

1. Publicação nº <i>INPE-3984-TDL/236</i>	2. Versão	3. Data <i>Set., 1986</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DRH/DSR</i>	Programa <i>FRH/SER</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>IMAGENS LANDSAT SEMI-ÁRIDO</i> <i>PROCESSAMENTO DIGITAL MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO</i> <i>ANÁLISE INTEGRADA</i>			
7. C.D.U.: <i>621.376.5:551.4:528.067.4(814.2)</i>			
8. Título <i>INPE-3984-TDL/236</i> <i>AVALIAÇÃO DE DADOS DO MSS-LANDSAT-4 PARA O MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO NO SEMI-ÁRIDO COMO SUPORTE AO PLANEJAMENTO REGIONAL: UMA ABORDAGEM INTEGRADA (ÁREA-TESTE REGIÃO DE JUAZEIRO-BA)</i>		10. Páginas: <i>197</i>	11. Última página: <i>H.2</i>
9. Autoria <i>Teresa Gallotti Florenzano</i>		12. Revisada por  <i>Hermann J. H. Kux</i>	
Assinatura responsável 		13. Autorizada por  <i>Marco Antônio Raupp</i> Diretor Geral	
14. Resumo/Notas <i>Este trabalho tem como objetivo avaliar a utilização dos dados do MSS-LANDSAT para o mapeamento geomorfológico (na escala 1:100.000) em região semi-árida como suporte ao planejamento regional, aplicando um método de mapeamento integrado. Selecionou-se como área-teste uma região de aproximadamente 800 km², localizada no norte do Estado da Bahia, Município de Juazeiro. Utilizou-se um método de mapeamento integrado de natureza qualitativa, baseado no sistema do CSIRO, em conjunto com uma análise de parâmetros quantitativos: índices morfométricos extraídos de cartas topográficas e parâmetros referentes às propriedades físico-químicas dos solos. Os produtos de sensoriamento remoto utilizados foram fotografias aéreas panorâmicas na escala 1:70.000 e dados do MSS-LANDSAT (CCTs e imagens) de duas épocas: seca e chuvosa. Os dados digitais do MSS-LANDSAT foram submetidos a técnicas de realce e de classificação não-supervisionada. A partir das fotografias aéreas foi elaborado um mapa de unidades geomorfológicas, posteriormente utilizado como referência na avaliação dos dados do MSS-LANDSAT. As unidades geomorfológicas foram caracterizadas de acordo com a litologia, a geomorfologia, os solos, a cobertura vegetal, o uso do solo, bem como o tipo de meio morfodinâmico. Muita informação foi extraída através da análise visual das imagens do MSS-LANDSAT, principalmente das composições coloridas obtidas com os canais realçados por ampliação linear de contraste. O suporte dos dados de campo, a análise de parâmetros quantitativos e a interpretação visual das fotografias aéreas foram essenciais para os resultados obtidos.</i>			
15. Observações <i>Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto aprovada em outubro de 1985.</i>			

Aprovada pela Banca Examinadora
em cumprimento a requisito exigido
para a obtenção do Título de Mestre
em Sensoriamento Remoto

Dr. Waldir Renato Paradella

Waldir Renato Paradella
Presidente

Dr. Hermann Kux

Hermann Kux
Orientador

Dr. Luis Eduardo Mantovani

Luis Eduardo Mantovani
Co-Orientador

Dr. José Pereira Queiroz Neto

José Pereira Queiroz Neto
Membro da Banca
-convidado-

Dra. Evlyn M.L. Moraes Novo

Evlyn M.L. Moraes Novo
Membro da Banca

Candidata: Teresa Galloti Florenzano

São José dos Campos, 29 de outubro de 1985

AGRADECIMENTOS

Ao Hermann J. H. Kux, do INPE, e ao Luis E. Mantovani, do CPATSA/EMBRAPA, pela orientação e incentivo.

Aos pesquisadores do INPE: Evlyn M. L. M. Novo, Tania M. Sausen, Dalton de M. Valeriano, Sérgio dos Anjos F. Pinto e Waldir Renato Paradella, pela colaboração e sugestões.

Ao Moacir Godoy Jr., do INPE, pelos trabalhos computacionais.

Ao Hiromiti Yoshioka, do CTA, pela colaboração na aquisição de fotografias aéreas.

Ao Iedo Bezerra de Sã, do CPATSA/EMBRAPA, pelas informações prestadas na área de taxonomia da vegetação da Caatinga.

Ao Weliton Neves Brandão, da EMATER-BA, pelo apoio aos trabalhos de campo.

Ao Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) pelos meios materiais necessários à realização deste trabalho.

Ao Centro de Pesquisas Agropecuárias do Trópico Semi-Árido (CPATSA/EMBRAPA) pelo apoio aos trabalhos de campo e de laboratório.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de mestrado concedida para a realização deste trabalho.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the utilization of LANDSAT-MSS data for geomorphological mapping at 1:100.000 scale in a semiarid environment for regional planning purposes. An integrated mapping approach was used. The study site is located at the northern Bahia State, near the city of Juazeiro. This area covers nearly 800 km². An integrated method of qualitative nature, based on the CSIRO system, was used together with an analysis of quantitative parameters: morphometric indexes calculated from topographic maps and soil physicochemical data. The following remote sensing products were used: panchromatic aerial photographs at 1:70.000 and LANDSAT-MSS data (CCTs and imagery) of both dry and wet seasons. The digital data were enhanced and classified using a non-supervised classification algorithm. A map with geomorphological units was drawn using aerial photographs. This map was used afterwards as a basis for the evaluation of LANDSAT-MSS data. The geomorphological units were characterized according to their lithology, geomorphology, soils, vegetation, land-use and the environmental morphodynamic type. A great amount of information was obtained from the visual analysis of LANDSAT-MSS data, specially when using the contrast stretched color composite. Field studies, quantitative parametric analysis and the visual interpretation of aerial photographs were the essential components of this study.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	<i>ix</i>
LISTA DE TABELAS	<i>xi</i>
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u>	1
<u>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u>	5
2.1 - Mapas geomorfológicos	5
2.2 - Imagens do MSS-LANDSAT na elaboração de mapas geomorfológicos	9
2.3 - Métodos de mapeamento integrado	13
2.3.1 - Método do CSIRO	13
2.3.2 - Outros métodos de mapeamento integrado	17
2.4 - Método paramétrico	22
<u>CAPÍTULO 3 - MATERIAL E MÉTODO</u>	27
3.1 - Área de estudo	27
3.2 - Material	36
3.2.1 - Produtos de sensoriamento remoto	36
3.2.2 - Material cartográfico	37
3.2.3 - Analisador multiespectral de imagens	37
3.3 - Método	37
3.3.1 - Seleção da área de estudo	38
3.3.2 - Seleção dos dados do MSS-LANDSAT	38
3.3.3 - Análise paramétrica	39
3.3.4 - Processamento de imagens digitais do MSS-LANDSAT	44
3.3.5 - Análise visual das fotografias aéreas e das imagens do MSS-LANDSAT e elaboração do mapa de unidades geomorfológicas	53
3.3.6 - Trabalho de campo	56
<u>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS</u>	59
4.1 - Parâmetros climáticos	59
4.1.1 - Balanço hídrico do período de 1966-83	59
4.1.2 - Balanço hídrico do ano de 1982	62
4.1.3 - Balanço hídrico do ano de 1983	64

	<u>Pág.</u>
4.2 - Parâmetros morfométricos	67
4.2.1 - Classificação dos parâmetros morfométricos	67
4.2.2 - Avaliação do sistema de amostragem dos parâmetros morfométricos	71
4.2.3 - Unidades geomorfológicas e parâmetros morfométricos	72
4.3 - Litologia	77
4.4 - Solos	77
4.5 - Vegetação	85
4.6 - Uso do solo	88
4.7 - Geomorfologia e análise integrada	89
4.8 - Avaliação dos dados do MSS-LANDSAT	101
4.8.1 - Composições coloridas obtidas a partir dos canais do MSS-LANDSAT realçados por ampliação linear de contraste (a.l.c.)	104
4.8.2 - Realce por divisão de canais	112
4.8.3 - Transformação por componentes principais	113
4.8.4 - Classificação das imagens do MSS-LANDSAT através do algoritmo K-médias	133
<u>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES</u>	137
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	141
APÊNDICE A - ÍNDICES MORFOMÉTRICOS	
APÊNDICE B - ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DAS AMOSTRAS DE SOLOS	
APÊNDICE C - SATURAÇÃO COM SÓDIO TROCÁVEL, TEXTURA E COR DO SOLO	
APÊNDICE D - ESQUEMA PARA A ESTIMAÇÃO VISUAL DAS RELAÇÕES DE SUPERFÍCIE	
APÊNDICE E - CLASSES TOPOGRÁFICAS RESULTANTES DA APLICAÇÃO DO ALGORITMO K-MÉDIAS	
APÊNDICE F - CLASSES DE DECLIVIDADE	
APÊNDICE G - MAPA DE UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS OBTIDO A PARTIR DA ANÁLISE VISUAL DAS FOTOGRAFIAS AÉREAS	
APÊNDICE H - ESBOÇO DA REDE DE DRENAGEM EXTRAÍDA DAS FOTOGRAFIAS AÉREAS	

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
3.1 - Localização da área de estudo	27
3.2 - Mapa geomorfológico da área de estudo	28
3.3 - Mapa geológico da área de estudo	32
3.4 - Mapa de solos da área de estudo	33
4.1 - Balanço hídrico do período de 1966-83 para Juazeiro-BA, 9°22'S/ 40°24'W, alt. 380m	61
4.2 - Balanço hídrico do ano de 1982 para Juazeiro - BA, 9°22'S/ 40°24'W, alt. 380m	64
4.3 - Balanço hídrico do ano de 1983 para Juazeiro - BA, 9°22'S/ 40°24'W, alt. 380m	66
4.4 - Mapa de unidades geomorfológicas obtido a partir da análise visual das fotografias aéreas	67
4.5 - Mapa de unidades geomorfológicas obtido a partir da análise visual das imagens do MSS-LANDSAT	102
4.6 - Composição colorida obtida com os canais 4, 5 e 7, realçados por a.l.c., com as cores azul, verde e vermelho, respectiva mente (época seca)	106
4.7 - Composição colorida obtida com os canais 4, 5 e 7, realçados por a.l.c., com as cores azul, verde e vermelho, respectiva mente (época "chuvosa")	106
4.8 - Imagem resultante da divisão dos canais MSS-7/MSS-5 (passagem da época "chuvosa")	112
4.9 - Contribuições dos canais originais para a primeira, segunda, terceira e quarta componentes principais (época "chuvosa") ..	116
4.10- Imagens da primeira, segunda, terceira e quarta componentes principais, realçadas por a.l.c. (época "chuvosa")	117
4.11- Contribuições dos canais originais para a primeira, segunda, terceira e quarta componentes principais (época seca)	125
4.12- Composição colorida obtida com a primeira, segunda e tercei ra componentes principais, realçadas por a.l.c., com as cores vermelha, verde e azul, respectivamente (época "chuvosa") ..	130
4.13- Composição colorida obtida com a primeira, segunda e quarta componentes principais, realçadas por a.l.c., com as cores ver de, vermelha e azul, respectivamente (época seca)	130
4.14- Classes espectrais resultantes da aplicação do algoritmo K -médias (época seca)	134
4.15- Classes espectrais resultantes da aplicação do algoritmo K -médias (época "chuvosa")	134

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
3.1 - Litologias predominantes na área de estudo	30
3.2 - Associações de solos predominantes na área de estudo	31
3.3 - Principais espécies da Caatinga hiperxerófila	34
3.4 - Principais características climáticas da área de estudo	35
3.5 - Especificações das imagens e CCTs do MSS-LANDSAT-4 utilizadas	36
4.1 - Balanço hídrico mensal segundo Thorntwaite em 1948 para Jua zeiro-BA, baseado em dados termopluviométricos do período de 1966/83. Latitude: 9°22'S; Longitude: 40°24'W; Altitude: 380m	60
4.2 - Balanço hídrico mensal segundo Thorntwaite em 1948 para Jua zeiro-BA, baseado em dados termopluviométricos do ano de 1982 Latitude: 9°22'S; Longitude: 40°24'W; Altitude: 380m	63
4.3 - Balanço hídrico mensal segundo Thorntwaite em 1948 para Jua zeiro-BA, baseado em dados termopluviométricos do ano de 1983 Latitude: 9°22'S; Longitude: 40°24'W; Altitude: 380m	65
4.4 - Área, valores médios e coeficientes de variação (CV) dos pa râmetros morfométricos, por classe topográfica resultante da aplicação do algoritmo K-médias	69
4.5 - Unidades geomorfológicas, classes topográficas e classes de declividade	75
4.6 - Valores mínimos, máximos, médios e desvio padrão, dos parâme tros de solos agrupados por unidade geomorfológica	79
4.7 - Intervalos de níveis de cinza dos canais originais (após cor reção radiométrica) e os respectivos intervalos de níveis de cinza selecionados para a aplicação da técnica de realce por a.l.c.	105
4.8 - Análise estatística do número de canais de drenagem identi cados nas fotografias aéreas (F.A.) e nas imagens do MSS -LANDSAT (MSS)	110
4.9 - Matriz dos coeficientes de correlação dos canais originais (época "chuvosa")	114
4.10- Matriz de covariância-variância dos canais originais (época "chuvosa")	114
4.11- Matriz dos autovetores ou componentes principais que indica as respectivas contribuições dos canais originais (época "chu vosa")	115
4.12- Autovalores ou variância dos novos canais, porcentagem da va riância total e porcentagem da variância acumulada (época "chuvosa")	115

	<u>Pág.</u>
4.13- Matriz dos coeficientes de correlação dos canais originais (época seca)	123
4.14- Matriz de covariância-variância dos canais originais (época seca)	123
4.15- Matriz dos autovetores ou componentes principais que indica as respectivas contribuições dos canais originais (época seca)	124
4.16- Autovalores ou variância dos novos canais, porcentagem da variância total e porcentagem da variância acumulada (época seca)	124
4.17- Avaliação qualitativa da discriminação das unidades geomorfológicas por produto de sensoriamento remoto	132

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

O principal objetivo deste trabalho é avaliar a utilização de dados do MSS-LANDSAT para o mapeamento de unidades geomorfológicas (na escala 1:100.000) em região semi-árida como suporte ao planejamento regional, aplicando um método de mapeamento integrado.

Este estudo foi elaborado considerando a importância dos mapas geomorfológicos para o planejamento regional, bem como as vantagens apresentadas pelos métodos de mapeamento integrado para a sua elaboração e para a exploração de produtos de sensoriamento remoto, principalmente aqueles em pequena escala.

Diversos métodos de classificação do terreno como o Sistema CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization), os sistemas Canadense e Soviético, entre outros, utilizam uma abordagem integrada, de natureza qualitativa, de forma que as unidades classificadas expressem a integração dos diferentes componentes da paisagem. Através da aplicação desses métodos, apoiados na utilização sistemática de fotografias aéreas e/ou mais recentemente das imagens de satélite, é geralmente produzido um único mapa (a partir da delimitação dos padrões fotográficos) que representa os principais componentes da paisagem. A complexidade de cada unidade de paisagem dependerá da escala do mapa, do produto de sensoriamento remoto utilizado, da unidade hierárquica adotada e principalmente das características da área de estudo. Este mapa síntese, voltado geralmente para aplicações práticas pode servir como base para a realização de estudos mais específicos.

Dentre estes métodos, um dos mais conhecidos e utilizados é aquele do CSIRO, o qual, apesar do aparente sucesso do seu uso para planejamento agropecuário, tem sido alvo de inúmeras críticas, principalmente no que se refere ao caráter subjetivo do método e à natureza estática das unidades classificadas. Por outro lado, nos métodos como,

por exemplo, os soviéticos ou aquele proposto por Tricart e Kilian (1979), o caráter dinâmico das unidades de paisagem é destacado através de uma abordagem sistêmica.

Uma outra opção de classificação do terreno é o método paramétrico, uma abordagem de natureza quantitativa e menos subjetiva, baseado principalmente na aquisição de dados numéricos sobre atributos característicos do relevo e da drenagem, além do solo e da vegetação, entre outros.

Os dois tipos de métodos citados têm sido utilizados, isoladamente ou em conjunto, tanto para mapeamentos temáticos como para mapeamentos integrados.

As formas de relevo e sua dinâmica refletem a interação entre os diferentes componentes da paisagem, incluindo as feições culturais como o uso do solo urbano e rural. Estas interações são registradas nas imagens (fotografias aéreas e MSS-LANDSAT), formando diferentes padrões fotográficos. Nesse sentido, a delimitação das unidades de paisagem a partir de padrões fotográficos baseia-se em geral na compartimentação geomorfológica. Isto principalmente em regiões áridas e semi-áridas onde a cobertura vegetal, que juntamente com as formas de relevo e o uso do solo formam os elementos diretamente visíveis nas imagens, se apresenta normalmente mais esparsa.

As imagens do MSS-LANDSAT têm-se mostrado adequadas para a elaboração de mapas geomorfológicos ou integrados regionais em pequenas escalas. Esses dados fornecem informações de maneira econômica e eficiente para extensas áreas, possibilitando uma visão sinótica das unidades de paisagem. Através da utilização de técnicas de análise de imagens digitais é possível combinar uma abordagem quantitativa com uma abordagem qualitativa. Além disto, os dados do satélite LANDSAT permitem uma análise temporal, devido à repetitividade de imageamento de uma mesma área, num intervalo de tempo conhecido.

Este trabalho baseou-se no método de mapeamento integrado utilizado pelo CSIRO em conjunto com uma análise paramétrica (índices morfométricos e parâmetros referente às propriedades físico-químicas dos solos). À medida do possível, tentou-se incorporar também a proposta metodológica de Tricart e Kilian (1979), destacando-se o caráter dinâmico das unidades geomorfológicas.

Para o desenvolvimento deste estudo foi selecionada como área-teste uma região de clima semi-árido (com grande diversidade de paisagem), de aproximadamente 800 km², localizada no Município de Juazeiro-BA.

Os dados de sensoriamento remoto utilizados neste trabalho foram fotografias aéreas pancromáticas, na escala 1:70.000, e dados do MSS-LANDSAT-4 (digitais e imagens) de duas épocas: seca e chuvosa.

Os dados digitais do MSS-LANDSAT foram submetidos a técnicas de realce e a uma classificação não-supervisionada, com a finalidade de avaliar a utilização destas técnicas na discriminação de unidades geomorfológicas.

Foi elaborado um mapa de unidades geomorfológicas, equivalente às unidades hierárquicas "land units" do sistema CSIRO, a partir das fotografias aéreas mencionadas anteriormente, para ser utilizado como referência na avaliação dos dados do MSS-LANDSAT. Para essas unidades foi especificado o tipo de litologia, geomorfologia, os solos, a cobertura vegetal e o uso do solo, bem como o tipo de meio morfodinâmico.

A "land unit" corresponde aos padrões fotográficos de fotografias aéreas de pequena escala e a compartimentos geomorfológicos. Na realidade, para esta unidade hierárquica que se caracteriza por apresentar pequena variação com relação à litologia, aos solos, ao relevo e à cobertura vegetal, admite-se uma coincidência ou superposição entre os limites destas classes. À medida que condições similares de pai

sagem requerem aplicações de medidas similares de planejamento, quanto mais homogêneas forem as unidades classificadas maior será a sua utilidade para fins de planejamento. Desta forma, procurou-se finalmente avaliar a individualidade e a homogeneidade interna de cada unidade quanto aos principais componentes da paisagem e saber em que medida existe uma coincidência ou superposição entre os limites litológicos, geomorfológicos, pedológicos e de cobertura vegetal para as unidades delimitadas a partir dos padrões fotográficos.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - MAPAS GEOMORFOLÓGICOS

Existem vários tipos de mapas geomorfológicos. Faz-se uma distinção entre mapas de finalidade geral e mapas de finalidade prática (Zuidam, 1982). Os primeiros são também conhecidos como mapas elaborados para fins acadêmicos (Cooke e Doornkamp, 1974), mapas básicos gerais (Demek, 1972) ou ainda mapas padrões (Gerrard, 1981).

Segundo Verstappen em 1970 (Cooke e Doornkamp, 1974) há também a distinção entre mapas morfográficos, morfométricos, morfogenéticos e morfocronológicos, chamados por Demek (1972) mapas básicos parciais. Demek (1972) fala ainda em mapas geomorfológicos especiais para uso de outras disciplinas, tais como Geologia, Hidrogeologia, Geofísica, etc.

Os mapas geomorfológicos são diferenciados também de acordo com a escala. Adaptando o sistema da União Internacional dos Geógrafos (IGU), Zuidam (1982) propôs, com relação à escala, a seguinte classificação:

1) Mapas de grande e média escala; subdivididos em duas classes:

a) Mapas detalhados:

- até 1:10.000, mapas planos;
- 1:10.000 a 1:25.000, mapas básicos;
- 1:25.000 a 1:100.000, mapas detalhados.

Estes mapas são compilados após intenso trabalho de campo. Para os detalhes representados faz-se pouca ou nenhuma generalização.

b) Mapas semidetalhados:

- 1:25.000 a 1:100.000, mapas sinóticos de grande escala;
- 1:100.000 a 1:250.000, mapas sinóticos de média escala.

Estes mapas são compilados após um trabalho de campo geral. Fazem-se algumas extrapolações e generalizações.

2) Mapas de pequena escala; também subdivididos em duas classes:

a) Mapas normais de pequena escala:

- 1:250.000 a 1:1.000.000, mapas sinóticos de pequena escala;

- 1:500.000 a 1:5.000.000, mapas regionais.

Estes mapas são compilados após trabalho de campo ao nível de reconhecimento, ou a partir de mapas de grande e média escala. Muitas extrapolações e generalizações podem ser feitas.

b) Mapas de reconhecimento:

- mapas de reconhecimento propriamente ditos. Os trabalhos de campo são realizados somente em algumas áreas-chaves. Aplica-se alto grau de generalização e extrapolação.

- 1:500.000 a 1:5.000.000, mapas regionais;

- 1:5.000.000 a 30.000.000, mapas de continentes;

- 1:30.000.000 e menores, mapas do mundo.

Estes mapas são compilados, basicamente, a partir de mapas de grande e média escala e são muito gerais.

Para Zuidam (1982) quatro aspectos principais são essenciais num mapa geomorfológico de finalidade geral:

1) Morfologia (relevo)

- morfografia: os aspectos descritivos da geomorfologia de uma área, por exemplo: planícies, colinas, montanhas e planaltos;

- morfometria: os aspectos quantitativos de uma área, por exemplo: declividade e altitude.

2) Morfogênese: origem e desenvolvimento das formas de relevo e os processos que as constituem e nelas atuam:

- morfoestrutura passiva: litologia e estrutura;

- morfoestrutura ativa: a dinâmica interna (processos endógenos);

- morfodinâmica: dinâmica externa (processos exógenos).
- 3) Morfocronologia: a idade absoluta e relativa das várias formas de relevo e os processos a elas relacionados.
- 4) Arranjo das formas: a distribuição espacial e a interrelação das várias formas de relevo, e os processos a elas relacionados.

Tricart e Kilian (1979) destacam, além desses aspectos, a importância da representação das formações superficiais nesse tipo de mapa geomorfológico. Estes autores, como a maioria dos geólogos e geomorfólogos, consideram como formações superficiais todos os materiais, em afloramento, que diferem da rocha subjacente, sejam originados diretamente desta ou não. Nesta definição os solos são considerados um elemento das formações superficiais.

Cooke e Doornkamp (1974) salientam, por outro lado, as dificuldades na representação cartográfica de todas essas informações e na leitura e utilização desses mapas, principalmente por parte de outros especialistas e planejadores. Entretanto, segundo estes autores, os mapas geomorfológicos de finalidade geral, de pouco valor prático, podem ser simplificados e adaptados para uma finalidade específica ou prática.

Os mapas geomorfológicos elaborados para finalidade prática podem conter informações necessárias ao planejamento do uso do solo agrícola, engenharia civil, levantamento e conservação de solos entre outros. Nesses mapas são representados um ou mais dos aspectos enumerados anteriormente e utilizados critérios e legendas conforme a sua finalidade. Nos mapas geomorfológicos para planejamento agrícola, por exemplo, geralmente são destacados: a morfologia, as formações superficiais e os processos morfogenéticos atuais. Uma relação de aplicações de mapas geomorfológicos para planejamento encontra-se em Demek (1972).

Além dos diferentes tipos de mapas, existem diferentes sistemas de mapeamento geomorfológico. Segundo Baumgratz Doné (1981) apesar dos esforços da Subcomissão para Mapeamento Geomorfológico da União Internacional de Geógrafos: (Sub-comission on Geomorphological Mapping of the IGU) parece ainda estar longe a existência de um método unificado internacional de mapeamento geomorfológico, como aquele usado para as cartas geológicas.

De acordo com Christofolletti (1980) isso decorre do fato de que os diferentes critérios (estrutural, climático, temporo-espacial e genético) estabelecidos não superaram o problema lógico da classificação para a ciência geomorfológica.

Tricart e Cailleux (1956), que se destacaram por tentativas de classificação dos fenômenos geomorfológicos segundo o critério temporo-espacial, concluíram que a complexidade desses fenômenos não permite que se chegue a um esquema de classificação único.

Em função dessa complexidade e da variedade dos fenômenos geomorfológicos, Tricart e Kilian (1979) acham impossível e um erro querer padronizar todas as cartas geomorfológicas, propondo flexibilidade nas legendas. Ab'Saber (1969) também afirma que as legendas das cartas geomorfológicas devem ser diferenciadas para que as feições geomorfológicas de cada área particular sejam realçadas.

Dentre os diversos sistemas de mapeamento geomorfológico existentes, os mais conhecidos e utilizados são o sistema IGU (Demek, 1972), o sistema ITC que, conforme Salomé e Dorsser (1982), foi descrito por Verstappen e Van Zuidam em 1968 e por Verstappen em 1970 e o Sistema francês descrito por Tricart em 1972.

O sistema IGU constitui a principal contribuição a uma proposta unificada para mapas geomorfológicos detalhados.

Pela influência da escola geográfica francesa no Brasil, o sistema francês, também voltado para cartas detalhadas, é o mais di

fundido neste País. De acordo com Troppmair (1970), neste sistema trabalha-se com os elementos que compõem as formas geomorfológicas. Assim sendo, a carta resultante deste sistema caracteriza-se pelo grande número de sinais, o que torna muito difícil a sua leitura e interpretação. Além disto, embora a carta contenha muita informação, ela é desprovida de qualquer valor quantitativo.

O sistema ITC, segundo Salomé e Dorsser (1982), baseia-se nas unidades geomorfológicas, sendo adequado para diferentes escalas. Neste sistema, a delimitação das unidades geomorfológicas é feita a partir dos padrões fotográficos discernidos nas fotografias aéreas, sendo atribuída à cada unidade um processo dominante.

No Brasil, com exceção dos mapas que vem sendo elaborados pelo Projeto RADAMBRASIL, e de algumas contribuições isoladas, como aquela do IPT (1981), o que se dispõe em matéria de mapeamentos geomorfológicos, conforme Christofolletti (1977), são trabalhos específicos, reduzidos em extensão espacial e sobretudo não-sistematizados.

No mapa geomorfológico do Projeto RADAMBRASIL, são destacadas a morfologia e a morfogênese atual. Segundo Barbosa (1973) as informações sobre a evolução geomorfofogenética e as formações superficiais são fornecidas, à medida do possível, nos relatórios que acompanham este tipo de mapa.

De acordo com Barbosa et alii (1977), o sistema de legenda estabelecido pelo Projeto RADAMBRASIL é aberto e flexível, composto por associações de letras e dígitos, permitindo acréscimos e adaptações à medida que progride o mapeamento e a experiência com os produtos do principal sensor (radar) utilizado.

2.2 - IMAGENS DO MSS-LANDSAT NA ELABORAÇÃO DE MAPAS GEOMORFOLÓGICOS

Para a elaboração de mapas geomorfológicos, diferentes produtos de sensoriamento remoto podem ser utilizados. Com relação à utilização de dados do MSS-LANDSAT para estudos geomorfológicos, ape

sar de limitações como a impossibilidade de visão estereoscópica e resolução de 80m, estes dados apresentam vantagens como: visão sinótica de grandes áreas e possibilidade de análise temporal, multiespectral e digital.

Segundo Gimbarzevsk (1974), na falta de estereoscopia, as características do modelado terrestre podem, em geral, ser inferidas a partir dos padrões de drenagem, textura, diferenças de tonalidade e efeitos de sombreamento. Mais detalhes sobre a utilização de imagens do MSS-LANDSAT em Geomorfologia podem ser encontrados em Verstappen (1977b) e em Sausen e Novo (1981).

As imagens do MSS-LANDSAT vem sendo utilizadas para a elaboração de mapas de unidades geomorfológicas, equivalentes a mapas sinóticos de pequena e média escala, na classificação de Zuidam(1982), onde são representadas formas ou conjunto de formas. Para mapeamentos mais detalhados, onde são destacados os elementos que compõem as formas de relevo, essas imagens são usadas em conjunto com outros produtos de sensoriamento remoto, de maior escala e poder de resolução.

A maior parte dos mapeamentos geomorfológicos elaborados a partir de imagens do MSS-LANDSAT, citados a seguir, foi realizada pelo INPE, destacando-se as contribuições de Novo e Nascimento(1977), Santos e Novo (1977), Nascimento e Nascimento (1977), Santos et alii (1980), Sausen (1981) e Sausen e Aquino (1984).

Novo e Nascimento (1977) propuseram uma metodologia para o mapeamento geomorfológico, na escala 1:1.000.000, ao estudar a área recoberta pela folha Belo Horizonte, utilizando imagens do MSS-LANDSAT dos canais 5 e 7. Foi confeccionada uma carta morfográfica, onde as unidades mapeadas foram identificadas pela forma dominante que as caracterizava. Essas formas foram agrupadas em três categorias: formas estruturais, formas esculturais e formas mistas.

Santos e Novo (1977) avaliaram o uso de imagens do MSS-LANDSAT na diferenciação de unidades topográficas no Sudeste da Am

zônia. As imagens do canal 7, nas escalas 1:1.000.000 e 1:500.000, permitiram a individualização de um maior número de unidades de textura fotográfica, correspondentes às variações da topografia. A textura fotográfica, expressa quantitativamente através do Índice de rugosidade, definido como o número de variações de tonalidade por amostra, mostrou correlação com os parâmetros topográficos de densidade de drenagem, textura topográfica e declividade.

Nascimento e Nascimento (1977) utilizando imagens do MSS-LANDSAT dos canais 5 e 7, na escala 1:250.000, verificaram qual o nível de detalhe que pode ser alcançado em Geomorfologia. Os índices morfométricos (densidade de drenagem e frequência de rios) foram extraídos destas imagens através de amostras circulares que representam áreas de 5 km². A utilização das imagens do MSS-LANDSAT, com base na análise da drenagem, permitiu discriminar duas das três unidades geomorfológicas da região de Vazante-MG, individualizadas através de fotografias aéreas pancromáticas e transparências multiespectrais I²S, com base também na análise da drenagem.

Woldai (1979) mapeou a geomorfologia e o uso do solo, de uma região da China, com base no sistema ITC e em Anderson et alii, respectivamente, num único documento, na escala 1:1.000.000. Para tanto, utilizou cinco imagens do MSS-LANDSAT, nos quatro canais, de diferentes meses e anos, e, através do emprego do "color additive viewer (I²S)" analisou transparências positivas e diferentes composições coloridas falsa cor. Cartas topográficas, mapas e bibliografia, da área de estudo também foram utilizadas. Conforme este autor, as imagens do MSS-LANDSAT utilizadas permitiram a delimitação de várias unidades geomorfológicas e de uso do solo, sendo estas unidades claramente relacionadas entre si.

Santos et alii (1980) estudaram a relação entre as unidades geomorfológicas e as variações na qualidade das pastagens, no Município de Paragominas-PA, através de imagens do MSS-LANDSAT. Analisaram também a variabilidade de propriedades químicas dos solos com relação à compartimentação geomorfológica. Concluíram que a análise dos

padrões de textura na imagem do canal 7 (escala 1:250.000) permite a compartimentação geomorfológica de uma área, a qual pode fornecer subsídios ao planejamento do uso do solo.

Sausen (1981) utilizou, para a compartimentação geomorfológica da bacia abastecedora do reservatório de Três Marias(MG), imagens do MSS-LANDSAT dos canais 5 e 7, na escala 1:500.000 (período seco). Esta compartimentação (em três categorias de formas: colinas, tabuleiros e cristas associadas à intensidade de dissecação vertical e amplitude de forma) serviu como base para uma análise integrada da área de estudo, onde as características da rede de drenagem, da litologia, dos solos, da cobertura vegetal e do uso do solo também foram consideradas para uma avaliação da dinâmica da bacia deste reservatório.

Um mapa geomorfológico do Estado de São Paulo, ao milionésimo, foi executado pelo IPT (1981) a partir de uma análise sistemática de imagens do MSS-LANDSAT, nos quatro canais, nas escalas 1:250.000 e 1:500.000, bem como de mosaicos semicontrolados de radar, na escala de 1:250.000. O controle dos tipos de relevo delimitados nas imagens e nos mosaicos foi realizado através da análise de cartas topográficas na escala 1:50.000, ou 1:100.000 na falta das anteriores. A delimitação das unidades foi feita com base no sistema do CSIRO, sendo identificados conjuntos de formas de relevos semelhantes denominados de *sistemas de relevo* (land systems). Para a definição das características das *unidades de relevo* (land units) foram estabelecidos os seguintes critérios: amplitude local de cada forma, declividade das encostas, perfil das encostas, extensão e forma dos topos, expressão de cada unidade em área, densidade e padrão de drenagem. Estes critérios serviram para a elaboração da legenda da carta.

Shih e Schowengerdt (1983) desenvolveram uma metodologia de análise digital de imagens do MSS-LANDSAT para a classificação de unidades geomórficas em zona árida, utilizando atributos espectrais e texturais da imagem. Algoritmos de extração e seleção de atributos espaciais e de classificação supervisionada foram utilizados. A compara

ção entre a classificação baseada somente nos atributos espectrais da imagem com aquela que utilizou dois atributos (espectrais e texturais) mostrou que esta última apresentou resultados significativamente melhores. A precisão de classificação neste caso foi de 96% contra 73% no primeiro caso.

Sausen e Aquino (1984) utilizaram uma composição colorida da falsa-cor na escala 1:250.000 e dados digitais, do MSS-LANDSAT referentes ao período seco e chuvoso para a compartimentação geomorfológica do Município do Careiro-AM. As imagens digitais, após a ampliação para a escala 1:100.000, foram aplicadas técnicas de realce, contraste linear e componentes principais. A análise visual conjunta das imagens realçadas, com base nos critérios de tonalidade e textura, possibilitou separar, com segurança, quatro unidades geomorfológicas considerando sobretudo aspectos morfológicos.

2.3 - MÉTODOS DE MAPEAMENTO INTEGRADO

2.3.1 - MÉTODO DO CSIRO

Entre os diferentes métodos de mapeamento integrado, o mais conhecido e utilizado e um dos pioneiros é o sistema desenvolvido pela Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) na Austrália, sendo conhecido também como "Land System Approach" (Cooke and Doornkamp, 1974; Dent and Young, 1981) ou "Australian Land Research Approach" (Christian and Stewart, 1968). Ele foi criado como um meio de mapear rapidamente extensas áreas pouco ou não-estudadas para fins de planejamento agropecuário.

Autores como Gerrard (1981), Cooke (1977) e Townshend (1981b) entre outros citam o método do CSIRO e o apresentam de forma sucinta. Outros como Christian e Stewart (1968), Tricart e Kilian (1979), Ollier (1977), Cooke e Doornkamp (1974) e Dent e Young (1981) tratam do mesmo método de forma mais abrangente.

Segundo esses autores, o método do CSIRO apóia-se na utilização sistemática de fotografias aéreas, em geral de escalas entre 1:40.000 a 1:100.000, sendo aplicado principalmente a mapeamentos em pequenas escalas (1:250.000 a 1:1.000.000).

O trabalho é desenvolvido por uma equipe interdisciplinar, que trabalha em conjunto em todas as etapas, sendo composta por um geólogo ou geomorfólogo, um pedólogo, um ecólogo e, eventualmente, um outro especialista como, por exemplo, um agrônomo.

Em linhas gerais, o procedimento consiste em delimitar nas fotografias aéreas as unidades que apresentam padrões fotográficos distintos; junto com as demais informações disponíveis sobre geologia, topografia e clima, é elaborado um mapa preliminar. Um número de amostras de cada padrão fotográfico é selecionado para ser examinado no campo. Estes pontos amostrais devem estar localizados preferencialmente próximos a estradas e caminhos. No campo são examinadas a geologia, o relevo, o solo, a vegetação e o uso do solo; onde necessário, amostras de rocha, solo ou espécies vegetais são coletadas para posterior análise. O mapa preliminar é então correlacionado e corrigido com os dados de campo, e as "land units" (unidades correspondentes aos padrões fotográficos) são agrupadas em sistemas de terra (land systems) que é a unidade básica de mapeamento.

Os resultados são apresentados em dois tipos de documentos que se complementam:

- um relatório que dá uma visão geral sobre a região estudada e apresenta as características de cada unidade mapeada (land system). Apresenta ainda diagramas de blocos de cada sistema de terra, os quais indicam as formas do relevo e a relação com o substrato rochoso, bem como a localização das unidades de terra (land unit), identificadas por números. Para cada unidade de terra, o relevo, o solo e a vegetação são sempre indicados. Outras informações também podem ser incluídas, tais como dados estruturais, informações sobre formações superficiais, clima etc.

- um mapa dos sistemas de terra (land systems), na escala 1:250.000 ou menor, até 1:1.000.000, descritos no relatório. Mais recentemente, estão sendo incluídos mapas individuais de geomorfologia, solos, vegetação e uso do solo, explicados em relatório a parte.

A taxonomia adotada pelo sistema CSIRO é simples. Ela comporta na sua versão mais elaborada três níveis hierárquicos: sistema de terra (land system), unidade de terra (land unit) e sitio (site), definidos abaixo.

- Sistema de terra (land system): é definido por Christian e Stewart (1968) como "uma área ou grupo de áreas, na qual existem padrões repetidos de topografia, solo e vegetação". Segundo estes autores, os limites dos sistemas de terra geralmente coincidem com as modificações dos fatores genéticos, por exemplo a natureza das rochas sobre as quais a paisagem se formou (ou seja, com os limites geológicos) ou com mudanças nos processos de evolução da paisagem (isto é, com os limites geomorfológicos).
- Unidade de terra (land unit): é definida como uma área que apresenta pouca variação em termos de geologia, relevo, solo e vegetação, correspondendo a subdivisões (os padrões repetidos) de um sistema de terra. Conforme Cooke e Doornkam (1974), essas unidades são frequentemente reconhecidas com base na sua geomorfologia. Para Christian e Stewart (1968) o grau de simplicidade ou complexidade de uma unidade de terra é determinado pela natureza da forma de relevo aceita como unidade de estudo.
- Sitio (site): conforme Christian e Stewart (1968) é uma área que, para fins práticos, é uniforme em toda sua extensão, em termos de relevo, solo e vegetação.

Os trabalhos citados a seguir, elaborados a partir de fotografias aéreas ou de imagens do MSS-LANDSAT, basearam-se no método do CSIRO.

Robinove (1979) testou a viabilidade do uso de técnicas de classificação digital na elaboração de um mapa de sistemas de terra "land system map" para fins de planejamento agropecuário. Dados digitais do MSS-LANDSAT, referentes às épocas seca e chuvosa, foram submetidos a realce de contraste e a uma classificação supervisionada. O resultado desta classificação foi avaliado com base no mapa de sistemas de terra da mesma área (sudoeste da Austrália), na escala 1:500.000, elaborado a partir de fotografias aéreas. A comparação qualitativa entre os dois produtos mostrou correspondência com a maior parte dos sistemas de terra.

Ackerson e Fish (1980) utilizando fotografias aéreas pancromáticas na escala 1:32.500 elaboraram um mapa de unidades de paisagem com base nos critérios de tonalidade, textura, padrão e relevo. Foram aplicados testes que comprovaram a individualidade e a homogeneidade interna das unidades de paisagem e mostraram a coincidência entre os limites destas unidades com aqueles das classes geológicas, topográficas (declividade) e de associações de vegetação. Estes autores concluíram que as unidades de paisagem podem ser delimitadas com sucesso em uma região diversificada e complexa como o Parque Nacional das Montanhas do Guadalupe no Texas.

Cook (1981) testou a viabilidade do método integrado para o levantamento de solos numa planície aluvial da Tanzânia. Sistemas de terra (land systems) e unidades de terra (land units) foram delimitados a partir de mosaicos semicontrolados (obtidos de fotos aéreas) na escala 1:50.000, com base nas características de tonalidade e textura. Utilizando fotografias aéreas na escala 1:25.000, cada unidade de terra foi descrita em termos de relevo, drenagem, vegetação, sendo inferidos os tipos de solos. Foi feito um controle de campo para testar a validade da classificação e a homogeneidade das unidades de terra com relação às propriedades físico-químicas dos solos. Os resultados mostraram para algumas unidades grande variação quanto a estas propriedades do solo. Entretanto, Cook concluiu que a limitação do método utilizado se deve à própria complexidade da área estudada.

Mitchell et alii (1982) elaboraram um mapa de unidades *morfoodinâmicas* a partir da análise visual de imagens do MSS-LANDSAT, composições coloridas falsa-cor na escala 1:1.000.000. Um mapa de cobertura vegetal e uso do solo discriminando tipo e densidade também foi elaborado. Este mapa, juntamente com o mapa de unidades *morfoodinâmicas* que indicando formas predominantemente erosivas e de deposição (com base na morfologia, litologia, solos e processos geomórficos) serviu para identificar áreas submetidas a diferentes processos de degradação do solo. A metodologia utilizada neste trabalho é discutida também por Mitchell (1981).

2.3.2 - OUTROS MÉTODOS DE MAPEAMENTO INTEGRADO

Além do método desenvolvido pelo CSIRO, existem outros métodos de mapeamento integrado como o sistema soviético, o sistema canadense e o método proposto inicialmente por Tricart (1977) e modificado por Tricart e Kilian (1979). Apesar das diferenças teóricas e metodológicas apresentadas pelos diferentes métodos ou sistemas de classificação integrada, muitas semelhanças existem entre eles.

Todos esses métodos ou sistemas, na tentativa de estabelecer um conhecimento global do meio natural e dos recursos que ele oferece, apoiaram-se no conceito de paisagem, por isto são conhecidos também como métodos de análise da paisagem (Landscape Approach). Apesar da diversidade existente com relação ao conceito de paisagem, vários autores como Christian e Stewart (1968), Cooke e Doornkamp (1974), Verstappen (1977b), Cooke (1977), Tricart e Kilian (1979) e Townshend (1981b) salientam a importância da Geomorfologia como elemento de integração entre os vários componentes da paisagem, principalmente na delimitação de suas unidades hierárquicas. Isto vale especialmente para regiões áridas e semi-áridas onde a cobertura vegetal reduzida permite que as formas de relevo sejam os elementos da paisagem melhor perceptíveis nas imagens fotográficas. Estes produtos, principalmente em pequenas escalas, possibilitam uma visão sinótica das unidades geomorfológicas ou de paisagem, sendo por isto amplamente explorados pelos métodos de mapeamento integrado.

No sistema do CSIRO, a paisagem é considerada uma unidade complexa, sendo o resultado das combinações e interações de todos os elementos que a compõem. No entanto, o seu caráter dinâmico não é destacado, pois o aspecto fisiográfico na delimitação das unidades de paisagem é o mais considerado; esta é uma das principais críticas a este sistema.

Bertrand (1971), que propôs um sistema hierárquico de classificação das paisagens naturais, apresentou uma definição de paisagem onde o seu caráter dinâmico foi destacado. Para ele, a "paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, numa determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução". Segundo este autor a noção de escala é inseparável do estudo das paisagens, e o sistema taxonômico deve permitir classificar as paisagens em função da escala, isto é, situá-las na dupla perspectiva do tempo e do espaço. Assim, o sistema de classificação proposto comporta seis níveis temporo-espaciais para os quais foi utilizada como base geral de referência a escala geomorfológica temporo-espacial de Tricart e Cailleux. Os seis níveis foram subdivididos, de um lado, as unidades superiores: zona, domínio e região e de outro, as unidades inferiores: o geossistema, o geofácies e o geotopo.

Na URSS a teoria da classificação das paisagens fundamenta os estudos de organização do espaço geográfico nos quais se apoiam os planos de desenvolvimento regionais. Para os soviéticos as paisagens são hierarquias funcionais, geossistemas. Assim sendo, as unidades delimitadas com base na morfologia da paisagem são caracterizadas como um sistema onde as conexões existentes entre os diferentes componentes da natureza e sua dinâmica são analisadas. De acordo com Sotchava (1977), dois princípios convergem para a caracterização das paisagens: homogeneidade e diferenciação. Por conseguinte, a taxonomia dos geossistemas é construída a partir de duas classes: uma denomina

da "geômero", com estrutura homogênea e outra chamada "geôcoro", com estrutura diferenciada. Estes estudos no entanto são muito pouco difundidos entre nós.

Tricart e Kilian (1979) propõem um método de estudo integrado para fins de planejamento e conservação do meio ambiente. Eles consideram o meio natural como um sistema aberto (ecossistema) e analisam sua estrutura e dinâmica. Saliendam a importância do estudo da morfodinâmica na determinação da sensibilidade dos diferentes meios naturais face a intervenção antrópica. O conceito de balanço morfogêne-se-pedogênese, sendo admitida a coexistência e interação entre estes dois tipos de processos, fundamenta a classificação proposta por esses autores em três grandes categorias de meios morfodinâmicos: meios estáveis, meios instáveis e meios de transição (intergrades). Nos meios estáveis o balanço morfogênese-pedogênese é claramente favorável ã pedogênese, enquanto nos meios instáveis ele é claramente favorável ã morfogênese. Por outro lado, nos meios de transição esta relação não é nitidamente favorável a nenhum dos dois tipos de processos, os quais atuam de maneira concorrente sobre um mesmo espaço. Segundo estes autores, este tipo de meio de transição gradual e multiforme constitui os casos mais frequentes, sendo também os mais delicados para o planejamento, pois dependendo do tipo de ocupação podem passar para os casas extremos (meios estáveis e instáveis).

