PROFUNDIDADE SECCHI E REFLECTÂNCIA (PERÍODO SECO)

ROTEIRO	PONTO DE AMOSTRAGEM	PROFUNDIDADE SECCHI EM METROS	LEITURAS DE REFLECTÂNCIA D'ÁGUA				
			CANAL 1	CANAL 2	CANAL 3	CANAL 4	ESCALA
1	1A	6,0	0,06	0,05	0,04	0,03	10^2
	1B	6,0	0,08	0,07	0,05	0,06	10^2
	1C	2,0	-	-	-	-	10^2
2	2A	3,5	0,05	0,04	-	0,02	10^2
	2B	4,5	0,05	0,03	0,02	0,02	10^2
	2C	4,5	0,06	0,04	0,02	0,02	10^2
3	3A	4,0	0,05	0,02	0,03	0,03	10^2
	3B	3,5	-	-	-	-	10^2
	3C	3,0	-	-	-	-	10^2
4	4A	4,5	-	-	-	-	10^2
	4B	4,0	-	-	-	-	10^2
	4C	4,0	-	-	-	-	10^2
5	5A	2,5	0,06	0,07	0,05	0,04	10^2
	5B	1,5	0,08	0,07	0,05	0,0[illegible]	10^2
	5C	1,5	0,07	0,06	0,04	0,03	10^2
6	6A	4,0	0,05	0,03	0,01	0,02	10^2
	6B	2,0	0,08	0,05	0,03	0,03	10^2
	6C	0,25	0,15	0,20	0,13	0,08	10^2
7	7A	4,4	0,17	0,14	0,11	0,10	10^2
	7B	3,0	-	-	-	-	10^2
	7C	0,50	-	-	-	-	10^2
8	8A	2,5	0,10	0,10	0,10	0,09	10^2
	8B	2,0	0,09	0,0[illegible]	0,08	0,07	10^2
	8C	2,0	0,07	0,06	0,04	0,03	10^2
9	9A	5,0	0,11	0,09	0,07	0,07	10^2

Apresentam-se, a seguir, os resultados obtidos com esta análise.

1) Cobertura Orbital de 17/Agosto/1973

Esta passagem refere-se ao período seco na área de estudos época em que o reservatório se apresenta com camada de águas superficiais bastante homogêneas, 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 pelos rios que o abastece. 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.

Nesta cobertura orbital do LANDSAT, foram determinadas sete diferentes classes de nível de cinza, cujos valores médios e o mapa temático, obtidos através da classificação automática no sistema I-100, são apresentados na Figura D.1.

2) Cobertura orbital de 21/Abril/1975

Esta órbita refere-se ao período chuvoso na área de estudo.

Nesta ocasião, 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.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

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 descarga líquida e sólida dos rios que abastecem o reservatório de Três Marias. Este aumento nas descargas provocará um aumento na concentração de sedimentos no reservatório, o que faz com que haja uma maior variação na energia refletida, caracterizada pelas águas de superfíeice.

Nesta órbita foram determinadas oito diferentes classes de nível de cinza, cujos valores médios e o mapa temático, obtidos através da classificação temática no sistema I-100, são apresentados na Figura D.2

Ao analisar o transporte de sedimentos, Hujlstrom(1939) traçou curvas aproximadas para a erosão, transporte e deposição de material uniforme, conforme observado na Figura 4.25. A relação destes três fatores, depende principalmente da velocidade da água e do tamanho do grão do sedimento.

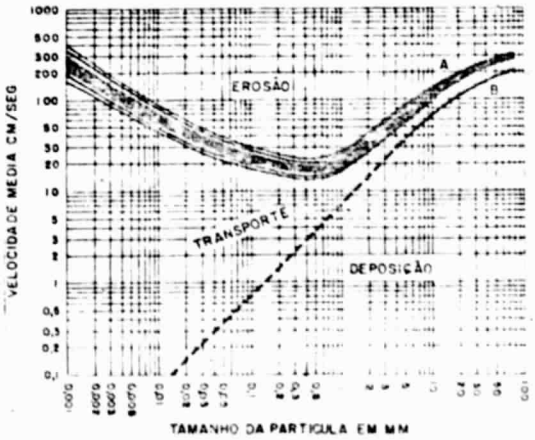


Fig. 4.25 - Curvas de erosão e deposição do material uniforme.

FONTE: Hjulstrom (1939), p.10.

De acordo com observações feitas por Hjülstrom (1939) e Postma (1967), a curva A da Figura 4.25, representa a "velocidade crítica de erosão", que é a velocidade mínima da corrente d'água na qual o sedimento de um tamanho específico começa a movimentar-se. O movimento do sedimento termina numa velocidade de fluxo chamada "menor velocidade de transporte", ou "velocidade de deposição", sendo a mesma representada pela curva B desta figura.

Analisando-se o comportamento da curva A, observa-se que, para um material uniformemente classificado, com um diâmetro maior do que 0,5 mm, a velocidade crítica de erosão tende a aumentar com o aumento do tamanho das partículas. Para a erosão de partículas deste tamanho, a velocidade média necessária é aproximadamente de 20 cm/seg. Para partículas com um tamanho de 25 cm, essa velocidade é de aproximadamente 200 cm/seg. No entanto, para as partículas que apresentam diâmetros menores do que 0,5 mm é necessária uma velocidade crítica de erosão maior, sendo esta maior ainda, para as argilas.

Assim, pelo comportamento desta curva constata-se que as areias finas, que possuem um diâmetro de 0,3 a 0,6 mm, são mais facilmente colocadas em transporte, ao contrário do silte, da argila, da areia grossa e do cascalho, que exigem velocidades muito altas.

Pela análise da curva B, observa-se que as relações entre crítica de erosão e a menor velocidade de transporte são diferentes para os diferentes tamanhos de partículas. Assim, as partículas muito finas podem permanecer em suspensão com velocidades extremamente pequenas, pelo menor durante o tempo em que a água permaner em um movimento turbilhonar. Estas partículas têm velocidade de deposição menor que a de flutuação e, uma vez estando na corrente, pouca energia é necessária para transportá-las, ao contrário das partículas maiores, onde é exigida maior velocidade de transporte quanto maior for o seu tamanho.

Levando-se em consideração o gráfico de Hjülstrom, (Figura 4.25) pode-se ter uma idéia melhor da diferença do comportamento do reservatório de Três Marias nos dois períodos sazonais até agora analisados.

No período seco, devido à diminuição das precipitações, não há enxurradas e praticamente não ocorre escoamento superficial.

Assim, o transporte do material detrítico ocorre no canal do rio. Este material representa a carga que se deposita no leito fluvial, durante o período chuvoso.

A carga do rio, durante o período seco, é bem menor que aquela do período chuvoso, pois não há contribuição do escoamento superficial.

Com a diminuição das precipitações, há também uma diminuição do débito fluvial, o que fatalmente implica na diminuição da capacidade do rio em transportar o material detrítico. Com isso, apenas as areias finas (0,3 a 0,6 mm) e as partículas muito finas (silte e argila) são colocadas em transporte e atingem o reservatório. Porém, mesmo este material fino pode ser depositado antes de atingir o corpo principal do reservatório, inclusive o que entra pelo braço abastecido pelo rio Paraopeba, dando assim o aspecto homogêneo à camada superficial d'água, observada nas imagens LANDSAT.

Já no período chuvoso, com o aumento da precipitação, o escoamento superficial se faz presente. Este quanto mais concentrado for, maior poder erosivo tem sobre as vertentes, dando origem a uma quantidade maior de carga detrítica arrastada para os rios.

A quantidade de material sólido, transportado durante as cheias, cresce consideravelmente com o aumento da velocidade das águas e com a maior contribuição de detritos trazidos pelas enxurradas. Este material atingindo o reservatório de Três Marias faz com que a sua camada superficial d'água apresente-se bastante heterogênea.

Pela Figura 4.25, observa-se que, de acordo com o tamanho da particula, há diferentes velocidades de transporte e deposição, ocorrendo assim um selecionamento no material transportado. Observa-se, nesta Figura, que os materiais mais grosseiros exigem uma velocida

de de transporte muito grande, e, depositam-se com maior facilidade. Quanto às particulas muito finas, apesar de exigirem também uma velocidade de transporte muito grande, podem permanecer em suspensão enquanto a água estiver em movimento. Isto retarda a deposição destas partículas, permitindo que elas sejam transportadas a distâncias maiores.

Uma vez que o reservatório funciona como um decantador natural à medida que a pluma de sedimentos caminha, há uma deposição do material detrítico, de acordo com o seu tamanho e com a velocidade d'água. Assim, as partículas maiores depositam-se primeiro, isto podendo ocorrer antes mesmo de atingir o reservatório, e os siltes e argilas (particulas muito finas) depositar-se-ão bem mais a jusante deste corpo d'água.

3) Cobertura orbital de 25/Agosto/1975

Esta passagem refere-se ao período seco na área de estudo, tendo sido a que apresentou menor variação de energia refletida (5 classes) sugerindo uma camada superfícial d'água bastante homogênea e uma concentração de sedimentos muito pequena.

Na Figura D.3 apresentam-se as médias das classes de níveis de cinza, obtidas através do programa MAXVER bem como o mapa temático, obtido através da impressora de linhas do sistema de processamento automático I-100.

4) Cobertura orbital de 14/Março/1977

Esta passagem refere-se ao período chuvoso na área de estudo. A camada superficial d'água do reservatório apresenta uma grande variação de padrões de cinza.

Nesta passagem foram determinadas oito diferentes classes temáticas; a Figura D.4 apresenta as médias destas classes, bem como o mapa temático das mesmas, obtido através da impressora de linhas do sistema I-100.

5) Cobertura orbital de 23/agosto/1977

Esta passagem refere-se ao período seco na região. Como nas outras duas imagens do período seco, o reservatório apresentou - se bastante homogêneo, obtendo-se somente seis classes de níveis de cinza. Neste passagem, a classe cinco representou mais de 60% da área do reservatório.

A Figura D.5 apresenta os valores médios destas classes de distribuição espacial da variação do sinal eletromagnético, refletido por partículas em cada unidade de resolução, bom como o mapa das diferentes classes temáticas, obtido através da impressora de linhas do sistema I.100.

6) Cobertura orbital de 05/Abril/1978

Esta passagem refere-se ao período chuvoso na região, sendo também a imagem referente ao período do primeiro trabalho de campo realizado na área; por este motivo, fez-se uma análise mais detalhada desta imagem.

Esta imagem apresentou uma cobertura de nuvens de 70%, o que prejudicou um pouco a análise automática, pois alguns braços do reservatório estavam encobertos pelas nuvens. As águas de superfície do reservatório apresentaram-se com vários tons de cinza na imagem.

De acordo com o Capítulo 3, as duas passagens coincidentes com os trabalhos de campo tiveram uma análise automática mais minuciosa. Nestas, as classes foram definidas a partir dos valores de níveis de cinza, apresentados pelos pontos de amostragem *in situ*, nas imagens LANDSAT.

Para passagem orbital de 05/Abril/1978 obtiveram-se doze classes. Após a definição destas, fez-se sua ordenação, utilizando-se para tal os valores de profundidade Secchi (Tabela 4.16) coletados em cada ponto de amostragem do reservatório, durante o trabalho de campo, (Tabela 4.17).

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

TABELA 4.16

VALORES DE PROFUNDIDADE SECCHI, OBTIDOS DURANTE O TRABALHO DE CAMPO, NOS VINTE E QUATRO(24) PONTOS DE AMOSTRAGEM

PONTOS DE AMOSTRAGEM	PROFUNDIDADE SECCHI (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

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

TABELA 4.17

MÉDIAS, MATRIZ DE COVARIÂNCIA E VALORES DE PROFUNDIDADE SECCHI, REFERENTES À PASSAGEM DE 05/ABRIL/1978, PARA AS CLASSES DE NÍVEIS DE CINZA

CLASSES	MÉDIAS			MATRIZ DE COVARIÂNCIA			PROFUNDIDADE SECCHI (m)
	MSS 4	MSS 5	MSS 6				
1	57.26	83.11	40.80	7.56	1.16	-1.26	0.25
				1.16	2.27	1.49	
				-1.26	1.49	3.17	
2	54.89	74.19	29.70	3.35	2.99	-1.48	0.50
				2.32	2.99	-1.48	
				-0.02	-1.48	2.62	
3	61.89	67.88	28.74	1.95	0.09	-1.85	0.75
				0.09	3.07	-0.34	
				-1.85	-0.34	9.24	
4	57.88	53.32	17.85	7.10	0.51	0.74	1.0
				0.51	5.17	0.25	
				0.74	0.25	1.67	
5	54.07	37.08	11.75	21.20	19.21	3.88	1.35
				19.21	19.87	3.04	
				3.88	3.04	4.10	
6	56.14	35.52	9.95	3.57	-0.57	3.59	1.50
				-0.57	4.33	0.13	
				3.59	0.13	8.04	
7	42.[illegible]	21.71	7.96	2.63	-0.26	0.07	1.75
				-0.26	1.59	1.13	
				0.07	1.13	5.60	
8	45.27	20.80	4.88	6.12	-0.42	0.64	2.00
				-0.42	1.69	1.07	
				0.64	1.07	2.23	
9	18.24	19.19	5.93	8.79	2.40	0.40	2.25
				2.40	1.79	0.40	
				0.40	0.40	0.68	
10	35.27	14.46	3.05	1.71	0.01	-0.51	2.75
				0.01	1.13	-0.19	
				0.51	0.19	1.70	
11	26.43	13.72	4.40	4.68	1.09	-0.98	3.50
				1.09	3.82	-0.82	
				-0.98	-0.82	2.26	
12	26.3	11.94	3.19	12.65	2.17	-0.52	4.0
				2.17	2.67	0.34	
				-0.52	0.34	1.86	

Fez-se a ordenação das classes partindo-se da menor para maior profundidade Secchi. Com isto, foi possível fazer uma classificação semiquantitativa da dispersão de sedimentos em suspensão no reservatório, obtendo-se um total de 12 classes diferentes.

A matriz de covariância proporciona a variação da classe em cada canal, bem como a de um canal para outro. Ela permite verificar a distribuição da classe (gaussiana ou não) no espaço, uma vez que o programa MAXVER supõe que as classes sejam distribuídas de forma normal ou gaussiana.

A Tabela 4.18 apresenta a matriz de classificação correta da classificação semiquantitativa, feita para a passagem de 05/Abril 1978. Esta matriz fornece uma estimativa da correção da classificação para cada classe obtida, em função da amostra escolhida.

De acordo com Velasco et alii (1978), quanto mais separadas estiveram as classes uma das outras, ou seja, quando houver pouca ou nenhuma superposição de classes no espaço de separação, melhor será a classificação.

A Figua D.6a e D.6b apresenta o mapa temático das diferentes classes de nível de cinza, obtido através da impressora de linhas do sistema I-100. Este mapa temático é apresentado em duas partes separadas, devido ao fato de o sistema possuir apenas oito temas e terem sido obtidas doze classes.

Através do programa "single pixels", foram obtidos os níveis de cinza, nos quatro canais do MSS do LANDSAT, para dezenove (19) pontos de amostragem *in situ*. Não foi possível obter esses valores para 5 pontos de amostragem, devido a problemas de cobertura de nuvens ou ruído.

C-3

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

TABELA 4.18

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO CORRETA (%) PARA AS DOZE(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

Após os cálculos dos valores médios de níveis de cinza sobre as seis linhas correspondentes a cada um dos canais do MSS, estes foram utilizados para fazer uma análise de correlação com os valores de profundidade Secchi.

A Tabela 4.19 apresenta os valores médios de níveis de cinza, para cada um dos dezenove pontos de amostragem.

7) Cobertura Orbital de 27/Agosto/1978

Esta passagem refere-se ao período seco na região, motivo pelo qual a camada superficial d'água do reservatório apresentou -se bastante homogênea. Semelhante à passagem de 5 de abril de 1978, esta refere-se ao período do segundo trabalho de campo (período seco) realizado na área. Assim sendo, utilizou-se o mesmo procedimento para a análise automática.

A imagem utilizada apresentou uma cobertura de nuvens de 30%, o que prejudicou um pouco a interpretação automática, porém de maneira bem menos acentuada do que na passagem anterior.

Neste trabalho de campo foi acrescentado um ponto de amostragem, devido à necessidade de obter maiores informações sobre o braço do reservatório abastecido pelo rio Borrachudo, local onde foi plotado o ponto.

Assim foram obtidos valores médios de níveis de cinza, nos quatro canais do MSS do LANDSAT, através do Programa "Pixel Único", em vinte e quatro pontos de amostragem. A Tabela 4.20 apresenta estes valores.

Da mesma forma que na passagem orbital anterior, estes valores médios de nível de cinza foram usados para fazer a análise de correlação com a profundidade Secchi.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

TABELA 4.19

VALORES DE NÍVEL MÉDIOS DE NÍVEL DE CINZA, NOS QUATRO CANAIS DO MSS DO LANDAT, PARA DEZENOVE (19) PONTOS DE AMOSTRAGEM NO RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS

PONTOS DE AMOSTRAGEM	NÍVEIS DE CINZA			
	MSS 4	MSS 5	MSS 6	MSS 7
1A	17	7	1	1
1B	21	10	2	1
1C	27	17	4	1
2A	15	6	1	1
2B	14	7	3	2
2C	14	6	1	1
3A	21	10	3	2
3B	25	12	3,5	1,5
3C	21	12	4	1,5
4A	27	16	4	2
4B	18	12	6	4
4C	20	12	5	2
5A	-	-	-	-
5B	-	-	-	-
5C	-	-	-	-
6A	30	32	7	4
6B	27	36	14	4
6C	28	41	20	5
7A	-	-	-	-
7B	28	27	9	2
7C	30	37	16	5
8A	24	18	7	3
8B	24	20	8	3
8C	-	-	-	-

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

TABELA 4.20

VALORES MÉDIOS DE NÍVEL DE CINZA, NOS QUATRO CANAIS DO MSS DO LANDSAT, PARA OS VINTE E QUATRO(24) PONTOS DE AMOSTRAGEM DO RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS

PONTOS DE AMOSTRAGEM	NÍVEIS DE CINZA			
	MSS 4	MSS 5	MSS 6	MSS 7
1A	15	8	5	3
1B	12	6	3	1
1C	16	8	4	2
2A	16,5	8	5	3
2B	15	8	3	2
2C	15	7	4	1
3A	-	-	-	-
3B	16	7	4	2
3C	16	9	5	3
4A	16	8	4	2
4B	16	8	5	3
4C	16	9	5	3
5A	17	9	5	3
5B	16	11	6	4
5C	16	10	6	3
6A	16	8	3	2
6B	18	12	7	5
6C	17	18	10	7
7A	15	8,5	4	3
7B	16	8	5	3
7C	22	18	9	4
8A	14	12	9	6,5
8B	18	14	7,5	9
8C	17	13	11	8
9A	14	7	3	0,75

O ponto de amostragem 3 A da Tabela 4.20 não apresenta informação devido a problemas de cobertura de nuvem.

Fez-se também a classificação temática desta passagem através do programa MAXVER. As classes foram definidas a partir dos valores de níveis de cinza, apresentados pelos pontos de amostragem *in situ*, nas imagens MSS/LANDSAT.

Após a classificação temática, fez-se a ordenação das classes, utilizando-se os valores de profundidade Secchi (Tabela 4.21) coletados em cada ponto de amostragem do reservatório durante o trabalho de campo.

