1. Publicaçã INPE-224	io no 2. 9-TDL/066	Versão	3. Data Out., 1981	5. Distribuição □ Interna Externa
4. Origem DSR	Progr ANAMB			☐ Restrita
	chaves - seleci OS EM SUSPENSÃO UNDSAT	CALOR REPORTS TRANSPORT		DE TRÊS MARIAS
7. C.D.U.:	528.711.7:556.53	(282.281.	5)	
8. Título		INPE	-2249-TDL/066	10. Pāginas: 272
	DINÂMICA DO ALTO RVATÓRIO DE TRÊS DE IMAGENS MSS	MARIAS,		11. Ūltima pāgina: D.9 12. Revisada por
9. Autoria	Tânia Maria Saus	sen		Renato Herz
Assinatura r	esponsāvel 🌳	AAD)		13. Autorizada por Acada Nelson de Jesus Parada Diretor

14. Resumo/Notas

Apresenta-se uma metodologia de utilização de imagens MSS do sistema LANDSAT, para verificar o relacionamento entre o comporta mento do reservatório de Três Marias, face à dispersão de sedimentos 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 pe riodo de cinco anos, nas estações seca e chuvosa, utilizando-se 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 compartimen tação da camada superficial do reservatório, em função dos niveis de cin za. Realizaram-se dois trabalhos de campo para a coleta de dados de fundidade Secchi e reflectância d'agua in situ. Esta pesquisa constatar que, através do uso simultaneo de variaveis físicas e ação antro pica sobre o espaço que abrange a bacia hidrográfica, é possivel determi nar os principais fatores que atuam na conjuntura dinâmica da bacia vial abastecedora de um reservatorio artificial.

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

PACIFIA ORIGINAL MERITE EMPRENIES

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

Dr.Hermann Kux	Remainhair
	Presidente
Dr.Adilson Avansi de Abreu	forgain -
Dr.Renato Herz	Orientador
Dr.Augusto Humberto Vairo Titarelli	Co-Orientador Membro da Banca
Dr.Icaro Vitorello	Jen Hoully -

Tânia Maria Sausen

Candidato

São José dos Campos, 14 de novembro de 1980



Aos meus pais pelo apoio e incentivo.

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 Tres 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.

SUMÁRIO

	Pāg.
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xiii
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - Descrição geral da area 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
CAPĪTULO 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 atra ves de imagens LANDSAT	22
CAPĪTULO 3 - MĒTODO, MATERIAL E TĒCNICAS	29
3.1 - Metodo	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 - Radiometro	42
3.3 - Tecnicas utilizadas para obtenção de informações sobre a area de estudo	42
3.3.1 - Analise 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 - Analise visual da cobertura vegetal e uso do solo	46
3.3.4 - Coleta de dados de campo	49
3.3.5 - Análise dos dados simultaneos coletados no reservatório .	54

	Pāg.
3.3.6 - Anālise automātica 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 rele vo da area 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	1
4.1.5 - Características pluvio-fluviométricas da bacia do reserva tório de Três Marias, em função do transporte de particulas sólidas	96
4.2 - Anālise da dināmica 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 - Area estudada	213
5.3 - Recomendações	217
AGRADECIMENTOS	223
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	225
APÊNDICE A - PROJETO TRÊS MARIAS	A.1
APENDICE B - FICHA DE CAMPO PARA REFLECTÂNCIA D'ÁGUA	B.1
APÉNDICE C - MAPAS DAS CARACTERÍSTICAS GEO-AMBIENTAIS DA BACIA ABASTECEDORA DO RESERVATORIO DE TRES MARIAS	C.1
APÊNDICE D - MAPAS TEMÁTICOS DA DISTRIBUIÇÃO DE SEDIMENTOS NO RE SERVATÓRIO DE TRES MARIAS	D.1

LISTA DE FIGURAS

			Pag.
1.1	-	Localização da área de estudo	4
1.2	-	Represa de Três Marias e seu sistema tributário	5
1.3	-	Dominios morfoestruturais da região Sudeste	7
1.4	_	Compatimentação geológica da area de estudo	8
1.5	-	Regiões bioclimáticas do Estado de Minas Gerais, segundo Gaussen	10
1.6	-	Vegetação da região Sudeste	12
		Levantamento de reconhecimento detalhado dos solos da area sob a influência do reservatório de Três Marias	14
2.1	-	Curva de atenuação da agua	26
2.2		Interações de um raio de luz solar com a camada d'agua	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 es tudos	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 Francis co, Pará e Paraopeba	
4.2	-	Gráficos ombrotérmicos da área da bacia abastecedora do re servatório de Três Marias	125
4.3	-	Caracterização da estação seca e chuvosa em Bambuí, no ano de 1977	
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

		Pāg.
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 perío do seco, no ano de 1973	138
4.12	Curvas de descargas líquida e sólida, do rio Pará, do periodo chuvoso, no ano de 1975	139
4.13	- Curvas de precipitação diária e de descargas líquida e só lida, do rio Pará, do período chuvoso, no ano de 1977	140
4.14	Curvas de precipitação diária e de descargas líquida e so lida, do rio Para, do período seco, no ano de 1977	141
4.15 -	Curvas de precipitação diária e de descargas líquida e so lida, do rio Para, do período chuvoso, no ano de 1978	142
4.16 -	Curvas de precipitação diária e de descargas líquida e so lida, do rio Para, 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 solida, 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 -	Grafico 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 -	Grafico de regressão entre profundidade Secchi e níveis de cinza, no canal MSS 5 do LANDSAT, passagem de 05 de abril de 1978	180

			Pāg.
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	-	Grafico de regressão entre profundidade Secchi e niveis 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, com primento de onda e concentração de solidos em suspensão em superfícies d'água, com faixas de atuação dos quatro ca nais do MSS- LANDSAT	193
4.35	-	Grāfico de regressão entre reflectância d'āgua coletada in situ e niveis de cinza (CCT) no canal MSS 4	198
4.36	-	Grafico de regressão entre reflectância d'agua coletada in situ e niveis 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	-	Grafico de regressão entre reflectancia d'agua coletada in situ e niveis de cinza (CCT) no canal MSS 7	201

.

3

80



LISTA DE TABELAS

		Pag.
3.1 -	Relação das imagens MSS do satélite LANDSAT, utilizadas no	36
2020	trabalho	57003400
	Relação das CCTs utilizadas no trabalho	38
3.3 -	Relação das cartas topográficas utilizadas neste trabalho	39
4.1 -	Análise de variancia 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 indices 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 su perficial	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 media	79
4.9 -	Anālise de variância do îndice de altitude média	81
4.10 -	Teste da menor diferença significativa paras classes de al titude media	82
4.11 -	Descrição das unidades geomorfológicas	86
4.12 -	Descrição das unidades de vegetação	97
	Descrição integrada da area de estudo	104
	Relação dos pontos de amostragem no reservatório de Três Marias, com seus respectivos dados de profundidade Secchi e	
	reflectância; periodo chuvoso	156
4.15 -	Relação dos pontos de amostragem no reservatorio 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

			Pag.
4.18	-	Matriz de classificação correta (%) para as 12 classes de nível de cinza	167
4.19	-	Valores médios de nivel 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 reser vatório de Ares Marias	170
4.21	-	Dados de profundidade Secchi, obtidos durante o tra balho de campo, nos 25 pontos de amostragem	172
4.22	-	Valores médios e matriz de covariância para as classes de nīvel 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 analise de correlação entre valores médios de niveis 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 reflectan cia d'agua " $in\ situ$ "	195
4.29	-	Resultado das análises de correlação entre valores médios de níveis de cinza (CCT) e reflectância d'água	106

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO

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

Porem apesar dos beneficios obtidos através destes cor pos d'agua, 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 desequi líbrio em seu meio ambiente, que atinge com frequência, o próprio ho mem, 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'agua, eutrofização das aguas, 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 apresenta vam características possivelmente resultantes de assoreamento.

A partir daí, foi dada a devida atenção ao problema atra ves do Ministério da Agricultura e do Interior, da Companhia de Desen volvimento do Vale do São Francisco - CODEVASF - e das Centrais Eletri cas de Minas Gerais - CEMIG.

Diversos autores jã salientaram a validade do uso de ima gens MSS do sistema LANDSAT, para estudo de turbidez em corpos d'agua. Dentre eles, Herz (1977) salienta que a aplicação das imagens multies pectrais é um elemento valioso para o levantamento dos processos de dis persão de partículas solidas nas aguas. Varios estudos ja têm comprova do que as propriedades oticas das aguas refletem-se direta e diferen temente 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 identifica ção de áreas com diferentes concentrações de sólidos suspensos.

Os dados de sensores orbitais, por possibilitarem uma vi são sinoptica, repetitiva e multiespectral da superfície terrestre, per mitem 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 meto dologia 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 cama da superficial d'agua, 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 apoiou-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 su perficial deste reservatório e as características ambientais de áreas adjacentes. Utilizaram-se imagens MSS do satélite LANDSAT, em dois perío dos sazonais, de três anos alternados, para fazer uma avaliação do desen volvimento destes fenômenos em um determinado período de tempo (5 anos), de modo a fornecer subsídios para um manejo racional das referidas á reas.

1.1 - DESCRIÇÃO GERAL DA ĀREA DE ESTUDOS

1.1.1 - LOCALIZAÇÃO

A area de estudos, abrangida pelo alto curso do rio São Francisco e pelo reservatório de Três Marias, está localizada na porção central do Estado de Minas Gerais, entre as coordenadas de $18^{0}00$ a $21^{0}00$ de latitude Sul e de $43^{0}30'$ a $46^{0}00$ de longitude Oeste, perfazendo um to tal de 48.200 Km^2 (Figura 1.1).

Vários conjuntos orográficos servem de limite para esta área. Na porção leste, esta 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 Para e o Paraopeba pela margem direita, e o Borrachudo e o Indaiã pela margem esquerda.

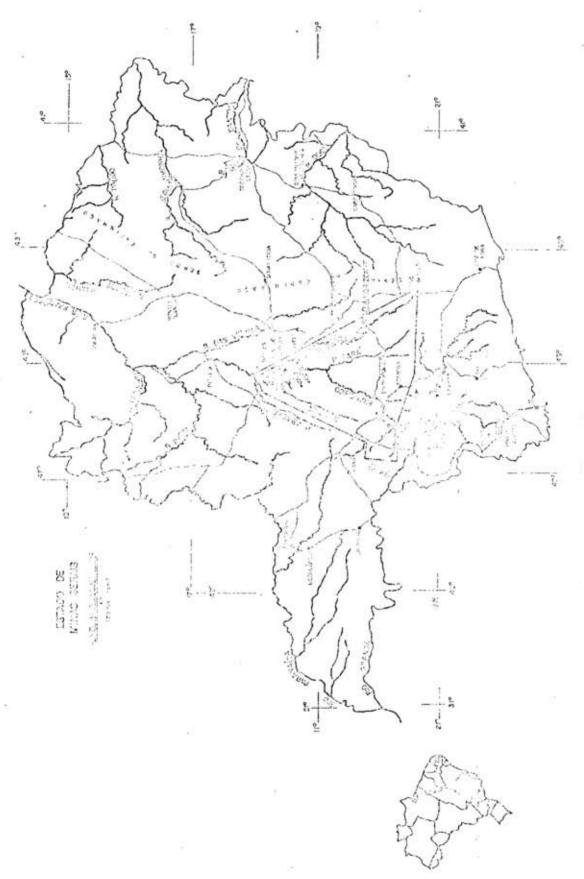


Fig. 1.1 - Localização da área de estudo.



O São Francisco e um rio de regime tipicamente tropical, relacionado as estações chuvosa e seca. Assim, no verão e início do outono, quando chove nesta área, sua vazão e de 163,9 m³ (em Iguatama). Nos meses de inverno e primavera, que coincidem com o período seco, a vazão cai para 33,7 m³/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 ci dade de mesmo nome. O reservatório armazena um volume d'agua de 20 bi lhões de m³. A area inundavel e de 1102 Km², sendo que o seu eixo maior atinge aproximadamente 140 Km; com profundidade maxima de 74 metros no período chuvoso (Menezes et alii 1977).

1.1.3 - GEOLOGIA E RELEVO

Morfologicamente a area se insere, em parte, na Depres são do São Francisco, onde predominam amplas varzeas, interfluvios ta bulares e colinas, com altitudes de 500 - 550 metros. Na porção SE da area estudada, onde afloram rochas cristalinas do Pre-cambriano, predo mina um relevo de morros com vertentes côncavo-convexas com altitudes de 600 a 800 metros. Na area próxima a Belo Horizonte, onde afloram os terrenos do Super-grupo Minas (quartzitos, dolomitos e ortoquarzitos, filitos, conglomerados e itabiritos), o relevo é energico, apresentando escarpas abruptas e cristas (Figura 1.3).

Segundo Menezes et alii (1977), a area e constituida es sencialmente pelas litologias pre-cambrianas do grupo Bambuí - forma ções Tres Marias e Paraopeba - (Figura 1.4).

As rochas da formação Paraopeba (ardosias, margas, cal carenitos, argilitos, siltitos e arenitos) estão em grande parte enco bertas pela formação Três Marias, que por sua vez é capeada por forma ções arenosas indiferenciadas. Na parte oeste da área estudada, a forma ção Paraopeba é capeada pelas unidades Areado e Mata da Corda (Cretã ceo).

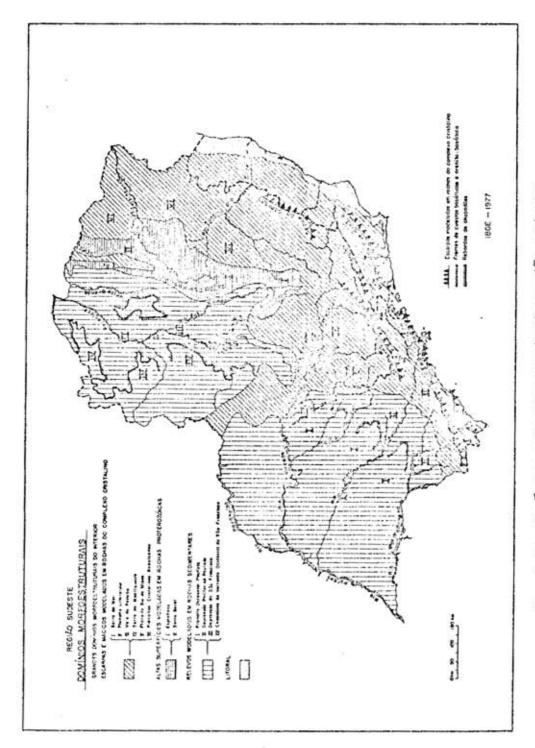


Fig. 1.3 - Domínios mofoestruturais da região sudeste.

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



Na formação Paraopeba onde predominam fâcies sīltico-argilosas, o relevo foi muito arrasado, sendo formado por colinas de baixa altitude. Já nos trechos em que predominam fácies sīltico-arenosas, o relevo é mais movimentado, apresentando interfluvios 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 sua ves e, ao sul do reservatório, se constitui de chapadas com bordas es carpadas.

1.1.4 - CLIMA, VEGETAÇÃO E SOLO

A area de estudo apresenta um clima caracterizado por um periodo seco (inverno) e um periodo chuvoso (verão), ambos bem acentua dos 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 cap regada de umidade, o que propicia, para o interior do País, neste perío do, uma boa distribuição de chuvas (Barros, 1957 Andrade, 1968).

Jā na estação seca, cuja duração é de maio a setembro, hā 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 indice xerotérmico (número de dias biologicamente secos), proposto por Bagnouls e Gaussen (1962), Galvão (1967) fez a caracterização do clima da área de estudo. Ela está localizada na região climática Xeroquinênica (Tropical) e suas características principais são: uma curva térmica sempre positiva, um indice xerotérmico entre 0 e 200 e, a duração do período seco, variando entre 0 e 8 meses consecutivos (Figura 1.5).



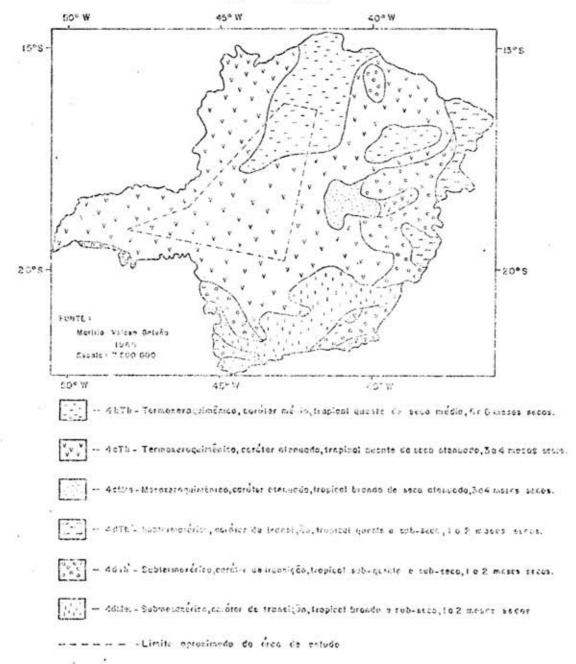


Fig. 1:5 - Regiões Dioclimáticas do Estado de Minas Gerais, segundo Gaussen.

FONTE: Galvão (1967), p. 9.

Na area de estudo, são encontradas duas subdivisões des te tipo de clima:

- a) Termozeroquimênico médio tropical quente, de seca média, com estação seca média de 5 a 6 meses e índice xerotérmico variá vel entre 100 e 150, correspondendo às regiões de caatinga e campo cerrado (Galvão, 1967).
- b) Termoxeroquimênico atenuado tropical quente, de seca atenua da, com estação seca curta de 3 a 4 meses consecutivos e indi ce xerotérmico variando entre 40 e 100, correspondendo às re giões de cerrado. Este tipo de clima é encontrado no alto va le do São Francisco, ocorrendo ai as mais altas porcentagens de umidade. Nesta região, a altitude alia-se à topografia para a menizar 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 umida de e de chuva) e aos solos.

Desta forma, nas regiões de estação seca mais prolonga da e indice xerotérmico mais elevado, hã um predominio dos cerrados e suas variações locais para a mata seca, cerradão, mata galeria e cam po, 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 indice xerotérmico menor, verifica- se a ocorrência da Floresta Subcaducifolia Tropical (Figura 1.6).

O cerrado e um tipo de formação arbustiva, representativa das areas de climas semi-úmido, com duas estações bem marcadas. Ca racteriza-se pelo aspecto tortuoso de suas arvores e arbustos, com al tura media de 5 metros, tendo caules geralmente recobertos por espessa casca que da ao cerrado a aparência de vegetação adaptada as condições de seca.

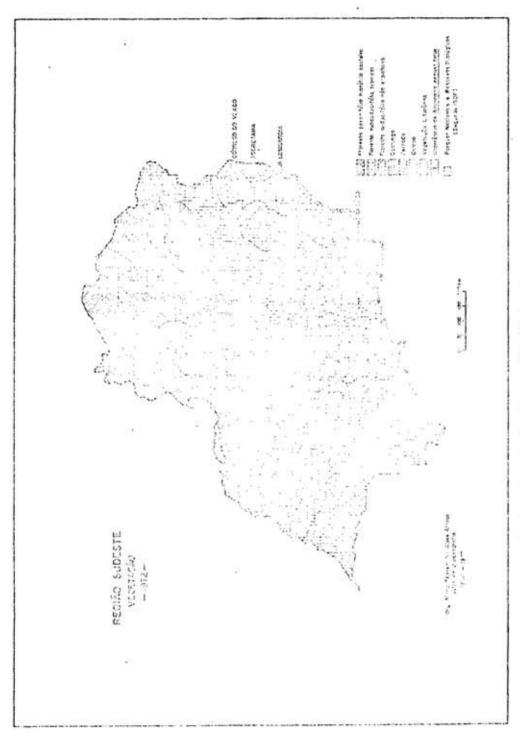


Fig. 1.6 - Vegetação da região Sudeste.

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).

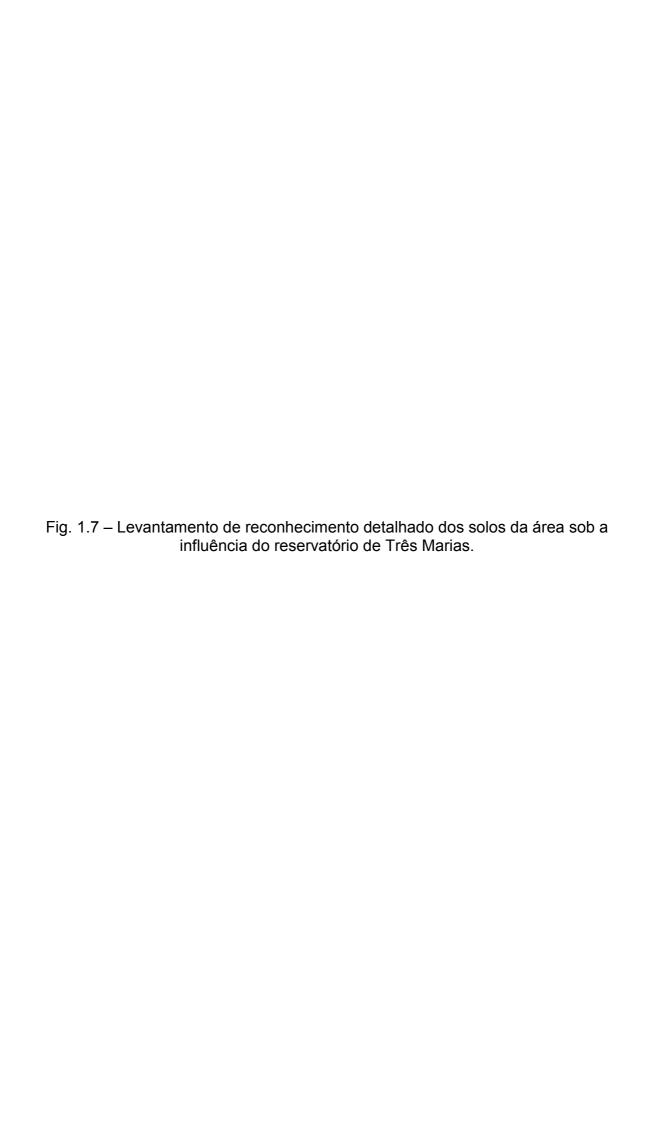
Panoso et alii (1978) realizaram um mapeamento detalhado dos solos existentes na area adjacente ao reservatório de Tres Marias. A area mapeada esta compreendida entre as coordenadas de $18^{0}00$ a $19^{0}08$ 'de latitude Sul e $44^{0}50$ ' a $45^{0}30$ ' de longitude Oeste (Figura 1.7).

Levando-se em consideração as informações de vegetação fornecidas por estes mesmos autores, pode-se constatar que, onde ocor rem solos do tipo Latossolo Vermelho Escuro Distrofico 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), ha vendo também a ocorrência de cerrados e campos cerrados, em menor extensão.

Onde predominam as associações de Solos Litólicos Distroficos de texturas indiscriminadas e afloramentos de rochas, ou solos Litólicos Distroficos de texturas indiscriminadas, ou, ainda, associações destes últimos com Cambissolos Distroficos 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 varzea e floresta perenifolias de varzea.

Infelizmente este tipo de informação de solos restrigese a uma área muito pequena. Desta forma, na porção sul da área de est<u>u</u> do, 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).



A existência de um clima semi-umido, com estação seca bem marcada, condiciona a periodicidade de sua vida vegetativa, carac terizada pela perda de folhas durante a estação seca, sendo que o nume ro de espécies deciduas aumenta progressivamente para o interior da região.

Seu estrato superior e constituído por arvores que atin gem até cerca de 25 metros, e o inferior, ainda arboreo, apresenta de 10 a 12 metros de altura. Esta vegetação foi quase totalmente devasta da para dar lugar à agricultura que, em muitas áreas, foi substituí da por pastagens ou capoeiras, quando as terras diminuiram a sua produ tividade.

1.1.5 - PROCESSOS MORFOGENETICOS

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

Nos trechos em que a umidade é mais elevada e a vege tação mais densa, os processos morfogenéticos são condicionados pela decomposição química, perdendo sua intensidade na medida em que as a reas 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 flores tal, 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 areas agricolas.

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

duladas e colinosas existentes nesta area.

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

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

CAPITULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para o conhecimento de fatores físicos e humanos que interferem na dinâmica de uma area 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 ne cessários 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 e um dos fatores mais importantes a ser destacado. Além de a rede for necer 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 <u>i</u> dentificação 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'agua refletem o controle exerci do pela estrutura subjacente e o tipo de rocha. Porém, as características de cursos d'agua podem ser influenciadas pela espessura e qualida de do material de cobertura, onde o controle estrutural é mínimo. Em muitas áreas, os padrões ou anomalias de cursos d'agua 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 ima gens MSS do LANDSAT, Moraes (1975), Valério Filho et alii (1976), San tos e Novo (1977), Nascimento e Nascimento (1977) e Sausen (1978) uti lizaram o canal 7 para a identificação Jos grandes rios, uma vez que, sendo geralmente mais largos, sua lâmina de agua 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 areas de cobertu ra vegetal pouco densa, devido à diferença de tonalidade entre a mata ciliar, que apresenta tom cinza escuro, e as areas 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 en tre 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 morfogeneticos, responsaveis pela escultura ção das formas de relevo, agindo de maneira conjunta sobre as vertentes, fornecem indícios da intensidade dos fatores que atuam sobre a areas mais sujeitas ao trabalho dos agentes erosivos. Em seus estudos sobre a bacia do lago Maracaibo na Vene zuela, utilizando imagens do LANDSAT, Salas et alii (1973) identifica ram 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)pude ram constatar que as diferentes unidades geomorfológicas apresentam diferentes respostas espectrais, uma vez que são o resultado da interação da 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 caracte rísticas 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 sombrea mento); deste modo, puderam identificar três formas básicas de relevo: Colinas (c), Cristas (K) e Tabuleiros (T).

2.3 - ESTUDO DA COBERTURA VEGETAL ATRAVES DE IMAGENS LANDSAT

O cerrado e uma formação vegetal que ocupa grande par te da porção centro-oriental do continente sul-americano; e constituí do por dois grupos totalmente opostos: o das especies permanentes (ar vores e arbustos) e o das especies efêmeras (compreende inúmeras her baceas). Ha ainda um terceiro grupo, o das gramineas, com especies anuais e outras perenes (Ferri, 1977). De acordo com Arens (1956) e mencionado posteriormente por Aoki e Santos (1979), em seus estudos sobre "Fatores Ambientais do Cer rado 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 bra sileiro, cujo regime de chuvas e condições de climas são as mais varia das possíveis. Os cerrados são encontrados nos mais variados tipos de so solo. Porém, é certo que todos são deficientes em nutrientes e, geral mente 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 as 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 \underline{a} través de dados de sensoriamento remoto; muitos deles, inclusive, com especial atenção ao cerrado. Por exemplo, Valério Filho et alii (1976) ba searam-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 refle te 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 e função da especie da planta ou de suas condições vegetativas. Este canal e o que melhor diferencia os tipos de vegetação.

Na faixa espectral do canal MSS 7, hã uma grande absorção de energia solar pela agua e, por este motivo, a identificação de areas sujeitas a inundação, vegetação de varzea 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 es tações 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 agua 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 (canal MSS 4 e 5).

