



1. Classificação: <i>INPE-COM. 2/NTI</i> <i>C.D.U.: 621.38SR: 550.8</i>		2. Período	4. Critério de Distribuição:		
3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor)			interna <input checked="" type="checkbox"/>	externa <input type="checkbox"/>	
<i>SENSORIAMENTO REMOTO</i>		<i>GOMORFOLOGIA</i>			
<i>ZINCO</i>		<i>GEOBOTÂNICA</i>			
<i>GEOLOGIA</i>					
5. Relatório nº	6. Data	7. Revisado por			
<i>INPE-1217-NTI/100</i>	<i>Abri! de 1978</i>	<i>Paulo Roberto Meneses</i>			
8. Título e Sub-Título		9. Autorizado por			
<i>RELATÓRIO FINAL DO PROJETO ZINCO</i>		<i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Director</i>			
10. Setor <i>DSR</i>	Código	11. Nº de cópias <i>8</i>			
12. Autoria <i>Flávio Soares do Nascimento</i> <i>Maria Amélia L. Soares do Nascimento</i> <i>Sherry Chou Chen</i>		14. Nº de páginas <i>124</i>			
13. Assinatura Responsável <i>Flávio Soares do Nascimento</i>		15. Preço			
16. Sumário/Notas <i>Fez-se um estudo visando a aplicação de Sensores Remotos à prospecção de minerais de zinco e chumbo na Formação Paraopeba, do Grupo Bambuí. Foi escolhida a área teste no Município de Vazante, no Estado de Minas Gerais. O estudo constou de mapeamento geológico, compartimentação geomorfológica, geobotânica e identificação de zonas mineralizadas. Os resultados da pesquisa mostraram que as fotografias aéreas branco e pretas e as transparências coloridas infravermelho foram eficientes no mapeamento das três unidades litológicas da Formação Paraopeba e identificação das zonas mineralizadas, respectivamente. As transparências multiespectrais I²S separaram com maior facilidade os dolomitos, que são as rochas condicionantes de mineralizações de zinco e chumbo. As análises estatísticas dos dados morfométricos obtidos de fotografias aéreas branco e pretas e contas topográficas, discriminaram as três unidades litológicas da Formação Paraopeba e permitiram a elaboração de uma compartimentação geomorfológica da área em três unidades distintas: Relevo Cástrico, Relevo de Cristas e Relevo de Colinas. Os estudos geobotânicos constaram de análises químicas de solos e plantas e análise anatômica das plantas, confirmando que o nível de toxidez na zona mineralizada é um dos fatores que controla a distribuição da vegetação.</i>					
17. Observações					

ÍNDICE

SUMÁRIO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO	1
1.1 - Histórico do Projeto	1
1.2 - Objetivos	6
1.3 - Justificativa da Escolha da Área Teste	7
1.4 - Localização e Descrição da Área	8

CAPÍTULO II

MATERIAIS E MÉTODOS	15
2.1 - Materiais	15
2.1.1 - Sistemas em Nível de Aeronave	15
2.1.2 - Sistemas Orbitais	16
2.1.3 - Cartas Topográficas e Mapas Geológicos	17
2.2 - Metodologia	18
2.2.1 - Fotointerpretação Geológica e Análise Estatística de Dados Morfométricos	19
2.2.2 - Análise Visual e Automática da Zona Mineralizada	28
2.2.3 - Geobotânica	31
2.2.4 - Trabalho de Campo	33

CAPÍTULO III

RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
3.1 - Geologia da Região de Vazante	35
3.1.1 - Mapa Geológico	35
3.1.2 - Fotointerpretação Geológica	38
3.1.3 - Discussão dos Resultados dos Mapeamentos Geológico e Trabalhos Anteriores	43

3.2 -	Compartimentação Geomorfológica da Área, com base em Variações Morfométricas	51
3.2.1 -	Análise Estatística dos Dados	51
3.2.2 -	Compartimentação Geomorfológica da Área	63
3.3 -	Comparação entre Sensores Fotográficos com Base na Rede de Drenagem	70
3.4 -	Utilização de Dados do LANDSAT na Compartimentação Geomorfológica	77
3.5 -	Análise de Superfície de Tendência	82
3.6 -	Análise Visual e Automática da Zona Mineralizada	95
3.6.1 -	Análise Visual de Transparências Coloridas Normais e Infravermelho	95
3.6.2 -	Análise Estatística da Classificação Automática de Dados Obtidos com Transparências Infravermelho Coloridas	96
3.7 -	Geobotânica	99
3.7.1 -	Análise Química de Plantas e Solos	99
3.7.2 -	Análise Anatômica das Plantas	103
 <u>CAPÍTULO IV</u>		
	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	105
	BIBLIOGRAFIA	109