O estudo das relações morfogênese-pedogênese envolve uma análise integrada das características: climáticas, morfológicas, litológicas, das formações superficiais que incluem os solos, da cobertura vegetal (tipo e densidade) e do uso do solo (tipo e intensidade). Assim, por exemplo, uma área com irregularidade climática, declives acentuados, solos mal estruturados e uma cobertura vegetal aberta e pouco densa apresenta características que favorecem os processos mecânicos, especialmente a erosão pluvial e o escoamento superficial, e, portanto a morfogênese. Ao contrário, uma área com um clima regular, declives suaves, cobertura vegetal fechada com um estrato baixo e denso, e uma lenta destruição da matéria orgânica possui características

que freiam o desencadeamento dos processos mecânicos e, ao mesmo tempo, favorecem a pedogênese.

A unidade básica de mapeamento no método proposto por Tricart e Kilian (1979) é a unidade *morfopedológica*, delimitada e caracterizada em função das relações morfogênese-pedogênese. Para o mapa *morfopedológico* os autores sugerem escalas médias entre 1:200.000 e 1:50.000, acrescentando que, para que o mesmo nível de detalhe seja mantido para áreas mais complexas, este mapa pode ser elaborado em escalas maiores, até 1:20.000. Na legenda do mapa *morfopedológico* são destacados principalmente o tipo de meio morfodinâmico e as formações superficiais, mas também as características geomorfológicas e pedológicas, o regime hidrológico e a cobertura vegetal. Na mesma carta ou separadamente são indicadas as potencialidades e limitações de cada unidade *morfopedológica* para o uso do solo.

Finalmente, de acordo com esses autores, o conceito de balanço morfogênese-pedogênese aplica-se exclusivamente aos fenômenos morfogênicos generalizados (processos que afetam o conjunto de uma área, ao contrário dos fenômenos localizados que agem sobre uma área restrita). Apesar disto e embora não tenha sido estabelecida nenhuma hierarquia para as unidades *morfopedológicas*, estes autores afirmam que a classificação proposta pode ser utilizada nos mais diferentes níveis taxonômicos.

No sistema canadense "Canadian Ecological Land Survey (ELS) Classification System", as unidades de paisagem denominadas unidades *ecológicas* ou *biofísicas* são consideradas como ecossistemas (Watson, 1983). Do maior ao menor nível, as unidades hierárquicas deste sistema: ecoprovíncia, ecorregião, ecodistrito, ecosseção, ecossítio e ecoelemento são definidas, e a escala de mapeamento mais adequada é indicada para cada nível hierárquico.

Os trabalhos citados a seguir referem-se à avaliação de dados do MSS-LANDSAT para a elaboração de mapas integrados, destacando

-se aqueles de Claasen e Ross (1981) e de Ringrose e Large (1983), baseados no sistema canadense.

Claasen e Ross (1981) elaboraram um mapa de unidades integradas para a região de Alberta (Canadá), na escala 1:50.000, para fins de planejamento. As unidades foram caracterizadas em termos biofísicos, sendo também indicadas, para cada unidade, as potencialidades e limitações à implantação de projetos. Um mapa preliminar de *ecodistritos* foi feito a partir da interpretação visual de composições coloridas falsa-cor, nas escalas 1:1.000.000 e 1:500.000, e de imagens digitais do MSS-LANDSAT. Os dados digitais foram corrigidos geometricamente e realçados por contraste linear e razão de canais. Um algoritmo de classificação não-supervisionada também foi testado. Os resultados desta classificação mostraram que numa mesma classe espectral foram agrupadas áreas fisionomicamente similares mas que na realidade são biofisiologicamente diferentes. Por outro lado, os autores concluíram que as imagens do MSS-LANDSAT, corrigidas geometricamente e realçadas, são um instrumento adequado à elaboração de mapas integrados para fins de planejamento.

Ringrose e Large (1983) compararam a utilização de imagens (do MSS-LANDSAT) com dados digitais do MSS-LANDSAT e com imagens de radar do SIR-A no mapeamento de unidades *ecológicas* para uma região tropical úmida. Através da análise visual do canal MSS-7 na escala 1:1.000.000 e da imagem de radar, foram identificadas com facilidade as *ecoprovíncias* e *ecorregiões*, unidades hierárquicas mais amplas do sistema canadense. Foram testadas para uma subcategoria técnicas de processamento digital como realce por contraste linear, razão de canais e componentes principais entre outras, além de uma classificação não-supervisionada, o que permitiu a identificação de unidades menores, os *ecodistritos*. O melhor desempenho na discriminação dos *ecodistritos* foi apresentado pela composição colorida e pela imagem realçada por contraste linear.

Kozlovic e Howarth (1977), embora não tivessem utilizado nenhum dos métodos citados anteriormente, mapearam uma região de

680 km² no noroeste de Ontário (Canadá) em unidades de paisagem (*biofísicas*). Foram usadas fotografias aéreas infravermelhas coloridas, na escala 1:70.000, e um "slide" de uma composição colorida falsa-cor obtida a partir dos dados digitais (canais 4, 5 e 6) do MSS-LANDSAT, projetado para a escala 1:140.000. A análise visual da imagem do MSS-LANDSAT, com base principalmente nos padrões de tonalidade, permitiu identificar 15 das 19 unidades *biofísicas* delimitadas nas fotografias aéreas. Foi realizada também uma classificação supervisionada com os dados digitais que permitiu discriminar 13 das 15 classes. De acordo com estes autores, os levantamentos de campo e as fotografias aéreas (com um dia de diferença em relação à data da imagem) foram essenciais para a análise dos dados do MSS-LANDSAT.

2.4 - MÉTODO PARAMÉTRICO

Pode-se definir o método paramétrico como a divisão e classificação do terreno com base nos valores de atributos selecionados (Mabbutt, 1968).

Segundo vários autores como Mabbutt (1968), Verstappen (1977b) e Ollier (1977), o método paramétrico tem a vantagem de permitir uma definição mais precisa das unidades classificadas, é menos subjetivo que o método qualitativo de análise da paisagem e, sendo quantitativo, possibilita o tratamento estatístico dos dados e a utilização do computador, o que facilita a combinação e correlação dos parâmetros utilizados.

Esses mesmos autores destacam, no entanto, que o método apresenta alguns problemas, particularmente relacionados com a escolha dos parâmetros, com a determinação dos limites das classes, com os valores desses parâmetros e com o estabelecimento de critérios para medir esses valores.

Conforme Verstappen (1977b), a dificuldade em estabelecer limites de classes surge do fato de que na natureza as mudanças espaciais e temporais se dão frequentemente de forma mais gradual que

abrupta. Para Cooke e Doornkamp (1974), qualquer que seja a técnica utilizada para o mapeamento, existe um elemento de subjetividade na definição de limites. Esta subjetividade, no entanto, decresce à medida que as discontinuidades na paisagem tornam-se mais nítidas. Segundo Mabbutt (1968), a utilização de mais de um método pode ajudar no estabelecimento de limites e, para isto e para a escolha dos parâmetros e critérios para medir seus valores, devem ser levados em conta os objetivos e as características da área de estudo. Com relação a parâmetros morfométricos (geomorfometria), os problemas mencionados foram bem discutidos por Evans (1972).

De acordo com Mabbutt (1968), Verstappen (1977b) e Dent e Young (1981), o método paramétrico não deve ser considerado um método alternativo ou oposto ao método qualitativo de análise da paisagem, e sim complementar a este, pois a eficiência de ambos aumenta quando utilizados em conjunto.

Nesse sentido Speight (1977) propõe um sistema, que emprega parâmetros do relevo, para facilitar o mapeamento e a caracterização de unidades homogêneas de paisagem, delimitadas a partir de padrões fotográficos.

Também para Cooke e Doornkamp (1974), parâmetros morfológicos podem ser utilizados para detalhar ou ajudar a identificar variações dentro de uma unidade de terra (land unit).

Em trabalhos citados anteriormente foram utilizados índices morfométricos, isoladamente ou em conjunto com uma análise qualitativa, para o mapeamento de unidades geológicas (Nascimento e Nascimento, 1977), de unidades geomorfológicas (Nascimento e Nascimento, 1977; Santos e Novo, 1977; IPT, 1981 e Sausen, 1981) e de unidades integradas ou de paisagem (Ackerson and Fish, 1980 e Claasen and Ross, 1981).

Koffler (1976) calculou os índices de densidade de drenagem, frequência de rios e razão de textura, a partir de amostras cir

culares representativas, para avaliar a separação de unidades de solos em diferentes produtos de sensoriamento remoto. Uma de suas principais conclusões é que a análise e a interpretação dos padrões de drenagem (parâmetros descritivos e quantitativos) forneceram dados suficientes para caracterizar as unidades de solos nas fotografias aéreas e nas imagens do SKYLAB. Nas imagens do MSS-LANDSAT outros critérios de interpretação convencional como tonalidade e textura, podem ser mais importantes.

Pinto (1983), para a caracterização da erosão do solo calculou, através de amostragem randômica em quadrículas de 1 km x 1 km, índices como frequência de ravinas (de fotografias aéreas), declividade média, densidade hidrográfica e extensão de vertentes (de cartas topográficas). Foram ainda obtidos dados sobre a razão entre porcentagem de areia fina e areia grossa e densidade de cobertura vegetal. A análise digital de dados do MSS-LANDSAT, referentes ao canal 5, permitiu o estabelecimento de associações entre classes de níveis de cinza e de cobertura vegetal. O autor concluiu que a declividade e a variação de cobertura vegetal e uso do solo são os fatores mais significativos ao condicionamento da erosão do solo e que o principal parâmetro fornecido pelas imagens do MSS-LANDSAT para avaliação indireta do processo de erosão do solo é a variação na densidade de cobertura vegetal.

Estudos citados anteriormente indicam que os níveis de cinza registrados nas imagens do MSS-LANDSAT também são utilizados como parâmetros quantitativos (atributos espectrais) para o mapeamento de unidades geomórficas (Shih and Schowengerdt, 1983) ou de unidades de paisagem (Kozlovic and Howarth, 1977; Robinove, 1979; Claasen and Ross, 1981 e Ringrose and Large, 1983), através da aplicação de técnicas de classificação de imagens digitais.

Novo (1983) elaborou uma classificação temática do relevo a partir da análise digital de dados do MSS-LANDSAT. As imagens originais dos canais 5 e 7 foram transformadas através de processos de filtragem digital, de modo a realçar suas características espaciais. Nas imagens resultantes foi aplicado um algoritmo de classificação não

-supervisionada (K-médias). Utilizando este mesmo algoritmo foi feita uma outra classificação com base nos parâmetros topográficos: declividade, altitude, amplitude altimétrica e extensão de vertentes. A comparação entre as classes de relevo espectralmente definidas e as classes de relevo identificadas a partir de parâmetros topográficos mostrou, no entanto, que para a área de estudo não existe correspondência entre as duas classificações.

Os níveis de cinza registrados pelo sensor MSS do satélite LANDSAT são o resultado de uma medida integrada de todos os elementos da superfície do terreno (rocha, solo, vegetação etc.) dentro de uma área de 0,45 ha, correspondente a um elemento de resolução na imagem ("pixel"). Portanto, um grupo de "pixels" é estatisticamente indicativo de uma unidade de mapeamento integrado que pode caracterizar as semelhanças e as diferenças das unidades naturais do terreno (Robinove, 1979).

Robinove (1979), com base nessa premissa e utilizando dos digitais do MSS-LANDSAT para classificação de unidades de paisagem, concluiu que o mapeamento de classes discretas de um único componente da paisagem é mais propenso a erros do que o mapeamento de classes integradas. Robinove (1981) e Merchant (1981), confirmam esta conclusão. Isto talvez poderia explicar os resultados negativos obtidos por Novo (1983), mencionados acima, à medida que neste estudo procurou-se classificar apenas o relevo, não considerando os demais componentes da paisagem.

Finalmente, entre as principais desvantagens dos métodos de mapeamento integrado de natureza qualitativa destaca-se a subjetividade do método, e naqueles como o sistema do CSIRO, o caráter estático das unidades classificadas. Entretanto, estes dois tipos de problemas podem ser parcialmente solucionados através da utilização conjunta de parâmetros quantitativos e da avaliação dos processos morfo dinâmicos, e para esta avaliação a própria análise de parâmetros quantitativos, incluindo aqueles extraídos de imagens (fotografias aéreas do MSS-LANDSAT), pode contribuir.

CAPÍTULO 3

MATERIAL E MÉTODO

3.1 - ÁREA DE ESTUDO

a) Localização

A área de estudo com uma extensão aproximada de 800 km² localiza-se no norte do Estado da Bahia, Município de Juazeiro, entre as coordenadas de 9^o23' a 9^o40' de latitude sul e de 40^o05' a 40^o22' de longitude oeste (Figura 3.1).

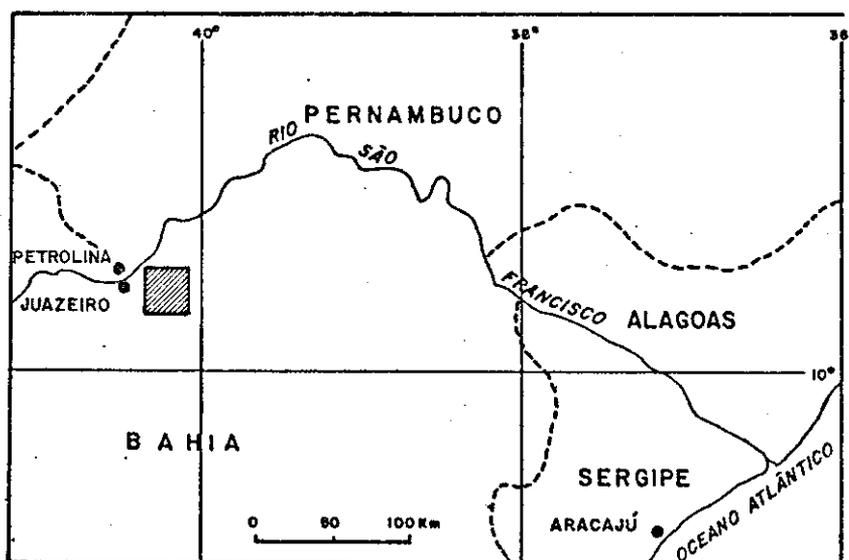


Fig. 3.1 - Localização da área de estudo.

b) Descrição Sucinta

A área de estudo constitui uma parte da unidade geomorfológica denominada Pediplano Sertanejo (Projeto RADAMBRASIL, 1983). Esta unidade geomorfológica apresenta na área de estudo dois principais tipos de relevo: modelado de aplanamento (Pri) e modelado de acumulação (Af e Ac), além de relevos residuais, *Inselbergs* e cristas (Figura 3.2).

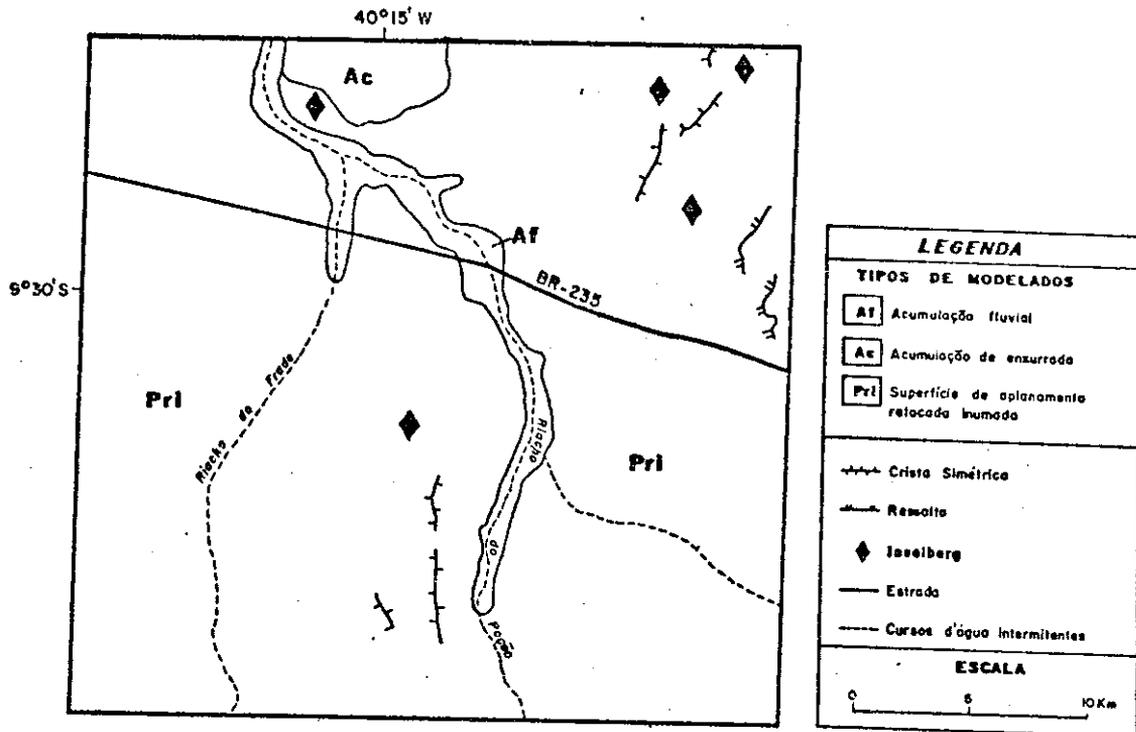


Fig. 3.2 - Mapa geomorfológico da área de estudo.

FONTE: Projeto RADAMBRASIL (1983).

Como mostra esta figura, a maior parte da área de estudo caracteriza-se pelo modelado de aplanamento. Este tipo de relevo foi elaborado por sucessivas fases de retomada de erosão e caracteriza-se por formas pouco dissecadas, por altitudes médias de 400 metros, por fracos declives (inferiores a 8%) e por coberturas detríticas ou de alteração.

Com relação à morfogênese atual, os processos atuantes nesse tipo de relevo não dependem apenas do rigor da semi-aridez, mas também do papel desempenhado pelo recobrimento vegetal da Caatinga, a qual se apresenta geralmente rala e depredada pelo criatório extensivo principalmente de caprinos. Nas vertentes fracamente inclinadas desse tipo de relevo, são deixadas as marcas do escoamento superficial difuso que propicia o carreamento de materiais finos e a concentração de grosseiros, o que contribui para o empobrecimento dos solos. Nas áreas mais críticas a desnudação é visível. As rochas afloram em caos de blocos e lajedos, entremeadas a um solo pedregoso onde o escoamen

to superficial se diversifica quando encontra os afloramentos arrasando detritos para as partes mais baixas, tornando-se difuso e favorecendo a erosão areolar.

O modelado de acumulação é subdividido em dois tipos: acumulação fluvial (Af) e acumulação de enxurrada (Ac). No primeiro tipo a área é resultante de acumulação fluvial provocada pelas inundações periódicas, correspondendo às várzeas atuais. O segundo tipo de modelado (Ac) é resultante da convergência de leques de espriamento coluviais, cones de dejeção, ou da concentração de depósitos de enxurradas nas partes terminais de rampas de pedimentos (bajadas). Estes dois tipos de relevos caracterizam-se por áreas planas, abaciadas (Ac), ou levemente inclinadas, com declives inferiores a 5%, e por altitudes médias de 370 metros.

Os *inselbergs* são relevos residuais dos processos de pediplanação (Penteado, 1983). Na área de estudo esses relevos têm altitudes que podem ultrapassar 500m e declividades superiores a 20%. Eles se apresentam predominantemente em forma de cristas com orientação preferencial N-S, concordando com os alinhamentos estruturais. Nesses relevos predominam processos físicos de esfoliação e desagregação granular das rochas.

Os rios que drenam a área de estudo são de caráter intermitente. Estes rios ora cortam transversalmente as direções estruturais, ora adaptam-se às falhas e fraturas, apresentando trechos retinizados. Os vales em geral apresentam fundo chato e leitos arenosos e localmente pedregosos, limitados por encostas de fraco declive, alteradas e ravinadas.

As Tabelas 3.1 e 3.2 indicam, respectivamente, as litologias e as associações de solos dominantes na área de estudo, enquanto as Figuras 3.3 e 3.4 mostram a distribuição delas.

TABELA 3.1

LITOLOGIAS PREDOMINANTES NA ÁREA DE ESTUDO

PERÍODO	UNIDADE LITO-ESTRATIGRÁFICA	LITOLOGIA
QUATERNÁRIO	Aluviões e Terraços	Cascalhos, areias, siltes e argilas
	Formação Caatinga	Calcário
TERCIÁRIO-QUATERNÁRIO	Coberturas Detríticas	Sedimentos arenosos e argilosos
PROTEROZÓICO INFERIOR	Suite Granitóide Tipo Cansanção-Tanquinho	Granitos diversos <u>in</u> diferenciados, sienitos e diques de <u>di</u> <u>b</u> ásio.
PROTEROZÓICO INFERIOR-ARQUEANO	Complexo Caraíba-Paramirim	Metatexitos, diatexitos, quartzitos, <u>gr</u> anulitos e granoblas <u>t</u> itos e metabasitos.

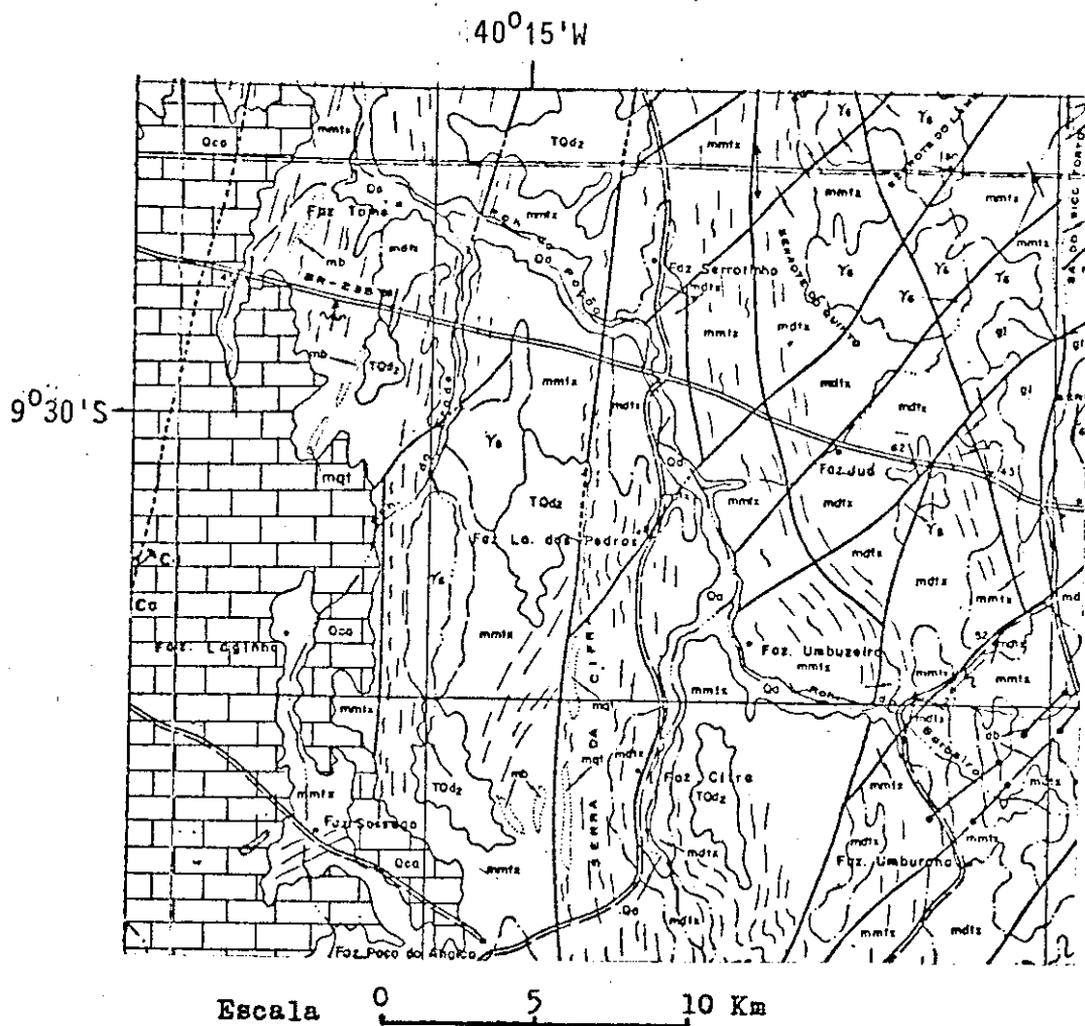
FONTE: Souza et alii (1979); Projeto RADAMBRASIL (1983).

TABELA 3.2

ASSOCIAÇÕES DE SOLOS PREDOMINANTES NA ÁREA DE ESTUDO

PRINCIPAL TIPO DE SOLO	ASSOCIAÇÃO
PSe- Planossolo Solódico eutrófico	- PSe14: PSe + SS- Solonetz Solodizado + Re- Solos Litólicos eutrófi- cos.
	- PSe35: PSe + SS + NC- Bruno Não Cál- cico + Re.
V- Vertissolo	- V7: V com e sem C carbonático + Ce- Cambissolo eutrófico.
PE- Podzólico Vermelho- -Amarelo Eutrófico	- PE51: PE + PVd- Podzólico Vermelho- Amarelo distrófico + REe- Re- gossolo eutrófico + PSe.
	- PE52: PE + LVd- Latossolo Vermelho- Amarelo distrófico + PSe.
Re- Solos Litólicos eutrófi- cos	- Re52: Re fase rochosa relevo forte ondulado e ondulado + AR- Afloramentos Rochosos.
	- Re53: Re fase rochosa relevo forte ondulado e montanhoso + AR.
Ae- Solos Aluviais eutrófi- cos	- Ae5: Aed- Solos Aluviais eutrófi- cos distrófi- cos + SS + PSe.

FONTE: Projeto RADAMBRASIL (1983).



LEGENDA

Qa- Aluviões e Terraços

Qca- Calcário

TQd2- Depósitos detríticos

Y₅ - Sienitos

Y₆ - Granitos diversos indiferenciados

db - diques de diabásio

mmtx- Metatexitos

mdtx- Diatexitos

gl- Granulitos e granoblastitos

mqt- quartzitos

mb- metabasitos

Fig. 3.3 - Mapa Geológico da área de estudo.

FONTE: Souza et alii, 1979.

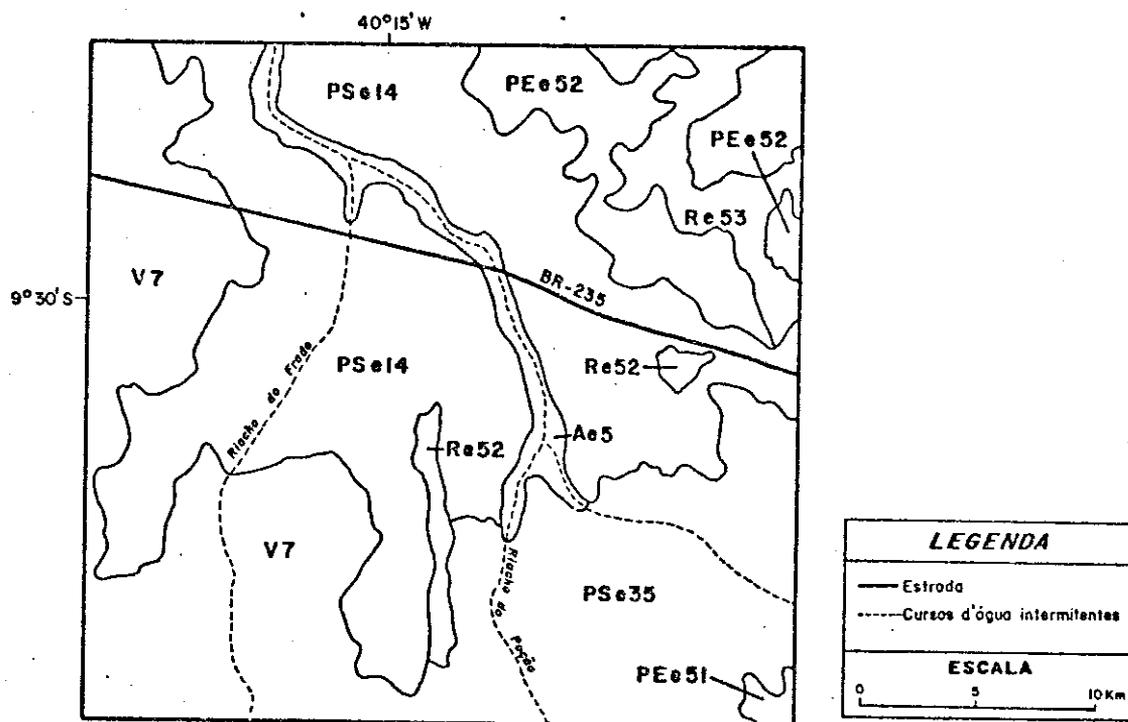


Fig. 3.4 - Mapa de solos da área de estudo.

FONTE: Projeto RADAMBRASIL (1983).

Nas associações de solos da Tabela 3.2 encontram-se em primeiro lugar os solos que ocupam maior extensão, ou, no caso de equivalência, o componente mais importante para a utilização agrícola.

Pela análise das Figuras 3.2, 3.3 e 3.4, verifica-se que as associações de solos: PSe14, PSe35, PE51 e PE52 estão relacionadas principalmente com metatexitos e diatexitos e com o modelado de aplanamento. Por outro lado, a associação V7, também relacionada a este tipo de modelado, é originada do calcário da Formação Caatinga. As associações de solos Re52 e Re53 são originadas principalmente de quartzitos, sienitos e granitos diversos indiferenciados, que formam os relevos residuais (*inselbergs*) e cristas. A associação Ae5 é originada de sedimentos aluviais, estando relacionada ao modelado de acumulação fluvial.

A vegetação da área de estudo é constituída por espécies de Caatinga. Estas espécies são formações vegetais predominantemente

caducifólias, de porte variável (geralmente arbustivo ou arbóreo-arbustivo), variando de aberta a densa. Tais espécies são de caráter xerófilo e apresentam grande quantidade de plantas espinhosas, ricas em cactáceas e bromeliáceas. De acordo com a EMBRAPA-SNLCS (1977/9), a área de estudo propriamente dita é dominada pela Caatinga hiperxerófila que apresenta maior grau de xerofitismo e grande número de espécies, muitas das quais comuns à Caatinga hipoxerófila. As espécies mais características da Caatinga hiperxerófila são citadas na Tabela 3.3.

TABELA 3.3

PRINCIPAIS ESPÉCIES DA CAATINGA HIPERXERÓFILA

NOME VULGAR	NOME CIENTÍFICO	FAMÍLIA
Favela	<i>Chidoscolus phyllacanthus</i> (Muell. Arg.) Pax & K. Hoffm	Euphorbiaceae
Xique-xique	<i>Pilocereus gounellei</i> Weber	Cactaceae
Pereiro	<i>Aspidosperma pyriforme</i> Mart.	Apocynaceae
Bom-nome	<i>Maytenus rigida</i> Mart.	Celastraceae
Pinhão brabo	<i>Jatropha pohliana</i> Muell. Arg. var. <i>molissima</i>	Euphorbiaceae
Palmatória braba	<i>Opuntia palmadora</i>	Cactaceae

FONTE: EMBRAPA-SNLCS (1977/9).

Com relação ao uso do solo, a exceção do projeto de irrigação para a cana-de-açúcar da AGROVALE (noroeste da área de estudo)

do), pratica-se a agricultura de subsistência e a pecuária extensiva, esta última bastante difundida em toda a área.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da área de estudo é do tipo BSw^h - clima semi-árido bastante quente - com a temperatura do mês mais frio superior a 18°C e estação chuvosa no verão.

Com base nos dados do Projeto RADAMBRASIL (1983), as principais características climáticas da área de estudo foram resumidas na Tabela 3.4.

TABELA 3.4

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

CLIMA	SEMI-ÁRIDO
Temperatura média anual	24°C
Pluviometria total média anual	500mm
Evapotranspiração Potencial anual	1.300mm
Evapotranspiração Real anual	500mm
Deficiência hídrica média anual	750mm
Nº médio de meses por ano com deficiência hídrica	10,5
Excedente hídrico anual	0
Índice de umidade de Thornthwaite	-40

FONTE: Projeto RADAMBRASIL (1983).

Os mínimos e os máximos pluviométricos ocorrem, respectivamente, de maio a outubro e de novembro a abril.

3.2 - MATERIAL

Para o desenvolvimento deste trabalho os materiais utilizados foram os que se seguem.

3.2.1 - PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

a) Dados do MSS-LANDSAT

Foram utilizadas imagens e fitas compatíveis com o computador (CCTs), cujas especificações encontram-se relacionadas abaixo (Tabela 3.5).

TABELA 3.5

ESPECIFICAÇÕES DAS IMAGENS E CCTs DO MSS-LANDSAT-4 UTILIZADAS

FORMATO	ÓRBITA	PONTO	ÂNGULO		CANAIS	ESCALA	DATA		
			SOLAR	AZIMUTE					
imagem	217	67	57	105	5,7	1:500.000 1:250.000	09/11/82		
imagem					4,5,7 CC	1:250.000			
		imagem	42	50	5,7	1:500.000 1:250.000	23/07/83		
4,5,7 CC					1:250.000				
CCT		66/67	57	105	4,5 6,7	-	09/11/82		
CCT					66	47	54	4,5 6,7	-
CCT	66/67							42	50

CC: composição colorida falsa-cor.

b) Fotografias aéreas

Foram utilizadas fotografias aéreas pancromáticas na escala 1:70.000, de 1972 (novembro-dezembro), referentes ao levantamento aerofotogramétrico executado pela FAB (Força Aérea Brasileira) : a expensas da SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste).

3.2.2 - MATERIAL CARTOGRÁFICO

- Cartas Topográficas: Folhas: Itamotinga e Juremal, na escala 1:100.000, publicadas pelo DSG (Diretoria do Serviço Geográfico do Exército) em 1977.
- Cartas Topográficas: Folhas: Vale do São Francisco (Seção Inferior do Médio Vale São Francisco), na escala 1:25.000, publicadas pela CVSF (Comissão do Vale do São Francisco) em 1963.
- Mapa Geológico: Folha Uauá, Projeto Colômbia, na escala 1:250.000, executado pela CPRM e publicado pelo DNPM em 1979.
- Mapa Exploratório de Solos, Mapa Geológico e Mapa Geomorfológico: na escala 1:1.000.000, publicados pelo Projeto RADAMBRASIL em 1983.

3.2.3 - ANALISADOR MULTIESPECTRAL DE IMAGENS

Para o processamento digital dos dados do MSS-LANDSAT, foi utilizado o Analisador Multiespectral de Imagens, também denominado do Sistema IMAGE-100, disponível no INPE.

3.3 - MÉTODO

Para o desenvolvimento deste trabalho foram aplicados os procedimentos descritos a seguir.

3.3.1 - SELEÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Em conjunto com a equipe de Avaliação de Recursos Naturais e Sócio-econômicos do CPATSA/EMBRAPA escolheu-se o Município de Juazeiro-BA como área de estudo. Em seguida, foram selecionados os dados do MSS-LANDSAT e feita uma análise visual preliminar das imagens estabelecendo-se uma primeira delimitação da área de maior interesse. Os dados digitais referentes a esta área foram submetidos a dois processamentos: correção radiométrica e ampliação linear de contraste (itens 1 e 2 da Seção 3.3.4. Com os dados realçados dos canais 4, 5 e 7 foram feitas composições coloridas falsa-cor, as quais também foram analisadas visualmente. Após o primeiro trabalho de campo, cujo objetivo foi reconhecer a área de estudo, definiu-se a área-teste para o desenvolvimento deste trabalho. Os critérios utilizados para a definição da área-teste foram a grande diversidade de paisagens, disponibilidade de dados e facilidade de acesso.

3.3.2 - SELEÇÃO DOS DADOS DO MSS-LANDSAT

A opção pela utilização de dados de mais de uma época foi para o aproveitamento do realce natural de feições, proporcionado pelas variações do ângulo de elevação solar e azimute e pela variação na cobertura vegetal em função da distribuição das chuvas ao longo do ano.

Nesse sentido a escolha da passagem de julho foi em função do ângulo solar mais baixo que, segundo Rabchevsky et alii(1979), é a condição mais indicada para realçar, pelo efeito de sombreamento, as variações topográficas. Por outro lado, os dados referentes às passagens de novembro e de maio foram selecionados para corresponderem respectivamente ao final da época seca e ao final da época chuvosa.

As imagens dos canais 5 e 7 nas escalas 1:500.000 e 1:250.000, geralmente as mais utilizadas para mapeamentos geomorfológicos (Seção 2.2), e as composições coloridas (canais 4, 5 e 7) na escala 1:250.000 foram utilizadas para uma análise visual preliminar da

área de estudo, a fim de possibilitar uma visão regional, além dos limites da área-teste, e como referência para a avaliação das imagens obtidas a partir dos dados digitais (CCTs) submetidos a técnicas de processamento digital.

3.3.3 - ANÁLISE PARAMÉTRICA

Em função das vantagens destacadas na Seção 2.4 com a utilização de parâmetros quantitativos para o mapeamento e para a caracterização de unidades geomorfológicas ou integradas, foram selecionados os parâmetros apresentados a seguir.

1) Parâmetros climáticos

Os parâmetros climáticos foram considerados neste trabalho em função das relações existentes entre o tipo de clima, os diferentes componentes da paisagem (litologia, relevo, solo, vegetação e uso do solo) e os processos morfodinâmicos. Cabe destacar, no entanto, que não se contou com dados climáticos compatíveis com os níveis de detalhe necessários para o tipo de estudo empreendido. Assim sendo, os parâmetros obtidos a partir dos dados climáticos disponíveis permitiram somente uma caracterização geral da área de estudo, o que impediu uma análise da sua variabilidade espacial.

De acordo com Tarifa (1970) não se pode classificar um clima como úmido ou seco, simplesmente considerando os valores pluviométricos. Para ele é indispensável considerar também o consumo de água através do processo de evapotranspiração para saber se a precipitação pluviométrica é suficiente para atender às necessidades das plantas, propondo neste sentido o cálculo do balanço hídrico.

Para o cálculo e interpretação do balanço hídrico, segundo o método proposto por Thorntwaite em 1948, foram consultados: Tarifa (1970), Camargo (1971), Valério Filho et alii (1976) e Brandão (1977).

Segundo esses autores o balanço hídrico é basicamente um método contábil de água disponível no solo, onde os créditos são representados pela precipitação pluviométrica e os débitos pelos processos de evapotranspiração. Este método revela ainda a variação do armazenamento de água no solo, baseado numa capacidade de campo média de 100mm, independente de condições pedológicas, e a variação da alteração que, sendo positiva, indica a reposição de água no solo e, sendo negativa, a retirada de água do solo.

A partir dos dados de temperatura média mensal e precipitação pluviométrica mensal, disponíveis para um período de 18 anos (1966-1983), da Estação Meteorológica de Mandacaru do CPATSA/EMBRAPA, localizada no Município de Juazeiro-BA (aproximadamente 8 km a noroeste da área-teste), foram calculados os valores dos parâmetros climáticos para o balanço hídrico, referentes àquele período. Conforme sugestão de Valério Filho et alii (1976), os valores desses parâmetros foram calculados também para os anos de 1982 e 1983, referentes às imagens do MSS-LANDSAT, para auxiliar a análise destas imagens.

Com os dados das temperaturas médias mensais foram estabelecidos os valores da evapotranspiração potencial mensal não corrigida, através de um monograma encontrado em Camargo (1971). Esses valores foram corrigidos através de fatores de correção tabelados, encontrados no mesmo autor, para ajustá-los ao número de dias do mês e à duração da insolação diária.

A partir dos valores mensais de precipitação e evapotranspiração potencial, foram estabelecidos os valores dos seguintes parâmetros: água armazenada no solo, evapotranspiração real, excedente hídrico e deficiência hídrica.

2) Parâmetros morfométricos

Com base principalmente nas sugestões de Demek (1972), Evans (1972), Speight (1977), Richards (1981), Novo (1983) e Pinto (1983), foram definidos o sistema de amostragem e os seguintes parâme

tros morfométricos: altitude absoluta, amplitude altimétrica, extensão de vertentes e declividade para serem obtidos de cartas topográficas.

Inicialmente pensou-se em utilizar para esta tarefa as cartas topográficas na escala 1:100.000, que era o tipo de material disponível e utilizado por Nascimento e Nascimento (1977), Santos e Novo (1977) e por Sausen (1981) na obtenção de índices morfométricos. Entretanto, devido à escala e ao espaçamento das curvas de nível (40 m) das cartas topográficas e, principalmente, às características da área de estudo, este procedimento apresentou-se inviável. Segundo Richards (1981), medidas morfométricas requerem mapas topográficos com escalas de aproximadamente 1:25.000 e intervalo de 10 metros entre as curvas de nível. Assim, foram utilizadas cartas topográficas, na escala 1:25.000, com espaçamento de 5 metros entre as curvas de nível, apesar destas cobrirem aproximadamente 80% da área-teste.

Os parâmetros extraídos das cartas topográficas foram amostrados, conforme sugestão de Demek (1972) e Evans (1972), através de um sistema de grade, com dimensão de 4 cm x 4 cm, que superposta às cartas topográficas definiu amostras de 1 km² no terreno.

O critério utilizado para medir a extensão das vertentes foi o de medir o comprimento da vertente ou o segmento de vertente mais representativo dentro da quadrícula (vertente ou segmento de maior extensão). No caso em que existiam duas vertentes com a mesma representatividade, o critério utilizado foi o de selecionar aquela que apresentasse a maior declividade.

Para obter a declividade, mediu-se a menor distância entre as curvas de nível, na vertente mais representativa dentro da quadrícula, com a finalidade de enfatizar as pequenas diferenças de declividade. Procurou-se fazer as medidas o mais perpendicular possível às curvas de nível. Para medir a extensão das vertentes seguiu-se, além disso, o sentido geral do escoamento das águas. Ainda com relação à declividade, quando as quadrículas estavam inseridas em topos aplainados, ela era medida do ponto cotado mais alto até a curva mais próxima fo

ra da quadrícula e, no caso de não existir nem um ponto cotado, tomava-se a distância entre a curva mais próxima a montante e a mais próxima a jusante da quadrícula. Finalmente, quando havia vários pontos cotados iguais, supunha-se o centro da quadrícula como o ponto inicial das medidas. As medidas para o parâmetro declividade foram transformadas em porcentagem ($\text{diferença de nível} \times 100 / \text{espaçamento} = \%$).

Com relação à altitude absoluta, tomava-se a cota máxima e para a amplitude altimétrica, a diferença entre a cota máxima e a mínima, dentro de cada quadrícula. As medidas destes parâmetros, assim como aquelas de extensão de vertentes, foram transformadas em metros. Os valores dos quatro parâmetros encontram-se no Apêndice A.

Tendo em vista o grande número de amostras (702) e de variáveis (4) e com base em Novo (1983), as unidades amostrais foram classificadas através do algoritmo de classificação K-médias (item 5 da Seção 3.3.4). Este algoritmo de classificação não-supervisionada foi implementado no computador B-6800 do INPE através de um conjunto de sub-rotinas desenvolvidas por Hartigan (1975).

A partir das cartas topográficas na escala 1:25.000, foi elaborada uma base cartográfica com a grade de amostragem. Nesta base cartográfica, reduzida para a escala 1:100.000, foram plotadas as classes de relevo resultantes da aplicação do algoritmo K-médias.

3) Parâmetros das propriedades físico-químicas dos solos

Foram coletadas 155 amostras de solo (132 durante o segundo trabalho de campo e 23 durante o terceiro trabalho de campo), sendo 80 amostras do horizonte superficial (0-20 cm de profundidade) e 75 amostras entre 40 e 60 cm de profundidade. As análises físico-químicas dessas amostras de solos foram feitas no laboratório do CPATSA/EMBRAPA, sendo determinados para elas os valores dos seguintes parâmetros:

- Granulometria: areia, silte e argila, em %.
- pH em água.
- Complexo Sortivo: Cálcio (Ca^{++}), Magnésio (Mg^{++}), Sódio (Na^+) e Potássio (K^+), Trocáveis, em meq/100g solo.
- Valor S (bases trocáveis), em meq/100g solo.
- Valor T (capacidade de troca de cátions), em meq/100g solo.
- Valor V (saturação de bases), em %.
- Matéria Orgânica, em %.
- Fósforo Assimilável, em ppm.

O atributo textural é a variável mais importante no comportamento dinâmico dos solos. Assim sendo, a partir dos dados de granulometria e conforme Lemos e Santos (1982) foram determinadas as classes texturais as quais foram agrupadas de acordo com a EMBRAPA/SNLCS (1977/9), com a finalidade de auxiliar a avaliação da dinâmica das unidades geomorfológicas.

Segundo Resende e Rezende (1983), a erodibilidade dos solos parece ser determinada pela combinação de dois atributos dos solos: permeabilidade e coerência entre as partículas. De acordo com estes autores, em geral a um aumento do teor de argila corresponde uma redução na permeabilidade dos solos e, conseqüentemente, um aumento do escoamento superficial, o que favorece a erosão. Por outro lado, ocorre um aumento da ligação (coerência) entre as partículas, o que reduz a erodibilidade dos solos. Os solos mais arenosos tendem a apresentar uma alta permeabilidade, mas ao mesmo tempo apresentam pouca coerência entre as partículas, daí existir uma tendência a uma grande erodibilidade nestes tipos de solos.

Lombardi Neto e Bertoni (1975), estudando a erodibilidade dos solos paulistas, concluíram que os solos com horizonte B textural são mais susceptíveis à erosão do que os solos com horizonte B latossólico, porque estes são mais profundos, não apresentam diferença

textural acentuada entre os horizontes A e B e possuem boa drenagem interna.

A saturação com sódio trocável entre 6 e 15% é uma característica dos solos do tipo Planossolo Solódico, enquanto a saturação com sódio trocável superior a 15%, dentro dos primeiros 40 cm do horizonte, é uma característica do Solonetz Solodizado. Assim, para auxiliar na identificação do tipo de solo, foi calculada a porcentagem de saturação com sódio trocável ($100Na^+/T$).

Foram ainda determinados as classes de reação para o pH em água e os níveis de fósforo assimilável, segundo Vettori em 1969 (Projeto RADAMBRASIL, 1983), bem como a cor do solo (amostra seca e amostra úmida) de acordo com a escala de cores da tabela Munsell.

Com base nas interpretações dos dados de solos e nas observações de campo, foram inferidos os principais tipos de solos da área de estudo. Para isto foram considerados também o tipo de litologia, as características geomorfológicas, a cobertura vegetal e o uso do solo, além dos levantamentos de solos feitos pela FAO (1966) e pelo Projeto RADAMBRASIL (1983).