Nesta passagem, fez-se também a ordenação das classes, partindo-se da menor para a maior profundidade Secchi. Com isto, obteve - se um total de oito (8) diferentes classes de intervalos de dispersão de sedimentos em suspensão (Tabela 4.22). A Tabela 4.23 apresenta a matriz de classificação correta da classificação semiquantitativa feita para esta passagem. A Figura D.7 apresenta o mapa temático das diferentes classes de nível de cinza, obtido através da impressora de linhas do sistema I-100.

Fazendo-se uma análise dessa matriz, pode-se observar que ao contrário da passagem referente ao período chuvoso, apenas a classe 1 apresentou 100% de classificação correta. Todas as outras classes apresentaram sobreposição. Isto é perfeitamente compatível com o aspecto da superfície do reservatório, nesta época do ano. Por ser o período seco, a superfície d'água apresenta-se bastante homogênea e a variação na concentração de sedimentos é muito pequena. Por este motivo, somente a classe 1, que apresenta uma alta reflexão, pode ser definida. Todas as outras classes aparecem de forma intercalada. Nem sempre neste período a sobreposição das classes se dá de forma contínua, por exemplo, a classe 2 tem sobreposição com as classes 4 e 5 e não com a 3. Isto ocorre devido à própria dispersão da pluma de sedimentos e às características da área de treinamento. Como o sistema faz a classificação temática do alvo em questão, baseado nas características contidas na área de treinamento é possível que não haja características da classe 3 e sim das classes 5 e 4, no trecho compreendido pela área de treinamento da classe 2. Este comportamento é válido para as outras classes também.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

TABELA 4.21

DADOS DE PROFUNDIDADE SECCHI, OBTIDOS DURANTE O TRABALHO DE CAMPO, NOS VINTE E CINCO(25) PONTOS DE AMOSTRAGEM

PONTOS DE AMOSTRAGEM	PROFUNDIDADE SECCHI (M)
1A	6,00
1B	6,00
1C	2,00
2A	3,75
2B	4,50
2C	4,50
3A	4,00
3B	4,50
3C	3,00
4A	4,50
4B	3,00
4C	4,00
5A	2,50
5B	1,50
5C	1,50
6A	4,00
6B	2,00
6C	0,25
7A	4,00
7B	3,00
7C	0,30
8A	2,50
8B	2,00
8C	2,00
9A	5,00

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

TABELA 4.22

MÉDIAS, MATRIZ DE COVARIÂNCIA E VALORES DE PROFUNDIDADE SECCHI, REFERENTES À PASSAGEM DE 27/AGOSTO/1978, PARA AS CLASSES DE NÍVEL DE CINZA

CLASSES	MÉDIA			MATRIZ DE COVARIÂNCIA			PROFUNDIDADE SECCHI (M)
	MSS 4	MSS 5	MSS 6				
1	34,50	35,31	21,87	3,97	0,29	-0,19	0,25
				0,29	2,02	0,71	
				-0,19	0,71	2,85	
2	32,80	22,78	12,83	3,10	0,22	-1,23	1,50
				0,22	4,01	1,50	
				-1,23	1,50	2,85	
3	29,23	15,48	8,54	4,52	0,64	-0,44	2,00
				0,64	2,09	0,63	
				-0,44	0,63	2,33	
4	28,03	17,08	9,36	3,75	1,27	1,36	2,50
				1,27	2,98	1,98	
				1,36	1,98	4,86	
5	10,67	17,90	10.77	1,57	-0,25	-0,16	3,00
				-0,25	0,80	0,03	
				-0,16	0,03	1,02	
6	31,97	17,38	8,58	1,50	0,00	0,30	4,00
				0,00	2,02	-0,16	
				0,30	-0,16	4,59	
7	25,83	14,84	6,66	0,78	-0,07	-0,52	4,50
				-0,07	3,33	0,31	
				0,52	0,31	1,42	
8	24,87	13,24	5,38	1,84	-0,22	-0,25	6,00
				-0,22	0,55	0,70	
				-0,25	0,79	2,63	

TABELA 4.23

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

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

Fazendo-se uma análise das matrizes de classificação correta, das passagens orbitais de 05/04/1878 (período chuvoso) e 27/08/80 (período seco), pôde-se constatar que as classes (definidas a partir das amostras) referentes ao período chuvoso, foram melhor caracterizadas do que as referentes ao período seco.

No período chuvoso, quatro (4) classes apresentaram 100% de classificação correta e pouca superposição entre as outras classes.No período seco, apenas uma (1) classe apresentou 100% de classificação correta e houve superposição maior 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 níveis de cinza, ao contrário do período chuvoso onde a concentração de sedimentos é maior, facilitando a caracterização das classes por meio das amostras.

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

Com a finalidade de verificar o grau de correlação entre os valores médios de níveis de cinza e os dados coletados no reservatório de três Marias, bem como verificar qual dos canais do LANDSAT fornece maiores informações sobre a dispersão de sedimentos em suspensão, fez-se uso do Coeficiente de Correlação de Pearson (Steel e Torrie, 1960). A seguir, apresentam-se os resultados das análises.

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

A profundidade Secchi é relacionada ao coeficiente de atenuação da água. Gordon e MacClauney (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. Esses autores toma

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

TABELA 4.24

DADOS UTILIZADOS NA ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE VALORES MÉDIOS DE CINZA (CCT) E PROFUNDIDADE SECCHI

PONTOS DE AMOSTRAGEM	NÍVEIS DE CINZA				PROFUNDIDADE SECCHI (M)
	MSS 4	MSS 5	MSS 6	MSS 7	
1A	17	7	1	1	2,75
1B	21	10	2	1	2,75
1C	27	17	4	1	1,25
2A	15	6	1	1	4,00
2B	14	7	3	2	3,50
2C	14	6	1	1	4,00
3A	21	10	3	2	2,25
3B	25	12	3,5	1,5	2,00
3C	21	12	4	1,5	1,75
4A	27	16	4	2	1,50
4B	18	12	6	4	1,75
4C	20	12	5	2	1,25
5A	-	-	-	-	-
5B	-	-	-	-	-
5C	-	-	-	-	-
6A	30	32	7	4	0,50
6B	27	36	14	4	0,50
6C	28	41	20	5	0,25
7A	-	-	-	-	-
7B	28	27	9	2	1,00
7C	30	37	16	5	0,75
8A	24	18	7	3	1,50
8B	24	20	8	3	1,25
8C	-	-	-	-	-

ram por base um critério físico em que a profundidade de penetração da luz, para uso de sensoriamento remoto, seria definida por níveis acima dos quais são originados os 90% da irradiância difusamente refletida (≈90), fixando o valor de penetração da luz para 1/e da irradiância à superfície (100%); a atenuação das radiações pelas águas, resultaria em apenas 37% do seu valor inicial. Emergindo desse nível a superfície, uma nova atenuação ocorre (1/e) aqueles 37%, refletindo-se para atmosfera somente 13%. Através dos valores médios de penetração calculados por esse método, foi fixada a profundidade média para a emergência de radiações de subsuperfície em águas oceânicas, sendo que, a variação da mesma é função da transparência das águas e do comprimento de onda dominante, nas radiações incidentes e emergentes. A profundidade média de penetração (≈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 que 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 24 pontos de amostragem. A Tabela 4.24 relaciona os dados utilizados para esta análise. Nos pontos de amostragem que não apresentam dados, houve problemas de cobertura de nuvens ou de ruído. Assim, para a análise de correlação foram usados apenas dezenove (19) pontos de amostragem.

A Tabela 4.25 apresenta os resultados da análise de correlação para os dados apresentados.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

TABELA 4.25

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	- 1,16	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 Y
r = coeficiente de correlação simples
Se= erro padrão das estimativas.

Analisando-se os gráficos de regressão (Figuras 4.26 a 4.29) do período chuvoso, constata-se que:

a) o canal MSS 4 registrou níveis de cinza referentes a profundidades Secchi num intervalo de 0,50 a 3,50 metros (Figura 4.26);

b) o canal MSS 5 registrou níveis de cinza referentes a profundidades Secchi num intervalo de 0,25 a 2,75 metros (Figura 4.27);

c) o canal MSS 6 registrou níveis de cinza referentes a profundidades Secchi num intervalo de 0,25 a 2,75 metros (Figura 4.28);

d) o canal MSS 7 registrou níveis de cinza referentes a profundidades Secchi num intervalo de 0,25 a 2,75 metros (Figura 4.29).

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

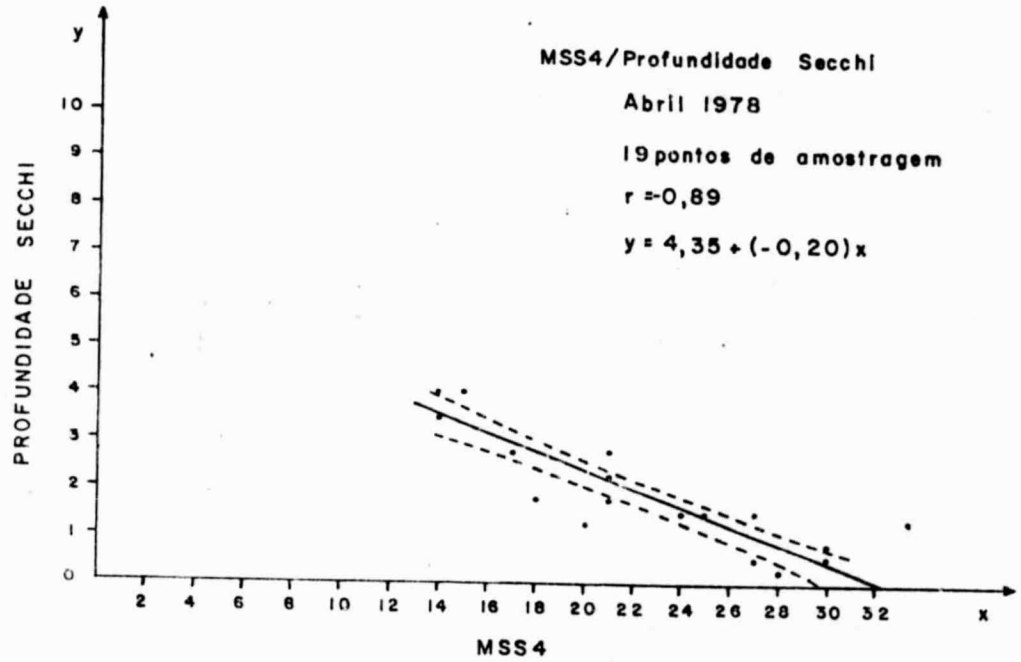


Fig. 4.26 - Gráfico de regressão entre profundidade Secchi e níveis de cinza no canal MSS 4 do LANDSAT, passagem de 05/abril/1978.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

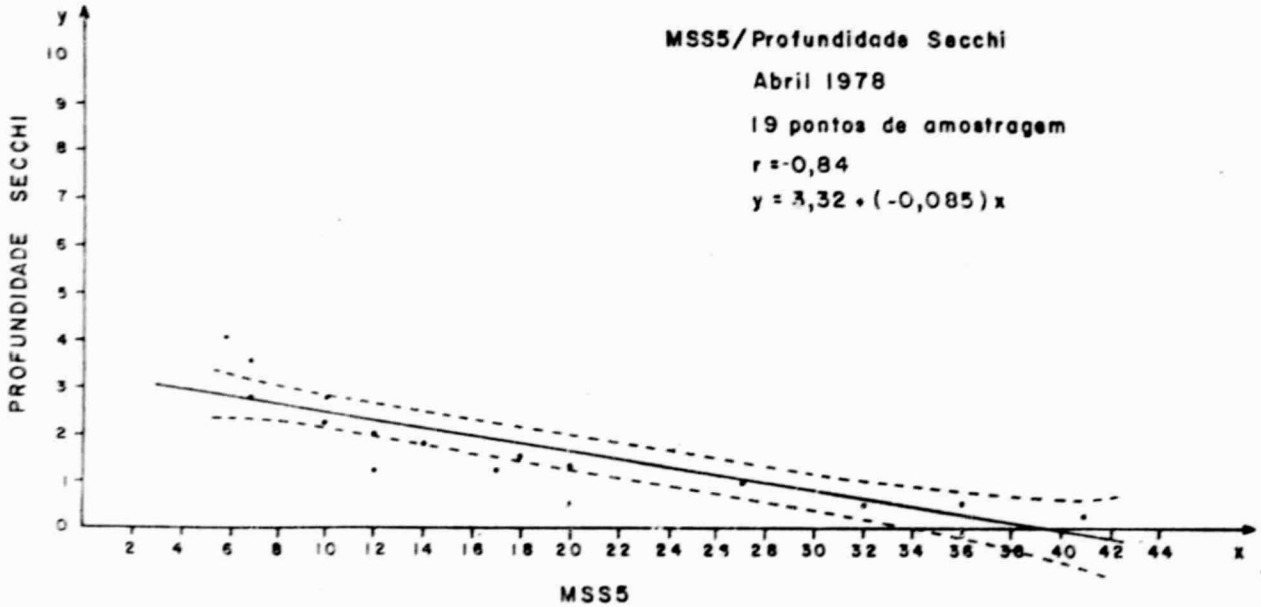


Fig. 4.27 - Gráfico de regressão entre profundidade Secchi e níveis de cinza no canal MSS 5 do LANDSAT, passagem de 05/abril/1978.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

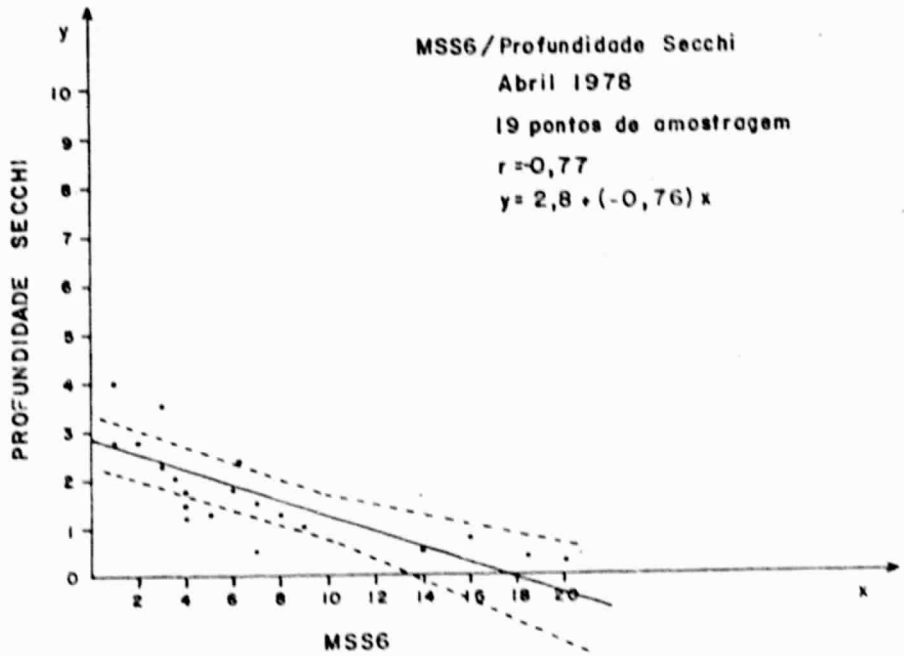


Fig. 4.28 - Gráfico de regressão entre profundidade Secchi e níveis de cinza no canal MSS 6 do LANDSAT, passagem de 05/abril/1978.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

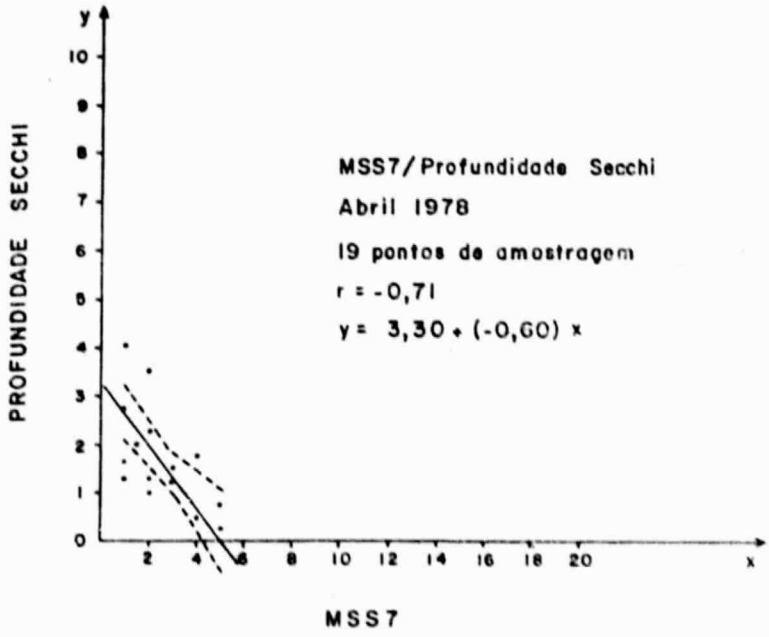


Fig. 4.29 - Gráfico de regressão entre profundidade Secchi e níveis de cinza no canal MSS 7 do LANDSAT, passagem de 05/abril/1978.

Através das Figuras 4.26 a 4.29, observa-se que o canal MSS 4 foi o que abrangeu um intervalo maior de profundidade Secchi, permitindo a caracterização das maiores profundidades obtidas. Dos quatro canais analisados, o 4 foi o que apresentou menor erro da 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, onde, uma pequena variação na profundidade Secchi, provoca uma grande variação nos níveis de cinza da imagem LANDSAT.

No canal MSS 5, à medida que as profundidades Secchi diminuem e consequentemente há uma maior reflexão da água, a tendência do erro das estimativas é aumentar.

O canal MSS 6 é menos sensível às variações de nível de cinza do que o canal MSS 5. Neste canal, as áreas de água muito túrbidas podem ser detectadas, porém o erro aumenta muito à medida que aumenta a turbidez.

O canal MSS 7 é o que apresenta menor sensibilidade às variações de níveis de sinal, devido à alta absorção da radiação eletromagnética pela água, na faixa do infravermelho. Porém, é possível detectar, neste canal, águas extremamente túrbidas, mas o erro é muito grande, pois a tendência é este tipo de água se confundir com a área adjacente ao reservatório.

Esses resultados reforçam o que foi dito no Capítulo 2, 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 é possível obter informações de susuperfície por radiação do espectro visível. Assim sendo, os canais mais apropriados são os canais MSS 4 e 5, pois eles atuam dentro desta faixa de menor atenuação d'água, sendo por isto mesmo os mais sensíveis às variações das diferentes concentrações de material em suspensão.

Conforme observado nas Figuras de 4.26 a 4.29, os canais MSS 6 e 7, que operam na faixa acima de 0,70 μm, apresentaram um erro bem mais acentuado, diminuindo, desta forma, a confiabilidade dos resultados com relação ao discernimento das diferentes concentrações de sedimentos. Pode-se também observar que, com excessão dos pontos 2A, e 2C, que estão no intervalo de profundidade Secchi de 3,50 a 4,00 metros, portando acima dos intervalos detectados pelas imagens neste período, todos os outros pontos de amostragem que estão fora da zona de confiança do gráfico foram amostrados de 1 a 5 após a passagem do satélite.

b) Cobertura de 27/Agosto/1978

Para essa cobertura, fez-se uma análise de correlação das informações coletadas nos 25 pontos de amostragem durante o trabalho de campo neste período. A Tabela 4.26 relaciona os dados utilizados para esta análise. O ponto 3A não apresenta dados de níveis de cinza, devido a problemas de cobertura de nuvens.

A Tabela 4.27, apresenta os resultados das análises de correlação para os dados apresentados.