Utilizando os critérios de tonalidade e padrão de tex tura fotográfica, Aoki e Santos (1980) verificaram que, no primeiro ca so, as formas de cerrado, nas imagens multiespectrais, podem ser dis criminadas tanto na estação seca quanto na chuvosa. Quanto a textura, esta expressa melhor a separabilidade das formas de cerrado nas ima gens da estação seca, uma vez que, nesta época, o campo cerrado apre senta textura diferente da textura do cerrado e do campo sujo.

2.4 - TRANSPORTE DE SEDIMENTOS - SUA DINÂMICA E SEU ESTUDO ATRAVES DE IMAGENS LANDSAT.

O trabalho erosivo dos agentes morfogenéticos sobre a su perfície 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 se dimentos 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 hidráu licas, variando de pedras grandes (metros/segundo) a argilas coloidais (centímetros/seculo).

A carga detrítica dos cursos d'agua é uma mistura de par ticulas de varias 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 so bre as margens e fundo do leito.

Varios 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 geo lógica, as condições topográficas, a cobertura vegetal, e o escoamento superficial. Estes fatores hidrológicos, além de exercerem controle so bre o transporte de sedimentos, controlam também as características e o regime dos cursos d'agua.

nas, 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 di reta 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 lava dos da superfície da terra.

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

As particulas transportadas pelos cursos d'agua 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 sus pensão, decantando-se mais para jusante. As partículas mais finas, dota das de movimento Browniano¹, permanecem pratica e indefinidamente em suspansão, e podem ultrapassar a barragem pelo vertedouro, caindo des ta forma, novamente no canal do rio. (Hungria e Loberto, 1975).

Conforme referência feita por Herz (1977), a turbidez das aguas e a propriedade otica de uma suspensão, relacionada a capacidade com que a penetração da luz e atenuada em presença do material insolúvel nas aguas, como uma função das concentrações e dimensão das particulas do material em suspensão.

Jerlov e Nielsen (1968), ao estudarem a interação da luz solar com a agua 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 agua.

Olhando-se para particular muito pequenas (colóides) na água, através de um microsaópio, ver-se-á um perpétuo movimento das particulas, que é o resultado do tembardeamento de átemos. Isto é chamado movimento Browniano (l'eynman 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, principal mente na região do azul (0,45 a 0,55 μm), o coeficiente de atenuação da água apresenta-se menor, agindo como uma janela de major transmissão.

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

Segundo Herz (1977), se, a partir das curvas de atenua ção seletiva das radiações do espectro visível, forem calculadas as profundidades ideais de penetração, ver-se-ã 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 serã 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 in cidir sobre uma superfície d'agua, 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 îtens fundamentais:

a) toda a matéria, na superficie da terra ou dentro d'agua, irra dia 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 sistema MSS do LANDSAT foram determinados para registar radiância, e que esta mostra uma aparente correlação inversa com a profundidade que pode ser medida na agua (profundidade Secchi) e uma correlação direta com solidos totais.

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

Bartolucci et alii (1977) constataram que as maiores diferenças, nas respostas espectrais entre águas túrbidas (99 mg/l de sólidos suspensos) e águas limpidas (10 mg/l de sólidos suspensos) ocor rem na região do espectro de 0,6 a 0,9 µm, que corresponde aos canais MSS 5 e 6, onde se encontra a maior diferença entre as respostas espectrais de águas túrbidas e limpidas. Estes autores constataram também que, para corpo 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 agua em função da presença de sedimentos, Herz (1977) concluiu que o material 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 multies pectrais, organizando áreas de treinamento e reconhecimento dos mesmos padrões para o restante de cena.

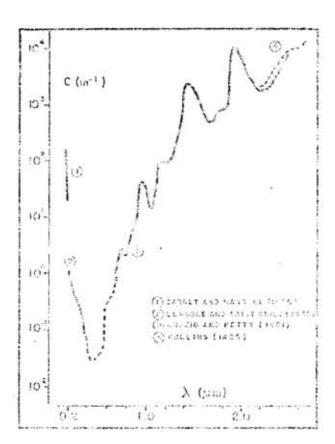


Fig. 2.1 - Curva de atenuação da água FCNTE: Jerlov e Nielsen (1974), p. 18

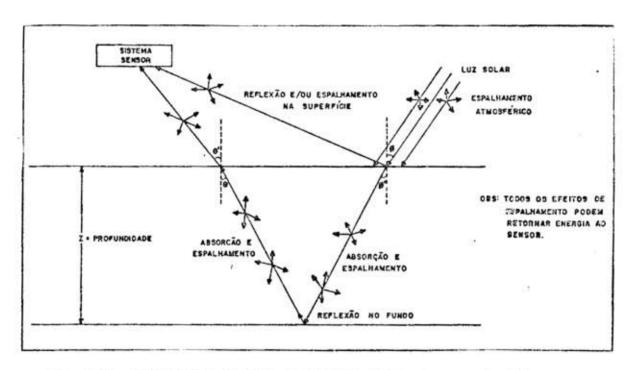


Fig. 2.2 - Interações de um raio de luz solar com camada d'agua.

CAPITULO 3

METODO, MATERIAL E TECNICAS

De acordo com o objetivo proposto no Capitulo 1, promove<u>u</u> -se uma analise temporal da area de estudo, durante um periodo de ci<u>n</u> co anos, em dois periodos sazonais distintos (seco e chuvoso), o que permitiu avaliar a importância de cada variavel na escala temporo-esp<u>a</u> cial que envolve o reservatorio em dado periodo.

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 an trópicos) 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 clas sificados 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 de mais 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 area de estudo e pois um sistema controlado, onde a complexidade aumenta com a intervenção humana.

3.1 - METODO

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

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

Ao final deste levantamento, pode-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 proces sados 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, fi cando-se assim, por um prolongado período deste ano, sem as in formações 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 ja havia sido observado que o reservatório de Três Marias apresentava respostas espectrais diferentes nos periodos chuvo so e seco, foram selecionadas imagens (para cada ano a ser analisado), referentes a uma passagem de cada periodo 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 area específica, atraves de dados MSS do sistema LANDSAT.

O comportamento do reservatorio de Três Marias, com re lação à dispersão de sedimentos em suspensão e sua concentração na sub superfície d'agua, foi analisado face à dinâmica da bacia abastecedora do referido corpo d'agua.

Dentre os fatores considerados relevantes para esta an \underline{a} lise, destacam-se a rede de drenagem,o mapeamento das unidades de \underline{pa} drões 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 abaste cedora 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'agua, do referido reservatório. Para a aquisição destes dados, utilizou-se, também, uma metodologia es pecífica.

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 se dimentos.

Como não existiam mapas de drenagem, de unidades de <u>pa</u> drões de dissecação do relevo e mapas de uso do solo da area de estudo em escala compativel com a das imagens LANDSAT, estas foram utilizadas também para a compilação de tais informações, de modo a obter uma <u>vi</u> são geral da bacia abastecedora do reservatório de Três Marias.

As coletas de dados no campo (reservatorio e bacia abas tecedora) foram realizadas simultaneamente as 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 orbita 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.

0 MSS $\bar{\rm e}$ um imageador multiespectral de varredura cont $\bar{\rm i}$ nua, tendo um espelho oscilatorio e um sistema otico que reflete a radiancia 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 proximo
- canal 7: 0,8 a 1,1 µm infravermelho proximo
- canal 8: 10,4 a 12,6 µm termal

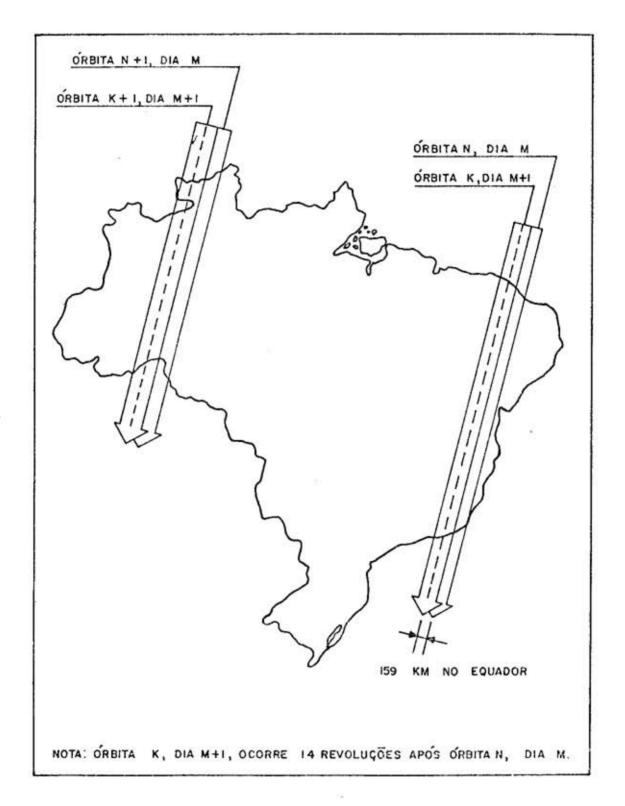


Fig. 3.1 - Padrão de cobertura no solo para o sistema LANDSAT.

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 \tilde{e} de 11,56 $^{\circ}$ o que corresponde, no solo, a 184,86 km (Figura 3.2).

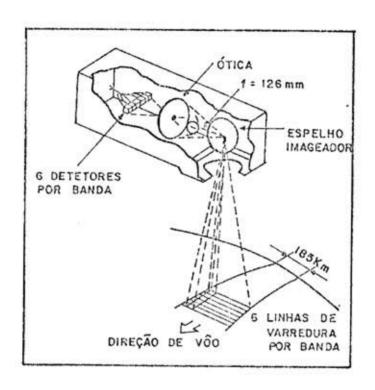


Fig. 3.2 - Esquema do imageador LANDSAT.

Os produtos do sensor MSS do LANDSAT podem ser apresen tados 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 copias fotografias (ca nais 4, 5 e 7) e fitas magnéticas, do sensor MSS, para a coleta de informações sobre a area.

1) 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 area de estudo.

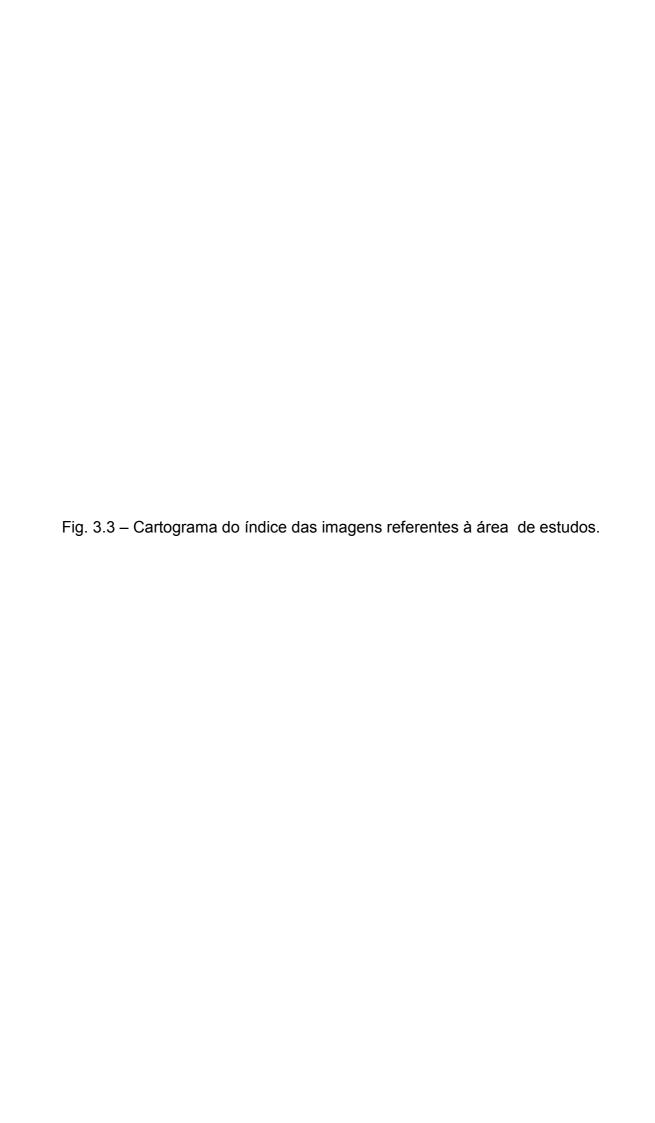
TABELA 3.1

RELAÇÃO DAS IMAGENS MSS DO SATÉLITE LANDSAT, UTILIZADAS NO TRABALHO

Ö RBITA	PONTO	DATA	COBERTURA DE NUVENS (%)	APRESENTAÇÃO	CANAIS
164	25	17.08.73	0	PB e CC	4,5 e7
164	26	17.08.73	20	PB e CC	4,5 e7
164	25	16.03.75	10	P8 e CC	4,5 e7
150	- 25	15.03.75	0 -	PB e CC	4,5 e7
164	25	25.08.75	0	PB e CC	4,5 e7
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, 5e7
104	26	06.02.77	0	PB e CC	4, 5 e 7
164	26	23.08.77	0	PB e CC	4,5e7
164	25	05.04.78	70	PB e CC	4, 5e7
164	25	27.08.78	20	PB e CC	4, 5e7
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	P8 .	5 e 7

PB - preto e branco

CC - composição colorida



As imagens do período chuvoso de 1973 não foram utiliza das, 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 mapea mento das unidades de padrões de dissecação de relevo da área de estu do. Como não havia necessidade de avaliação temporal para este mapea mento, não foi necessária a utilização das imagens dos períodos esco lhidos para a análise do reservatório e da ocupação humana.

2) Fitas magnégticas compatíveis com computador (CCT)

Para fazer a análise da dinámica 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 da tas das imagens fotográficas. A Tabela 3.2 relaciona as fitas utiliza das no trabalho.

TABELA 3.2

RELAÇÃO DAS CCTs UTILIZADAS NO TRABALHO

GREITA	PONTO	DATA
164	.:5	17/98/73
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

3.2.2 - MATERIAL CARTOGRÁFICO E DADOS PLÚVIO-FLUVIOMETRICOS

Para apoiar a localizção e a coleta de informações sobre a area de estudo, utilizaram-se as Cartas Belo Horizonte e Rio de Janeiro do Atlas do Brasil ao Milionesimo 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 TOPOGRĀFICAS	ESCALA
Serra Selada	1:100.000
Três Marias	1:100.000
Andrequice	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
São Gotardo	1:100.000
Dores de Indaiã	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)

Tabela 3.3 - Conclusão

CARTAS TOPOGRĀFICAS	ESCALA
Lagoa da Prata	1:50.000
Bambu1 .	1:50.000
Rio Ajudas	1:50.000
São Roque de Minas	1:50.000
Vargem Bonita	1:50.000
Rio Piūi	1:50.000
Arcos	1:50,000
Formiga	1:50.000
Itapecirica	1:50,000
Piùi	1:50.000
Pèdro Leopoldo	1:50.000
Serra Negra	1:50.000
Itaŭna	1:50.000
Igarapē	1:50.000
Brumadinho .	1:50.000
Itaguara	1:50.000
Belo Vale	1:50.000
Itabirito	1:50.000
Oliveira	1:50.000
Carmopolis 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 $\,$ And dorinhas), 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 classificação 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 video.

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

Uma descrição mais detalhada desse analisador automatico 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 - TECNICAS UTILIZADAS PARA OBTENÇÃO DE INFORMAÇÕES SOBRE A ÁREA DE ESTUDO

^{*} Niveis de Cinza - Derivam do modo pelo qual um preto e branco fotográfico (i. é, monocromático) represente diferentes valores radiométricos, ou intensidades, como gradua ções de cinza. Um sistema de processamento digital como o I-100, quantifica ou digitaliza os valores de dados para niveis discretos. Quando referindose a diferentes valores radiométricos de uma ima gem, os niveis digitalizados são chamados de niveis de cinza.

3.3.1 - ANALISE VISUAL DA REDE DE DRENAGEM

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

Apos 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 por 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 ĀREA DE ESTUDO

 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 fotomorfologicas, 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 indices de:

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

```
1- baixa (0 a 60 metros);
2- media (60 a 100 metros);
3- alta (+ de 100 metros).
```