Finalmente, com base em Cook (1981) foram selecionados os parâmetros mais representativos, analisados por unidade geomorfológica, com a finalidade de avaliar a homogeneidade interna dessas unidades em relação às propriedades físico-químicas dos solos.

3.3.4 - PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS DO MSS-LANDSAT

O processamento de dados digitais consiste no tratamento numérico desses dados e inclui técnicas de pré-processamento, de realce e de classificação.

O pré-processamento refere-se ao processamento preliminar dos dados brutos, com a finalidade de calibrar a radiometria da imagem, corrigir as distorções geométricas, atenuar os efeitos atmos

féricos e remover ruídos. Assim, após a correção, as imagens são submetidas a técnicas de realce e/ou de classificação.

A finalidade das técnicas de realce é melhorar a qualidade visual das imagens, facilitando o trabalho do fotointerprete. Por outro lado, as técnicas de classificação visam agrupar em temas (classes) os alvos nas imagens que apresentam características similares de respostas espectrais.

Utilizando as CCTs das épocas seca (09/11/82), chuvosa (04/05/83) e aquela de julho (ângulo solar mais baixo), os dados digitais referentes à área de estudo foram ampliados para a escala 1:100.000 através do programa escala D2ITAX (Ribeiro et alii, 1982). A finalidade deste programa é transferir parte da imagem do disco para a tela do sistema IMAGE-100 na escala de trabalho desejada. Como a dimensão do vídeo do sistema I-100 é de 29 cm x 29 cm, trabalhando na escala 1:100.000 (normalmente a mais utilizada para imagens digitais do MSS-LANDSAT) é possível amostrar em um único módulo uma cena de aproximadamente 800 km² (extensão aproximada da área-teste). Depois de ampliados para a escala 1:100.000, os dados digitais foram submetidos aos seguintes processamentos, através de algoritmos disponíveis no sistema IMAGE-100.

- correção radiométrica (pré-processamento);
- realce por ampliação linear de contraste;
- realce por divisão de canais;
- realce por componentes principais e
- classificação não-supervisionada.

1) Correção radiométrica

Devido ao fato de os seis detectores de cada banda do MSS-LANDSAT não serem perfeitamente calibrados, resulta na imagem um tipo de ruído caracterizado por padrões sucessivos de linhas horizon

tais denominado "striping". Este efeito ("striping") tem se mostrado mais acentuado nas imagens do MSS-LANDSAT-4, que foram utilizadas neste trabalho.

Com a finalidade de corrigir estas imperfeições inerentes às imagens do MSS-LANDSAT e enfatizadas pelas técnicas de realce, foram utilizados dois programas: ADQHIS e SENCOR. A função do ADQHIS é a aquisição dos níveis de cinza dos seis detectores de cada banda e a do SENCOR é fazer a equalização dos histogramas utilizando como referência o histograma de menor variância. Esta técnica de equalização é não-paramétrica, pois consiste no ajuste dos histogramas de cada detector para a forma do histograma do detector de referência.

2) Realce por Ampliação Linear de Contraste

A técnica de realce de contraste consiste basicamente em aplicar na imagem original uma transformação matemática (equalização) que expanda o intervalo original de informações, para toda a escala de níveis de cinza disponíveis¹, aumentando a variância dos dados e, conseqüentemente, o contraste da imagem. Esta técnica é discutida por Schowengerdt (1983) entre outros.

O realce de contraste mais simples é feito de forma linear, sendo a transformação utilizada neste trabalho. Por ser uma técnica simples e proporcionar bons resultados, esta transformação tem sido muito utilizada como indicam os trabalhos citados anteriormente (Claasen and Ross, 1981; Ringrose and Large, 1983; Sausen e Aquino, 1984) e o de Paradella (1983) na discriminação de unidades litológicas.

Para a aplicação da técnica de contraste linear, é fornecido pelo analista, com base no histograma da imagem, o intervalo de

¹ O sistema IMAGE-100 permite ampliar para 256 níveis de cinza os canais do MSS-LANDSAT, originalmente registrados em 128 níveis para os canais 4, 5 e 6 e 64 níveis para o canal 7.

níveis de cinza, ou seja, os níveis de cinza mínimo e máximo considerados na imagem. Estes níveis de cinza, mínimo e máximo, são transformados respectivamente em zero e 255, sendo todos os demais níveis de cinza da imagem distribuídos linearmente entre zero e 255.

Com base nos histogramas das imagens, foram selecionados, por canal, os intervalos de níveis de cinza (limite inferior e superior) e foi aplicada a técnica de realce por ampliação linear de contraste. Após este procedimento, foram feitas composições coloridas utilizando os canais 4, 5 e 7, realçados, com as cores azul, verde e vermelho, respectivamente.

3) Realce por divisão de canais

Segundo vários autores, entre eles Maxwell (1976), Almeida Filho e Vitorello (1982) e Schowengerdt (1983), a técnica da divisão de canais possibilita reduzir os efeitos causados pelas variações topográficas (declividade e aspecto) em função dos diferentes ângulos de iluminação e azimute, minimizar as diferenças do sinal recebido pelo satélite do MSS-LANDSAT devidas a efeitos atmosféricos ou ruídos inerentes ao sistema sensor (considerando que estes fatores são os mesmos nas bandas utilizadas para a razão de canais) e realçar diferenças espectrais entre solos e/ou litologia e vegetação.

As desvantagens dessa técnica, conforme Paradella (1983), são: perda de características espaciais da cena pela atenuação da iluminação ou sombreamento causado pelo relevo e o fato de que alvos facilmente separáveis nos canais originais podem apresentar-se não-discriminados nas imagens realçadas, particularmente se apresentarem gradientes de curvas de reflectância similares.

A técnica da divisão de canais consiste, em sua forma mais simples, na divisão do valor digital dos "pixels" de um canal pelos valores correspondentes aos "pixels" de outro canal, sendo este o procedimento utilizado neste trabalho.

A divisão entre os canais MSS 7 e MSS 5 tem sido muito utilizada para medidas de densidade da cobertura vegetal. De acordo com Maxwell (1976), a razão 7/5 é apropriada para a classificação de biomassa considerando que a banda 7 do MSS-LANDSAT é uma faixa espectral caracterizada por alta reflectância da vegetação e a banda 5 do MSS-LANDSAT contém a região espectral de maior absorção de clorofila. Isto entretanto é válido para vegetação verde. Deste modo fica claro, segundo Graetz e Gentle (1982), que a razão 7/5 realça o vigor da vegetação.

Para Colwell (1974), que estudou a reflectância da vegetação nas bandas do verde (550nm), vermelho (650nm) e infravermelho próximo (750nm), assim como as razões entre essas bandas em área de cobertura vegetal com estrutura similar e um dado valor de biomassa, a razão infravermelho/vermelho pode ser um bom indicador da proporção de vegetação verde (viva) e seca (morta). Este autor, que levou em consideração no seu estudo também a reflectância do solo, o ângulo solar e o tipo de cobertura vegetal, concluiu que a priori uma única banda espectral não pode ser considerada efetiva para todas as situações.

Normalmente a rede de drenagem secundária é identificada nas imagens do MSS-LANDSAT através da vegetação, a qual se apresenta ao longo dos canais de drenagem geralmente com mais vigor do que nas áreas adjacentes. Com base nisto e no que foi exposto anteriormente, utilizou-se a divisão de canais 7/5 referentes à época chuvosa, por serem eles os menos correlacionados, com o objetivo de realçar a rede de drenagem.

Para a utilização da técnica de razão entre canais, devem ser fornecidos pelo analista, além dos canais de interesse, os parâmetros de ganho e "offset". No entanto, os valores destes parâmetros são arbitrários, variando de imagem para imagem. Neste estudo, a busca dos valores de ganho e "offset" mais adequados foi feita testando diferentes valores e analisando o resultado visual da imagem realçada, e as características do histograma da imagem. A partir da análise do

histograma da imagem realçada, pode ser verificado se houve ou não saturação dos níveis de cinza inferiores ou superiores, e se houve contraste da imagem.

4) Transformação por componentes principais

A técnica das componentes principais consiste em uma transformação linear de N variáveis originais (no caso canais) em N novas variáveis (componentes principais), onde cada nova variável é uma combinação linear das variáveis originais.

As novas variáveis ou componentes principais são computados de forma que a primeira componente principal contenha a maior proporção da variância total (informação total), seguida pelas demais componentes principais, as quais devem conter sucessivamente uma menor variância dos dados.

Geometricamente a transformação por componentes principais pode ser vista como uma rotação e translação dos eixos das variáveis originais, num hipotético espaço de atributos, constituindo novos eixos ou componentes ortogonais entre si. Assim, as novas variáveis, ou canais transformados, ou componentes principais são não-correlacionados entre si.

A transformação por componentes principais, além de ser uma técnica de realce de imagens, pode ser utilizada para a redução da dimensionalidade dos dados. No caso dos dados do MSS-LANDSAT, em geral as duas primeiras componentes principais, de acordo com Câmara Neto et alii (1980), contêm 97% da variância (informação) existente nos quatro canais. Deste modo a maior parte da informação contida nos quatro canais pode agora ser mostrada através de uma única imagem, obtida através de uma composição colorida (as três primeiras componentes principais com três cores, ou mesmo as duas primeiras componentes principais com duas ou três cores). Mais detalhes sobre transformação por

componentes principais podem ser encontrados em Davis (1973), Donker e Mulder (1977), Paradella (1983) e Schowengerdt (1983).

A transformação por componentes principais foi utilizada neste trabalho para a análise da primeira componente principal, que, segundo Donker e Meijerink (1977) e Lodwick (1981), proporciona o realce do relevo da cena imageada. Este último autor salienta também que a segunda componente principal realça as diferenças do tipo e da densidade da cobertura vegetal de uma cena. Segundo Beer et alii (1978), numa composição colorida com a primeira e a segunda componentes principais são realçados o relevo e a cobertura vegetal, ou seja, os principais elementos da paisagem visíveis nas imagens.

Trabalhos citados anteriormente mostram a utilização de composições coloridas com as primeiras componentes principais para o mapeamento de unidades geomorfológicas (Sausen e Aquino, 1984) e de unidades integradas (Ringrose and Large, 1983). Esta técnica vem sendo muito utilizada também na discriminação de unidades litológicas, como indicam os estudos de Paradella (1983) e Abrams et alii (1984) entre outros. Cabe lembrar que em geral a litologia é um elemento da paisagem não diretamente visível na imagem, sendo no entanto inferida a partir dos elementos visíveis (formas de relevo, drenagem, vegetação e uso do solo) nas imagens.

Normalmente é aplicada a técnica de ampliação linear de contraste às imagens das componentes principais, com a finalidade de aumentar o contraste dessas imagens. Assim, foram feitas composições coloridas com as duas primeiras e as três primeiras componentes principais, realçadas por ampliação linear de contraste, testando ainda diferentes combinações de cores.

5) Classificação não-supervisionada

Na classificação de imagens multiespectrais, os alvos da cena são agrupados, a partir de similaridades em suas respostas espec

trais, em classes ou temas. Este procedimento pode ser feito utilizando técnicas de classificação supervisionada, ou técnicas de classificação não-supervisionada. No primeiro caso as classes são definidas a priori pelo analista, enquanto no segundo caso são derivadas a posteriori como um resultado da análise (Townshend, 1981a). Os dois tipos de classificação foram discutidos também por Swain (1978) e Schowengerdt (1983), entre outros.

Neste trabalho optou-se por uma técnica de classificação não-supervisionada por dois motivos principais: o primeiro foi em função das características da área estudada que apresenta classes espectralmente heterogêneas (segundo os autores acima mencionados, na classificação supervisionada devem ser fornecidas, pelo analista, amostras ou áreas de treinamento espectralmente homogêneas e representativas das classes). O segundo motivo foi porque neste tipo de classificação as classes não são predeterminadas (assim como não o são no método de mapeamento utilizado) e porque, em função do analista ter pouco controle sobre o estabelecimento das classes, é uma técnica menos subjetiva.

Para a classificação não-supervisionada foi utilizado o algoritmo K-médias (Hartigan, 1975), cuja função discriminante usada na definição ou formação das classes é a distância euclidiana. Para a implementação do programa, os seguintes parâmetros iniciais devem ser fornecidos pelo analista:

- amostras ou observações;
- variáveis;
- número de classes ("clusters");
- médias iniciais das classes;
- precisão: é uma condição de parada do algoritmo, trata-se de um valor que vai ser comparado com a diferença entre as médias das classes, entre uma iteração e a seguinte;

- número máximo de iterações, que também é uma condição de parada do algoritmo.

O funcionamento do algoritmo K-médias pode ser resumido em três etapas, nas quais:

- a) são fornecidos os parâmetros iniciais;
- b) é calculada a distância euclidiana de cada amostra às médias das classes (para cada variável), atribuindo-se as amostras à classe mais próxima (de menor distância euclidiana); novas médias são obtidas ao final desta computação;
- c) é calculado o módulo da diferença entre as médias na iteração i e $i+1$. Se esta diferença for menor que a precisão, o algoritmo para, e as classes são aquelas estabelecidas nesta iteração, ou, se o número máximo de iteração for atingido, o algoritmo também para, caso contrário, volta para a etapa b.

Para a classificação das imagens digitais através do algoritmo K-médias, foram utilizadas como variáveis os canais 4, 5, 6 e 7 para cada imagem (das épocas seca e chuvosa). A precisão de classificação usada foi de 0,001 e os valores de iterações e de classes foram, respectivamente, 50 e 8. Com o programa ORDCELL (Ribeiro et alii, 1982), através do qual até 3.000 celas são ordenadas em função da frequência de pontos por níveis de cinza, foram selecionados os centros mais populosos como centros iniciais (médias iniciais) das classes. No fornecimento das celas (formadas por N pares de níveis de cinza, no caso $N = 4$ canais) para o programa ORDCELL, testou-se a aquisição dos níveis de cinza por amostragem 8×8 e 10×10 linhas por colunas e pelo posicionamento do cursor no vídeo do sistema IMAGE-100, em diferentes pontos da imagem.

Após a aplicação do algoritmo K-médias, são calculadas a média e a variância das classes resultantes, sendo estes dados fornecidos a um classificador por máxima verossimilhança (Ribeiro et alii,

1982) para realizar a classificação da imagem na tela do vídeo do sistema IMAGE-100.

3.3.5 - ANÁLISE VISUAL DAS FOTOGRAFIAS AÉREAS E DAS IMAGENS DO MSS -LANDSAT E ELABORAÇÃO DO MAPA DE UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

Para a elaboração do mapa de unidades geomorfológicas utilizou-se como referência o sistema proposto pelo CSIRO, juntamente com uma análise paramétrica, com a finalidade de auxiliar na delimitação e caracterização dessas unidades. Os parâmetros quantitativos utilizados com esta finalidade foram basicamente os índices morfométricos (item 2 da Seção 3.3.3) e os parâmetros referentes às propriedades físico-químicas dos solos (item 3 da Seção 3.3.3). Com base no método proposto por Tricart e Kilian (1979), procurou-se destacar o caráter dinâmico das unidades geomorfológicas, classificando-as com relação ao tipo de meio morfodinâmico. Para isto, a análise de parâmetros também contribuiu.

A opção por um sistema de mapeamento integrado para a elaboração do mapa geomorfológico foi feita em função de dois motivos principais. O primeiro motivo foi devido aos problemas mencionados no capítulo anterior com relação aos mapas geomorfológicos, destacando-se os problemas da inexistência de um sistema unificado e, conseqüentemente, a dificuldade na seleção de critérios e legendas para o mapeamento geomorfológico. Além disto, os sistemas de mapeamento existentes são mais voltados para mapeamentos geomorfológicos detalhados e de finalidade geral, normalmente com legendas de difícil leitura e interpretação e de pouco valor prático.

O segundo motivo foi em função das próprias vantagens apresentadas pelos sistemas de mapeamento integrado, destacando-se as seguintes: eles são mais apropriados para a exploração de produtos de sensoriamento remoto em pequenas escalas, são voltados para finalidades práticas, a representação gráfica é simples e de fácil leitura, sendo adequados tanto para mapeamentos integrados como para mapeamen

tos temáticos. Na aplicação destes métodos em geral não são adotadas classificações preestabelecidas, o que permite flexibilidade nas legendas e, conseqüentemente, que sejam ressaltadas as peculiaridades de cada área. Deste modo, para sua utilização são selecionados atributos qualitativos ou quantitativos (se utilizados em conjunto com o método paramétrico) referentes aos vários componentes da paisagem, sendo as unidades caracterizadas com base nestes atributos.

A escolha do sistema do CSIRO como base para este trabalho foi em função da simplicidade e do acesso ao método, dispondo-se de um maior número de exemplos práticos. Assim sendo, os estudos de Robinove (1979), Ackerson e Fish (1980), Cook (1981), Mitchell et alii (1982) e IPT (1981), que se basearam nesse sistema, também serviram de orientação para a elaboração deste estudo. Por outro lado, em função das semelhanças existentes entre os diversos métodos de mapeamento integrado, os trabalhos de Claasen e Ross (1981) e Ringrose e Large (1983), com base no sistema canadense, e o de Kozlovic e Howarth (1977) os quais utilizaram dados do MSS-LANDSAT, serviram de referência, principalmente, para a aplicação deste tipo de dados.

A unidade básica de mapeamento selecionada é a unidade de terra (land unit) do sistema CSIRO. Esta unidade corresponde aos padrões fotográficos de fotografias aéreas de pequena escala, sendo compatível com o material disponível, e a compartimentos geomorfológicos. Na verdade para a "land unit", que se caracteriza por apresentar pequena variação com relação à geologia, aos solos, ao relevo e à cobertura vegetal, admite-se uma coincidência ou superposição entre os limites destas classes. À medida que condições similares de paisagem requerem aplicações de medidas similares de planejamento, quanto mais homogêneas forem essas unidades, maior será sua utilidade para fins de planejamento. Neste sentido, procurou-se avaliar também a individualidade e a homogeneidade interna de cada unidade quanto aos principais componentes da paisagem e em que medida existe uma coincidência ou superposição entre os limites litológicos, geomorfológicos, pedológicos e de cobertura vegetal, para as unidades delimitadas a partir dos padrões fotográficos.

Assim sendo, a partir da interpretação visual das fotografias aéreas pancromáticas na escala 1:70.000, foi elaborado um mapa preliminar de foto-unidades delimitando os padrões fotográficos identificados pelas variações de tonalidade, textura, forma, padrões de drenagem, relevo e contexto. Para a análise visual das imagens do MSS-LANDSAT foram considerados os mesmos critérios, e no caso das fotografias aéreas o recurso da estereoscopia também foi utilizado. As feições individuais, tais como: elementos estruturais (falhas, fraturas etc.), uso do solo e elementos de formas de relevo não foram mapeadas. Com relação ao relevo foram consideradas, dependendo da extensão e textura topográfica, formas ou conjunto de formas.

No método utilizado, a aquisição das informações nas imagens (fotografias aéreas e MSS-LANDSAT) foi feita de forma integrada analisando todos os elementos da imagem simultaneamente e elaborando um único mapa, ao contrário dos métodos de mapeamento geomorfológico utilizados por Novo e Nascimento (1977), Santos et alii (1980), Sausen (1981) e Sausen e Aquino (1984). Nestes trabalhos, inicialmente extraiu-se a rede de drenagem e, em seguida, delimitaram-se os padrões de textura e de tonalidade (separadamente), sendo essa informação posteriormente integrada para compor o mapa geomorfológico.

Neste trabalho, o esboço da rede de drenagem extraído das fotografias aéreas (separadamente) serviu de referência para avaliar a definição deste elemento nas imagens do MSS-LANDSAT.

Após os trabalhos de campo e a análise de todos os parâmetros (quantitativos e qualitativos) obtidos para a área de estudo, as fotografias aéreas e as imagens do MSS-LANDSAT foram reinterpretadas e as unidades geomorfológicas definidas. Os limites destas unidades foram ajustados levando-se em conta as variações relacionadas com todos os componentes da paisagem e a sua dinâmica.

As unidades geomorfológicas, identificadas por letras e dígitos foram caracterizadas com relação a tipo de litologia, geomorfo

logia (morfologia e processos), associações de solos, cobertura vegetal (tipo e densidade) e uso do solo, sendo indicado também para cada unidade o tipo de meio morfodinâmico (balanço morfogênese-pedogênese). Com relação aos processos dominantes foram considerados somente aqueles referentes à morfodinâmica atual, na qual se fundamenta a classificação proposta por Tricart e Kilian (1979), e geralmente destacados nos mapas geomorfológicos de finalidade prática.

Finalmente, o mapa elaborado a partir das fotografias aéreas pancromáticas na escala 1:70.000 e reduzido para a escala aproximada de 1:100.000 foi utilizado como referência para a avaliação das imagens do MSS-LANDSAT, como fizeram também Kozlovic e Howarth (1977) e Robinove (1979) ao avaliar este tipo de dados para mapeamento integrado e Nascimento e Nascimento (1977) para mapeamento geológico e geomorfológico. Neste sentido, procurou-se avaliar até que ponto o recurso da estereoscopia, proporcionado pelas fotografias aéreas e muito utilizado para o mapeamento de unidades da paisagem (Ackerson and Fish, 1980) e principalmente para o mapeamento geológico e geomorfológico, pode ser substituído por outros critérios nas imagens do MSS-LANDSAT.

3.3.6 - TRABALHO DE CAMPO

Na área de estudo foram realizados três trabalhos de campo. O primeiro, realizado em dezembro de 1983, teve como objetivo fazer um reconhecimento preliminar da área de interesse e definir a área-teste para o desenvolvimento da pesquisa. Durante este trabalho foram feitas observações gerais com relação aos diferentes componentes da paisagem em toda a área percorrida.

O segundo trabalho de campo, realizado em agosto de 1984, teve como finalidade conferir e corrigir os limites das unidades delimitadas nas fotografias aéreas e imagens do MSS-LANDSAT, e examinar a geologia, as formas de relevo e sua dinâmica, os solos, a cobertura vegetal e o uso do solo, para a caracterização das unidades geomorfológicas com relação a estes componentes da paisagem. Deste modo, foram se

lecionados 68 pontos amostrais, com base: nos padrões fotográficos das fotografias aéreas e das imagens do MSS-LANDSAT das épocas seca e chuvosa (composições coloridas obtidas com os canais realçados), no mapa geológico do Projeto Colômi (Souza et alii, 1979), na escala 1:250.000, e no mapa de solos do Projeto RADAMBRASIL (1983). Nos pontos amostrais foram coletadas amostras de solos do horizonte superficial (até 20 cm) e entre 40 e 60 cm de profundidade. Foram ainda obtidas amostras das espécies vegetais dominantes, quando não identificadas in loco, além de amostras de rocha quando havia afloramentos rochosos próximos aos pontos amostrais. Com base no esquema apresentado no Apêndice D, foi feita uma estimativa visual das porcentagens de: cobertura vegetal por estrato, cobertura vegetal morta e folheto, e calhaus e/ou matacões na superfície do solo. Com relação a este último aspecto, as classes de pedregosidade adotadas neste trabalho foram aquelas definidas no Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (Lemos e Santos, 1982).

O terceiro trabalho de campo, realizado em janeiro de 1985, teve como objetivo complementar as informações, particularmente sobre solos (análise de perfis) e vegetação. Entretanto, as chuvas que caíram na região durante esse período impediram o acesso à maior parte da área de estudo e que os objetivos propostos para este trabalho de campo fossem atingidos.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4.1 - PARÂMETROS CLIMÁTICOS

4.1.1 - BALANÇO HÍDRICO DO PERÍODO DE 1966-83

Os resultados do balanço hídrico, para Juazeiro-BA, com base nos dados termopluiométricos do período de 1966-83 estão listados na Tabela 4.1. Esta tabela é constituída dos valores mensais dos seguintes parâmetros: temperatura média; evapotranspiração potencial; precipitação pluviométrica; armazenamento; alteração do armazenamento; evapotranspiração real; deficiência hídrica e excedente hídrico. A representação gráfica do balanço hídrico foi feita com os valores mensais de precipitação pluviométrica, evapotranspiração potencial e evapotranspiração real, plotados em um plano cartesiano, tendo na abcissa os meses do ano e na ordenada os respectivos valores em milímetros (Figura 4.1).

Pela análise da Tabela 4.1 e da Figura 4.1 observa-se que a evapotranspiração potencial é superior à precipitação pluviométrica em todos os meses não apresentando portanto excedente hídrico, mas, ao contrário elevada deficiência hídrica que é distribuída durante o ano, totalizando 1159 mm. A evapotranspiração potencial é elevada (1702 mm), apresentando ligeira queda no mês de temperatura média mais baixa (junho), o que coincide com o período de precipitação pluviométrica muito baixa. Assim, a evapotranspiração real (543 mm) é equivalente à precipitação pluviométrica. Os meses de menor deficiência hídrica são os de fevereiro e março por apresentarem maiores índices pluviométricos.

TABELA 4.1

BALANÇO HÍDRICO MENSAL SEGUNDO THORNTWAITE EM 1948 PARA JUAZEIRO-BA,
BASEADO EM DADOS TERMOPLUVIOMÉTRICOS DO PERÍODO DE 1966/83
LATITUDE: 9°22'S LONGITUDE: 40°24'W ALTITUDE: 380 M

MESES	TEMP °C	EP (mm)	P (mm)	P-EP (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ER (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	27.6	155	68	-87	0	0	68	87	0
Fevereiro	27.3	133	99	-34	0	0	99	34	0
Março	27.4	144	119	-25	0	0	119	25	0
Abril	26.8	137	62	-75	0	0	62	75	0
Maiο	26.2	139	18	-121	0	0	18	121	0
Junho	25.3	128	8	-120	0	0	8	120	0
Julho	25.1	132	4	-128	0	0	4	128	0
Agosto	25.8	134	1	-133	0	0	1	133	0
Setembro	27.3	138	10	-128	0	0	10	128	0
Outubro	28.8	153	8	-145	0	0	8	145	0
Novembro	28.9	150	61	-89	0	0	61	89	0
Dezembro	28.2	157	85	-72	0	0	85	72	0
ANO	27.1	1702	543	-1159	-	0	543	1159	0

- TEMP = Temperatura média
- EP = Evapotranspiração potencial
- P = Precipitação pluviométrica
- ARM = Armazenamento
- ALT = Alteração do armazenamento
- ER = Evapotranspiração real
- DEF = Deficiência hídrica
- EXC = Excedente hídrico

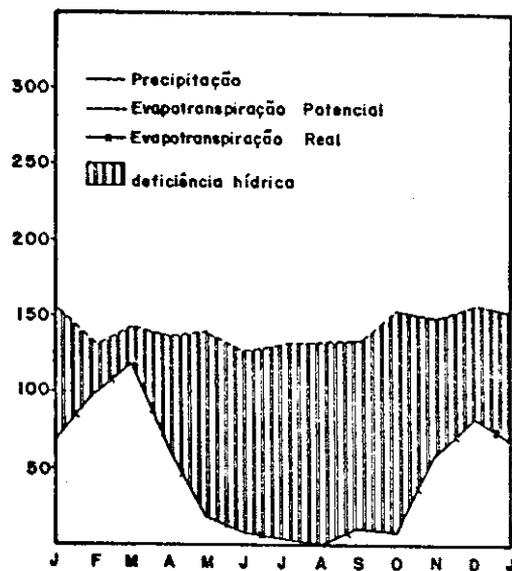


Fig. 4.1 - Balanço hídrico do período de 1966-83 para Juazeiro - BA, 9°22'S/40°24'W, alt. 380m.

O método do balanço hídrico utilizado é um esquema teórico onde não são consideradas todas as variáveis relacionadas com a disponibilidade de água no solo. Entretanto, apesar das limitações deste método e da extrapolação dos parâmetros climáticos, a partir dos dados disponíveis, para toda a área de estudo, provavelmente uma das principais limitações ao uso do solo nas unidades geomorfológicas mapeadas (Apêndice G), seja a deficiência hídrica.

Tricart e Kilian (1979) salientam, por outro lado, que a irregularidade da distribuição das chuvas, característica do clima da área de estudo (semi-árido) limita o crescimento e a reconstituição da vegetação (que diminui os processos morfogenéticos do tipo mecânico) e o desenvolvimento dos solos (pedogênese), ao mesmo tempo que favorece a morfogênese. Neste sentido, não considerando os demais fatores de estruturação do sistema (litologia, relevo, uso do solo etc.) as regiões semi-áridas, em condições naturais, caracterizam-se geralmente como meios instáveis.

4.1.2 - BALANÇO HÍDRICO DO ANO DE 1982

Os resultados do balanço hídrico para Juazeiro-BA, com base nos dados termopluiométricos do ano de 1982, encontram-se na Tabela 4.2 e a sua representação gráfica encontra-se na Figura 4.2.

A análise comparativa entre as Tabelas 4.1 e 4.2 e entre as Figuras 4.1 e 4.2 permite concluir que a disponibilidade de água no solo durante o ano de 1982 apresenta um comportamento semelhante ao do período (1966-83) analisado anteriormente. Basicamente a única diferença entre aquele período e o ano de 1982, é que este mostrou uma deficiência hídrica maior, totalizando 1518 mm, em função de valores superiores de evapotranspiração potencial e de valores inferiores de precipitação pluviométrica em todos os meses do ano. Neste ano, excepcionalmente seco, foi registrada a menor precipitação pluviométrica anual (281 mm) do período (18 anos) estudado.

Pela análise da Tabela 4.2 e da Figura 4.2 constata-se também que os dados do MSS-LANDSAT da passagem de novembro (09/11/82) correspondem plenamente ao final da época seca, uma vez que o período de maio a novembro caracteriza-se por uma elevada deficiência hídrica, num total de 1017 mm.

TABELA 4.2

BALANÇO HÍDRICO MENSAL SEGUNDO THORNTWAITE EM 1948 PARA JUAZEIRO-BA,
BASEADO EM DADOS TERMOPLUVIOMÉTRICOS DO ANO DE 1982
LATITUDE: 9°22'S LONGITUDE: 40°24'W ALTITUDE: 380 M

MESES	TEMP °C	EP (mm)	P (mm)	P-EP (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ER (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	28.5	162	1	-161	0	0	1	161	0
Fevereiro	28.4	145	24	-121	0	0	24	121	0
Março	28.8	157	107	-50	0	0	107	50	0
Abril	27.2	143	58	-85	0	0	58	85	0
Mai	26.7	145	6	-139	0	0	6	139	0
Junho	25.8	134	2	-132	0	0	2	132	0
Julho	25.5	138	1	-137	0	0	1	137	0
Agosto	26.6	146	3	-143	0	0	3	143	0
Setembro	27.6	144	0	-144	0	0	0	144	0
Outubro	29.4	159	0	-159	0	0	0	159	0
Novembro	30.7	163	0	-163	0	0	0	163	0
Dezembro	30.0	163	79	-84	0	0	79	84	0
ANO	27.9	1799	281	-1518	-	0	281	1518	0

TEMP = Temperatura média

EP = Evapotranspiração potencial

P = Precipitação pluviométrica

ARM = Armazenamento

ALT = Alteração do armazenamento

ER = Evapotranspiração real

DEF = Deficiência hídrica

EXC = Excedente hídrico

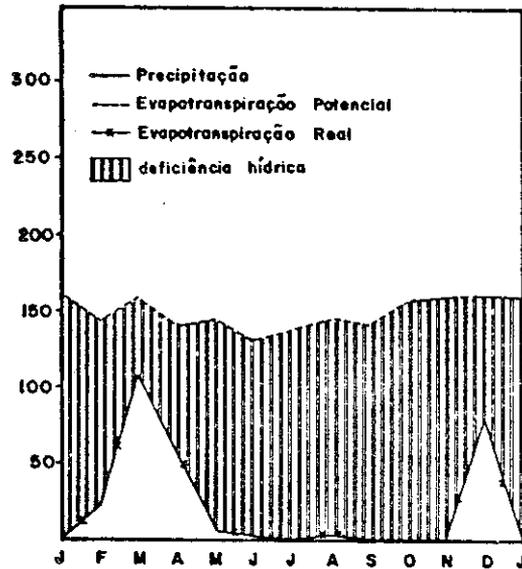


Fig. 4.2 - Balanço hídrico do ano de 1982 para Juazeiro-BA, 9°22'S/40°24'W, alt.380m.

4.1.3 - BALANÇO HÍDRICO DO ANO DE 1983

Os resultados do balanço hídrico para Juazeiro-BA, com base nos dados termopluiométricos do ano de 1983 são apresentados na Tabela 4.3 e a sua representação gráfica está na Figura 4.3.

Os valores da Tabela 4.3 e a Figura 4.3 mostram que o ano de 1983, a exemplo do que ocorreu nos casos anteriores, não apresenta excedente hídrico, mas onze meses com deficiência, de março a janeiro, totalizando 1415 mm. A evapotranspiração potencial é elevada (1811 mm) com relação à precipitação pluviométrica (396 mm) e à evapotranspiração real que é igual à precipitação pluviométrica. O único mês que não apresenta deficiência hídrica é fevereiro, no qual a precipitação pluviométrica sendo superior à evapotranspiração potencial possibilita uma pequena reposição de 39 mm. O mês de março é o de menor deficiência hídrica, amenizada pela retirada da água do solo armazenada no mês anterior.

TABELA 4.3

BALANÇO HÍDRICO MENSAL SEGUNDO THORNTWAITE EM 1948 PARA JUAZEIRO-BA,
BASEADO EM DADOS TERMOPLUVIOMÉTRICOS DO ANO DE 1983
LATITUDE:9^o22'S LONGITUDE: 40^o24'W ALTITUDE: 380 M

MESES	TEMP °C	EP (mm)	P (mm)	P-EP (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ER (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	28.3	162	47	-115	0	0	47	115	0
Fevereiro	27.6	139	178	39	39	39	139	0	0
Março	28.3	157	72	-85	0	-39	111	46	0
Abril	28.6	148	1	-147	0	0	1	147	0
Mai	29.0	152	0	-152	0	0	0	152	0
Junho	25.7	134	0	-134	0	0	0	134	0
Julho	26.2	138	9	-129	0	0	9	129	0
Agosto	27.0	146	3	-143	0	0	3	143	0
Setembro	28.9	150	0	-150	0	0	0	150	0
Outubro	29.6	159	0	-159	0	0	0	159	0
Novembro	30.6	163	64	-99	0	0	64	99	0
Dezembro	29.8	163	22	-141	0	0	22	141	0
ANO	28.3	1811	396	-1415	-	0	396	1415	0

TEMP = Temperatura média
EP = Evapotranspiração potencial
P = Precipitação pluviométrica
ARM = Armazenamento
ALT = Alteração do armazenamento
ER = Evapotranspiração real
DEF = Deficiência hídrica
EXC = Excedente hídrico

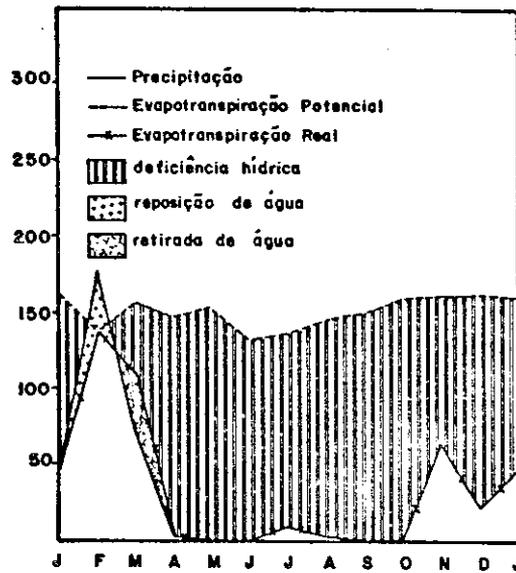


Fig. 4.3 - Balanço hídrico do ano de 1983 para Juazeiro-BA, 9°22'S/40°24'W, alt.380m.

Pela análise da Tabela 4.3 e da Figura 4.3 verifica-se que os dados do MSS-LANDSAT da passagem de maio (04/05/83) não correspondem ao período mais úmido no qual a vegetação estaria totalmente verde para proporcionar o máximo de contraste em relação aos dados da passagem anterior, os quais representam uma situação na qual o solo e a vegetação estariam totalmente secos. Isto porque nos meses anteriores, março e abril, há deficiência hídrica, sendo a de abril bastante elevada (147mm). Desta forma, dados referentes aos meses de fevereiro e março seriam mais representativos da situação desejada, no entanto, uma seleção mais adequada dos dados não foi possível devido a problemas de cobertura de nuvens nas imagens do MSS-LANDSAT deste período.

Os anos de 1982 e 1983 correspondem ao final de um período de cinco anos de seca cíclica sofrida pelo Nordeste. O que ocorreu nesse período não foi uma diminuição acentuada (com exceção de 1982) da precipitação pluviométrica anual, mas principalmente um aumento acentuado da irregularidade da distribuição das chuvas. Assim sendo, nas áreas submetidas a este fenômeno intensifica-se o trabalho morfodinâmico

co durante os períodos de seca. A maior concentração da precipitação pluviométrica nestes cinco anos verificou-se em 1981 com um total de 475mm de chuva (a média do período de 1966-83 foi de 543mm), uma vez que 80% da precipitação pluviométrica total (380mm) ocorreu em um único mês (março).

Durante o terceiro trabalho de campo realizado em janeiro de 1985, no período de chuva, quando a vegetação se apresentava totalmente verde, foram observadas espécies vegetais mortas, não-reconstituídas nem mesmo após o término da seca cíclica. Neste sentido, considerando o efeito cumulativo da seca nesses cinco anos, as observações feitas com relação às imagens do MSS-LANDSAT da época seca (09/11/82) e da época "chuvosa" (04/05/83) tornam-se ainda mais pertinentes.

4.2 - PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS

4.2.1 - CLASSIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS

Aplicando o algoritmo de classificação não-supervisionada K-médias para as quatro variáveis morfométricas (altitude absoluta, amplitude altimétrica, extensão de vertentes e declividade), em 702 amostras (Apêndice A) foram obtidas seis classes topográficas. Obteve-se o mesmo resultado testando diferentes valores para os parâmetros iniciais fornecidos pelo analista (número de classes, número de iterações e médias iniciais das classes), sendo possível, no máximo, até seis agrupamentos. As seis classes topográficas foram plotadas na base cartográfica na escala 1:100.000 (Apêndice E).

A declividade é uma das variáveis morfométricas mais importantes para a avaliação dos processos morfodinâmicos, de acordo com Demek (1972) e Tricart e Kilian (1979), e segundo Queiroz Neto (1978) e Pinto (1983) entre outros para a caracterização da intensidade da erosão do solo, como confirmaram também as observações de campo. Além disso, como salientam Gerrard (1981) e Resende e Rezende (1983), a declividade pode representar uma das principais limitações para a utilização de implementos agrícolas (mecanização). Neste sentido, com a finalidade

de principal de auxiliar a caracterização morfodinâmica das unidades geomorfológicas, os valores do parâmetro declividade foram agrupados em seis classes, sendo também plotadas na base cartográfica na escala 1:100.000 (Apêndice F).

Essas seis classes de declividade (< 1%, 1-3%, 3-5%, 5-10%, 10-15% e 15-35%) foram obtidas a partir daquelas sugeridas por Lepsch (1983), devidamente adaptadas ao contexto da área de estudo e aos objetivos propostos. Por outro lado, admitindo a relação existente entre esta variável com as demais variáveis morfométricas utilizadas, o mapa de declividade (Apêndice F) serviu como referência para a avaliação do mapa morfométrico (Apêndice E) gerado pelas quatro variáveis morfométricas a partir da aplicação do algoritmo de classificação não-supervisionada K-médias. A análise comparativa entre estes mapas indica que existe correlação entre eles.

A Tabela 4.4 indica a média e o coeficiente de variação dos parâmetros morfométricos (altitude absoluta, amplitude altimétrica, extensão de vertentes e declividade por classe de relevo), bem como a área de cada classe que é equivalente ao número de amostras, pois cada unidade de amostragem representa 1 km² no terreno.

A análise da Tabela 4.4 e do mapa (Apêndice E) permite verificar que a classe 4 seguida pela classe 1 caracterizam a maior parte da área de estudo. As demais classes: 2, 3, 5 e 6 ocupam em ordem crescente menores extensões. Com exceção das classes 1 e 4, que apresentam coeficientes de variação elevados para os parâmetros amplitude altimétrica e declividade, o resultado da classificação mostra unidades topográficas relativamente homogêneas, com pequena dispersão dos valores em torno da média.

TABELA 4.4

ÁREA, VALORES MÉDIOS E COEFICIENTES DE VARIÇÃO (CV) DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS,
POR CLASSE TOPOGRÁFICA RESULTANTE DA APLICAÇÃO DO ALGORITMO K-MÉDIAS

CLASSES	ÁREA (km ²)	ALTITUDE ABSOLUTA(m)		AMPLITUDE ALTIMÉTRICA(m)		EXTENSÃO DE VERTENTES(m)			DECLIVIDADE(%)	
		MÉDIA	CV (%)	MÉDIA	CV (%)	MÉDIA	CV (%)	MÉDIA	CV (%)	
1	269	394	4	10	50	596	24	3	54	
2	33	454	4	39	27	842	22	6	35	
3	28	506	7	80	20	804	25	12	20	
4	340	399	3	8	75	1020	12	2	67	
5	20	521	5	86	18	574	25	15	13	
6	12	567	5	128	7	615	18	21	20	

A classe 1 caracteriza-se pelo predomínio de vales pouco profundos, pela pequena declividade e pelas menores altitudes e extensões de vertentes da área de estudo. Analisando o mapa de classes topográficas (Apêndice E) e o esboço da rede de drenagem (Apêndice H), verifica-se que a classe 1 corresponde às áreas mais drenadas. De acordo com Christofolletti (1980) e Pinto (1983), respectivamente, quanto maior a densidade de drenagem e a densidade hidrográfica, menores e mais inclinadas serão as vertentes. Considerando a variação do parâmetro de declividade na classe 1 (Apêndice F) onde nas áreas de maior densidade de drenagem e hidrográfica e com menores extensões de vertentes os valores daquele parâmetro chegam a 10%; neste caso confirma-se a relação destacada por estes autores.

A classe 4, caracterizada por vertentes longas, pequenas amplitudes altimétricas e baixas declividades (Apêndice F), corresponde a áreas planas (basicamente interflúvios), não ou pouco dissecadas pela drenagem (Apêndice H) e com altitudes superiores somente àquelas da classe 1.

As classes 2, 3, 5 e 6 apresentam, em ordem crescente, as maiores altitudes, amplitudes altimétricas e declividades, correspondendo às áreas de relevo ondulado a montanhoso (*inselbergs* e cristas de acordo com o Projeto RADAMBRASIL, 1983). Mais especificamente, as classes 2 e 3 correspondem aos pequenos relevos residuais com expressão em área menor que 1 km², ou às baixas encostas dos relevos residuais maiores (basicamente classes de declividade: 5-10% e 10-15%, Apêndice F). Por outro lado, as classes 5 e 6 correspondem a relevos residuais de encostas mais abruptas (cristas) com expressão em área maior ou igual a 1 km², ou ainda, às altas encostas destes relevos. A subdivisão, da área de estudo, formada pelos relevos residuais em quatro classes topográficas indica a heterogeneidade morfológica destes relevos.

Para todas as classes topográficas os parâmetros amplitude altimétrica e declividade apresentaram o mesmo comportamento, com coeficientes de variação semelhantes em cada classe, o que confirma a

alta correlação existente entre esses dois parâmetros destacada por autores como Demek (1972) e Christofolletti (1980) e indicada também pelos dados de Novo (1983).

4.2.2 - AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE AMOSTRAGEM DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS

O tamanho da grade de amostragem utilizada mostrou-se adequado aos parâmetros altitude absoluta e amplitude altimétrica, e ao tamanho proposto por Demek (1972), o qual sugere quadrículas de 1 km² para medidas de amplitude altimétrica em cartas topográficas na escala 1:25.000.

Com o critério utilizado para medir o parâmetro declividade procurou-se garantir a representatividade de toda a unidade de amostragem. Entretanto, tal critério, juntamente com o tamanho de grade utilizado, não permitiu enfatizar as diferenças existentes dentro de cada unidade de amostragem. Este mesmo problema ocorreu no estudo de Pinto (1983) que também utilizou quadrículas correspondentes a 1 km² no terreno, embora o critério utilizado para a medida do parâmetro tivesse sido outro. Com base nisto e em Evans (1972), a solução para o problema seria diminuir o tamanho da grade, ou, segundo este último autor, fazer medidas em cada ponto. Esta solução, no entanto, aumentaria demasiadamente o volume de dados e a sua redundância para as áreas mais homogêneas.

Com relação à variável extensão de vertentes, o tamanho da grade e o critério utilizados para medir esta variável não possibilitaram destacar as áreas caracterizadas por vertentes muito longas. O aumento do tamanho da grade poderia solucionar este problema, mas agrava aquele relacionado com a variável declividade discutido anteriormente. Uma outra alternativa seria tomar a medida da vertente mais representativa para cada quadrícula, não respeitando os limites da unidade de amostragem. Entretanto, para que este critério fosse viável, as cartas topográficas deveriam cobrir uma área maior do que aquela estudada, o que não é o caso. Como foi salientado no item 2 da Seção 3.3.3,

as cartas topográficas utilizadas cobrem aproximadamente 80% da área-teste.

Concluindo, mesmo a utilização de uma grade de amostragem de tamanho variado, o que conforme Evans não é aconselhável, ou ainda, um tamanho de grade diferente para cada parâmetro, não solucionariam de forma ideal os problemas discutidos. Isso confirma as dificuldades no estabelecimento de critérios para medidas de parâmetros, destacadas por Mabbutt (1968), Cooke e Doornkamp (1974) e Verstappen (1977b) e indicadas também pelos resultados obtidos por Nascimento e Nascimento (1977), Sausen (1981) e Pinto (1983), entre outros, a partir da utilização de parâmetros morfométricos. Por outro lado, a correlação existente entre a variável declividade e as demais variáveis morfométricas e a importância dessa variável mencionada anteriormente (Seção 4.2.1) são aspectos que indicam a possibilidade de selecionar uma variável mais representativa, no caso a declividade, e concentrar os esforços para medir esta variável, podendo as classes ser estabelecidas pelo analista de acordo com os objetivos e as características da área de estudo, como fizeram Ackerson e Fish (1980) e Claasen e Ross (1981) para a análise das unidades de paisagem.