Pela análise dos gráficos de regressão, (Figuras de 4.30 a 4.33) referentes ao período seco, constata-se que:

a) o canal MSS 4 registrou níveis de cinza referentes a profundidades Secchi num intervalo de 0,25 a 6,0 metros (Figura 4.30);
b) o canal MSS 5 registrou níveis de cinza referentes a profundidades Secchi num intervalo de 0,25 a 5,0 metros (Figura 4.31);
c) o canal MSS 6 registrou níveis de cinza referentes a profundidade Secchi num intervalo de 0, 25 a 5,0 metros (Figura 4.32);
d) o canal MSS registrou níveis de cinza referentes a profundidades Secchi num intervalo de 1,0 a 5,0 metros (Figura 4.33).

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

TABELA 4.26

DADOS UTILIZADOS PARA A ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE VALORES MÉDIOS DE NÍVEIS DE CINZA E PROFUNDIDADE SECCHI

PONTOS DE AMOSTRAGEM	NÍVEIS DE CINZA				PROFUNDIDADE SECCHI (M)
	MSS 4	MSS 5	MSS 6	MSS 7	
1A	15	8	5	3	6,0
1B	17	6	3	1	6,0
1C	16	8	4	2	2,0
2A	16,5	8	5	3	3,75
2B	15	8	3	2	4,50
2C	15	7	4	1	4,50
3A	-	[illegible]	-	-	[illegible],00
3B	16	7	4	2	4,50
3C	16	9	5	3	3,0
4A	16	8	4	2	4,50
4B	16	8	5	3	3,0
4C	16	9	5	3	[illegible],0
5A	17	9	5	3	[illegible],50
5B	16	11	[illegible]	4	1,50
5C	16	10	6	3	1,50
6A	16	8	3	2	4,0
6B	18	12	7	5	2,0
6C	17	18	10	7	0,25
7A	15	8,5	4	3	4,0
7B	16	8	5	3	3,0
7C	22	18	9	4	0,30
8A	14	12	9	6,5	2,50
8B	18	14	7,5	9	2,0
8C	17	13	11	8	2,0
9A	14	7	3	0,75	5,0

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

TABELA 4.27

RESULTADOS DAS ANÁLISES DE CORRELAÇÃO ENTRE OS NÍVEIS DE CINZA E A PROFUNDIDADE SECCHI 27/AGOSTO/1978

VARIÁVEIS	b	a	r	Se
MSS 4 /SECCHI	- 0,62	13,182	- 0,70	2,10
MSS 5 /SECCHI	- 0,40	7,17	- 0,96	1,60
MSS 6 /SECCHI	- 0,44	5,60	- 0,74	1,70
MSS 7 /SECCHI	- 0,46	4,76	- 0,63	1,64

b = mede a sensibilidade da regressão

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

r = coeficiente de correlação simples

Se= erro padrão das estimativas.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

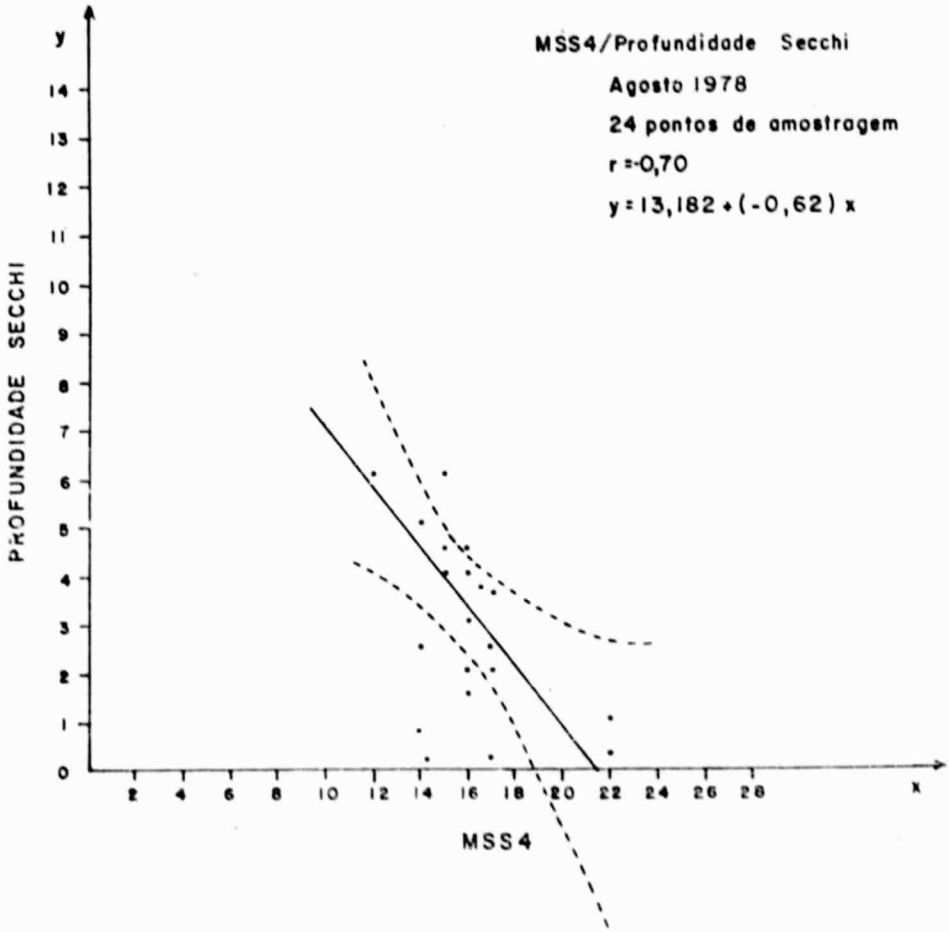


Fig. 4.30 - Gráfico de regressão entre profundidade Secchi e canal MSS 4 do LANDSAT, passagem de 27/Agosto / 1978.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

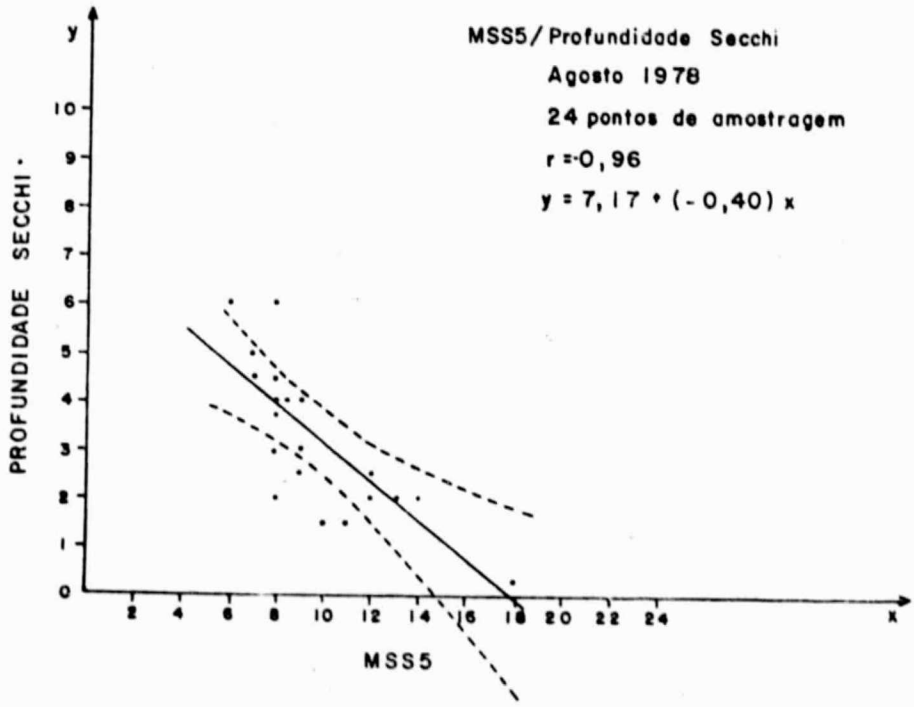


Fig. 31 - Gráfico de regressão entre profundidade Secchi e canal MSS 5 do LANDSAT, passagem de 27/Agosto/1978.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

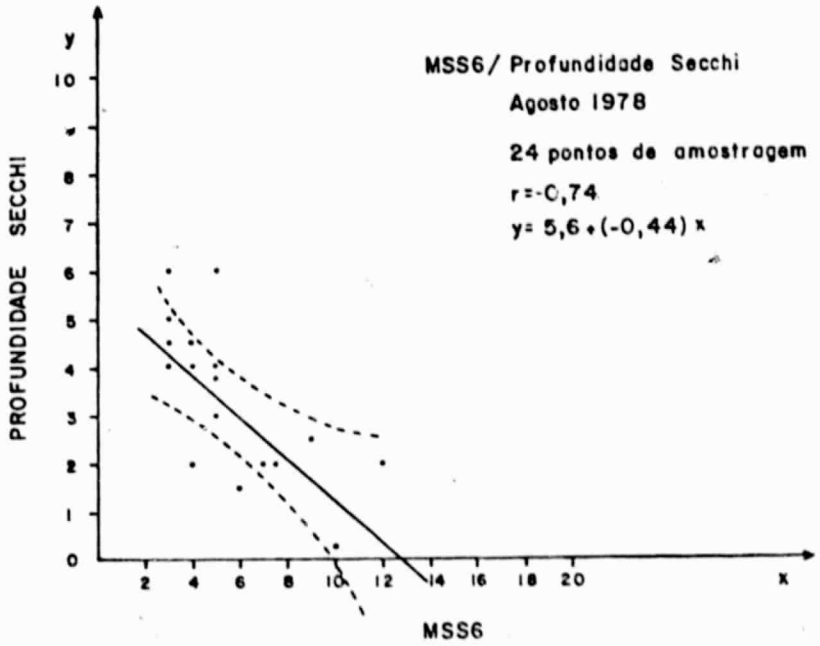


Fig. 32 - Gráfico de regressão entre profundidade Secchi e canal MSS 6 do LANDSAT, passagem de 27/ Agosto/ 1978.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

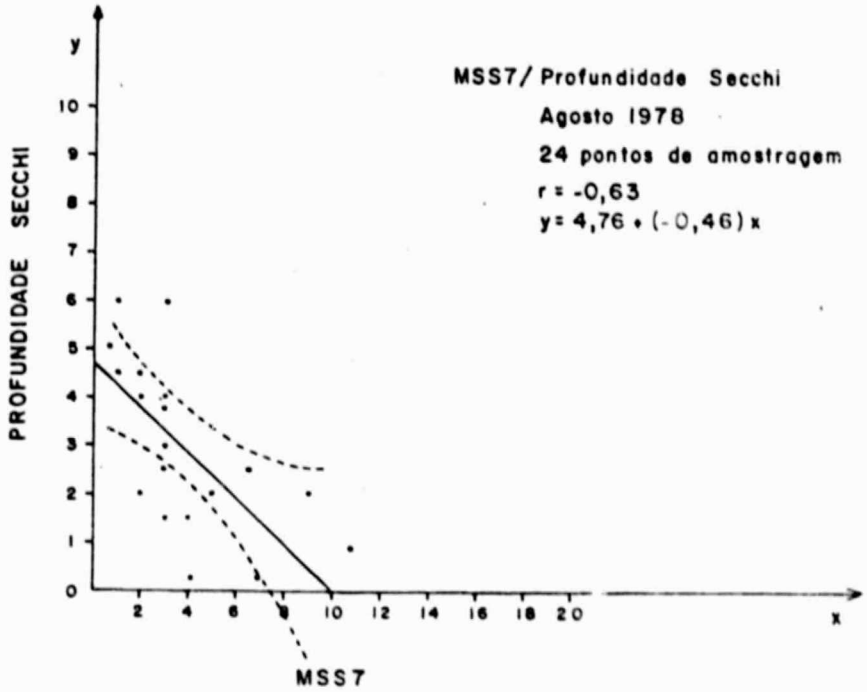


Fig. 4.33 - Gráfico de regressão entre profundidade Secchi e canal MSS 7 do LANDSAT, passagem de 27 Agosto/ 1978.

Apesar do menor erro apresentado pelo canal MSS 4 e do grande intervalo de profundidades Secchi abrangido pelo mesmo, somente as profundidades entre 2,0 e 3,0 metros apresentaram um bom ajuste, conforme pode ser observado pela zona de confiança traçada na Figura 4.30. Para as profundidades maiores ou menores, o erro da estimativa tende a aumentar muito, na medida em que as profundidades aumentam ou diminuem.

Isto talvez se deva à maior defasagem das coletas dos dados *in situ*, em relação a passagem do satélite neste período, ou ainda, a problemas de interferência atmosférica, à qual este canal é o mais sensível, ou também à própria homogeneidade da superfície d'água, devida a menor descarga de sedimentos no reservatório durante a estação seca.

Pela análise dos gráficos de regressão simples (Figuras de 4.30 a 4.33) pode-se constatar que o canal MSS 5 foi o que apresentou o melhor ajuste, tendo sido o que forneceu o maior número de informações para as pequenas profundidades Secchi; ao contrário do canal MSS 4, o erro da estimativa não aumentou de forma tão acentuada para as profundidades extremas, conforme pode ser observado pelo traçado da reta, que sugere assim maior sensibilidade às variações de níveis de cinza, provocadas pelas variações nas concentrações de sedimentos.

Observando-se os gráficos de regressão (Figuras 4.32 e 4.33) referentes aos canais MSS 6 e 7, constatou-se que à medida em que a faixa espectral destes canais tende para a região do infravermelho (0,70 μm), o erro padrão da estimativa aumenta consideravelmente. Nestes dois canais, as regiões de águas muito túrbidas apresentam alta reflexão, porém, a tendência é das mesmas se confundirem com a área marginal adjacente ao reservatório, que também apresenta alta reflexão.

Pode-se observar também que, os pontos de amostragem que estão fora da zona de confiança traçada nos gráficos, correspondem à coleta *in situ* muito defasadas da passagem do satélite, que além da pouca diferença entre os níveis de cinza, não apresentaram resultados muito confiáveis.

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

Ritchie et alii (1976) levando em consideração o comprimento de onda e a concentração de sólidos em suspensão na camada superficial d'água obtiveram dados sobre o comportamento espectral da radiação solar refletida sobre reservatórios d'água. Estas curvas são mencionadas por Herz (1977) e posteriormente por Meireles (1980), em seus trabalhos sobre o comportamento de corpos d'água através de dados LANDSAT. Este último autor adicionou, as estas curvas, as regiões de atuação dos canais MSS/LANDSAT (Figura 4.34).

Analisando-se a Figura 4.34, constatou-se que quando há uma maior concentração de sólidos em suspensão, ou sedimentos, há um maior retorno de energia ao sensor em todos os canais. Observou-se também que há uma maior reflexão dos sedimentos presentes na área, com relação aos comprimentos de onda do canal MSS 5, e que o aumento na concentração dos mesmos provoca um grande aumento no sinal de retorno. Isto se deve ao fato de que aumentando-se a concentração, a penetração da energia eletromagnética nas áreas diminui, ficando o sinal de retorno cada vez mais restrito às camadas superiores e dependente da interação física entre a energia e o tipo de sedimentos.

No canal MSS 4, ao contrário do canal MSS 5, devido à maior penetração da radiação, há um maior sinal de retorno para as concentrações de sedimentos mais baixas. No canal MSS 6, um aumento na concentração provoca um acréscimo razoável no sinal de retorno e, no canal MSS 7, para haver um considerável acréscimo no sinal, deve haver um grande aumento na concentração de sedimentos.

Para os valores médios de níveis de cinza, obtidos das fitas magnéticas, e os valores de reflectância d'água, obtidos no campos, fez-se uma análise de correlação semelhante a do item (1) desta seção.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

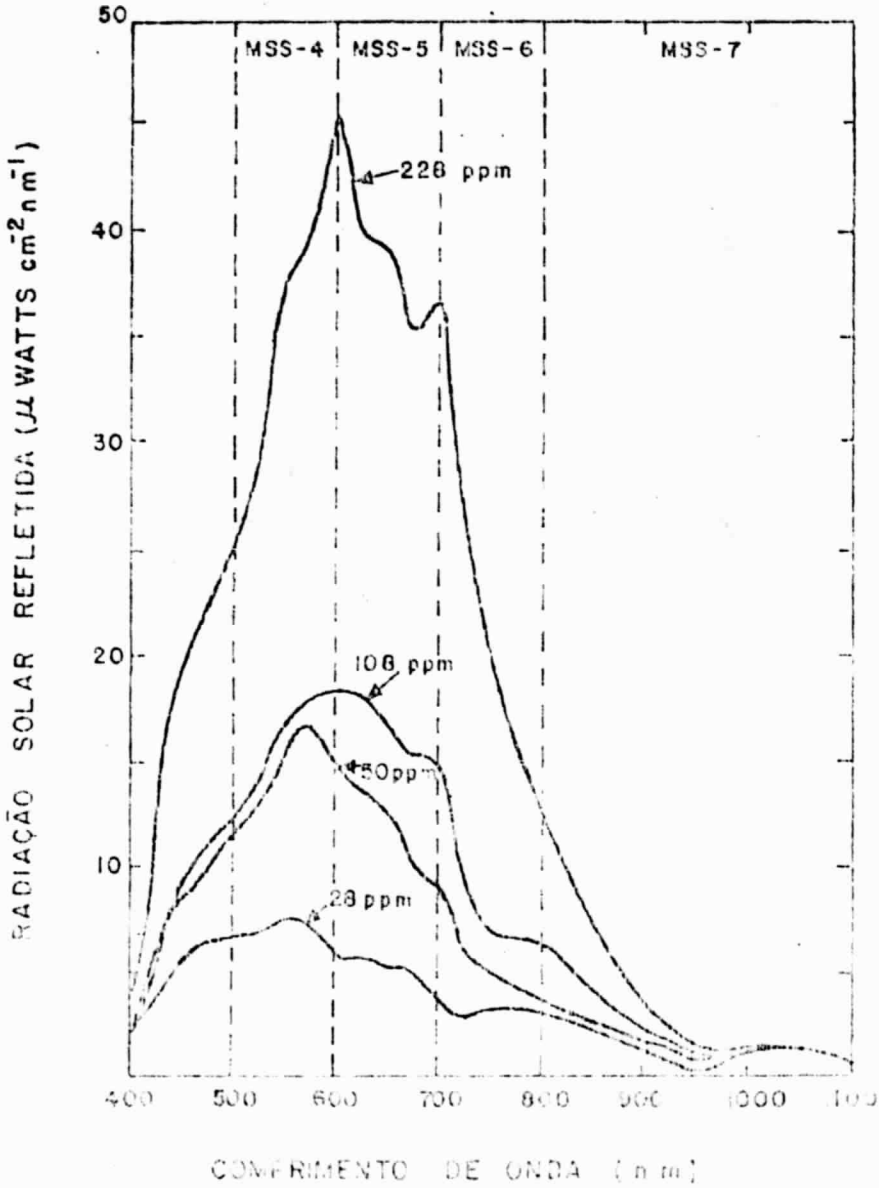


Fig. 4.34 - Relação entre a quantidade de radiação solar refletida, comprimento de onda e concentração de sólidos em suspensão em superfícies de água, com faixas de atuação dos quatro canais do MSS-LANDSAT, baseado em Ritichie et alii (1974).

Uma vez que para os trabalhos de campo não havia uma fonte padrão para a calibração do radiômetro, fez-se uma padronização dos dados de reflectancia durante as análises de correlação, para evitar a inclusão da reflexão de corpos adjacentes às águas marginais.