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

```
    I - pequena (0 a 1,60 km);
    II - média (1,60 a 2,30 km);
    III- 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 \tilde{e} , pequena distân cia entre os canais de drenagem, sugerindo uma alta densidade hidrografica.

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, atraves do canal MSS 5, dos diferentes tons de cinza, que indicam as areas mais sujei tas a processos erosivos (Moraes, 1975; Moraes e Leite, 1975; Novo e Nascimento, 1977).

Apos 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 in formações sobre a geologia, a dinânica e forma das vertentes, o solo e a cobertura vegetal. Estes trabalhos de campo tiveram por objetivo con trolar o mapa preliminar das unidades de padrões de dissecação do relevo.

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

 Análise estatística das unidades fotemorfológicas da área de estudo

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

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

a) Analise da Variancia: Esta foi utilizada para testar se as uni dades morfológicas identificadas apresentavam diferencas signi ficativas quanto aos indices levantados. Este metodo permite de terminar se duas amostras foram ou não extraídas da mesma po pulação (Steel e Torrie, 1960).

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

. Os dados morfométricos obtidos das imagens foram: a tex tura da topografia, a densidade de drenagem e a extensão do percurso su perficial (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 morfonétricos, fez-se uso da amos tragem em grade; cada unidade fotomorfológica tem um número máximo de seis quadrículas com 0,5 cm de lado (nas imagens), e equivale, no ter reno, a 6,25 km². As mesmas foram determinadas aleatoriamente. As qua drículas que se localizaram nas bordas da unidade foram desprezadas, uma vez que estão em área de transição (Santos e Novo, 1977).

Apos 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 - ANALISE 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 preconiza da por Valério Filho et alii, 1976; Santos e Novo, 1977 e Aoki e Santos, 1980.

Ao termino 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. Atribu $\bar{1}$ ram-se $n\bar{u}$ meros 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 periodos de março/abril e de agosto/setembro de 1978, realizaram-se dois trabalhos de campo, com a finalidade de coletar in formações sobre a vegetação da area (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 arvores apresen tam altura superior a 7 metros. Encontram-se três estratos de ve getação: arboreo, arbustivo e herbaceo. Nos cerradões, quase to das as espécies arboreas e arbustivas são as mesmas que ocorrem nos cerrados.
- Cerrado Uma das suas principais características e a presença de arvores e arbustos, cujos troncos e galhos são tortuosos recobertos de suber espesso. Em geral, as folhas são grandes e espessas, sendo algumas coriáceas.

- Campo Cerrado Caracteriza-se pela presença de pequenas arvo res, arbustos baixos e espaçados, disseminados sobre uma sinúsia herbacea em que predominam gramineas.
- Campo Sujo de Cerrado Este pode ser considerado comum campo cerrado degradado, em consequência da ação do homem; caracteriza -se pela presença de poucas e pequenas arvores, e sinusia herba cea arbustiva como a do cerrado.
- Campo Limpo Caracteriza-se por ser totalmente desprovido de arvores e arbustos.
- Mata Caracteriza-se por uma vegetação exuberante e densa, tron cos eretos, com presença de humus, sem estrato arbustivo herbáceo, tendo o estrato superior mais de 12 metros de altura.

Apos 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 area de estudo até aquele momento.

Fez-se também uma coleta de dados extraídos de cartas to pográficas 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 in formações obtidas sobre a area, 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 periodos sazonais diferentes: um no final do periodo chuvoso (março/abril, 1978) e outro no periodo seco (agosto/setembro, 1978).

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

1) Coleta de dados no reservatório

Estabeleceram-se, inicialmente, 24 pontos de amostragem na área compreendida pelo reservatório. Estes pontos foram estabeleci dos 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 chuvo so, 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 reservá tório 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 traba lhos 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, per fazendo 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, u tiliza-se o disco de Secchi, que proporciona uma estmativa do coe ficiente de absorção, entre a superfície d'agua e o ponto a par tir do qual o disco se torna imperceptível ao olho humano.

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

Esta profundidade decresce a medida que o coeficiente de absorção da agua aumenta, estando relacionada linearmente com as concentrações de sedimentos em suspensão (Darker, 1975, Yarger e McCauley 1975; Ritchie et alii, 1976; Scherz e Van Domelen, 1975).

 Reflectância d'agua in citu - as palavras dos fluxos incidentes e emergentes d'agua do reservatorio foram realizadas através de um radiômetro, no intervalo do espectro eletromagnético. eletro magnético 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.

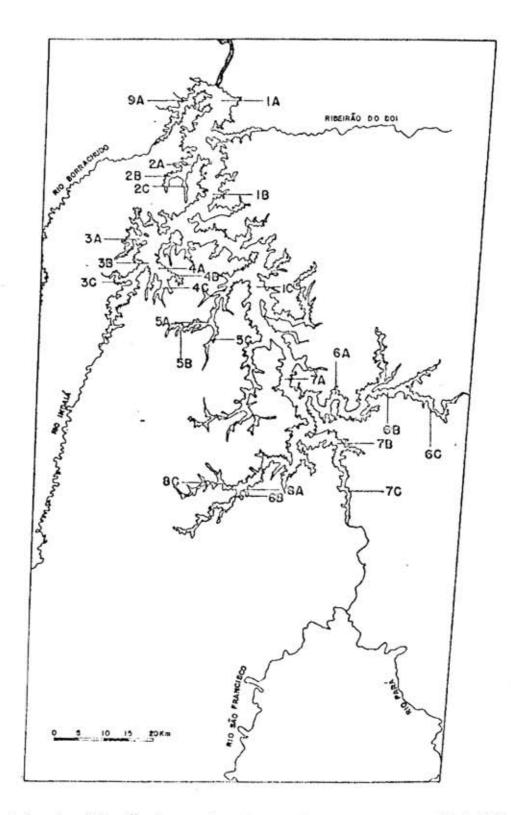


Fig. 3.4 - Localização dos pontos de amostragem no reservatório de Três Marias.

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 apos a calibração do aparelho mediu-se o fluxo de radiação solar incidente num arco de 180 sobre a superfície d'agua, estando a unidade sensora voltada para o ceu. Em seguida, mediu-se a radiação solar refletida, numa altura de 50 cm acima da superfície d'agua, 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) da reflectância d'agua in situ (R), para cada ponto observado.

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

As medidas dos 2 (dois) fluxos de radiação foram real<u>i</u> zadas 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'agua foi verificar a existência de sua correlação com os diferentes niveis de cinza, apresentados pelas imagens LANDSAT, na superficie do reservato rio.

2) Coleta de dados na bacia abastecedora do reservatório

Para a coleta de informaçõos na bacia abastecedora do reservatório, analisaram-se 41 pontos de amostragem no primeiro traba 1ho de campo, e 44 no segundo, perfazendo um total de 85 pontos. Os da dos 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 area 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 trafego 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 deslo camentos desnecessários.

O número de pontos de coleta de dados variou de roteiro para roteiro, em função do número de unidades geomorfologicas 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 RESERVA TÓRIO

Para a analise dos dados simultaneos coletados no reservatorio, foram utilizadas as técnicas descritas abaixo.

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

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

3.3.6 - ANALISE SEMI-AUTOMATICA DOS DADOS ORBITAIS

A analise semi-automática de dados orbitais foi realiza da para acompanhar a dispersão do material de suspensão no reservato rio de Três Marias, e estimar a sua concentração na camada superficial d'agua, bem como desenvolver uma metodologia para este tipo de estudo.

Utilizaram-se as diferenças de niveis de cinzas observa das na superficie d'agua, nas imagens LANDSAT, como indicadores de diferentes concentrações de sedimentos.

A identificação das variações de níveis de cinza, grava dos 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 capa cidade de transporte das correntes envolvidas no fluxo, sendo que

os valores menores caracterizam os ambientes mais dispersos e de me nor 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 aguas 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 super ficial d'agua do reservatorio de Três Marias, em diferentes areas de maior ou menor concentração de sedimentos em suspensão. Para tal, a análise baseou-se nas respostas espectrais das aguas, apresentadas em termos de níveis de cinza, através de um processo semi-automático, su pervisionado e interativo, no sistema I-100.

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

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

Utilizou-se o canal MSS 7 (correspondente à faixa do in fravermelho) para definir os limites terra/agua com o programa Celula Unica (Single Cell), conforme considerações apresentadas por Herz e Tanaka (1978).

Apos a definição dos limites do reservatorio, o restante da cena foi apagada, para que não houvesse interferência das areas adjacentes ao corpo d'agua, durante as analises.

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 amos tras dos diferentes níveis de cinza no reservatório; estas amostras ser viram para determinar os parâmetros das classes a serem definidas (Velasco et alii, 1978).

Posteriormente estas classes constituiram informação b<u>a</u> sica para a classificação temática do reservatório, através do progr<u>a</u> ma 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 va riou de imagem para imagem.

O refinamento na seleção das amostras pode ser feito \underline{a} través da subtração ou aquisição das mesmas.

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

Apos este procedimento aplicou-se o programa MAXVER.

De acordo com Velasco et alii (1978), este programa des tina-se \tilde{a} classificação, ponto a ponto, de imagens multiespectrais, ob tidas em geral de satélites.

O critério usado na classificação e o de máxima verossi milhança ("Maximum likelihood") segundo classes escolhidas interativa mente pelo usuário.

Os resultados da classificação feita atraves do sistema MAXVER foram apresentados na forma de uma imagem temática colorida, na tela do video, e na forma gráfica, por intermedio da impressora de linhas do sistema I-100.

Para as fitas correspondentes as passagens de 5 de abril de 1978 e 27 de agosto de 1978, relativas aos dois trabalhos de campo na area de estudo, realizou-se uma analise 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 progra ma "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 so vez todas as amostras na tela do video colorido, na escala de 1:450.000, sem perda de resolução criou-se, na memoria 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, am pliou-se cada umadelas paral25 "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).

0	124	126 250	252 376	378	502
124	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4	
126	AMOSTRA	AMOSTRA	AMOSTRA	AMOSTRA	
250	5	6	7	8	
252 ⁻	AMOSTRA	AMOSTRA	AMOSTRA	AMOSTRA	
376	9	10	11	12	
378 ⁻	AMOSTRA	AMOSTRA	AMOSTRA	AMOSTRA	
502_	13	14	15	16	

Fig. 3.5 - Distribuição das amostras em relação à memória de ima gem 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 se paradas (Velasco et alii, 1978). Esta previsão dos resultados da classificação é feita com base nas amostras escolhidas. Em cada coluna des ta 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 O a 6, e permite ao usuário variar o rigor com que é feita a classificação. O limiar utilizado em todas as imagens ana lizadas 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 apos, fez-se a classificação temática do reservat<u>o</u> rio de Três Marias, através do programa MAXVER, utilizando-se as cla<u>s</u> ses 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'agua de superfície (lmm), neste canal, absorve praticamente toda a radiação eletromagnética dessa faixa espectral, o que faz com que este canal, na matriz de covariância, apresente valor zero. Assim, apesar de usar varias amostras para a classificação temática, o sistema I-100, de vido ao valor zero no canal MSS 7, sempre acusa número insuficiente de amostras.

Fazendo-se uso, ainda, dos pontos de amostragem "insitu", ampliados 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 Unico ("Single Pixel").

Este programa permite ao usuario classificar um so "pixel", que normalmente não é perceptível pelo olho nas 525 linhas do video 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/KSS	***	SINGLE	PIXEL	TR	SINING	- V	ERSÃO C	***	SOMATORIO 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	ě	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
					٠.	٠			
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	٠	15	16	91
5	9	9	. 9	*	9	•	9	8	53
6	4	4	• 4	*		•	4	3	23
,	4	4	•	•		•	4	1	21
· 1	1	100	:	:		:		17	5.
4	15	15	15		15		15	16	91
5	9	9	9		3		9	8	53
6	4	4	4		4		4	3	23
7 -	4	4	4		4		4	1	21
4	15	15	15	20	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 corresponden tes 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 medios, 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'agua "in situ".

CAPITULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 - ORDENAÇÃO TEMPORO-ESPACIAL DAS VARIÁVEIS FÍSICAS DA BACIA ABASTECE DORA 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 analise visual das ima gens serviu de apoio para os mapas de compartimentação geomorfológica e de vegetação da area de estudos.

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

Os conceitos de padrões de drenagem utilizados neste $trac{a}{b}$ alho 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 compreendi da entre os rios Pará e Paraopeba, onde a drenagem se apresenta muito densa e sem mata galeria, dificultando a identificação da drenagem se cundária, através das imagens (Figura C.1).

Pela analise das imagens do Canal MSS 7, do periodo chu voso, pode-se constatar a ocorrência de lagoas temporárias ao longo do rio São Francisco. Durante o periodo seco, estas lagoas desaparecem, po dendo ser identificadas nas imagens do canal MSS 5 pelos tons de cinza claro e refletido pelo fundo semi-exposto. A rede de drenagem da area mostra a predominancia 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 Parã, Paraopeba e o São Françisco, 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 areas 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 (ge ralmente nos rios de lª e 2ª ordens), exceção feita às nascentes dos rios Parã 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'agua correm em todas as direções, aparentando não haver nehum controle estrutural sobre os mesmos.

Analisando-se o mapa de drenagem da área de estudo, podese constatar a convergência da drenagem para Três Marias, com paralelis mos em torno das direções SSW-NNE (rios São Francisco, Indaiá e Borrachu do) 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 Samburã, por apresentar direção geral noroeste- su deste, foge a este paralelismo, unindo-se ao rio São Francisco, num $\frac{1}{2}$ gulo de 45° . A direção deste rio está provavelmente condicionada $\frac{1}{2}$ disposição da serra da Canastra.

Os rios Indaia e Borrachudo tem 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 les te, condicionado, provavelmente, pela mudança de litologia (formação Paraopeba para formação Tres Marias), e pela ocorrência de uma região de falhamentos, a qual o rio corta transversalmente, para desaguar no reservatorio de Tres Marias.

O rio Indaia 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 atingir a barragem de Três Marias.

Os rios Parã 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 com preendido 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 a forma tabular, correspondem as regiões capeadas por coberturas indiferencia das datadas do Pleistoceno-Holoceno. Aos vales, correspondem os aluviões

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

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

As areas de padrão de drenagem dendritico apresentam uma densidade de drenagem elevada e cursos d'agua com pequenos comprimentos (2,5 km). Este padrão sugere a existência de rochas impermeaveis, 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 reserva tório 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 prova velmente 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 area de estudo, este padrão se desenvolve sobre areas de coberturas indiferenciadas, datadas do Pleistoceno (correspondendo em geral aos interfluvios), intercaladas com rochas do grupo Bambuí (correspondendo as calhas dos rios). Nestas areas, a densidade hidrográfica é bem mais baixa do que nas areas com padrão dendrítico, sugerindo uma

maior permeabilidade dos terrenos. Os canais de drenagem em geral apresentam cursos de comprimentos medios a longos (20 Km), e o relevo caracteriza-se por superfícies planas.

Nos altos cursos dos rios Para e Paraopeba, pode-se no tar 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 essen cialmente homogêneo, cortado por sistemas de fraturas intercruzadas com malhas relativamente grandes. Os rios principais, colocando-se subse quentemente 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 Para e Paraopeba, onde se observa este padrão, os rios de maior porte apresentam ângulos retos, enquanto os de la ordem correm em todas as direções. Podem-se observar alguns cursos condicionados as direções de fraturas, existentes com muita frequência nesta area.

O padrão retangular-dentrítico desenvolve-se sobre $r\underline{o}$ chas do embasamento cristalino, em áreas de relevos com formas colino sas.

4.1.2 - MAPEAMENTO DAS UNIDADES DE PADRÕES DE DISSECAÇÃO DO RELEVO DA ĀREA 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 estado, conforme Figura C.2.

 Análise visual dos padrões de dissecação do relevo da área de estudo.

A analise visual, através do canal MSS 7, permitiu a ca racterização das principais feições estruturais da area, tais como fa lhas, superfícies estruturais e alinhamentos de cristas. As diferenças de textura fotográfica (mais rugosa e menos rugosa) permitiram separar as diferentes unidades fotomorfológicas. Estas diferenças de textura foram associadas as três categorias de dissecação (tabuleiros, colinas e cristas).

Pela análise visual do canal MSS 5, foi possível ident \underline{i} ficar unidades com diferentes tipos de cobertura vegetal, através das diferenças de tonalidades de cinza.

Considerando-se os dados retirados das imagens (diferen ças de textura fotográfica, densidade hidrográfica, bem como catego rias de dissecação), constatou-se que, em geral, as áreas de colinas, nas imagens do canal MSS 7, apresentam uma textura fotográfica de ru gosidade média, com frequência elevada de canais de drenagem. Esta ru gosidade 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 lar gos, sugerindo formas de relevos mais arredondadas.

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

No canal MSS 7, as areas 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 su põe serem diferenças no entalhamento dos canais e na densidade hidrogrã

fica. No canal MSS 5 estas areas correspondem as tonalidades de cinza es curo, sugerindo uma cobertura vegetal densa e processos erosivos pouco acentuados.

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

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

1 - T ₁ III	8 - C3I	15 – C _k 1 II
2 - C _k 1 I	9 - T ₃ II	16 - C ₁ 11
3 - C ₂ I	10 - C ₁ I	17 - T ₃ 1
4 - C _k 3 I	11 - T ₁ 11	18 - C _k 1 III
5 - C _k 2 I	12 - T ₂ I	19 - C _k 2 II
6 - T ₁ I	13 - C ₁ III	
7 - T ₂ II	14 - C ₂ II	

 Análise estatística das unidades de padrões de dissecação do re levo da área de estudo.

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

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) Variaveis morfométricas extraídas das imagens MSS LANDSAT
 - Textura da Topografia.

Pela análise quantitativa do indice de Textura da Topo grafia, que informa sobre o grau de entalhamento e dissecação da su perficie terrestre, pode-se verificar que esta variável e a mais discriminatória para a separação das diferentes unidades.

As Tabelas 4.1 e 4.2 apresentam os resultados da ana1i se de Variância e da MDS, realizadas para o indice de Textura da Topo grafia.

TABELA 4.1

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS ÍNDICES DE TEXTURA DA TOPOGRAFIA

FONTE DE VARIAÇÃO	GRAUS DE LIBERDA- DE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MEDIO	F CAL- CULADO	F TABE- LADO
TRATAME <u>N</u> TO	18	65,88	3,66		
ERRO	95	8,7	0,09	40,6**	2,26
TOTAL	113	74,58	3,75		

^{**} significante ao nivel de 0,01

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

TABELA. 4.2

TESTE DA MENOR DIFERENÇA SIGNIFICATIVA PARA AS CLASSES DE TEXTURA DA TOPOGRAFIA

(13) (15) (16) (18) (14) (6) (1) (19) (7) (11) (17) (9) (10) (3) (8) (12) (2) (5) (5) c_{111} c_{1111} c_{1111} c_{1111} c_{1111} c_{1111} c_{1111} $c_$	100										CLASSES		1000							
C,111 Ck,111 C,11 T,111 0,20 - 0,38 - 0,40 - 0,53 -	1	3)	(15)	(16)	(18)	(14)	(9)	ε	(19)	3	9	(7.0	(6)	(01)	(3)	(8)	E	(2)	(5)	
0,20 - 0,38 - 0,40 - 0,53 -		===	Ck,111	11 ¹ 2	T111E T	C211	1,1	$\tau_1 m$	Ck211	$T_2\Pi$	$T_1\Pi$	T,31	Т,111	C11	C ₂ I	1,1	T2I	Ck, I	- 1	Ck ₃ 1
2a. 3a.	1	- 02'	0,38	0,40	0,53	- 0,56 -	- 19.0	- 52.0	3,66	- 0,31	- 0,83	. 0,93	- 86'0	1,58 -	1,63 -	2,01	2,03	- 2,20 -	2,53	2,63
	L_			la.						28]		38.	7	43.	J		

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 con cavo - 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 localizamse 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 con vexas a concavo-convexas.
- 4) Representada pelas médias de 2,10 a 2,20 rios/km e constituída por terrenos de formas colinosas, suavemente ondulados, asso ciados 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 concavo-convexo. Nes tas unidades geralmente o relevo apresenta-se bastante movimentado, havendo a ocorrência de falhas e fraturas.

- Densidade de Drenagem

Pela analise de variancia, pode-se verificar que a variavel morfométrica "Densidade de Drenagem", que fornece informações sobre a permeabilidade de uma area, apresentou-se muito discriminatória para a separação das diferentes unidades morfológicas.

As Tabelas 4.3 e 4.4 apresentam os resultados da anali se de variancia e da MDS, realizadas para o indice de densidade de dre nagem.

TABELA 4.3

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS ÍNDICES DE DENSIDADE DE DRENAGEM

FONTES DE VARIAÇÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MEDIO	F CAL- CULADO	F TABE-
TRATAMEN TO	18	1,024	0,056		
ERRO	95	0,431	0,0045	12,44**	2,26
TOTAL	113	1,455	0,0605		

^{**} significante ao nivel 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

CLASSES	(15) (11) (11) (11) (19) (19) (19) (11) (11	$C_{2}11 Ck_{1}11 Ck_{2}11 T_{1}111 T_{3}111 C_{1}11 T_{1}1 T_{2}11 T_{3}11 T_{3}1 T_{1}11 C_{1}1 Ck_{2}1 Ck_{2}1 Ck_{1}1 T_{2}1 Ck_{3}1 C_{2}1$	0,141 - 0,186 - 0,192 - 0,213 - 0,221 - 0,224 - 0,226 - 0,230 - 0,240 - 0,256 - 0,301 - 0,357 - 0,361 - 0,421 - 0,428 - 0,437 - 0,450	la.	23.	3a.
	(14)	1153	0,186 -			

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

O teste da MDS apresentou quatro classes, a saber:

- Representada pelas médias de 0,141 a 0,240 km/km² e constituída por relevos colinosos suavemente ondulados ou relevos tabula res, 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 constituida 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 cur sos pequenos.
- 4) Representada pelas medias de 0,361 a 0,450 km/km² e com as mes mas 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 semelhan tes, elas foram classificadas como duas classes distintas.

- Extensão do Percurso Superficial

A análise de variancia desta variavel, relacionada com o comprimento das vertentes, indicou ser, esta, uma variavel discrimi natória para a separação das diferentes unidades morfológicas.

As Tabelas 4.5 e 4.6 apresentam os resultados da anāl \underline{i} se de variância e da MDS, realizadas para o îndice 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 MEDIO	F CAL CULADO	T TABE LADO
TRATAMEN TO	18	55,322	3,07		
ERRO	95	28,626	0,30	10,23**	2,26
TOTAL	113	83,948	3,37		

^{**} significante ao nivel de 0,01

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

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

- Representada pelas médias de 1,21 a 1,699 km e constituída, em geral, de relevos de colinas ou de colinas associadas à cris tas, 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 apre sentando 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 \underline{u} ma grande extensão.

TABELA 4.6

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

								CLASSES									