4.2.3 - UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS E PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS

O mapa de unidades geomorfológicas (Apêndice G) foi obtido a partir da interpretação visual das fotografias aéreas e da análise de todos os parâmetros (qualitativos e quantitativos) disponíveis sobre a área de estudo, incluindo aqueles extraídos das imagens do MSS-LANDSAT. Neste mesmo mapa estão indicados também os pontos de coleta de amostras de solo. Na legenda do mapa, em forma de tabela (Apêndice G), estão resumidas as principais características de cada unidade, destacando-se o tipo de litologia, as características geomorfológicas (morfologia e processos), as associações de solos, a cobertura vegetal (tipo e densidade) e o uso do solo, bem como o tipo de meio morfodinâmico (balanço morfogênese-pedogênese).

Na área-teste foram identificados dois sistemas de terra "land systems": A e B, unidades hierárquicas mais amplas do sistema CSIRO, cujos limites de acordo com Christian e Stewart (1968) podem coincidir com compartimentos geomorfológicos (Seção 2.3.1). Deste modo, o "land system" A corresponde à área classificada pelo Projeto RADAMBRASIL (1983) como modelado de aplanamento, onde se destacam cristas e *inselbergs* (Figura 3.2). O "land system" B corresponde às áreas classificadas, pelo mesmo autor, como modelado de acumulação (fluvial e de enxurrada).

As unidades geomorfológicas definidas neste trabalho, equivalentes às unidades de terra "land units" do sistema CSIRO, correspondem às subdivisões desses sistemas de terra. Assim, as unidades geomorfológicas A1 até A14 são subdivisões do "land system" A. Mais especificamente a unidade geomorfológica A12 representa os *inselbergs* e cristas. Por outro lado, as unidades geomorfológicas B1 e B2 são subdivisões do "land system" B, sendo que a unidade B1 corresponde ao modelo de acumulação fluvial e a unidade B2, ao modelo de acumulação de enxurrada.

A Figura 4.4 mostra o mesmo mapa do Apêndice G (sem a legenda), sendo que neste caso foram associadas letras minúsculas aos números que identificam as unidades geomorfológicas. A finalidade destas letras, que indicam o mesmo tipo de unidade porém com localização diferente, foi facilitar a análise e a identificação destas unidades pelo leitor dos mapas e fotos (Figuras 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.10, 4.12, 4.13, 4.14 e 4.15).

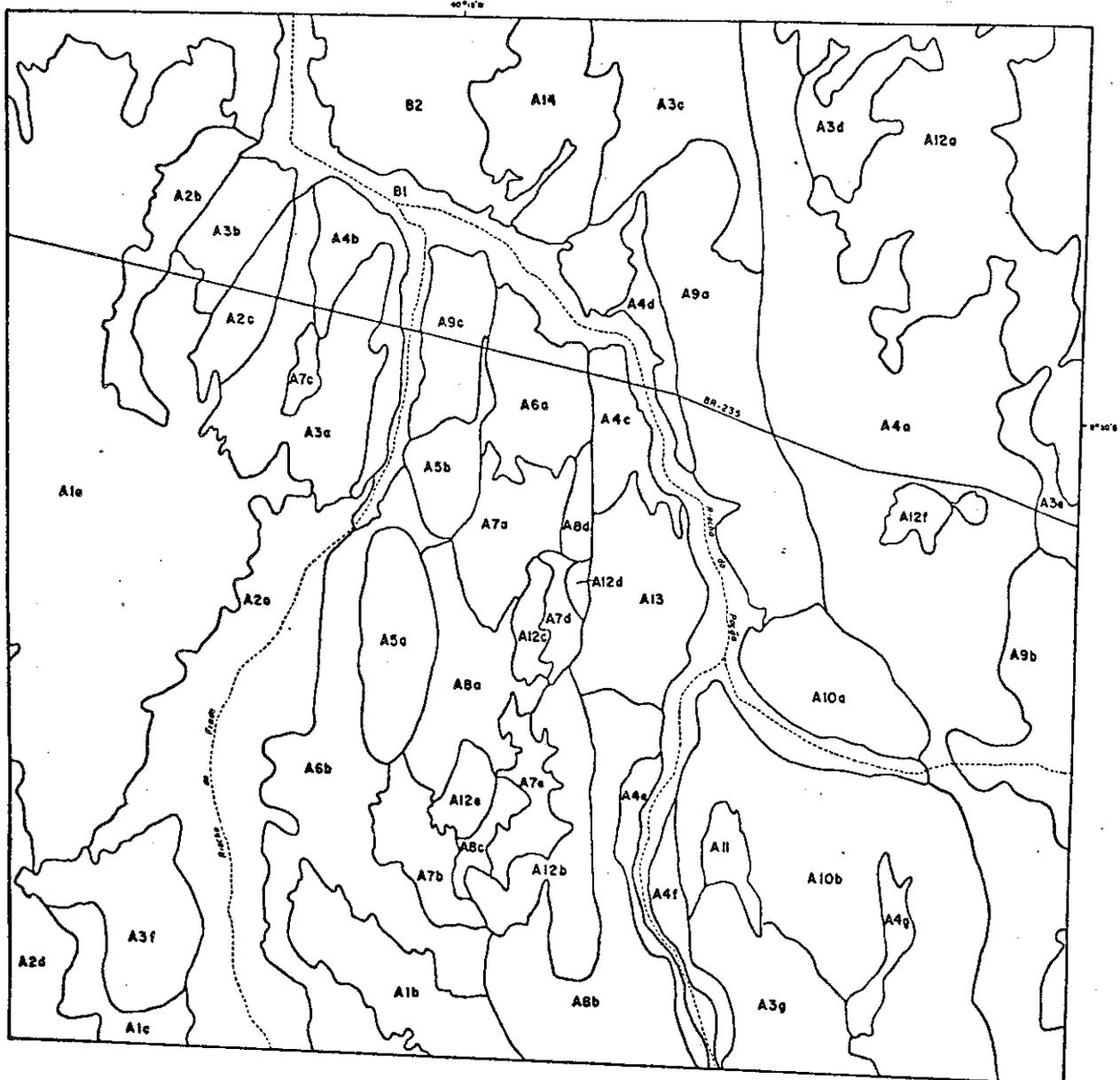


Fig. 4.4 - Mapa de Unidades Geomorfológicas obtido a partir da análise visual das fotografias aéreas.

Na Tabela 4.5 as 16 unidades geomorfológicas (Apêndice G), foram relacionadas com as classes topográficas (Apêndice E) e com as classes de declividade (Apêndice F).

TABELA 4.5

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS, CLASSES TOPOGRÁFICAS
E CLASSES DE DECLIVIDADE

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	CLASSES TOPOGRÁFICAS	CLASSES DE DECLIVIDADE (%)
A1	4, (1)*	<1, (1-3, 3-5)
A2	1, (4)	1-3, 3-5, 5-10
A3	4, 1, (2)	1-3, 3-5, (5-10)
A4	4, 1, (2, 3)	1-3, 3-5, (5-10)
A5	1, 4	1-3, (3-5)
A6	4 (1)	<1, 1-3
A7	4 (1)	<1, 1-3
A8	2, 4, 1	3-5, 1-3, 5-10
A9	4, 1	1-3, 3-5
A10	1, 4	3-5, 1-3
A11	4	1-3
A12	5, 3, 2, 6	10-15, 15-35, 5-10
A13	1, (4)	1-3, (3-5)
A14	4	1-3, <1, (3-5)
B1	1, (4)	1-3, 3-5, 5-10
B2	1, 4 (6)	1-3, (<1, 3-5, 15-35)

* Em primeiro lugar constam as classes topográficas e as de declividade mais representativas (que ocupam maior extensão). Entre parenteses são indicadas as classes pouco representativas.

As unidades A1a, A2a, A3f, B1, A4e, A4f, A6b, A7b, A8b, A9b, A10b, A11, A12a e A12b, foram parcialmente cobertas pelas cartas topográficas, na escala 1:25.000, enquanto, as unidades A1b, A1c, A2d,

A3e, A3g e A4g estão totalmente excluídas dessas cartas, utilizadas para a obtenção dos índices morfométricos. Apesar disto, com base também na análise visual das fotos aéreas e nas observações de campo, foi possível caracterizar as unidades geomorfológicas com relação às classes topográficas e de declividade.

Pela análise da Tabela 4.5 verifica-se que diferentes unidades geomorfológicas são caracterizadas pelas mesmas classes topográficas e de declividade. Isto mostra que para a área de estudo nem sempre os limites morfológicos (morfométricos) coincidem com os limites geomorfológicos, o que indica a limitação deste tipo de parâmetros para o mapeamento e para a caracterização de unidades geomorfológicas ou de paisagem. Por outro lado, a maior parte das unidades geomorfológicas caracteriza-se por mais de uma classe morfométrica, o que indica portanto que estas unidades são heterogêneas com relação a este tipo de parâmetro.

Na verdade, somente as unidades caracterizadas pela classe topográfica 4 como as unidades A11 e A14 (100%) e A1, A6 e A7 (acima de 90%) são morfologicamente homogêneas, correspondendo a áreas de relevo plano e não-dissecado. Mesmo as unidades A2 e B1, caracterizadas basicamente pela classe topográfica 1 (acima de 90%), são heterogêneas como indica a variação do parâmetro declividade nesta classe. Cabe destacar que a classe 1 foi individualizada pelo algoritmo K-médias, principalmente pelo parâmetro extensão de vertentes, as quais são as menores da área de estudo.

Finalmente, a unidade A12 é a mais heterogênea, sendo que particularmente em A12b existem declividades superiores a 35%, como indicaram as observações de campo e a análise visual das fotos aéreas e das próprias cartas topográficas (na escala 1:25.000).

4.3 - LITOLOGIA

Como as informações obtidas durante os trabalhos de campo com relação à litologia foram esparsas e isoladas e as amostras de rochas coletadas não foram analisadas, a caracterização litológica das unidades geomorfológicas foi feita com base no mapa geológico do Projeto Colomi (Souza et alii, 1979) na escala 1:250.000 (Figura 3.3).

Quanto à litologia, apenas duas unidades geomorfológicas (unidades A2 e A12) são constituídas por mais de um tipo de litologia. A Unidade A2 é formada por metatexitos e pelo calcário Caatinga, com áreas ocupadas equivalentes. Os relevos agrupados na Unidade A12 são formados por diferentes tipos de rochas, destacando-se com maior participação os granitos diversos indiferenciados (A12a) e os quartzitos (A12b). As demais unidades são constituídas basicamente pelo tipo de litologia indicado na legenda do Mapa Geomorfológico (Apêndice G). Por outro lado, diferentes unidades geomorfológicas são formadas pelo mesmo tipo de litologia; as unidades A3, A6, A8, A9, A10, A13 e B2 formadas por metatexitos e as unidades A7, A11 e A14, por sedimentos arenosos e argilosos, coberturas detríticas do Terciário-Quaternário. Isto indica que para a área de estudo nem sempre os limites de uma unidade geomorfológica, ou de paisagem, correspondem aos limites litológicos, ou que as unidades formadas pelo mesmo tipo de litologia, admitindo-se as mesmas características climáticas, originam o mesmo tipo de paisagem. Entretanto, além da influência de material de cobertura, a diversidade de paisagem entre estas unidades e dentro delas pode estar relacionada com a constituição mais heterogênea desses tipos de rochas, o que não está detalhado no mapa geológico disponível. Neste caso conclui-se que, o fato de uma unidade geomorfológica ser caracterizada por um único tipo de rocha não indica necessariamente que esta unidade seja homogênea com relação à litologia.

4.4 - SOLOS

Os principais tipos de solos encontrados nas unidades geomorfológicas foram inferidos com base na interpretação dos resultados

das análises físico-químicas (Apêndice B e C), nos dados obtidos com relação à cor do solo (Apêndice C) e nas observações de campo. Foram igualmente considerados nesta identificação o tipo de litologia, as características geomorfológicas, a cobertura vegetal e o uso do solo, além dos levantamentos de solos feitos pela FAO (1966) e pelo Projeto RADAMBRASIL (1983).

Com base em Cook (1981), tentou-se avaliar a homogeneidade interna das unidades geomorfológicas com relação às propriedades físico-químicas dos solos. Deste modo, foram selecionados nove parâmetros mais representativos (porcentagem de areia, silte e argila; pH em água; cálcio trocável; capacidade de troca de cátions; saturação de bases; porcentagem de matéria orgânica; e fósforo assimilável) e calculados a média e o desvio padrão para cada parâmetro referente aos dados amostrais agrupados por unidade geomorfológica. Procedeu-se assim para os dois níveis amostrados (horizonte superficial e entre 40 e 60 cm de profundidade), a exceção da variável porcentagem de matéria orgânica, pouco representativa entre 40 e 60 cm. O cálculo da média e do desvio padrão desses parâmetros foi feito somente para as unidades geomorfológicas com um número de amostras superior a três. Os valores mínimos, máximos e médios e o desvio padrão desses parâmetros para as amostras de solos agrupadas por unidade geomorfológica encontram-se na Tabela 4.6.

TABELA 4.6

VALORES MÍNIMOS, MÁXIMOS, MÉDIOS E DESVIO PADRÃO, DOS PARÂMETROS
DE SOLOS AGRUPADOS POR UNIDADE GEOMORFOLÓGICA

UNIDADE	PROFUNDIDADE (cm)		GRANULOMETRIA (%)			pH (H ₂ O)	Ca ⁺⁺ (meq/100g solo)	T	V (%)	M.O. (%)	P (ppm)
			AREIA	SILTE	ARGILA						
A1	0-20	MI	42	10	13	7,1	6,0	9,02	91	0,71	0,48
		MA	77	29	33	8,0	35,8	40,65	100	2,09	10,56
		MD	55	19	26	7,7	19,6	23,59	97	1,25	4,64
		DP	12,02	6,21	6,64	0,36	11,55	11,89	3,24	0,59	3,98
	40-60	MI	32	16	30	7,7	14,2	19,22	99	-	0,48
		MA	54	27	48	8,6	37,9	39,53	100	-	6,72
		MD	39	21	40	8,3	25,7	29,68	99	-	2,15
		DP	8,76	4,17	5,88	0,35	9,38	8,36	0,49	-	2,31
A3	0-20	MI	58	6	3	5,4	1,0	3,13	48	0,67	1,92
		MA	91	19	24	7,5	6,7	14,52	100	1,70	8,64
		MD	76	12	12	6,2	3,2	6,58	74	1,17	3,62
		DP	9,12	4,09	5,97	0,54	1,68	3,24	13,79	0,39	1,96
	40-60	MI	35	5	3	4,5	0,5	1,42	31	-	0,48
		MA	92	19	52	7,4	15,8	30,65	100	-	2,40
		MD	66	12	22	6,2	4,6	9,58	70	-	1,31
		DP	15,23	3,41	13,86	0,73	4,89	8,64	18,79	-	0,50
A4	0-20	MI	90	3	1	5,6	0,2	1,36	28	0,17	2,40
		MA	96	7	6	6,5	2,1	3,05	79	1,14	8,64
		MD	93	5	2	5,9	0,7	2,04	44	0,47	4,66
		DP	1,92	1,21	1,48	0,32	0,53	0,54	16,93	0,27	2,11
	40-60	MI	84	4	2	4,9	0,1	1,25	17	-	0,96
		MA	94	12	4	6,5	0,9	2,03	64	-	3,36
		MD	90	7	3	5,8	0,4	1,61	39	-	1,92
		DP	2,58	2,17	0,8	0,44	0,24	0,34	16,88	-	0,86
A6	0-20	MI	61	5	2	4,7	0,4	2,66	26	0,47	1,92
		MA	91	10	30	6,7	2,9	8,16	79	2,41	5,76
		MD	80	8	12	5,8	1,6	5,22	53	1,16	4,00
		DP	9,76	1,82	9,0	0,61	0,76	1,72	20,46	0,62	1,48
	40-60	MI	67	9	9	4,8	0,6	3,72	30	-	0,96
		MA	81	13	21	6,3	3,1	7,17	73	-	2,40
		MD	73	10	17	5,7	1,7	5,48	56	-	1,60
		DP	5,07	1,58	4,49	0,52	0,95	1,30	14,35	-	0,46

(continua)

Tabela 4.6 - Conclusão

UNIDADE	PROFUNDIDADE (cm)		GRANULOMETRIA (%)			pH (H ₂ O)	Ca ⁺⁺ (meq/100g solo)	T	V (%)	M.O. (%)	P (ppm)
			AREIA	SILTE	ARGILA						
A7	0-20	MI	74	1	7	5,5	0,3	2,14	23	0,34	1,92
		MA	88	11	16	6,5	1,8	4,09	76	1,14	12,96
		MD	82	7	11	6,1	1,0	3,17	54	0,64	6,14
		DP	5,20	3,72	3,22	0,33	0,58	0,82	17,38	0,3	3,98
	40-60	MI	53	4	24	4,5	0,4	2,52	29	-	0,48
		MA	72	13	34	6,0	2,1	5,67	74	-	1,92
		MD	63	8	29	5,4	1,1	4,25	49	-	1,25
		DP	6,56	3,03	3,55	0,54	0,68	1,36	18,34	-	0,54
A8	0-20	MI	71	7	5	4,8	0,8	2,67	34	0,36	2,40
		MA	83	19	16	6,8	3,6	7,70	74	2,67	7,19
		MD	78	12	10	6,0	1,8	4,91	57	1,39	3,76
		DP	4,67	4,16	3,85	0,62	1,11	1,67	14,19	0,92	1,96
	40-60	MI	46	9	13	5,2	1,0	4,02	47	-	0,48
		MA	77	20	39	6,2	1,8	7,92	65	-	2,40
		MD	64	13	23	5,7	1,4	5,49	54	-	1,52
		DP	9,93	3,81	8,43	0,34	0,26	1,2	5,90	-	0,64
A9	0-20	MI	76	8	3	5,4	0,4	1,02	42	0,07	1,44
		MA	89	15	9	7,2	2,5	4,66	100	1,33	14,40
		MD	84	10	6	6,2	1,6	3,37	70	0,61	4,21
		DP	3,87	2,24	1,97	0,53	0,73	1,24	19,76	0,37	3,76
	40-60	MI	74	6	5	5,5	0,4	2,73	26	-	0,96
		MA	83	14	15	6,7	2,2	5,87	79	-	3,84
		MD	79	11	10	6,2	1,5	4,41	59	-	2,06
		DP	3,29	2,30	3,48	0,36	0,73	1,13	10,38	-	1,17
A10	0-20	MI	66	4	5	6,3	2,0	4,13	81	0,40	1,44
		MA	91	16	20	6,9	6,4	13,07	92	1,41	17,28
		MD	75	13	12	6,6	3,9	8,22	88	0,66	5,92
		DP	8,43	4,02	5,28	0,19	1,75	3,47	4,30	0,35	5,31
	40-60	MI	47	10	13	7,0	2,9	8,25	80	-	0,96
		MA	72	19	40	7,7	14,0	25,45	100	-	5,28
		MD	65	14	21	7,2	7,0	13,72	95	-	2,32
		DP	8,77	2,92	9,06	0,25	3,66	7,09	7,19	-	1,50
B1	0-20	MI	32	8	5	6,5	2,1	3,85	88	0,31	0,96
		MA	81	32	36	8,2	39,1	41,41	100	1,09	38,40
		MD	67	16	17	7,5	11,4	14,73	93	0,64	22,46
		DP	18,38	8,61	10,56	0,56	13,97	13,67	5,19	0,36	12,24
	40-60	MI	28	9	11	7,2	3,5	6,59	89	-	4,32
		MA	78	30	42	8,3	16,1	23,46	98	-	38,40
		MD	62	16	22	7,5	8,2	13,28	94	-	19,87
		DP	19,37	7,36	12,67	0,45	4,93	7,04	3,06	-	11,52

MI = mínimo MA = máximo MD = médio
 DP = desvio padrão

Dentre as 15 unidades geomorfológicas (na Unidade A12 não foram coletadas amostras de solos) apenas duas unidades, A4 e A5, são formadas pelo mesmo tipo de solo, Regossolo distrófico, sendo muito semelhantes e internamente homogêneas não só com relação aos parâmetros analisados na Tabela 4.6, mas também quanto à saturação com sódio trocável, à cor do solo e às condições de superfície (pedregosidade). Assim, estas duas unidades poderiam ser agrupadas em uma única unidade de solo. Entretanto, considerando a variação do parâmetro saturação de bases, na unidade A4, embora os solos sejam predominantemente do tipo Regossolo distrófico, os dados indicam também a presença de Regossolo eutrófico, diferenciando-se portanto com relação a este parâmetro. A amostra de solo 64 (Solonetz Solodizado) não foi incluída na análise da Tabela 4.6 porque não foi considerada representativa, uma vez que foi coletada próxima à área de contato (não-abrupto) entre a unidade B1 e A4e.

As demais unidades geomorfológicas são formadas por diferentes associações de solos, sendo heterogêneas e individualizando-se com relação a, pelo menos, um dos parâmetros analisados na Tabela 4.6 e/ou quanto à saturação por sódio trocável, à cor do solo e às condições de superfície. Entre estas unidades as menos heterogêneas são as unidades A7, A8 e A11 sendo a unidade B1 a mais heterogênea. A diversidade desta unidade pode ser explicada pela própria origem dos solos formados por sedimentos aluviais.

De um modo geral, os parâmetros que apresentaram maior variação interna e/ou diferenciação entre as unidades geomorfológicas foram: granulometria, teor de cálcio trocável, capacidade de troca de cátions, saturação de bases e fósforo assimilável.

Com relação à composição granulométrica, com exceção dos solos das unidades A4 e A5 que apresentaram textura arenosa nos dois níveis amostrados e porcentagens de areia muito próximas do valor médio, as demais unidades apresentaram variações consideráveis em pelo menos um dos níveis amostrados. Analisando somente os dados do horizonte su

perficial, observa-se, por exemplo, que na Unidade A1, a porcentagem de argila apresenta uma grande variação, entre 3 e 33%. Considerando os resultados do levantamento de solos feito pela FAO (1966) e pelo Projeto RADAMBRASIL (1983), os quais indicam para a área que inclui esta unidade, o predomínio de Vertissolo (por definição um solo argiloso ou muito argiloso mesmo no horizonte A), essa variação seria ainda maior. Também para a Unidade A3 a variação na porcentagem de argila no horizonte superficial se considerada a amostra de solo 22 (Vertissolo), excluída na Tabela 4.6, seria ainda maior, ou seja, entre 3 e 64% e não entre 3 e 24% como indica esta tabela. As amostras de solos 22 (Vertissolo) e 43 (Vertissolo Planossólico) foram, respectivamente, coletadas nas unidades A3a e B2, tendo sido retiradas de pequenas depressões, condição topográfica favorável ao desenvolvimento deste tipo de solo (Vertissolo topomórfico), sendo comum também em outras unidades; por isto e por não serem consideradas muito representativas foram excluídas da análise da Tabela 4.6.

Como foi mencionado anteriormente (item 3 da Seção 3.3.3), o atributo textural é o componente mais importante do comportamento dinâmico dos solos. Segundo Lombardi Neto e Bertoni (1975), os solos com B textural, característica da maior parte dos solos da área de estudo (Planossolo, Planossolo Solódico eutrófico, Solonetz Solodizado, Bruno Não Cálcico e Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico e distrófico), são mais susceptíveis à erosão em função da diferença textural entre o horizonte A e B, ou seja, em função da heterogeneidade do material ao longo do perfil de solo, no sentido vertical. Desta forma, a variação existente entre os diferentes pontos amostrados, ou seja, no sentido horizontal, indicada pela Tabela 4.6, provavelmente também pode ser interpretada como uma maior susceptibilidade dos solos à erosão. Por outro lado, particularmente nas unidades onde não se pode determinar as características dominantes de textura, ou seja, fazer generalizações, esta heterogeneidade pode dificultar a avaliação da dinâmica dos solos.

Cook (1981) salientou esse aspecto com relação à variação das propriedades químicas dos solos, concluindo que a heterogeneidade

apresentada por esses parâmetros dificulta as generalizações sobre as potencialidades e limitações ao uso do solo. Entretanto, apesar das variações indicadas na Tabela 4.6 para este tipo de parâmetros (propriedades químicas), com exceção das unidades A3 e B1, que são as mais heterogêneas, para as demais unidades foi possível estabelecer as características dominantes com relação a todos esses parâmetros.

Assim, por exemplo, com relação ao fósforo assimilável, o desvio padrão desse parâmetro referente às unidades A1, A7, A9 e A10 é (basicamente) explicado pelos valores altos de uma amostra de solo em cada unidade que apresenta nível médio, pois todas as demais apresentam nível baixo. Os valores mais altos para este parâmetro foram encontrados na unidade B1, onde apesar da grande variação indicada na Tabela 4.6, observa-se que todas as amostras de solos coletadas nesta unidade apresentaram nível médio ou alto em pelo menos um dos horizontes amostrados (horizonte superficial ou entre 40 e 60 cm). As unidades restantes apresentaram níveis baixos para todas as amostras.

Com relação aos parâmetros cálcio trocável e capacidade de troca de cátions, as unidades A4, A5 e A7 apresentaram valores baixos para estes parâmetros em praticamente todas as amostras de solos, com pequena dispersão dos valores em torno da média. Por outro lado, nas unidades A1, B1 e A10, apesar da grande variação desses parâmetros, observa-se que predominam valores altos.

Com relação ao pH, somente nas unidades A4 e A5 não houve variação (classe de reação *moderadamente ácido*). Na unidade A10 predomina a classe de reação *praticamente neutro*, enquanto na unidade A1 a classe de reação dominante passa para *moderadamente alcalino* no horizonte superficial e *fortemente alcalino* entre 40 e 60 cm. Nas unidades restantes, com exceção da unidade B1 onde não foi possível determinar a classe dominante, predominam solos do tipo *moderadamente ácido*.

Para o parâmetro saturação de bases, pequenas variações foram encontradas nas unidades A1, A2, B1 e A10, onde todas as amostras

tras são de solos eutróficos (saturação de bases acima de 50%), e em A4 onde todas as amostras são de solos distróficos (saturação de bases abaixo de 50%). Nas unidades restantes houve variação, predominando, no entanto, solos distróficos nas unidades A4 e A7 e solos eutróficos nas unidades A3, A6, A8 e A9).

Com relação à porcentagem de matéria orgânica, predominaram em todas as unidades valores inferiores a 2%. Valores superiores (entre 2 e 3%) foram encontrados em duas amostras das unidades A1 e A8 e em uma amostra da unidade A6. Na amostra de solo 61, coletada na unidade A14, foi encontrado o maior valor para este parâmetro, 4,59%. As porcentagens mais baixas de matéria orgânica foram encontradas nas unidades B1, A4 e A5. Segundo Resende e Rezende (1983), aumentando-se os teores de argila, a tendência é aumentar também o teor de matéria orgânica. Isto poderia explicar os altos valores encontrados na Unidade A1 (maior porcentagem de argila) e os baixos valores encontrados nas unidades A4 e A5, com textura arenosa e, conseqüentemente, baixa porcentagem de argila. Por outro lado, o tipo e a densidade de cobertura vegetal podem explicar em parte, respectivamente, os altos valores encontrados nas unidades A6, A8 e A14, com Caatinga fechada e densa, e os baixos valores encontrados nas unidades A1 e B1, com Caatinga aberta e baixa densidade de vegetação.

Em função das variações no tipo e na profundidade dos solos da área de estudo, a amostragem de solos entre 40 e 60 cm de profundidade não foi considerada adequada. Este nível de amostragem foi selecionado para ser representativo do horizonte B. Entretanto, isto nem sempre ocorreu como ficou evidenciado pelos resultados das análises físico-químicas referentes a amostras de solos com horizonte B textural. Este fato confirma a necessidade da análise do perfil de solo e da coleta de amostras representativas dos horizontes de solos, e não de níveis predeterminados e padronizados.

Esse aspecto, aliado ao número insuficiente de amostras e/ou à sua falta de representatividade principalmente para as unidades

A1, A2, A11, A13, B2 e A14, impediu uma melhor caracterização e avaliação da individualidade e homogeneidade interna das unidades geomorfológicas com relação aos tipos de solos. Entretanto, apesar disto, pode-se concluir que de maneira geral os limites dessas unidades coincidem com os limites pedológicos, e as variações encontradas com relação aos parâmetros das propriedades físico-químicas dos solos são muito mais explicadas pela complexidade da área de estudo, formada por associações de solos cujos os tipos se repetem na maior parte das unidades geomorfológicas, do que pelo método de mapeamento utilizado, confirmando neste caso as conclusões de Cook (1981).

4.5 - VEGETAÇÃO

A caracterização da cobertura vegetal das unidades geomorfológicas foi feita com base nos dados de campo em conjunto com a análise das imagens do MSS-LANDSAT, referentes à época seca e "chuvosa". Para isto foram utilizadas principalmente as composições coloridas, obtidas a partir dos canais realçados por ampliação linear de contraste (Figuras 4.6 e 4.7). A análise das características espectrais dessas imagens foi essencial para extrapolar as informações coletadas localmente.

A vegetação da área de estudo, constituída por espécies de Caatinga hiperxerófila, apresenta-se estratificada, neste estudo foram considerados três estratos: arbóreo, arbustivo e herbáceo.

O estrato arbóreo compreende espécimes entre 6 e 10 metros de altura, sendo as mais frequentes: angico (*Anadenanthera macrocarpa*), baraúna (*Schinopsis brasiliensis*), aroeira (*Astronium urundeuva*), imburana (*Bursera leptophloeos*), imbiraçu (*Pseudobombax simplicifolium*), umbuzeiro (*Spondias tuberosa*), e as cactáceas faxeiro (*Cereus squamosus*) e mandacaru (*Cereus jamacaru*).

O estrato arbustivo pode ser subdividido em dois estratos: um com arbustos entre 2 e 5 metros e um arbustivo baixo com ar

bustos de 1 a 2 metros. No primeiro caso as espécies dominantes são: catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*) e catingueira rasteira (*Caesalpinia microphylla*), pereiro (*Aspidosperma pyriforme*), faveleira (*Cnidocaulus phyllacanthus*) e jurema (*Mimosa*). No segundo caso as espécies dominantes são: carqueja (*Calliandra depauperata*), pinhão (*Jatropha*), marmeleiro (*Croton*), quebra-faca (*Croton*) e a cactácea xique-xique (*Pilosocereus gounellei*).

O estrato herbáceo até 1 metro inclui gramíneas e ervas, cactáceas como coroa-de-frade (*Melocactus bahiensis*) e quipã (*Opuntia inamoena*), e bromeliáceas tais como caroã (*Neoglaziovia variegata*) e macambira (várias espécies); a malva (*Sida cordifolia*) também foi incluída neste estrato.

As unidades que apresentam como estrato dominante o herbáceo foram caracterizadas como áreas de Caatinga aberta: unidades A1, A2, A9, A10, A11, B1 e B2 e parte das unidades A4, A5 e A13, enquanto aquelas em que os estratos arbustivo e arbóreo são os dominantes foram caracterizadas como áreas de Caatinga fechada: unidades: A3, A6, A7, A8, A12 e A14 e parte das unidades A4, A5 e A13.

As espécies que constituem o estrato arbóreo encontram-se esparsas por toda a área de estudo, não constituindo no entanto o estrato dominante; sua participação varia de 5% ou menos nas áreas de Caatinga aberta (ã exceção da unidade B1) e entre 20 a 40% nas áreas de Caatinga fechada. O estrato arbustivo é sempre dominante nas áreas de Caatinga fechada, e sua participação varia de 40 a 80%.

Um estrato herbáceo anual sempre ocorre variando de denso (60 a 80%) nas áreas de Caatinga aberta (unidades A10 e A11) a ralo (inferior a 10%) nas áreas de Caatinga aberta (unidades A1 e B1 e parte das unidades A4, A5 e B2). Este estrato de vegetação é muito pouco expressivo nas áreas de Caatinga fechada, sobretudo onde os solos são extremamente pedregosos (unidades A8 e A14), sendo praticamente

inexistente, e também localmente nas áreas mais degradadas, geralmente próximas às vias de acesso e às margens de riachos.

Na legenda do mapa geomorfológico (Apêndice G) foram indicados para cada unidade os estratos e as espécies dominantes, além das classes de densidade de cobertura vegetal, estimadas visualmente. Como não foi possível discriminar, tanto através da análise visual das fotos aéreas como das imagens do MSS-LANDSAT, o estrato arbóreo do estrato arbustivo, a estimativa da densidade de vegetação para esses dois estratos foi feita em conjunto. Também com relação às espécies dominantes, as informações obtidas permitiram indicar basicamente aquelas referentes ao estrato arbustivo.

A macambira, muito comum junto aos afloramentos rochosos, foi indicada como uma das espécies dominantes do estrato herbáceo nas unidades A4 e A5 devido à presença de muitos afloramentos de rochas nestas unidades. Por outro lado, o estrato herbáceo das unidades A10, A11 e A13 é constituído sobretudo pelo capim panasco (*Aristida setifolia*). Por este motivo, esta espécie foi incluída na legenda do mapa geomorfológico (Apêndice G).

A catingueira e a faveleira são comuns em toda a área de estudo, sendo que a catingueira ou a catingueira rasteira constituem-se em espécies dominantes do estrato arbustivo. A carqueja, uma das espécies dominantes do estrato arbustivo na maior parte das unidades geomorfológicas e comum em toda a área, não foi encontrada na unidade A1 (formada por Vertissolos) e nas unidades A4 e A5 (formadas por Regossolo). Na unidade A1 também não foi verificada a presença de cactáceas, espécies que embora nem sempre dominantes são comuns na maior parte da área de estudo.

Na unidade B1 o estrato arbóreo, presente ao longo dos canais anastomosados dos riachos principais, é composto de espécies diversificadas, desde espécies do tipo perenefólias como o juazeiro (*Zizyphus joazeiro*), o salgueiro (*Vitex gardineriana*), a quixabeira

(*Bromelia sartorum*) e a caraibeira (*Tabebuia caraiba*), até as caduci-fólias como aquelas mencionadas anteriormente para esse estrato de vegetação.

Com relação à cobertura vegetal, diretamente relacionada com o tipo de solo, incluindo profundidade e condições de superfície (pedregosidade), verificou-se que a diferenciação entre as unidades geomorfológicas e dentro delas se deve muito mais aos parâmetros relacionados com a altura das espécies e com a densidade de cobertura vegetal (estrutura vertical e horizontal) do que com relação ao tipo de espécies dominantes. Neste sentido, a falta de informações mais precisas sobre aqueles parâmetros limitou a caracterização e diferenciação das unidades geomorfológicas quanto à cobertura vegetal. Finalmente, cabe salientar, no entanto, que as áreas de Caatinga fechada apresentaram uma variedade de espécies maior do que aquelas de Caatinga aberta.

4.6 - USO DO SOLO

Quanto ao uso do solo, com exceção do projeto de irrigação para cana-de-açúcar, implantado pela AGROVALE na unidade A1, nas demais unidades geomorfológicas pratica-se a agricultura de subsistência e a pecuária extensiva, através da criação de ovinos e bovinos, e sobretudo de caprinos. As unidades A4 e A5 (formadas por Regossolos) são as mais ocupadas pela agricultura de subsistência destacando-se as culturas de feijão, melancia, milho e mandioca. Nas unidades restantes esta atividade é muito pouco representativa, sendo praticamente inexistente nas unidades A6, A8, A11, A12 e A14, onde é mais difundida a pecuária extensiva.

Constatou-se durante os trabalhos de campo a presença de diversas casas abandonadas em grande parte da área de estudo, particularmente nas unidades A9 e A10, o que indica um processo de êxodo rural e, portanto, uma diminuição da ocupação dessa área por aquelas atividades. Por outro lado, a atividade de extração de lenha para carvão,

antiga e muito difundida, vem sendo cada vez mais intensificada. Esta atividade aliada à criação extensiva (predatória) e às características climáticas explicam o processo de degradação a que vem sendo submetida parte considerável da área de estudo.

4.7 - GEOMORFOLOGIA E ANÁLISE INTEGRADA

Para a definição das unidades geomorfológicas, como mencionado anteriormente, foi feita uma análise integrada de todas as variáveis (qualitativas e quantitativas) disponíveis sobre a área de estudo. Mais especificamente para a identificação dos processos dominantes e o tipo de meio morfodinâmico, além das características climáticas da área de estudo, foram consideradas por unidade geomorfológica: a morfologia e o nível de dissecação, a litologia, os solos (basicamente a textura), a cobertura vegetal (tipo e densidade) e o uso do solo. Também foram consideradas as observações de campo referentes à erosão laminar e em sulcos e às condições de superfície como cobertura vegetal morta, folhedo e pedregosidade.

Segundo Verstappen (1977a) a pedregosidade na superfície do solo, ao mesmo tempo que é um fator de limitação na utilização agrícola, afeta favoravelmente as condições de umidade do solo protegendo-o da erosão. Estes aspectos foram constatados no campo onde, nas áreas de solos extremamente pedregosos, a vegetação se apresentava fechada e densa (acima de 80% de cobertura), favorecida pelas condições de umidade, e os solos (mesmo em áreas de declividade entre 5 e 10%) protegidos por calhaus e pela própria cobertura vegetal, não apresentavam sinais de erosão. A cobertura vegetal morta e o folhedo, bastante representativos nas áreas de Caatinga fechada, também protegem o solo da erosão segundo Tricart (1977) e Journaux (1981), à medida que amortecem o impacto das gotas de chuva.

De acordo com Tricart e Kilian (1979), a dificuldade dos estudos morfodinâmicos não está na identificação dos processos mas principalmente na avaliação de sua intensidade e, conseqüentemente, no

estabelecimento de graus de estabilidade morfodinâmica. Ainda segundo Dent e Young (1981) uma abordagem dinâmica requer o monitoramento dos processos por um ou mais anos e/ou estudos locais detalhados. Em função disto, pela falta de determinados tipos de dados, como por exemplo, intensidade das precipitações pluviométricas, e pela não-uniformização dos dados disponíveis (escala ou nível de detalhe diferentes), a caracterização dos processos e a avaliação morfodinâmica das unidades geomorfológicas foi feita de forma qualitativa e genérica.

- Unidade A1

Esta unidade é morfologicamente muito homogênea. Caracteriza-se por relevo plano, não-dissecado, com altitudes média de 400m, pequena amplitude altimétrica e vertentes longas, predominando declividades inferiores a 1% (classe topográfica 4). Nela predominam associações de Vertissolos (Vertissolo+Vertissolo Planossólico) não pedregosos, originados do calcário Caatinga. Segundo a FAO (1966) e conforme indicado pela cultura irrigada de cana-de-açúcar nesta unidade (em expansão), esses solos, cuja profundidade varia entre 150 e 200cm, são apropriados para projetos de irrigação. A textura desses solos é muito heterogênea, embora seja predominantemente argilosa, sobretudo entre 40 e 60 cm. Assim sendo, apresentam más condições de drenagem interna, o que favorece o escoamento superficial. Os dois estratos de vegetação, arbustivo e herbáceo que caracterizam essa área de Caatinga aberta apresentam densidade muito baixa, respectivamente, entre 10-20% e inferior a 10%. As espécies que constituem o estrato arbustivo na unidade A1 são basicamente aquelas indicadas na legenda do mapa geomorfológico (Apêndice G). Apesar dessas características dos solos e da cobertura vegetal, o processo dominante é o escoamento superficial difuso, de intensidade fraca que provoca apenas erosão laminar ligeira devido às condições topográficas. Por isto esta unidade foi considerada estável em termos morfodinâmicos, não apresentando riscos de erosão acentuada.

- Unidade A2

A unidade A2 é morfologicamente muito heterogênea. Caracteriza-se por relevo suave ondulado a ondulado, muito dissecado, com vales entalhados e com vertentes curtas, ravinadas e ligeiramente convexas, na qual se alternam as classes de declividade 1-3, 3-5 e 5-10% (classe topográfica 1). Esta unidade corresponde basicamente a uma área de contato entre os metatexitos e o Calcário Caatinga. Apesar do número insuficiente de amostras de solos coletadas nesta unidade (2 amostras), as características e a diversidade litológica, geomorfológica e de cobertura vegetal (Caatinga aberta) sugerem que os solos também sejam heterogêneos onde predominam os tipos: Planossolo Solódico eutrófico+Solonetz Solodizado+Vertissolo. Os processos dominantes são o escoamento difuso e concentrado, os quais favorecem, respectivamente, a erosão laminar moderada e a erosão linear (canais de drenagem) e em sulcos (ravinas nas encostas). As características mencionadas e a intensidade dos processos morfogenéticos fazem desta área um meio morfodinamicamente instável.

- Unidade A3

A unidade A3 corresponde a um conjunto de formas relativamente heterogêneo. Alternam-se áreas de relevo plano, não-dissecado ou pouco dissecado, com declividades entre 1-3%, e áreas de relevo suave ondulado de dissecação fraca a média, com declividades de 3-5% (classes topográficas 4 e 1). Os interflúvios são planos ou ligeiramente arredondados, predominando vertentes ligeiramente convexas. É comum nesta unidade a presença de pequenas e microdepressões que formam lagoas temporárias bem como a presença de pequenos relevos residuais, inferiores a 1 km² em extensão, caracterizados pela classe topográfica 2 (declividade de 5-10%). Em A3a e A3b esses relevos são mais extensos e, de acordo com o mapa geológico (Figura 3.3), são formados por metabasitos ou quartzitos. Os solos são originados de metatexitos e, particularmente em A3d e A3e, têm influência de material de cobertura no desenvolvimento do horizonte superficial. São solos heterogêneos não só com relação às propriedades físico-químicas como indica a Tabela 4.6, mas também

quanto às condições de superfície, variando de extremamente pedregosos a ligeiramente pedregosos. O tipo de solo dominante é o Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico. A cobertura vegetal, Caatinga fechada é caracterizada pelos três estratos: arbóreo, arbustivo e herbáceo, com grande diversidade de espécies, variando de densa a muito densa nas áreas de solos extremamente pedregosos. O processo dominante é o escoamento superficial difuso que favorece a erosão laminar ligeira nas áreas mais planas e naquelas mais protegidas pela cobertura vegetal e por calhaus. Entretanto, foi observada localmente a presença de erosão em sulcos em áreas mais degradadas, geralmente próximas às vias de acesso e às margens de riachos. Por isto esta unidade foi considerada estável e localmente instável e, em função das características dos solos existe riscos de erosão nas áreas com declividade entre 3-5% e mais desprotegidas de cobertura vegetal e calhaus.

- Unidade A4

Esta unidade é relativamente heterogênea com relação à morfologia, principalmente em A4a. Caracteriza-se por relevo plano e suave ondulado, de dissecação média, onde predominam as classes de declividade de 1-3 e 3-5%. As vertentes são geralmente curtas e ligeiramente convexas com interflúvios de topos planos ou arredondados (classes topográficas 1 e 4). A grande frequência de afloramentos rochosos forma um microrrelevo proeminente. Em A4a são frequentes também pequenos relevos residuais, inferiores a 1 km² de extensão, sendo caracterizados pelas classes topográficas 2 e 3 (declividades entre 5-10 e 10-15%). Os solos, originados de diatexitos, são bastante homogêneos com relação às propriedades físico-químicas e às condições de superfície, sendo não pedregosos ou ligeiramente pedregosos (espalhamento de calhaus e matacões). São solos de textura arenosa nos dois níveis amostrados e do tipo Regossolo distrófico (principalmente) e Regossolo eutrófico. A cobertura vegetal, Caatinga fechada e aberta é caracterizada pelos três estratos: arbóreo, arbustivo e herbáceo. As áreas de Caatinga aberta correspondem basicamente a áreas de solo exposto. Nesta unidade a agricultura de subsistência é bastante representativa, sobretudo em A4a, A4e e A4f, ocupando as áreas mais planas através, princi

palmente, das culturas de feijão, milho, melancia e mandioca. Os processos dominantes são o escoamento superficial difuso que provoca erosão laminar de ligeira a moderada, escoamento concentrado que favorece a erosão linear (canais de drenagem) e em sulcos (ravinas nas encostas), além dos processos de fragmentação e desagregação das rochas e de arenização nos topos. Em função das características mencionadas, é uma área predominantemente instável em termos morfodinâmicos. Entretanto, nas áreas mais planas não foram constatados sinais de erosão devido à permeabilidade e às boas condições de drenagem interna apresentada por esses solos muito arenosos. Por isto esta unidade foi considerada instável e localmente estável.

- Unidade A5

Esta unidade é muito semelhante à unidade anterior, sendo no entanto morfologicamente mais homogênea. Caracteriza-se por relevo suave ondulado, de dissecação média, onde predominam declividades entre 1-3%. Os interflúvios são de topos arredondados e as vertentes são curtas, ravinadas e ligeiramente convexas (classe topográfica 1). A densidade de afloramentos rochosos também forma um microrrelevo proeminente. Os solos, originados de granitos diversos e indiferenciados, também são muito homogêneos, de textura arenosa e do tipo Regossolo distrófico. As demais características são basicamente as mesmas daquelas da Unidade A4.

- Unidade A6

Morfologicamente esta unidade é muito homogênea. Caracteriza-se por relevo plano, não-dissecado, onde predominam declividades inferiores a 1% (classe topográfica 4). Os solos são originados de metaxitos e têm influência de material de cobertura no desenvolvimento do horizonte superficial. São heterogêneos principalmente com relação à textura, saturação com sódio trocável, saturação de bases e porcentagem de matéria orgânica, com predominância dos tipos de solos indicados na legenda do mapa geomorfológico (Apêndice G). Com relação às condi

ções de superfície, alternam-se áreas de solos não pedregosos ou ligeiramente pedregosos com áreas de solos extremamente pedregosos. Assim sendo, a cobertura vegetal, caracterizada pelos três estratos: arbóreo, arbustivo e herbáceo com grande variedade de espécies, varia de densa a muito densa. O processo dominante é o escoamento superficial difuso, de intensidade fraca, que provoca apenas erosão laminar ligeira. Por isto é uma área morfodinamicamente estável e não apresenta riscos de erosão acentuada.

- Unidade A7

Esta unidade apresenta as mesmas características morfológicas da unidade anterior. Os solos são originados de cobertura detriticas; são relativamente homogêneos com relação a maior parte das propriedades físico-químicas e, quanto às condições de superfície, não pedregosos. Diferenciam-se basicamente quanto à saturação de bases (distróficos e eutróficos) e ao nível de fósforo assimilável; no entanto, predominam níveis baixos. Os tipos de solos dominantes são aqueles indicados na legenda do mapa geomorfológico (Apêndice G). A cobertura vegetal, Caatinga fechada, caracteriza-se pelos três estratos: arbóreo, arbustivo e herbáceo apresentando uma densidade de cobertura homogênea. Destaca-se das demais unidades geomorfológicas pela homogeneidade com relação à estrutura horizontal (espaçamento entre as espécies) e à estrutura vertical (altura das espécies) da vegetação. O processo dominante é o escoamento superficial difuso, de intensidade fraca, que provoca apenas erosão laminar ligeira. Em função dessas características esta unidade também é morfodinamicamente estável, não apresentando riscos de erosão acentuada.