Durante o trabalho de campo referente à estação seca, o radiômetro apresentou defeitos técnicos, quando da coleta de dados em alguns pontos de amostragem. Por isto, decidiu-se não fazer uso dos dados de reflectância coletados neste período, para a análise de correlação, por não se poder confiar nestes dados.

a) Cobertura orbital de 05/Abril/1978

Fez-se uma análise de correlação entre os valores médios de níveis de cinza da imagem LANDSAT e os dados de reflectância d'água, coletados nos vinte e quatro (24) pontos de amostragem do reservatório, referentes a esta cobertura orbital.

A Tabela 4.28 relaciona os dados utilizados para esta análise.

As faixas espectrais apresentadas na Tabela 4.28, correspondem aos canais MSS 4, 5, 6 e 7, respectivamente.

Tal como foi mencionado no item (1), somente dezenove (19) pontos de amostragem foram utilizados para a análise de correlação, pois os cinco (5) restantes apresentaram problemas de cobertura de nuvem ou ruído.

A Tabela 4.29 apresenta os resultados da análise de correlação.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

TABELA 4.28

RELAÇÃO DOS DADOS UTILIZADOS PARA A ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE VALORES MÉDIOS DE NÍVEIS DE CINZA (CCT) E REFLECTÂNCIA D'ÁGUA "IN SITU"

PONTOS DE AMOSTRAGEM	FAIXAS ESPECTRAIS							
	0,5 - 0,6μ		0,6 - 0,7 μ		0,7 - 0,8 μ		0,8 - 1,1μ	
	ρ	I-100	ρ	I-100	ρ	I-100	ρ	I-100
1A	0,30	17	0,22	7	0,33	1	0,25	1
1B	0,53	21	0,20	10	0,50	2	0,50	1
1C	0,60	27	0,33	17	0,16	4	0	1
2A	0,70	15	0,05	6	0	1	0	1
2B	0	14	0	7	0	3	0	2
2C	0	14	0	6	0	1	0	1
3A	0,20	21	0,11	10	0,16	3	0	2
3B	0,20	25	0,20	12	0,080	3,5	0	1,5
3C	0,33	21	0,22	12	0,25	4	0	1,5
4A	0,53	21	0,30	16	0,25	4	0,125	2
4B	0,50	18	0,33	12	0,16	6	0,25	4
4C	0,70	20	0,22	12	-	5	0	2
5A	-	-	-	-	-	-	-	-
5B	-	-	-	-	-	-	-	-
5C	-	-	-	-	-	-	-	-
6A	0,50	30	0,67	32	0,41	7	0,125	4
6B	0,40	27	0,67	36	0,58	14	0,375	4
6C	0,80	22	1,0	41	0,66	20	0,375	5
7A	-	-	-	-	-	-	-	-
7B	1	28	0,83	27	0,58	9	0,50	2
7C	1	30	0,89	37	1,0	16	1,0	5
8A	0,30	24	0,33	18	0,25	7	1,125	3
8B	0,60	24	0,44	20	0,33	8	0,25	3
8C	-	-	-	-	-	-	-	-

TABELA 4.29

RESULTADOS DAS ANÁLISES DE CORRELAÇÃO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE NÍVEIS DE CINZA (CCT) E A REFLECTÂNCIA D'ÁGUA *IN SITU*

VARIÁVEIS	b	a	r	Se
MSS 4 / ρ	0,030	- 0,20	0,60	0,41
MSS 5 / ρ	0,025	- 0,05	0,96	0,18
MSS 6 / ρ	0,04	0,06	0,80	0,10
MSS 7 / ρ	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 Y
r = coeficiente de correlação simples
Se= erro padrão das estimativas

Pelas análises realizadas com os dados de reflectância d'água *in situ* e os valores médios de níveis de cinza para o período chuvoso, pôde-se constatar que os diferentes níveis de cinza observados nas imagens LANDSAT são diretamente proporcionais aos dados de reflectância medidos próximos (0,50 cm) à superfície das águas do reservatório. Assim, quanto maior for a reflectância das águas superficiais,mais alto será o nível de cinza apresentado pelas imagens LANDSAT.

Segundo Klooster e Scherz (1974), Kritikos et alii(1974) e Ritchie et alii (1976), a turbidez é uma propriedade ótica relacionada à luz espalhada pela maior ou menor concentração de material suspenso na água. Desta forma, uma mudança na concentração dos sedimentos em suspensão provocará uma mudança na turbidez que por sua vez provocará uma mudança na reflectância d'água.

Pelos gráficos de regressão (Figuras 4.35 a 4.38) verifica-se que:

a) o canal MSS 4 (0,5 a 0,6 μm) registrou reflectâncias num intervalo de 0,30 a 0,85 μm (Figura 4.35);

b) o canal MSS 5 (0,6 a 0,7 μm) registrou reflectâncias num intervalo de 0,05 a 0,87 μm (Figura 4.36);

c) o canal MSS 6 (0,7 a 0,8 μm) registrou reflectâncias num intervalo de 0,16 a 0,58 μm (Figura 4.37);

d) o canal MSS 7 (0,8 a 1,1 μm) registrou reflectâncias num intervalo de 0 a 0,37 μm (Figura 4.38).

Pelos intervalos acima apresentados, pôde-se constatar que o canal MSS 5 é o melhor canal para caracterizar tanto baixos como altos valores de reflectância, havendo uma tendência em aparecer maior erro padrão da estimativa para os valores maiores, ou seja, em áreas de turbidez muito elevada, o sensor tende a não separar as diferenças na reflectancia.

Analisando-se os gráficos de regressão simples para cada um dos canais, observou-se que os canais que apresentaram melhor ajuste foram os MSS 5 e 6. O canal MSS 5 foi o que apresentou maior coeficiente de correlação e, tal como na análise de correlação com os dados de profundidade Secchi, mostrou-se o mais sensível às variações de nível de sinal refletido pelas águas.

No canal MSS 6, à medida que a reflectância d'água aumentou o erro padrão também aumentou. Para as reflectancias mais baixas, o aumento do erro padrão da estimativa foi menor.

O canal MSS 7 foi o que apresentou menor sensibilidade às variações de energia refletida e, à medida que a reflectância d'água aumentou, o erro padrão da estimativa aumentou. As regiões de águas muito túrbidas são detectadas por esse canal, mas a margem de erro é bem maior do que nos canais MSS 5 e 6.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

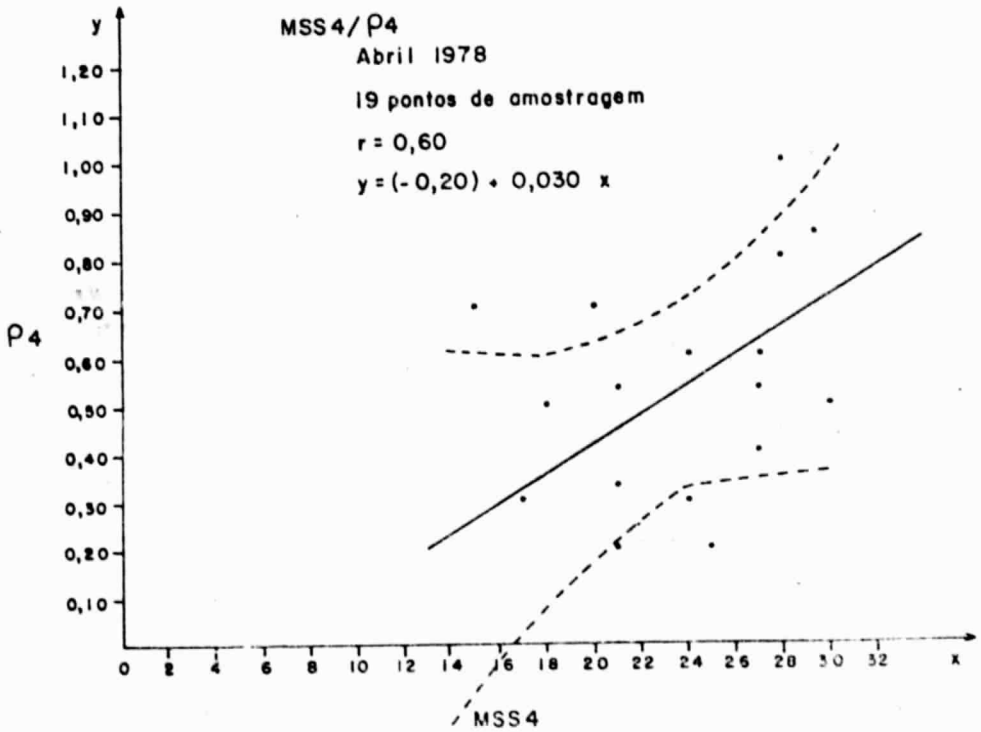


Fig. 4.35 - Gráfico de regressão entre reflectância d'água coletada *in situ* e níveis de cinza (CCT) no canal MSS 4.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

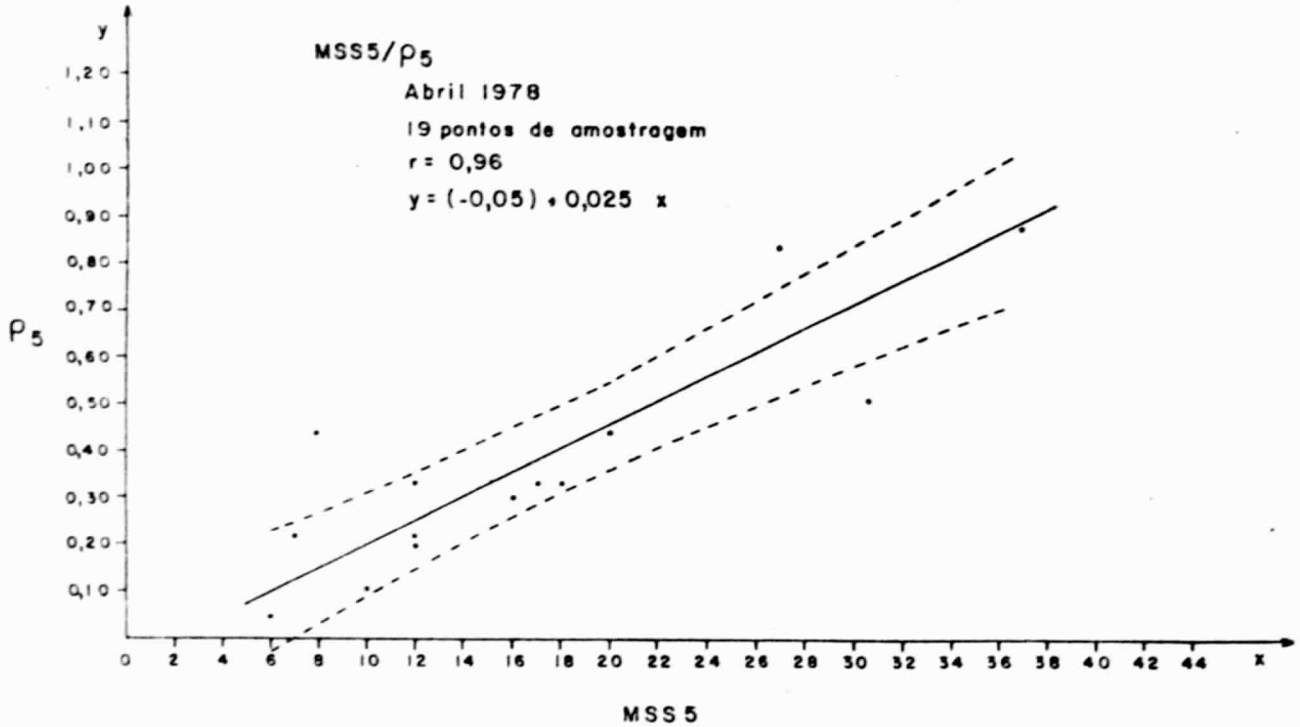


Fig. 4.36 - Gráfico de regressão entre reflectância d'água coletada *in situ* e níveis de cinza (CCT) no canal MSS 5 .

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

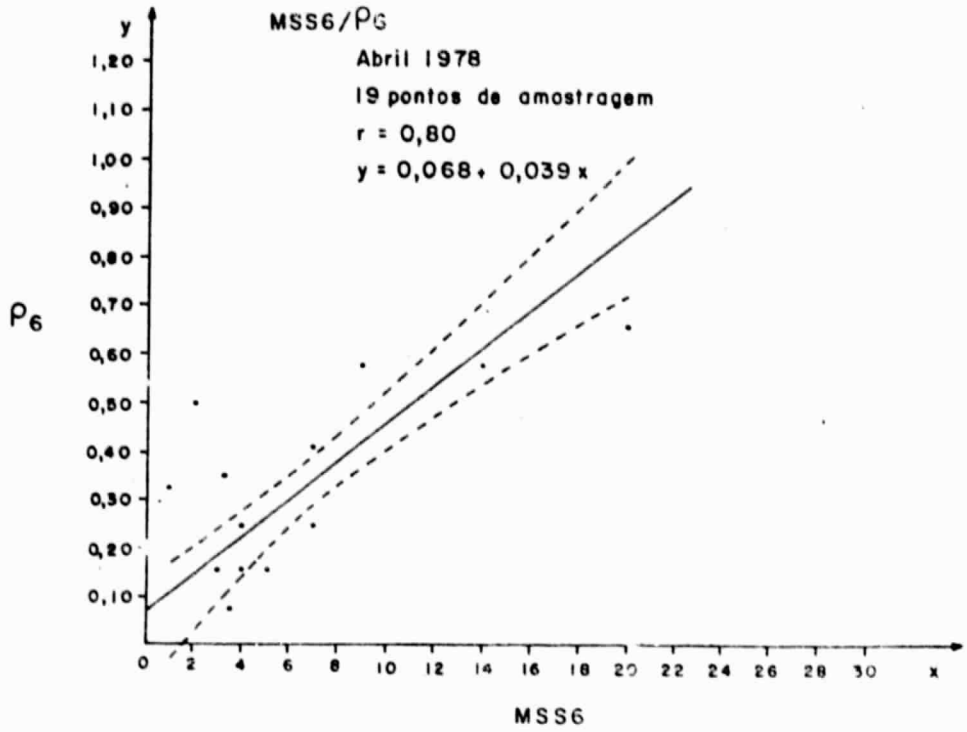


Fig. 4.37 - Gráfico de regressão entre reflectância d'água coleta da *in situ* e níveis de cinza (CCT) no canal MSS 6.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

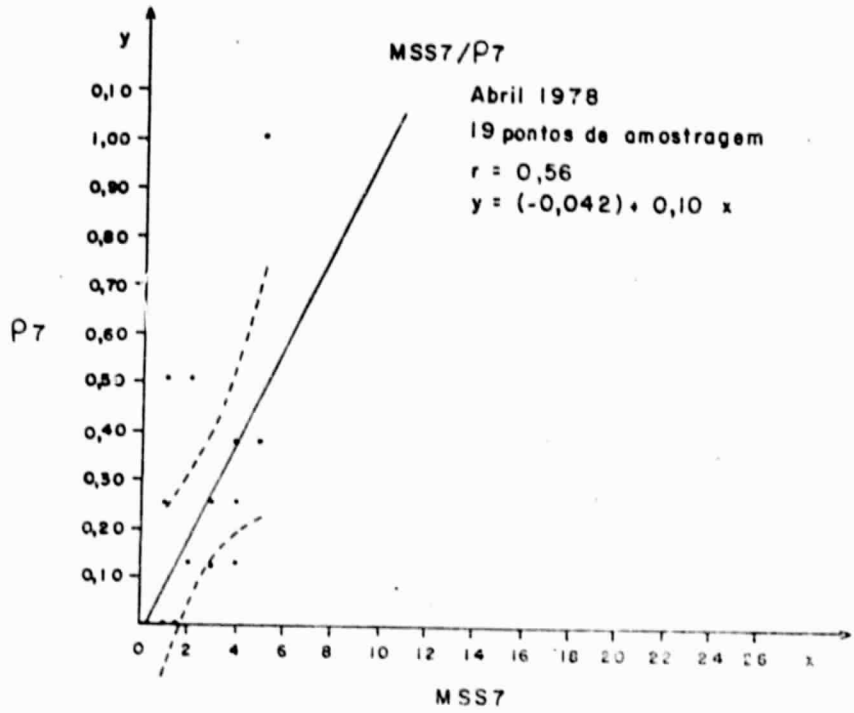


Fig. 4.38 - Gráfico de regressão entre reflectância d'água coletada *in situ* e níveis de cinza (CCT) no canal MSS 7.

De todos os canais analisados, o canal MSS 4 foi o que apresentou menor ajuste e, de acordo com o traçado da zona de confiança na Figura 4.35, à medida que os valores de reflectâncias aumentam ou diminuem, o erro padrão da estimativa aumenta excessivamente. Isto talvez se deva à grande interferencia atmosférica sofrida por este canal.

Em todos os gráficos (Figuras de 4.35 a 4.38), os pontos plotados fora do traçado da zona de confiança foram amostrados com mais de 5 dias de defasagem com a passagem do satélite.

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 (de 57 metros para 75 metros de profundidade máxima), 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.

Ao fazer a interpretação automática das imagens LANDSAT, partiu-se do princípio de que os diferentes níveis de cinza representavam diferentes concentrações de sedimentos.

De acordo com Capítulo 2, 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 o reservatório apresenta a sua superfície d'água com grande variação de níveis de cinza. No período seco, esta superfície é bastante homogênea sendo este período o menos adequado para este tipo de analise.

Em todas as coberturas orbitais analisadas, as classes de níveis de cinza mais altos se localizaram nas entradas de água do reservatório, reforçando o que já foi mencionado no Capítulo 2, isto é,

em locais de maior concentração de sedimentos, há um maior retorno de energia para o sensor; portanto, há maior reflectância.

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 depositando. Desta forma, as concentrações tornam-se menores, até a água ficar praticamente limpa.

Pelos mapas temáticos (Apêndice D) pode-se observar que grandes concentrações de sedimentos entram pelo braço abastecido pelo rio Paraopeba e, sob a forma de pluma, dirigem-se para o corpo principal do reservatório. Pelo braço abastecido pelo rio São Francisco, entra também uma considerável quantidade de sedimentos, sendo que a pluma se dirige para o corpo principal do reservatório, onde se une a pluma vinda do Paraopeba, seguindo posteriormente em direção à barragem. À medida que esta pluma vai caminhando em direção à barragem, ela vai se dispersando, pois a turbulência das águas diminui, a profundidade aumenta e as partículas começam a se depositar. Quando a pluma recebe novas cargas de sedimentos provenientes das entradas d'água de menor importância, ao longo do reservatório, ela tende a se dispersar completamente, na altura da barragem.

No caso do rio Borrachudo, este comportamento é um pouco diferente. Por ser este um braço de menor comprimento, de vale mais estreito e gradiente mais acentuado, o que faz com que as águas escoem com maior rapidez, a tendência é a pluma de sedimentos caminhar com maior velocidade, indo de encontro à barragem e dispersando-se neste trecho do reservatório. Devido ao deslocamento rápido da pluma de sedimentos neste rio, apesar de suas grandes concentrações de carga suspensa, geralmente se apresenta nas imagens LANDSAT como um rio de águas límpidas, com exceção dos períodos de chuvas mais intensas, onde se pode observar a presença da pluma de sedimentos.

À entrada de água abastecida pelo rio Indaiá, observa-se, também, este tipo de deslocamento rápido para as plumas de sedimentos.

No período seco nota-se a presença de uma pluma de sedimentos nos primeiros 15 km do braço do reservatório abastecido pelo rio Paraopeba; porém, esta logo se dispersa devido ao pequeno débito e, consequentemente, à pequena carga de sedimentos.

Confirmando os dados de descargas líquida e sólida analisados na Seção 4.1.5, as principais fontes de sedimentos do reservatório ocorrem através dos braços abastecidos pelos 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 claros, 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, indicando que este rio é um grande contribuidor de sedimentos para o reservatório de Três Marias, uma vez que todo o seu curso percorre uma região de solos expostos e processos de erosão acelerada. O mesmo pode ser observado para o rio Indaiá, porém com menor intensidade.