(5)	(12)	(2)	(3)	(5)	(01)	î	(71)		(5)	(16)	(9)	(18)	ε	(19)	(14) (15)	(31)	(13)
Ck ₃ I	1,21	Ck, 1	C21	Ck2 1	C 11	C,1 T,11	T ₃ I		11,11	11.5	1,1	T2 11 T311 C, 11 T, 1 T3 111 T, 1111	1,111	Ck ₂ 11		Ck111	C,111
1,188 -	1,229 -	1,121 - 1,188 - 1,229 - 1,239 - 1,255 -	1,255 -		1,425 -	1,699	2,100 -	. 2,170 -	2,195 -	2,290 -	2,315	1,406 - 1,425 - 1,699 2,100 - 2,170 - 2,195 - 2,290 - 2,315 - 2,410 - 2,436 - 2,511 - 2,723 - 2,804 - 3,801	. 2,436 -	. 115,5	- 2,723	- 2,804 .	3,801
		13						0.000	2000								-
							d	23.				The second	STATE OF THE PARTY OF	101111111111111111111111111111111111111	ACT RES	The state of the	
									il see					34.			49.

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

- b) Variaveis morfométricas extraídas das cartas topográficas.
 - Amplitude Media.

A variavel Amplitude Média teve como objetivo verificar se os indices atribuidos 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 variâvel é discriminatória para a separação das unidades morfológicas.

As Tabelas 4.7 e 4.8 apresentam os resultados das anal \underline{i} ses de variancia e da MDS, realizadas para o indice de Amplitude M \underline{e} dia.

TABELA 4.7

ANÁLISE DE VARIANCIA DO ÍNDICE DE AMPLITUDE MEDIA

FONTES DE VARIÂNCIA	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MEDIO	F CAL CULADO	F TABE
TRATAME <u>N</u> TO	18	165519	9195,5		
ERRO	95	140311	1476,95	6,22*	2,26
TOTAL	113	305830	10672,45		

^{**} significante a nivel de 0,01

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

TABELA 4.8

TESTE DA MENOR DIFERENÇA SIGNIFICATIVA PARA AS CLASSES DE AMPLITUDE MEDIA

VALOR DA										CLASSES	SES				*				
A SCH	6	(01)	(9)	(13)	(14)	(7)	(12)	(2)	(16)	(1)	(12) (2) (16) (11) (3) (17) (5)	(11)	(5)	(4)	(8)	(6)	(18)	(15)	(61)
DE 0,01	1,111	1 C,1	1.	c,1111	5,11	$T_2 II$	121	T211 T21 Ck11 C111	\mathtt{c}_{111}	$T_1\Pi$	T111 C21 T211 Ck21	T_2II	Ck ₂ 1	Ck ₃ I	C31	T311	1,111	Ck, 11 Ck2 11	Ck ₂ 11
	31,6	40,0	41,6	- 44,16	- 45,0	- 49,03	. 52,66	55,0	- 0,09 -	- 9,99	94,16	- 96,6	100	110	. 113,3	31,6 - 40,0 - 41,6 - 44,16 - 45,0 - 49,23 - 52,66 - 55,0 - 60,0 - 66,6 - 94,16 - 96,6 - 100 - 110 - 113,3 - 116,6 - 123,3 - 136,3 - 166,6	123,3 -	136,3	9,991 -
2.00														23.]	8	33.

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

O teste da MDS apresentou três classes de amplitude $m\bar{\underline{e}}$ dia, sem levar em consideração as formas de relevo. As classes obtidas foram:

- Representada pelas médias de 31,6 a 66,6 metros, corresponde a unidades com canais de drenagem, cuja intensidade de disseca ção vertical varia de pequena a média.
- 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 Media

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

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 anali ses de variancia 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:

- Representada pelas medias de 601,16 a 851,6 metros e correspon dendo a 90% da área de estudo, engloba unidades de colinas, as sociadas 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

ANALISE DE VARIANCIA DO ÍNDICE DE ALTITUDE MEDIA

FONTES DE VARIAÇÃO	GRAUS DE LIBERDA- DE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MEDIO	F CAL CULADO	F TABE LADO
TRATAMEN TO	18	11.878.159	659.892,72		
ERRO	95	9.103.911	95830,64	6,88**	2,26
TOTAL	113	20.982.070	755.728,38		

^{**} significante ao nivel de 0,01

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

A analise visual e a analise das variaveis morfométricas discriminatórias permitiram realizar uma compartimentação geomorfológica da area de estudo.

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

TABELA 4.10

TESTE DA MENOR DIFERENÇA SIGNIFICATIVA PARA AS CLASSES DA ALTITUDE MÉDIA

MDS A (1) (10)							CLASSES									100	
	(2)	6	(8)	(\$0	(21)	3	(9)	(3)	(71)	(17) (16)	(11)	9	(5)	(19)	(15)	6)	(18)
DE 0,01 T, III C,1	Ç,1	C1111	5	1175	1,1	1,711	1,1	5,1	, i	11,2	1,11		Ck21	Ck ₂ 11	Ck2 11	=,	1,11
601,16 - 633,33 - 644,16 - 673,3 - 675,	. 644,16 -	673,3 -	- 9,579	676,6 -	16,879	. 678,51	.6 - 676.6 - 678,91 - 678,51 - 678,5 - 712,5 - 730,5 - 736,5 - 793,3 - 801,6 - 812,2 - 830,0 - 851,6 - 1050 - 1130,	712,5 -	730.5 -	736,5 -	793,3	- 801,6	- 812,2	830,0	851,6 -	1050	1130, 3
52,58						19.]	28.	

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 dre nagem, a imprecisão na sua definição se refletiu na compartimentação das unidades de relevo. Em alguns pontos, devido \tilde{a} pequena extensão da \tilde{a} rea da unidade analisada ou \tilde{a} 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 per mitem visão estereoscópica, impossibilitando o uso de dados altimétricos extraídos das imagens.

A falta do efeito estereoscópico destas imagens, e a disposição dos cursos d'agua, fez com que a unidade 15 (Tabela 4.10) fos se inicialmente classificada como CklII. Isto \tilde{e} , uma unidade com ca nais 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, pode-se constatar também que as unidades $(C_{\nu}1\ \dot{1})$ e $12(T_{2}I)$ 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 la teral.

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 \tilde{a} rea com amplitude lateral pequena. Durante os trabalhos de campo e as analises dos dados morfométricos, constatou-se que ela apresentava as mesmas características da unidade $11(T_1II)$, isto \tilde{e} , unidade de relevos tabulares, com canais de drenagem de pequena 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 pos sível 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.

 Compartimentação das unidades de padrões de dissecação do rele vo 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 ideia da distribuição espacial dos compartimentos caracterizados.

Assim, pode-se observar que ha um predomínio das unidades de formas colinosas sobre asunidades tabulares. Caracterizaram-se 6 unidades de formas tabulares e 11 de formas colinosas.

As primeiras localizam-se geralmente ao redor do reserva tório 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 area de estudo. As unidades de maior expressão em area são a Ck₃I e Ck₂I;es ta ultima ocupa mais ou menos 30% da area de estudo e ocorre, em sua maior parte, nos alto e médio cursos dos rios Para e Paraopeba.

A area de estudo e 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 densida de hidrográfica elevada, vertentes cujas formas variam de convexas à concavo-convexas e, em alguns trechos, apresentam processos de erosão acelerada. A litologia encontrada e 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

Apos a realização das três etapas de coleta de dados (análise visual, trabalho de campo e revisão bibliográfica), definiuse 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 Capitulo 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 fi sionômicas: cerradão, cerrado (Stricto Sensu), campo cerrado, campo su jo de cerrado e campo limpo.

TABELA 4.11

DESCRIÇÃO DAS UNIDADES GEOMORFOLÕGICAS

De acôrdo com a textura da topo grafía (0.53 rios/km) e as observações de campo, esta é uma unidade de relevos de tabuleiros, com vertentes do tipo retilineo. A extensão do percurso superficial ê de 2,410 km, sendo as vertentes de comprimentos médios a grandes, sugerindo grande am plitude lateral. As observações de campo e a textura da topografía (0.66 rios/km) dizem que esta é uma unidade de de formas tabulares, com to pos planos, superfícies conservadas, vertentes retilineas. As vertentes apresentam-se longas, tendo em média 2,43 km, sugerin do amplitude lateral grande.	DRENAGEM	GEOLOGIA	ALTITUDE (M)	OBSERVAÇÕES
	 Os canais de drenagem apresentam cursos longos, a densidade de drenagem e de 0,224 km/km², a profundidade dos canais de drenagem e grande, sendo a umplitude media de 123 metros.	Falta informações.		Mão hã informações.
	 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 ê modelada em terre nos de coberturas indiferenciadas datadas do Pleistoceno/Holoceno, ao redor do reservatório de Três Marias ou em Sreas de intercala ções destas coberturas, detriticas com as rochas da formação Paraopeba, grupo Bambuï, Prē-cam briano (ardósias calciferas ou não, margas, calcarenitos, argilitos e arenitos finos) na região ao sul deste reservatório (Meneres et alii, 1977).	8.	Conforme observações de cam po, em alguns trechos o solo ē proveniente de um colúvio, com mais de 2 metros de espes sura, de cor vermelho-escuro; em outros o solo apresenta pro fundidade maior do que 1,5 metros e de cor vermelho-es curo ou vermelho-amarelo.

Tabela 4.11 - Continuação

ALTITUDE OBSERVAÇÕES (M)	Falta informações.	Falta informações.
GEOLOGIA	Esta unidade está modelada em terrenos da formação Paraopeba, grupo Bambul. Pré-cambriano/cambriano ou em áreas de Coberturas Indiferenciadas datadas do Terciário/Quateriúrio (coberturas are no-argilosas de coloração averme lhada, com blocos de canga ferruginosa e concreções laturificas) (Menezes et alli, 1977).	Falta informações.
DRENAGEM	A profundidade dos canais de dre nagem é pequena (54 m) eo compri nento dos cursos varia de médio a longo (0,260 km/km).	Os canais de drenagem apresentam pouca profundidade, tendo em média uma amplitude vertical de 50 metros. Os cursos apresentam com primentos médios a pequenos, sen do a densidade de drenagem de. 0,235 km. A amplitude lateral é pequena, sendo a extensão das vertentes também pequena.
MORFOLDGIA	E uma unidade de formas tabulares com topos planos e vertentes retiliness e convexas. Os valores de textura de topografía (0.74 rios/km) sugerem ser esta uma unidade em estágio inicial de disse cação, porém mais dissecada do que a unidade anterior. As vertem tes apresentam 2.60 km, sugerin do amplitude lateral média.	E uma unidade de relevos de formas tabulares, com topos planos, tendo vertentes do tipo retilineo a convexo, estando num estágio de dissecação mais avançado do que o da unidade anterior. De vido a alta densidade hidrográfica, não foi possível definir-se com clareza os canaís de drenagem durante a análise visual, sendo pois os valores de textura da to pografia de 2,81 rios/km. As vertentes apresentam comprimentos de pequenos a médios, tendo em geral 2,170 km.
WIDADE	12	Į.

Tabela 4.11 - Continuação

UNIDADE	MORFOLOGIA	DRENAGEM	GEOLOSIA	ALTITUDE (M)	OBSERVAÇÕES
T ₂ II	De acordo com a textura da topo grafia (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 (2,109 km), sugeríndo uma amplitude lateral média.	Os canais de drenagem apresentam profundidade mēdia (96 m), com cursos de comprimentos mēdios (0,256 km/km²).	Não hã informações.	730	Em alguns pontos de amostra gem analisados nos traba . Thos de campo, a camada su perficial do terreno écons tutuída por um colúvio pe dogenizado, com mais de 1 metro de espessura e cor vermelho escuro.
Į.	Esta é uma unidade residual de forma tabular de pequena extensão, tendo vertentes do tipo retilhoe e front abrupto. Das unidades de relevo tabular, esta foi a que apresentou um estágio mais avançado de entalhamento e disse cação, 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 princípais apresentam cursos bastante longos, chegando mesmo a ter quase a resma extensão da unidade. Jão rios ue primeira ordem apresentam cursos pequenos uma densidade hidrografica elevada. Assim, a densidade de drenagem da ārea ē de 0,240 km/km².	Esta unidade e modelada em terre nos da formação Mata da Corda, Turoniano-Senoniano lavas de matureza alcalina-ultrabăsicas, turitos, tufitos e aglomerados vulcānicos (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 verme lho-escuro ou vermelho-amarelo.

Tabela 4.11 - Continuação

profundidade pequena (44 m), sen nos de coberturas indiferenciadas do a densidade de drenagem de datadas do Pleistoceno/Holoceno 0.141 km/km², o que indica canais e regiões do Prê-cambriano indide drenagem com cursos muito lon ferenciado, associação Gnaïssigos. a Migmatītica - gnaisse, xistos migmatīticos e granítos-(Menezes et alii, 1977) bs canais de drenagem são pouco Falta informações.
100 M
drenagem e de 0,186 km/km², indi cando canais de comprimentos lo <u>n</u> gos a medio.

Tabela 4.11 - Continuação

OBSERVAÇÕES	Não hã informações.	Não hã informações.
ALTITUDE (M)		929
GEOLOGIA	Esta unidade está modelada em terrenos de três diferentes for mações: coberturas indiferencia das datadas do Terciário/Quater nário; 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).	Esta unidade esté modelada em terrenos pertencentes a formação Três Marias, do grupo Bambuí (Me nezes et alii, 1977).
DRENAGEM	Os canaís de drenagem são de mē dia profundidade, tendo uma amplitude mēdia de 94 metros. O comprimento dos canais varia de longos (ríos principais) até pequenos (ríos de primeira ordem), sendo esses últimos em número elevado, o que faz com que esta área tenha uma alta densidade de drena gem (0437 km/km²).	Os canais de drenagem apresentam grande profundidade, tendo uma am plitude média de 113 metros e va les relativamente estreitos. Os rios principais apresentam cur sos de tamenho médio e os secun darios, cursos pequenos, que alía dos a um número elevado de .ca nais, faz com que esta unidade apresente a mais alta densidade de drenagem (0.450 km/km²) entre todas as unidades estudadas.
MORFOLDGIA	De acordo com os dados de campo e dados de textura da topografía (1.68 rios/km), pōde-se concluir que esta é uma unidade de relevo de formas colinosas, algumas do tipo mamelonar, com topos arredon dados, e vertentes do tipo conve xo a côncavo-convexo. As verten tes são pequenas (1.255 km), su gerindo uma amplitude lateral pequena.	De acordo com as observações de campo e os valores de textura da topografia (2.01 rios/km), esta e uma unidade em fase inicial de dissecação, com formas bem defínicas sendo o relevo de formas colinosas e as vertentes do tipo convexo. As vertentes são peque nas (1.12) km), indicando uma amplitude lateral pequena.
CYLDADE	. 3	3

Tabela 4.11 - Continuação

OBSERVAÇÕES	Não hã informações.	Não hã informações.
ALTITUDE (M)		929
GEOLOGIA	Esta unidade está modelada em terrenos de três diferentes for mações: coberturas indiferencia das datadas do Terciário/Quater nário; 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).	Esta unidade esté modelada em terrenos pertencentes a formação Três Marias, do grupo Bambuí (Me nezes et alii, 1977).
DRENAGEM	Os canaís de drenagem são de mē dia profundidade, tendo uma amplitude mēdia de 94 metros. O comprimento dos canais varia de longos (ríos principais) até pequenos (ríos de primeira ordem), sendo esses últimos em número elevado, o que faz com que esta área tenha uma alta densidade de drena gem (0437 km/km²).	Os canais de drenagem apresentam grande profundidade, tendo uma am plitude média de 113 metros e va les relativamente estreitos. Os rios principais apresentam cur sos de tamenho médio e os secun darios, cursos pequenos, que alía dos a um número elevado de .ca nais, faz com que esta unidade apresente a mais alta densidade de drenagem (0.450 km/km²) entre todas as unidades estudadas.
MORFOLDGIA	De acordo com os dados de campo e dados de textura da topografía (1.68 rios/km), pōde-se concluir que esta é uma unidade de relevo de formas colinosas, algumas do tipo mamelonar, com topos arredon dados, e vertentes do tipo conve xo a côncavo-convexo. As verten tes são pequenas (1.255 km), su gerindo uma amplitude lateral pequena.	De acordo com as observações de campo e os valores de textura da topografia (2.01 rios/km), esta e uma unidade em fase inicial de dissecação, com formas bem defínicas sendo o relevo de formas colinosas e as vertentes do tipo convexo. As vertentes são peque nas (1.12) km), indicando uma amplitude lateral pequena.
CYLDADE	. 3	3

Tabela 4.11 - Continuação

OBSERVAÇÕES	Não há informações.	Não hã informações.
ALTITUDE (M)	058	908
GEOLOGIA	Esta unidade e modelada em terrenos do Pre-cambriano indiferenciado, associação Gnaissica-Migmatítica e uma área de intercalações de argilitos e siltitos, portencentes a formação Paraopeba do grupo Bambuí (Menezes et alif, 1977).	Esta unidade é modelada em terre- nos de três diferentes formações: formação Mata da Corda, datada do Turoniano-Senoniano; uma região representada pela unidade de to po da formação Paraopeba que se constitui numa transição para a formação Três Marias, fácies sil to-arenosa, e, finalmente, a for mação Paraopeba, do grupo Bambuí (Menezes et alií, 1977).
DRENAGEM	Os canais de drenagem apresentam cursos longos, tendo pois uma den sidade de drenagem de 0,192 km/km². A produndidade dos canais de drenagem é grande, tendo uma am plitude média de 136 metros.	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.
MORFOLOGIA	As analises morfometricas eas observações de campo levam a concluir que esta é uma unidade de colinas associadas à ocorrência esporádica de cristas, conforme pude ser observados pelos valores de textura da topografía (0.38 rios/km), tendo vertentes do tipo concavo a concavo - convexo. A extensão do percurso superficial é de 2,804 km, sugerindo vertentes longas o consequentemente uma amplitude lateral grande.	De acordo ccm os valores de tex tura da topografía (2,63 rios/km) e as observações de campo, esta ë uma unidade de relevo bastante ri goroso, com formas definidas, nu ma fese inicial de dissecação. Seu relevo é de formas colinosas associadas à ocorrência esporá dica 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 1,138 km, sugerindo verten tes pequenas e uma amplitude la
UNIDADE	υ chilli	1,3

Tabela 4.11 - Continuação

CMCCKC	MORFOLOGIA	DRENAGER	GEOLOGIA	ALTITUDE (%)	OBSERVAÇÕES
Ck211	Esta é uma unidade de colinas con vertentes do tipo convexo a côncavo-convexo, associada a ocorrência de cristas, conforme pôde ser observado pelos valores de textura da topografía (0.66 rios/ kn) e pelos trabalhos de campo. A extensão do percurso superfícial é de 2,51 km, sendo as vertentes de comprimentos médios a longos, sugerfindo amplitude lateral média.	Os canaís de drenagem apresentam cursos de comprimento médio, sen do a densidade de drenagem de 0,243 km/km². Os canais de drenagem tem una produndidade média, é em geral uma amplitude média de 80 m.	falta informações.	830	Não hã informações.
, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	De acordo com as observações de campo e os valores de textura da topografía (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 verten tes de pequena extensão e consequentemente uma amplitude lateral pequena.	A produndidade dos canais do dre nagem e media, sendo a amplitude media de 100 metros. Os cursos dos rios apresentam comprimentos de medio a pequenos com um núme ro elevado de canais, principal mente os de primeira ordem, fazendo com que esta unidade tenha uma densidade de drenagem de 0,361 km/km².	Esta unidade é modelada em terre nos da formação Três Marias, gru po Bambuí e da Associação Gnais sica-Migmatítica, Pré-Cambriano (Menezes et alii, 1977).	. 815	Não hã informações.

Tabela 4.11 - Conclusão

BONDADE	MORFOLOGIA	DRENAGEM	GEOLOGIA	ALTITUDE (M)	OBSERVAÇÕES
, i 1.	Esta é uma unidade de formas co linoses, suavemente onduladas, com vertentes do tipo convexo a concavo-convexo, associadas a ocorrência esporádica de cristas, conforme os valores da textura da topografía (3,36 rios/km). A ex tensão do percurso superficial é de 1,234 km, sendo as vertentes de pouca extensão, sugarindo am plitude lateral pequena.	Os canais de drenagem apresentam pouca profundidade (54 metros), sendo os cursos de comprimentos médio a pequeno, havendo um núme ro elevado de canais, principal mente os de primeira ordea, e a densidade de drenagem de 0,421 km/km².	Esta unidade ë modelada, em al guns trechos, em terrenos da for mação Paraopeba, do grupo Bambuī (Menezes et alíi, 1977).	. 664	Falta informações.

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) de vido ã ocupação humana, mas mantendo ainda caracteristicas da vegetação predominante.
- b) reflorestamento areas com plantio de eucalipto.
- c) areas agricolas ou solo preparado aquelas ocupadas por ativi dades agricolas, geralmente temporarias, com perio dos em que o solo e preparado para o plantio.
- d) cerrado (Lato Sensu) esta unidade engloba areas com associa ções de formas de cerrado, apresentando um gradien te intenso de biomassa por unidade de area. (Esta variação em termos de biomassa e explicada por não haver predominância de determinada unidade fisionô mica 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 $\underline{\tilde{a}}$ rea por elas ocupadas.

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

- a) āreas agrīcolas ou solo preparado para agricultura;
- b) areas de solo exposto;
- c) reflorestamento;
- d) mata e cerradão;
- e) mata e cerradão alterado;
- f) cerrado (Stricto Sensu);
- g) cerrado (Stricto Sensu) alterado;
- h) campo cerrado;

- i) campo cerrado alterado;
- j) campo sujo de cerrado;
- 1) 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

Apos 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 reservatorio de Três Marias.

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

1) Area 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 $\tilde{\rm e}$ o de colinas (${\rm C_2I}$),ou de colinas associadas $\tilde{\rm a}$ ocorrência de cristas (${\rm Ck_2I}$ e ${\rm Ck_1I}$).

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

TABELA 4.12

DESCRIÇÃO DAS UNIDADES DE VEGETAÇÃO

UNIDADES	CARACTERISTICAS OBSERVADAS NAS IMAGENS LANDSAT	TIPO DE VEGETAÇÃO DOMINANTE	OUTROS TIPOS DE VEGETAÇÃO	RELEVO	DRENAGEM	OBSERVAÇÕES
AREAS AGRTCOLAS OU SOLOS PREPARADOS PARA A AGRICULTURA	Apresentam, no canal MSS 5, tom de cinza claro e textura fotográfica homogénea; nas com posições coloridas, apresentamse com tonalidades claras. Es tas âreas possuem forma geomê trica definida, o que facilita a sua identificação.	milho, café e man dioca		Vārzea de rios ou relevo plano, do tipo tabular,	Apresentam baixa den sidade de drenagem e canais com cursos lon gos.	Estas áreas estão geralmente localizadas próximas de cidades, estradas ou várzeas de rios, principalmen mente a do São Francisco. O tipo de cultivo é em geral o temporário.
AREAS DE SOLO EXPOSTO	Caracterizam-se por alta reflectancia no canal MSS 5 e nas composições coloridas, devido a exposições coloridas, devido a exposiçõe do solo. Amatagaleria apresenta tons de cinza escuro, devido a alta absorção da radiação eletromagnêtica pela vege tação 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 foto gráfica é heterogênea.	Mata galería, cerrado, campo cerrado e campo su jo de cerrado.		Areas de colinas associadas a o corrência de cristas.	Densidade hidrografi ca elevada, com ca nais de cursos peque nos.	Estão localizadas em regiões adjacentes ao reservatório de Três Marias ocupando mais de 30% da área de es tudo. Cobertura vege tal muito deficiente havendo o ocorrência de voçorocas.

Tabela 4.12 - Continuação

UNIDADES	CARACTERÍSTICAS DOSERVADAS 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 eletromag nêtica deste tipo de vegetação, nesta faixa do espectro. No canal MSS 7, apresentam tom de cinza claro devido a alta reflectância das copas das ārvores. Mas composições coloridas, apresentam cor verrelha forte, devido a alta refletividade da vegetação. Geralmente apresen tam formas geométricas, o que facilita sua identificação. Apresentam textura fotográfica homogênea.	Eucalipto		Varzeas ou super	Densidade hidrogrāfi ca baixa e canais de drenagem com cursos longos.	Estão localizados ao longo de estradas ou mangens do reservatorio de Três Marias. A grande maioria destas áreas reflorestadas são cultivadas por em presas especializadas em reflorestamento. Apresentam, ãs veitensão.
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 geomêtricas definidas. Nas composições co loridas apresentam cor averme lhada, mais suave que as áreas de reflorestamento. A textura fotográfica é homogênea.	Mata natural		Tabular	Densidade hidrogrāfi ca baixa e canais de drenagem bastante lon gos.	Estão geralmente lo calizadas ao redor do reservatório de Três Marias ou à sudoeste deste.

Tabela 4.12 - Continuação

UNIDADES	CARACTERISTICAS OBSERVADAS NAS IMAGENS LANDSAT	TIPO DE VEGETAÇÃO BOMINAMTE	OUTROS TIPOS DE VEGETAÇÃO	RELEVO	DRENAGEM	OBSERVAÇÕES .
MATA E CERRADÃO ALTERADO	Apresenta tom cinza mēdio, de Mata naturale cervido a alteração de vegetação radão com um grau que permite maior exposição do de alteração mais solo, do que na unidade ante elevado do que a rior. A taxtura fotográfica è unidade anterior, a da unidade anterior.	tação radão com unigrau so do de alteração mais ante elevado do que a ca é unidade anterior.		Geralmente ocorre no alto de serras.	e ser drográfica média e ca nais com cursos de com primentos médios.	Ocorre ao redorda ci dade de Belo Horizon te, nas serras Três Irmãos e Moeda.