- Unidade A8

A morfologia da unidade A8 é relativamente heterogênea; corresponde a vertentes ou segmentos de vertentes (rampas colúvias) longas e ligeiramente côncavas, com alternância das classes de declividade 1-3, 3-5 (predominantemente) e 5-10%. O nível de dissecação tam

bem varia, sendo baixo em A8a e médio em A8b (classes topográficas 2, 4 e 1). Os solos são originados de metatexitos e têm grande influência de material de cobertura no desenvolvimento do horizonte A. O tipo de solo predominante é o Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico. Os solos diferenciam-se principalmente com relação à textura, o que pode explicar os diferentes níveis de dissecação, ao pH (predominando no entanto a classe de reação *moderadamente ácido*) e com relação à porcentagem de matéria orgânica. São muito homogêneos com relação às condições de superfície, sendo extremamente pedregosos. A cobertura vegetal, Caatinga fechada é caracterizada por dois estratos: arbóreo e arbustivo, sendo muito densa e com grande variedade de espécies. Como na Unidade A6, o uso do solo restringe-se à pecuária extensiva. O processo dominante é o escoamento superficial difuso, de fraca intensidade, que favorece apenas a erosão laminar ligeira, localmente observa-se a atuação do escoamento concentrado que provoca a erosão linear (canais de drenagem). Neste sentido é uma área morfodinamicamente estável e localmente instável.

- Unidade A9

Com relação à morfologia, esta unidade também é relativamente heterogênea. Alternam-se áreas de relevo plano, não-dissecado, com áreas de relevo suave ondulado, com níveis de dissecação de fraco a médio. Predominam interflúvios planos com vertentes retilíneas e classes de declividade 1-3, e 3-5% (classes topográficas 4 e 1). Os solos são originados de metatexitos. O tipo de solo predominante é o Planossolo eutrófico. Os solos diferenciam-se principalmente com relação à saturação de bases, à saturação com sódio trocável e ao fósforo assimilável. São predominantemente de textura arenosa no horizonte superficial, eutróficos, moderadamente ácidos e com níveis baixos de fósforo assimilável. Com relação às condições de superfície, predominam solos ligeiramente pedregosos. A cobertura vegetal, Caatinga aberta não muito densa, caracteriza-se pelos três estratos: arbóreo, arbustivo e herbáceo. A vegetação apresenta-se degradada pela pecuária extensiva, principal atividade desenvolvida nesta área. O processo dominante é o escoamento superficial difuso que favorece a erosão laminar de ligeira a moderada. Lo

calmente, observa-se a atuação do escoamento concentrado que provoca erosão linear (canais de drenagem) e em sulcos (ravinas nas encostas). Em termos morfodinâmicos, esta unidade pode ser considerada uma área de transição, sendo localmente estável (interflúvios planos) e instável (vertentes com declividade 3-5%)

- Unidade A10

Esta unidade é morfologicamente semelhante à unidade anterior, sendo mais heterogênea e dissecada, onde predominam vertentes ligeiramente convexas e ravinadas (classes topográficas 1 e 4). Nesta área são muito frequentes microdepressões que formam lagoas temporárias. Os solos, mais heterogêneos, também são originados de metaxitos. No entanto, eles se diferenciam daqueles da unidade A9, principalmente com relação ao pH (predomina a classe de reação *praticamente neutro*), aos valores mais altos de cálcio trocável, à capacidade de troca de cátions e à saturação de bases (eutróficos). O tipo de solo dominante é o Bruno Não Cálcico Vértico Planossólico e Bruno Não Cálcico Vértico. A cobertura vegetal, Caatinga aberta, caracteriza-se basicamente por dois estratos: arbustivo e herbáceo, sendo este último muito denso. As espécies vegetais que constituem os dois tipos de estrato de vegetação são basicamente aquelas indicadas na legenda do mapa geomorfológico (Apêndice G). Espalhadas por toda área foram observadas manchas de solos mais vérticos que apresentam vegetação praticamente idêntica à da unidade A1 (formada de Vertissolos). Devido principalmente às más condições de drenagem interna apresentada pelos tipos de solos dominantes, esta unidade caracterizada basicamente pelos mesmos tipos de processos da unidade A9, porém de maior intensidade, pode ser classificada como uma área de transição e localmente instável em termos morfodinâmicos.

- Unidade A11

Esta unidade é morfologicamente muito homogênea. Caracteriza-se por relevo plano, não-dissecado e com declividades entre 1-3%

(classe topográfica 4). Os solos são originados de coberturas detriticas. Apesar de ter sido coletada apenas uma amostra de solo, a semelhança desta com amostras de solos da unidade anterior, aliada às mesmas características de cobertura vegetal, indica o predomínio do mesmo tipo de solo. Por outro lado, a homogeneidade desta área com relação à litologia, geomorfologia e a cobertura vegetal sugere que os solos também sejam mais homogêneos. Devido principalmente às condições topográficas, o processo dominante é o escoamento superficial difuso que favorece a erosão laminar ligeira. Assim esta área foi classificada como estável em termos morfodinâmicos, não apresentando riscos de erosão acelerada.

- Unidade A12

Com relação à morfologia esta unidade é a mais heterogênea. Caracteriza-se por relevo forte ondulado e montanhoso apresentando declividades entre 10-15 e 15-35% (classes topográficas 5, 3, 2 e 6). Na realidade, como foi mencionado anteriormente, existem declividades superiores a 35%. Esta heterogeneidade pode ser explicada pela própria diversidade litológica dos relevos agrupados nesta unidade. Deste modo, os relevos formados por quartzitos e metabasitos (A12b) são em forma de cristas com vertentes praticamente retilíneas, enquanto aqueles formados por granitos, granulitos (A12a) e sienitos (A12f) apresentam vertentes predominantemente convexas com topos mais arredondados. Nos relevos constituídos de granitos existem muitos afloramentos rochosos. Se gundo o Projeto RADAMBRASIL (1983) predominam solos Litólicos eutróficos que, provavelmente em função da diversidade de origem, são bastante heterogêneos com relação às propriedades físico-químicas. A cobertura vegetal, Caatinga fechada, caracteriza-se basicamente por dois estratos: arbóreo e arbustivo, variando de densa, nas áreas de maior densidade de afloramentos rochosos (A12a), a muito densa (A12b). Os processos dominantes são o escoamento superficial difuso que provoca ablação generalizada nas encostas; escoamento concentrado nos vales principais; desagregação e fragmentação das rochas; arenização nos topos; e queda de blocos por gravidade. Devido principalmente às características mor

fológicas e à intensidade dos processos morfogenéticos, esta área é morfodinamicamente instável.

- Unidade A13

Morfologicamente esta unidade é muito semelhante à unidade de A5, sendo relativamente homogênea e diferenciando-se desta com relação aos demais componentes da paisagem. Os solos são originados de metatextitos e têm influência de material de cobertura no desenvolvimento do horizonte superficial; predominam os tipos de solos indicados na legenda do mapa geomorfológico (Apêndice G). São heterogêneos, diferenciando-se principalmente com relação à textura, ao cálcio trocável, à capacidade de troca de cátions e à saturação com sódio trocável. Com relação às condições de superfície, predominam solos moderadamente pedregosos. Quanto à vegetação predominam áreas de Caatinga fechada, não muito densa, caracterizada pelos três estratos: arbóreo, arbustivo e herbáceo. Entretanto, principalmente nas áreas mais dissecadas observam-se manchas de Caatinga aberta caracterizada pelos mesmos estratos de vegetação. Os processos dominantes são o escoamento superficial difuso que favorece a erosão laminar de ligeira a moderada e o escoamento concentrado nos vales principais que provocam também erosão em sulcos (ravinas nas encostas). Com base nessas características, esta área pode ser classificada em termos morfodinâmicos como um meio de transição, sendo localmente instável.

- Unidade A14

Esta unidade é morfologicamente homogênea. Caracteriza-se por relevo plano, não-dissecado, com predominância de declividades entre 1-3% e inferiores a 1% (classe topográfica 4). Os solos são originados de coberturas detríticas; predominam solos extremamente pedregosos do tipo Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico. O número de amostras de solos (2) coletadas nesta unidade é insuficiente para uma avaliação desses solos com relação às propriedades físico-químicas. A cobertura vegetal, Caatinga fechada, é caracterizada basicamente por dois estratos

tos: arbóreo e arbustivo, com grande variedade de espécies. A maior densidade de cobertura vegetal e a maior porcentagem de matéria orgânica foram encontrados nesta área. O processo dominante é o escoamento superficial difuso de intensidade fraca, o que provoca apenas erosão laminar ligeira. Por isso esta unidade foi classificada como morfodinamicamente estável, não apresentando riscos de erosão.

- Unidade B1

A unidade B1 é morfologicamente muito heterogênea. Caracteriza-se por relevo suave ondulado, muito dissecado, onde predominam vales pouco profundos com vertentes curtas, ravinadas e ligeiramente convexas, alternando-se as classes de declividade 1-3 e 3-5%, principalmente, e 5-10% (classe topográfica 1). Os solos são bastante heterogêneos com relação às propriedades físico-químicas, como indica a Tabela 4.6, em função da própria origem (formados por sedimentos aluviais). Os resultados das análises físico-químicas confirmaram os tipos de solos dominantes, indicados para esta unidade pelo Projeto RADAMBRASIL (1983). Esses resultados indicaram também níveis médios ou altos de fósforo assimilável em pelo menos um dos níveis amostrados, destacando-se dos solos das demais unidades onde predominam níveis baixos. Nesta unidade predomina Caatinga aberta, caracterizada pelo estrato arbóreo e herbáceo, este último de baixa densidade. O estrato arbóreo constituído por espécies perenefólias e caducifólias atinge uma densidade de cobertura vegetal em torno de 70% ao longo dos principais canais de drenagem. Os processos dominantes são a acumulação fluvial provocada pelas cheias periódicas e o escoamento concentrado que favorece a erosão linear (canais de drenagem) e em sulcos (ravinas nas encostas). Esta unidade foi considerada uma área morfodinamicamente instável em função das características mencionadas e da intensidade dos processos morfogenéticos. Apesar disto, é uma área favorável à agricultura e pecuária, sendo uma de suas principais limitações os riscos de inundação.

- Unidade B2

Esta unidade apesar de representar uma área predominantemente plana com declividade de 1-3% é morfologicamente heterogênea. Um relevo residual de forma circular com extensão de 1 km², vertentes de formas variadas e ravinadas, pequenas e microdepressões, que formam um microrrelevo, e um nível de dissecação média (classes topográficas 1 e 4), são características que indicam diversidade litológica, pedológica, geomorfológica e de cobertura vegetal. Os solos são originados de metatexitos e têm grande influência de material de cobertura no desenvolvimento do horizonte superficial. Provavelmente o tipo de solo predominante é o Planossolo Solódico eutrófico. A cobertura vegetal, Caatinga aberta, caracterizada pelos três estratos: arbóreo, arbustivo e herbáceo, apresenta densidade variada, porém predominantemente baixa. Os processos dominantes são o escoamento superficial difuso que favorece a erosão laminar moderada e o escoamento concentrado em forma de enxurradas que favorece a erosão linear (canais de drenagem) e em sulcos (ravinas nas encostas). Em função das características mencionadas e da intensidade dos processos morfogenéticos, esta unidade pode ser classificada em termos morfodinâmicos como um meio instável.

Na área de estudo verificou-se uma coincidência entre os limites de paisagem e aqueles geomorfológicos, à medida que foram consideradas não apenas as formas de relevo (morfologia), mas também os materiais em que foram modeladas, além do tipo e da intensidade dos processos morfodinâmicos. Apesar destes três aspectos (formas, materiais e processos) estarem relacionados, como foi indicado anteriormente, duas ou mais unidades morfologicamente semelhantes diferenciam-se com relação à natureza do material (litologia e formações superficiais, incluindo os solos) e à dinâmica, formando diferentes unidades de paisagem e apresentando também diferentes potencialidades e limitações quanto ao uso do solo. Neste sentido, confirma-se a necessidade daqueles três aspectos serem considerados num mapa geomorfológico para fins de planejamento.

Os resultados obtidos indicam também que todas as unidades individualizam-se com relação a pelo menos dois componentes da paisagem como as unidades A4 e A5 que se diferenciam com relação à litologia, e conseqüentemente, com relação à geomorfologia (considerando-se a natureza do material). As demais unidades individualizaram-se com relação, a pelo menos três componentes da paisagem, pois a medida que se individualizaram pelos tipos de solos, conseqüentemente, diferenciaram-se também através da cobertura vegetal e das características geomorfológicas.

4.8 - AVALIAÇÃO DOS DADOS DO MSS-LANDSAT

A Figura 4.5 mostra o mapa de unidades geomorfológicas obtido a partir da análise visual das imagens do MSS-LANDSAT. Para a delimitação destas unidades foram utilizadas basicamente a composição colorida da época seca (09/11/82) com os canais 4, 5 e 7 e as cores azul, verde e vermelho, respectivamente, na escala 1:250.000 (adquirida em forma de imagem, Seção 3.2.1) e as composições coloridas das épocas seca e "chuvosa" (09/11/82 e 04/05/83, respectivamente), obtidas a partir dos dados digitais (CCTs) utilizando as mesmas cores e canais (Figuras 4.6 e 4.7). Neste último caso os canais 4, 5 e 7 foram previamente submetidos à correção radiométrica (item 1 da Seção 3.3.4) e à ampliação linear de contraste (item 2 da Seção 3.3.4).

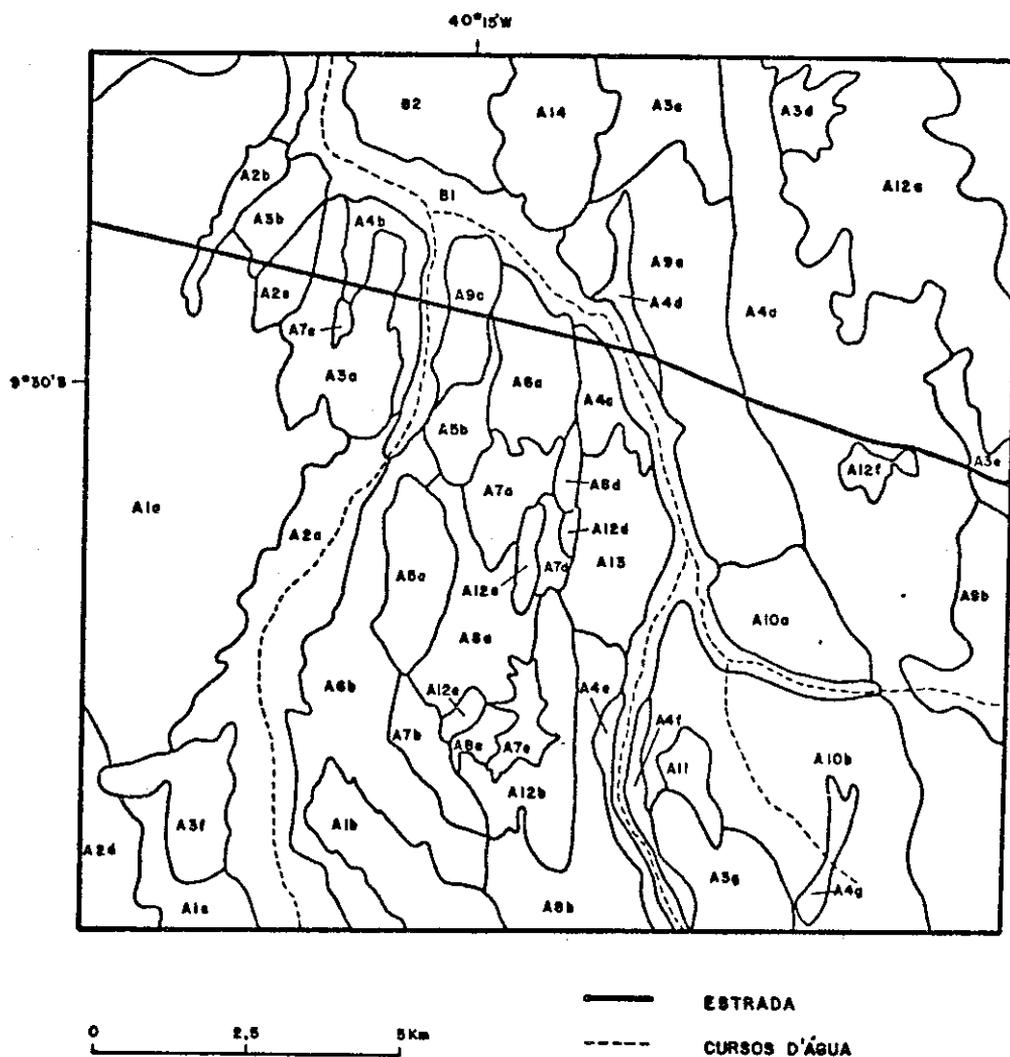


Fig. 4.5 - Mapa de unidades geomorfológicas, obtido a partir da análise visual das imagens do MSS-LANDSAT.

A escala 1:100.000 foi considerada adequada para a análise digital dos dados do MSS-LANDSAT. Entretanto, as ampliações fotográficas dessas imagens para a mesma escala (1:100.000) apresentaram acentuada distorção geométrica e perda de definição dos elementos de textura, o que confirma a constatação de Sausen e Novo (1981) com relação a este último aspecto. Desta forma, foi utilizada a composição colorida na escala 1:250.000, mencionada acima, como "base cartográfica" para a delimitação das unidades geomorfológicas, juntamente com a análise visual das composições coloridas obtidas com os canais realçados (Figuras 4.6 e 4.7), reduzidas para uma escala aproximada (1:250.000).

Segundo Paradella (1983), a composição colorida é um recurso simples e valioso que permite mostrar em uma única imagem variações multiespectrais de alvos sem prejuízo para as relações espaciais (textura) presentes na cena. Além disto, este autor e Sausen e Novo (1981) salientam a vantagem da utilização desse produto pelo simples fato de que o olho humano é mais sensível à variação de cor que à de níveis de cinza. Neste trabalho constatou-se também que as composições coloridas são muito mais adequadas para o método de mapeamento utilizado, uma vez que neste método a extração de informação da imagem é feita de forma integrada.

A análise comparativa entre os mapas de unidades geomorfológicas delimitadas nas fotografias aéreas (Figura 4.4) e imagens do MSS-LANDSAT (Figura 4.5) mostra uma diferença considerável nos contornos dessas unidades. Isto é explicado pelas diferenças nas distorções geométricas apresentadas pelos dois tipos de produtos de sensoriamento remoto, pelas diferenças de escala e de resolução espacial e espectral, além da falta de estereoscopia nas imagens do MSS-LANDSAT contra sua possibilidade nas fotografias aéreas.

Nesse sentido o mapa da Figura 4.4 indica limites mais precisos, obtidos em função de uma resolução espacial maior e da utilização do recurso da estereoscopia. Por outro lado, apesar da não discriminação de alguns contatos particularmente entre as unidades B1 e A4

(A4b, A4c, A4d, A4e e A4f) e entre A8 (A8a, A8b, A8c e A8d) e A12 (A12c, A12d e A12e), as informações espectrais e temporais extraídas das imagens do MSS-LANDSAT, aliadas à utilização da cor, permitiram, em geral, caracterizar melhor as diferenciações existentes dentro e entre as unidades geomorfológicas. Além disto, o fato de todas as unidades geomorfológicas estarem incluídas em uma única imagem (visão sinótica da área de estudo) facilitou muito a análise comparativa entre estas unidades.

A seguir são discutidos mais detalhadamente os resultados (informações espectrais e temporais) obtidos a partir das imagens do MSS-LANDSAT submetidas a técnicas de processamento digital. Os dados referentes à passagem de julho (23/07/83), com ângulo solar mais baixo, foram excluídos desta análise porque não acrescentaram nenhuma informação com relação aos dados referentes às outras passagens (09/11/82 e 04/05/83).

4.8.1 - COMPOSIÇÕES COLORIDAS OBTIDAS A PARTIR DOS CANAIS DO MSS-LANDSAT REALÇADOS POR AMPLIAÇÃO LINEAR DE CONTRASTE (a.l.c)

A aplicação da técnica de realce por ampliação linear de contraste (a.l.c) tem a desvantagem de saturar os baixos valores de níveis de cinza, que correspondem às áreas de baixa reflectância, assim como saturar os altos valores de níveis de cinza, que correspondem às áreas de alta reflectância, causando assim perda de informação. A intensidade deste efeito vai depender das características do histograma da imagem original, assim como dos intervalos de níveis de cinza selecionados na aplicação desta técnica de realce. Neste trabalho, a escolha dos intervalos de níveis de cinza foi feita com o cuidado de minimizar o efeito de saturação. Os intervalos de níveis de cinza, ou seja, os limites inferiores e superiores de níveis de cinza dos canais originais (após correção radiométrica), assim como os intervalos de níveis de cinza selecionados para a aplicação da técnica de realce por a.l.c. dos respectivos canais são apresentados na Tabela 4.7, para os dados das épocas seca e "chuvosa".

TABELA 4.7

INTERVALOS DE NÍVEIS DE CINZA DOS CANAIS ORIGINAIS (APÓS CORREÇÃO RADIOMÉTRICA) E OS RESPECTIVOS INTERVALOS DE NÍVEIS DE CINZA SELECIONADOS PARA A APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE REALCE POR a.l.c.

DATA	CANAL	INTERVALO DOS CANAIS ORIGINAIS	INTERVALOS SELECIONADOS
09/11/82 (época seca)	4	1 - 126	56 - 128
	5	1 - 197	56 - 176
	7	1 - 179	40 - 160
04/05/83 (época "chuvosa")	4	1 - 140	24 - 128
	5	1 - 186	24 - 160
	7	1 - 134	32 - 128

Pela análise da Tabela 4.7 nota-se que para os dados dos canais 4 e 5 (época seca), por exemplo, todas as observações ou "pixels" com níveis de cinza entre 1 e 56 passaram a ter nível de cinza igual a zero, havendo portanto perda de informação (saturação). Entretanto, tanto para estes canais quanto para os demais, a frequência de "pixels" dos níveis de cinza referentes aos segmentos dos intervalos cortados (diferença entre o intervalo original e o selecionado) é baixa, na maior parte dos casos é zero. A única exceção refere-se a alta frequência de "pixels" para o nível de cinza igual a 1, mas neste caso, em função da proximidade entre zero e 1, a perda de informação é mínima, ou seja, não significativa pelo menos ao nível da análise visual.

As Figuras 4.6 e 4.7 mostram as composições coloridas obtidas a partir dos canais 4, 5 e 7, realçados por a.l.c., e as cores azul, verde e vermelho, respectivamente, referentes aos dados do MSS-LANDSAT da época seca (Figura 4.6) e da época "chuvosa" (Figura 4.7).



Fig. 4.6 - Composição colorida obtida com os canais 4, 5 e 7, realçados por a.l.c., com as cores azul, verde e vermelho, respectivamente (época seca).

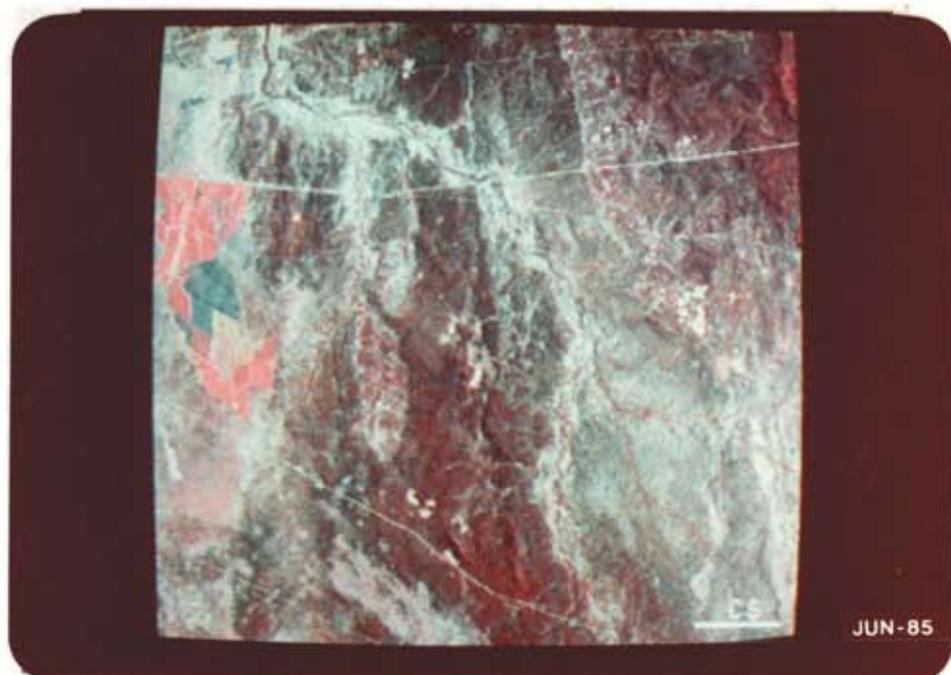


Fig. 4.7 - Composição colorida obtida com os canais 4, 5 e 7, realçados por a.l.c., com as cores azul, verde e vermelho, respectivamente (época "chuvosa").

As áreas escuras (unidades A8 e A14 e grande parte das unidades A3, A6 e A12), particularmente na imagem da Figura 4.6 (época seca), são explicadas muito mais pela alta frequência de "pixels" com nível de cinza igual 1 (em torno de 506 nos três canais, 4, 5 e 7) do que pelo efeito de saturação. Isto pode ser comprovado pela análise das imagens não-realçadas por a.l.c., onde constam as mesmas áreas de baixa reflectância. A baixa reflectância dessas áreas deve-se à elevada densidade de ramos, caules, troncos e cobertura vegetal morta e folhagem aliada a solos extremamente pedregosos, muitas vezes com calhaus vermelho escuro ou negros como foi observado nas áreas onde foram coletadas as amostras de solos 4 (A8d), 49 (A8b) e 61 (unidade A14).

Com relação às áreas de alta reflectância (unidade B1 e parte da unidade A4), praticamente também não houve saturação nos níveis de cinza. A alta reflectância destas áreas de Caatinga aberta ou praticamente de solo exposto deve-se basicamente ao predomínio de solos de tonalidade clara, matiz 10YR com valor e croma de 7/3 bruno muito claro acinzentado a 6/4 bruno amarelado claro (solo seco). Além disso, os afloramentos de diatexitos, muito frequentes na Unidade A4, também apresentam uma coloração clara, rósea a cinza. Assim sendo, em função da semelhança na resposta espectral, os contatos entre as unidades B1 e A4 (A4b, A4c, A4a, A4e e A4f), de maneira geral, não foram discriminados também nas imagens realçadas por a.l.c. (Figuras 4.6 e 4.7).

Algumas áreas de contato entre as unidades A12 e A8 também não foram discriminadas nessas imagens, em função da semelhança na resposta espectral entre elas devida à alta densidade de cobertura vegetal (Caatinga fechada). A maior parte dos relevos agrupados na Unidade A12 foram bem discriminados (mesmo nas imagens sem realce), principalmente na imagem da Figura 4.6, através dos critérios de forma e textura. Ainda com relação a esses relevos, foi constatado que aqueles em forma de crista e com direção preferencial N-S são normalmente bem identificados, enquanto aqueles com topos arredondados ou direção preferencial E-O (a mesma das linhas de varredura) são mais dificilmente identificados. Quanto à direção, o mesmo aspecto foi constatado por

Rabchevsky et alii (1979) com relação à identificação de falhas e lineamentos nas imagens do MSS-LANDSAT. Cabe acrescentar que a delimitação das unidades A12d e A12e, assim como das unidades B1, A4b, A4c, A4d, A4e e A4f (Figura 4.5), foi feita de forma aproximada, com o apoio das fotografias aéreas.

A unidade A7 apresentou uma boa discriminação na imagem da Figura 4.6 (época seca), enquanto as unidades A7b e A7e praticamente não foram discriminadas na imagem da Figura 4.7 (época "chuvosa"). Cabe destacar neste caso a importância de ter sido selecionada uma imagem do final da estação seca como confirmaram os dados climáticos, pois na imagem de julho (com ângulo solar mais baixo), também da época seca, porém correspondente ao meio desta estação, estas unidades (A7b e A7e) também não foram discriminadas.

A Unidade A10 foi bem discriminada na imagem da época "chuvosa" (Figura 4.7) enquanto na imagem da época seca (Figura 4.6) confunde-se com a Unidade A9. Também nas fotografias aéreas (época seca) a separação entre estas duas unidades não é nítida.

A semelhança na resposta espectral entre a unidade A11 e algumas áreas da unidade A10 confirma as mesmas características apresentadas por estas unidades com relação aos solos e à cobertura vegetal diferenciando-se no entanto com relação à litologia e à geomorfologia. Neste sentido, apesar de ser facilmente delimitada, principalmente na imagem da época "chuvosa" não fica caracterizada a individualidade da Unidade A11 com relação à litologia e à geomorfologia.

A heterogeneidade principalmente das unidades A1 e A10 com relação aos solos (de caráter mais ou menos vértico) ficou melhor caracterizada nas imagens realçadas, particularmente naquela da Figura 4.7, do que nas imagens sem realce e nas fotografias aéreas.

Uma das evidências de que os solos das unidades A4 e A5 são do mesmo tipo, Regossolo distrófico e eutrófico de textura arenosa,

É dada pelo vigor da vegetação realçado na imagem da época "chuvosa" (Figura 4.7) através da tonalidade vermelha (representa vegetação verde). Este aspecto foi constatado também durante o segundo trabalho de campo (época seca) onde nas áreas deste tipo de solo a vegetação ainda se apresentava verde, enquanto na maior parte da área de estudo se apresentava praticamente seca. Isto pode ser explicado pelo fato de que o ponto de murchamento nos solos mais argilosos é atingido mais rapidamente do que nos solos mais arenosos, apesar destes, de acordo com Camargo (1971), apresentarem menor capacidade de retenção de água do que aqueles. Por outro lado, a diferença de vigor da vegetação entre as unidades A3f e A3g e as demais identificadas pelo mesmo número (3), e entre as unidades, por exemplo, A8 e A14, realçadas na imagem da época "chuvosa" (Figura 4.7), provavelmente está mais relacionada com as diferenças das variáveis climáticas do que com a diferenciação entre os solos dessas áreas.

As demais unidades apresentaram uma boa discriminação tanto na imagem da época seca como na imagem da época "chuvosa", sendo facilmente identificadas também nas composições coloridas com os canais não realçados.

1) Identificação da Rede de Drenagem

Para avaliar a identificação da rede de drenagem nas imagens do MSS-LANDSAT, foram selecionadas como amostras as unidades indicadas na Tabela 4.8. Nestas unidades foi contado o número de canais de drenagem discriminados através da interpretação visual das fotografias aéreas (Apêndice H) e das imagens do MSS-LANDSAT (Figuras 4.6 e 4.7).

TABELA 4.8

ANÁLISE ESTATÍSTICA DO NÚMERO DE CANAIS DE DRENAGEM IDENTIFICADOS NAS FOTOGRAFIAS AÉREAS (F.A.) E NAS IMAGENS DO MSS-LANDSAT(MSS)

AMOSTRA	(F.A.) Nº CANAIS	(MSS) Nº CANAIS	DIFERENÇA	ORDEM CRESCENTE	SINAL DO RANK
A1b	3	0	+3	+2	+1
A2b	65	13	+52	+3	+2
A3a	57	11	+46	+3	+3
A4g	7	3	+4	+4	+4
A5a	34	19	+15	+15	+5
A6b	25	6	+19	+19	+6
A7a	3	0	+3	+29	+7
A8b	51	15	+36	+33	+8
A9a	70	12	+58	+36	+9
A10a	38	9	+29	+43	+10
A11	3	1	+2	+46	+11
A12b	40	7	+33	+52	+12
A13	60	17	+43	+58	+13
B1*	190	28	+162	+162	+14
				T=	0,0

$T_c 0,05 = 21$ } significativo para os níveis de 1% e 5%.
 $T_c 0,01 = 13$ }

* Parte da unidade

Para verificar se havia significância nas diferenças entre os dados obtidos a partir da interpretação visual desses dois tipos de produtos, aplicou-se a eles uma análise estatística não-paramétrica, através do Teste das Ordens Assinaladas de Wilcoxon (Steel e Torrie, 1981). A opção por este teste, utilizado também por Formaggio et alii (1981), foi devido principalmente ao fato de a amostragem não ter sido aleatória.

O resultado da análise estatística (Tabela 4.8) indicou que há diferença significativa entre os dados obtidos a partir das fotografias aéreas e aqueles obtidos das imagens do MSS-LANDSAT. Os dados indicam também que essa diferença é mais acentuada nas áreas mais drenadas como, por exemplo, a unidade B1 (6 vezes) do que para as áreas menos drenadas como, por exemplo, a unidade A7a (3 vezes).

Isso foi constatado também por Formaggio et alii (1981) que compararam o número de rios de primeira ordem, identificados nas imagens do RBV-LANDSAT (resolução em torno de 30 metros), com aquele identificado em fotografias aéreas pancromáticas na escala 1:60.000, em uma área-teste com outras características (município de São Carlos-SP). Também os resultados obtidos por Nascimento e Nascimento (1977) e por Sausen (1981), respectivamente, nas regiões de Vazante-MG e de Três Marias (MG), baseados na análise da rede de drenagem extraída das imagens do MSS-LANDSAT, foram influenciados principalmente pela imprecisão na identificação e caracterização desses elementos, em particular nas áreas mais drenadas.

Apesar desses resultados, a diferenciação e avaliação do nível de dissecação das unidades geomorfológicas através da análise visual das imagens do MSS-LANDSAT, à exceção da unidade B1 (mais drenada), foi possível através dos padrões de textura fotográfica destas imagens, o que confirma a constatação de Koffler (1976) a partir da análise visual do canal 7. Como foi mencionado anteriormente, Santos e Novo (1977) e Santos et alii (1980) também concluíram que a análise dos padrões de textura nas imagens do canal 7 permite a compartimentação geo

morfológica. Neste sentido, foi verificado que de maneira geral enquanto as áreas planas e não dissecadas (classe topográfica 4) correspondem nas imagens às áreas de textura lisa, as áreas de relevo mais movimentado e mais dissecado (demais classes topográficas) correspondem nas imagens às áreas de textura mais ou menos rugosa.

4.8.2 - REALCE POR DIVISÃO DE CANAIS

A imagem resultante da divisão dos canais do MSS-7/MSS-5 da época "chuvosa", com os valores 150 e -50 para os parâmetros de ganho e "offset", respectivamente, é mostrada na Figura 4.8.

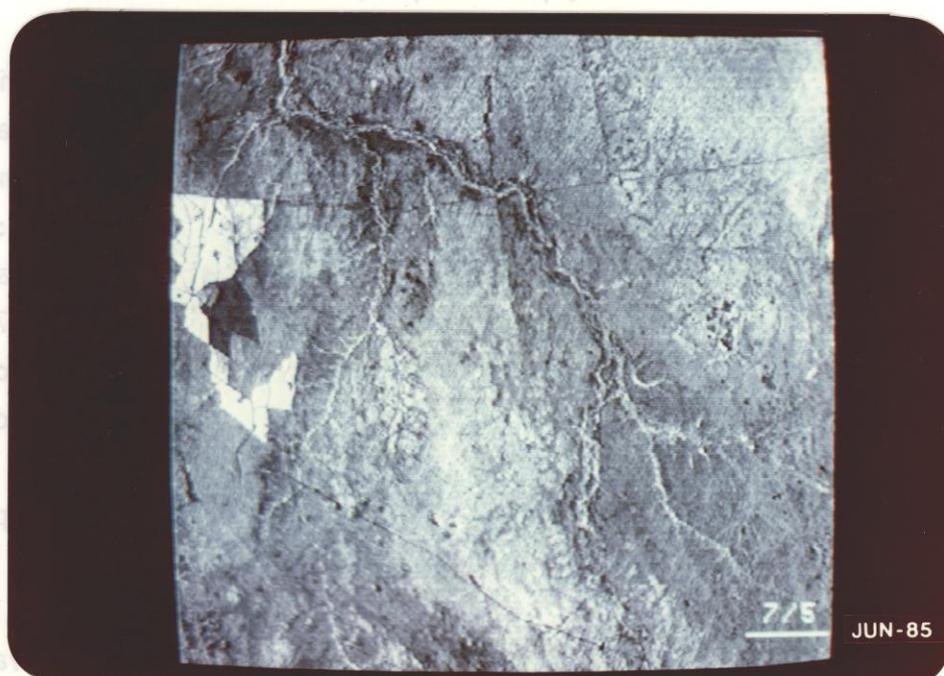


Fig. 4.8 - Imagem resultante da divisão dos canais MSS-7/MSS-5 (passagem da época "chuvosa").

Pela análise da imagem da Figura 4.8 observa-se que foram realçadas as áreas com cobertura vegetal densa e verde, Caatinga fechada (unidades A8 e A12 e parte das unidades A3, A4, A5, A6 e A7), e a área de cultura de cana-de-açúcar da unidade A1, que correspondem às áreas mais claras na imagem. Foram destacadas também as áreas de solo

exposto ou solo preparado, representadas nas imagens pelas tonalidades mais escuras. Por outro lado, os demais tipos de cobertura vegetal não foram discriminados; assim, os níveis de cinza intermediários na imagem realçada por divisão de canais correspondem tanto a áreas de Caatinga fechada onde a vegetação não se apresenta verde, como a áreas de Caatinga aberta com diferentes densidade do estrato herbáceo, a qual também não se apresenta verde.

Com relação à rede de drenagem, verifica-se na imagem da Figura 4.8 que foram realçados os canais principais e, de maneira geral, aqueles realçados também nas imagens analisadas anteriormente (Figuras 4.6 e 4.7). Assim, não foi acrescentada nenhuma informação, ao contrário, em algumas áreas de Caatinga fechada e densa, particularmente nas unidades A8 e A12, o desempenho da imagem realçada por divisão de canais foi inferior àquele das imagens realçadas por a.l.c., tanto da época "chuvosa" como da época seca.

4.8.3 - TRANSFORMAÇÃO POR COMPONENTES PRINCIPAIS

1) Dados MSS-LANDSAT da época "chuvosa"

As Tabelas 4.9 a 4.12 e as Figuras 4.9 a, b, c e d e 4.10 a, b, c e d indicam os resultados da transformação por componentes principais dos dados MSS-LANDSAT da época "chuvosa". Todos os valores de níveis de cinza ou amostras (262.144 "pixels") para as quatro variáveis originais, canais 4, 5, 6 e 7 foram, após correção radiométrica, transformados por componentes principais.

TABELA 4.9

MATRIZ DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DOS CANAIS
ORIGINAIS (ÉPOCA "CHUVOSA")

CANAL	4	5	6	7
4	1,000	0,909	0,813	0,669
5	0,909	1,000	0,787	0,635
6	0,813	0,787	1,000	0,933
7	0,669	0,635	0,933	1,000

TABELA 4.10

MATRIZ DE COVARIÂNCIA-VARIÂNCIA DOS CANAIS
ORIGINAIS (ÉPOCA "CHUVOSA")

CANAL	4	5	6	7
4	134.733	216.876	154.401	92.125
5	216.876	422.299	264.450	154.757
6	154.401	264.450	267.622	181.182
7	92.125	154.757	181.182	140.806

TABELA 4.11

MATRIZ DOS AUTOVETORES OU COMPONENTES PRINCIPAIS QUE INDICA AS RESPECTIVAS CONTRIBUIÇÕES DOS CANAIS ORIGINAIS (ÉPOCA "CHUVOSA")

CP \ CANAL	4	5	6	7
1ª	-0,375	-0,677	-0,533	-0,343
2ª	-0,193	-0,594	0,510	0,592
3ª	0,880	-0,432	0,050	-0,189
4ª	0,216	0,054	-0,674	0,705

TABELA 4.12

AUTOVALORES OU VARIÂNCIA DOS NOVOS CANAIS, PORCENTAGEM DA VARIÂNCIA TOTAL E PORCENTAGEM DA VARIÂNCIA ACUMULADA (ÉPOCA "CHUVOSA")

COMPONENTES PRINCIPAIS	AUTOVALORES	% DA VARIÂNCIA TOTAL	% ACUMULADA
1ª CP	829,027	85,8	85,8
2ª CP	111,524	11,6	97,4
3ª CP	17,330	1,8	99,2
4ª CP	7,578	0,8	100,0
TOTAL	965,459	100,0	

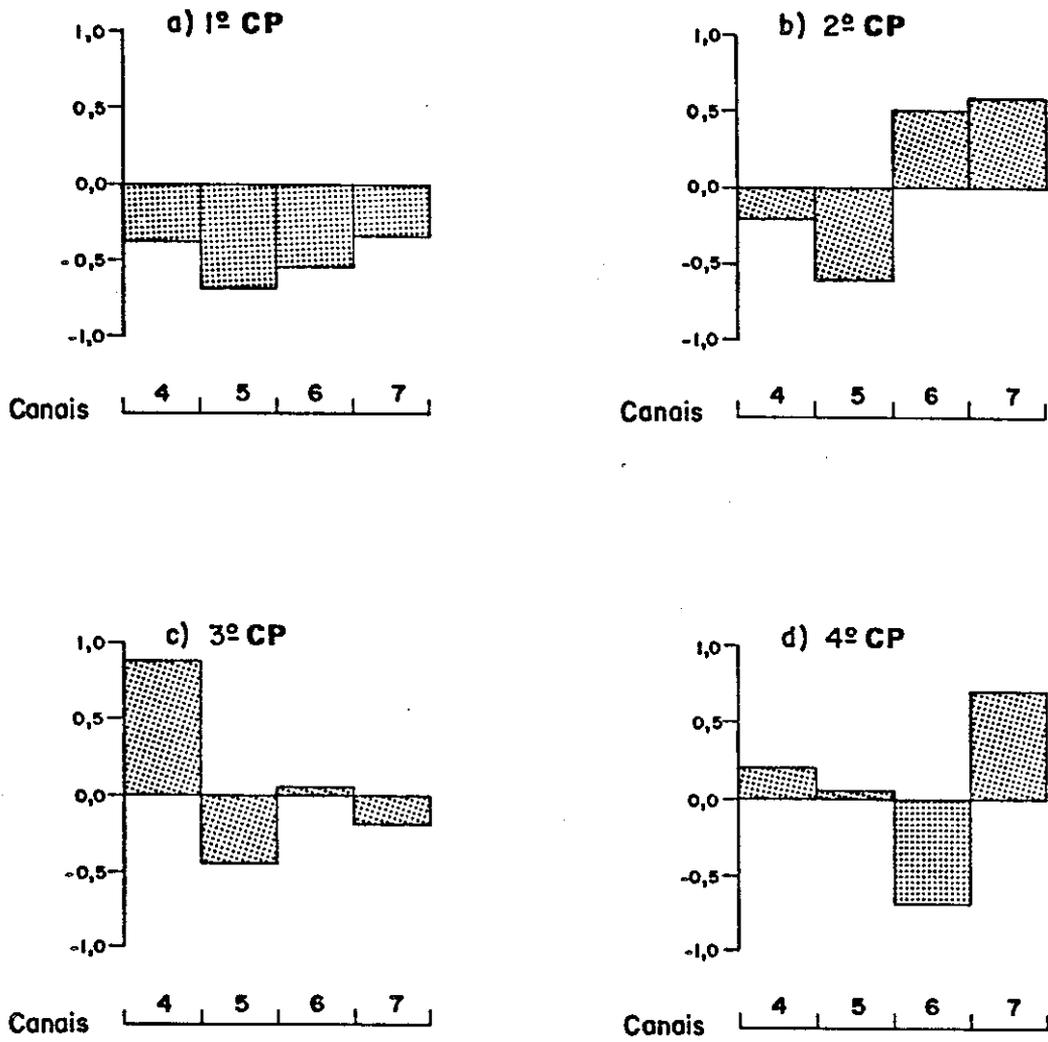


Fig. 4.9 a, b, c e d - Contribuições dos canais originais para a primeira, segunda, terceira e quarta componentes principais (época "chuvosa").

a) 1ª CP



b) 2ª CP

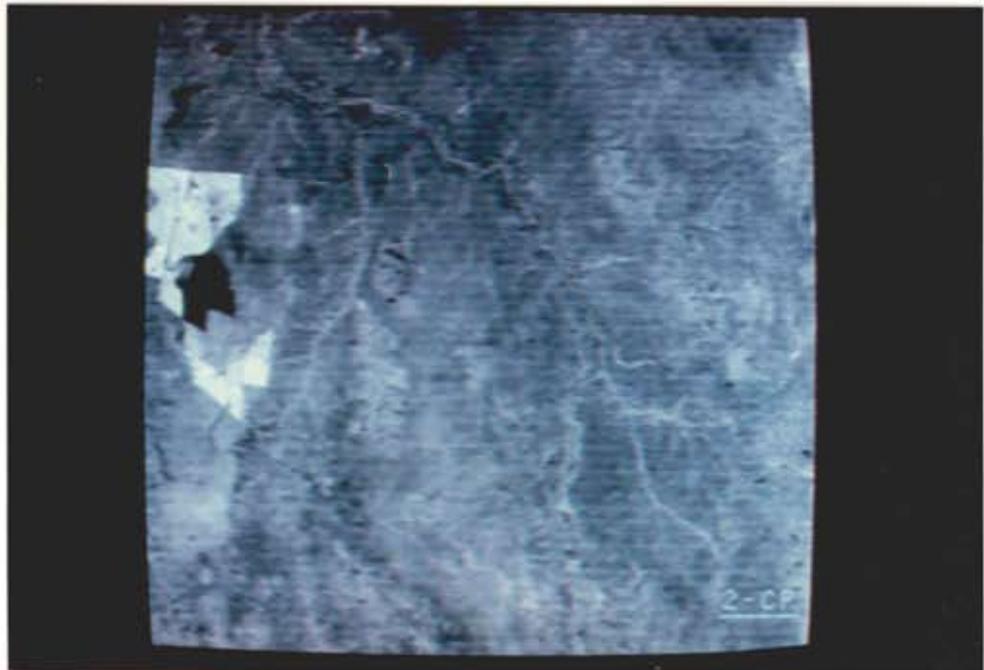


Fig. 4.10 a, b, c e d - Imagens da primeira, segunda, terceira e quarta componentes principais, realçadas por a.l.c. (época "chuvosa").

(continua)

c) 3ª CP



d) 4ª CP



Fig. 4.10 - Conclusão.