O transporte do material em suspensão depende do movimento de turbulência da água e da fricção entre as partículas de silte e a água. Os sedimentos suspensos são mais concentrados onde a velocidade da água é mais alta e a profundidade menor (Hjülstrom, 1939; Morisawa, 1968).

Levando-se em consideração estes fatores e as diferenças de níveis de cinza observadas na camada superficial da água do reservatório, constatou-se que os pontos de maior turbulência neste corpo d'água, bem como os de menor profundidade, localizam-se no reserva

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

onde as águas, trazidas pelos rios abastecedores, desaguam. Nestes locais, a profundidade é menor em relação à profundidade máxima do reservatório (75 metros), na altura da barragem, pelo próprio gradiente do reservatório.

Sabe-se que a carga em suspensão é carregada quase na mesma velocidade da água. Quando a turbulência atinge o limite crítico, no qual não há mais condições para manter as partículas em suspensão, elas se precipitam. Estas partículas parecem ser transportadas na água, em forma de plumas. A deposição da carga em suspensão pode ocorrer em lagos, ou em trechos de águas muito calmas (Hjülstrom, 1939).

De acordo com os dados de precipitação e de descargas líquida e sólida apresentados na Seção 4.1.5, observou-se que o ano de 1975 foi particularmente seco, registrando-se baixos valores para a precipitação, mesmo no período chuvoso.

Este fato aparece bem caracterizado nas imagens LANDSAT, através dos diferentes níveis de cinza na camada superficial d'água no reservatório. Sabendo-se que o transporte da carga detrítica está diretamente relacionado às precipitações e aos débitos fluviais, analisaram-se as imagens referentes ao ano de 1975. Observou-se que, principalmente durante o período chuvoso, há uma variação bem menor de níveis de cinza na camada superficial d'água em relação às imagens de 1977 e 1978. Nestes dois ultimos anos notaram-se grandes concentrações de sedimentos no corpo principal do reservatório, até a altura da confluência do braço abastecido pelo rio Indaiá, ao contrário do ano de 1975, em que a pluma se dispersou a montante da referida confluência.

PRECEDING PAGE BLANK NOT FILMED

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Dos resultados obtidos com as análises realizadas chegou-se a conclusões, não só referentes ao método e as técnicas, como também à área de estudo, que são apresentadas neste capítulo.

5.1 - MÉTODO E TÉCNICAS

Através do método utilizado neste trabalho, o qual levou em consideração os fatores físicos e antrópicos do sistema estudado e as características das imagens MSS/LANDSAT, concluiu-se que é possível fazer uma análise do comportamento de um reservatório artificial, ao longo de vários anos, em dois períodos sazonais (seco e chuvoso), tomando-se como base a tendência da dispersão das concentrações de sedimentos em suspensão nas águas de superfície. É possível também determinar os principais fatores que atuam na dinâmica da bacia abastecedora desse reservatório, bem como avaliar os processos que diminuem a sua eficiência.

Quanto às técnicas utilizadas, os dados armazenados pelo sistema MSS do satélite LANDSAT possibilitam a análise visual e/ou automática de tendências de transporte e dispersão de material em suspensão, nas águas superficiais de reservatórios artificiais. Isto acontece porque diferentes concentrações do material em suspensão provocam uma resposta espectral característica, originada pela radiação eletromagnética retroespalhada pelas partículas próximas a superfície das águas. Essas estão sujeitas a variações de comportamento no reservatório provocadas pela ação das variações temporo/espaciais de ordem física e humana, que influem no sistema. Assim, a análise sistemática e repetitiva das imagens multiespectrais do satélite LANDSAT, é essencial na classificação dos diferentes graus de contaminação das águas por partículas sólidas, liberadas pelas áreas marginais às bacias de drenagem abastecedora de reservatórios artificiais, como no caso de Três Marias.

O controle de campo simultâneo, através de amostragens, 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. A amostragem deve ser elaborada a partir da análise preliminar de algumas imagens. Para que as correlações resultantes entre o dado do sensor e o dado medido *in situ* sejam efetivamente de alto grau, o fator tempo deve se considerado, em função da coleta, na distribuição espacial das amostras. Como foi praticamente impossível no reservatório de Três Marias, realizar as coletas em tempo real, constatou-se que os desvios identificados nos cálculos realizados são derivados dessa dificuldade.

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

A análise dos aspectos sazonais e a análise da rede de drenagem, da morfologia e do uso do solo na área de estudo, permitiram a identificação de áreas fontes de material removido pela ação do escoamento superficial e 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 análise 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. Os melhores resultados foram alcançados nas imagens correspondentes a períodos de estação chuvosa, quando a li

beração e incorporação das partículas às águas é mais intensa. As imagens do período seco oferecem maiores dificuldades para a separação das classes de níveis de cinza devido aos baixos contrastes apresentados pelos contigentes de partículas em dispersão.

A partir dos valores de níveis de cinza registrados nas fitas magnéticas e dos dados de profundidade Secchi coletados no campo foi possível, através do programa MAXVER do sistema I-100, elaborar mapas semiquantitativos da dispersão do material em suspensão na camada superficial d'água do reservatório de Três Marias, obtendo-se assim, informações sobre a distribuição desses sedimentos no referido reservatório.

Analisando-se a distribuição das classes de níveis de cinza nos mapas temáticos, obtidos através da interpretação automática das imagens LANDSAT, constatou-se que as classes melhor definidas foram as que apresentaram os níveis de cinza mais altos (maior reflectância). Estas correspondem à menores profundidades Secchi e às concentrações de sedimentos mais acentuadas, localizando-se nas conexões do reservatório com os níveis de juzante dos principais rios que o abastece. Constatou-se também por estes mapas que as classes de níveis de cinza distribuem-se de acordo com a tendência do comportamento da pluma de sedimentos. Isto sugere uma relação entre os níveis de cinza e as concentrações de carga suspensa. Este tipo de comportamento é perfeitamente perceptível no reservatório de Três Marias, através da distribuição dos níveis de cinza da camada superficial d'água nas imagens MSS/LANDSAT.

Observando-se a distribuição das classes de níveis de cinza, nos mapas temáticos do reservatório de Três Marias, e levando-se em consideração os valores de profundidade Secchi, concluiu-se que os níveis de cinza variam de forma suave e contínua. Tal fato sugere a mesma tendência para as concentrações de sedimentos na camada superficial d'água. Este comportamento torna-se mais característico à medida que a pluma de sedimentos vai se dispersando.

Conforme o mencionado na bibliografia referente à comportamento espectral d'água e sedimentos em suspensão, constatou-se que:

- Os resultados da análise de correlação, realizada entre profundidade Secchi e valores médios de níveis de cinza apresentados pela camada superficial d'água do reservatório (MSS 4 = 0,89 e - 0,70), indicaram que esses dados são inversamente proporcionais, isto é, quanto menor é a profundidade Secchi, mais alto é o nível de cinza. A profundidade Secchi está relacionada ao coeficiente de absorção d'água, e este, por sua vez, está relacionado com a quantidade de partículas sólidas em suspensão na mesma. Assim, quanto maior for a quantidade de sedimentos em suspensão, mais claro será o nível de cinza provocado por maior quantidade de energia refletida, e menor será a profundidade Secchi.

- Pelos coeficientes de correlação obtidos, os canais que oferecem maiores informações e menores probalidades de erro na classificação são os canais MSS 4 e MSS 5, sendo os canais adequados para registrar as diferentes concentrações de sedimentos em suspensão nas águas superficiais do reservatório; o canal MSS 5 foi o que apresentou a mais alta correlação (R = 0,96) no período seco, entre os valores médios de níveis de cinza e a profundidade Secchi.

Ao comparar os gráficos de regressão entre profundidade Secchi e níveis de cinza dos canais MSS 4 e 5 (no período chuvoso), verificou-se que apesar do coeficiente de correlação (- 0,89) do canal MSS4 ser maior do que o do canal MSS 5 (- 0,84), o ajuste da reta deste último é mais perfeito; no gráfico referente ao canal MSS 4, 10 (dez) pontos de amostragem foram plotados fora da zona de confiança, do contrário do canal MSS 5, onde foram plotados apenas 4 pontos.

Pela inclinação da reta no gráfico de regressão, ficou provado que o canal MSS 5 é o mais sensível às variações de energia refletida pela camada superficial d'água, em função das concentrações de sedimentos, e que, para uma pequena variação no valor de profundidade Secchi, há uma grande variação nos valores de níveis de cinza.

O traçado da zona de confiança nos gráficos de regressão simples, permitiu constatar que o canal MSS 4 é o mais adequado ao registro dos níveis mais baixos, indicativos das maiores profundidades Secchi. Este canal registrou níveis de cinza indicativos de profundidades Secchi num intervalo de 0,50 a 3,50 metros (período chuvoso) e 0,25 a 6,0 metros (período seco). Esses resultados estão de acordo com a bibliografia consultada sobre o assunto, a qual menciona que a profundidade de penetração da luz neste canal é maior do que nos outros canais do MSS/LANDSAT. Os resultados das análises indicam ainda que período mais indicado para este tipo de análise é o chuvoso, pois de acordo com o erro padrão das estimativas (Se) apresentado em cada um dos canais, os erros no período chuvoso são bem menores do que no período seco. Tal acontece, devido à menor descarga de partículas sólidas em suspensão no reservatório, durante o período seco. Isto faz com que a mistura da suspensão fique mais homogênea do que no período chuvoso, dificultando a discriminação dos diferentes níveis de cinza na imagem, uma vez que a mudança de um nível para outro torna-se menos contrastante. O outro fator que também contribuiu para que os dados do período chuvoso apresentassem erros padrões menores, neste tipo de análise, foi o fato de que neste período um maior número de dados de campo foram coletados no dia da cobertura orbital do satélite.

Dos quatro canais analisados, o canal MSS7 foi o que apresentou a menor correlação entre os valores médios de níveis de cinza e a profundidade Secchi, sendo o canal menos adequado ao registro das variações das concentrações de sedimentos.

Pela análise de correlação entre valores médios de níveis de cinza e reflectância d'água *in situ*, constatou-se que:

- Quanto maior for a reflectância da camada superficial d'água, mais alto será o nível de cinza.

- As melhores faixas espectrais para este tipo de análise foram as referentes aos canais MSS 5 e 6.

- O canal MSS 5 foi o que apresentou o mais alto coeficiente de correlação (0,96), sendo o melhor canal para caracterizar tanto baixos como altos valores de reflectância d'água *in situ*.

- Os dados de profundidade Secchi apresentaram correlações mais altas com os valores médios de níveis de cinza, do que os dados de reflectância d'água *in situ*. Isto ocorre porque os dados de reflectância fornecem informações mais puntuais, enquanto os dados de profundidade Secchi, fornecem um valor médio num dado local, e o sinal de retorno que o satélite recebe não é puntual e sim, uma média das informações de uma dada área.

- Levando-se em consideração que a turbidez é uma propriedade ótica relacionada à luz espalhada pela maior ou menor concentração de material suspenso na água, concluiu-se que quanto mais túrbida for a camada superficial d'água de um reservatório maior será a reflectância. Consequentemente, mais alto será o nível de cinza registrado nas imagens MSS/LANDSAT.

Pela análise dos gráficos de regressão simples (profundidade *Secchi* x *níveis* de cinza e reflectância d'água *in situ* x *níveis* de cinza), concluiu-se que as informações de maior confiabilidade são aquelas coletadas no dia da passagem do satélite, pois os pontos amostrados de 1 a 5 dias após a passagem, foram plotados fora da zona de confiança desses gráficos. À medida que vai ocorrendo uma defasagem entre o dia da passagem do satélite e o dia da coleta do dado *in situ*,

a probabilidade de erro na informação vai aumentando, mesmo para ambientes mais estáveis como as águas de reservatórios artificiais.

5.2 - A ÁREA ESTUDADA

Ao término das análises realizadas, foram detectadas na bacia abastecedora do reservatório de Três Marias quatro grandes áreas fontes de cargas detríticas: 1) área de mineração com processos de erosão acelerada; 2) área de desmatamento e solo exposto com processos de erosão acelerada; 3) área agrícola e de despejos industriais; 4) área de agricultura e de desmatamento.

Analisando-se cada uma dessas áreas, constatou-se que:

- A área de mineração com processos de erosão acelerada, pelo tipo de atividades (mineração e pastagem) nela desenvolvida, é das mais importantes na produção e transporte de sedimentos para o reservatório de Três Marias.

- Das áreas críticas, a de desmatamento e solo exposto, com processos de erosão acelerada, ocupa maior extensão territorial, além de ser grande produtora de sedimentos para o reservatório. A devastação indiscriminda da cobertura vegetal desta área, para a produção de carvão vegetal destinado às siderúrgicas, possivelmente contribui para que os processos de erosão acelerada assumam proporções cada vez maiores, com sérias consequências para a vida útil do reservatório de Três Marias.

- As áreas desmatadas, em toda a bacia abastecedora do reservatório, ampliaram consideravelmente a sua extensão num espaço de cinco anos (1973 a 1978).

- Apesar dos processos erosivos serem menos intensos na área agrícola e de despejos industriais, as atividades agrícolas exercidas pelo homem contribuem para a produção de sedimentos transportados para o rio São Francisco e, consequentemente, para o reservatório de Três Marias.

Concluindo, 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.

Ao analisar as características físicas da região, constatou-se que os trechos que apresentavam maiores problemas de erosão acelerada caracterizavam-se por: relevos de colinas ou de colinas associadas a cristas; solos pobres; densidade hidrográfica elevada; e terrenos mais impermeáveis, com escoamento superficial intenso e concentrado, por ocasião do período chuvoso. Nestes trechos, a vegetação original mais densa está sendo substituida por uma vegetação mais rala, em geral do tipo gramínea. Ao final do período seco, esta vegetação oferece pouca proteção do solo, favorecendo a ação dos processos erosivos com a chegada das chuvas.

Associando-se as quatro áreas fornecedoras de sedimentos ao comportamento das descargas líquida e sólida dos três principais rios abastecedores do reservatório de Três Marias, verificou-se que a ocupação desordenada desta bacia aliada aos processos erosivos que aí ocorrem são os principais responsáveis pelas elevadas descargas sólidas apresentadas por estes rios, principalmente pelo rio Paraopeba.

A maior parte do material detrítico proveniente dos processos de erosão acelerada, que ocorrem nas cabeceiras do rio Paraopeba, o material originado das extrações minerais e o proveniente das áreas de solo exposto são transportados pelo rio Paraopeba ao reservatório de Três Marias. Assim, este rio apresenta-se como um dos mais problemáticos com relação ao transporte de sedimentos para o reservatório.

Dos rios São Francisco, Pará e Paraopeba, este último é o que apresenta os maiores valores de descarga sólida. Esta, é consideravelmente acentuada por ocasião do período chuvoso na região. Mesmo durante o período seco, quando estas descargas diminuem sensivelmente, este rio apresenta valores muito elevados.

A carga detrítica fornecida por despejos industriais no rio São Francisco é mais facilmente observada durante o período seco, quando os picos de descargas sólidas ocorrem de forma periódica, ao contrário da descarga líquida.

Pelo fato dos rios Borrachudo e Indaiá terem a maior parte de seus cursos dentro das áreas de desmatamento e solo exposto com processos de erosão acelerada, eles recebem uma carga muito grande de sedimentos (principalmente o Borrachudo), que é totalmente transportada para o reservatório de Três Marias.

Associando-se a dinâmica da bacia abastecedora do reservatório de Três Marias às descargas líquida e sólida dos seus principais abastecedores (São Francisco, Pará e Paraopeba) e aos diferentes níveis de cinza observados nas imagens MSS/LANDSAT, constatou-se que:

- Os locais que apresentam os níveis de cinza mais altos são os braços do reservatório abastecidos pelos rios Paraopeba, São Francisco e Borrachudo. Estes três rios são grandes contribuidores de carga detrítica para este corpo d'água, uma vez que seus cursos percorrem as principais áreas fontes de sedimentos.

- Os valores médios de níveis de cinza mais elevados, as reflectâncias d'água *in situ* mais altas, as menores profundidades Secchi e os maiores valores de descargas sólidas correspondem ao braço do reservatório abastecido pelo rio Paraopeba.

- O braço do reservatório abastecido pelo rio Paraopeba apresenta altas reflectâncias, altos valores de níveis de cinza e baixos valores de profundidade Secchi, mesmo durante o período seco, quando praticamente todo o reservatório apresenta níveis de cinza mais baixos, indicativos de águas mais límpidas. Isto confirma que o trecho percorrido por este rio é o mais problemático quanto à produção e ao transporte de sedimentos para o reservatorio.

- O braço do reservatório abastecido pelo rio Borrachudo apresenta níveis de cinza altos, indicativos de altas concentrações de sedimentos. Este rio recebe elevadas cargas de sedimentos uma vez que todo o seu curso percorre áreas de desmatamento e solo exposto com erosão acelerada.

- Os níveis de cinza observados nas imagens MSS/LANDSAT, associados aos valores de descargas sólidas dos rios e ao comportamento sazonal da área de estudos, permitiram constatar uma diferença significativa no comportamento do reservatório de Três Marias, entre os períodos seco e chuvoso. Neste último período, verifica-se um aumento na pluviosidade e um trabalho erosivo mais intenso, com consequente aumento da descarga sólida, refletindo-se numa distribuição mais heterogênea dos níveis de cinza da superfície d'água do reservatório.

Levando-se em consideração todas as informações levantadas, as análises realizadas e os resultados obtidos, concluiu-se que a dinâmica dos fenômenos físicos e humanos que ocorrem na bacia abastecedora do reservatório de Três Marias interferem de forma direta no comportamento da dispersão de sedimentos em suspensão neste corpo d'água.

Considerando-se a teoria dos sistemas mencionada no Capítulo 3, um sistema é um operador que, em determinado lapso de tempo, recebe o input (que é a carga de sedimentos fornecida pelas vertentes) e o transforma em output (que é todo o material que chega ao reservatório, é selecionado, deposita-se e, às vezes, chega novamente à corrente do rio através do vertedouro da barragem).

Para analisar a dinâmica do sistema, foi necessário estudar o comportamento de seus elementos (rede de drenagem, morfologia e uso do solo em geral) e as relações entre eles e seus atributos (área, descargas líquida e sólida, profundidade Secchi, reflectância d'água *in situ*, concentração de sedimentos, densidade dos fenômenos na área, etc.), chegando-se a conclusão de que a área de estudo é um sistema controlado. Desta forma, a interferência humana, direta ou indireta sobre os elementos componentes do sistema analisado, condiciona, de forma significativa, os processos que nele ocorrem e as saídas por ele apresentadas.

5.3 - 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, principalmente: 1) na área de ocupação agrícola e industrial ao longo do rio São Francisco; 2) no alto curso do rio Paraopeba; 3) nas áreas de erosão acelerada, adjacantes ao reservatório de Três Marias.

Na área de desmatamento e solo exposto, recomenda-se que, através dos órgãos encarregados do desenvolvimento da região, como a CODEVASF, se faça um maior controle dos trechos que estão sendo desmatados, nos quais a vegetação natural não consegue se reconstituir.

Utilizando-se dados periódicos das imagens LANDSAT (MSS e RBV) poderia ser feito um acompanhamento sistemático da ocupação das áreas mencionadas que, aliada a um controle de campo simultâneo, permitiria avaliar e monitorar o desmatamento na região. A partir destas informações planejar-se-ia a implantação de projetos 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.