CERRADO	Has imagens do canal MSS S, apresenta um tom de cinza médio, devido a sua menor densidade de cobertura vegetal, em relação Es Breas de floresta e cerradão. Has composições coloridas, apresenta uma cor verme lha suave. A textura fotografica é homogênea.	S, Cerrado (etricto me conces).	Mata galeria e de forma esparsa, <u>a</u> reas agricolas.	Geralmente ocorre em āreas de relevos de formas ta bulares, com exceção da região próxima à Divinôpolis, onde ocorrem em āreas de colinas.	MSS S, Cerrado (stricto Mata galería e de Geralmente ocor Apresenta baixa densida densida densi. densi densi reas agricolas. levos de formas ta nais de drenagem geral bulares, com exce mente apresentam cursos ção da região pró longrs e poucos profun xima a Divinôpo dos. lis, onde ocorrem em areas de coli nas.	Ocorre sob a forma de manchas esparsas, su gerindo serem rema nescentes de āreas an teriormente extensas, que com o passar do tempo foram sendo al.

Tabela 4.12 - Continuação

UNIDADES	CARACTERISTICAS OBSERVADAS NAS IMAGENS LANGSAT	TIPO DE VEGETAÇÃO DOMINAMTE	OUTROS TIPOS DE VEGETAÇÃO	RELEVO	ORENAGEM	OBSERVAÇÃO
CERRADO (CTRICTO	Apresenta o mesmo tipo de vege tação da unidade anterior, por rêm de forma alterada. Nas ima gens do canal MSS 5, apresenta um tom cinza mais claro do que a unidade anterior e uma textura homogênea. Isto ê provocado pela ateração da vegetação original, condicionando a maior exposição do solo, o que faz com que haja ocorrência de pequenis simas manchas de tom cinza claro.	Cerrado (osrioso sensu) excessiva mente alterado de vido a ocupação humana.	Ocorrem de forma intercalada com o cerrado, vege tação de pastagem e mata galería.	O relevo é o de colinas.	A densidade hidrogrāfi ca ē alta e os rios a presentam comprimento mēdio a pequeno.	Não há informações.
CAMPO CERRADO	Esta unidade do canal MSS 5, a presenta um tom cinza médio, por rêm bem mais claro que o apresentado pelas âreas 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 âreas de cerrado (otrícto aem as ara).	Campo cerrado.	Ocorre de forma esporadica campo sujo de cerrado com alto grau de alteração. Há tam bêm a ocorrência de pastagens ema ta galería.	Nas āreas prōxi mas Ns āreas de cerrado (etriceo consu) e ao redor do reservatório de Três Karias ocorre em rele vos tabulares.Na porção sudoeste da ārea de estu do, ocorre em re levos colteosos suavemente ondu	Nos relevos tabulares a densidade hidrogrāfi ca ē baixa. Nos relevos colinosos, ē elevada.	Ocorremjunto & åreas de cerrado (222222) (22221) ao redor do reservatório de Três Marias e, na porção sudoeste da área de estudo, principalmente junto ao rio São Francisco.

Tabela 4.12 - Continuação

UNIDADES	CARACTERISTICAS OBSERVADAS NAS INAGENS LANDSAT	TIPO DE VEGETAÇÃO DOMINANTE	OUTROS TIPOS DE VEGETAÇÃO	RELEVO	DRENAGEM	OBSERVAÇÕES
CAVPO CERRADO ALTERADO	Has 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, entremedo de tons verde claro. A textura fotográfica desta unidade é bastante heterogênea.	Sapre Campo cerrado com De forma espora espo	De forma esporá dica ocorrem a reas agricolas, reflorestamento, e de forma eleva da, mata galería.	De forma espora O relevo é de fordica ocorrem a mas colinosas com reas agricolas, ocorrencias esporeflorestamento, radicas de linhas e de forma eleva de cristas.	A densidade de drena gem é elevada, com os canais apresentando cursos pequenos.	Ocupa quase 40; da ārea de estudo, tendo sua maior ārea de ocorrên cia nos médios e altos cursos dos rios Parã e Paraopeba. Ocorre também nas cabeceiras do rio Indaiã, sob a forma de manchas es parsas.
CAMPO SUJO DE CERRADO	Das formas de cerrado, esta e a que apresenta o tom de cinza mais claro no canal MSS 5, deví do naturalmente a menor densida de de cobertura vegetal. E tam bem a que apresenta a textura fotográfica menos homongênea.	Campo sujo .le cer ice forms esporadi rado. ca ocorrem cerra dos e campos cer rados com altos graus de altera ção. Ocorrem tam bêm pastagens, ma ta galerla, áreas agricolas e reflorestamento.	ie forms esporādi ca ocorrem cerra dos e campos cer rados com altos graus de altera ção. Ocorrem tam bem pastagens, ma ta galeria, áreas agricolas e reflo restamento.	Geralmente ocorre em āreas de rele vos tabulares ou de colinas suave mente onduladas.	Geralmente ocorre A densidade hidrogra em āreas de rele fica varia de pequena vos tabulares ou a mēdia. Os canais de de colinas suave drenagem, em geral, mente onduladas. apresentam cursos de comprimentos longos a mēdios.	A principal area de ocorrência se dã no sentido leste-oeste, numa região compreen dida pelos médios cur sos dos rios Paraope ba, Pará e São Francisco. De forma intercalada com o campo cerrado, na porção sudoes te do-reservatório de Três Marias e nas ca beceiras dos rios Pará e São Francisco.

Tabela 4.12 - Continuação

OBSERVAÇÕES	A ārea de ocorrência é nas cabeceiras do Rio São Francisco ena região próxima ao seu curso médio.	As espēcies de pass Mata galeria e O relevo caracte A densidade hidrogrā A ārea de ocorrência e tagem encontradas āreas de cultivo. riza-se pela for fica e elevada e os ca nas cabeceiras do rio forum o jaraçuã e duladas e areas sentam cursos pequenos. Gão Francisco e na redeformas tabula res bastante des gastadas.
DRENAGEM	Campo sujo de cer Ocorrência de pe O relevo em geral A densidade hidrogranado com um grau quenas manchas de e de formas coli e elevada, e os canaís de alteração ele cerrado e áreas nosas com ocorrên de drenagem apresenvado. Cia esporádica de tam cursos pequenos. Iinhas de cristas.	As espēcies de pass Mata galeria e O relevo caracte A densidade hidrogrātagem encontradas āreas de cultivo. riza-se pela for fica e elevada e os caractem o jaraguã e ma de colinas on nais de drenagem apreduladas e āreas sentam cursos pequenos. de formas tabula res bastante des gastadas.
RELEVO	O relevo em geral e de formas coli nosas com ocorren cia esporádica de linhas de cristas.	O relevo caracteriza-se pela forma de colinas on duladas e areas de formas tabula res bastante des gastadas.
OUTROS TIPOS DE VEGETAÇÃO	Ocorrência de per quenas manchas de cerrado e áreas de pastagem.	Mata galeria e āreas de cultivo.
TIPO DE VEGETA:ÃO DOMINANTE	Campo sujo de cerrado com um grau de alteração ele vado.	As espēcies de pass tagem encontradas foram o jaraçuã e o gordura.
CARACTERÍSTICAS OBSERVADAS NAS IMAGEUS LANDSAT	No canal MSS 5, esta unidade <u>a</u> presenta um tom de cinza claro e textura fotográfica heterogênea.	Apresenta no canal MSS 5, uma tonalidade de cinza que varia do cinza médio ao cinza claro quase branco, sendo a textura fotográfica heterugênea-
UNIDADES	CAMPO SUJO DE CERRADO ALTERADO	CAMPO LIMPO E PASTAGEM.

Tabela 4.12 - Conclusão.

UNICADES	CARACTERÍSTICAS OBSERVADAS NAS IMAGENS LANDSAT	TIPO DE VEGETAÇÃO DOMINANTE	OUTROS TIPOS DE VEGETAÇÃO	RELEVO	DRENAGEM	OBSERVAÇÕES
CERRADO	No canal MSS 5, esta unidade apresenta dominância de um tom cinza mēdio. Nas composições coloridas, apresenta uma intercalação de tons vermelhos sua ves e verde. A textura fotográfica é heterogênea.	Nesta unidade foi dificil definir- se um tipo predo minante de vegeta ção.	Os tipos de vege O relevo é bastan tação encontrados te movimentado foram o cerrado, campo su linosa associada jo de cerrado, pas a ocorrência es tagem e a ocorrên porádica de cris cia muito elevada tas. Ha também algumas areas de campo cerra do.	O relevo é bastan te movimentado tendo a forma co linosa associada a ocorrência es porádica de cris tas.	D relevo é bastan A densidade hidrográfi Sua área de ocorrência te movimentado ca e elevada e os ca está localizada nos metendo a forma co nais de drenagem apre dios e altos cursos dos linosa associada sentam pequenos cursos. rios Indaiã e Borrachu a ocorrência es porádica de cris do e também, num trecho porádica de cris tas.	Sua ārea de ocorrência está localizada nos mê dios e altos cursos dos rios Indaia e Borrachu do e também, num trecho do mêdio curso do Parao peba.
CERADO (LATO	Nas imagens do canal MSS 5, es ta unidade aparece em tom de cinza médio, entremeado de man chas claras. A textura fotogra fica é bastante heterogenea.	A vegetação encontrada nesta unida de não difere mui to da unidade anterior; o grau de alteração é muito elevado principal mente na várcea do São Francisco on de a ocupação hu mana com fins agrito a vegetação na tural.	Os tipos de vege tação encontrados foram o cerrado. campo limpo, pas tagem, campo sujo de cerrado e mata ga leria. Foram também encontradas âreas agricolas e manchas de solo nú.	linas suavemente onduladas a ondu ladas.	O relevo e de co A densidade hidrogra linas suavemente fica e levada e os ca onduladas a ondu nais de drenagem apreladas. Sentam cursos pequenos.	A área de ocorrência des ta unidade é a várzea do São Francisco e o alto curso desse río.

TABELA 4.13

DESCRIÇÃO INTEGRADA DA ĀREA DE ESTUDO

UNIDADE	REDE DE CRENAGEM	GEDLOGIA	MORFOLOGIA	0708	VEGETAÇÃO	ALTITUDE MEDIA
111t1	Padrão: subdendrītico Comprimento dos canato: longo Frequência hidrográf <u>í</u> ca: pequena Distância entre os ca naie do drenagen: gran de Entalhe vertical: gran de	Faltam informações	Tipo de relevo: tabular Faltam informações Vercentes: retilineas Raquas: abruptas, com extensão média a longa	Faltam informações	Tipos: 1-Campo sujo de cerrado 2-Campo limpo 3-Pastagem 4-Mata galería	m 0611
т _т	Padrão: subdendrītico Comprimento dos canais: longo Frequência de rice: pe quena Distância entre os os nois de drenagem: gran de Entalhe vertical: peque		gráficas: Jecherturas Indefe retevo: tabular 1-Pedogénese: colúvio Tipos: 1-Coberturas Indefe retentes: retilinea cor: vermelho-escura 1-Hatu renciadas, Pleistocénia fompos: abruptas, com rentura: argilo-are 2-Cerrenciadas, Pleistocénia grandes extensões nosa profundidade: mais de 4-Cam (Grupo Bambuí) 2-Formação Paraopeba 2-Formação Paraopeba 2-Formação Profundidade: mais de 5-Cam (Grupo Bambuí) 3-Cam rado 1-A cam	1-Pedogenese: coluvio Tipos: Cor: vermelho-escura 1-Hata Textura: argilo-are 2-Cerradão nosa Profundidade: mais de 4-Cempo cerrado 2 m 5-Cor vermelho-amare 6-Campo sujo de 1a Profundidade: 1,5 m 7-Campo sujo de 7-campo sujo de 1a Textura: siltico-argi 8-Reflorestamento 10-arenosa OBS: mancha de sola	vio ripos: a 1-Hata 1-Hata 2-Cerradão de 4-Campo cerrado 5-Campo cerrado alte rudo are 6-Campo sujo de cer rado 7-Campo sujo de cer rado 7-Campo sujo de cer rado 8-Reflorestamento 085: mancha de solo nú	m 009

Tabela 4.13 - Continuação

ALTITUDE MEDIA	740 at 250 at 25	pas 690 m
VEGETAÇÃO	7:pos: 1 - Campo sujo de cerrado 2 - Campo limpo 3 - Pastagem 4 - Cerrado (2:100 eem eu.) 5 - Campo sujo alterado 6 - Áreas agrícolas 0BS: foram encontradas manchas de solo expos	7:pos: 1 - Campo limpo e pas tagem 2 - Campo sujo de cer rado 3 - Areas agricolas
SOLO	Faltam informações	Faltam informações
MORFOLOGIA	Tipo de refevo: tabular Vertentes: retilineas a Convexas Rampas: com extensão m <u>e</u> día OBS: Esta unidade pare Ce estar num estágio inicial de dissecação.	Tipo de relevo: tabular Faltam informações Convexas Convexas Acquas: com pouca exten São 005: esta unidade pare ce estar num estágio avançado de-dissecação.
GEOLOGIA	graficate lifo-estrati graficats 1 - Coberturas indife renciadas Terciárias / Quaternárias 2 - Formação Paraopeba (Grupo Bambui)	Faltam informações
REDE DE DRENAGEM	Padrae: Subdendritico e dendritico e Comprisonto dos carais: de médio a longo. Frequência de rios: mê dia Distância entre co ca nais: média Entaihe vertical:peque no	Pairão: dendritico Corputaento dos acrais: pequeno Frequência dos rico: al ta Distância entre ce ca rais: pequena Entalke vertical:peque no
UNIDADE	1,11	1.

Tabela 4.13 - Continuação

ALTITUDE MEDIA	E 089	1050 a
VEGETAÇÃO	Pedogênese: colúvio Tipos: Cor: vermelho-escura 1 - Campo cerrado Espesauva: 1 metro 2 - Campo limpo e pas Tertura: 51 tico-argilo 3 - Cerradão (Lato sen sa ou argilo-siltosa suj alterado	Pedogénese: Colúvio Tipos: Cor: vermelho-amare 1 - Campo cerrado (La la la to senou) Textura: arenosa 2 - Mata e cerradão Espessura: 2 metros
2010	Pedogênese: colúvio Cor: vermelho-escura Espessura: 1 metro Tertura:siltico-argilo sa ou argilo-siltosa	Pedogênese: colúvio Cor: vermelho-amare la Textura: arenosa Espessura: 2 metros
MORFOLOGIA	Tipo de relevo: tabular Pedogênese: coluvio Sartentos: retilineas a Cor: vermelho-escura Convexas Espesaura: 1 metro dia Textura: siltico-argii sa ou argilo-siltosa	reicuo: tabular com "front" dade residual, ena extensão.com avançado de dis
GEOLOGIA	Faltam informações	Dridades lito-estrati Tipo de graficas: 1 - Formação Mata da medía Corda (Turoniano-Seno abrupto niana) OBS: un de peque estagio secação
REDE DE DRENAGEM	Padrão: dendritico Comprimento dos caraís: medio Frequenda de rice: me dia Distância entre os ca rais: media	Comprimento des conate: rios principais com cur sos longos e rios se cundarlos com cursos pequenos com cursos pequenos de rios: média curso e caracter de rios: média entre os caractes media entre os caractes entre os
UNIDADE	T ₂ 11	. 171

Tabela 4.13 - Continuação

ALTITUDE MEDIA	cer 670 m	Cer 676 m
VEGETAÇÃO	Tipos: 1 - Campo sujo de cerrado 2 - Campo limpo e pass tagem 3 - Manchas de cerrado 4 - Areas agricolas	Tipos: 1 - Campo sujo de cerrado 2 - Campo limpo e pas tagem
200	Faltam informações	Faltam informações
MORFOLOGIA	Unidades Lito-estrati Tipo de relevo: colino Faltam informações gráficas: 1 - Coberturas Indife Vertentes: Côncavo-con renciadas, do Pleisto vexas ceno/Holocem - Associação Gnáissi de grande extensão ca-Mignattitica, Prê-cam de grande extensão briano indiferenciado	Tipo de relevo: colino Faltam informações so versentes: côncavo-con vexas Parque: suaves, com ex tensão média a longa
GEOLOGIA	Unidades Lito-estrati Tipo de relevo: colino gráficas: 1 - Coberturas Indife Vertentes: côncavo-con renciadas, do Pleisto vexas renciadas, do Pleisto vexas 2 - Associação Gnáissi Rampas: muito suaves e ca-Migmalitica, Pre-cam de grande extensão briano indiferenciado:	e Faltam informações
REDE DE DRENAGEM	Padrão: paralelo Unidades Lite Comprimento dos carates: 1 - Cobertura Inception dos rios: pe cenofades. do quena Carate os ca Magnatitic Estánte grande.	Fadrado: dendritico e Subdendritico Comprimento dos canale: longo a medio Frequencia da rior: me dia Distancia entre co ca nuie: media
UNIDADE	III.	C,111

Tabela 4.13 - Continuação

Unicazies (sto-estrati Tipo de relevo: colino Faltam informações gráficos: So la Rampas: com pequena ex l'estado Bambul) tensão
Faltam informações

Tabela 4.13 - Continuação

UNIDABE	REDE DE DRENAGEM	GEOLOGIA	MORFOLOGIA	SOLO	VEGETAÇÃO	ALTITUDE
15	Padrao: dendritico e re tangular-dendritico Comprirmanto doc consis: longo (rios principals), pequeno (rios de pri meira ordem) Frequência de rios:ele vada Listância unive oe ca naie: pequena Entalhe vertical: médio	Unidades graficates 1 - Cobert renciadas, Ortennária 2 - Formac Cretaceo A no 3 - Formac rias (Grup rias (Grup ca-Migmati	Unidades lito-estrati Tipo de relevo: coling gráficads. 1 - Coberturas Indife Vertentes: convexas a quaternário. 2 - Formação Areado: Respae: com pouca exten creaceo Aptiano-Albia são. 3 - Formação Três Na rias (Gupo Bambuí). 4 - Associação Gnáissi ca-Migmatitica, Prê-cam	Faltam informações	Tipos: 1 - Campo cerrado alterado 2 - Campo sujo de cerrado alterado 3 - Cerrado (Lato seman) alterado 5 - Campo limpo e pastagem 6 - Campo cerrado 7 - Cerrado (Lato semen) 8 - Areas agricolas e reflorestamento 0BS: manchas de solo nú	712 m
- E	Fadrão: dendrítico Comprimento dos camais: principais (médio), se cundários (pequeno) Frequência de rios: ele vada Dictância entre os ca mais: pequena Extalúa ventical: gran de	Unidades gráficae: 1 - Formac rias (Grup	lito-estrati Tipo de relevo: colino so Três Ma Vertentes: convexas o Bambul) Rampae: de pequena extensão	Eopeseura: 1,5 m	Tipoe: 1 - Campo cerrado 2 - Manchas de cerrado 085: Areas de solo ex posto	676 a

Tabela 4.13 - Continuação

ALTITUDE MEDIA	£ 128	e 008
VEGETAÇÃO	Tipos: 1 - Manchas de cerrado 2 - Campo cerrado alterado 3 - Campo sujo de cerrado 4 - Campo limpo e pastagem 5 - Areas agricolas e	Tipos: 1 - Cerrado (Lato sencu) 2 - Algumas áreas de cam po cerrado 3 - Campo cerrado alte rado 095: grande ocorrência de solo exposto
SOLO	Faltam informações	Faltam informações
MORFOLOGIA	Tipo de reteporcolino so associado a ocorren cia esporadica de cris tas tas Concavo-convexas Rampas: com grande ex tensão	
GEOLOGIA	Oridades Lito-cotrati Tipo de releporcolino so associado a ocorren cia esporadica de cris (Grupo Bambul) 2 - Associação Gaissi Concavo-convexas a ca-Migmatítica, Prê-cam Garpas: com grande extensão	Unidades lito-estrati gráficas: 1 - Mata da Corda, Tu roniano-Senoniana 2 - Unidade de topo da forzação Paraopea, que se constitut numa tran sição para a formação Tres Marias 3 - Formação Paraopeba (Grupo Bambuí)
REDE DE DRENAGEM	Facingo: paralelo Comprimento dos canate: longo Froquena Quena Distância entre os ca maio: grande Entalhe vertical: gran de	Padrão: dendritico Corprisonto dos canaís: pequeno Frequêrsia de mios: ele vada Distância entre os ca nais: pequena Entalia versical: gran de
UNIDADE	CK3111	Ck ₃ 1

Tabela 4.13 - Continuação

ALTITUDE MEDIA	830 m	8 2 2 2 3 E 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
VEGETAÇÃO	Tipos: 1 - Campo cerrado 2 - Cerrado <i>izato sem</i> subalterado	Tipos: 1 - Campo cerrado al terado 3 - Cerrado (Lato sem ou) 4 - Cerrado (Lato sem ou) 5 - Cerrado (Stricoto sen ou) 5 - Cerrado alterado 7 - Campo sujo de cerrado 8 - Campo limpo e pas tagens 6 - Gereda a ocorrên cia de manchas no solo
501.0	Faltam informações	Cor: vermelha ou ama rela Especaux: varia de 30 cm a l m Textura: arenosa ou argito-arenosa OBS: ocorrência de con creções nodulares
MORGOLOGIA	So associado a cristas so associado a cristas Vertentes: Convexas Concavo-convexas Ampas: comextensão media	Tipo de relevo: colino so associado a ocorren cia de cristas a concavo-convexas Azepae: com pequenas extensões
GEOLOGIA	Faltam informações	Unidades Lito-estrati gráficas: - Formação Três Ma rias (Grupo Bambuï) 2 - Associação Gnãis sica Mignatitica (Prē cambriano) 085: āress de explora ção de minêrio de fer ro e manganês
REDE DE DRENAGEM	Fadrão: dendritico Comprimento dos canato: medio Prequência de ricos: me dia Diciânsia entre os ca raio de drenagem: media	Padrão: dendritico e retangular-dendritico Comprimento dos carafa: medio a pequeno Dissinata entre os carafa: pequena Eradine pertinal: médio Frequência de ritos: elevada
UNIDADE	CK211	CK2.1

Tabela 4.13 - Conclusão

ALTITUDE MEDIA	B 550
VEGETAÇÃO	So associado a ocorren cia esporadica de cris fatura: areno-argilo subscientes: convexas a convexas
2000	Cor: vermelho escura feztura: areno-argilo sa ou argilo-siltico -arenosa Espeseura: variando de l a 1,50 m l a 1,50 m creções nodulares
MORFOLOGIA	Tripo de releug: colino so associado à ocorren cia esporádica de cristas tas tas convexas a concavo-convexas a concavo-convexas de pouca extensão de pouca extensão
GEOLOGIA	Padrão: dendritico e Unidades lito-estrati 1700 de relevo: colino cor: vermelho escura 1700s: retangular-dendritico e unidades lito-estrati 20 associado a ocorren cia esporádica de cris 20 associado a ocorren cia esporádica de cris 20 argino-siltico 20 au argino-siltico 20 comparando de manganes de explora de ritos: ele con manganes de pouca extensão creções nodulares de con caracio de solo de s
REDE DE DRENAGEM	Pakrio: dendritico e retangular-dendritico comprimento dos cancis: varia de médio a peque proquencia de rios: ele vada pequena contre os cancis: pequena Entalha vertical: peque no
UNIDADE	1,1

Nesta região, predominam gnaisses da Associação Gnaissica Higmatítica (Pre-Cambriano). Esta rocha, em geral, está muito próxima a superfície, ou mesmo aflorando, dando origem por isso a solos rasos.Co mo, devido ao clima tropical, a lixiviação dos solos e intensa, estes são predominantemente acidos.

A vegetação original de toda a região (mata, cerradão,cer rado, campo cerrado) foi aos poucos cedendo lugar a uma vegetação do ti po 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", ocor rendo, desta forma, um despejo de detritos no rio Paraopeba, provenien tes dos locais de extração de minério de ferro. Além disso, observa - se nas cabeceiras do rio Paraopeba a ocorrência de processos de erosão ace lerada.

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 area 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 Subcaducifolia Tropical), servindo de proteção para os solos.

Conforme salientado, esta vegetação vem sendo gradualmen te desbastada para dar lugar a pastagens, principalmente nas cabeceiras do rio Paraopeba. Estas últimas oferecem proteção ao solo, diminuindo o escoamento superficial. Porêm, o pisoteio intensivo do gado pode cau sar 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 traba lhos 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 agrico las ou de pastoreio, os processos de ação mecânica começam a agir de for ma mais intensa, principalmente após periodos de intensa pluviosidade, dando origem a voçorocas. Este material detritico é transportado para o Paraopeba pelo escoamento superficial.

Área de desmatamento e solo exposto com processos de erosão acelerada

Esta area esta localizada proxima ao reservatorio de Três Marias, correspondendo as unidades de relevos de colinas e de colinas associadas a ocorrencia de cristas (Ck_3I , Ck_2I , Ck_1I , e C_3I).

A cobertura vegetal original existente nas colinas consi<u>s</u> te em: cerrado, campo cerrado e campo sujo de cerrado. Esta cobertura e<u>s</u> t<u>a</u> extremamente alterada, tendo sido desbastada para a produção de ca<u>r</u> vão vegetal, destinado <u>as</u> siderurgicas.

Com a devastação da vegetação original, surge gradativa mente 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 as margens dos rios, formando as matas galeria, que nesta area são bastante frequentes.

Comparando-se as imagens LANDSAT do período seco, nos <u>a</u> nos de 1973 a 1978, constata-se que esta <u>area</u> de desmatamento e de <u>so</u> lo 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 Indaia, <u>A</u> baete, 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 tropi cal quente, com um período seco de 5 a 6 meses (1500 mm de chuvas <u>a</u> nuais); 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 e o tipo de solo. Os encontrados nesta area geralmente são pobres, do tipo argiloso, produto final da decomposição de ardosias do grupo Bambuí ou provenientes de siltitos do mesmo grupo (Menezes et alii,1977), os quais, aliados as 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 Capitulo 1 foi salientado que a alternância sazonal das precipitações é um elemento importante dos processos de escultura ção do relevo, nas áreas de campo cerrado.

Durante a estação chuvosa nesta ârea, a vegetação :prote ge o solo da erosão pluvial, favorecendo a infiltração e a alteração química. Esta produz um manto de alteração de l a 2 metros de espessura.

No fina? da estação seca, conforme pode 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 e 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 areas de solo ex posto é dendritico, a densidade hidrografica é elevada, e os rios apres sentam cursos de pequeno comprimento. Isto, sugere terrenos impermea veis, pouca infiltração da agua da chuva e, consequentemente, um alto coeficiente de escoamento superficial.

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

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

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

cial concentra-se nas vertentes (erosão linear), esculpindo fundas ravinas. Assim, no final do período chuyoso, quando os horizontes subsuper ficiais impermeáveis estão saturados, ocorrem os movimentos de massa; a medida que estes horizontes forem saturando, os processos erosivos tornar-se-ão mais intensos, maiores quantidades de detritos serão trans portados. 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 Indaiã, abastecedores do reservatório de Três Marias. Este tipo de erosão é acelerada, em geral, pela ocupação humana desordenada, como o desmatamento indiscriminado.

3) Area agricola e de despejos industriais

Esta outra área fornecedora de sedimentos para o reserva tório 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 altera da.