A Tabela 4.9 indica os coeficientes de correlação entre as variáveis ou os canais originais. Os valores desta tabela indicam que os canais 4 e 5 e os canais 6 e 7 são altamente correlacionados entre si, enquanto os canais 5 e 7 e 4 e 7 são os menos correlacionados. Isto é explicado pelas diferenças nas respostas espectrais da cobertura vegetal entre os canais do visível (4 e 5) e os canais do infravermelho próximo (6 e 7). Se a imagem da época "chuvosa" fosse mais representativa deste período, provavelmente a correlação entre os dois tipos de canais, do visível e do infravermelho, seria ainda mais baixa e inversa, como ocorreu com os dados de Paradella (1983).

A Tabela 4.10 mostra a matriz de covariância dos canais originais. Ao longo da diagonal principal desta matriz, tem-se a variância estimada de cada canal. A maior variância é apresentada pelo canal 5, com valor bem acima da variância dos demais canais, enquanto o canal 4 é o de menor variância, seguido de perto pelo canal 7. A variância total ou quantidade total de informação nos quatro canais originais é igual a 965.459, sendo obtida pela soma das variâncias da diagonal principal da matriz de covariância da Tabela 4.10.

A partir da matriz de covariância dos canais originais (Tabela 4.10), foram calculados os autovetores e autovalores. De acordo com Davis (1973), os componentes principais nada mais são do que os autovetores de uma matriz de covariância-variância. Os autovetores mostram de que forma as variáveis originais foram transformadas em novas variáveis, o que indica a contribuição de cada variável original na composição de cada nova variável ou componente principal. Por outro lado, os autovalores indicam a variância (assumida como quantidade de informação) dos novos canais ou de novas variáveis ou componentes principais.

Na Tabela 4.11 são mostrados os autovetores, ou componentes principais, através das respectivas contribuições dos canais originais. As contribuições dos canais originais variam de 1 a -1, e quanto mais próximo de zero, menor é a contribuição.

A Tabela 4.12 mostra os autovalores, ou a variância dos novos canais ou das componentes principais, a porcentagem de informação (variância) e a porcentagem de informação acumulada.

Para facilitar a análise dos canais transformados ou das componentes principais, foi feita a representação gráfica dos autovetores com base em Davis (1973) e em Donker e Mulder (1977). A representação gráfica dos autovetores ou das componentes principais, ilustrando a contribuição de cada canal original é mostrada nas Figuras 4.9 a, b, c e d. As Figuras 4.10 a, b, c e d, mostram, respectivamente, as imagens do primeiro, segundo, terceiro e quarto autovetor ou componentes principais, realçadas por a.l.c. para aumentar o contraste destas imagens.

Antes da análise de cada componente principal, cabe destacar que a soma dos autovalores ou variância total dos novos canais é igual à variância total dos canais originais, como confirma o dado da Tabela 4.12. Isto significa, como salientou também Paradella (1983), que a informação original não foi alterada, apenas redistribuída nos novos canais transformados, porém de forma não-correlacionada, isto é, sem redundância entre os novos canais.

Através da Tabela 4.11 e da Figura 4.9 a, as quais ilustram de que forma os quatro canais originais foram transformados na primeira componente principal, observa-se que a primeira componente principal tem contribuições negativas dos quatro canais originais. A maior contribuição é dada pelo canal 5, o qual, como indica a Tabela 4.10, é de maior variância, enquanto os canais 7 e 4, que são também os de menor variância (Tabela 4.10), apresentam as menores contribuições. A primeira componente principal, que neste caso concentra 85.8% da variância total (Tabela 4.12), configura-se normalmente como uma imagem de albedo (Figura 4.10a), ou, de acordo com Donker e Meijerink (1977), é uma componente de intensidade de brilho que representa a variação na iluminação da cena imageada. Esta componente de intensidade de brilho é resultante da soma das contribuições (valores de brilho) dos quatro ca

nais originais, uma vez que estas contribuições têm-se revelado, no caso das variáveis originais serem canais do MSS-LANDSAT, todas positivas ou todas negativas, e não somente positivas como afirmam Câmara Neto et alii (1980).

A análise da imagem da primeira componente principal, realçada por a.l.c. (Figura 4.10a), não permite concluir que houve um realce significativo do relevo, o que discorda dos resultados obtidos por Donker e Meijerink (1977), Beer et alii (1978) e Lodwick (1981). Ao contrário, a alta intensidade de brilho nessa imagem acabou suavizando sua textura e as formas de relevo.

A segunda componente principal, como indicam a Tabela 4.11 e a Figura 4.9b, tem contribuições positivas dos canais 6 e 7 e contribuições negativas dos canais 4 e 5. A contribuição do canal 4 é pouco significativa porque é próxima de zero. Segundo Donker e Meijerink (1977), esta componente assim como as demais realçam os contrastes espectrais da cena imageada e não estão relacionadas à intensidade de brilho como no caso da primeira componente principal. Isto se dá justamente pela combinação de contribuições positivas e negativas ao mesmo tempo (direções contrárias). Ainda de acordo com Paradella (1983), a segunda componente principal denota basicamente o contraste espectral intrínseco dos canais originais do MSS-LANDSAT, entre as bandas do visível (4 e 5) e as do infravermelho próximo (6 e 7). A semelhança entre a imagem da segunda componente principal (Figura 4.10b) e aquela resultante da razão de canais 7/5 (Figura 4.8) justifica a interpretação desta componente como o resultado da razão entre os canais originais do infravermelho próximo (6 e 7) e os canais do visível (4 e 5). Isto, de certa forma, concorda com Lodwick (1981) de que a segunda componente principal realça as diferenças de tipo e densidade da cobertura vegetal. A porcentagem de informação acumulada da primeira componente principal com a segunda é superior a 97% (Tabela 4.12) o que confirma neste caso a observação de Câmara Neto et alii (1980).

A terceira componente principal, como mostram a Tabela 4.11 e a Figura 4.9c, tem contribuições positivas dos canais 4 e 6 e negativas dos canais 5 e 7. A maior contribuição é dada pelo canal 4, sendo as contribuições dos canais 6 e 7 pouco significativas, próximas de zero. Esta componente é basicamente o resultado da razão entre os canais 4 e 5, altamente correlacionados, o que explica o baixo contraste apresentado pela imagem desta componente (Figura 4.10 c), acrescentando muito pouca informação (1.8% da variância total como indica a Tabela 4.12).

A quarta componente principal, como indicam a Tabela 4.11 e a Figura 4.9d, tem contribuições positivas dos canais 4, 5 e 7 e negativa do canal 6, sendo a do canal 5 pouco significativa porque é próxima de zero. Esta componente é basicamente o resultado da razão entre os canais 7 e 6, também altamente correlacionados. Como pode ser observado pela imagem da quarta componente principal, Figura 4.10d, não foi acrescentada nenhuma informação, basicamente são ruído.

2) Dados MSS-LANDSAT da época seca

As Tabelas 4.13 a 4.16 e as Figuras 4.11 a, b, c e d mostram os resultados da transformação por componentes principais dos dados do MSS-LANDSAT da época seca.

TABELA 4.13

MATRIZ DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DOS CANAIS
ORIGINAIS (ÉPOCA SECA)

CANAL	4	5	6	7
4	1,000	0,942	0,911	0,899
5	0,942	1,000	0,940	0,930
6	0,911	0,940	1,000	0,955
7	0,899	0,930	0,955	1,000

TABELA 4.14

MATRIZ DE COVARIÂNCIA-VARIÂNCIA DOS CANAIS
ORIGINAIS (ÉPOCA SECA)

CANAL	4	5	6	7
4	56,325	114,728	116,174	112,414
5	114,728	263,422	259,292	251,367
6	116,174	259,292	289,023	270,483
7	112,414	251,367	270,483	277,522

TABELA 4.15

MATRIZ DOS AUTOVETORES OU DAS COMPONENTES PRINCIPAIS QUE INDICA AS RESPECTIVAS CONTRIBUIÇÕES DOS CANAIS ORIGINAIS (ÉPOCA SECA)

CP \ CANAL	4	5	6	7
1º	-0,243	-0,544	-0,575	-0,561
2º	0,287	0,735	-0,287	-0,544
3º	-0,029	-0,152	0,765	-0,625
4º	0,926	-0,375	-0,038	0,002

TABELA 4.16

AUTOVALORES OU VARIÂNCIA DOS NOVOS CANAIS, PORCENTAGEM DE VARIÂNCIA TOTAL E PORCENTAGEM DA VARIÂNCIA ACUMULADA (ÉPOCA SECA)

COMPONENTES PRINCIPAIS	AUTOVALORES	% DA VARIÂNCIA TOTAL	% ACUMULADA
1º CP	847,489	95,6	95,6
2º CP	21,080	2,4	98,0
3º CP	12,428	1,4	99,4
4º CP	5,295	0,6	100,0
TOTAL	886,292	100,0	

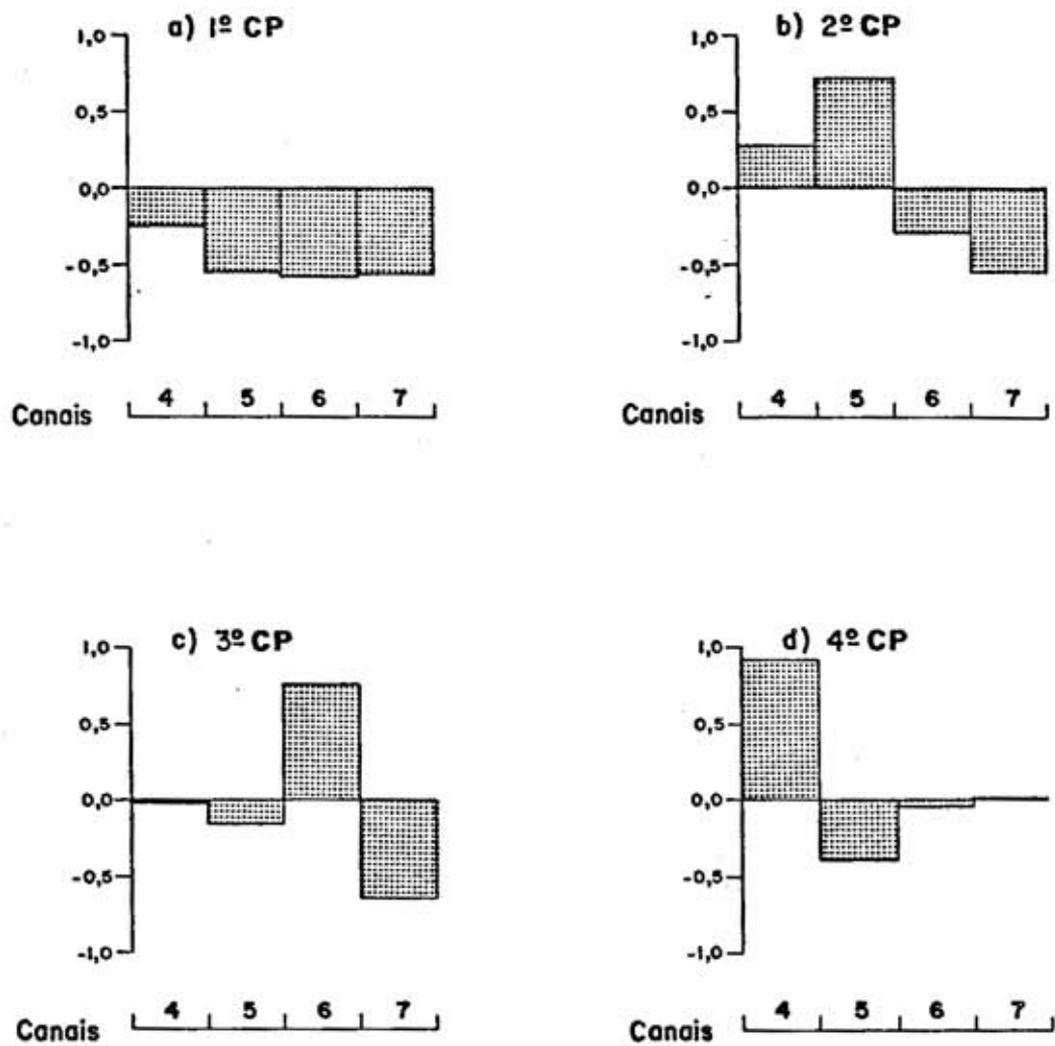


Fig. 4.11 a, b, c e d - Contribuições dos canais originais para a primeira, segunda, terceira e quarta componentes principais (época seca).

A Tabela 4.13 mostra os coeficientes de correlação entre as variáveis ou canais originais. Os valores desta tabela indicam que todos os canais originais são altamente correlacionados entre si, o que pode ser explicado pela pouca influência da cobertura vegetal perene fó lia.

A Tabela 4.14 apresenta a matriz de covariância dos ca nais originais. As variâncias dos canais 5, 6 e 7 são equivalentes, sen do a do canal 6 maior, enquanto a variância do canal 4 é bem inferior à que la dos demais canais.

Na Tabela 4.15 são apresentados os autovetores ou comp o nentes principais através das respectivas contribuições dos canais ori ginais.

Na Tabela 4.16 são mostrados os autovalores ou a variân cia dos novos canais ou componentes principais, a porcentagem de infor mação (variância) e a porcentagem de informação acumulada.

A representação gráfica dos autovetores ou das componen tes principais, que ilustra a contribuição de cada canal original, é apresentada na Figura 4.11 a, b, c e d.

Pela análise da Tabela 4.15 e da Figura 4.11a, observa -se, como ocorreu com os dados da época "chuvosa", que a primeira com po nente principal tem contribuições negativas dos quatro canais origi nais. A maior contribuição é dada pelo canal 6 (embora esta não seja significativamente maior do que a dada pelos canais 5 e 7) que é o ca nal de maior variância (Tabela 4.14), enquanto a menor contribuição é a do canal 4 que é também o de menor variância. Pela análise da imagem da primeira componente principal nota-se que houve um pequeno realce do relevo, pelo menos ligeiramente superior ao da imagem da época "chu vosa", o que talvez possa ser explicado pela menor influência da cober tura vegetal. Na verdade mesmo nos dados originais ou naqueles realça dos por a.l.c. da época seca a textura e as formas de relevo apresen

tam uma melhor discriminação. A primeira componente principal concentra 95,6% da variância total (Tabela 4.16), bem superior à variância dos dados da época "chuvosa" (Tabela 4.14), o que mostra que quanto maior é a correlação entre os canais originais, maior será a quantidade de informação concentrada na primeira componente principal.

A segunda componente principal tem contribuições positivas dos canais 4 e 5 e negativas dos canais 6 e 7, como pode ser verificado pela análise da Tabela 4.15 e da Figura 4.11b. Como ocorreu com os dados da época "chuvosa", a segunda componente principal também pode ser interpretada como o resultado da divisão entre os canais do visível (4 e 5) e aqueles do infravermelho próximo (6 e 7), sendo neste caso a razão inversa. Assim sendo, enquanto na imagem da segunda componente principal referente à época "chuvosa" as áreas claras representam a vegetação densa e verde (Figura 4.10b), na imagem da segunda componente referente à época seca as áreas escuras representam este tipo de cobertura vegetal. Na imagem desta componente, com apenas 2,4% da variância total, destacam-se a drenagem principal através da cobertura vegetal perene-folia e a cultura de cana-de-açúcar.

A imagem da terceira componente principal não acrescenta nenhuma informação, além de ruídos, destacando-se um grande ruído "em linha" existente nos dados originais do canal 6; como pode ser observado pela Tabela 4.15 e na Figura 4.11c, a maior contribuição para esta componente é dada pelo canal 6.

Finalmente quanto à quarta componente principal, apesar de ter apenas 0,6% da variância total, sua imagem acrescenta mais informação visual do que aquela da terceira componente principal. Por este motivo, para os dados da época seca, as composições coloridas com as componentes principais foram feitas utilizando a primeira, segunda e quarta componentes principais, realçadas por a.l.c.

3) Composições coloridas com as componentes principais realçadas por a.l.c.

As composições coloridas com as componentes principais têm sido feitas de maneira empírica, combinando os novos canais com as cores básicas do espectro, ou suas complementares, como mostram os trabalhos de Câmara Neto et alii (1980), Paradella (1983) entre outros. Neste trabalho diferentes combinações de cores com as três primeiras e as duas primeiras componentes principais realçadas por a.l.c. (no caso dos dados da época seca, a primeira, segunda e quarta componentes principais), foram testadas. A seguir são indicadas as composições coloridas que apresentaram melhor desempenho.

- Composições coloridas com as componentes principais realçadas por a.l.c. (época "chuvosa"):
 - a) - 1ª CP com a cor vermelha,
 - 2ª CP com a cor verde,
 - 3ª CP com a cor azul
- Composições coloridas com as componentes principais realçadas por a.l.c. (época seca):
 - a) - 1ª CP com a cor vermelha,
 - 2ª CP com a cor verde,
 - 4ª CP com a cor azul;
 - b) - 1ª CP com a cor verde,
 - 2ª CP com a cor vermelha,
 - 4ª CP com a cor azul.

Como mostram os resultados obtidos por Donker e Mulder (1977), por Câmara Neto et alii (1980) e pelas combinações indicadas acima, entre outras que foram testadas, a cor vermelha na primeira componente principal, de maneira geral, e independente das cores utilizadas nas demais componentes, apresenta bons resultados. Talvez uma das razões para isto esteja relacionada com a maior contribuição do verme

lho na primeira componente principal, considerando-se os dois canais do infravermelho próximo (6 e 7) e o canal vermelho do visível (5).

As Figuras 4.12 e 4.13 mostram, respectivamente, as composições coloridas com as componentes principais realçadas por a.l.c indicadas no item a) para a época "chuvosa" e no item b) para a época seca.

O realce numa composição colorida com as componentes principais, como as mostradas nas Figuras 4.12 e 4.13, é proporcionado justamente pela forma como a informação dos dados originais, mantida a variância total, é redistribuída nos novos canais ou componentes principais. Deste modo, a contribuição da segunda componente principal é decisiva, pois como foi destacado anteriormente é esta componente a que apresenta o maior contraste (o contraste espectral intrínseco dos canais originais, entre aqueles do visível e os do infravermelho próximos).

Pela análise das Figuras 4.12 e 4.13, verifica-se que nas composições coloridas com as componentes principais foram realçadas as diferenças espectrais entre os alvos e não as suas características de textura. Foram destacados aspectos superficiais da paisagem como solos, cobertura vegetal e uso do solo agrícola, mas não a rugosidade ou as formas da superfície, ou seja, o relevo. Isto principalmente na imagem da época "chuvosa" (Figura 4.13), onde a falta de textura é quase total e não possibilita discriminar, por exemplo, os relevos agrupados na unidade A12. Por outro lado, unidades espectralmente semelhantes porém biofisicamente diferentes como, por exemplo, as unidades A8 e A12 apresentam-se nestas imagens não ou parcialmente discriminadas. Deste modo, os resultados obtidos para a área-teste não confirmam a constatação feita por Beer et alii (1978) de que numa composição colorida com a primeira e segunda componentes principais (e a terceira ou a quarta componente) são realçados o relevo e a cobertura vegetal.

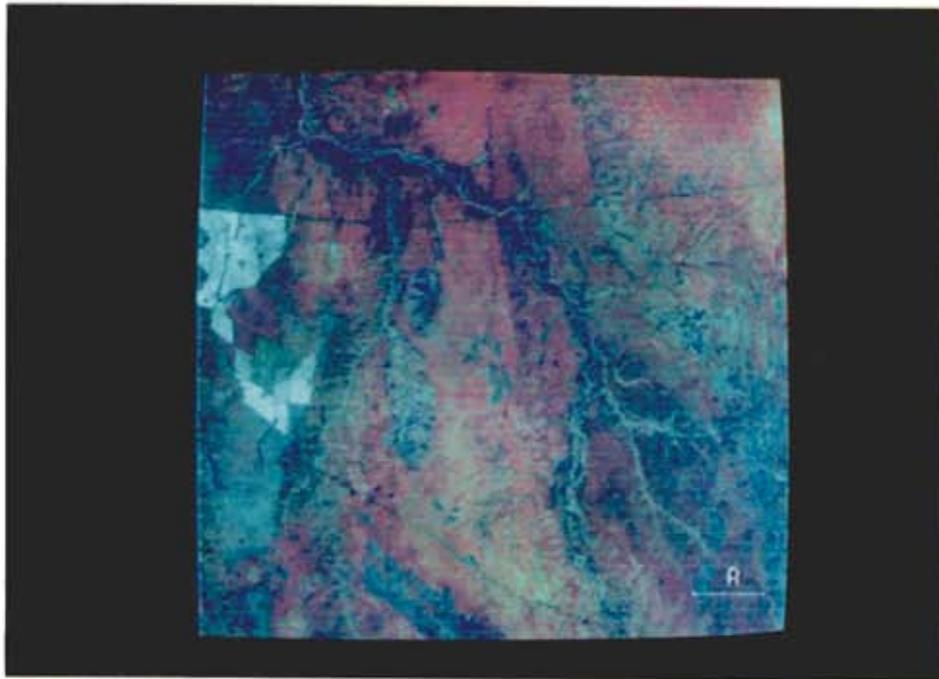


Fig. 4.12 - Composição colorida obtida com a primeira, segunda e terceira componentes principais, realçadas por a.l.c., com as cores vermelha, verde e azul, respectivamente (época "chuvosa").

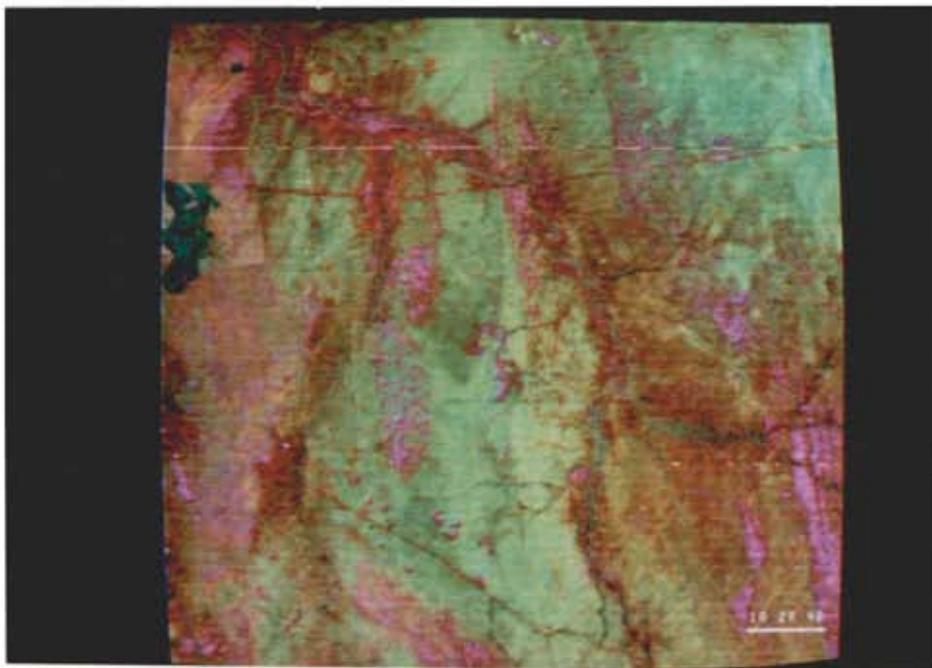


Fig. 4.13 - Composição colorida obtida com a primeira, segunda e quarta componentes principais, realçadas por a.l.c., com as cores verde, vermelha e azul, respectivamente (época seca).

Nas imagens da segunda, terceira e quarta componentes principais observou-se a perda das características espaciais (textura) como normalmente ocorre com este tipo de imagens e aquelas resultantes da divisão entre canais. Este aspecto permite concluir que somente haverá realce de relevo numa composição colorida com as componentes principais, se isto ocorrer na imagem da primeira componente principal, o que não se verificou neste estudo como foi salientado anteriormente.

A Tabela 4.17 apresenta, resumidamente, uma avaliação qualitativa da discriminação das unidades geomorfológicas através das técnicas de realce utilizadas. Nesta tabela estão incluídas as composições coloridas com os canais não-realçados e as fotografias aéreas pancromáticas.

Pela análise da Tabela 4.17 observa-se que o desempenho apresentado pelas composições coloridas com os canais originais realçados por a.l.c. (Figuras 4.6 e 4.7) foi superior àquele apresentado pelas composições coloridas com os canais transformados por componentes principais e realçados por a.l.c. (Figuras 4.12 e 4.13). Isto é válido principalmente com relação aos dados da época "chuvosa". Estes resultados confirmam aqueles obtidos por Paradella (1983) na discriminação de unidades litológicas, em uma área com características semelhantes e contígua à área de estudo. Cabe acrescentar, que apesar da unidade A11 ser bem discriminada na imagem da época "chuvosa" (Figura 4.7) a sua individualidade ficou melhor caracterizada na composição colorida com as componentes principais realçadas por a.l.c., da época seca (Figura 4.13). Finalmente, apesar da imagem da época "chuvosa" não ser muito representativa deste período, como indicaram os parâmetros climáticos, os resultados apresentados na Tabela 4.17 confirmam a importância da análise temporal.

TABELA 4.17

AVILIAÇÃO QUALITATIVA DA DISCRIMINAÇÃO DAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS POR PRODUTO DE SENSORIAMENTO REMOTO

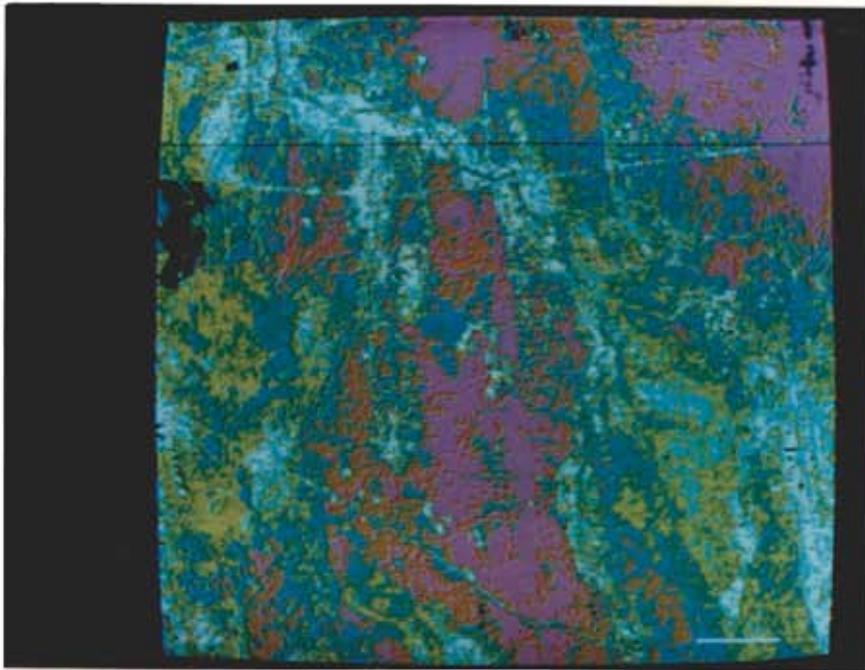
UNIDADE	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	B1	B2
PRODUTO	B	B	B	B	B	B	B	B	B	F	R	B	R	B	B	B
Fotografias aéreas pancromáticas na escala 1:70.000.	F	F	B	P	B	R	B	P	B	N	F	P	R	B	P	B
CC com os canais: 4 (azul), 5 (verde) e 7 (vermelho), da época seca.	F	F	B	P	B	R	P	P	B	F	R	P	R	B	P	B
CC com os canais: 4 (azul), 5(verde) e 7 (vermelho), da época "chuvosa".	B	B	B	P	B	B	P	P	B	F	R	P	R	B	P	B
CC com os canais: 4(azul),5(ver de) e 7 (vermelho), realçados por a.l.c.,da época seca.	B	B	B	P	B	B	P	P	B	F	R	P	B	B	P	B
CC com os canais: 4(azul),5(ver de) e 7 (vermelho), realçados por a.l.c.,da época "chuvosa".	B	B	B	P	B	B	P	P	B	B	B	P	B	B	P	B
CC com as componentes principais: 1ª CP (verde), 2ªCP (vermelho) e 4ªCP (azul), realçadas por a.l.c., da época seca.	B	P	P	P	B	P	B	P	R	R	B	P	R	R	P	R
CC com as componentes principais: 1ª CP (vermelho), 2ª CP (verde) e 3ª CP (azul), realçadas por a.l.c., da época "chuvosa".	B	R	P	P	B	P	N	P	P	R	F	N	N	B	P	F

CC = composição colorida; B = discriminação boa; R = discriminação regular; F = discriminação fraca; P = parcialmente discriminada e N = não discriminada.

4.8.4 - CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS DO MSS-LANDSAT ATRAVÉS DO ALGORITMO K-MÉDIAS

As Figuras 4.14 e 4.15 apresentam, respectivamente, os resultados da aplicação do algoritmo de classificação não-supervisionada nas imagens digitais das épocas seca e "chuvosa". Para a aplicação deste algoritmo aos dados digitais referentes aos dois períodos, foram utilizados os mesmos valores para os parâmetros iniciais fornecidos pelo analista (item 5 da Seção 3.3.4), e a aquisição dos níveis de cinza foi feita pela amostragem 8x8 linhas por colunas. Entretanto, como mostram as Figuras 4.14 e 4.15, o número e a configuração das classes espectrais resultantes dos dados da época seca (seis classes) são diferentes daquelas resultantes dos dados da época "chuvosa" (oito classes). Neste caso, os diferentes resultados podem ser explicados pela própria diferença existente entre a variância total (assumida como quantidade de informação) dos dados da época seca (Tabela 4.16) e aquela dos dados da época "chuvosa" (Tabela 4.12). Mesmo a análise visual mostra que as unidades geomorfológicas são espectralmente mais homogêneas nas imagens da época seca (menor variância) do que nas imagens da época "chuvosa" (maior variância).

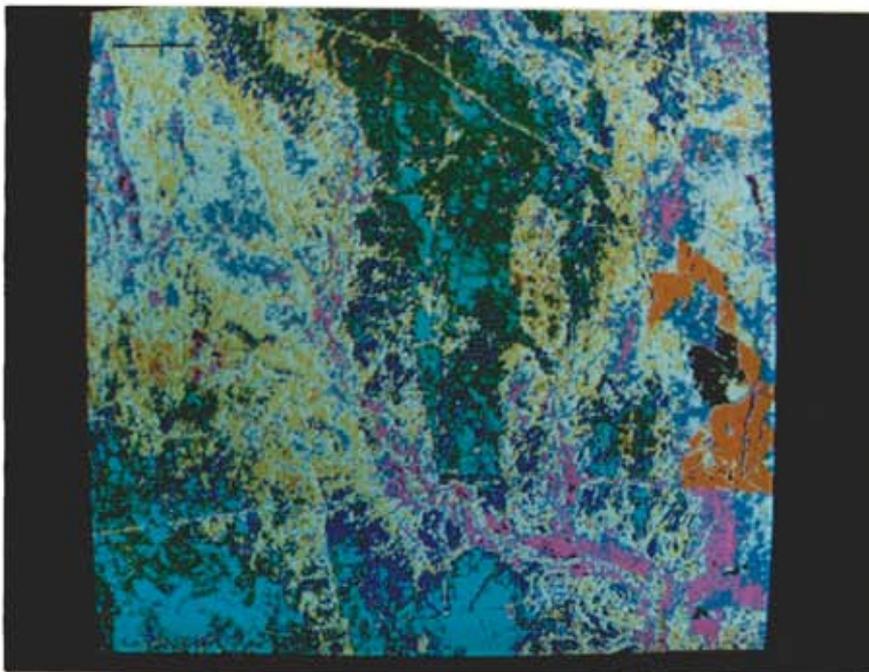
Os resultados apresentados nas Figuras 4.14 e 4.15 mostram que as dezesseis unidades geomorfológicas, discriminadas através da análise visual conjunta das imagens referentes aos dois períodos considerados, não foram discriminadas espectralmente através da aplicação do algoritmo de classificação não-supervisionada K-médias. Assim, unidades espectralmente semelhantes como é o caso, por exemplo, das unidades A8, A12 e A14, mas que se diferenciam com relação aos diferentes componentes da paisagem, foram agrupadas na mesma classe (lilás) na Figura 4.14 referente aos dados da época seca. Além disto, principalmente com relação aos dados da época "chuvosa" (Figura 4.15), com exceção da unidade A14 caracterizada basicamente por uma única classe espectral (azul claro), as demais unidades são caracterizadas por duas ou mais classes espectrais.



CLASSES ESPECTRAIS

- lilás
- branco
- amarelo
- laranja
- azul claro
- verde
- preto = não-classificado

Fig. 4.14 - Classes espectrais resultantes da aplicação do algoritmo K-médias (época seca).



CLASSES ESPECTRAIS

- lilás
- branco
- amarelo
- laranja
- azul claro
- azul
- azul escuro
- verde
- preto = não-classificado

Fig. 4.15 - Classes espectrais resultantes da aplicação do algoritmo K-médias (época "chuvosa").

O mal desempenho do algoritmo de classificação não-supervisionada K-médias na discriminação de unidades geomorfológicas evidencia dois aspectos principais: em primeiro lugar a limitação deste tipo de algoritmo que não leva em consideração a distribuição espacial dos dados amostrais, a classificação é feita ponto a ponto ("pixel" a "pixel"). Em segundo lugar a limitação da utilização de um único tipo de parâmetro, o atributo espectral, para a classificação de unidades geomorfológicas. Estas limitações são pertinentes também a outros tipos de algoritmos, incluindo aqueles de classificação supervisionada. Por outro lado, apesar destas limitações, os resultados obtidos por Kozlovic e Howarth (1977) e por Robinove (1979) indicam que a utilização dessas técnicas para dados digitais do MSS-LANDSAT pode ser viável. Kozlovic e Howarth (1977), por exemplo, destacaram que a área estudada por eles é adequada para este tipo de procedimento, pois as unidades de paisagem individualizaram-se principalmente pelas propriedades espectrais (pelos padrões de tonalidade).

Nesse sentido, pode-se concluir que o desempenho dos algoritmos de classificação aplicados a imagens digitais do MSS-LANDSAT vai depender das características espectrais dos alvos imageados numa cena (homogeneidade espectral) e da representatividade deste atributo na discriminação de tais alvos.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos na elaboração deste trabalho permitiu chegar às seguintes conclusões.

O sistema de amostragem utilizado para os índices morfológicos mostrou-se adequado com relação aos parâmetros altitude absoluta e amplitude altimétrica mas não com relação aos parâmetros declividade e, principalmente, extensão de vertentes, o que confirma as dificuldades existentes para o estabelecimento de critérios para medidas de parâmetros morfológicos. Apesar disto, estes parâmetros, particularmente a declividade, foram de grande utilidade para a definição e caracterização das unidades geomorfológicas, sendo considerado positivo o desempenho do algoritmo de classificação não-supervisionada K-médias na definição de classes topográficas.

Em função das variações no tipo e na profundidade dos solos da área de estudo, a amostragem de solos entre 40 e 60 cm de profundidade não foi considerada adequada. Este aspecto, aliado ao número insuficiente de amostras e à sua falta de representatividade para determinadas unidades, impediu uma melhor caracterização e avaliação da individualidade e homogeneidade interna das unidades geomorfológicas com relação aos solos.

Apesar da falta de informações mais detalhadas sobre litologia, solos, cobertura vegetal e processos morfogenéticos, particularmente para algumas unidades, conclui-se que de maneira geral os limites das unidades de paisagem da área de estudo, identificadas a partir dos padrões fotográficos, correspondem aos limites litológicos e principalmente aos limites geomorfológicos, pedológicos e de cobertura vegetal, verificando-se uma coincidência ou superposição entre estes limites.

Com relação à geomorfologia essa conclusão é válida à medida em que foram consideradas não apenas as formas de relevo (morfologia), mas também a natureza do material (litologia e solos) e a morfodinâmica.

As unidades geomorfológicas da área de estudo individualizaram-se com relação a pelo menos dois componentes da paisagem.

A heterogeneidade apresentada pela maior parte das unidades geomorfológicas com relação aos diferentes componentes da paisagem está muito mais relacionada com as características (complexidade) da área de estudo do que com o método de mapeamento utilizado.

A escala 1:100.000 foi considerada adequada para o processamento de imagens digitais do MSS-LANDSAT. Entretanto, as ampliações fotográficas dessas imagens para a mesma escala (1:100.000) apresentaram acentuada distorção geométrica e perda da definição dos elementos de textura.

Dentre as imagens do MSS-LANDSAT utilizadas neste trabalho, o melhor desempenho foi apresentado pelas composições coloridas obtidas com os canais realçados por ampliação linear de contraste, reduzidas para escalas equivalentes a 1:250.000. A análise visual conjunta dessas imagens, referentes aos dois períodos: seco e "chuvoso", permitiu discriminar com facilidade, à exceção de alguns contatos entre as unidades A4 e B1 e entre as unidades A8 e A12, todas as unidades geomorfológicas delimitadas a partir das fotografias aéreas pancromáticas na escala 1:70.000.

A heterogeneidade interna e a diferenciação existente entre as unidades geomorfológicas ficaram melhor caracterizadas nessas imagens obtidas com os canais realçados por a.l.c. do que nas imagens sem realce e nas fotografias aéreas.

A análise visual dessas imagens possibilitou avaliar a textura topográfica e a densidade de cobertura vegetal, respectivamente, através dos critérios de textura fotográfica e tonalidade, permitindo assim inferir a dinâmica das unidades geomorfológicas.

Em função da resolução das imagens do MSS-LANDSAT e das características da área de estudo, houve diferença significativa entre o número de canais de drenagem identificados nas fotografias aéreas e aquele identificado nas composições coloridas com os canais realçados por a.l.c. A perda de informação com relação ao número de canais de drenagem foi maior nas áreas mais drenadas.

A análise visual da imagem resultante da divisão dos canais 7/5 da época "chuvosa" não permitiu acrescentar nenhuma informação com relação ao número de rios identificados nas demais imagens do MSS-LANDSAT, com ou sem realce, utilizadas neste trabalho.

O desempenho apresentado pelas composições coloridas com os canais transformados por componentes principais e realçados por a.l.c. foi, em geral, inferior àquele apresentado pelas composições coloridas com os canais originais realçados por a.l.c., ficando clara a opção por este último tipo de composição se considerada também a simplicidade de processamento que envolve menor tempo e custo computacional. Tanto a análise da imagem da primeira componente, realçada por a.l.c. como aquela das composições coloridas com as componentes principais realçadas por a.l.c. não mostraram realce do relevo.

Para a área de estudo, não houve correspondência entre as unidades geomorfológicas delimitadas a partir da análise visual das fotografias aéreas e das imagens do MSS-LANDSAT e as classes espectrais resultantes da aplicação do algoritmo de classificação não-supervisionada K-médias aos dados digitais.

A utilização de dados do MSS-LANDSAT, principalmente das composições coloridas com os canais realçados por a.l.c., através da análise visual mostrou-se viável para o mapeamento de unidades geomorfológicas para fins de planejamento regional, na escala 1:100.000, ou em escalas compatíveis. O método de mapeamento utilizado mostrou-se adequado para a exploração desse tipo de imagens. Entretanto, a análise conjunta de parâmetros quantitativos, a interpretação visual das fotografias aéreas e o suporte dos dados de campo foram essenciais para os resultados obtidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMS, M.J.; KAHLE, A.B.; PALLUCONI, F.D.; SCHIELDGE, J.P. Geologic mapping using thermal images. *Remote Sensing of Environment*, 16 (1):13-33, Aug., 1984.
- AB'SABER, A.N. *Problemas do mapeamento geomorfológico no Brasil*. São Paulo, USP. IGEOG., 1969. (Série Geomorfologia, 6).
- ACKERSON, V.B.; FISH, E.B. An evaluation of landscape units. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 46(3):347-358, Mar., 1980.
- ALMEIDA FILHO, R.; VITORELLO, I. *Enhancement of digital images through band ratio techniques for geological applications*. São José dos Campos, INPE, Dec., 1982. (INPE-2604-PRE/250).
- BARBOSA, G.V. Cartografia geomorfológica utilizada pelo Projeto RADAM. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27., Aracaju, 1973, *Anais*. Aracaju, SBG, 1973, v. 1, p. 427-433.
- BARBOSA, G.V.; FRANCO, E.M.S.; MOREIRA, M.M.M.A. Mapas geomorfológicos elaborados a partir do sensor Radar. *Notícia Geomorfológica*, 17(13):137-152, jun., 1977.
- BAUMGRATZ DONÉ, S.S. Mapas geomorfológicos e suas legendas. Uma contribuição para estudos analíticos. *Notícia Geomorfológica*, 21(41): 85-110, jun., 1981.
- BEER, J.S.; SIJMONS, K.; WEINREICH, H. Intensity and colour coding of relief and ground cover on PC transformed LANDSAT data. *ITC Journal*, (2):347-352, 1978.
- BERTRAND, G. *Paisagem e geografia física geral*. Esboço metodológico. São Paulo, USP. IGEOG., 1971. (Série Ciências da Terra, 13).
- BRANDÃO, A.M. de P.M. Aplicação do sistema de classificação climática de C.II. thornthwaite a partir de estações selecionadas dos estados da Paraíba e Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia*, 39(2): 147-174, abr./jun., 1977.

- CAMARA NETO, G.; ARAUJO, E.O.; MASCARENHAS, N.D.A.; SOUZA, R.C.M.de.
Realce visual de imagens de recursos naturais: aplicações em geologia. São José dos Campos, INPE, dez., 1980. (INPE-1952-RPE/267).
- CAMARGO, A.P. de. *Balanço hídrico no Estado de São Paulo.* 3. ed. Campinas, Instituto Agrônômico, set., 1971. (Boletim nº 16).
- CHRISTIAN, C.S.; STEWART, G.A. *Methodology of integrated survey in aerial survey and integrated studies.* Paris, UNESCO, 1968. p. 233-280.
- CHRISTOFOLETTI, A. As tendências atuais da geomorfologia no Brasil. *Notícia Geomorfológica*, 17(33):35-91, jun., 1977.
- *Geomorfologia.* 2. ed., São Paulo, EDGARD BLUCHER Ltda., 1980.
- CLAASEN, D.B. VAN.R.; ROSS, G.A. LANDSAT for resource evaluation and management in the Alberta Foothills. In: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 7., Winnipeg, Manitoba, 1981. *Proceedings.* Ottawa, Canada. Canadian Aeronautics and Space Institute, 1981, p. 247-263.
- COLWELL, J.E. Grass canopy bidirectional spectral reflectance. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 9., Ann Arbor, MI, 1974, *Proceedings.* Ann Arbor, MI, ERIM, 1974, p. 1061-1085.
- COOK, A. Integrated resource survey as an aid to soil survey in a tropical flood plain environment. In: TOWNSHEND, J.R.G., ed. *Terrain analysis and remote sensing*, London, George Allen & UNWIN, 1981. cap. 9, p. 184-203.
- COOKE, R.U. Applied geomorphological studies in deserts: a review of examples. In: HAILS, J.R., ed. *Applied geomorphology: a perspective of the contribution of geomorphology studies and environmental management.* Amsterdam, ELSEVIER SCIENTIFIC PUBLISHING COMPANY, 1977. cap. 6, p. 183-225.
- COOKE, R.U.; DOORNKAMP, J.C. *Geomorphology in environmental management.* Oxford, Claredon Press, 1974.

- DAVIS, J.C. *Statistics and data analysis in geology*. New York, John Wiley, 1973. 550 p.
- DEMEK, J. *Manual of detailed geomorphological mapping*. Praga, Czechoslovak, Academy of Sciences, 1972.
- DENT, D.; YOUNG, A. *Soil survey and land evaluation*. London, George Allen & UNWIN, 1981.
- DONKER, N.H.W.; MEIJERINK, A.M.J. Digital processing of LANDSAT images to produce a maximum impression of terrain ruggedness. *ITC Journal*, (4):25-31, 1977.
- DONKER, N.H.W.; MULDER, N.J. Analysis of MSS digital imagery with the aid of principal component transform. *ITC Journal*, (3):434-466, 1977.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (EMBRAPA/SNLCS). *Levantamento exploratório-reconhecimento de solos da margem direita do Rio São Francisco, Estado da Bahia*. Recife, 1977/9. 2V. (Boletim Técnico, 52).
- EVANS, I.S. General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics. In: CHORLEY, R.J., ed. *Spatial Analysis in Geomorphology*, New York, Harpers & Row, 1972. cap. 2, p. 17-90.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). Survey of the São Francisco River Basin Brazil; soil resources and land classification for irrigation. Rome, 1966. v. 1/2, Part. 1. (FAO/UNDP/SF:22/BRA).
- FORMAGGIO, A.R.; EPIPHANIO, J.C.N.; VALERIO FILHO, M. *Análise quantitativa da drenagem obtida através de fotografias aéreas e imagens do RBV/LANDSAT*. São José dos Campos, maio, 1981. (INPE-2075-RPE/310).
- GERRARD, A.J. *Soils and landforms. An integration of geomorphology and pedology*. London, George Allen & UNWIN, 1981.
- GIMBARZEVSK, P. ERTS-1 imagery in biophysical studies. In: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 2., Ottawa, 1974. *Proceedings*. Ottawa, Campebell, 1974, v. 2, p. 392-407.

- GRAETZ, R.D.; GENTLE, M.R. The relationships between reflectance in the LANDSAT wavebands and the composition of an australian semi-arid shrub rangeland. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 48(11):1721-1730, Nov. 1982.
- HARTIGAN, J.A. *Clustering algorithms*. New York, J. Wiley, 1975.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). *Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, 1981. v. 1/2. (Monografia 5).
- JOURNAUX, A. Les cartes de l'environnement et de sa dynamique. Applications à l'aménagement. *Travaux de L'Institut de Géographie de Reims* (45-46):57-70, 1981.
- KOFFLER, N.F. *Utilização de imagens aerofotográficas e orbitais no padrão de drenagem em solos originados do arenito Bauru*. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, 1976. (INPE-898-TPT-1029).
- KOZLOVIC, N.J.; HOWARTH, P.J. Biophysical mapping in northwestern Ontario from aircraft and satellite remote sensing data. In: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 4., Quebec, 1977, *Proceedings*. Ottawa, Canada, Canadian Aeronautics and Space Institute, 1977, p. 27-33.
- LEMOS, R.C.; SANTOS, R.D. dos. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 2. ed., Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1982.
- LEPSCH, I.F., coord. *Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de Terras no sistema de capacidade de uso*. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. 49 aproximação.
- LODWICK, G.D. Topographic mapping using LANDSAT data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 15., Ann Arbor, MI, 11-15, may, 1981, *Proceedings*. Ann Arbor, MI, ERIM, 1981, v. 2, p. 527-534.

- LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. Erodibilidade de solos paulistas. *Boletim Técnico do Instituto Agronômico de Campinas*, (27), 1975, 12 p.
- MABBUTT, J.A. Review of concepts of land classification. IN: STEWART, G.A., ed. *Land evaluation*, Melbourne, Macmillan, 1968, p. 11-28.
- MAXWELL, E.L. Multivariate system analysis of multispectral imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 42(9):1173-1186, Sept., 1976.
- MERCHANT, J.W. Utilization of spatial complexity in computer classified LANDSAT MSS data for multi-factoral thematic mapping. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 15., Ann Arbor, MI, 11-15 may, 1981, *Proceedings*. Ann Arbor, MI, ERIM, 1981, v. 2, p. 905-914.
- MITCHELL, C.W. Reconnaissance land resource surveys in arid and semi-arid lands. In: TOWNSHEND, J.R.G., ed. *Terrain analysis and remote sensing*, London, George Allen & UNWIN, 1981. cap. 8, p. 169-183.
- MITCHELL, C.W.; HOWARD, J.A.; MAINGUET, M.M. Soil degradation mapping from LANDSAT. In: North Africa and the Middle East. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, THEMATIC CONFERENCE: REMOTE SENSING OF ARID AND SEMI-ARID LANDS, 1., Cairo Egypt, 19-25 Jan., 1982, *Proceedings*. Ann Arbor, MI, ERIM, 1982. v. 2, p. 899-908.
- 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 - MG*. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, 1977. (INPE-1157-TPT/1072).
- NOVO, E.M.L.M. *Avaliação dos efeitos da variação sazonal do ângulo de elevação solar e azimute sobre processos de filtragens digital e classificação temática do relevo*. São José dos Campos, INPE, 1983. (INPE-2858-RPE/440).

- 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).
- OLLIER, C.D. Terrain classifications methods, applications and principles. In: HAILS, J.R., ed. *Applied geomorphology: a perspective of the contribution of geomorphology studies and environmental management*. Amsterdam, ELSEVIER SCIENTIFIC PUBLISHING COMPANY, 1977. cap. 8, p. 277-316.
- PARADELLA, W.R. *Discriminação de unidades litológicas no baixo Vale do Curaçá (Bahia) através de realces por processamentos digital de dados MSS-LANDSAT-3*. Tese de Doutorado, São Paulo, Inst. Geoc., 1983.
- PENTEADO, M.M. *Fundamentos de geomorfologia*. 3. ed. Rio de Janeiro, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1983.
- PINTO, S.A.F. *Utilização de técnicas de sensoriamento remoto para a caracterização de erosão do solo no SW do Estado de São Paulo*. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, abr., 1983. (INPE-2694-TDL/128).
- PROJETO RADAMBRASIL. *Folhas SC.24/25 Aracajú/Recife, geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da Terra*. Rio de Janeiro, 1983. 856 p. 7 mapas (Levantamento de Recursos Naturais, 30).
- QUEIROZ NETO, J.P. Les problemes de l'erosion acceleree dans L'Etat de Sao Paulo, Bresil. Separata da *Gêo-ECO-TROP.*, 2:205-220, 1978.
- RABCHEVSKY, G.A.; BOGLI, U.P.; VALDES, J. LANDSAT geologic reconnaissance of the Washington, D.C. Area Westward to the Appalachians. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 45(5):611-621, May, 1979.
- RESENDE, M.; REZENDE, S.B. Levantamento de solos: uma estratificação de ambientes. *Informe Agropecuário*, 9(105):3-25, set., 1983.

- RIBEIRO, E.A.; Ii, F.A.M.; MOREIRA, J.C.; DUTRA, L.V. *Manual de usuá-
rio dos sistemas de tratamento de imagens digitais*. LTDI - INPE/
CNPq. São José dos Campos, 1982. 158p.
- RICHARDS, K.S. General problems in morphometry. In: GOUDIE, A.
Geomorphological techniques, London, George Allen & UNWIN, 1981.
Part 2, p. 26-30.
- RINGROSE, S.M.; LARGE, P. The comparative value of LANDSAT print and
digital data and radar imagery for ecological land classification
in the humid tropics. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 9(1):
45-60, July, 1983.
- ROBINOVE, C.J. Integrated terrain mapping with digital LANDSAT
images in Queensland, Australia. *U.S. Geological Survey
Professional Paper*, nº 1102, 1979, 29p.
- The logical of multispectral classification and mapping of
land. *Remote Sensing of Environment*, 11(3):231-244, July, 1981.
- SALOMÉ, A.I.; DORSSER, H.J.VAN. Examples of 1:50.000 scale
Geomorphological Maps of Part of the Ardennes. *Zeitschrift fur
Geomorphologie*, 26(4):481-489, Dez., 1982.
- SANTOS, A.P.; NOVO, E.M.L. de M. *Uso de dados do LANDSAT-1 na implan-
tação, controle e acompanhamento de projetos agropecuários no
Sudeste da Amazônia Legal*. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remo-
to e Aplicações, São José dos Campos, INPE, jan., 1977.
(INPE-1044-TPT/056).
- SANTOS, A.P.; NOVO, E.M.L. de M.; DUARTE, V. *Exemplo na aplicação de
dados do sistema LANDSAT, no estudo das relações entre compartimen-
tação topográfica e qualidade de pastagens no município de Parago-
minas (PA)*. São José dos Campos, INPE, jun., 1980. (INPE-1756-
RPE/145).
- SAUSEN, T.M. *Estudo da dinâmica do Alto Rio São Francisco e Reserva
tório de Três Marias, através de imagens MSS/LANDSAT*. Tese de Mes-
trado em Sensoriamento Remoto e Aplicações, São José dos Campos,
INPE, out., 1981. (INPE-2249-TDL/066).

- SAUSEN, T.M.; NOVO, E.M.L. de M. *Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geomorfologia*. São José dos Campos, INPE, ago., 1981. (INPE-2209-MD/007).
- SAUSEN, T.M.; AQUINO, L.C.S.de. *Mapeamento geomorfológico na área programa do Careiro - PDRI/AM através de técnicas de Sensoriamento Remoto*. São José dos Campos, INPE, ago., 1984. (INPE-3237-RTR/060).
- SCHOWENGERDT, R.A. *Techniques for image processing and classification in remote sensing*. New York, ACADEMIC, 1983.
- SHIH, E.H.H.; SCHOWENGERDT, R.A. Classification of arid geomorphic surface using LANDSAT spectral and textural features. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 49(3):337-347, Mar., 1983.
- SOTCHAVA, V.B. *O estudo de geossistemas*. São Paulo, USP. IGEOG., 1977. (Série Métodos em Questão, 16).
- SOUZA, J.D. de; FERNANDES FILHO, L.; GUIMARÃES, L.T.; LOPES, L.N. *Projeto Colômbia*, Salvador, DNPM/CPRM, v. 1, 1979.
- SPEIGHT, J.G. Landform pattern description from aerial photographs. *Photogrammetria*, 32:161-182, 1977.
- STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. *Principles and procedures of statistics: a biometrical approach*. 2. ed., New York, MacGraw-Hill, 1981.
- SWAIN, P.H. Fundamentals of pattern recognition in remote sensing. In: SWAIN, P.H.; DAVIS, S.M. *Remote sensing: the quantitative approach*. New York, McGraw-Hill, 1978. cap. 3, p. 136-187.
- TARIFA, J.R. Estudo preliminar das possibilidades agrícolas da Região de Presidente Prudente, segundo o balanço hídrico de Thornthwaite (1948-1955). *Boletim Geográfico*, 29(217):34-54, jul/ago., 1970.
- TOWNSHEND, J.R.G. Image analysis and interpretation for land resources survey. In: TOWNSHEND, J.R.G., ed. *Terrain Analysis and remote sensing*, London, George Allen & UNWIN, 1981a. cap. 4, p. 59-108.

- TOWNSHEND, J.R.G. Regionalisation of Terrain and Remotely Sensed Data. In: TOWNSHEND, J.R.G., ed. *Terrain analysis and remote sensing*, London, George Allen & UNWING, 1981b. cap. 5, p. 109-132.
- TRICART, J. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro, IBGE-SUPREN, 1977. 91 p. (Recursos Naturais e Meio Ambiente, 1).
- TRICART, J.; CAILLEUX, A. Le problème de la classification des faits géomorphologiques. *Annales de Géographie*, 45(349):162-186, 1956.
- TRICART, J.; KILIAN, J. *L'éco-géographie et l'aménagement du milieu naturel*. Paris, FRANÇOIS MASPERO, 1979.
- TROPPIAIR, H. Estudo comparativo de mapeamentos geomorfológicos. *Notícia Geomorfológica*, 10(20):3-11, dez., 1970.
- VALÉRIO FILHO, M.; HIGA, N.T.; CARVALHO, V.C. *Avaliação das imagens orbitais (LANDSAT-1) como base para levantamento de solos*. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, 1976. (INPE-912-TPT/030).
- VERSTAPPEN, H. Th. Geomorphology and terrain analysis of Saba and St Eustatius (Netherlands Antilles). *ITC Journal*, (4):675-682, 1977a.
- *Remote sensing in geomorphology*. Amsterdam, ELSEVIER SCIENTIFIC PUBLISHING COMPANY, 1977b.
- WATSON, E.K. Applications of 35 mm aerial photography to ecological land survey. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 9(1):31-44, July, 1983.
- WOLDAI, T. Geomorphology and land use of the Jiangnan plain and surroundings, Hubei Province, China, from LANDSAT Imagery. *ITC Journal*, (4):519-534, 1979.
- ZUIDAM, R.A.van. Considerations on Systematic Medium-Scale Geomorphological Mapping. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 26(4): 473-480, Dez., 1982.

APÉNDICE A

INDICES MORFOMÉTRICOS

TABELA A.1

Nº DA AMOSTRA	ALT. ABS. (m)	AMPL. ALT. (m)	EXT. VERT. (m)	DECLIV. (%)	Nº DA AMOSTRA	ALT. ABS. (m)	AMPL. ALT. (m)	EXT. VERT. (m)	DECLIV. (%)
1.1	372	14	1.125	1,11	3.1	376	6	500	1,43
1.2	374	11	625	3,33	3.2	382	7	1.125	2,50
1.3	376	11	425	5,00	3.3	383	1	1.000	0,33
1.4	379	5	1.125	1,33	3.4	383	3	1.125	1,33
1.5	376	6	1.000	0,69	3.5	380	10	875	1,48
1.6	370	5	775	2,00	3.6	379	9	750	1,14
1.7	370	5	1.000	1,67	3.7	379	9	1.100	1,82
1.8	365	5	450	1,00	3.8	370	5	825	5,00
1.9	370	10	875	1,33	3.9	373	8	750	2,22
1.10	371	6	700	1,67	3.10	370	5	1.000	1,33
1.11	380	10	1.000	1,54	3.11	375	10	800	1,54
1.12	381	11	750	1,43	3.12	380	6	825	1,43
1.13	387	12	1.075	1,60	3.13	383	8	525	2,00
1.14	390	15	675	2,50	3.14	380	5	1.000	2,50
1.15	390	10	1.000	1,66	3.15	390	10	1.000	1,60
1.16	390	10	1.125	1,43	3.16	400	5	1.000	1,43
1.17	396	11	875	1,90	3.17	400	5	1.000	0,80
1.18	400	15	875	2,61	3.18	405	10	750	4,00
1.19	401	16	625	2,22	3.19	426	31	500	5,20
1.20	425	30	1.000	3,13	3.20	410	15	875	2,67
1.21	435	25	1.000	3,53	3.21	420	15	500	5,00
1.22	440	15	1.000	3,16	3.22	430	20	700	2,67
1.23	520	85	550	12,73	3.23	485	65	625	11,30
1.24	562	112	900	13,18	3.24	491	66	500	13,14
1.25	591	126	750	14,06	3.25	425	115	875	12,35
1.26	480	30	750	4,17	3.26	564	124	625	20,73
1.27	598	138	425	18,22	3.27	555	90	1.000	8,95
2.1	372	7	525	2,50	4.1	382	7	750	5,00
2.2	375	5	500	5,00	4.2	385	5	1.000	0,50
2.3	383	13	875	2,67	4.3	385	3	1.000	0,38
2.4	380	5	1.000	2,00	4.4	385	10	875	0,91
2.5	375	5	625	1,82	4.5	381	6	500	2,86
2.6	370	5	1.000	0,80	4.6	380	1	950	0,40
2.7	375	5	1.125	0,87	4.7	380	15	925	2,67
2.8	370	10	750	1,67	4.8	370	8	750	2,86
2.9	370	10	675	2,86	4.9	380	16	500	7,50
2.10	373	8	625	1,82	4.10	400	25	700	3,33
2.11	370	3	375	1,54	4.11	393	18	1.250	1,62
2.12	370	3	450	1,54	4.12	375	1	750	1,54
2.13	375	5	750	1,82	4.13	385	7	600	0,57
2.14	380	5	625	2,86	4.14	386	1	850	0,57
2.15	390	15	1.075	1,82	4.15	390	5	1.000	1,67
2.16	395	15	1.000	3,75	4.16	400	5	1.050	1,80
2.17	395	15	875	2,50	4.17	401	1	800	0,20
2.18	395	10	625	2,22	4.18	405	10	825	1,54
2.19	446	51	875	6,80	4.19	405	10	500	4,44
2.20	420	15	875	4,00	4.20	405	15	875	2,67
2.21	436	26	825	3,45	4.21	410	10	1.300	2,40
2.22	504	84	625	16,80	4.22	433	23	750	3,00
2.23	525	80	750	12,73	4.23	510	100	1.175	12,67
2.24	568	128	750	18,52	4.24	435	20	500	6,00
2.25	577	142	750	12,94	4.25	523	83	875	12,50
2.26	502	62	575	12,94	4.26	540	90	625	16,00
2.27	592	117	575	21,00	4.27	580	105	700	7,20

(continua)

Tabela A.1 - Continuação

Nº DA AMOSTRA	ALT. ABS. (m)	AMPL. ALT. (m)	EXT. VERT. (m)	DECLIV. (%)	Nº DA AMOSTRA	ALT. ABS. (m)	AMPL. ALT. (m)	EXT. VERT. (m)	DECLIV. (%)
5.1	385	5	750	2,00	7.1	392	2	825	0,20
5.2	385	5	1.000	1,67	7.2	392	2	825	0,42
5.3	387	1	675	0,38	7.3	391	1	875	0,17
5.4	385	5	1.050	1,25	7.4	390	3	1.375	0,75
5.5	383	2	1.250	0,50	7.5	385	6	1.000	2,86
5.6	382	7	750	1,18	7.6	383	13	475	5,00
5.7	380	10	1.375	5,00	7.7	381	11	400	4,00
5.8	371	8	425	4,00	7.8	380	10	750	5,00
5.9	380	17	750	4,00	7.9	375	10	625	1,18
5.10	502	122	500	31,38	7.10	373	8	525	3,33
5.11	401	26	900	2,86	7.11	370	5	400	2,00
5.12	380	6	650	1,25	7.12	370	3	800	0,16
5.13	384	4	750	0,80	7.13	375	8	675	1,43
5.14	385	2	875	0,77	7.14	376	8	500	3,33
5.15	390	5	1.125	1,11	7.15	385	15	1.125	3,00
5.16	395	10	1.200	1,29	7.16	395	15	1.250	1,76
5.17	395	5	875	1,18	7.17	390	14	1.075	3,33
5.18	396	6	375	4,00	7.18	390	10	875	2,00
5.19	395	10	750	2,00	7.19	396	6	625	3,33
5.20	395	10	1.125	1,60	7.20	397	12	1.000	2,67
5.21	410	15	625	2,40	7.21	405	15	625	5,00
5.22	415	17	775	3,33	7.22	420	20	1.000	2,40
5.23	420	20	825	3,33	7.23	533	118	1.000	12,95
5.24	440	20	875	3,00	7.24	537	102	625	18,54
5.25	518	83	600	12,80	7.25	583	128	500	20,00
5.26	555	105	700	14,62	7.26	534	84	700	13,60
5.27	583	93	500	14,60	7.27	531	56	375	15,69
6.1	390	5	1.125	0,67	8.1	394	1	1.000	0,13
6.2	388	3	1.125	0,44	8.2	393	1	1.000	0,27
6.3	390	3	1.125	1,11	8.3	394	2	1.000	0,20
6.4	386	1	1.125	1,25	8.4	392	2	1.000	2,83
6.5	385	5	750	1,67	8.5	385	10	700	2,67
6.6	380	10	750	3,33	8.6	391	11	800	2,86
6.7	376	11	750	6,67	8.7	390	10	1.250	1,60
6.8	376	12	350	6,67	8.8	380	10	600	1,54
6.9	370	7	375	4,00	8.9	380	10	750	1,80
6.10	375	10	250	2,67	8.10	377	6	950	1,78
6.11	380	15	1.000	2,00	8.11	377	7	1.000	2,22
6.12	375	5	1.375	1,21	8.12	370	3	350	2,50
6.13	380	10	1.000	1,33	8.13	375	7	825	1,54
6.14	380	10	850	2,67	8.14	375	7	600	1,11
6.15	385	10	1.375	1,60	8.15	375	5	350	2,86
6.16	396	16	875	2,86	8.16	380	8	700	1,43
6.17	396	6	800	1,00	8.17	390	15	1.175	1,60
6.18	390	10	950	2,50	8.18	405	20	750	3,33
6.19	395	10	1.125	2,86	8.19	395	15	1.000	2,40
6.20	402	12	1.000	2,67	8.20	390	5	625	3,08
6.21	406	11	1.000	2,00	8.21	400	15	500	2,86
6.22	410	15	875	2,73	8.22	415	15	500	3,33
6.23	503	93	1.225	8,45	8.23	435	25	1.000	3,08
6.24	455	40	1.250	4,67	8.24	517	92	1.000	8,00
6.25	583	133	625	22,17	8.25	500	70	1.000	9,14
6.26	598	83	925	9,49	8.26	553	108	625	18,08
6.27	525	50	625	5,83	8.27	521	71	675	9,17

(continua)

Tabela A.1 - Continuação

Nº DA AMOSTRA	ALT. ABS. (m)	AMPL. ALT. (m)	EXT. VERT. (m)	DECLIV. (%)	Nº DA AMOSTRA	ALT. ABS. (m)	AMPL. ALT. (m)	EXT. VERT. (m)	DECLIV. (%)
9.1	394	1	1.000	0,13	11.1	397	2	1.000	0,29
9.2	395	1	1.000	0,67	11.2	396	1	1.375	0,22
9.3	396	1	950	0,27	11.3	397	1	1.000	0,42
9.4	393	8	800	4,00	11.4	396	6	675	5,00
9.5	396	11	1.000	1,74	11.5	397	2	1.000	0,33
9.6	395	5	875	0,71	11.6	397	7	750	1,18
9.7	390	10	1.000	1,90	11.7	396	11	1.125	2,67
9.8	385	10	500	2,10	11.8	416	21	1.000	2,74
9.9	397	17	875	2,50	11.9	400	10	1.000	1,74
9.10	380	5	500	1,18	11.10	388	8	750	1,67
9.11	380	5	1.000	0,87	11.11	380	8	1.125	4,00
9.12	375	5	300	1,23	11.12	385	12	675	2,22
9.13	380	5	1.000	2,86	11.13	388	8	700	2,50
9.14	375	6	625	2,86	11.14	385	10	750	1,82
9.15	375	5	250	1,00	11.15	385	10	1.125	1,33
9.16	380	8	625	1,33	11.16	380	9	875	2,00
9.17	390	10	1.250	1,25	11.17	380	7	1.175	0,80
9.18	400	20	1.000	2,22	11.18	377	4	250	1,14
9.19	388	8	725	5,00	11.19	387	12	950	1,74
9.20	391	6	675	2,86	11.20	390	10	725	2,00
9.21	400	10	750	1,90	11.21	400	15	1.125	1,76
9.22	410	10	625	3,33	11.22	402	7	500	5,00
9.23	464	54	625	9,82	11.23	405	5	625	2,50
9.24	509	89	800	13,92	11.24	415	10	1.075	2,00
9.25	465	45	750	8,00	11.25	472	62	625	16,53
9.26	535	80	750	16,00	11.26	425	15	1.000	1,67
9.27	508	53	500	15,56	11.27	426	16	500	4,00
10.1	394	1	1.000	0,20	12.1	398	8	1.100	5,71
10.2	395	1	1.000	0,35	12.2	400	3	1.000	0,43
10.3	397	2	1.000	0,29	12,3	398	1	1.000	0,27
10.4	395	5	700	2,22	12.4	399	4	1.000	0,31
10.5	396	1	625	1,25	12.5	399	1	1.000	0,14
10.6	395	5	1.125	0,91	12.6	398	3	875	0,48
10.7	391	11	450	5,00	12.7	400	5	875	2,22
10.8	390	10	625	5,00	12.8	426	26	750	6,00
10.9	395	10	1.000	2,00	12.9	400	10	1.000	1,74
10.10	385	5	1.375	1,33	12.10	385	5	1.000	2,00
10.11	380	12	800	2,00	12.11	380	6	750	2,00
10.12	382	10	500	3,33	12.12	385	10	625	2,50
10.13	387	12	1.000	2,35	12.13	388	3	500	0,60
10.14	380	9	800	3,33	12.14	385	5	500	2,00
10.15	378	5	975	0,48	12.15	390	5	1.250	0,80
10.16	375	3	875	1,71	12.16	385	5	1.000	2,22
10.17	385	12	625	2,35	12.17	385	10	1.000	2,35
10.18	380	5	500	2,22	12.18	376	1	500	1,33
10.19	385	10	875	1,33	12.19	381	6	625	2,00
10.20	389	9	625	2,50	12.20	391	11	875	1,60
10.21	395	10	875	2,00	12.21	395	10	875	1,60
10.22	405	15	1.000	1,82	12.22	395	5	500	2,00
10.23	415	20	750	4,00	12.23	405	10	1.000	1,50
10.24	415	10	625	2,50	12.24	411	6	625	2,86
10.25	448	28	750	3,33	12.25	415	15	500	4,00
10.26	475	50	750	8,60	12.26	440	30	1.000	5,22
10.27	495	80	875	9,38	12.27	477	67	625	11,65

(continua)

Tabela A.1 - Continuação

Nº DA AMOSTFA	ALT. ABS. (m)	AMPL. ALT. (m)	EXT. VERT. (m)	DECLIV. (%)	Nº DA AMOSTRA	ALT. ABS. (m)	AMPL. ALT. (m)	EXT. VERT. (m)	DECLIV. (%)
13.1	400	15	925	2,67	15.1	400	1	1.000	1,80
13.2	400	1	500	0,67	15.2	401	1	1.000	0,25
13.3	401	2	500	0,80	15.3	405	1	1.250	0,20
13.4	400	1	1.000	0,31	15.4	406	1	1.250	0,27
13.5	400	1	1.125	1,00	15.5	406	1	1.000	0,27
13.6	400	1	1.000	0,32	15.6	405	2	1.000	0,40
13.7	403	3	1.250	0,67	15.7	405	1	1.125	1,18
13.8	405	2	1.000	1,33	15.8	400	5	750	1,18
13.9	400	15	875	3,33	15.9	402	7	500	1,18
13.10	396	21	875	3,33	15.10	395	10	1.000	4,00
13.11	384	9	875	5,00	15.11	390	10	625	2,86
13.12	385	10	1.000	4,44	15.12	397	12	625	1,90
13.13	388	1	1.000	0,50	15.13	390	2	1.125	4,44
13.14	385	1	925	1,54	15.14	395	2	1.125	0,67
13.15	393	3	1.250	0,60	15.15	400	5	1.000	0,80
13.16	393	3	1.000	0,60	15.16	402	7	1.000	0,61
13.17	390	10	1.250	2,50	15.17	395	15	1.000	1,00
13.18	380	5	875	3,33	15.18	385	10	1.000	2,86
13.19	380	5	875	4,00	15.19	376	2	1.125	2,67
13.20	385	1	1.000	0,24	15.20	385	10	750	1,67
13.21	395	5	1.000	1,80	15.21	390	15	1.125	1,82
13.22	405	10	1.250	1,08	15.22	390	10	750	2,86
13.23	411	6	250	5,00	15.23	400	17	675	1,82
13.24	410	15	1.000	3,08	15.24	405	10	750	3,08
13.25	415	20	1.000	3,12	15.25	445	50	875	2,86
13.26	438	28	475	11,20	15.26	498	88	1.125	5,12
13.27	460	50	1.000	5,71	15.27	461	46	700	14,00
								625	7,13
14.1	402	2	550	0,40	16.1	400	10	875	2,86
14.2	402	2	750	0,40	16.2	405	3	1.000	0,40
14.3	404	2	1.125	0,36	16.3	407	2	1.000	1,33
14.4	404	1	1.125	0,29	16.4	406	1	1.000	0,10
14.5	405	5	1.125	0,67	16.5	407	1	750	0,18
14.6	403	1	1.000	0,60	16.6	406	1	1.000	0,16
14.7	416	11	750	1,47	16.7	405	2	1.000	0,74
14.8	410	7	1.125	2,50	16.8	402	12	575	5,00
14.9	400	5	750	1,60	16.9	397	12	500	3,33
14.10	395	15	1.000	4,00	16.10	395	13	625	2,40
14.11	381	6	650	0,57	16.11	388	3	875	1,71
14.12	390	15	875	3,00	16.12	395	10	875	2,10
14.13	390	3	750	0,67	16.13	400	5	1.000	1,11
14.14	395	5	1.000	0,74	16.14	405	10	1.375	0,91
14.15	395	5	875	1,33	16.15	410	10	1.250	1,25
14.16	397	2	1.000	1,67	16.16	421	26	1.000	2,86
14.17	393	13	1.125	1,90	16.17	405	20	1.125	1,82
14.18	385	12	750	4,44	16.18	392	12	700	2,22
14.19	382	7	625	5,00	16.19	386	11	375	4,00
14.20	386	11	450	3,33	16.20	385	13	375	1,82
14.21	395	10	1.000	1,05	16.21	389	14	700	3,33
14.22	405	15	1.250	1,88	16.22	395	10	625	5,00
14.23	407	17	500	4,00	16.23	405	15	1.000	2,61
14.24	405	15	750	2,73	16.24	415	10	575	0,83
14.25	485	85	500	18,67	16.25	459	54	750	4,80
14.26	440	35	750	7,41	16.26	496	76	750	12,00
14.27	486	71	500	14,20	16.27	466	46	675	6,31

(continua)

Tabela A.1 - Continuação

Nº DA AMOSTRA	ALT. ABS. (m)	AMPL. ALT. (m)	EXT. VERT. (m)	DECLIV. (%)	Nº DA AMOSTRA	ALT. ABS. (m)	AMPL. ALT. (m)	EXT. VERT. (m)	DECLIV. (%)
17.1	402	7	625	0,80	19.1	405	15	875	4,00
17.2	403	1	1.125	0,33	19.2	409	4	750	0,73
17.3	405	1	1.000	0,67	19.3	410	1	1.125	0,29
17.4	407	1	1.000	0,35	19.4	411	1	1.000	0,67
17.5	406	1	1.000	0,17	19.5	411	1	1.125	0,27
17.6	405	4	1.000	2,00	19.6	407	7	875	4,00
17.7	406	6	675	1,18	19.7	405	15	750	3,33
17.8	400	10	1.000	1,66	19.8	402	17	400	4,00
17.9	395	10	625	3,33	19.9	404	14	450	4,00
17.10	395	10	450	1,67	19.10	405	9	1.000	1,80
17.11	393	8	425	2,00	19.11	398	8	650	2,50
17.12	395	10	875	3,64	19.12	407	17	1.000	2,31
17.13	405	10	1.000	1,43	19.13	410	10	1.000	2,50
17.14	410	10	1.250	1,40	19.14	435	20	1.000	2,67
17.15	458	48	875	7,68	19.15	509	84	550	14,80
17.16	450	45	1.125	5,14	19.16	425	20	1.000	2,42
17.17	405	15	1.125	1,58	19.17	405	15	625	2,67
17.18	396	16	800	3,08	19.18	400	15	575	2,86
17.19	392	17	1.375	3,33	19.19	391	16	875	2,67
17.20	388	15	300	5,71	19.20	384	10	325	1,50
17.21	390	15	500	8,00	19.21	383	8	325	4,00
17.22	395	10	500	4,00	19.22	392	12	600	3,08
17.23	407	17	1.000	1,71	19.23	400	10	1.125	1,05
17.24	415	10	750	1,74	19.24	405	12	975	3,33
17.25	425	15	775	2,40	19.25	405	10	625	3,33
17.26	440	30	875	4,00	19.26	415	15	825	2,07
17.27	431	16	750	3,00	19.27	416	6	300	0,36
18.1	400	1	775	0,80	20.1	408	13	750	4,00
18.2	405	2	1.250	0,53	20.2	414	7	1.125	3,20
18.3	408	3	1.250	0,48	20.3	411	1	1.250	1,33
18.4	407	1	1.250	0,40	20.4	412	2	875	0,26
18.5	409	1	1.250	0,09	20.5	410	1	1.125	0,62
18.6	407	1	1.000	0,36	20.6	405	15	1.000	2,67
18.7	406	6	1.000	1,67	20.7	405	15	450	6,00
18.8	400	15	1.000	2,00	20.8	407	17	400	8,00
18.9	400	16	750	2,40	20.9	406	16	875	3,64
18.10	402	12	875	1,14	20.10	406	6	650	1,43
18.11	398	13	450	2,50	20.11	404	14	675	1,80
18.12	400	15	625	2,86	20.12	402	7	275	2,86
18.13	410	15	1.000	1,88	20.13	415	15	650	2,40
18.14	425	15	1.375	1,90	20.14	439	29	625	4,54
18.15	525	110	625	21,17	20.15	509	84	275	14,80
18.16	458	48	625	9,14	20.16	470	60	875	7,27
18.17	410	15	1.000	1,94	20.17	415	20	1.125	1,80
18.18	401	7	375	2,86	20.18	400	15	525	5,00
18.19	396	16	725	3,00	20.19	385	5	375	4,00
18.20	381	6	650	1,80	20.20	385	10	375	4,00
18.21	386	11	600	2,10	20.21	388	8	425	2,86
18.22	395	10	1.000	2,00	20.22	390	5	875	1,00
18.23	405	15	750	2,73	20.23	395	5	1.000	1,54
18.24	414	9	1.250	0,89	20.24	400	5	1.000	3,33
18.25	415	15	450	2,50	20.25	412	12	1.000	1,67
18.26	420	15	750	2,00	20.26	416	6	750	2,00
18.27	425	10	1.125	1,90	20.27	415	5	1.125	1,33

(continua)

Tabela A.1 - Continuação

Nº DA AMOSTRA	ALT. ABS. (m)	AMPL. ALT. (m)	EXT. VERT. (m)	DECLIV. (%)	Nº DA AMOSTRA	ALT. ABS. (m)	AMPL. ALT. (m)	EXT. VERT. (m)	DECLIV. (%)
21.1	408	13	1.000	3,33	23.1	410	20	800	4,44
21.2	411	2	875	1,33	23.2	411	1	750	0,24
21.3	411	2	1.125	0,33	23.3	410	1	1.000	0,27
21.4	411	1	1.000	0,23	23.4	407	2	1.125	1,33
21.5	410	10	600	2,50	23.5	406	11	625	2,67
21.6	405	15	500	4,00	23.6	405	10	750	2,67
21.7	400	11	375	6,67	23.7	402	7	500	5,00
21.8	408	8	625	2,00	23.8	411	11	875	2,35
21.9	408	13	475	3,08	23.9	411	1	1.000	0,83
21.10	408	3	850	1,54	23.10	412	2	875	0,80
21.11	403	8	550	2,86	23.11	415	10	625	2,00
21.12	410	10	1.125	1,60	23.12	435	20	1.125	2,67
21.13	435	30	1.200	3,08	23.13	463	38	650	6,00
21.14	437	17	775	1,90	23.14	455	35	900	4,00
21.15	499	74	1.000	8,48	23.15	420	15	875	2,50
21.16	506	86	550	17,00	23.16	500	100	700	16,80
21.17	420	25	1.000	3,23	23.17	420	35	1.125	3,26
21.18	396	11	425	3,33	23.18	393	8	425	4,00
21.19	385	5	250	6,67	23.19	395	12	450	6,67
21.20	385	5	1.000	1,33	23.20	405	15	1.000	2,00
21.21	385	5	750	1,54	23.21	400	15	1.125	2,00
21.22	390	10	1.250	1,38	23.22	390	5	750	2,50
21.23	397	7	1.000	1,67	23.23	390	5	875	5,00
21.24	400	10	1.250	1,60	23.24	394	9	450	3,33
21.25	405	15	875	3,08	23.25	397	7	550	2,86
21.26	412	12	950	2,50	23.26	400	10	650	4,44
21.27	412	12	1.000	2,86	23.27	404	14	625	2,86
22.1	410	15	750	2,07	24.1	411	16	750	5,45
22.2	410	1	875	0,20	24.2	413	1	875	0,46
22.3	410	3	1.000	1,33	24.3	413	3	875	0,67
22.4	410	1	1.000	0,84	24.4	405	5	925	0,57
22.5	405	10	1.125	2,00	24.5	409	9	950	4,00
22.6	400	10	625	6,67	24.6	405	10	875	2,35
22.7	405	15	675	2,50	24.7	405	10	850	5,00
22.8	409	9	1.000	1,14	24.8	414	14	875	6,67
22.9	410	5	750	0,71	24.9	412	2	525	0,44
22.10	405	5	1.000	2,50	24.10	416	6	1.125	0,77
22.11	405	10	625	2,00	24.11	420	10	1.000	2,22
22.12	420	15	1.250	1,88	24.12	493	73	875	12,57
22.13	456	41	1.000	3,43	24.13	487	52	750	12,71
22.14	445	20	1.250	2,16	24.14	465	55	1.250	4,89
22.15	438	28	550	3,81	24.15	420	15	875	2,22
22.16	516	101	400	14,75	24.16	456	61	500	14,67
22.17	420	25	625	3,48	24.17	405	15	750	3,00
22.18	396	11	675	2,86	24.18	394	12	475	6,67
22.19	390	10	375	5,00	24.19	400	17	800	4,00
22.20	395	10	1.000	3,33	24.20	410	15	1.000	4,62
22.21	390	10	1.075	1,33	24.21	405	21	1.125	2,67
22.22	385	5	250	2,00	24.22	395	10	750	4,00
22.23	388	3	375	1,11	24.23	400	10	325	2,86
22.24	390	5	500	1,67	24.24	400	10	600	3,33
22.25	400	10	1.000	1,90	24.25	400	10	500	2,35
22.26	405	15	1.000	2,00	24.26	406	11	525	3,33
22.27	400	5	575	5,00	24.27	408	18	800	2,50

(continua)

Tabela A.1 - Conclusão

Nº DA AMOSTRA	ALT. ABS. (m)	AMPL. ALT. (m)	EXT. VERT. (m)	DECLIV. (%)
25.1	410	20	550	5,00
25.2	415	5	1.000	0,80
25.3	416	6	1.125	1,43
25.4	410	1	1.000	0,69
25.5	411	1	1.125	5,00
25.6	410	10	875	2,50
25.7	405	10	575	2,35
25.8	415	15	625	2,67
25.9	416	1	700	0,29
25.10	420	6	1.000	2,00
25.11	425	10	1.250	0,87
25.12	440	15	1.250	2,67
25.13	445	15	625	4,00
25.14	435	25	1.125	2,67
25.15	460	55	1.000	6,29
25.16	520	115	625	10,95
25.17	425	35	1.000	3,26
25.18	390	5	375	4,00
25.19	410	25	1.000	2,76
25.20	412	2	875	2,22
25.21	410	20	1.125	3,20
25.22	395	10	750	3,33
25.23	402	7	875	1,80
25.24	406	11	550	1,67
25.25	407	12	750	3,33
25.26	411	11	925	1,67
25.27	411	11	625	4,44
26.1	418	28	375	8,00
26.2	416	16	625	5,00
26.3	418	3	375	1,33
26.4	416	1	1.000	5,00
26.5	420	5	1.125	1,33
26.6	420	15	900	2,61
26.7	410	15	425	8,00
26.8	415	10	1.000	2,67
26.9	418	2	1.000	0,20
26.10	420	1	1.000	0,54
26.11	425	4	1.000	0,80
26.12	435	5	1.000	0,91
26.13	500	65	1.000	13,79
26.14	565	140	750	19,29
26.15	503	83	400	19,50
26.16	555	126	500	25,78
26.17	445	55	1.000	4,85
26.18	401	16	375	4,00
26.19	405	15	750	2,35
26.20	410	10	1.125	4,00
26.21	411	16	750	2,35
26.22	400	10	625	2,86
26.23	400	10	750	2,50
26.24	405	10	500	4,00
26.25	413	8	875	5,00
26.26	411	11	700	2,22
26.27	415	5	625	1,67

IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS NA GRADE DE AMOSTRAGEM

	1	2	3	...	27
1					
2					
3					
.					
.					
.					
26					

Alt. Abs. = altitude absoluta
 Ampl. Alt. = amplitude altimétrica
 Ext. Vert. = extensão de vertentes
 Decliv. = declividade

APÊNDICE B

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DAS AMOSTRAS DE SOLOS

TABELA B.1

UNIDADE	Nº DO PONTO	PROFUNDIDADE (cm)	GRANULOMETRIA (%)			pH (H ₂ O)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	S	T	V (%)	MO (%)	P (ppm)
			AREIA	SILTE	ARGILA										
A1	10	0-20	42	29	29	7,1	32,6	3,7	0,04	0,39	36,73	36,73	100	2,09	0,96
		40-60	32	27	41	8,0	35,8	3,5	0,15	0,08	39,53	39,53	100	1,07	0,48
	11	0-20	61	14	25	8,0	20,2	2,4	0,13	0,33	23,06	23,06	100	0,88	10,56
		40-60	54	16	30	8,5	20,0	6,5	0,66	0,11	27,27	27,27	100	0,53	6,72
	54	0-20	55	20	25	7,3	6,0	3,0	0,44	0,22	9,66	10,65	91	0,88	2,88
		40-60	32	20	48	7,7	14,2	3,3	1,34	0,05	18,89	19,22	99	0,50	0,96
	56	0-20	77	10	13	8,0	6,3	2,0	0,19	0,20	8,69	9,02	97	0,71	9,60
		40-60	33	25	42	8,5	37,9	0,9	0,12	0,07	38,99	39,32	99	0,52	1,15
	57	0-20	49	19	32	8,0	17,0	3,0	0,09	0,37	20,46	21,45	96	0,87	3,36
		40-60	44	18	38	8,6	20,8	1,9	0,68	0,06	22,72	23,05	99	0,57	1,44
72	0-20	43	24	33	7,6	35,8	4,6	0,01	0,24	40,65	40,65	100	2,09	0,48	
A2	74	0-20	77	8	15	5,4	3,1	0,6	0,01	0,14	3,85	6,16	63	1,84	0,48
		40-60	63	8	29	6,2	2,9	2,7	1,44	0,03	7,07	8,39	84	0,64	0,29
	75	0-20	65	16	19	6,4	3,6	3,5	0,30	0,21	7,61	9,26	82	1,23	1,44
		40-60	28	10	62	6,5	13,7	8,5	3,81	0,08	26,09	26,75	98	0,91	0,48

(continua)

Tabela B.1 - Continuação

UNIDADE	Nº DO PONTO	PROFUNDIDADE (cm)	GRANULOMETRIA (%)			pH (H ₂ O)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	S	T	V (%)	MO (%)	P (ppm)
			AREIA	SILTE	ARGILA										
A3	1	0-20	85	7	8	5,4	1,0	0,3	0,01	0,17	1,48	3,13	48	0,67	3,36
		40-60	69	12	19	4,5	0,8	0,3	0,01	0,18	1,29	4,26	31	0,53	1,92
	2	0-20	80	9	11	6,0	1,8	0,7	0,02	0,24	2,76	3,75	74	0,67	2,40
		40-60	74	11	15	5,8	1,6	0,7	0,05	0,42	2,77	4,09	68	-	1,44
	22	0-20	14	22	64	7,0	22,1	9,1	0,93	0,75	32,88	34,36	96	0,17	4,80
		0-20	75	11	14	6,4	3,8	1,5	0,03	0,35	5,68	7,33	78	0,97	4,80
		40-60	71	12	17	6,0	2,8	1,3	0,03	0,12	4,25	6,89	62	0,62	1,44
	55	0-20	80	11	9	6,4	2,1	0,5	0,01	0,25	2,86	4,84	59	0,92	2,40
		40-60	52	11	37	6,2	1,7	1,0	0,05	0,25	3,00	6,46	47	0,59	0,96
		0-20	73	13	14	6,2	2,9	1,5	0,02	0,37	4,79	6,77	71	1,02	2,88
		40-60	64	11	25	7,4	5,5	3,4	0,13	0,06	9,09	11,56	79	-	1,44
	60	0-20	80	16	4	6,4	2,0	0,9	0,02	0,27	3,19	4,84	66	1,57	5,76
		40-60	72	19	9	6,4	2,8	1,3	0,04	0,06	4,20	5,85	72	-	1,44
	69	0-20	91	6	3	5,4	2,4	0,3	0,01	0,13	2,84	3,99	71	1,54	3,36
		40-60	92	5	3	6,0	0,5	0,3	0,01	0,12	0,93	1,42	65	0,14	2,40
	70	0-20	61	19	20	6,2	6,0	3,0	0,01	0,28	9,29	10,77	86	1,37	1,92
		40-60	50	15	35	6,3	13,2	8,3	0,12	0,08	21,70	23,02	94	0,66	0,48
	73	0-20	76	11	13	6,0	3,3	1,1	0,01	0,29	4,70	7,01	67	1,69	1,92
		40-60	84	8	8	6,3	1,9	1,0	0,09	0,10	3,09	4,08	76	0,35	0,96
	78	0-20	58	18	24	6,2	6,7	5,7	0,08	0,39	12,87	14,52	89	1,70	2,40
		40-60	35	13	52	7,2	15,8	12,6	2,15	0,10	30,56	30,65	100	0,97	0,96
	79	0-20	77	9	14	7,5	3,8	1,3	0,01	0,35	5,46	5,46	100	0,74	8,64
		40-60	66	11	23	6,6	4,2	1,2	0,10	0,33	5,83	7,15	82	0,46	0,96

(continua)

Tabela B.1 - Continuação

UNIDADE	Nº DO PONTO	PROFUNDIDADE (cm)	GRANULOMETRIA (%)			pH (H ₂ O)	CATIONES (meq/100 g solo)				S	T	V (%)	MO (%)	P (ppm)
			AREIA	SILTE	ARGILA		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺					
A4	17	0-20	91	7	2	5,8	0,8	0,1	0,01	0,11	1,02	1,84	56	0,38	3,36
	18	40-60	89	9	3	4,9	0,1	0,1	0,01	0,05	0,26	1,58	17	-	0,96
	19	0-20	93	6	1	5,6	0,6	0,1	0,01	0,17	0,88	1,70	52	0,62	2,88
		40-60	84	12	4	6,1	0,4	0,5	0,06	0,08	1,04	2,03	52	0,03	0,96
	20	0-20	95	4	1	5,7	0,2	0,1	0,01	0,06	0,37	1,36	28	0,29	3,36
		40-60	93	5	2	5,4	0,1	0,1	0,01	0,05	0,26	1,25	21	-	1,44
	30	0-20	91	7	2	5,7	0,4	0,2	0,01	0,12	0,73	1,72	43	0,26	6,72
		40-60	90	8	2	5,5	0,5	0,1	0,01	0,09	0,70	1,69	42	0,21	3,36
	32	0-20	94	5	1	6,5	1,2	0,4	0,03	0,24	1,87	2,53	74	0,69	4,80
		40-60	92	6	2	6,5	0,6	0,3	0,10	0,14	1,14	1,80	64	0,24	2,40
	35	0-20	92	7	1	6,0	0,3	0,1	0,02	0,09	0,51	1,50	34	0,17	7,68
		40-60	90	8	2	6,2	0,4	0,1	0,03	0,09	0,62	1,28	49	-	2,88
	47	0-20	96	3	1	5,9	0,5	0,1	0,01	0,04	0,65	1,64	40	0,31	2,88
		40-60	94	4	2	5,7	0,2	0,1	0,01	0,05	0,36	1,35	27	0,09	1,92
	48	0-20	95	4	1	6,5	0,7	0,1	0,01	0,06	0,87	1,53	57	0,47	2,40
		40-60	91	6	3	5,5	0,2	0,1	0,01	0,05	0,36	1,35	27	0,16	0,96
	64	0-20	94	5	1	5,6	0,6	0,2	0,01	0,07	0,88	1,70	52	0,38	3,84
		40-60	90	6	4	5,8	0,3	0,1	0,01	0,06	0,47	1,95	24	0,14	1,44
	67	0-20	89	10	1	7,0	0,4	0,1	0,02	0,14	0,66	1,48	45	0,57	3,36
		40-60	67	14	19	7,6	1,7	1,1	3,67	0,05	6,52	7,34	89	0,28	1,92
	0-20	90	4	6	6,2	2,1	0,2	0,01	0,08	2,39	3,05	79	1,14	8,64	
	40-60	91	7	2	6,0	0,9	0,2	0,02	0,05	1,17	1,83	64	0,50	2,88	

(continua)