Sendo estas áreas de solo exposto e desmatamento, áreas de relevos colinosos, com declividades de médias a elevadas, com solos pobres e estação seca prolongada, recomenda-se que os projetos agropecuários, que porventura venham a ser ali instalados, recebam recursos e treinamentos técnicos operacionais dos órgãos responsáveis pelo desenvolvimento da região, de acordo com as necessidades locais. Desta forma suprir-se-ão as deficiências encontradas, minimizando-se os efeitos dos processos erosivos, como por exemplo a diminuição de carga detrítica dos rios. Tais medidas poderão auxiliar também o aumento do rendimento das áreas cultivadas no local.

Sugere-se a continuação da política de reflorestamento já existente em alguns trechos da área de estudo, e sua extensão às áreas críticas. Estas, além de estarem sendo ampliadas, contribuem diretamente para o fornecimento de sedimentos para o reservatório de Três Marias.

Recomenda-se a instalação de réguas fluviométricas e a coleta de dados de descarga sólida no rio Borrachudo, a exemplo do que vem sendo feito nos rios São Francisco, Pará e Paraopeba. Uma vez que a maior parte do curso do rio Borrachudo encontra-se numa das áreas mais críticas, estas providências permitirão avaliar a contribuição, em sedimentos, deste rio para o reservatório de Três Marias.

Sugere-se que seja exercido um maior controle, pelos órgãos competentes, do tipo de ocupação existente ao longo do rio São Francisco. Desta forma, evitar-se-á que resíduos agrícolas e industriais venham aumentar a carga detrítica deste rio, bem como interferir na qualidade d'água.

Na área compreendida pelas cabeceiras do rio Paraopeba, recomenda-se que se façam estudos mais detalhados, visando selecionar áreas propícias à implantação de projetos agrícolas e pecuários, pois este tipo de atividade aliada aos fatores físicos da área (maior pluviosidade, desmatamento, manto de decomposição mais espesso, declividades mais acentuadas) são elementos relevantes nos processos de erosão acelerada aí encontrados.

Sugere-se o plantio em curvas de nível nas regiões de declives mais acentuados, como uma das medidas preventivas dos processos de erosão acelerada. Esta prática,conforme observações de campo, é muito pouco usada na bacia abastecedora do reservatório de Três Marias, com algumas execeções, onde a agricultura é mecaminizada e ocupa grandes extensões.

Recomenda-se evitar a instalação de minas de exploração de minério de ferro às margens do rio Paraopeba, bem como evitar o despejo, em suas águas, dos resíduos das minerações próximas do rio, a fim de diminuir o volume de carga detrítica por ele transportada ao reservatório de Três Marias.

As quatro áreas críticas produtoras de sedimentos, 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.

Recomenda-se que, antes de serem implantados projetos agropecuários nas áreas de relevos planos, sem problemas de processos erosivos, se faça uma análise detalhada das mesmas pelos órgãos competentes. Isto permitirá que sejam introduzidas espécimes condizentes com as características físicas nelas encontradas, mantendo-se um equilíbrio do sistema solo-planta, e preservando-as, assim, dos efeitos da erosão.

Considerando-se que nesse reservatório a pesca é de caráctér comercial e que as suas águas são utilizadas pelas populações adjacentes, é imprescindível que a qualidade das águas seja preservada.

Considerando-se que uma das principais finalidades da construção do reservatório de Três Marias é 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 e CODEVASF, e outras), proporcionando maior controle das atividades agropecuárias, mineradoras e industriais na área da bacia abastecedora do reservatório. Com isto, espera-se diminuir a carga detrítica nele despejada, aumentando, em consequência, a sua vida útil.

Considerando-se o tipo de carga detrítica transportada pelos rios São Francisco e Paraopeba, deve-se fazer um controle físico-químico sistemático da água do reservatório de Três Marias, obtendo-se assim dados sobre a sua qualidade, bem como sobre as concentrações de sedimentos nele contido.

Recomenda-se que seja evitado ou, pelo menos, controlado o despejo de detritos industriais no rio São Francisco e de mineração no Paraopeba, uma vez que os mesmos contribuem com altas cargas de material detrítico, transportados para o reservatório de Três Marias.

Utilizando-se as informações periódicas das imagens LANDSAT e as variações das características espectrais dos alvos, poder-se-ia monitorar sistematicamente tanto a bacia abastecedora como o reservatório de Três Marias, procurando-se assim, minimizar o problemas de produção e transporte de cargas detríticas, identificados neste sistema.

PRECEDING PAGE BLANK NOT FILMED

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto de Pesquisas Espaciais, na pessoa do seu diretor, Dr. Nelson de Jesus Parada, pelo incentivo dado ao trabalho.

Agradeço à Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco, por fornecer condições materiais e apoio logístico, que possibilitaram a realização dos trabalhos de campo na área de estudo.

Agradeço ao Dr. Adilson Avansi de Abreu da Universidade de São Paulo (USP) pela orientação e estímulo, em especial na parte do trabalho voltado para a geografia.

Agradeço ao Dr. Renato Herz, do Intituto de Pesquisas Espaciais (INPE), pela orientação e estímulo, em especial na parte do trabalho voltada para o sensoriamento remoto.

Agradeço ao Engº Agr. Vitor Celso de Carvalho, MSc. do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), pelo seu apoio, estímulo e orientação, principalmente durante os trabalhos de campo na área de estudo.

Agradeço aos colegas José Carlos Moreira, João Roberto dos Santos, Armando Pacheco dos Santos, Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo e Rose Mary do Prado Demori, pelas sugestões e auxílio nas análises automáticas, estatística, de laboratório, no trabalho de campo e na montagem gráfica do trabalho.

Agradeço as demais pessoas, que de forma direta ou indireta, colaboraram para a realização deste trabalho.

PRECEDING PAGE BLANK NOT FILMED

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, M.T.A. Vegetação In: IBGE. *Geografia do Brasil, Região Sudeste,* Rio de Janeiro, 1977. v. 1, p. 91-118.

ANDRADE, G.O. Os climas. In: AZEVEDO, A. *Brasil a terra e o homem.* 2ª ed. São Paulo, Nacional 1968. v. 1, cap. 7, p. 397-462.

AOKI, H.; SANTOS, J.R. dos *Estudo 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. (1730-TDL/026).

———. Fatores ambientais dos cerrados e imagens orbitais. *Boletim Técnico do Instituto Florestal,* (30):1-69, set. 1979.

ARENS, K. O cerrado como vegetação oligotrófica. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras - U.S.P.,* São Paulo, 224:59-77 (Botânica, 15), 1958.

BAGNOULS, F.; GAUSSEN, H. Estação seca e índice xerotérmico. *Boletim Geográfico,* 20(169):337-369, jul./ago. 1962.

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. In: NASA, *Earth Resources Survey Symposium,* proceedings of a Symposium in Houston, Tx., June 9-12, 1975. Washington, DC, NASA, 1975, v.1-A, p. 383-418 (NASA TMX-58168).

BARROS, L.F. de Contribuição ao estudo das massas de ar da Bacia do São Francisco. *Revista Brasileira de Geografia,* 19(3):301-340, jul/set. 1957.

BARTOLUCCI, L.A.; ROBINSON, B.F.; SILVA, L.R. Field measurements of the spectral response of natural waters. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,* 43(5):595-598, Maio 1977.

BERNARDES, L.M.C. Notas sobre o clima da Bacia do São Francisco. *Revista Brasileira de Geografia,* 13(3):473-479, jul./set. 1951.

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

CHORLEY, R. A geomorfologia e a teoria dos sistemas gerais. *Notícia Geomorfológica*, 11(21):3-22, jun. 1971.

CHORLEY, R.; KENNEDY, B.A. *Physical Geography: a systems approach.* Londres, Printed-Hall, 1971.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). O impacto das grandes barragens no meio ambiental. *Revista Brasileira de Energia Elétrica*, (32):4-18, out./dez. 1975.

EITEN, G. An outline of the vegetation of South America In: *SIMPOSIUM OF INTERNATIONAL CONGRESS OF PRIMAT SOCIETY* 5. Nagoya, 1974. Proceedings p. 529-545.

FEYMANN, R.P.; LEIGHTON, R.B.; SANDS, M. Atoms in motion. In: ——— *The Feyman. Lectures on physics.* Massachusetts, Addison Wesley, 1967. Cap. 1, p. 1-9.

FERRI, M.G. Ecologia dos cerrados. In: *SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO*, 4. Brasília, 1977, p. 15-36 (separ.).

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 151p.

GALVÃO, M.V. Região bioclimática do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia*, 29(1):3-37, jan./mar. 1967.

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, Feb. 1975.

GREGORY, K.J.; WALLING, D.E. Drainage Basin Form an Pocess; a geomorphological approach. In: *DRAINAGE BASIN CHARACTERISTICS*, London, 1973, Parte 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 Ciência Humanas, Departamento de Geografia, 1977.

HERZ, R.; TANAKA, K. *Método para classificação automática de padrões multiespectrais de imagens orbitais em águas costeiras.* São José dos Campos, INPE, out. 1978. (INPE-1385-PE/179).

HJULSTROM, F. Transportation of detritus by moving water. In: AMERICAN ASSOCIATION OF PETROLEUM GEOLOGISTS. *Recent Marines Sediments.* Tulsa, 1939. p. 5-47.

HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basis hydro-physical aproach to quantitative morphology. *Geological Society America Bulletin,* 36:275-370, 1945.

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

HUNGRIA, L.S.; LOBERTO, L.C. Barragens dos Ribeirões Motas e Taboão. *Boletim Técnico DAEE,* Nº 8, jun. 1975.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA (IBGE). *Geografia do Brasil;* Região Sudeste, Rio de Janeiro, 1977. v.3.

JERLOV, N.G.; NIELSEN, E.S. Beam Attenuation. In: ———, ed. *Optical aspects of oceanography.* Aberdeen, Aberdeen University, 1968. Cap.1, p. 47-62.

KLOOSTER, R.A.; SCHERZ, J. Water quality by photografic analysis. In: *Photogrammetric Engeneering,* 40(7-12):927-935, 1974.

KOFFLER, N.F. *Utilização de imagens aerofotográficas e orbitais no estudo do padrão de drenagem em solos originados do arenito Bauru.* Tese de mestrado em sensoriamento remoto. São José dos Campos, INPE, jun., 1976. (INPE-898-TPT/029).

KRITIKOS, H.; YORINKS, L.; SMITH, H. Suspended solids analysis using ERTS-A data. *Remote Sensing Environment,* 3(1):69-78, 1974.

LUEDER, D.R. *Aerial photographic interpretation-principles and applications.* New York, McGraw Hill Book, 1959. 462 p.

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

MEIRELES, S.D. *Aplicação de Técnicas de sensores remotos na hidrografia com ênfase a batimetria.* Tese de mestrado em sensores remotos e aplicações. São José dos Campos, INPE. 1980. (INPE-1673-TDL/013).

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.

MESQUITA, O.V. Hidrografia. In: IBGE, *Grande Região Leste,* Rio de Janeiro, 1965. v. 5, Cap. 2, p. 55-89. (Série A).

MORAES, E.M.L. de *Análise morfométrica de bacias hidrográficas através de imagens LANDSAT-1.* São José dos Campos, INPE, ago. 1975. (INPE-728-NTI/026).

———. *Contribuição ao conhecimento geomorfológico da Chapada das Mangabeiras e regiões adjacentes, através de imagens ERTS-1.* São José dos Campos, INPE, jan. 1975. (INPE-591/280).

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

MOREIRA, A.A.N.; CAMELIER, C. Relevo. In: IBGE. *Geografia do Brasil, Região Sudeste.* Rio de Janeiro, 1977. v. 3, p. 1-50.

MOREL, A. Optical properties of pure water and pure sea water. In: JERLOV, N.G.; NIELSEN, E.S.; ed. *Optical Aspects of oceanography.* London, Academic, 1974. cap. 1, p. 1-23.

MORISAWA; M. Transportation of the sediment load. In: *Streams*. New York, McCgraw-Hill, 1968. p.41-65.

NASCIMENTO, 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, M.G.* Tese de mestrado em sensoriamento remoto e aplicações. São José dos Campos, INPE, 1977. (INPE-1157-TPT/072).

NOSSEIR, M.K.; PALESTINO, C.V.B.; BATISTA, G. *Mapeamento de vegetação natural dos estados de Minas Gerais e do Espírito Santo (região Leste do Brasil) através de imagens MSS do ERTS-1.* São José dos Campos, INPE, fev. 1975. (INPE-LAFE-617).

NOVO, E.M.L. de M.; NASCIMENTO, M.A.L.S. do *Mapeamento Geomorfológico através de imagens do LANDSAT.* São José dos Campos, INPE, jul. 1977. (INPE-1076-NTE/102).

PANOSO, L.A.; SANTANA, D.P.; BARUQUI, A.M.; BARUQUI, F.M.; ALMEIDA, J. R. de; FERREIRA, M.B.; SOUZA, C.C. de; ANTUNES, F.Z. *Levantamento de reconhecimento detalhado dos solos da área sob a influência do Reservatório de Três Marias.* Belo Horizonte, EPEMIG, 1978. (Boletim Técnico. SNLCS, 57).

PICKARD, G.L. Instruments and method. In: ———. *Descriptive phisycal oceanography.* Oxford, Pergamo, c 1963. Cap. 6, p. 73-106.

POSTMA, H. Sediment transport an sedimentation in the estuarine environment. LAUFF, G.H., ed. *Estuaries.* Washington, DC AAAs, 1967. Cap. 4, p. 158-179. (AAAs Publication, 83).

RAY, R.G. *Fotografias aéreas na interpretação e mapeamento geológicos.* São Paulo, Instituto Geográfico e Geológico, 1963.

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

RITCHIE, J.C.; MCHENRY, J.R.; SCHIEBE, F.R.; WILSON, R. The relationship of reflected solar radiation and the concentration of sediment in the surface water of reservoirs. In: SHAROKHI, F., ed. *Remote Sensing of earth resources*. Tullahoma, The University of Tennessee, 1974. V. 3, p. 57-71.

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

SALAS, F.; CABELLO, O.; ALARCON, F.; FERRER, C. ERTS-A,Multiespectral image analysis contribution for the geomorphological evaluation of southern Maracaibo Lake Basin. In: ERTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., Washington, DC, 1973. *Proceedings* Washington, DC, NASA, 1973, p. 943-953. (NASA SP-351).

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 sudeste 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).

SCHELLEY, P.E. *Sediment measurement in estuarine and coastal areas*. Washington, DC, NASA, 1976. (NASA CR-2769).

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.

SCHRUMF, B.J. Natural vegetation inventory. In: NASA. *Symposium on Significant Results Obtained from the Earth Resources Technology Satellite-1*.; proceedings of a Symposium in New Carrollton, MD, mar. 5-9, 1973. Washington, DC, NASA, 1973, v.1-A, p-59-66. (NASA SP-327).

SENRA, C.A.F. Koppen e Serebrenick - Climas da Bacia do Rio São Francisco. *Revista Brasileira de Geografia*, 16(3):370-383, jul./set. 1954.

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

VALERIO FILHO, M.; HIGA, N.T.; CARVALHO, V.C. de *Avaliação das imagens orbitais (LANDSAT-1) como base para levantamento de solos*. Tese de mestrado em sensores remotos 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).

VON BERTALANFLY, L. *The theory of open systems in physics and biology*. *Science*, 11:23-29, 1950.

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*; proceedings of a Symposium in New Carrolton, MD., March 5-9. Washington, D.C., NASA, 1973, p.651-658. (NASA SP-327).

APÊNDICE A

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

PROJETO TRÊS MARIAS

FICHA DE CAMPO

DATA: _____ HORA: _____

1) LOCALIZAÇÃO

- Número do ponto: _____
- Número do compartimento: _____
- Entrada: _____
- Mapa: _____
- Imagem: _____
- Coordenadas: _____
- Atitude: _____
- Município: _____
- Local: _____
- km ou ponto fixo mais próximo: _____

_____

2) ESTRUTURA SUPERFICIAL DO PERFIL

a) Substrato não alterado:

- Rocha: _____
- Direção: _____
- Mergulno: _____

- Grau de alteração: - alto:
  - médio:
  - baixo:
  - inexistente:

b) Material do cobertura:

b.1) Origem:

- rocha decomposta "*in situ*" - pedogenizada: _____
  - não pedogenizada: _____
- colúvio: - pedogenizados: _____
  - não pedogenizado: _____

b.2) Espessura: _____

b.3) Cor: _____ _____

b.4) Textura e composição predominante: _____

_____

b.5) Linhas de pedra:

- Número de ocorrências no perfil: _____
- Espessura: _____

_____

_____

_____

- Composição predominante: _____

_____

_____

_____

- Grau de arredondamento: - alto:
  - médio:
  - baixo:
  - inexistente:

- Posição: _____

b.6) Concreções:

- Espessura: _____
- Composição: _____

_____

- Posição: _____

b.7) Amostras nº: _____

b.8) Observações: _____

_____

_____

_____

_____

3) VEGETAÇÃO NATURAL

- Tipo: _____
- Grau de alteração: - alto:
  - médio:
  - baixo:
  - inexistente:

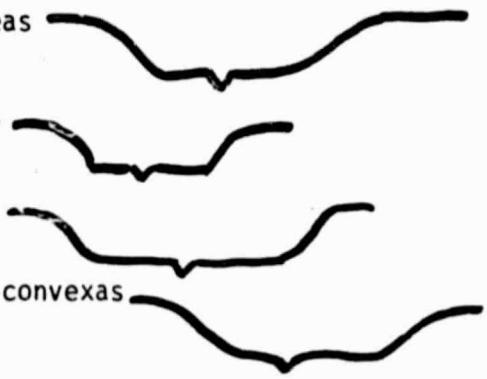
ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

4) USO DO SOLO

- Agricultura:
  - . Permanente: produto: _____
  - . Temporária: produto: _____
  - . Sistema agrário:
    - rotação de terras:
    - rotação de produtos:
    - culturas itinerante:
  - . Manejo: _____
- Silvicultura: espécie: _____
- Pastagem:
  - . Natural: espécie: _____
  - . Cultivada: espécie: _____

5) FORMA PREDOMINANTE DAS VERTENTES

- Retilíneas
- Convexas
- Côncavas
- Côncavo convexas



6) DINÂMICA DAS VERTENTES

- Grau de equilíbrio das vertentes:
  - alto:
  - médio:
  - baixo:
  - inexistente:

- Tipo de erosão predominante:
  - linear:
  - laminar:
- Grau de desenvolvimento das formas erosivas:
  - alto:
  - médio:
  - baixo:
- Fatores que contribuem para acelerar ou retardar as forams de erosão:

_____

_____

_____

_____

_____

_____

7) FATORES FOTOGRÁFICO

- Tipo do filme: _____
- Marca: _____
- Número do filme: _____
- Número da chapa: _____
- Orientação: _____
- Observações: _____