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 temperatu ras mais amenas e favorecem as precipitações. Aliado a isto, há provavel mente a ocorrência de solos férteis, que permitem assim um maior aden samento da cobertura vegetal, bem como o surgimento das vegetações de campo. Por este motivo, apesar de serem observadas áreas de solo expos to 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 agricolas.

Nas areas de atividades agricolas, encontram-se extensas culturas de cana-de-açucar, milho, feijão, mandioca e cafe. Observam - se também areas de reflorestamento com eucalipto. Estas areas de agricultura aumentaram a sua extensão de 1973 para 1978, principalmente na varzea do rio São Francisco, conforme constatação feita através das ima gens LANDSAT.

Esta região apresenta os mesmos processos morfogenéticos da região anterior, uma vez que possui características semelhantes. Po rem, 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 $({^C_2}^{II}, {^C_2}^{I}, {^C_1}^{III}, {^C_1}^{I})$ ou colinas associadas à ocorrência de cristas $({^Ck_2}^{I}, {^Ck_2}^{II})$, com exceção de algumas áreas, banhadas por afluentes do São Francisco, que apresentam formas tabulares $({^T1}^{III})$.

A drenagem caracteriza-se, em geral, por um padrão den drítico, com exceção da margem esquerda do rio São Francisco, que a presenta 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 permeã veis e, consequentemente, um escoamento superficial mais moderado.

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

A litologia desta região é semelhante a da anterior, sen do 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-Ho loceno, e aluviões recentes. Conforme mencionado anteriormente, o escoamento superficial difuso constitui-se no principal processo de elaboração do modela do dos relevos recobertos pelos campos cerrados. Porem, 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 cober tura vegetal herbácea-arbustiva densa durante o ano todo, apesar da al ternância de estações (seca-chuvosa), e esta exerce uma eficaz proteção contra a lavagem dos solos e o escoamento superficial mais intenso du rante as primeiras chuvas na área.

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

Desta forma, havendo uma maior infiltração, ha uma di minuição do escoamento superficial, favorecendo a alteração quimica e diminuindo a ocorrência de processos de erosão acelerada.

Nesta região, no entanto, ha uma atividade agricola mui to intensa, e os agricultores costumam utilizar o final do periodo se co (agosto/setembro) e o inicio 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 inicio de novembro, quando ja se iniciaram as chuvas na area.

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 a fluentes do São Francisco, pelo escoamento superficial.

Na varzea do rio São Francisco, na sua margem esquerda, ob serva-se uma grande plantação de cana-de-açucar, destinada ao abasteci mento de uma usina de açucar e alcool. Pelas imagens LANDSAT, pode - se observar que a area plantada aumentou de 1973 para 1978. Esta, localizase as margens do rio São Francisco e de um dos seus afluentes, o rio Santana. Provavelmente, a maior parte do material detritico proveniente desta plantação, e os residuos da usina devem ser transportados para es tes rios.

Area agricola e de destamento

Uma outra area fornecedora de sedimentos para o reserva tório 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 ha também uma intensa atividade agricola, que esta destruindo as poucas areas remanescentes de cobertura vege tal 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 vegeta ção mais densa teve o seu tamanho muito reduzido (aproximadamente 60 km² em 1973 e 40 km² em 1978). A vegetação mais densa aparece sob forma alterada (cerrado alterado, campo cerrado alterado, campo de cerrado alterado) após a interferência humana que, somada aos solos, geralmente de natureza acida, fazem com que a vegetação mais densa da lugar a uma vegetação mais pobre e menos densa (pastagem). A vegeta ção de mata restringe-se, cada vez mais, a faixas ao longo de rios ta galeria).

Na area predominam as seguintes formas de relevo: col \underline{i} nas (C_1 I e C_2 I) ou colinas associadas a cristas (Ck_2 I). A drenagem \underline{a} presenta um padrão retangular-dendritico, alta densidade hidrografica, rios com cursos de comprimento medio a pequeno, sugerindo a presença de rochas impermeáveis e, consequentemente, um escoamento superficial \underline{e} levado.

Algumas areas, 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 me tros.

, Sabe-se que, nas regiões de dominio florestal, os proces sos morfogenéticos atuantes são guiados pela decomposição química, que perde a sua importância à medida que as áreas se interiorizam, e a ocor rência de uma estação seca mais prolongada e a retirada da cobertura ve geral favorecem o surgimento de processos mecânicos. Conforme a intensi dade dos processos erosivos, o manto de alteração é mais ou menos es pesso.

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 al ternância das estações não é tão marcada como na segunda área analisada porém, há uma diferença sensível entre o período seco e o chuvoso. A lém desta característica climática nesta região predomina a Flores ta Subcaducifólia TropicalAssim à maior umidade, a atuação da meteoriza ção química propicia o surgimento de mantos de intemperismo mais espes sos.

Porem à medida que esta cobertura vegetal vai sendo substituída por pastos e lavouras, vão surgindo os processos de ação $mec\hat{a}$ nica, 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 Parã, 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 Parã.

Infelizmente a presença de reflorestamento na região é muito pequena e não substituem as areas florestais que estão sendo dizi madas.

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

4.1.5 - CARACTERÍSTICAS PLUVIOFLUVIOMETRICAS DA BACIA DO RESERVATÓRIO DE TRES MARIAS, EM FUNÇÃO DO TRANSPORTE DE PARTÍCULAS SÓLIDAS

A intensidade do fenômeno do transporte de material de pende da quantidade e duração das chuvas, estrutura e composição geo lógica do terreno, declividade e cobertura vegetal. Na análise feita na Seção 4.1.4, foram caracterizadas quatro diferentes áreas que forne cem 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 se cos dos anos de 1973, 1975, 1977 e 1978. Os períodos considerados referem-se a 3 meses antes da data da passagem do satélite, por caracteriza rem, de forma elucidativa, as respostas obtidas nas imagens, e por se rem 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 (m³/s) e sedimentos em suspensão (concentração mé dia-gr/l e toneladas/dia). Estas réguas fluviométricas estão localiza das em Porto Parã, no rio Parã; Ponte da Taquara, e Porto Mesquita no rio Paraopeba; e Porto das Andorinhas, no rio São Francisco (Figura 4.1).

A regua localizada no rio Para dista aproximadamente 10 km da confluência deste rio com o São Francisco. A regua que está loca lizada no rio São Francisco dista 96 km da confluência deste rio com o reservatório de Três Marias, e a regua que está no rio Paraopeba dis ta 135 km da confluência deste rio com o reservatório. Uma vez que es tas reguas estão situadas nos baixos cursos dos rios mencionados, a maior parte da descarga solida destes rios passa pelas reguas, o que se constitui em dados de grande utilidade para a análise do de sedimentos desta região.

Sabe-se que o regime dos rios que abastecem o reservato rio de Três Marias é essencialmente controlado pelo regime das precipi tações na região. Para que se tenha uma ideia de como é a destas últimas a Figura 4.2 apresenta gráficos ombrotérmicos de um ano característico (1978), obtidos a partir de dados de temperatura e preci pitação de cinco postos meteorológicos, cedidos pelo Departamento Nacio nal de Meteorologia. Nestes gráficos a estação seca, na região, aparece bem caracterizada nos meses de maio, junho, julho, agosto e Pode ser observado também o progressivo aumento da duração do periodo seco, para o norte da area de estudo. Na região da cidade de a estação seca prolonga-se por 3 a 4 meses, jã em Curvelo, mais ao te, sua duração e de 5 a 6 meses, com uma diminuição total de precipita ções também neste sentido.

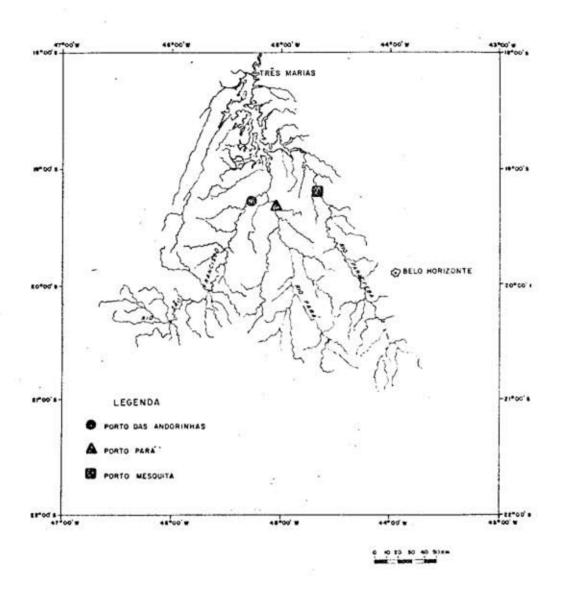


Fig. 4.1 - Localização das réguas fluviométricas nos rios São Francisco, Para e Paraopeba.



Com a finalidade de caracterizar melhor o comportamento dos rios São Francisco, Parã 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 da dos mensais de precipitação e temperatura, coletados no posto meteoro lígico 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 me ses de junho, julho e agosto. Neste período é comum ocorrer durante três ou quatro meses indices pluviometricos de 0.0 mm.

A diminuição nos totais de chuvas para o mes de feve reiro, observada nas Figuras 4.3 e 4.4 tem caráter esporádico, ocor rendo normalmente pluviosidade elevada neste mes.

Havendo uma diminuição considerável no total de precipitações, em relação ao período chuvoso, haverá também no período se co, 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 so 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

POSTO METEOROLÓGICO DE BAMBUÍ ANO 1977 GRÁFICOS ELABORADOS A PARTIR DE DADOS FORNECIDOS PELO DNM

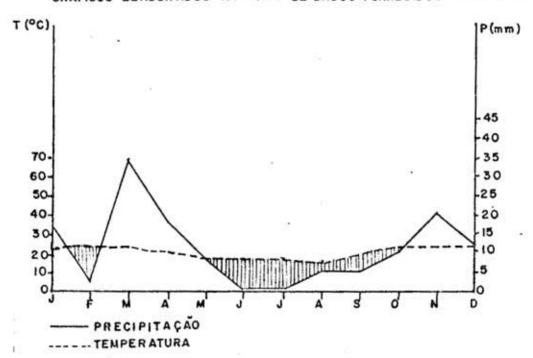


Fig. 4.3 - Caracterização da estação seca e chuvosa em Bambuí, de 1977.

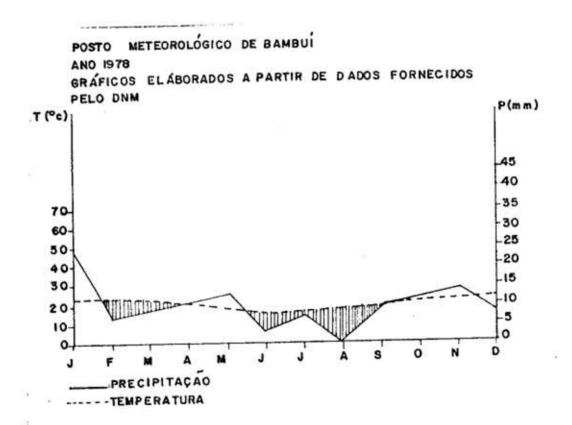


Fig. 4.4 - Caracterização da estação seca e chuvosa em Bambuí, de 1978.

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 (perío do seco) e 1975 (período chuvoso).

Observando-se estas curvas, nota-se que ha uma sensível diminuição na vazão e na carga detrítica do período chuvoso para o seco. Nota-se ainda que, no decorrer do período seco, ha 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 su perficial. O aumento das precipitações aumenta o escoamento, provo cando um acréscimo no transporte de sedimentos.

A partir das curvas referentes ao período chuvoso em 1977 até as 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, pode-se constatar que durante os períodos chuvosos nem sempre os máximos apresentados pela descarga de sedimentos em suspensão coincidem com os máximos da descarga liqui da, 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 de erosão (ou seja, aumento de sedimentos em suspensão). Ou talvez, de va-se a alguma possível forma de interferência antrópica no despejo de detritos no rio.

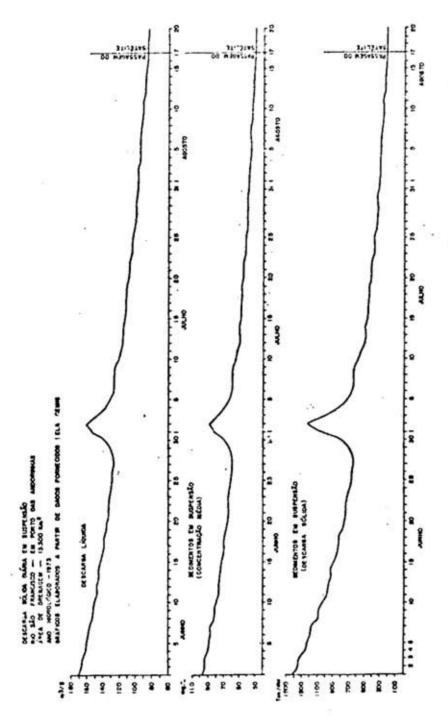


Fig. 4.5 - Curvas de descargas líquida e sólida do rio São Francisco, do periodo seco, ano de 1973.

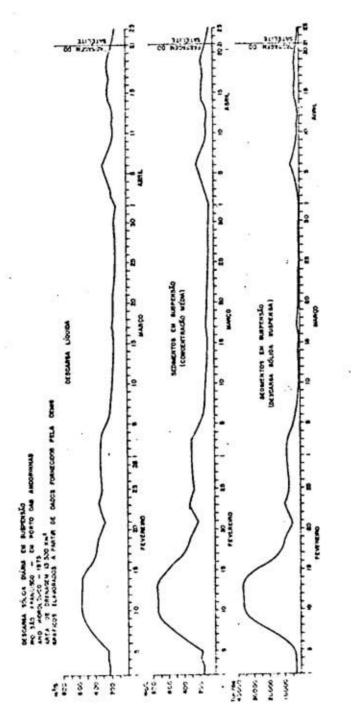


Fig. 4.6 - Curvas de descargas líquida e sólida do rio São Francisco, durante o período seco, de 1975.

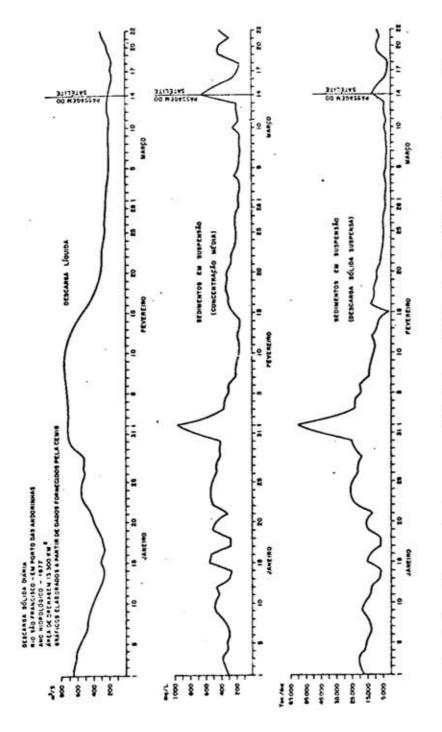


Fig. 4.7 - Curvas de descargas líquida e sólida do rio São Francisco do período chuvoso do ano de 1977.

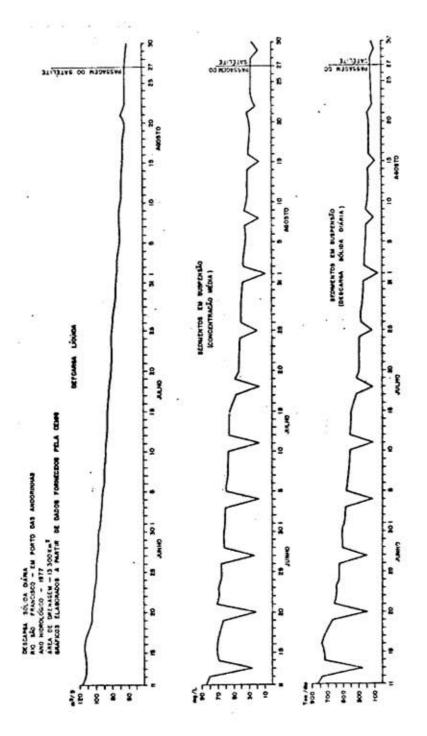


Fig. 4.8 - Curvas de descargas líquidas e sólidas do rio São Francisco, durante o período seco de 1977.

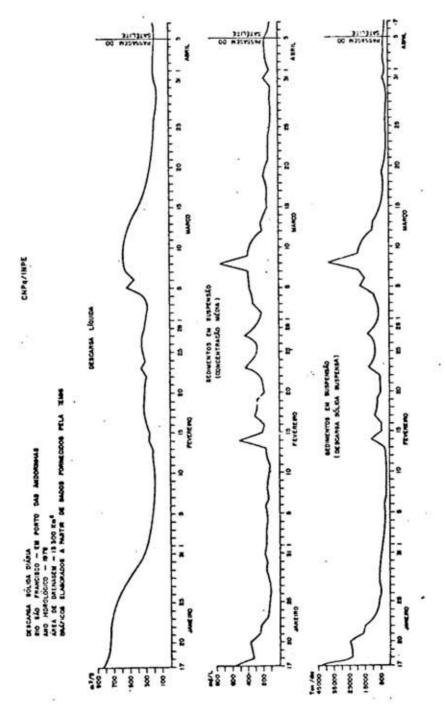


Fig. 4.9 - Curvas de descargas líquidas e sólida do rio São Francisco, durante o período chuvoso, em 1978

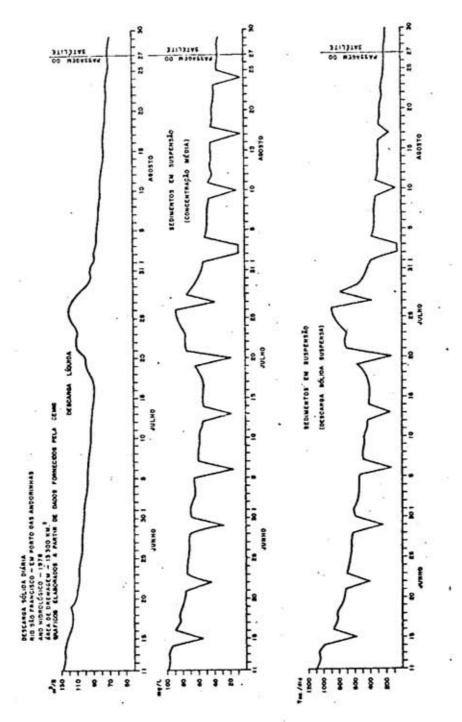


Fig. 4.10 - Curvas de descargas líquida e sólida do rio São Francisco, durante o período seco, em 1978.

Ao analisar as curvas do período seco, pôde-se constatar, pela forma periodica em que os máximos da carga de sedimentos em sus pensão aparecem, que ocorreu alguma forma de interferência mais direta na produção da carga detrítica transportada para este rio. Notou-se tam bêm que à medida que a descarga líquida diminuiu, a descarga sólida tam bêm 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 La goa da Prata, e ao longo do rio Santana (afluente da margem direita do São Francisco), a ocorrência de grandes plantações de cana-de-açucar e, na cidade de Luciânia, quase as margens do rio Santana, uma usina produ tora de açucar e alcool. Associando-se este fato ao comportamento perió dico das descargas sólidas do rio São Francisco, pode-se supor que tal comportamento se deva ao despejo de detritos desta usina na corrente do rio Santana. Salienta-se também que no periodo seco realiza-se o corte da cana, e que contribui também para o despejo de carga detritica no rio.

Estes máximos apresentam um decrescimo a cada sete dias. No ano de 1977 estes decrescimos 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 regua fluviometrica e de aproximadamente 160 Km. Levando-se em consideração esta distância, possivelmente durante o ano de 1977, a usina de açucar deveria diminuir o despejo de detritos no rio Santana aos domingos e, pe la distância entre a usina e a regua fluviometrica, este fato so foi registrado na segunda-feira no local da regua. O mesmo aconteceu no ano de 1978, o despejo de detritos deve ter diminuído nas quartas-feiras e foi acusado na regua ãs quintas-feiras.

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

2) Rio Para

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

A Figura 4.11 apresenta as curvas de descargas líquida e sólida durante o período seco em 1973. A Figura 4.12 apresenta estas mes mas 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,observase 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 reserva tório 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 precipita ção 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.

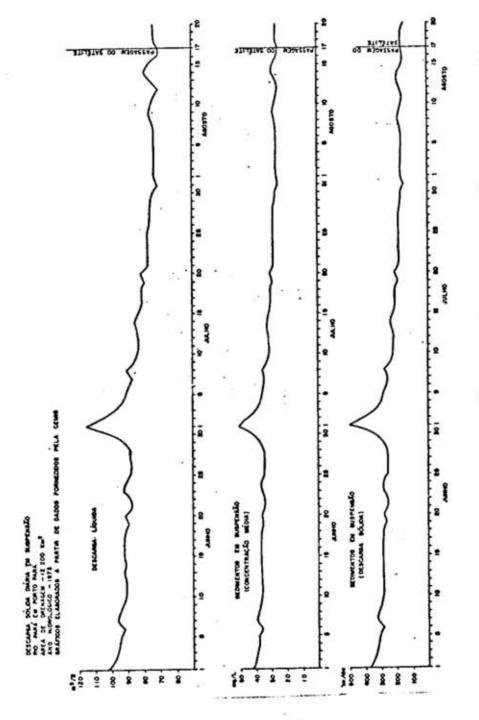


Fig- 4.11 - Curvas de descargas líquida e sólida do rio Pará, durante o período seco, em 1973.

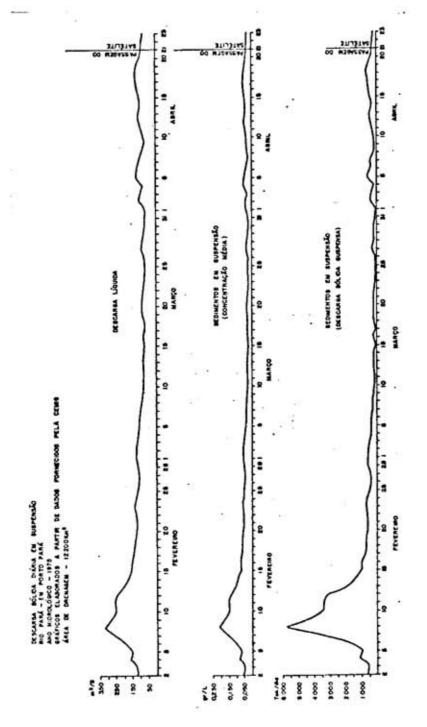


Fig. 4.12 - Curvas de descargas líquida e sólida do rio Parã, durante o período ch<u>u</u> voso, em 1975.

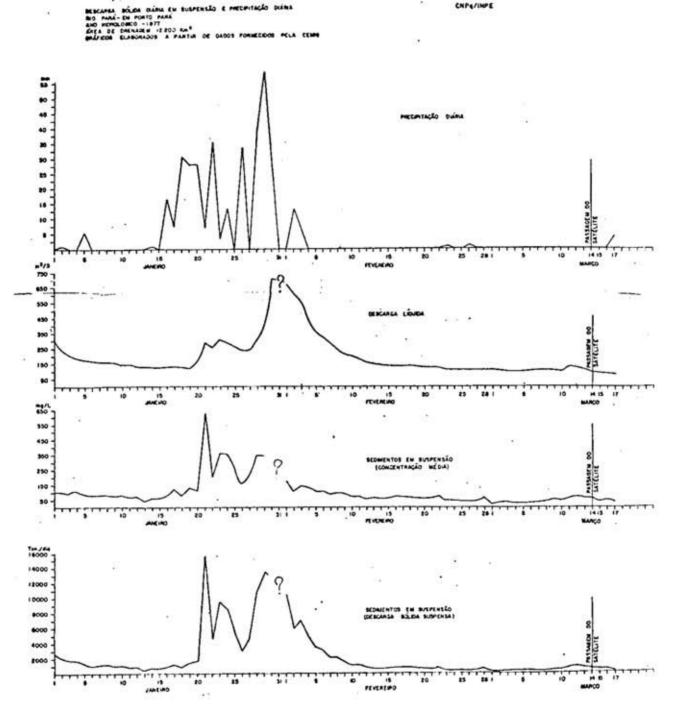


Fig. 4.13 - Curvas de precipitação diária e de descargas líquida e s \overline{o} lida do rio Pará, durante o período chuvoso, em 1977.

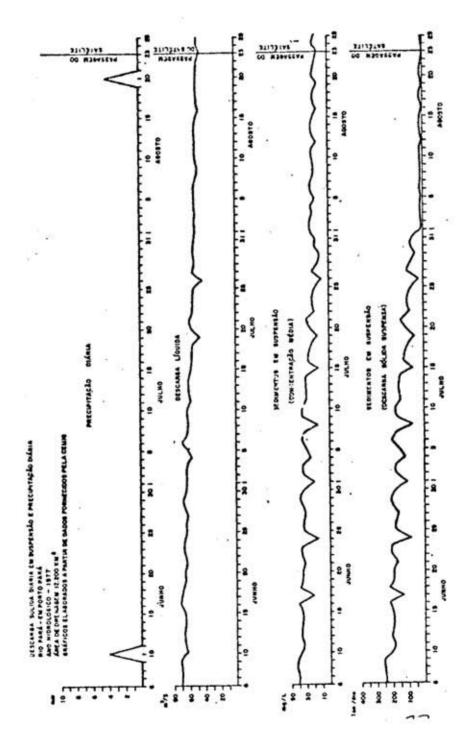


Fig. 4.14 - Curvas de precipitação diária e de descargas líquida e sólida do rio Pará, durante um período seco, em 1977.

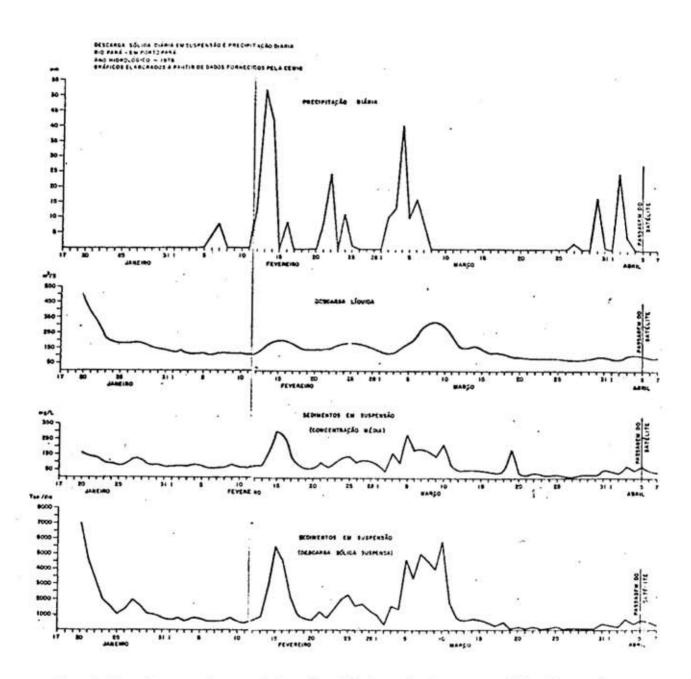
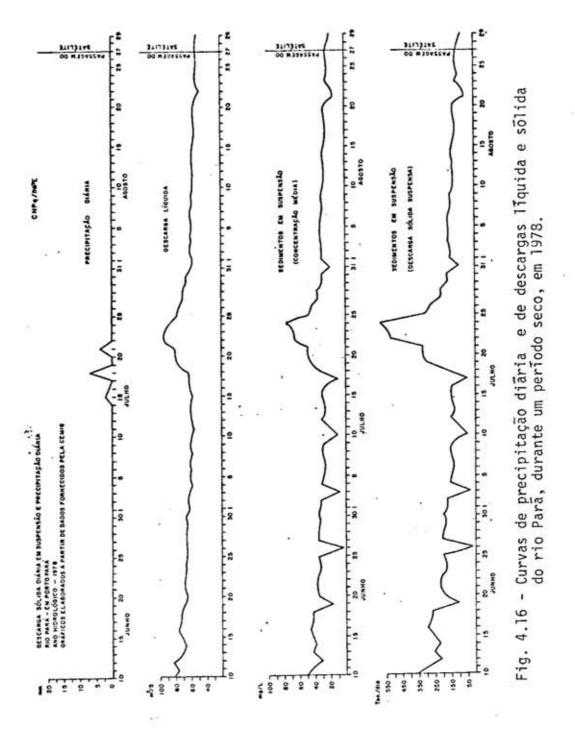


Fig. 4.15 - Curvas de precipitação diária e de descargas líquida e so lida do rio Para, durante o período chuvoso, em 1978.



As curvas do período chuvoso em 1977 apresentam altos va lores para todos os dados, reforçando o que foi mencionado no Capítulo 2, ou seja, quanto mais intensas forem as chuvas, maiores serão as des cargas líquidas e a produção da carga detrítica. Além disso, quanto mais tempo transcorrer entre um período chuvoso e outro, mais intenso serã 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 solida, ha um espaço de tempo (3 dias) sem informações; porém, pela curva de precipitação, su põe-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, apresen tam comportamento semelhante as do ano de 1977.

Observando-se as curvas dos períodos secos dos anos de 1977 e 1978, pode-se notar um comportamento periodico nas curvas de des carga solida como o encontrado no rio São Francisco, porem não tão acen tuado. Isto provavelmente é devido à abertura das comportas da represa do Cajuru, localizada no alto curso do rio Para, no município de Carmo do Cajuru. Com o despejo das aguas deste reservatório, a carga de sedi mentos em suspensão e o material de fundo do leito do rio Para são re volvidos, postos na corrente e transportados em direção ao rio São Fran cisco.

Durante o período seco isto $\bar{\rm e}$ feito de forma mais períodica, a fim de que o nível do rio Para seja mantido. Observou-se que du rante o período chuvoso, estes máximos na descarga solida, em geral, coincidem com máximos acentuados de precipitação, quando as comportas são a bertas, não permitindo que as águas ultrapassem o limite máximo de capa cidade 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 solida apresentou comportamento semelhante ao da descarga líquida, isto \tilde{e} , com au mento da ultima houve o consequente aumento da primeira.

Apesar de não ter havido dados durante 3 dias, para as curvas durante o período seco em 1973, o comportamento da curva faz su por 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 hã dados de descargas líquida e solida, deste rio, durante o período seco de 1978.

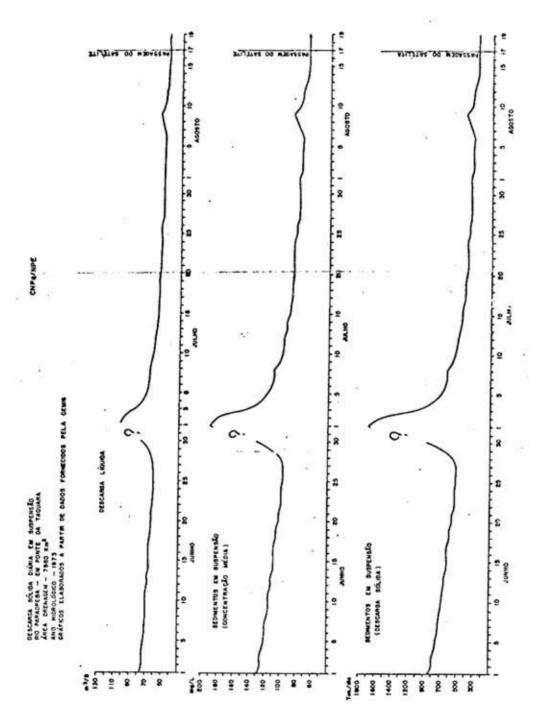


Fig. 4.17 - Curvas de descargas líquida e sólida do rio Paraopeba, durante o período seco, em 1973.

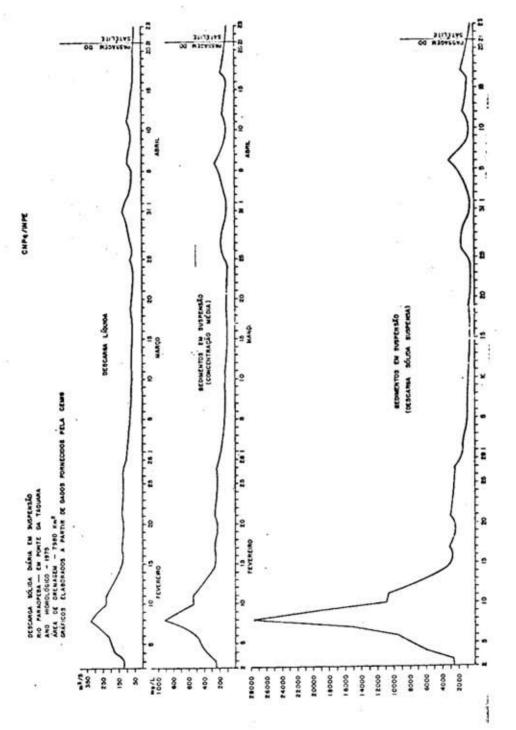


Fig. 4.18 - Curvas de descargas líquida e sólida do rio Paraopeba, durante o período chuvoso, em 1975.

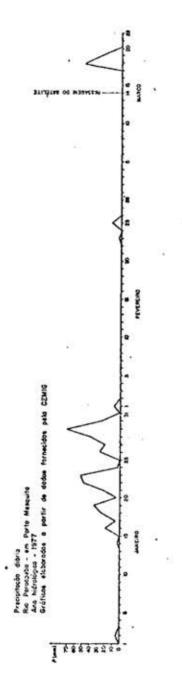
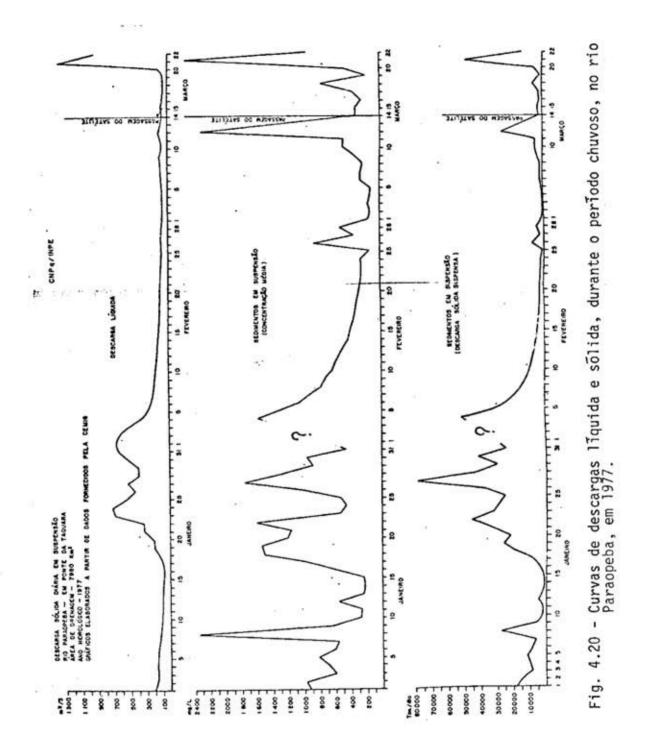


Fig. 4.19 - Curvas de precipitação diária, durante o período chuvoso, em Porto Mesquita no rio Paraopeba, em 1977.



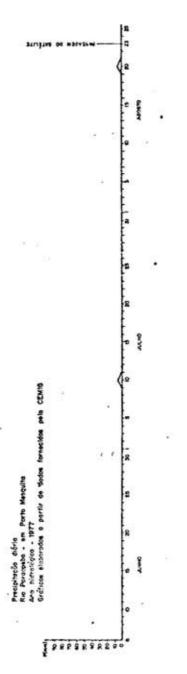


Fig. 4.21 - Curva de precipitação diária, durante o período chuvoso, em Porto Mesquita no rio Paraopeba, em 1977.

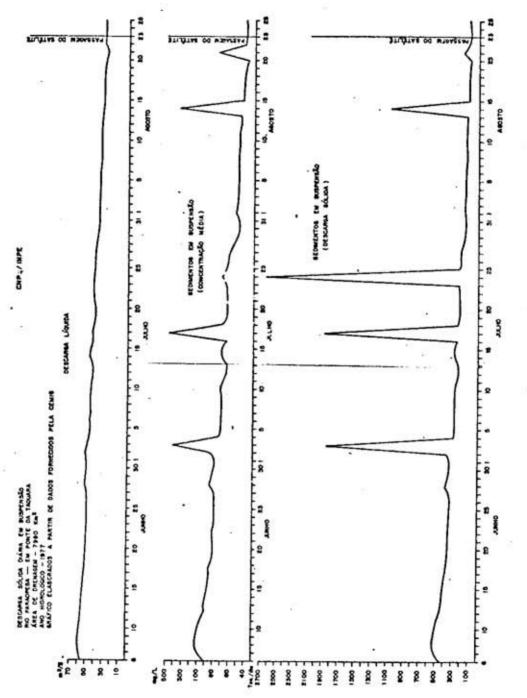


Fig. 4.22 - Curvas de descargas líquida e sólida, durante o período seco, no rio Paraopeba, em 1977.

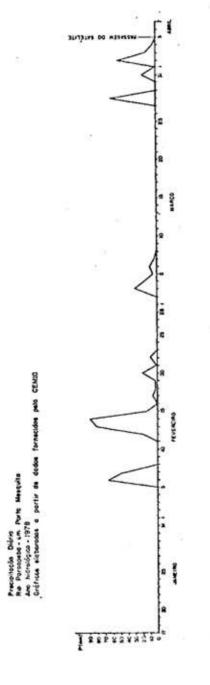


Fig. 4.23 - Curva de precipitação diária, durante o período chuvoso, em Porto Mesquita no rio Paraopeba, em 1978.

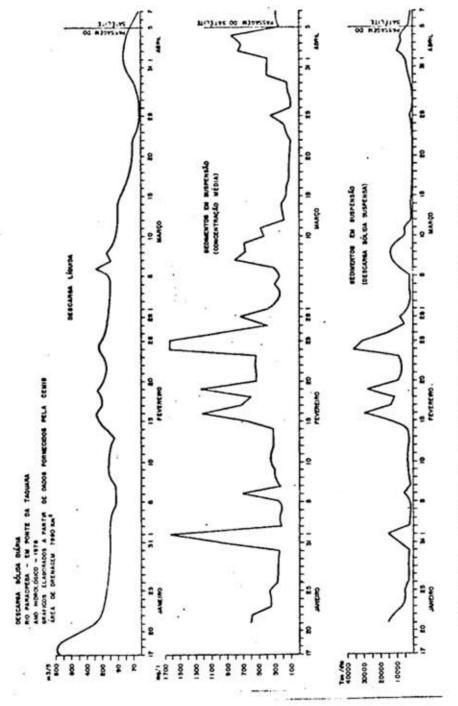


Fig. 4.24 - Curvas de descargas líquida e sólida, durante o período chuvoso, no rio Paraopeba, em 1978.

Pode-se constatar que, nos anos de 1977 e 1978, as curvas de descarga líquida e solida 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 periodo de 4 dias, em 1977 as curvas de descarga sólida referentes ao periodo chuvoso apre sentaram uma tendência para a ocorrência de um máximo de descarga nes ses 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 hã um considerável decrescimo tanto das precipitações, como das descargas líquidas.

Alem dos sedimentos produzidos pela mineração, ha também aqueles produzidos nas cabeceiras do rio Paraopeba, onde ocorrem proces sos 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 RESERVATORIO DE TRÊS MARIAS

Os mapas obtidos através da análise dinâmica do reserva tório de Três Marias são apresentados nas Figuras do Apêndice D.

4.2.1 - DADOS COLETADOS SIMULTANEAMENTE NO RESERVATORIO DE TRÊS MARIAS

Conforme o Capítulo 3, foram coletados dados de profundidade Secchi e de reflectancia d'agua 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' agua turbidos (100 mg/l de sólidos suspensos), a reflectancia de fundo não afeta a resposta espectral da agua, se o fundo tiver profundidades superiores a 30 cm.

No reservatório de Tres 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). Le vando-se em consideração esses fatos, pode-se afirmar que os dados co letados "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 super ficial do reservatório de Três Marias, obtidos através da interpretação automática dos dados LANDSAT.

As Tabelas 4.14, e 4.15, apresentam estes resultados pa ra 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 ma terial 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.

TABELA 4.14

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

ROTEIRO	PONTO	REFLECTÂNCIA					· PROFUNDIDADE	
		CANAL 1	CANAL 2	CANAL 3	CANAL 4	ESCALA	SECCHI EM METROS	
1	1.A	0,10	0,08	0,06	0,05	10²	2,75	
	1.B	0,14	0,07	0,08	0,07	10 ²	2,75	
	1.0	0,15	0,10	0,04	0,03	10²	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	10²	3,50	
	2.0	0,06	0,04	0,02	0,03	10 ²	4,00	
3	3.A	0,09	0,06	0,04	0,03	10²	2,25	
	3.B	0,09	0,07	0,03	0,03	10²	2,00	
	3.C	0,11	0,08	0.05	0,03	102	1,75 ·	
4	4.A	0,14	0,09	0,05	0,04	102	1,50	
	4.B	0,13	0,10	0,05	0,05	102	1,75	
	4.C	0,16	0,08	0,04	0,04	10²	1,25	
5	5.A	0,12	0,11	0,37	0,07	10²	1,75	
	5.B	0,07	0,07	0,04	0,03	10²	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	10²	0,50	
	6.B	0,12	0,16	0,09	0,09	102	0,50	
	6.0	0.18	0,22	0,09	0,06	10²	0,25	
7	7.A	0,11	0,09	0,04	0,03	102	1,25	
	7.B	0,21	0,19	0.09	0,07	102	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	102	1,50	
	8.8	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	

TABELA 4.15

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

ACTE IND	PONTO DE	PROFUNDIDADE SEED-E	LEST, SAS DE REFLECTANCIA D'ARMA					
ADICIAD	AHOSTAACEM	CH HETROS	CAR 1	THAL 2	CAME 3	CANT C	ESCAL	
,	1.4	4.0	0,06	3,05	3,04	0,03	102	
	18	4,0	90,0	0,07	2,05	0,25	102	
	1¢	2,0		•			102	
	24	3,5	0,05	2,04		50,0	102	
	25	4,3	0,05	0,03	50,0	0,02	102	
	sc.	4,5	0,06	0,04	\$0,0	50,0	102	
,	. JA	4,0	0,05	0,02	0,03	0,03	102	
	ж	3,5					102	
-01	×	3,0					102	
	41.	4,5	•			•	, 10 ²	
	4	4,0					102	
1	44	- 4,0			-		10,5	
	5A	2,5	0,06	0,07	0,05	0,04	102	
	58	1,5	0,05	0,07	0,05	0,04	102	
	sc	1,5	0,01	0,06	0,04	0,03	102	
	44.	4,0	0,05	0,03	0,01	50,0	102	
	60	2,0	80,0	0,05	0,03	0,03	. 10 ²	
	60	0,25	0,15	0,20	0,13	9,08	102	
,	7A .	4,0	0,17	0,14	0,11	0,10	102	
	78	0,0	•		-		102	
	×	0,30	•	•		• •	102	
•	84	2,5	0,10	0,10	0,10	0,01	102	
	60	2,0	0,09	80,0	0,01	9,07	102	
	ac ac	2,0	0,07	0,06	0,04	0,53	102	
•	94	5,0	0,11	2,39	0.07	0,07	102	

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 estu dos época em que o reservatório se apresenta com a camada de águas super ficiais bastante homogênea, não sendo observadas, visualmente, muitas variações de tons de cinza nas imagens MSS/LANDSAT. Isto provavelmente é devido ao fato de que durante o período seco, que nesta área varia de 3 a 6 meses, há uma menor descarga de sedimentos no reservatório 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, exce to quando há despejos industriais.

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

2) Cobertura orbital de 21/Abril/1975

Esta \cdot orbita refere-se ao período chuvoso na área de est \underline{u} do.

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

Fazendo-se uso do mesmo raciocínio aplicado à cobertura orbital anterior, admite-se que, havendo um aumento na precipitação du rante o período chuvoso, provavelmente haverá também um aumento na des carga 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 va riação na energia refletida, caracterizada pelas águas de superfícice.

Nesta orbita foram determinadas oito diferentes classes de nível de cinza, cujos valores médios e o mapa temático, obtidos <u>a</u> través 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 tama nho 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 Post ma (1967), a curva A da Figura 4.25, representa a "velocidade crítica de erosão", que é a velocidade mínima da corrente d'agua 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 trasnporte", ou "velocidade de deposição", sendo a mesma representada pela curva B des ta figura.

Analisando-se o comportamento da curva A, observa-se que,pa ra 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 facilmen te 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 a velocidade crítica de erosão e a menor velocidade de transporte são diferentes para os diferentes tamanhos de partículas. Assim, as partículas mui to finas podem permanecer em suspensão com velocidades extremamente peque nas, pelo menos durante o tempo em que a agua permanecer 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 ideia melhor da diferença do comportamento do reservatório de Três Marias nos dois períodos sazonais até agora analisados.

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

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

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

Com a diminuição das precipitações, ha também uma dimi nuição do debito fluvial, o que fatalmente implica na diminuição da capacidade do rio em transportar o material detrítico. Com isso, ape nas 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. Porem. 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 superfi cial d'agua, observada nas imagens LANDSAT.

Ja 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 quantitade maior de carga detrítica arrastada para os rios.

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

Pela Figura 4.25, observa-se que, de acordo com o tama nho da particula, há diferentes velocidades de transporte e deposição, o correndo 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 as particulas muito finas, apesar de exigirem também uma velocidade de transporte muito grande, podem permanecer em suspensão enquanto a agua estiver em movimento. Isto retarda a deposição destas particulas, permitindo que elas sejam transportadas a distâncias maiores.