Tabela B.1 - Continuação

UNIDADE	Nº DO PONTO	PROFUNDIDADE (cm)	GRANULOMETRIA (%)			pH (H ₂ O)	CATIONES (meq/100 g solo)					V (%)	MO (%)	P (ppm)	
			AREIA	SILTE	ARGILA		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	S				T
A5	24	0-20	90	6	4	5,3	0,3	0,2	0,01	0,08	0,59	1,74	34	0,24	3,36
		40-60	85	7	8	5,4	0,3	0,1	0,02	0,10	0,52	2,17	24	-	2,88
	38	0-20	88	8	4	6,0	1,5	0,4	0,01	0,16	2,07	3,72	56	1,14	2,88
		40-60	87	9	4	6,1	0,4	0,4	0,12	0,12	1,04	2,36	44	0,31	1,92
	41	0-20	94	4	2	5,8	0,5	0,1	0,01	0,07	0,68	1,50	45	0,33	2,88
		40-60	87	6	7	5,7	0,3	0,3	0,01	0,08	0,69	2,17	32	0,25	0,96
A6	3	0-20	81	7	12	4,7	1,2	0,8	0,02	0,20	2,22	8,16	28	2,41	5,28
		40-60	69	10	21	4,8	0,9	0,7	0,02	0,15	1,77	5,89	30	0,81	1,92
	6	0-20	91	7	2	5,5	0,4	0,2	0,01	0,07	0,68	2,66	26	0,47	5,28
		40-60	78	9	13	6,2	0,6	0,7	0,42	0,07	1,79	3,77	48	0,24	1,44
	12	0-20	77	10	13	6,7	2,9	1,4	0,02	0,51	4,83	6,15	79	1,12	1,92
		40-60	67	13	20	6,3	3,1	1,8	0,11	0,18	5,19	7,17	73	0,74	0,96
	27	0-20	61	9	30	6,1	2,0	1,0	0,06	0,46	3,52	5,50	64	0,76	2,88
		40-60	70	9	21	5,5	2,9	0,8	0,04	0,28	4,02	6,49	62	0,45	1,44
	40	0-20	88	5	7	5,7	1,6	0,6	0,02	0,25	2,47	4,78	52	1,23	5,76
		40-60	81	10	9	6,1	1,2	0,9	0,26	0,21	2,57	3,72	69	0,61	2,40
	51	0-20	84	10	6	6,0	1,8	0,8	0,01	0,29	2,90	4,05	72	0,99	2,88
		40-60	71	12	17	5,5	1,6	1,3	0,02	0,26	3,18	5,82	55	-	1,44

(continua)

Tabela B.1 - Continuação

UNIDADE	Nº DO PONTO	PROFUNDIDADE (cm)	GRANULOMETRIA (%)			pH (H ₂ O)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ (meq/100 g solo)	K ⁺	S	T	V (%)	MO (%)	P (ppm)	
			AREIA	SILTE	ARGILA											
A7	13	0-20	74	10	16	6,5	1,8	0,9	0,02	0,38	3,10	4,09	76	0,74	1,92	
		40-60	58	10	32	6,0	1,7	1,9	0,06	0,53	4,19	5,67	74	0,53	0,96	
	23	0-20	88	5	7	6,2	0,4	0,3	0,07	0,46	1,23	2,38	52	0,34	6,24	
		40-60	66	7	27	5,1	0,7	0,4	0,01	0,22	1,33	4,63	29	-	1,44	
	39	0-20	87	1	12	5,5	0,3	0,1	0,01	0,08	0,49	2,14	23	0,40	12,96	
		40-60	72	4	24	5,5	0,4	0,3	0,01	0,09	0,80	2,78	29	0,26	1,92	
	50	0-20	83	9	8	6,1	1,4	0,7	0,01	0,29	2,40	4,05	60	1,14	2,40	
		40-60	63	8	29	4,5	0,4	0,7	0,01	0,09	1,20	2,52	48	-	0,48	
	68	0-20	79	11	10	6,0	1,2	0,4	0,02	0,26	1,88	3,20	59	0,62	7,19	
		40-60	53	13	34	5,8	2,1	1,3	0,02	0,24	3,66	5,64	65	0,42	1,44	
	A8	4	0-20	74	19	7	5,9	1,4	0,5	0,01	0,27	2,18	4,65	47	1,33	2,40
			40-60	60	20	20	5,5	1,3	0,9	0,04	0,33	2,57	5,54	47	0,81	1,92
28		0-20	75	9	16	6,8	1,0	0,9	0,04	0,27	2,21	3,86	58	0,36	2,40	
		40-60	65	13	22	6,0	1,0	1,2	0,03	0,15	2,38	4,69	51	0,28	1,44	
37		0-20	82	7	11	4,8	0,8	0,4	0,02	0,18	1,40	4,20	34	0,91	5,76	
		40-60	63	9	28	5,5	1,8	1,0	0,04	0,18	3,02	5,16	59	0,53	1,92	
49		0-20	82	13	5	6,0	1,0	0,4	0,01	0,11	1,52	2,67	57	0,50	7,19	
		40-60	73	10	17	6,2	1,4	0,7	0,01	0,10	2,21	4,02	55	0,31	2,40	
76		0-20	71	16	13	6,5	3,6	1,8	0,01	0,31	5,72	7,70	74	2,67	2,40	
		40-60	46	15	39	5,2	1,7	2,3	0,01	0,12	4,13	7,92	52	0,67	0,48	
77		0-20	83	10	7	6,0	3,1	1,4	0,01	0,24	4,75	6,40	74	2,57	2,40	
		40-60	77	10	13	5,9	1,4	2,1	0,05	0,10	3,65	5,63	65	0,60	0,96	

(continua)

Tabela B.1 - Continuação

UNIDADE	Nº DO PONTO	PROFUNDIDADE (cm)	GRANULOMETRIA (%)			pH (H ₂ O)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	CATIONES (meq/100 g solo)			S	T	V (%)	MO (%)	P (ppm)
			AREIA	SILTE	ARGILA				Na ⁺	K ⁺						
A9	5	0-20	82	12	6	5,7	2,2	0,9	0,02	0,34	3,46	4,45	78	0,60	5,28	
		40-60	80	11	9	6,0	2,2	1,2	0,04	0,33	3,77	4,92	77	0,41	3,84	
	16	0-20	89	9	3	5,4	0,4	0,2	0,02	0,08	0,70	1,69	42	0,07	1,44	
	21	0-20	76	15	9	6,0	1,0	0,2	0,01	0,13	1,34	2,82	48	0,53	2,88	
	25	0-20	85	9	6	6,0	2,5	0,8	0,01	0,26	3,57	4,56	79	0,72	14,40	
		40-60	83	10	7	6,5	2,1	0,8	0,04	0,22	3,16	4,15	77	0,19	3,84	
	26	0-20	86	11	3	7,2	0,8	0,1	0,01	0,11	1,02	1,02	100	0,28	3,36	
	34	0-20	79	6	15	6,0	0,4	0,2	0,03	0,09	0,72	2,86	26	0,28	1,92	
		0-20	86	8	6	6,1	1,1	0,4	0,02	0,21	1,73	3,21	54	0,31	1,92	
	42	0-20	76	11	13	6,3	1,5	1,9	0,36	0,13	3,89	5,87	67	0,26	1,44	
	46	0-20	83	12	5	5,5	0,4	0,2	0,01	0,14	0,75	2,73	27	0,37	0,96	
		40-60	80	12	8	6,8	2,4	0,9	0,02	0,19	3,51	3,60	98	0,64	1,92	
A10	66	0-20	76	14	10	6,7	2,2	1,7	0,29	0,11	4,30	5,45	79	0,44	0,96	
		0-20	83	11	6	6,4	2,0	0,9	0,02	0,24	3,16	4,31	74	1,04	3,84	
		40-60	74	12	14	6,1	1,6	1,2	0,05	0,24	3,09	4,90	63	0,78	1,44	
	7	0-20	81	12	7	6,7	2,3	1,3	0,07	0,23	3,90	4,72	83	0,66	6,24	
		40-60	65	19	16	7,1	4,6	3,8	0,98	0,06	9,44	9,44	100	0,43	2,40	
	9	0-20	74	16	10	6,5	2,0	2,3	0,09	0,36	4,75	5,90	81	0,44	3,36	
		40-60	71	16	13	7,0	2,9	3,3	0,34	0,06	6,60	8,25	80	0,31	0,96	
	14	0-20	66	14	20	6,3	6,4	5,1	0,14	0,28	11,92	13,07	92	1,41	2,40	
	29	0-20	47	13	40	7,0	14,0	9,7	1,19	0,07	24,96	25,45	98	1,05	1,44	
		40-60	69	15	16	6,6	5,0	3,6	0,20	0,34	9,14	9,96	92	0,60	1,44	
	31	0-20	72	12	16	7,2	4,5	3,9	0,34	0,13	8,87	8,87	100	0,52	0,96	
		40-60	91	4	5	6,9	2,4	1,0	0,04	0,20	3,64	4,13	89	0,40	17,28	
33	0-20	72	10	18	7,7	7,5	5,6	0,54	0,12	13,76	13,76	100	0,24	5,28		
		40-60	71	14	15	6,5	5,5	4,5	0,14	0,30	10,44	11,59	90	0,45	4,80	
		0-20	63	13	24	7,0	8,6	6,3	0,60	0,09	15,59	16,58	94	0,45	2,88	
		40-60														

(continua)

Tabela B.1 - Conclusão

UNIDADE	Nº DO PONTO	PROFUNDIDADE (cm)	GRANULOMETRIA (%)			pH (H ₂ O)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	S		T	V (%)	MO (%)	P (ppm)
			AREIA	SILTE	ARGILA											
A11	15	0-20	71	10	19	7,6	7,1	4,8	0,07	0,93	12,90	12,90	12,90	100	0,83	4,32
		40-60	60	10	30	8,0	11,5	7,3	0,72	0,19	19,71	19,71	19,71	100	0,57	1,92
A13	8	0-20	80	9	11	5,8	2,1	0,9	0,04	0,22	3,26	5,73	5,73	57	0,74	2,40
		40-60	73	9	18	6,3	2,0	2,9	0,43	0,07	5,40	7,71	7,71	70	0,40	0,96
		0-20	79	8	13	6,0	1,4	0,8	0,05	0,81	2,34	3,99	3,99	59	0,45	1,44
		40-60	71	9	20	5,5	2,0	1,6	0,12	0,37	4,09	6,73	6,73	61	0,36	0,48
		0-20	56	10	34	6,6	9,7	7,7	0,33	0,09	17,82	18,97	18,97	94	1,84	0,96
40-60	71	13	16	6,5	5,2	2,0	0,06	0,36	7,62	9,10	9,10	84	0,59	5,28		
A14	61	0-20	69	17	14	6,0	5,3	2,4	0,01	0,46	8,17	11,96	11,96	69	4,59	5,28
		40-60	56	12	32	5,6	2,2	1,3	0,02	0,32	3,84	7,63	7,63	51	1,25	1,44
		0-20	70	8	22	4,9	2,3	0,7	0,06	0,32	3,38	5,69	5,69	59	1,63	6,24
		40-60	49	14	37	4,4	3,4	1,4	0,23	0,21	5,24	7,88	7,88	66	1,25	1,44
B1	45	0-20	81	9	10	6,5	3,8	3,0	0,10	0,31	7,21	8,03	8,03	90	0,31	24,00
		40-60	75	12	13	7,2	5,0	3,1	0,22	0,10	8,42	8,91	8,91	95	0,16	14,40
		0-20	68	15	17	7,3	7,3	4,0	0,14	0,28	11,72	13,20	13,20	89	1,07	27,80
		40-60	52	15	33	7,2	11,8	6,2	1,07	0,17	19,24	20,06	20,06	96	-	38,40
		0-20	32	32	36	7,6	39,1	1,6	0,04	0,18	40,92	41,41	41,41	99	1,09	0,96
		40-60	28	30	42	8,3	16,1	2,4	4,39	0,08	22,97	23,46	23,46	98	-	25,90
63	63	0-20	80	15	5	7,7	2,1	0,8	0,05	0,41	3,36	3,85	3,85	88	0,40	38,40
		40-60	76	13	11	7,8	3,5	2,1	0,79	0,18	6,57	7,39	7,39	89	0,31	4,32
		0-20	77	8	15	8,2	4,5	2,3	0,07	0,31	7,18	7,18	7,18	100	0,31	21,12
65	65	0-20	77	8	15	8,2	4,5	2,3	0,07	0,31	7,18	7,18	7,18	100	0,31	21,12
		40-60	78	9	13	7,2	4,5	1,4	0,05	0,15	6,10	6,59	6,59	93	0,23	16,32
B2	43	0-20	51	20	29	6,4	5,7	6,4	0,53	0,33	12,96	14,77	14,77	88	0,35	1,44
		0-20	91	3	6	5,4	0,8	0,4	0,01	0,13	1,34	2,49	2,49	54	0,65	3,80
		40-60	71	7	22	5,0	1,4	1,1	0,11	0,12	2,73	4,71	4,71	58	0,43	0,96
		0-20	87	8	5	5,2	0,9	0,5	0,35	0,15	1,90	4,37	4,37	44	1,38	5,76
		40-60	63	9	28	7,0	1,9	2,7	3,29	0,05	7,94	9,26	9,26	86	0,30	1,44

APÊNDICE C

SATURAÇÃO COM SÓDIO TROCÁVEL, TEXTURA E COR DO SOLO

TABELA C.1

UNIDADE	Nº DO PONTO	PROFUNDIDADE (cm)	(100Na ⁺ /T) (%)	CLASSES DE TEXTURA	TEXTURA	COR DO SOLO	
						(ÚMIDO)	(SECO)
A1	10	0-20	-	franco argiloso	média	10YR 5/3	10YR 6/3
		40-60	-	argila	argilosa	10YR 4/2	10YR 4/3
	11	0-20	-	franco argilo arenoso	média	10YR 4/2	10YR 5/2
		40-60	2	franco argilo arenoso	média	10YR 3/2	10YR 4/2
	54	0-20	4	franco argilo arenoso	média	10YR 6/3	10YR 7/2
		40-60	7	argila	argilosa	10YR 5/3	10YR 6/3
	56	0-20	2	franco arenoso	média	10YR 5/3	10YR 6/3
		40-60	-	argila	argilosa	10YR 5/4	10YR 5/4
57	0-20	-	franco argilo arenoso	média	10YR 4/3	10YR 5/4	
	40-60	3	franco argiloso	argilosa	10YR 4/3	10YR 4/3	
72	0-20	-	franco argiloso	média	10YR 4/4	10YR 4/4	
A2	74	0-20	-	franco arenoso	média	10YR 4/4	10YR 6/4
		40-60	17	franco argilo arenoso	média	10YR 5/6	10YR 5/8
	75	0-20	3	franco arenoso	média	10YR 4/4	10YR 5/4
		40-60	14	muito argiloso	argilosa	10YR 4/2	10YR 4/2
A3	1	0-20	-	areia franca	arenosa	10YR 3/3	10YR 4/4
		40-60	-	franco arenoso	média	10YR 5/6	10YR 6/8
	2	0-20	-	franco arenoso	média	10YR 4/4	10YR 6/8
		40-60	1	franco arenoso	média	10YR 5/6	10YR 6/8
	22	0-20	3	muito argiloso	argilosa	10YR 5/2	10YR 5/2
	52	0-20	-	franco arenoso	média	5YR 4/4	5YR 5/8
		40-60	-	franco arenoso	média	5YR 4/6	5YR 5/8
	55	0-20	-	areia franca	arenosa	7,5YR 5/6	7,5YR 7/6
		40-60	-	argila arenosa	argilosa	7,5YR 5/8	7,5YR 6/8
	58	0-20	-	franco arenoso	média	2,5YR 4/6	2,5YR 6/8
		40-60	1	franco argilo arenoso	média	2,5YR 4/6	2,5YR 5/8
	60	0-20	-	areia franca	arenosa	5YR 4/6	5YR 6/6
		40-60	1	franco arenoso	média	7,5YR 5/6	7,5YR 6/6
	69	0-20	-	areia	arenosa	10YR 4/4	10YR 6/4
		40-60	1	areia	arenosa	10YR 5/4	10YR 7/4
	70	0-20	-	franco argilo arenoso	média	2,5YR 3/6	2,5YR 4/6
		40-60	-	argilo arenosa	argilosa	5YR 4/8	5YR 4/6
	73	0-20	-	franco arenoso	arenosa	5YR 3/4	10YR 5/8
40-60		2	areia franca	arenosa	10YR 4/4	10YR 5/4	
78	0-20	-	franco argilo arenoso	média	10YR 4/3	10YR 4/4	
	40-60	7	argila	argilosa	10YR 4/4	10YR 4/4	
79	0-20	-	franco arenoso	média	5YR 4/4	7,5YR 5/6	
	40-60	1	franco argilo arenoso	média	10YR 5/8	10YR 6/8	

(continua)

Tabela C.1 - Continuação

UNIDADE	Nº DO PONTO	PROFUNDIDADE (cm)	(100Na ⁺ /T) (%)	CLASSES DE TEXTURA	TEXTURA	COR DO SOLO	
						(ÚMIDO)	(SECO)
A4	17	0-20	-	areia	arenosa	7,5YR 5/6	7,5YR 6/6
	18	40-60	-	areia	arenosa	10YR 5/4	10YR 7/4
		0-20	-	areia	arenosa	5YR 4/6	5YR 5/6
	19	40-60	3	areia franca	arenosa	10YR 5/6	10YR 7/6
		0-20	-	areia	arenosa	10YR 5/2	10YR 5/2
	20	40-60	-	areia	arenosa	10YR 6/4	10YR 7/4
		0-20	-	areia	arenosa	10YR 5/3	10YR 6/4
	30	40-60	-	areia	arenosa	10YR 5/3	10YR 7/3
		0-20	2	areia	arenosa	10YR 4/3	10YR 6/3
	32	40-60	5	areia	arenosa	10YR 6/3	10YR 7/2
		0-20	1	areia	arenosa	10YR 6/4	10YR 7/3
	35	40-60	2	areia	arenosa	10YR 6/4	10YR 7/3
		0-20	-	areia	arenosa	10YR 5/3	10YR 6/3
	47	40-60	-	areia	arenosa	10YR 6/4	10YR 7/4
		0-20	-	areia	arenosa	10YR 6/3	10YR 7/3
	48	40-60	-	areia	arenosa	10YR 6/4	10YR 7/4
0-20		-	areia	arenosa	7,5YR 5/6	7,5YR 5/8	
64	40-60	-	areia	arenosa	7,5YR 5/6	7,5YR 7/6	
	0-20	1	areia	arenosa	10YR 6/3	10YR 7/2	
67	40-60	50	franco arenoso	média	10YR 5/3	10YR 7/3	
	0-20	-	areia	arenosa	10YR 5/3	10YR 7/3	
		40-60	1	areia	arenosa	10YR 6/4	10YR 7/4
A5	24	0-20	-	areia	arenosa	10YR 5/4	10YR 6/4
	38	40-60	1	areia franca	arenosa	10YR 5/4	10YR 7/4
		0-20	-	areia	arenosa	10YR 4/2	10YR 5/2
	41	40-60	5	areia franca	arenosa	10YR 5/3	10YR 7/3
		0-20	1	areia	arenosa	10YR 5/3	10YR 7/3
		40-60	-	areia franca	arenosa	10YR 6/4	10YR 8/3
A6	3	0-20	-	franco arenoso	arenosa	10YR 3/3	10YR 5/6
	6	40-60	-	franco argilo arenoso	média	10YR 5/6	10YR 6/8
		0-20	-	areia	arenosa	10YR 5/8	10YR 6/8
	12	40-60	11	franco arenoso	arenosa	10YR 5/8	10YR 6/6
		0-20	-	franco arenoso	arenosa	10YR 4/4	10YR 6/6
	40	40-60	2	franco argilo arenoso	média	10YR 5/6	10YR 6/6
		0-20	-	areia	arenosa	10YR 5/8	10YR 6/6
	51	40-60	7	areia franca	arenosa	7,5YR 5/6	7,5YR 6/6
0-20		-	areia franca	arenosa	10YR 4/4	10YR 5/4	
		40-60	-	franco arenoso	arenosa	10YR 5/6	10YR 6/6

(continua)

Tabela C.1 - Continuação

UNIDADE	Nº DO PONTO	PROFUNDIDADE (cm)	(100Na ⁺ /T) (%)	CLASSES DE TEXTURA	TEXTURA	COR DO SOLO	
						(ÚMIDO)	(SECO)
A7	13	0-20	-	franco arenoso	média	10YR 5/6	10YR 6/8
		40-60	1	franco argilo arenoso	média	10YR 5/6	10YR 6/8
	23	0-20	3	areia franca	arenosa	7,5YR 5/6	7,5YR 6/8
		40-60	-	franco argilo arenoso	média	10YR 5/8	10YR 6/8
	39	0-20	-	areia franca	arenosa	5YR 5/6	5YR 5/8
		40-60	-	franco argilo arenoso	média	7,5YR 5/8	7,5YR 6/8
	50	0-20	-	areia franca	arenosa	7,5YR 5/6	7,5YR 6/6
		40-60	-	franco argilo arenoso	média	7,5YR 6/8	7,5YR 7/8
A8	68	0-20	1	franco arenoso	média	10YR 5/6	10YR 6/6
		40-60	-	franco argilo arenoso	média	10YR 5/8	10YR 6/8
	4	0-20	-	franco arenoso	média	10YR 4/4	10YR 6/6
		40-60	1	franco arenoso	média	10YR 5/6	10YR 6/6
	28	0-20	1	franco arenoso	média	10YR 5/6	10YR 6/8
		40-60	1	franco argilo arenoso	média	10YR 5/8	10YR 6/8
	37	0-20	1	areia franca	arenosa	10YR 5/8	10YR 6/6
		40-60	1	franco argilo arenoso	média	10YR 5/6	10YR 6/8
A9	49	0-20	-	areia franca	arenosa	10YR 5/8	10YR 7/6
		40-60	-	franco arenoso	média	10YR 5/8	10YR 7/8
	76	0-20	-	franco arenoso	média	5YR 4/6	7,5YR 5/6
		40-60	-	argila arenosa	argilosa	10YR 4/4	10YR 5/6
	77	0-20	-	areia franca	arenosa	5YR 4/6	5YR 5/6
		40-60	1	franco arenoso	média	5YR 4/8	7,5YR 5/8
	5	0-20	-	areia franca	arenosa	5YR 4/6	5YR 5/8
		40-60	1	areia franca	arenosa	5YR 4/6	5YR 5/8
A9	16	0-20	1	areia	arenosa	10YR 6/3	10YR 5/4
	21	0-20	-	franco arenoso	média	10YR 4/4	10YR 5/4
	25	0-20	-	areia franca	arenosa	5YR 4/6	5YR 5/6
		40-60	1	areia franca	arenosa	7,5YR 4/4	7,5YR 6/6
	26	0-20	1	areia franca	arenosa	10YR 5/3	10YR 6/3
		40-60	1	franco arenoso	média	10YR 4/2	10YR 6/2
	34	0-20	1	areia franca	arenosa	7,5YR 4/4	7,5YR 5/6
		40-60	6	franco arenoso	média	7,5YR 5/6	7,5YR 6/8
	42	0-20	-	areia	arenosa	7,5YR 4/4	7,5YR 4/4
		40-60	-	areia franca	arenosa	10YR 4/4	10YR 6/4
	46	0-20	-	areia franca	arenosa	10YR 4/4	10YR 6/4
		40-60	5	franco arenoso	média	10YR 5/4	10YR 7/4
	66	0-20	-	areia franca	arenosa	10YR 4/4	10YR 6/4
		40-60	1	franco arenoso	média	10YR 5/4	10YR 7/4

(continua)

Tabela C.1 - Conclusão

UNIDADE	Nº DO PONTO	PROFUNDIDADE (cm)	(100Na ⁺ /T) (%)	CLASSES DE TEXTURA	TEXTURA	COR DO SOLO	
						(ÚMIDO)	(SECO)
A10	7	0-20	2	areia franca	arenosa	10YR 4/3	10YR 5/3
		40-60	10	franco arenoso	média	10YR 4/2	10YR 5/3
	9	0-20	2	franco arenoso	média	7,5YR 5/6	7,5YR 7/6
		40-60	4	franco arenoso	média	7,5YR 6/6	7,5YR 7/6
	14	0-20	1	franco arenoso	média	5YR 3/4	5YR 4/4
		40-60	5	argilo arenosa	argilosa	10YR 4/3	10YR 4/4
	29	0-20	2	franco arenoso	média	5YR 3/4	5YR 4/6
		40-60	4	franco arenoso	média	10YR 4/3	10YR 4/4
	31	0-20	1	areia	arenosa	10YR 4/4	10YR 6/4
		40-60	4	franco arenoso	média	10YR 3/2	10YR 3/3
33	0-20	1	franco arenoso	média	2,5YR 3/6	5YR 5/8	
	40-60	4	franco argilo arenoso	média	5YR 3/4	5YR 4/6	
A11	15	0-20	-	franco arenoso	média	7,5YR 6/6	7,5YR 7/6
		40-60	4	franco argilo arenoso	média	10YR 4/3	10YR 4/4
A13	8	0-20	1	franco arenoso	média	10YR 4/4	10YR 5/6
		40-60	6	franco arenoso	média	10YR 4/4	10YR 6/6
	36	0-20	1	franco arenoso	média	10YR 5/8	10YR 6/8
		40-60	2	franco argilo arenoso	média	10YR 5/8	10YR 7/8
	80	0-20	2	argila arenosa	média	5YR 4/4	7,5YR 5/6
40-60		1	franco arenoso	média	10YR 4/4	7,5YR 4/4	
A14	61	0-20	-	franco arenoso	média	10YR 3/3	10YR 4/4
		40-60	-	franco argilo arenoso	média	7,5YR 5/8	7,5YR 6/8
	71	0-20	1	franco argilo arenoso	média	10YR 5/6	10YR 5/8
		40-60	3	argila arenosa	argilosa	10YR 5/8	10YR 6/8
B1	45	0-20	1	areia franca	arenosa	10YR 5/3	10YR 6/3
		40-60	2	franco arenoso	média	10YR 4/3	10YR 5/4
	53	0-20	1	franco arenoso	média	10YR 4/2	10YR 6/3
		40-60	5	franco argilo arenoso	média	10YR 4/2	10YR 5/2
	59	0-20	-	franco argiloso	argilosa	10YR 5/3	10YR 5/4
		40-60	19	argila	argilosa	10YR 3/1	10YR 4/1
	63	0-20	1	areia franca	arenosa	10YR 4/3	10YR 7/4
		40-60	11	franco arenoso	média	7,5YR 5/6	10YR 6/6
	65	0-20	1	franco arenoso	média	10YR 4/4	10YR 5/4
40-60		1	franco arenoso	média	10YR 4/4	10YR 5/6	
B2	43	0-20	4	franco argilo arenoso	média	10YR 4/2	10YR 5/2
		40-60	-	areia	arenosa	7,5YR 4/4	7,5YR 5/6
	44	0-20	2	franco argilo arenoso	média	10YR 5/8	10YR 6/6
		40-60	8	areia	arenosa	10YR 4/4	10YR 6/4
	62	40-60	36	franco argilo arenoso	média	10YR 5/3	10YR 6/4

APÊNDICE D

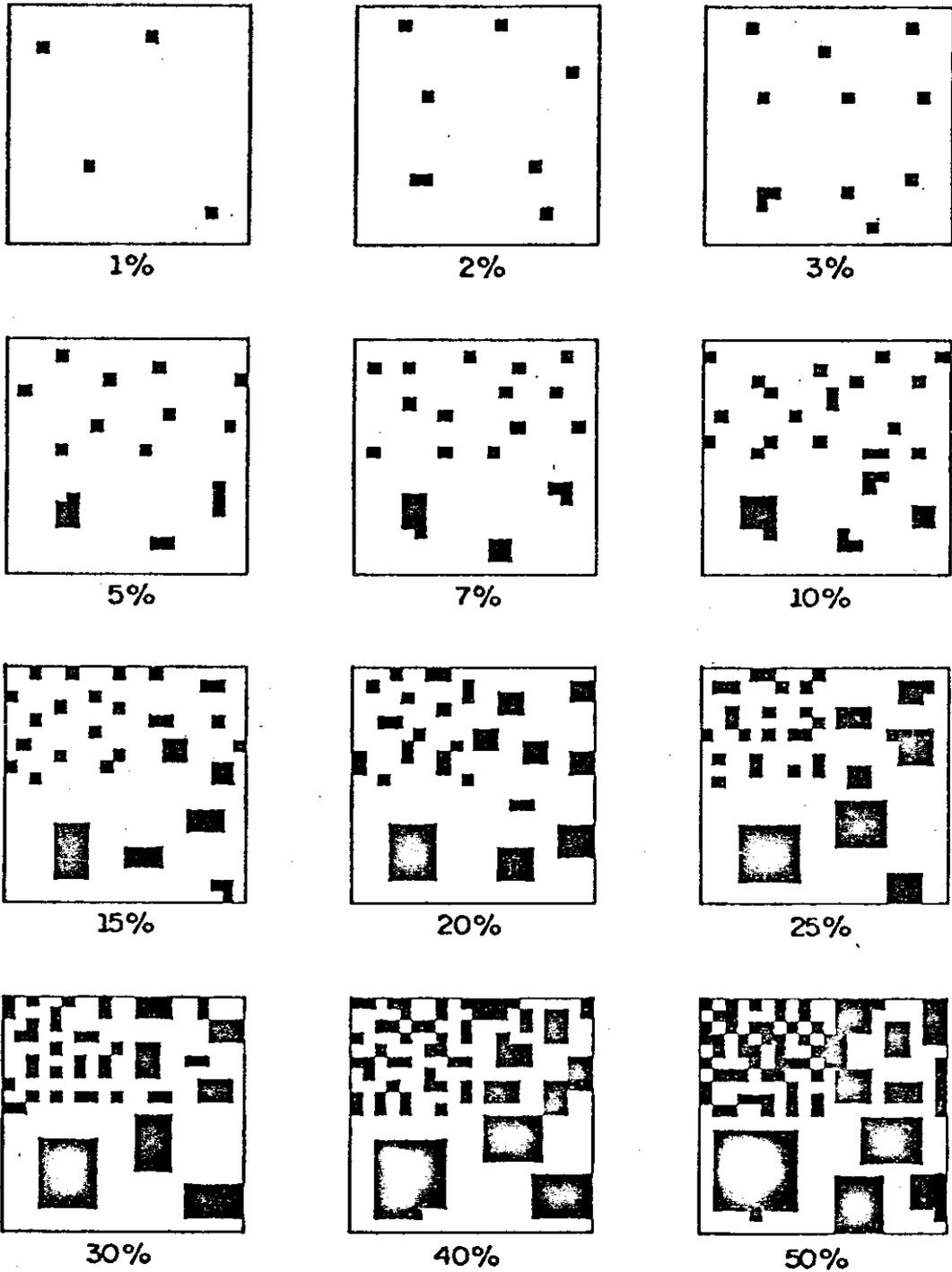
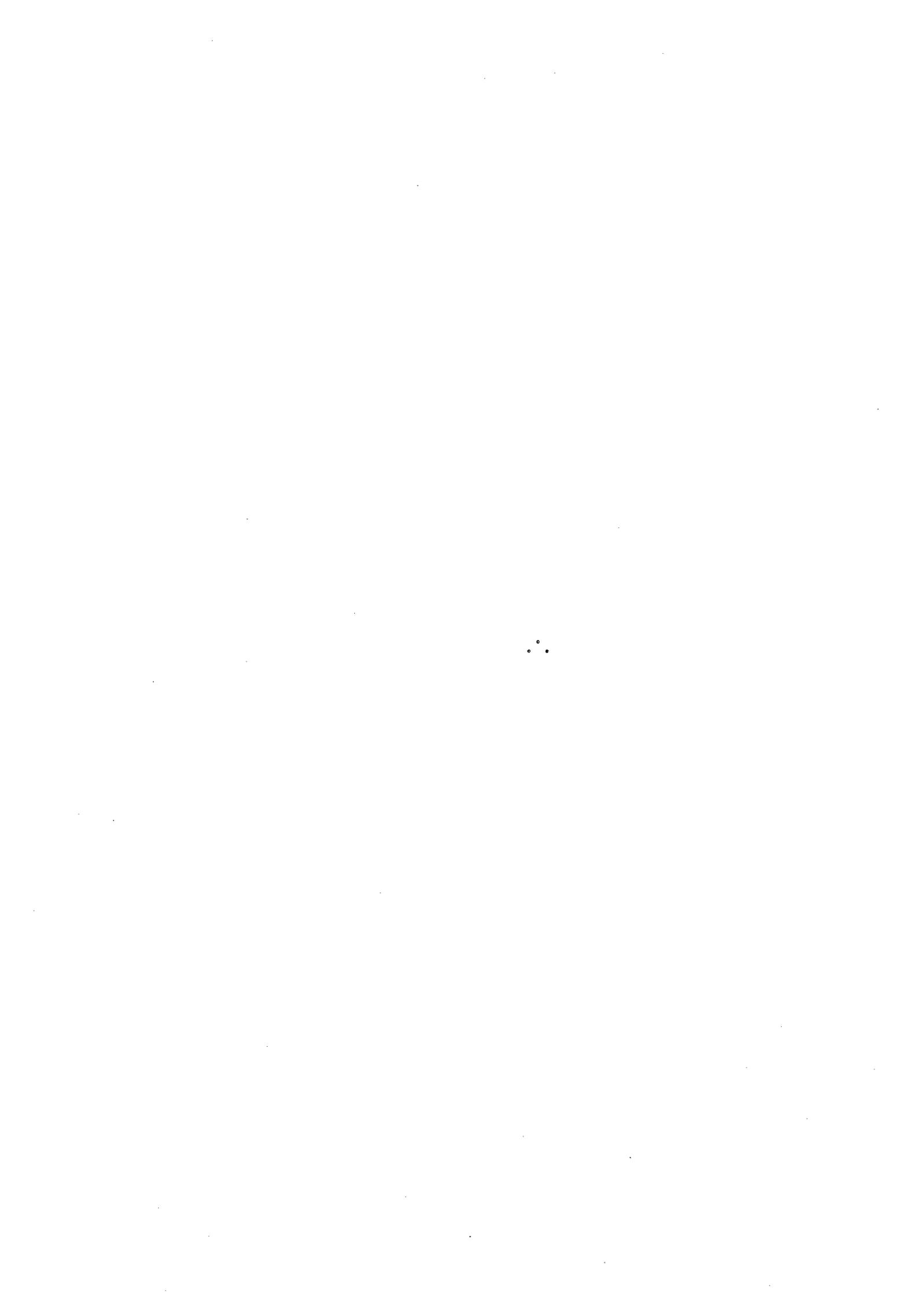


Fig. D.1 - Esquema para a estimação visual das relações de superfície.
FONTE: Lemos e Santos (1982).



APÊNDICE E

CLASSES TOPOGRÁFICAS RESULTANTES DA APLICAÇÃO DO ALGORITMO K-MÉDIAS

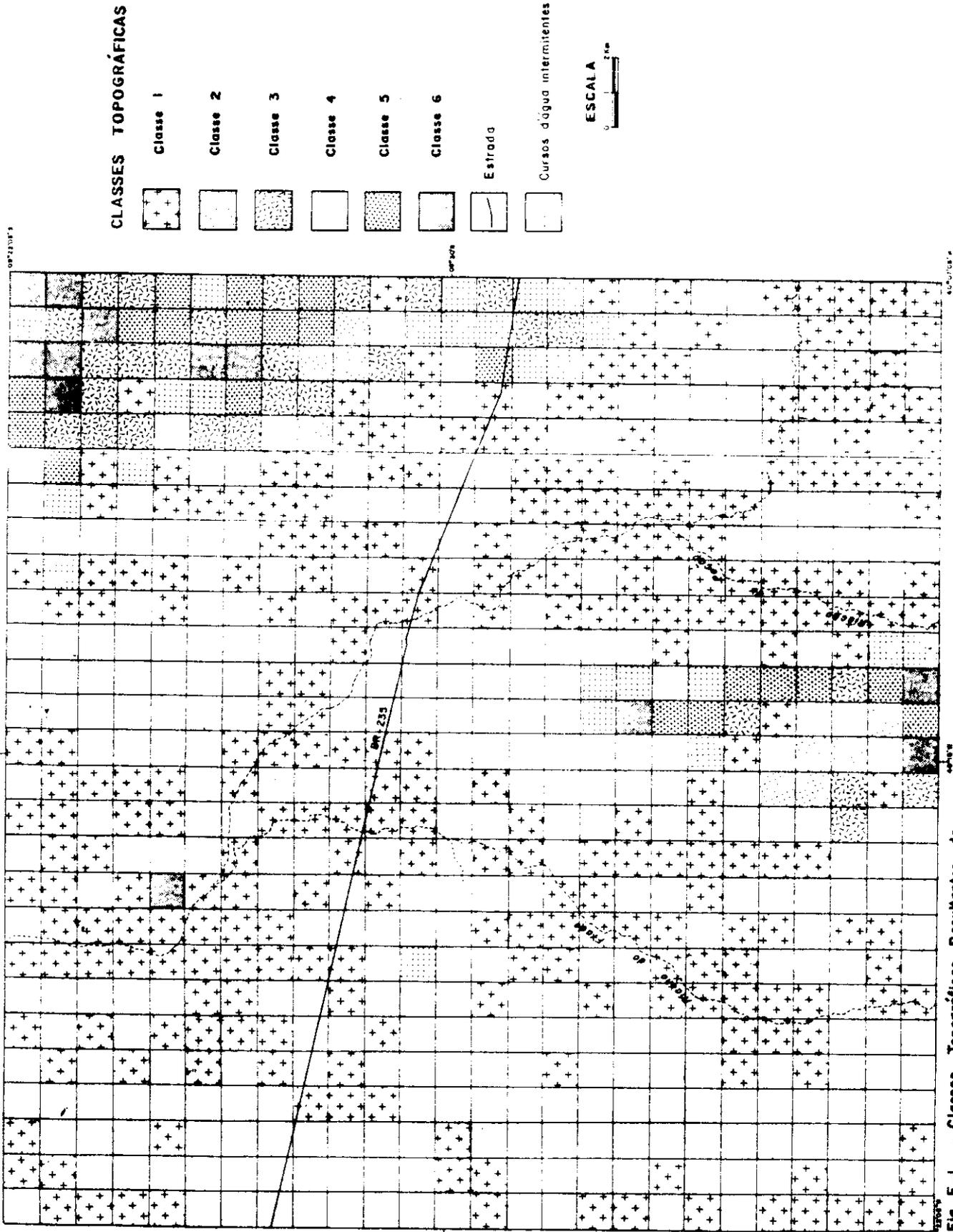


Fig. E-1 - Classes Topográficas Resultantes da Aplicação do Algoritmo K-médias.

APÊNDICE F

CLASSES DE DECLIVIDADE

APÊNDICE G

MAPA DE UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS OBTIDO A PARTIR DA
ANÁLISE VISUAL DAS FOTOGRAFIAS AÉREAS

TABELA G.1

LEGENDA DO MAPA DE UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

UNIDADE	LITOLOGIA	GEOMORFOLOGIA		BALANÇO MORFOGÊNESE - PEDOGÊNESE	ASSOCIAÇÕES DE SOLOS	COBERTURA VEGETAL		USO DO SOLO
		MORFOLOGIA	PROCESSOS			TIPO	DENSIDADE	
A1	calcário Caatinga	relevo plano, não-dissecado declividade: < 1%	escoamento superficial difuso (erosão laminar ligeira).	estável	Vertissolos (Vertissolo + Vertissolo Planossólico) + Cambissolo eutrófico.	Caatinga aberta EB (pinhão catingueira e faveleira) EH	< 10% 10 - 20%	Cultura irrigada (cana-de-açúcar).
A2	calcário Caatinga matatextitos	relevo suave ondulado, muito dissecado, declividade: 1 a 10%	escoamento difuso e concentrado (erosão laminar moderada, em sulcos e linear).	instável	Planossolo Solódico eutrófico + Solonetz Solódico + Vertissolos.	Caatinga aberta EA + EB (carqueja, catingueira, pinhão e faveleira) EH	10 - 30% 10 - 30%	Pecuária extensiva e agricultura de subsistência.
A3	metatextitos	relevo plano a suave ondulado, dissecado fraca a média, declividade: 1 a 5%	escoamento difuso e concentrado (erosão laminar ligeira, em sulcos e linear).	estável, localmente instável.	Podzólico Vermelho Amarelo eutrófico distrófico + Planossolo eutrófico + Bruno não Calcico.	Caatinga fechada EA + EB (catingueira, pereiro, faveleira, jurupira e carqueja) EH	40 - 60% 10 - 30%	Pecuária extensiva e agricultura de subsistência.
A4	diatextitos	relevo plano a ondulado, dissecado média, declividade: 1 a 15%	escoamento difuso e concentrado (erosão laminar moderada, em sulcos e linear) fragmentação granular das rochas.	instável, localmente estável.	Regossolo distrófico eutrófico + afloramentos rochosos.	Caatinga fechada e aberta EA + EB (catingueira, marmeleiro e jurema) EH (macambira e quipã)	40 - 60% 10 - 40%	Agricultura de subsistência e pecuária extensiva.
A5	granitos diversos indiferenciados	relevo suave ondulado, dissecado média declividade: 1 - 5%	escoamento difuso e concentrado (erosão laminar moderada, em sulcos e linear) fragmentação granular das rochas.	instável, localmente estável.	Regossolo distrófico eutrófico + afloramentos rochosos.	Caatinga fechada e aberta EA + EB (catingueira, marmeleiro e jurema) EH (macambira e quipã)	40 - 60% 20 - 40%	Agricultura de subsistência e pecuária extensiva.

(continua)

Tabela G.1 - Continuação

UNIDADE	LITOLOGIA	GEOMORFOLOGIA		BALANÇO MORFOGÊNESE - PEDOGÊNESE	ASSOCIAÇÕES DE SOLOS	COBERTURA VEGETAL		USO DO SOLO
		MORFOLOGIA	PROCESSOS			TIPO	DENSIDADE	
A6	metatextos	relevo plano, não-dissecado, declividade: até 3%	escoamento superficial difuso (erosão laminar ligeira).	estável	Podzólico Vermelho Amarelo distrófico + Latossolo Vermelho Amarelo distrófico + Planossolo Solódico eutrófico.	Caatinga fechada EA + EB (catingueira, carqueja, quebra-faca, pereiro e jurema). EH	60 - 80% 10 - 20%	Pecuária extensiva.
A7	coberturas detríticas	relevo plano, não-dissecado, declividade: até 3%	escoamento superficial difuso (erosão laminar ligeira).	estável	Latossolo Vermelho Amarelo eutrófico distrófico + Podzólico Vermelho Amarelo Latossólico distrófico eutrófico.	Caatinga fechada EA + EB (catingueira, carqueja, pereiro, quebra-faca e faveleira). EH	60 - 80% 10 - 20%	Pecuária extensiva e agricultura de subsistência.
AB	metatextos	relevo suave ondulado a ondulado, dissecado de fração a média declividade: 1 a 10%	escoamento difuso e concentrado (erosão laminar ligeira e linear).	estável, localmente instável.	Podzólico Vermelho Amarelo eutrófico distrófico + Bruno Não Cálcico.	Caatinga fechada EA + EB (catingueira, jurema, marmeleiro, pereiro, faveleira, pinhão e quebra-faca).	> 80%	Pecuária extensiva.
A9	metatextos	relevo plano a suave ondulado, dissecado fraca a média, declividade: 1 - 5%	escoamento difuso e concentrado (erosão laminar ligeira a moderada, em sulcos e linear).	transição, localmente estável e instável	Planossolo eutrófico distrófico + Planossolo Solódico eutrófico + Solos Litólicos distróficos eutróficos.	Caatinga aberta EA + EB (catingueira, faveleira, pinhão, jurema e pereiro). EH	20 - 30% 20 - 40%	Pecuária extensiva e agricultura de subsistência.
A10	metatextos	relevo plano a suave ondulado, dissecado fraca a média, declividade: 1 - 5%	escoamento difuso e concentrado (erosão laminar a moderada, em sulcos e linear).	transição, localmente instável.	Bruno Não Cálcico Vértico Planossólico + Bruno Não Cálcico Vértico + Planossolo Solódico eutrófico.	Caatinga aberta EA + EB (pinhão, catingueira, carqueja, faveleira e xique-xique). EH (capim panasco).	10 - 20% 60 - 80%	Pecuária extensiva.
A11	coberturas detríticas	relevo plano, não-dissecado, declividade: até 3%	escoamento superficial difuso (erosão laminar ligeira).	estável	Bruno Não Cálcico Vértico Planossólico + Bruno Não Cálcico Vértico.	Caatinga aberta EA - EB (catingueira, pinhão e xique-xique). EH (capim panasco).	< 10% 60 - 80%	Pecuária extensiva.

(continua)

Tabela G.1 - Conclusão

UNIDADE	LITOLOGIA	GEOMORFOLOGIA		BALANÇO MORFOGÊNESE - PEDOGÊNESE	ASSOCIAÇÕES DE SOLOS	COBERTURA VEGETAL		USO DO SOLO
		MORFOLOGIA	PROCESSOS			TIPO	DENSIDADE	
A12	granitos diversos indiferenciados, quartzitos, metabasitos, granulitos, granolitos, gnámbros e sienitos.	relevo ondulado a montanhoso, dissecado, declividade: 10 - 35%	escoamento difuso (ablação generalizada nas encostas) e concentrado (erosão linear) de desagregação das rochas e queda de blocos por gravidade.	instável	Solos Litólicos eutróficos + afloramentos rochosos.	Caatinga fechada EA + EB	> 80%	-0-
A13	metataxitos	relevo suave ondulado, dissecado média declividade: 1 - 5%	escoamento difuso e concentrado (erosão laminar ligeira a moderada, em sulcos e linear).	transição, localmente instável.	Planossolo eutrófico + Planossolo Solódico eutrófico + Bruno Não Cálcico.	Caatinga fechada EA + EB (catingueira, pinhão, faveleira, carqueja e xique-xique) EH (capim panasco)	20 - 40% 40 - 60%	Pecuária extensiva e agricultura de subsistência.
A14	coberturas detriticas	relevo plano, não dissecado declividade: ate 3%	escoamento superficial difuso (erosão laminar ligeira)	estável	Podzólico Vermelho Amarelo eutrófico + Planossolo eutrófico	Caatinga fechada EA + EB (catingueira, quebra-faca, pereiro, jurema e carqueja).	> 80%	Pecuária extensiva.
B1	aluvões	relevo suave ondulado, muito dissecado declividade: 1 - 10%	acumulação fluvial provocada por cheias peritídicas e escoamento concentrado (erosão em sulcos e linear)	instável	Solos Aluviais eutróficos distróficos + Solonetz Solódico + Planossolo Solódico eutrófico.	Caatinga aberta EA (especies perene folias e de Caatinga hipoxerófila). EH	50 - 70% 10 - 30%	Agricultura de subsistência e pecuária extensiva.
B2	metataxitos	relevo plano a suave ondulado, dissecado média declividade: 1 - 3%	escoamento difuso em forma de enxurrada (erosão laminar moderada) escoamento concentrado (erosão em sulcos e linear)	instável	Planossolo Solódico eutrófico + Solonetz Solódico + afloramentos rochosos.	Caatinga aberta EB (catingueira, carqueja, faveleira, pinhão) EH	20 - 30% 20 - 40%	Pecuária extensiva e agricultura de subsistência.
NOTA: EA (Estrato Arbóreo); EB (Estrato arbustivo) e EH (Estrato Herbáceo).								

APÊNDICE H

ESBOÇO DA REDE DE DRENAGEM EXTRAÍDA DAS FOTOGRAFIAS AÉREAS