8) CROQUI DE CAMPO

9) OBSERVAÇÕES

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

APÊNDICE B

ÁREA TESTE		Nº DO PONTO
DATA / /	HORA:	Nº DO COMPORTAMENTO

REFLECTÂNCIA

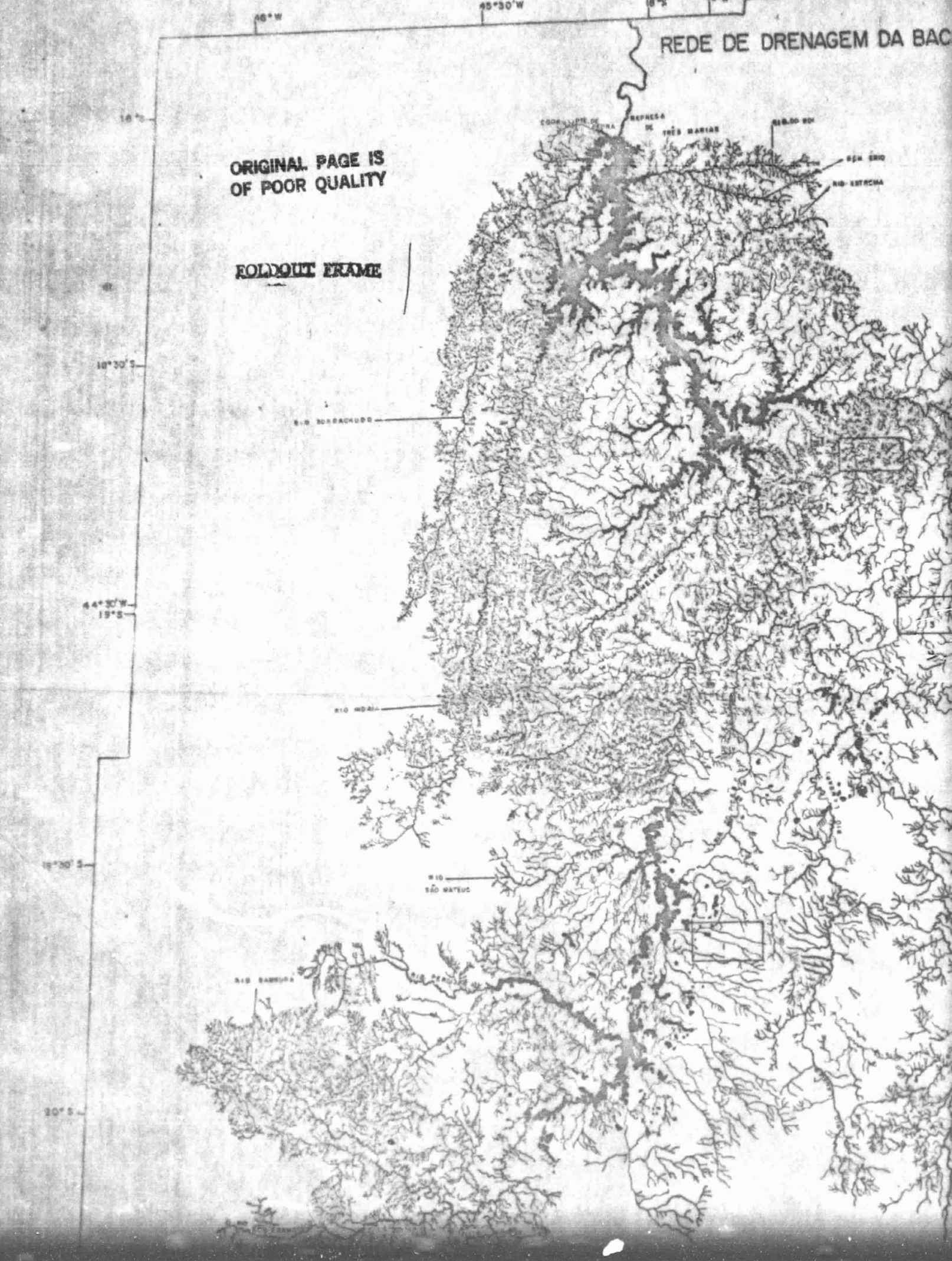
MSS 4 INCIDENTE		MSS 5 INCIDENTE		MSS 6 INCIDENTE		MSS 7 INCIDENTE	
VALOR	ESC	VALOR	ESC	VALOR	ESC	VALOR	ESC

MSS 4 EMERGENTE		MSS 5 EMERGENTE		MSS 6 EMERGENTE		MSS 7 EMERGENTE	
VALOR	ESC	VALOR	ESC	VALOR	ESC	VALOR	ESC

OBSERVAÇÕES

APÊNDICE C

MAPAS DAS CARACTERÍSTICAS GEO-AMBIENTAIS DA BACIA ABASTECEDORA DO RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS



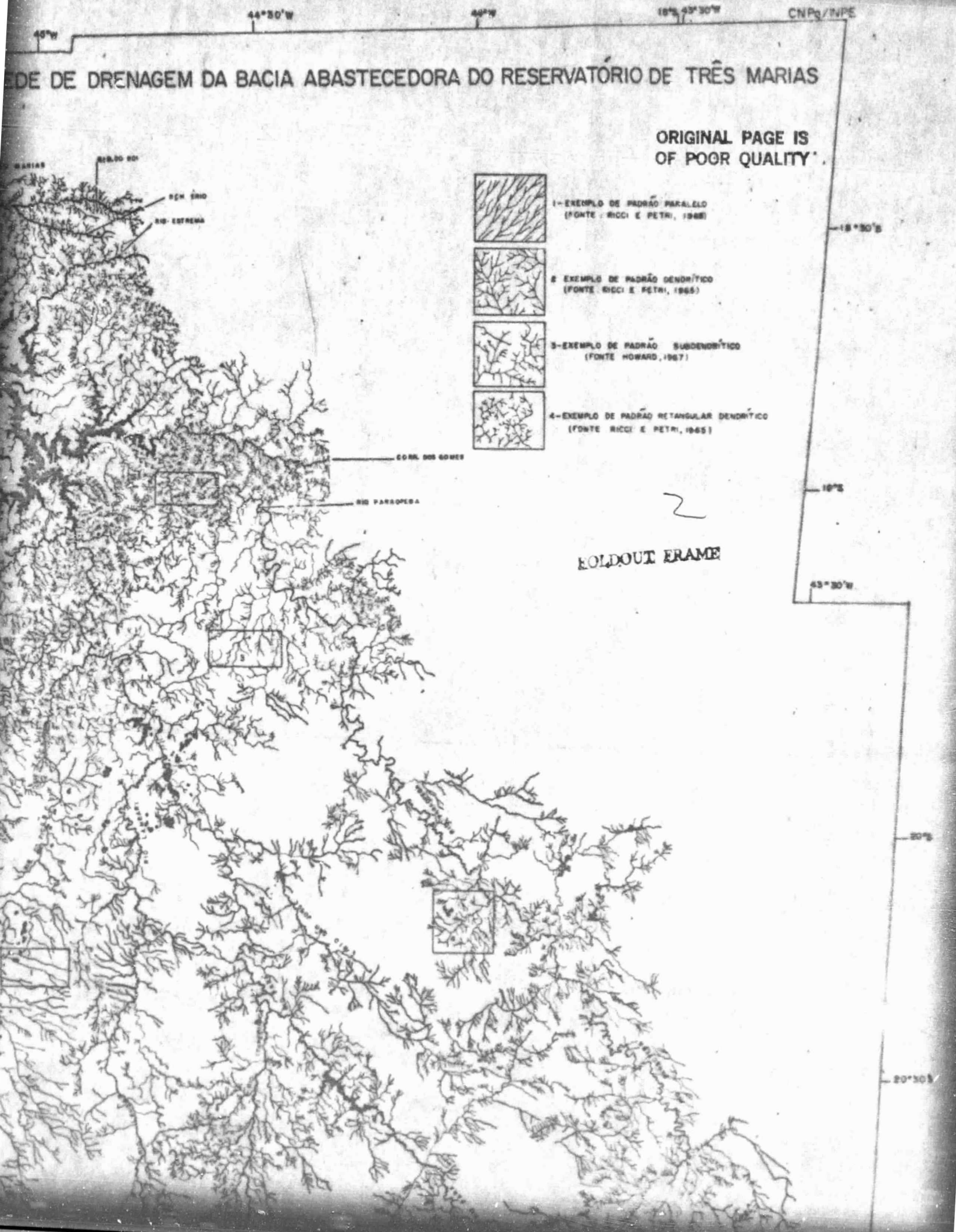
ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