Uma vez que o reservatório funciona como um decanta dor natural à medida que a pluma de sedimentos caminha, há uma deposição do material detrítico, de acordo com o seu tamarho 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 periodo seco na area de estudo, tendo sido a que apresentou menor variação de energia refletida (5 classes) sugerindo uma camada superficial d'agua 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 clas ses temáticas; a Figura D.4 apresenta as médias destas classes, bem como o mapa temático das mesmas, obtido através da impressora de li nhas 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 medios destas classes de distribuição espacial da variação do sinal eletromagnético, refletido por partículas em cada unidade de resolução, bem 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, sen do 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 coinciden tes 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 do ze 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).

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				
18	2,75				
10	1,25				
2A	4,00				
28	3,50				
20	4,00				
-3A	2,25				
3B	2,00				
3C	1,75				
4A	1,50				
48	1,75				
4C	1,25 1,75 2,00 1,75 0,80				
SA					
59					
5C					
6A					
6B	0,50				
60					
7A	1,25				
78	1,00 0,75 1,50				
7C					
8A					
88 -					
8C	1.75				

TABELA 4.17

MEDIAS, MATRIZ DE COVARIÂNCIA E VALORES DE PROFUNDIDADE SECCHI, REFEREN
TES À PASSAGEM DE 05/ABRIL/1978, PARA AS CLASSES DE NÍVEIS DE CINZA

CLASSES	-	M::45		MIRE	DE CC:20	I ALDELA	PROFUNDICAS
	MSS 4	W55 5	#55 B	-		-	SCCCHT (*)
				7.56	1.16	- 1.26	
1	57.26	83.11	40.82	1,16	2.27	1,49	0.25
				-1.26	1.49	3.17	
				3.25	2.59	-1,45	
1	54.89	74.19	29.70	2.32	2.99	-1.68	0.50
				-0.02	-1.48	. 2.62	
		0.000	Dans	1.95	0.09	+1.65	
,	61.00	67.88	28.74	0.09	3.07	-0.34	0.75
				-1.85	-0.34	9.24	
				7.10	0.51	0.14	E 77.
•	57.68	53.32	17.85	0.51	5.17	0.25	1.0 -
				0.74	0.25	1,67	
	***			21.20	19.21	3.83	
5	54.07	37.06	11.75	19.21	19.87	3.04	1.35
caració		San San		1.85	3.04	4.10	
				3.57	-0.57	3.59	
•	56.14	35.52	9.96	-0.57	4.33	0.13	1.50
oved				2.59	0.13	8.04	
		-		2.61	-0.26	0.07	1000000
,	45.,	D.N	7.96	-0.26	1.59	1.13	1.75
				0.07	1.13	5.60	
				6.12	-0.42	0.64	
	45.27	20.80	4.68	-0.42	1,69	1.07	2.00
20.20		5001.000		0.64	1.07	2.23	
			100	8.79	2.40	0.40	
	18.24	19.19	5.93	2.40	1.79	0.40	2.25
- 1	10	100		0.40	0.40	0.68	
		200	m 10 020	1.71	0.01	-0.51	
10	35.27	16.66	3.05	0.01	1.13	-0.19	2.75
			10-00000	0.51	0.19	1,70	
				4.68	1.03	-0.95	
11	26.43	13.72	4.40	1.08	3.62	-0.62	3,50
	- 1		1010000	-0.98	-0.52	2.26	
				12.85	2.17	-0.52	
12	28. 3	11.44	3.19	2.12	2.67	0.34	4.0
1	- 1	1 4		-0.52	0.34	1.56	

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 clas se 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 sepa radas estiveram as classes uma das outras, ou seja, quando houver pou ca ou nenhuma superposição de classes no espaço de separação, melhor se rã a classificação.

A Figua D.ōa 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 par tes 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 $n\bar{1}$ veis 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.

TABELA 4.18

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

100.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.							*						
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	æ	-	2	m	4	s	9	1	œ	6	10	=	12
100.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 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	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.	0.0	0.0	100,001	0,0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0,0	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	0.0	0.0	0,001	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	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 0,0 0,0 0,0 0,0 0	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
0.0 0.0 0.0 19.3 80,7 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.	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
0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 87,1 12,9 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0	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
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	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
0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 7,3 90,4 2,4 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 3,0 97,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0	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
0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 3,0 97,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0	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
0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0	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
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	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
	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

Apos os calculos dos valores medios de niveis de cinza sobre as seis linhas correspondentes a cada um dos canais do MSS, es tes foram utilizados para fazer uma análise de correlação com os valo res de profundidade Secchi.

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

7) Cobertura Orbital de 27/Agosto/1978

Esta passagem refere-se ao periodo 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 periodo do segundo trabalho de campo (periodo seco) realizado na area. 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, porem de maneira bem menos acentuada do que na passagem anterior.

Neste trabalho de campo foi acrescentado um ponto de <u>a</u> mostragem, devido a 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 medios de nível de cinza foram usados para fazer a análise de correlação com a profundidade Secchi.

TABELA 4.19

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

PONTOS		NIVEIS	DE CINZA	
DE AMOSTRAGEM	MSS 4	MSS 5	MSS 6	HSS 7
1A	17	7	1	1
18	21	10	2	1
10	27	17	. 4	1
2A	15	6	1	1
2B	14	7	3	2
2C	14	6	1	1
3A	21	10	3	2 .
38	25	12	3,5	1,5
3C	21	12	4	1,5
44	27	16	4	2
4B	18	12	6	4
4C	20	12	5	2
5A		-		
58	•			-
5C				
6A	30	32	7	4
CB	27	36	14	4
6C	28	41	20	5
7A	•		•	-
78	28	27	9	2
70	30	37	16	5
8A	24	18	7	3
88	24	20	8	3
80				-

TABELA 4.20

VALORES MEDIOS 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		NIVEIS	DE CINZA	
DE AMOSTRAGEM	MSS 4	MSS 5	MSS 6	MSS 7
1A	15	8	5	3
18	12	6	3	1
10	16	8	4	2
2A	16,5	8	5	3
28	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
48	16	8	5	3
4C	16	9	5 '	3
5A	17	9	5	3
58	16	11	6	4
5C	16	10	6	3
6A	16	8	3	2
68	18	12	7 .	5
6C	17	18	10	7
7A	15	8,5	4	3
78	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 amostiagem 3 A da Tabela 4.20 não apresenta in formação devido a problemas de cobertura de nuvem.

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

Apos 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,par tindo-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 1 apresentou 100% de classificação correta. Todas as outras classes presentaram sobreposição. Isto é perfeitamente compatível com o aspecto da superfície do reservatório, nesta época do ano. Por ser o período se co, a superfície d'agua apresenta-se bastante homogênea e a variação na concentração de sedimentos é muito pequena. Por este motivo, somente 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 da de forma continua, por exemplo, a classe 2 tem sobreposição com as classes 4 e 5 e não com a 3. Isto ocorre devi do a propria dispersão da pluma de sedimentos e as características da a rea de treinamento. Como osistema faz a classificação temática do em questão, baseado nas características contidas na área de treinamento e possível que não haja características da classe 3 e sim das classes 5 e 4, no trecho compreendido pela area de treinamento da classe 2. comportamento e valido para as outras classes também.

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
18	6,00
10	2,00
2A	3,75
28	4,50
20	4,50
3A	4,00
38	4,50
3С	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 .
78	3,00
70	0,30
8A	2,50
88	2,00
38	2,00
9A	5,00

TABELA 4.22

MEDIAS, MATRIZ DE COVARIÂNCIA E VALORES DE PROFUNDIDADE SECCHI, REFEREN

TES À PASSAGEM DE 27/AGOSTO/1978, PARA AS CLASSES DE NÍVEL DE CINZA

		MEDIA		WATER	7 DE COV	ADIZHCIA	PROFUNDIDADE
CLASSES	MSS 4	MSS 5	MSS 6	MAIKI	2 DE COV	ARIZNCIA	SECCHI (M)
	-			3,97	0,29	-0,19	
1	34,50	35,31	21,87	0,29	2,02	0,71	0,25
				-0,19	0,71	2,85	
				3,10	0,22	-1,23	
2	32,80	22,78	12,83	0,22	4,01	1,50	1,50
				-1,23	1,50	2,85	
				4,52	0,64	-0,44	
3	29,23	15,48	8,54	0,64	2,09	0,63	2,00
			*	-0,44	0,63	2,33	
			1.5	3,75	1,27	1,36	
4	28,03	17,08	9,36	1,27	2,98	1,98	2,50
				1,36	1,98	4,86	
				1,57.	-0,25	-0,16	
5	10,67	17,90	10.77	-0,25	0,80	0,03	3,00
				-0,16	0,03	1,02	
				1,50	0,00	0,30	
6	31,97	17,38	8,58	0,00	2,02	-0,16	4,00
				0,30	-0,16	4,59	
				0,78	-0,07	-0,52	
7	25,83	14,84	6,66	-0,07	3,33	0,31	4,50
				0,52	0,31	1,42	
				1,84	-0,22	-0,25	
8	24,87	13,24	5,38	-0,22	0,55	J,70	6,00
				-0,25	0,79	2,63	

TABELA 4.23

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

A	ω	z	-	2	က	4	2	9	7	œ
_	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	2,0	0,0	0,0	0,0
m		0,0	0,0	0,0	53,4	25,6	0,0	18,1	3,0	0,0
4		0,0	0,0	17,5	7,0	40,4	35,1	0,0	0,0	0,0
LD)		0,0	0,0	0,0	0,0	8,8	77,4	13,9	0,0	0,0
9		0,0	0,0	0,0	6,4	2,6	8,4	82,7	0,0	0,0
7		0,0	0,0	0,0	0,0	16,7	0,0	0,0	62,2	21,0
ω		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 Fazendo-se uma analise das matrizes de classificação correta, das passagens orbitais de 05/04/1878 (periodo chuvoso) e 27/08/80 (periodo seco), pode-se constatar que as classes (definidas a partir das amostras) referentes ao periodo chuvoso, foram melhor caracterizadas do que as referentes ao periodo seco.

No periodo chuvoso, quatro (4) classes apresentaram 100% de classificação correta e pouca superposição entre as outras classes.No periodo 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 periodo seco a camada superficial d'agua apresenta-se bas tante homogênea e a variação na concentração de sedimentos é muito pe quena. Por este motivo, torna-se mais difícil obter amostras que sejam representativas de apenas uma classe de níveis de cinza, ao contrário do periodo chuvoso onde a concentração de sedimentos é maior, facilitan do a caracterização das classes por meio das amostras.

4.2.3 - ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE OS VALORES MEDIOS DE NÍVEIS CINZA (CCT) E OS DADOS COLETADOS NO RESERVATORIO 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 maio res informações sobre a dispersão de sedimentos em suspensão, fez-se uso do Coeficiente de Correlação de Pearson (Steel e Torrie, 1960). A se guir, apresentam-se os resultados das análises.

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

A profundidade Secchi e relacionada ao coeficiente de atenuação da agua. Gordon e MacClauney (1975), fazendo uso de curvas de atenuação caracterizadas por Jerlov e Nielsen em 1968, determinaram as profundidades-limite em que ha possibilidade de obtenção de informações de subsuperfície por radiações do espectro visível. Esses autores toma

DADOS UTILIZADOS NA ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE VALORES MÉDIOS DE CINZA

(CCT) E PROFUNDIDADE SECCHI

TABELA 4.24

PONTOS	1	NIVEIS I	DE CINZ	A	PROFUNDIDAD
DE AMOS TRAGEM	MSS 4	MSS 5	MSS 6	MSS 7	SECCHI (M)
1A	17	7	1 -	1	2,75
18	21	10	2	1	2,75
10	. 27	17	4	1	1,25
2A	15	6	1	1	4,00
28	14	7	3	2	3,50
2C	14	6	1	1	4,00
3A	21	10	3	2	. 2,25
3В ,	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	1	-	-	•	
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
70	30	37	16	5	0,75
8A	24	18	7	3	1,50
88	24	20	8	3	1,25
8C					-

ram por base um critério físico em que a profundidade de penetração luz, para uso de sensoriamento remoto, seria definida por níveis acima dos quais são originados os 90% da irradiância difusamente (≃90), fixando o valor de penetração da luz para 1/e da irradiância superfície (100%); a atenuação das radiações pelas águas, em apenas 37% do seu valor inicial. Emergindo desse nível a superfície, uma nova atenuação ocorre (1/e) aqueles 37%, refletindo-se para fera somente 13%. Através dos valores médios de penetração calculados por esse metodo, foi fixada a profundidade media para a emergência radiações de subsuperficie em águas oceânicas, sendo que, a da mesma é função da transparência das águas e do comprimento de dominante, nas radiações incidentes e emergentes. A profundidade media de penetração (≈90) para sensores de banda larga foi definida e aplica da para o MSS/LANDSAT, mostrando que a penetração media 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 ruido. Assim, para a análise de correlação foram usados apenas dezenove (19) pontos de amostragem.

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

TABELA 4.25

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

VARIĀVEIS	В	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

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 niveis de cinza referentes a profundi dades Secchi num intervalo de 0,50 a 3,50 metros (Figura 4.26);
- b) o canal MSS 5 registrou niveis de cinza referentes a profundi dades Secchi num intervalo de 0,25 a 2,75 metros (Figura 4.27);
- c) o canal MSS 6 registrou níveis de cinza referentes a profundida des Secchi num intervalo de 0,25 a 2,75 metros (Figura 4.28);
- d) o canal MSS 7 registrou niveis de cinza referentes a profundida des Secchi num intervalo de 0,25 a 2,75 metros (Figura 4.29).

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

r = coeficiente de correlação simples

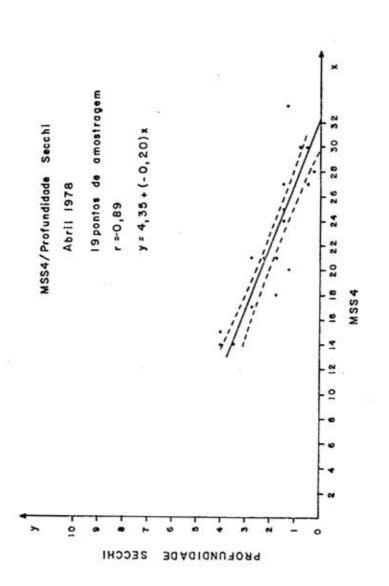


Fig. 4.26 - Grāfico de regressão entre profundidade Secchi e níveis de cinza no canal MSS 4 do LANDSAT, passagem de 05/abril/1978.

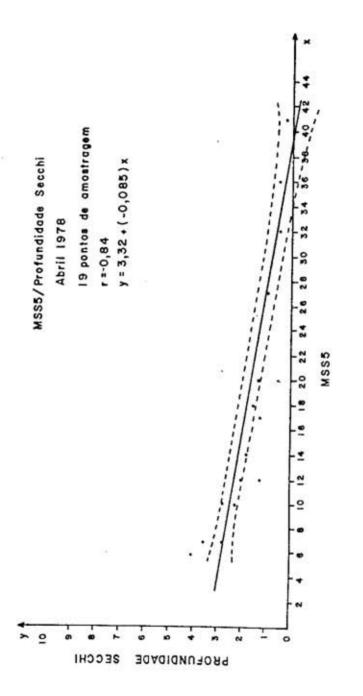


Fig. 4.27 - Grāfico de regressão entre profundidade Secchi e níveis de cinza no canal MSS 5 do LANDSAT, passagem de 05/abril/1978.

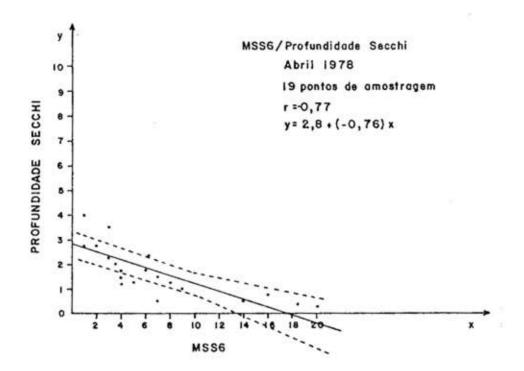


Fig. 4.28 - Gráfico de regressão entre profundidade Secchi e níveis de cinza no canal MSS 6 do LANDSAT, passagem de O5/abril/1978.

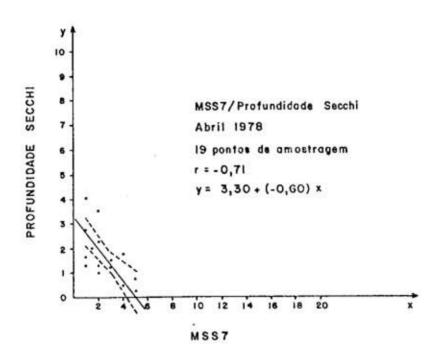


Fig. 4.29 - Gráfico de regressão entre profundidade Secchi e níveis de cinza no canal MSS 7 do LANDSAT, passagem de 05/abril/1978.

Através das Figuras 4.26 a 4.29, observa-se que o canalISS 4 foi o que abrangeu um intervalo maior de profundidade Secchi, permitin do a caracterização das maiores profundidades obtidas. Dos quatro canais analisados, o 4 foi o que apresentou menor erro da estimativa, tan to 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 ha 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, porêm o erro aumenta muito à medida que aumenta a turbidez.

O canal MSS 7 e o que apresenta menor sensibilidade às variações de níveis de sinal, devido à alta absorção da radiação ele tromagnética pela água, na faixa do infravermelho. Porém, é possível de tectar, 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, de que na faixa do espectro eletromagnético na região do azul (0,45 a 0,55 µm) o coeficiente de atenuação d'água apresenta-se menor, e que acima de 0,70 µm a absorção aumenta consideravelmente. Portanto, na região do espectro compreendida entre 0,45 a 0,70 µm é possível obter informações de subsuperfície por radiação do espectro visível. Assim sen do, os canais mais apropriados são os canais MSS 4 e 5, pois eles a tuam dentro desta faixa de menor atenuação d'água, sendo por isto mes mo os mais sensíveis às variações das diferentes concentrações de mate rial 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, por tando 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 apos 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 niveis de cinza referentes a profundi dades Secchi num intervalo de 0,25 a 6,0 metros (Figura 4.30);
- b) o canal MSS 5 registrou niveis de cinza referentes a profundida des Secchi num intervalo de 0,25 a 5,0 metros (Figura 4.31);
- c) o canal MSS 6 registrou niveis de cinza referentes a profundida de Secchi num intervalo de 0, 25 a 5,0 metros (Figura 4.32);
- d) o canal MSS registrou niveis de cinza referentes a profundida des Secchi num intervalo de 1,0 a 5,0 metros (Figura 4.33).

DADOS UTILIZADOS PARA A ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE VALORES MEDIOS DE

NÍVEIS DE CINZA E PROFUNDIDADE SECCHI

TABELA 4.26

PONTOS	3	NIVEIS I	DE CINZ	A	PROFUNDIDADE
DE AMOSTRAGEM	MSS 4	MSS 5	MSS 6	MSS 7	SECCHI (M)
1A	15	8	5	3	6,0
18	17	6	3	1	6,0
10	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	-		-	-	4,00
3B	16	7	4	2	4,50
3C	16	9	5	3	3,0
4A	16	8	4	2	4,50
48	16	8	5	3	3,0
4C	16	9	5	3	4,0
5A	17	9 .	5	3	2,50
58	16	11	6	. 4	1,50
5C	16	10	6	3	1,50
6A _	16	8	3	2	4,0
68	18	12	7	5	2,0
6C	17	18	10	.7	0,25
7A	15	8,5	4	3	4,0
78	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

TABELA 4.27

RESULTADOS DAS ANÁLISES DE CORRELAÇÃO ENTRE OS NÍVEIS DE CINZA E 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.

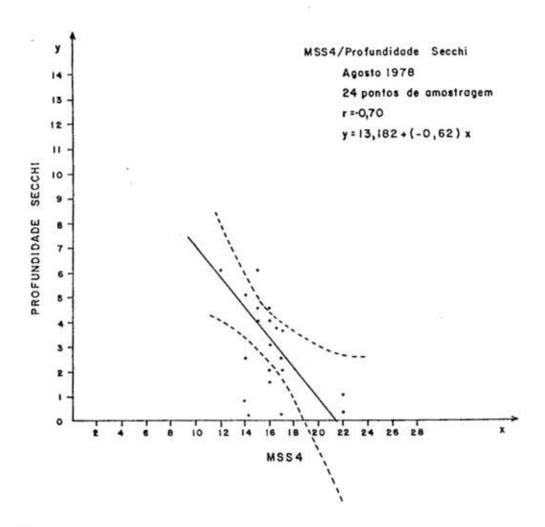


Fig. 4.30 - Gráfico de regressão entre profundidade Secchi e canal MSS 4 do LANDSAT, passagem de 27/Agosto / 1978.

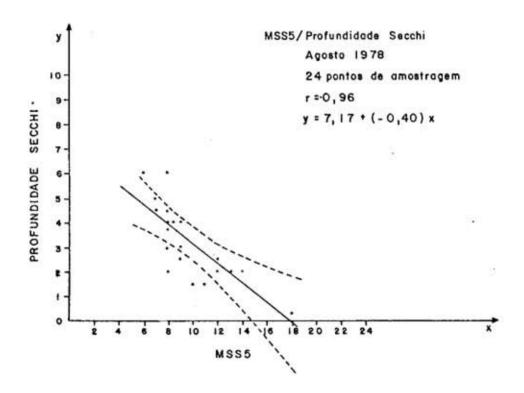


Fig. 31 - Gráfico de regressão entre profundidade Secchi e canal MSS 5 do LANDSAT, passagem de 27/Agosto/1978.

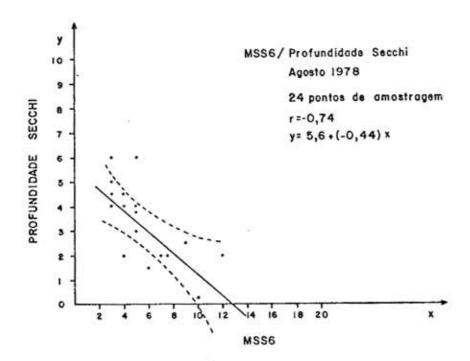


Fig. 32 - Gráfico de regressão entre profundidade Secchi e canal MSS 6 do LANDSAT, passagem de 27/ Agosto/ 1978.

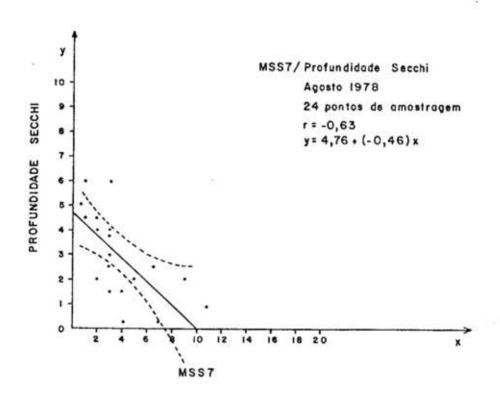


Fig. 4.33 - Gráfico de regressão entre profundidade Secchi e canal MSS 7 do LANDSAT, passagem de 27 Agosto/ 1978.

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, con forme 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 a maior defasagem das coletas dos dados in situ, em relação a passagem do satélite neste período, ou ain da, a problemas de interferência atmosférica, a qual este canal é o mais sensível, ou também a propria homogeneidade da superfície d'agua, devida a menor descarga de sedimentos no reservatorio 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 informa ções 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 colleta in situ muito defasadas da passagem do satélite, que além da pouca diferença entre os níveis de cinza, não apresentaram resultados muito confiáveis.

2) Analise de correlação entre valores medios de niveis de cinza reflectância d'agua in situ

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

Analisando-se a Figura 4.34, constatou-se que quando ha uma maior concentração de solidos em suspensão, ou sedimentos, ha um major retorno de energia ao sensor em todos os canais. Observou se também que ha uma major reflexão dos sedimentos presentes na area, 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 nergia eletromagnética na area diminui, ficando o sinal de retorno ca fī da vez mais restrito as camadas superiores e dependente da interação sica 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 con centrações de sedimentos mais baixas. No canal MSS 6, um aumento na con centração provoca um acréscimo razoável no sinal de retorno e, no ca nal 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 cam pos, fez-se uma análise de correlação semelhante a do item (1) desta se ção.

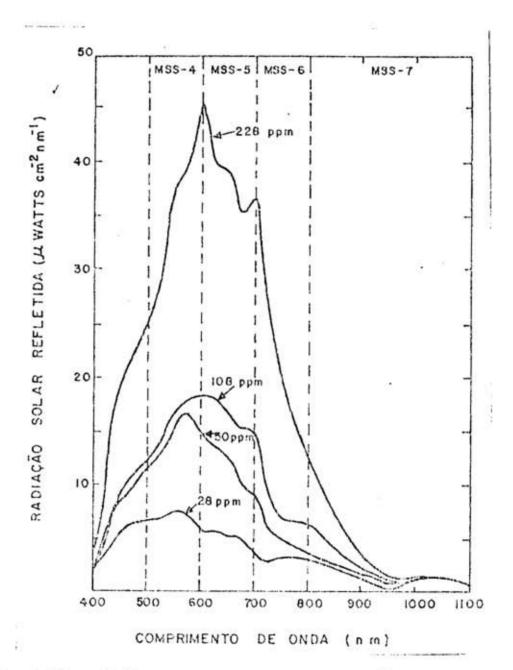


Fig. 4.34 - Relação entre a quantidade de radiação solar refleti da, comprimento de onda e concentração de sólidos em suspensão em superfícies de agua, com faixas de atuação dos quatro canais do MSS-LANDSAT, baseado em Ritichie et alii (1974).

Uma vez que para os trabalhos de campo não havia uma fon te 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 as aguas 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 da dos 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 niveis de cinza da imagem LANDSAT e os dados de reflectância d'agua, 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 an<u>a</u> lise.

As faixas espectrais apresentadas na Tabela 4.28, corres pondem 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 cor relação.

TABELA 4.28

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

PONTOS			F	AIXAS E	SPECTRA	15		
DE	0,5	0,6,	0,6	0.7 u	0,7-	0,8 µ	0,8-	1,14
AMOSTRAGEM	e	1-100	٥	I-100	p	1-100	ρ	1-100
- 1A	0,30	17	0,22	7	0,33	1	0,25	1
16	0,53	21	0.20	10	0,50	2	0,50	1
10	0,60	27	0,33	17	0,16	4	0	1
2A	0,70	15	0,05	6	0	1	0	1
28	0	14	0	7	0	3	0	2
20	0	14	0	6	0	1	0	1
3A	0,20	21	0,11	10	0,16	3	0	2
38	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	2.7	0,30	16	0,25	4	0,125	2
48	0,50	18	0,33	12	0,16	6	0,25	4
4C	0,70	20	0,22	12	J.	5	0	2
5A		2	-		-		-	-
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	23	1,0	41	0,66	20	0,375	5
7A	•	-		-	•		-	•
78	1	28	0,83	27	0.58	9	0,50	2
70	1	30	0,89	37	1,0	16	1,0	.5
8A	0,30	24	0,33	18	0,25	7	1,125	3
83	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

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

b = mede a sensibilidade da regressão

Se= erro padrão das estimativas

Pelas analises realizadas com os dados de reflectancia d'agua in situ e os valores medios de níveis de cinza para o período chuvoso, pode-se constatar que os diferentes níveis de cinza observados nas imagens LANDSAT são diretamente proporcionais aos dados de reflectancia medidos próximos (0,50 cm) a superfície das aguas do reservato rio. Assim, quanto maior for a reflectancia das aguas superficiais, mais alto sera o nível de cinza apresentado pelas imagens LANDSAT.

Segundo Klooster e Scherz (1974), Kritikos et alii(1974) e Ritchie et alii (1976), a turbidez e uma propriedade otica relaciona da a luz espalhada pela maior ou menor concentração de material suspenso na agua. 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'agua.

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

r = coeficiente de correlação simples

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

- a) o canal MSS 4 (0,5 a 0,6 μ m) registrou reflectancias num intervalo de 0,30 a 0,85 μ m (Figura 4.35);
- b) o canal MSS 5 (0,6 a 0,7 μ m) registrou reflectâncias num intervalo de 0,05 a 0,87 μ m (Figura 4.36);
- c) o canal MSS 6 (0,7 a 0,8 μm) registrou reflectâncias num inter valo de 0,16 a 0,58 μm (Figura 4.37);
- d) o canal MSS 7 (0,8 a 1,1 μ m) registrou reflectâncias num inter valo de 0 a 0,37 μ m (Figura 4.38).

Pelos intervalos acima apresentados, pode-se constatar que o canal MSS 5 e 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 areas de turbidez muito elevada, o sensor tende a não separar as diferenças na reflectancia.

Analisando-se os gráficos de regressão simples para ca da um dos canais, observou-se que os canais que apresentaram melhor a juste foram os MSS 5 e 6. O canal MSS 5 foi o que apresentou maior coe ficiente de correlação e, tal como na análise de correlação com os da dos 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'agua au mentou o erro padrão também aumentou. Para as reflectâncias mais bai xas, 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'agua aumentou, o erro padrão da estimativa aumentou. As regiões de aguas mui to turbidas são detectadas por esse canal, mas a margem de erro e bem maior do que nos canais MSS 5 e 6.

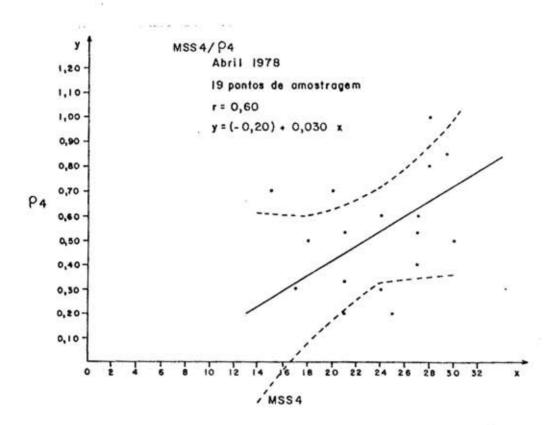


Fig. 4.35 - Gráfico de regressão entre reflectância d'água coletada in situ e niveis de cinza (CCT) no canal MSS 4.

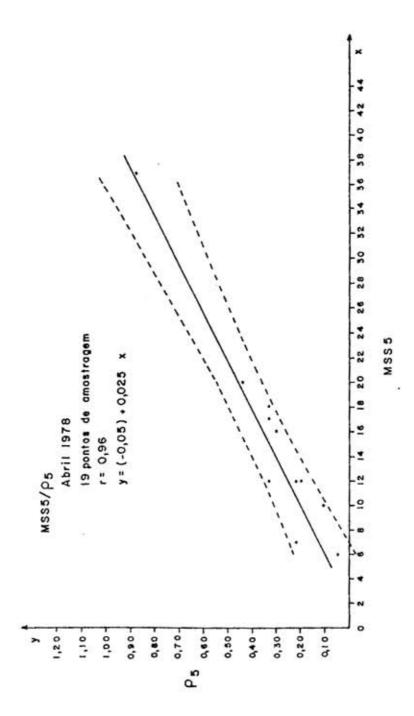


Fig. 4.36 - Gráfico de regressão entre reflectância d'água coletada *in situ* e níveis de cinza (CCT) no canal MSS 5 .

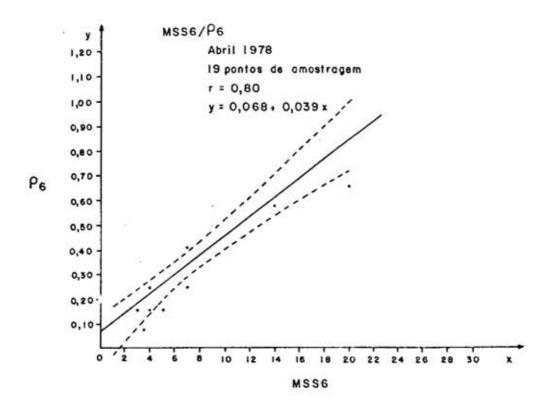


Fig. 4.37 - Gráfico de regressão entre reflectância d'água coleta da *in situ* e níveis de cinza (CCT) no canal MSS 6.

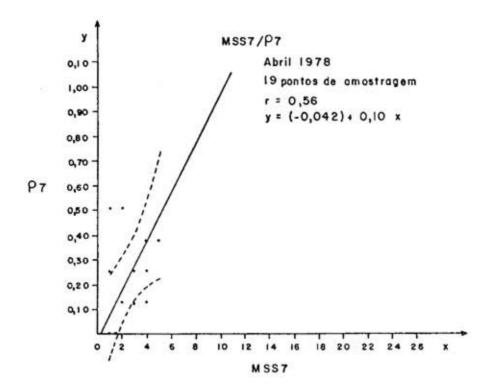


Fig. 4.38 - Gráfico de regressão entre reflectância d'água coletada in situ e níveis de cinza (CCT) no canal MSS 7.

De todos os canais analisados, o canal MSS 4 foi o que <u>a</u> presentou menor ajuste e, de acordo com o traçado da zona de confiança na Figura 4.35, a medida que os valores de reflectâncias aumentam ou diminuem, o erro padrão da estimativa aumenta excessivamente. Isto tal vez se deva a grande interferencia atmosferica 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 termino da analise da dinâmica do reservatorio de Três Marias, constatou-se que no período chuvoso, o reservatorio apresenta um comportamento totalmente diverso daquele apresentado no período seco.