FOLDOUT FRAME

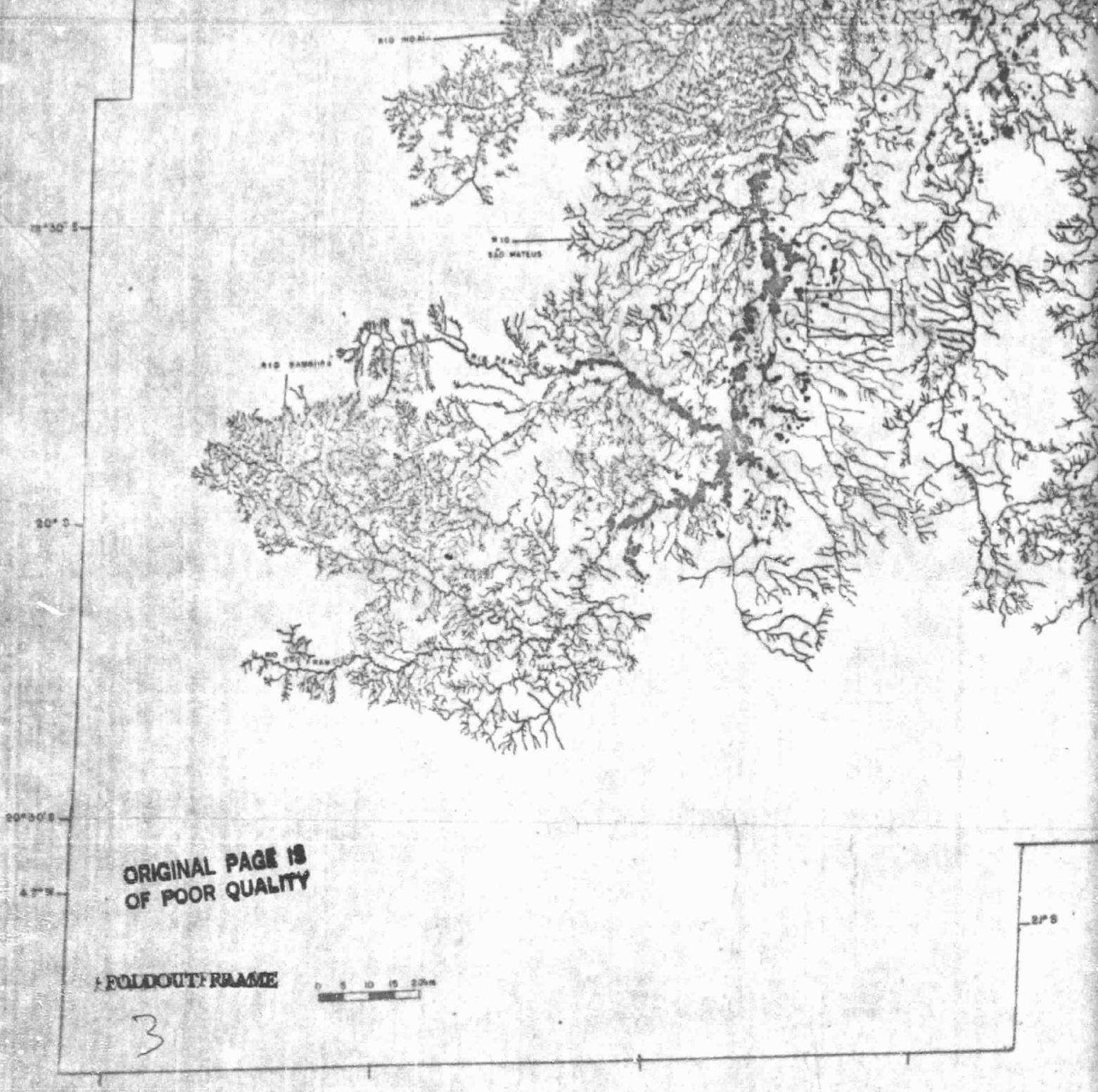
CNPq/INPE

EDE DE DRENAGEM DA BACIA ABASTECEDORA DO RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY



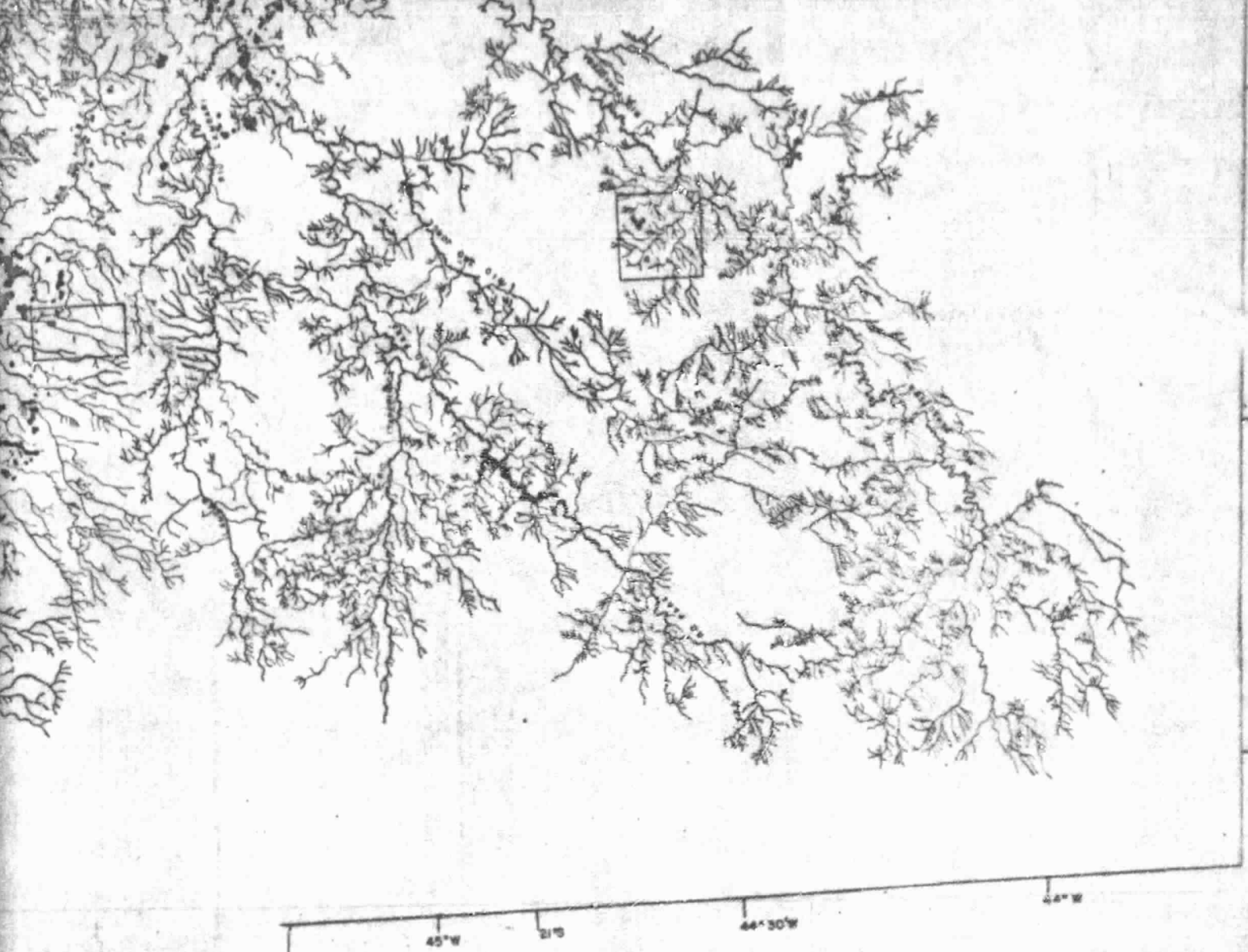
FOLDOUT FRAME



ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

FOLDOUT FRAME

3



ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

FOLDOUT FRAME

4

COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA BACIA AB

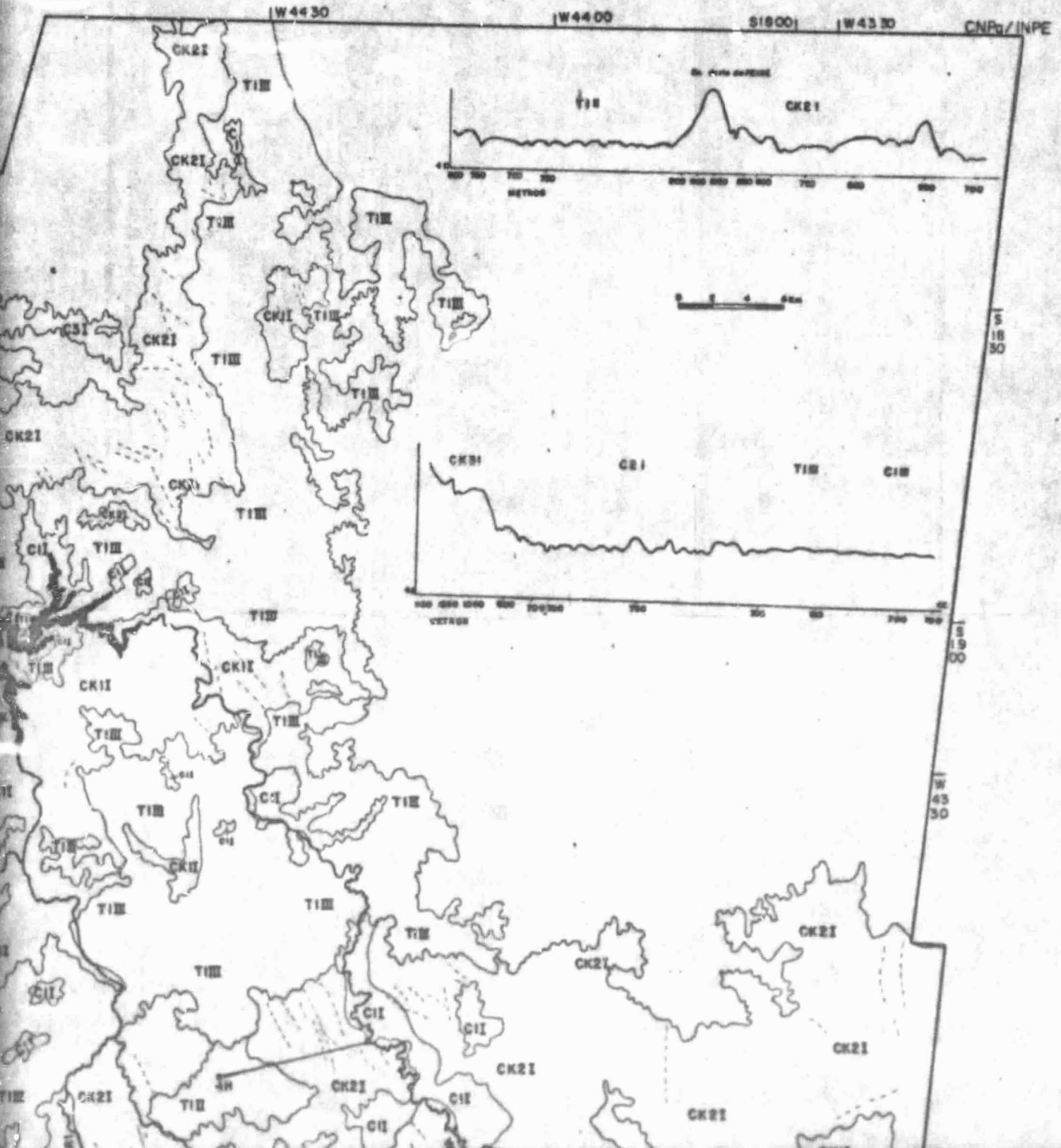
FOLDOUT FRAME

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

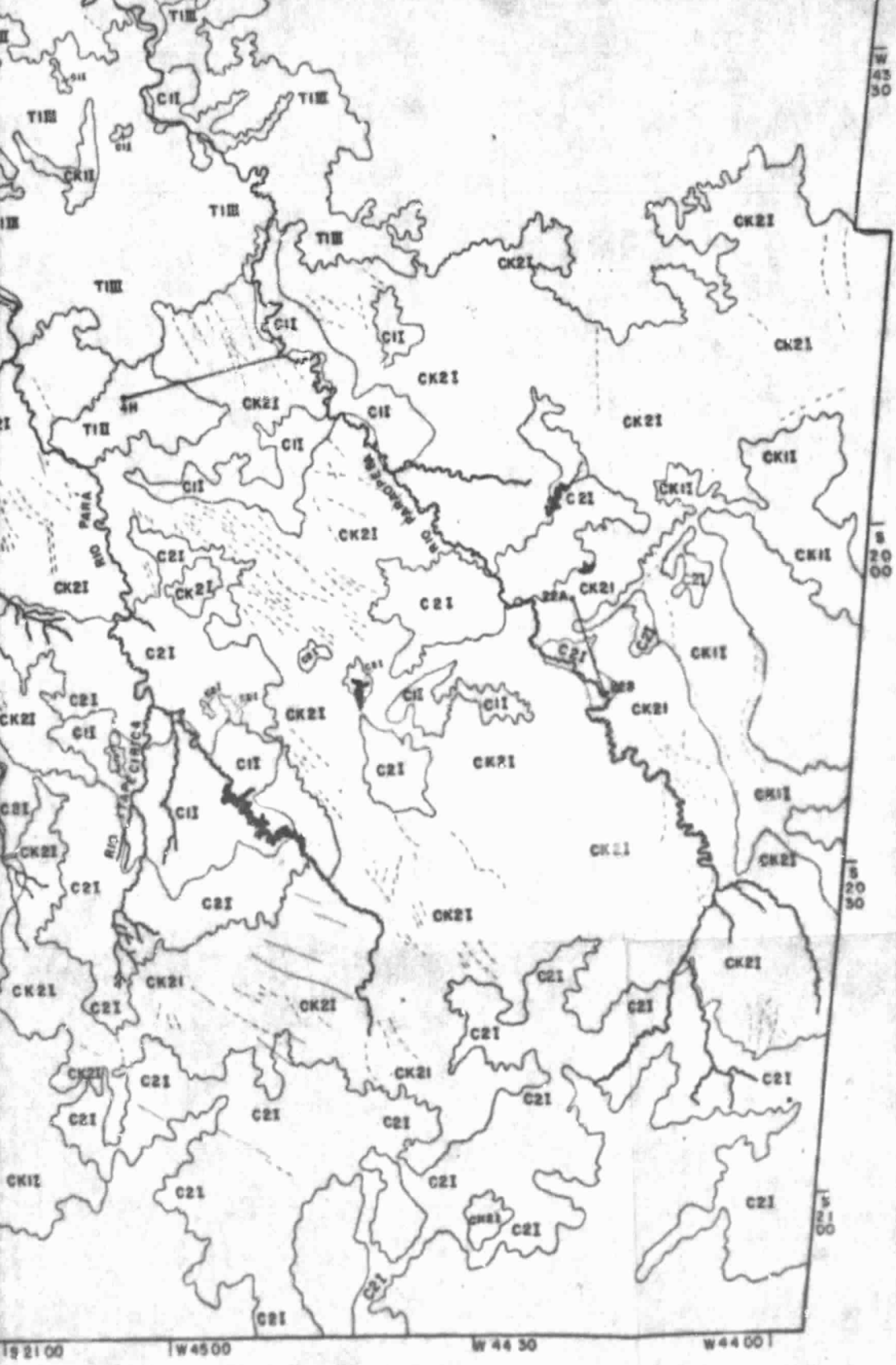
ACIA ABASTECEDORA DO RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

FOLDOUT FRAME 2



FOLDOUT FRAME



ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

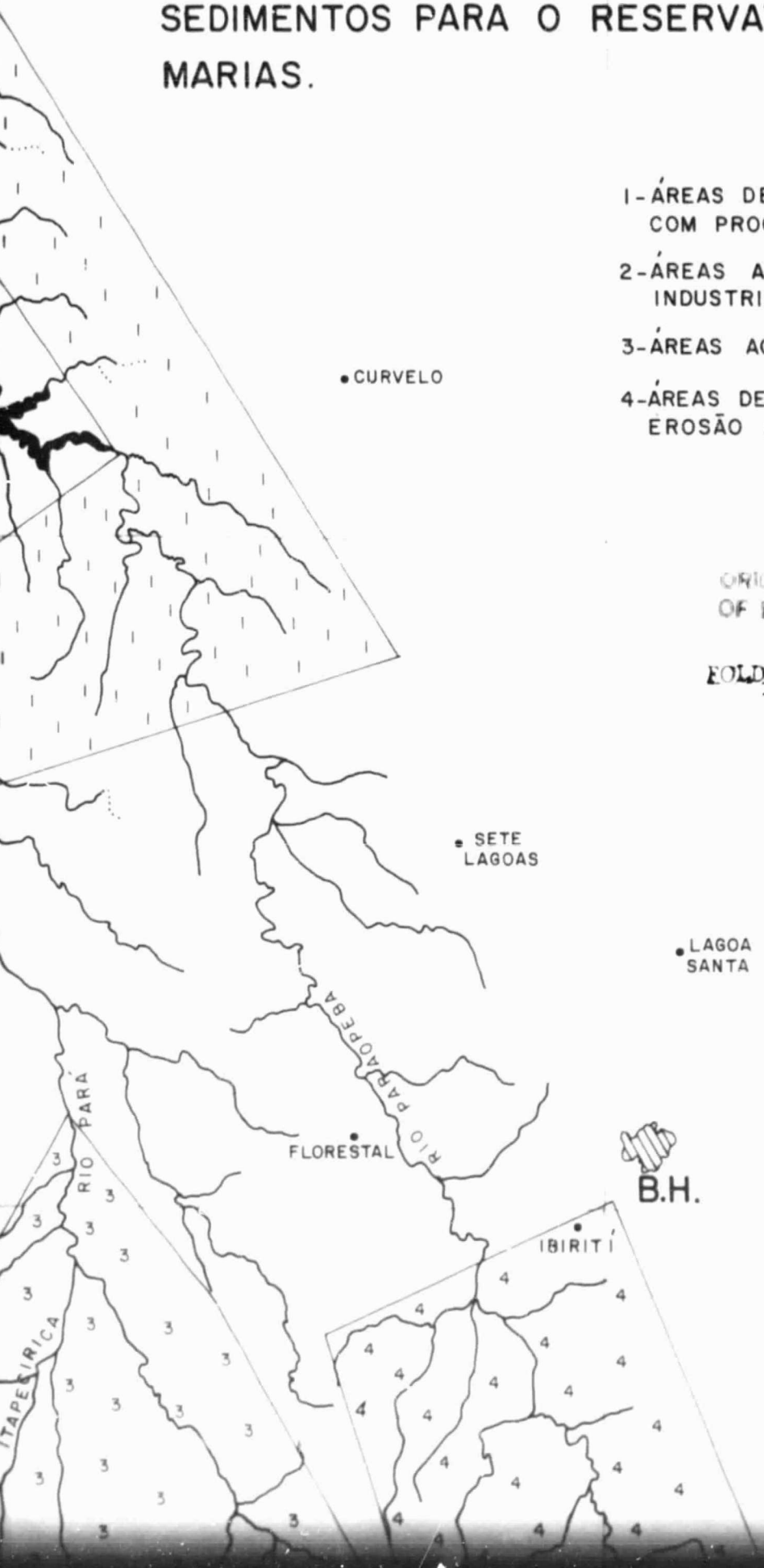
FOLDOUT FRAME 4

FOLDOUT FRAME

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

CNPq/INPE

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



LEGENDA

1-ÁREAS DE DESMATAMENTO E SOLO EXPOSTO COM PROCESSOS DE EROSÃO ACELERADA

2-ÁREAS AGRÍCOLAS E DESPEJO DE DETRITOS INDUSTRIAIS

3-ÁREAS AGRÍCOLAS E DESMATAMENTO

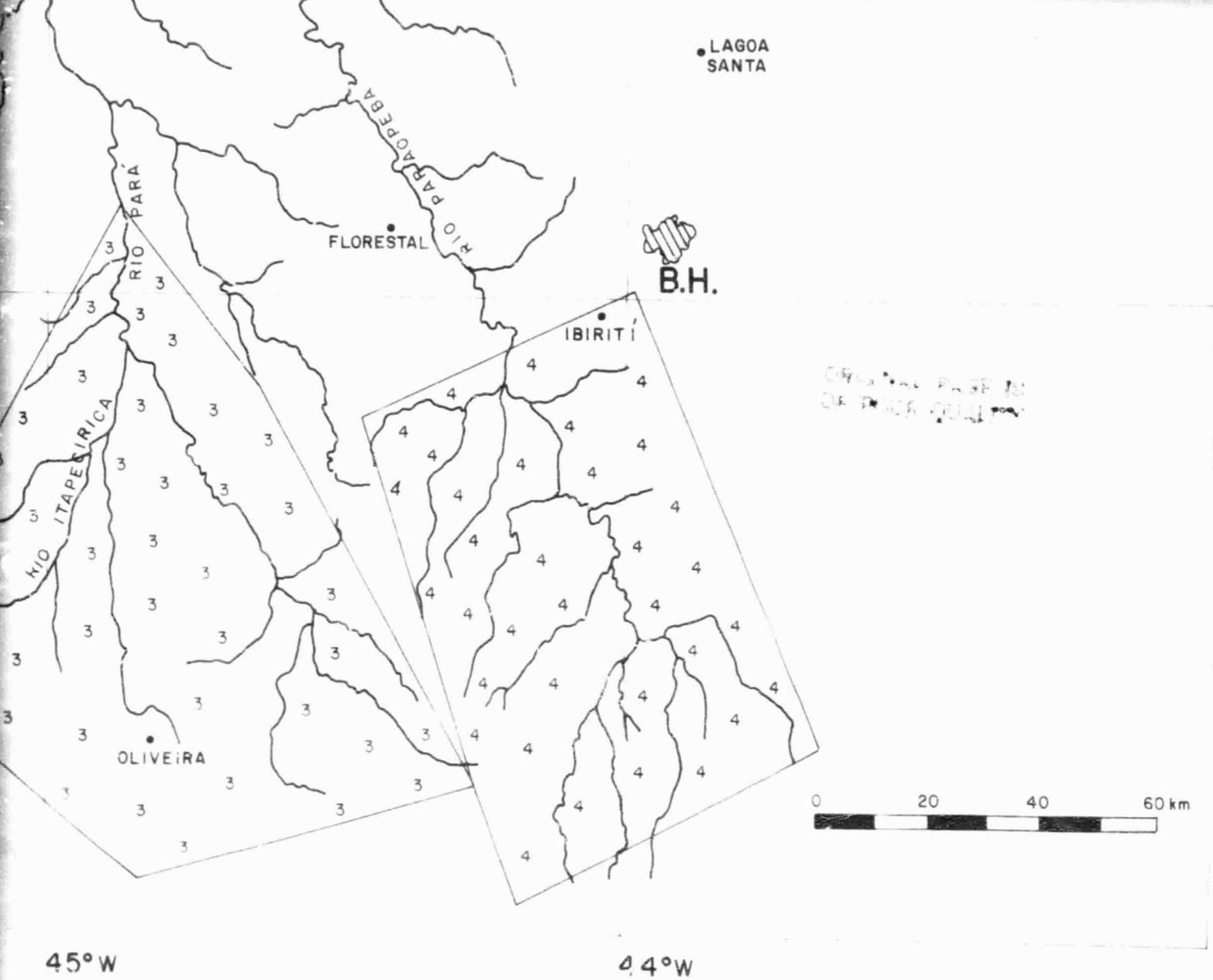
4-ÁREAS DE MINERAÇÕES E PROCESSOS DE EROSÃO ACELERADA.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

FOLDOUT FRAME 2

FOLDOUT FRAME 3

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY



ORIGINAL PAGE IS OF POOR QUALITY

FOLDOUT FRAME 4

APÊNCIDE D

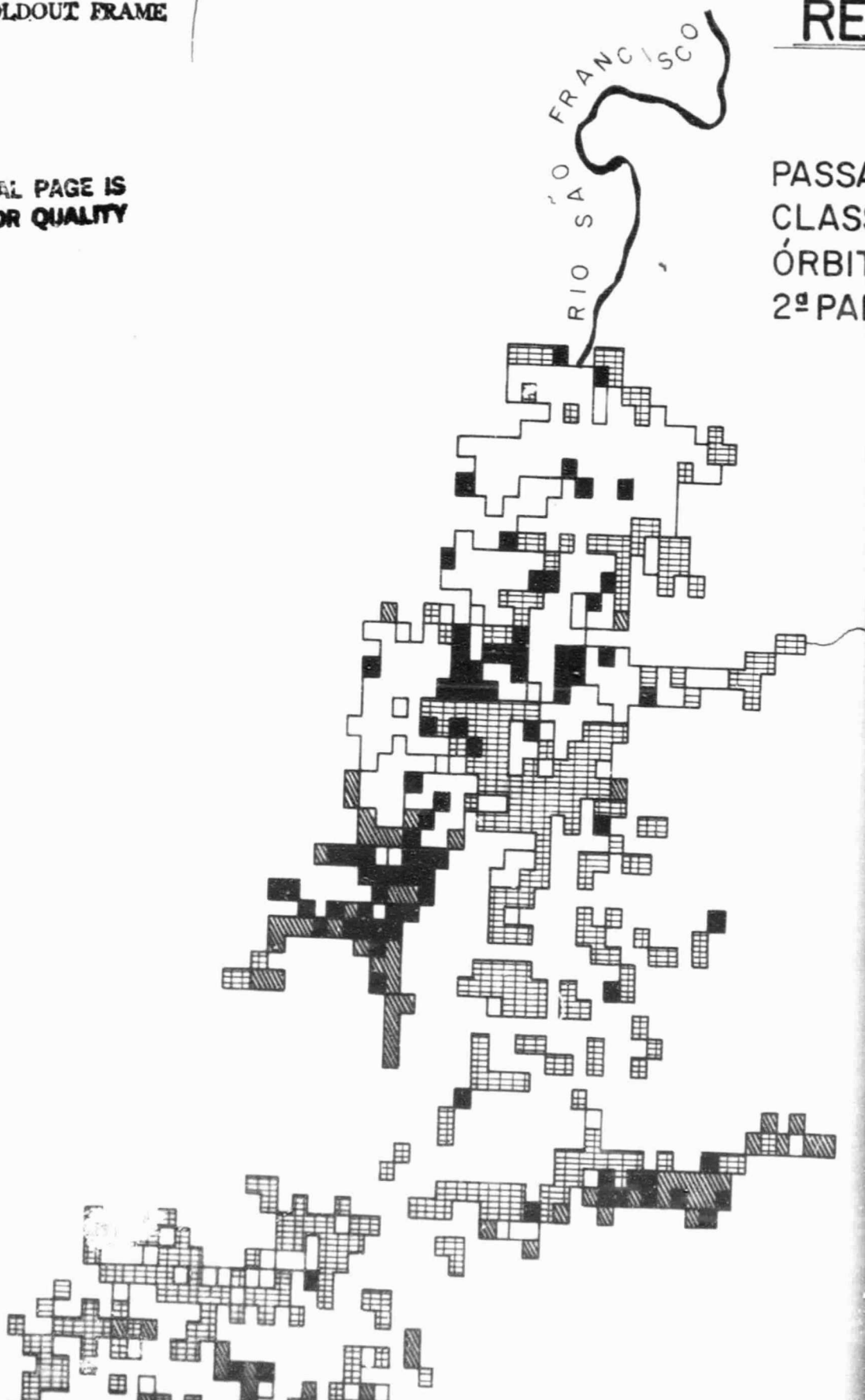
MAPAS TEMÁTICOS DA DISTRIBUIÇÃO DE SEDIMENTOS NO RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS

W 45° 30'

S 18° 00'

FOLDOUT FRAME

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY



W 45° 00'

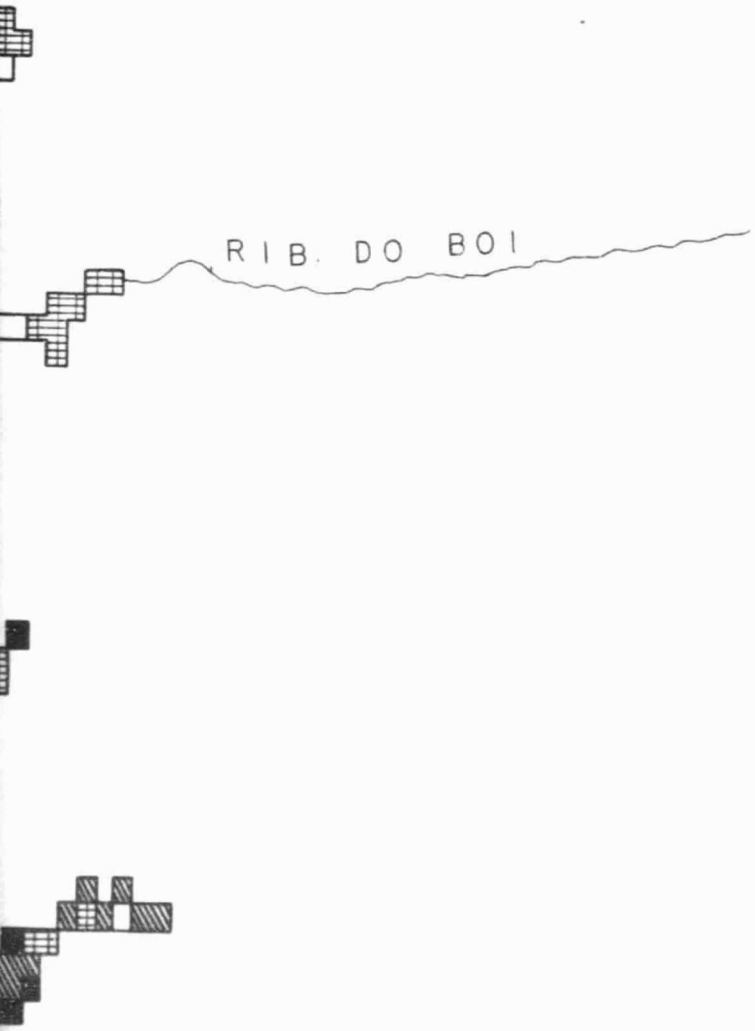
CNPq/INPE

RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS

PASSAGEM 5/ABRIL/1978
CLASSIFICAÇÃO SEMIQUANTITATIVA-MAXVER/SECCHI
ÓRBITA 164 PONTO 25
2ª PARTE

FOLDOUT FRAME 2

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY



S 18° 30

3

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

CLASSES DE NÍVEIS DE CINZA

PROFUNDIDADE SECCHI

CLASSE 9 - 2,25 M

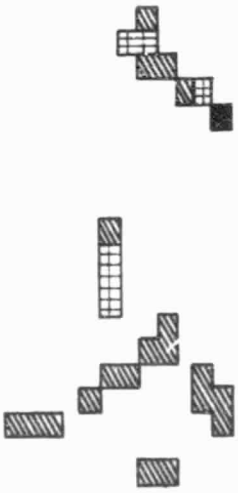
CLASSE 10 - 2,75 M

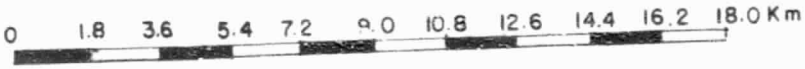
CLASSE 11 - 3,50 M

CLASSE 12 - 4,00 M

4

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY





T. M. S.