No periodo chuvoso, alem do reservatorio apresentar um au mento da area inundada (de 57 metros para 75 metros de profundidade ma xima), a superficie d'agua apresenta-se também mais heterogênea, ou se ja, pode-se perfeitamente caracterizar (por meio dos niveis de cinza) a diferença de concentração de sedimentos nestes dois periodos.

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

De acordo com Capítulo 2, a quantidade e a concentra ção de sedimentos têm relação direta com o débito fluvial. Assim, duran te o período chuvoso, quando os débitos aumentam, hã 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, es ta superfície é bastante homogênea sendo este período o menos adequado para este tipo de análise.

Em todas as coberturas orbitais analisadas, as classes de niveis de cinza mais altosse localizaram nas entradas de água do reservatório, reforçando o que jã foi mencionado no Capitulo 2, isto e,

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

Pelos dados de profundidade Secchi, constatou-se que as entradas de agua são os locais onde ha maiores concentrações de se dimentos. Como o reservatório funciona como um decantador natural, a medida que estes sedimentos são levados em direção a barragem, eles vão se dispersando e depositando. Desta forma, as concentrações tornam-se me nores, até a agua ficar praticamente limpa.

Pelos mapas temáticos (Apendice D) pode-se observar grandes concentrações de sedimentos entram pelo braço abastecido rio Paraopeba e, sob a forma de pluma, dirigem-se para o corpo princi pal do reservatório. Pelo braço abastecido pelo rio São Francisco, en tra também uma consideravel quantidade de sedimentos; sendo que a plu ma se dirige para o corpo principal do reservatório, onde se une a ma vinda do Paraopeba, seguindo posteriormente em direção à barragem. A medida que esta pluma vai caminhando em direção à barragem, ela se dispersando, pois a turbulência das aguas diminui, a profundidade au menta e as partículas começam a se depositar. Quando a pluma recebe no vas cargas de sedimentos provenientes das entradas d'agua de menor portancia, ao longo do reservatório, ela tende a se dispersar comple tamente, na altura da barragem.

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

A entrada de agua abastecida pelo rio Indaia, observa-se, também, este tipo de deslocamento rapido para as plumas de sedimentos.

No periodo seco nota-se a presença de uma pluma de sedi mentos nos primeiros 15 km do braço do reservatório abastecido pelo rio Paraopeba; porem, esta logo se dispersa devido ao pequeno debito e, consequentemente, a pequena carga de sedimentos.

Confirmando os dados de descargas líquida e sólida ana lisados na Seção 4.1.5, as principais fontes de sedimentos do reserva tório 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, in dicativos 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 tam bem 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 ex postos 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 (Hjulstrom, 1939; Morisawa, 1968).

Levando-se em consideração estes fatores e as <u>diferen</u> ças de niveis de cinza observadas na camada superficial da água do <u>re</u> servatório, constatou-se que os pontos de maior turbulência neste <u>cor</u> po d'água, bem como os de menor profundidade, localizam-se no <u>reserva</u>

onde as aguas, trazidas pelos rios abastecedores, desaguam. Nestes lo cais, a profundidade e menor em relação a profundidade máxima do reservatório (75 metros), na altura da barragem, pelo proprio 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, e las 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 (Hjulstrom, 1939).

De acordo com os dados de precipitação e de descargas 1<u>1</u> quida e solida 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 periodo 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 dire tamente relacionado às precipitações e aos débitos fluviais, analisaram -se as imagens referentes ao ano de 1975. Observou-se que, principalmen te 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 doisultimos anos notaram-segrandes concentrações de sedimen tos 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.

CAPITULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Dos resultados obtidos com as análises realizadas che gou-se a conclusões, não so referentes ao método e as técnicas, como também à área de estudo, que são apresentadas neste capítulo.

5.1 - MÉTODO E TECNICAS

Atraves do metodo 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), to mando-se como base a tendência da dispersão das concentrações de sedimentos em suspensão nas águas de superfície. É possível também deter minar os principais fâtores que atuam na dinâmica da bacia abastecedo ra 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 sus pensão, nas águas superficiais de reservatórios artificiais. Isto acon tece porque diferentes concentrações do material em suspensão provo cam uma resposta espectral característica, originada pela radiação ele tromagnética 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 ás 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 auto mática 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 amos tras. 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 humanos se desenvolveram, nesta bacia, ao longo dos cinco anos analisados.

A análise dos aspectos sazonais e a análise da rede de drenagem, da morfólogia 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 aguas e mais intensa. As ima gens do periodo seco oferecem maiores dificuldades para a separação das classes de niveis 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 ma pas semiquantitativos da dispersão do material em suspensão na camada superficial d'água do reservatório de Três Marias, obtendo-se assim, in formações 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). Es tas 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'agua. Este comportamento torna-se mais característico à medida que a pluma de sedimentos vai se dispersando.

Conforme o mencionado na bibliografia referente a compor tamento espectral d'agua e sedimentos em suspensão, constatou-se que:

- Os resultados da análise de correlação, realizada entre profun didade Secchi e valores médios de níveis de cinza apresentados pela camada superficial d'agua do reservatório (MSS 4 = 0,89 e 0,70), indicaram que esses dados são inversamente proporcio nais, 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'agua, e este, por sua vez, está relacionado com a quantidade de partículas sólidas em suspen são na mesma. Assim, quanto maior for a quantidade de sedimen tos 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 ofere cem maiores informações e menores probalidades de erro na clas sificação são os canais MSS 4 e MSS 5, sendo os canais adequa dos 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 perído 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), ve rificou-se que apesar do coeficiente de correlação (- 0,89) do canal MSS 4 ser maior do que o do canal MSS 5 (- 0,84), o ajuste da reta des te último é mais perfeito; no gráfico referente ao canal MSS 4, 10 (dez) pontos de amostragem foram plotados fora da zona de confiança, ao 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 re gistro dos níveis mais baixos, indicativos das maiores profundidades Secchi. Este canal registrou niveis de cinza indicativos de profundida des 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 bi bliografia consultada sobre o assunto, a qual menciona que a profundida de de penetração da luz neste canal é major do que nos outros canais do MSS/LANDSAT. Os resultados das análises indicam ainda que período mais indicado para este tipo de análise e o chuvoso, pois de acordo com erro padrão das estimativas (Se) apresentado em cada um dos canais, os erros no período chuvoso são bem menores do que no período seco. acontece, devido a menor descarga de partículas sólidas em 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 nivel para outro torna-se menos contrastante. O outro fator que também contribuiu para que os dados do período chuvoso apre sentassem 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 analise de correlação entre valores medios de ni veis de cinza e reflectancia d'agua in situ, constatou-se que:

- Quanto maior for a reflectância da camada superficial d'agua,
 mais alto serã 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 tan to baixos como altos valores de reflectância d'aqua in situ.
- Os dados de profundidade Secchi apresentaram correlações mais altas com os valores médios de níveis de cinza, do que os da dos de reflectância d'agua in situ. Isto ocorre porque os da dos de reflectância fornecem informações mais puntuais, enquan to 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 e uma propriedade o tica relacionada a luz espalhada pela maior ou menor concentra ção de material suspenso na agua, concluiu-se que quanto mais turbida for a camada superficial d'agua de um reservatorio 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 amos trados de la 5 dias após a passagem, foram plotados fora da zona de confiança desses gráficos. A medida que vai ocorrendo uma defasagem en tre 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 AREA ESTUDADA

Ao termino das analises realizadas, foram detectadas na bacia abastecedora do reservatório de Três Marias quatro grandes areas fontes de cargas detríticas: 1) area de mineração com processos de ero são acelerada; 2) area de desmatamento e solo exposto com processos de erosão acelerada; 3) area agrícola e de despejos industriais; 4) area de agricultura e de desmatamento.

Analisando-se cada uma dessas areas, constatou-se que:

- A area de mineração com processos de erosão acelerada, pelo tipo de atividades (mineração e pastagem) nela desenvolvida, e das mais importantes na produção e transporte de sedimentos para o reservatório de Três Marias.
- Das areas 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 area, para a produção de carvão vegetal destinado as siderúrgicas, pos sivelmente 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 areas desmatadas, em toda a bacia abastecedora do reservato rio, ampliaram consideravelmente a sua extensão num espaço de cinco anos (1973 a 1978).

- Apesar dos processos erosivos serem menos intensos na area agricola e de despejos industriais, as atividades agricolas 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 prepon derante na atuação dos processos existentes nas quatro areas criticas 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 ter renos 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 areas fornecedoras de sedimentos ao comportamento das descargas líquida e solida dos três principais rios abastecedores do reservatorio de Três Marias, verificou-se que a ocupação desordenada desta bacia aliada aos processos erosivos que ai ocorrem são os principais responsáveis pelas elevadas descargas solidas 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, Para 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. Mes mo durante o período seco, quando estas descargas diminuem sensivelmente, este rio apresenta valores muito elevados.

A carga detritica fornecida por despejos industriais no rio São Francisco e mais facilmente observada durante o periodo se co, quando os picos de descargas sólidas ocorrem de forma periodica, ao contrário da descarga líquida.

Pelo fato dos rios Borrachudo e Indaia terem a maior par te 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 transporta da 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, Para 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 contribuido res de carga detrítica para este corpo d'agua, uma vez que seus cursos percorrem as principais areas fontes de sedimentos.
- Os valores médios de níveis de cinza mais elevados, as reflec tâncias d'água in situ mais altas, as menores profundidades Sec chi e os maiores valores de descargas sólidas correspondem ao braço do reservatório abastecido pelo rio Paraopeba.

- O braço do reservatório abastecido pelo rio Paraopeba apresen ta altas reflectâncias, altos valores de níveis de cinza e bai xos valores de profundidade Secchi, mesmo durante o período se co, quando praticamente todo o reservatório apresenta níveis de cinza mais baixos, indicativos de águas mais límpidas. Isto con firma que o trecho percorrido por este rio e o mais problemático quanto à produção e ao transporte de sedimentos para o reserva torio.
- O braço do reservatório abastecido pelo rio Borrachudo apresen ta 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, associa dos aos valores de descargas solidas dos rios e ao comportamen to sazonal da área de estudos, permitiram constatar uma diferen ça significativa no comportamento do reservatorio 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 solida, refletindo-se numa distribuição mais heterogênea dos níveis de cinza da superfície d'água do reservatorio.

Levando-se em consideração todas as informações levan tadas, as análises realizadas e os resultados obtidos, concluiu-se que a dinâmica dos fenômenos físicos e humanos que ocorrem na bacia abas tecedora do reservatório de Três Marias interferem de forma direta no comportamento da dispersão de sedimentos em suspensão neste corpo d'agua.

Considerando-se a teoria dos sistemas mencionada no <u>Ca</u> pītulo 3, um sistema ē um operador que, em determinado lapso de tem po, recebe o input (que ē a carga de sedimentos fornecida pelas ver tentes) e o transforma em output (que ē todo o material que chega ao reservatorio, ē selecionado, deposita-se e, as vezes, chega novamente a corrente do rio através do vertedouro da barragem).

Para analisar a dinâmica do sistema, foi necessário es tudar o comportamento de seus elementos (rede de drenagem, morfolo gia 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 in direta sobre os elementos componentes do sistema analisado, condicio na, de forma significativa, os processos que nele ocorrem e as saídas por ele apresentadas.

5.3 - RECOMENDAÇÕES

Objetivando-se uma busca de maior equilibrio da dinâmica ambiental, torna-se necessário um replanejamento da ocupação e uso da terra na área de estudo, principalmente: 1) na área de ocupação agrico la 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, co mo a CODEVASF, se faça um maior controle dos trechos que estão sen do 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, per mitiria avaliar e monitorar o desmatamento na região. A partir destas informações planejar-se-ia a implantação de projetos de reflorestamen to (especialmente de espécies naturais) na área, bem como a sua fisca lização, a fim de evitar o desmatamento desordenado, um dos principais fatores de ocorrência de processos erosivos na região.

Sendo estas areas de solo exposto e desmatamento, areas de relevos colinosos, com declividades de médias a elevadas, com so los pobres e estação seca prolongada, recomenda-se que os projetos agropecuários, que porventura venham a ser ali instalados, recebam re cursos 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 au mento do rendimento das areas cultivadas no local.

Sugere-se a continuação da política de reflorestamento ja existente em alguns trechos da area de estudo, e sua extensão as areas críticas. Estas, alem 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, Parã e Paraopeba. Uma vez que a maior parte do curso do rio Borrachudo encontra-se numa das áreas mais criticas, 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 <u>or</u> gãos competentes, do tipo de ocupação existente ao longo do rio São Francisco. Desta forma, evitar-se-a que residuos agrícolas e indus triais venham aumentar a carga detritica deste rio, bem como interferir na qualidade d'agua.

Na area compreendida pelas cabeceiras do rio Paraopeba, recomenda-se que se façam estudos mais detalhados, visando selecionar areas propicias à implantação de projetos agricolas e pecuarios, pois este tipo de atividade aliada aos fatores físicos da area (maior plu viosidade, desmatamento, manto de decomposição mais espesso, declividades mais acentuadas) são elementos relevantes nos processos de ero são acelerada ai encontrados.

Sugere-se o plantio em curvas de nível nas regiões de de clives mais acentuados, como uma das medidas preventivas dos proces sos 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 as margens do rio Paraopeba, bem como evitar o des pejo, em suas aguas, dos residuos das minerações proximas do rio, a fim de diminuir o volume de carga detritica por ele transportada ao reservatório de Três Marias.

As quatro areas criticas produtoras de sedimentos, loca lizadas na bacia abastecedora do reservatório de Três Marias, pode riam ser transformadas em areas de estudos independentes, sendo anali sadas com maior detalhamento e controle, em função dos fenômenos fisicos 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 especimes condizentes com as características físicas nelas encontradas, mantendo-se um equilibrio do sistema solo-planta, e preservando-as, assim, dos efeitos da erosão.

Considerando-se que nesse reservatório a pesca e de carácter comercial e que as suas aguas são utilizadas pelas populações adjacentes, e imprescindível que a qualidade das aguas 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 se dimentos 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 abaste cedora 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 fisí co-químico sistemático da água do reservatório de Três Marias, obten do-se assim dados sobre a sua qualidade, bem como sobre as concentra ções de sedimentos nele contido.

Recomenda-se que seja evitado ou, pelo menos, control<u>a</u> do o despejo de detritos industriais no rio São Francisco e de miner<u>a</u> ção 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 periodicas das imagens LANDSAT e as variações das características espectrais dos alvos, po der-se-ia monitorar sistematicamente tanto a bacia abastecedora como o reservatório de Três Marias, procurando-se assim, minimizar o pro blemas de produção e transporte de cargas detríticas, identificados neste sistema.

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 logistico, que pos sibilitaram a realização dos trabalhos de campo na area de estudo.

Agradeço ao Dr. Adilson Avansi de Ahreu 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 Es paciais (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 area 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.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO, M.T.A. Vegetação In: IBGE. Geografia do Brasil, Região Su deste, 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 Faculda de de Filosofia, Ciências e Letras U.S.P., São Paulo, 224:59-77 (Botânica, 15), 1958.
- BAGNOULS, F.; GAUSSEN, H. Estação seca e îndice xerotérmico. Boletim Geográfico, 20(169):337-369, jul./ago. 1962.
- BARBOSA, G.V.; FRANCO, E.M.S.; MOREIRA, M.M.A. Mapas geomorfológicos elaborados a partir de Radar. *Noticia 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. Re vista Brasileira de Geografia, 13(3):473-479, jul./set. 1951.

- CASTRO, R.N. de Aproveitamento econômico e proteção do ecossistema na ãrea 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. *Noticia* 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.
- FERRI, M.G. Ecologia dos cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 4. Brasilia, 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*, <u>14</u>(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 superficie da Lagoa dos Patos; con tribuição metodológica do estudo de processos lagunares e costeiros do Rio Grande do Sul, através da aplicação de técnicas de sensoria mento remoto. Tese de Doutorado, São Paulo, USP. Faculdade de Fi losofia, 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. Boletin 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 es tudo 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 reservat<u>o</u> rios. 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 atra vés 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 Les te 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. Principios 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 su deste 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 Brasilia atra vés 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 ima gens orbitais (LANDSAT-1) como base para levantamento de solos. Te se 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).

APENDICE A

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

PROJETO TRÊS MARIAS

FICHA DE CAMPO

DATA:	HORA:
1) LOCALIZAÇÃO	
- Numero do ponto:	
- Número do compartimento	o:
- Entrada:	
	•
- Local:	
- km ou ponto fixo mais p	prōximo:
2) ESTRUTURA SUPERFICIAL DO	PERFIL
a) Substrato não alterado	o:
- Rocha:	
- Mergulno:	

	- Gra	u de alteraça	o: - alto:		
		225	- medio:		
			- baixo:		
			- inexisten	te:	
b)	Mater	ial do cobert	ura:		
	b.1)	Origem:			
		- rocha decom	posta "in situ	" - pedogenizada:	
				não pedogenizada:	
		- colūvio: -	pedogenizados:		
				do:	
	b.2)	Espessura:	.,		
	b.3)	Cor:	2.		
				inante:	
	b.5)	Linhas de ped	ra:		
		- Número de o	corrências no	perfil:	
		- Espessura:		A. AND AND DESCRIPTION OF HISTORICA MA	TA COLUMN ASSESSMENT
		- 0: W	***************************************		
		9			
		N.			
		- Composição	predominante:		

U ×

			14	
	- Grau de ari	redondamento:	- alto:	
			- medio:	
			- baixo:	
			- inexistente:	
OF T	- Posição: _			
b.6)	Concreções:			
	- Espessura:			
	- Composição			
	Posicio			
b.7)	Amostras no:			
b.8)	Observações:			
VEGETAÇA	AO NATURAL			
- Tipo:		77 - 1417		
- Grau	de alteração:	- alto:		
		- medio:		
		- baixo:		
		- inexistent	e:	

4) USO DO SOL

-	Agricu1	ltura	:
---	---------	-------	---

. Permanente: produto: _____

. Temporāria: produto:

. Sistema agrário:

- rotação de terras:

- rotação de produtos:

- culturas itinerante:

,

- Silvicultura:

espēcie:

- Pastagem:

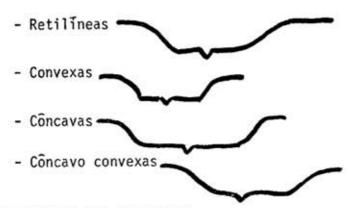
. Natural:

espécie:

. Cultivada:

espécie:

5) FORMA PREDOMINANTE DAS VERTENTES



6) DINÂMICA DAS VERTENTES

- Grau de equilibrio das vertentes: - alto:

- medio:

- baixo:

- inexistente:

	- Tipo de erosão predominante:
	- linear:
	- laminar:
	- Grau de desenvolvimento das formas erosivas: - alto:
	- medio:
	- baixo:
	- Fatores que contribuem para acelerar ou retardar as forams de ero são:
	S
7)	FATORES FOTOGRAFICO
	- Tipo do filme:
	- Marca:
	- Numero do filme:
	- Número da chapa:
	- Orientação:
	- Observações:

8) CROQUI DE CAMPO

9) OBSERVAÇÕES

APENDICE B

AREA TESTE					NO DO PONTO			
DATA /	/ / HORA:				NO DO COMPORTAMENTO			
			REFLEC	TÂNCIA				
NSS 4 INCIDENTE		HSS 5 INCIDENTE		MSS 6 INCIDENTE		MSS 7 INCIDENTE		
VALOR	ESC	VALOR	ESC	VAL OF	ESC	VALOR	ESC	
	<u> </u>	-				-	-	
				-				
MSS 4 MSS 5 EMERGENTE EMERGENTE			HSS 6 EMERGENTE		ISS 7 EMERGENTE			
YALOR	ESC	VALOR	ESC	VALOR	ESC	VALOR-	ESC	
							_	
						 		
OBSERVAÇÕE	5						-	

APÊNDICE C

MAPAS DAS CARACTERÍSTICAS GEO-AMBIENTAIS DA BACIA
ABASTECEDORA DO RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS

APÊNDICE C

- **MAPA C2** REDE DE DRENAGEM DA BACIA ABASTECEDORA DO RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS
- **MAPA C3** COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA BACIA ABASTECEDORA DO RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS
- **MAPA C4** MAPEAMENTO ESQUEMÁTICO DO USO DO SOLO DA REGIÃO DO ALTO DE SÃO FRANCISCO
- **MAPA C5** LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS FORNECEDORAS DE SEDIMENTOS PARA O RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS

APÊNDICE D

MAPAS TEMÁTICOS DA DISTRIBUIÇÃO DE SEDIMENTOS NO
RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS.

APÊNDICE D

MAPA D2 – RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS PASSAGEM 17 AGOSTO/1973

MAPA D3 – RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS PASSAGEM 21 ABRIL/1975

MAPA D4 – RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS PASSAGEM 25 AGOSTO/1975

MAPA D5 – RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS PASSAGEM 14 MARÇO/1977

MAPA D6 – RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS PASSAGEM 23 AGOSTO/1977

MAPA D7 – RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS PASSAGEM 05 ABRIL/1978

MAPA D8 – RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS PASSAGEM 05 ABRIL/1978

2ª PATRE

MAPA D9 – RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS PASSAGEM 27 AGOSTO/1978