SUMÁRIO

Fez-se um estudo visando a aplicação de Sensores Remotos à prospecção de minerais de zinco e chumbo na Formação Paraopeba do Grupo Bambuí. Foi escolhida a área teste no município de Vazante, no Estado de Minas Gerais. O estudo constou de mapeamento geológico, compartimentação geomorfológica, com base em técnicas quantitativas, identificação de zonas mineralizadas e estudos geobotânicos. Os resultados da pesquisa mostraram que as fotografias aéreas branco e pretas e as transparências coloridas infravermelho foram eficientes no mapeamento das três unidades litológicas da Formação Paraopeba e identificação das zonas mineralizadas, respectivamente. As transparências multiespectrais I²S separaram com maior facilidade os dolômitos, que são as rochas condicionantes de mineralizações de zinco e chumbo. As análises estatísticas dos dados morfométricos obtidos de fotografias aéreas branco e pretas e cartas topográficas, discriminaram as três unidades litológicas da Formação Paraopeba, e permitiram a elaboração de uma compartimentação geomorfológica da área em três unidades distintas: Relevo Cárstico, Relevo de Cristas e Relevo de Colinas. Os estudos geobotânicos constaram de análises químicas de solos e plantas e análise anatômica das plantas; confirmaram que o nível de toxidez na zona mineralizada, é um dos fatores que controla a distribuição da vegetação.

ABSTRACT

A study of Remote Sensing applying to the zinc and lead mineral prospections of the Paraopeba Formation in the Bambuí Group was carried out in the area of Vazante, State of Minas Gerais. This study included geological mapping; quantitative analysis of geomorphological indexes, the identification of both lead and zinc mineralized zones and geobotanical studie. The results showed that the black and white aerial photographs and the color infrared transparencies were efficient for the mapping of three lithological units of the Paraopeba Formation and for the mineralized zones identification, respectively. The multispectral transparencies of I²S made it easier to separate dolomits, which are the rocks conditioning the zinc and lead mineralization. The statistical analysis of the morphometric indexes obtained from black and white photographs and topographic charts showed significant difference among the three lithological units of Paraopeba Formation which can be defined as Crest, Hilly and Karstic Reliefs. The geobotanical study included the analysis of plants and soils samples. The anatomical study of plant samples were also carried out. The results showed that the toxicity of the mineralized area was one of the factors which control the vegetation distribution.

LISTA DE FIGURAS

I.1	-	Localização da Área	9
I.2	-	Grupos e Sub-Grupos Climáticos no Brasil, segundo a Classificação Climática de Strahler	10
I.3	-	Diagrama Ombrotérmico de Gausсен e Bagnouls	12
II.1	-	Medida de Concavidade e Convexidade	23
II.2	-	Histograma da Classificação Fornecida pelo Sistema I-100, em Transparências Infravermelho Colorido	30
II.3	-	Localização dos Pontos na Área Teste.....	32
III.1	-	Diagrama de Juntas	39
III.2	-	Canal 7 com Constraste - Sistema I-100. Destaca-se o falhamento NE nas Serras Poço Verde, Sucuri e Ouro Podre, com mineralizações em zinco	43
III.3	-	Canal 5 com constraste - Sistema I-100. A unidade Geológica constituída por metassiltitos com lentes de dolomito é individualizada no centro da fotogra fia. Observam-se também estruturas semi-circulares	44
III.4	-	Composição Colorida Infravermelho. Sistema I-100. Destaca-se um grande falhamento de direção NW no Córrego Palmital	45
III.5	-	Amostras Circulares da Rede de Drenagem em Relevo Cárstico	73
III.6	-	Amostras Circulares da Rede de Drenagem em Relevo de Cristas	75
III.7	-	Amostras Circulares da Rede de Drenagem em Relevo de Colinas	78
III.8	-	Amostras Circulares da Rede de Drenagem, extraídas das imagens LANDSAT	81
III.9	-	Perfis dos Resíduos das Variáveis Altitude (A) e Amplitude (B)	87

III.10 - Perfil dos Resíduos da Variável Densidade de Drenagem (Superfície de grau 6).....	88
III.11 - Mapa de Tendência da Variável Altitude	89
III.12 - Mapa de Tendência da Variável Amplitude	90
III.13 - Mapa de Tendência da Variável Densidade de Drenagem.....	91
III.14 - Mapa de Tendência da Variável Frequência de Rios	92
III.5 - Fotografia Colorida Infravermelho, onde a zona mineralizada aparece na cor verde azulada, em faixas descontínuas	97

LISTA DE TABELAS

I.1 - Relação das Transparências Obtidas nas Missões Fotográficas I e III, em 8 e 9/6/75 e 22/09/75, na Área Teste Pa _{racatu}	4
I.2 - Relação das Transparências Obtidas nas Missões Fotográficas I e II, em 8 e 9/6/75 e 22/9/74 na Área Teste Va _{zante}	5
III.1 - Análise de Variância dos Índices de Densidade de Drenagem..	52
III.2 - Teste da Menor Diferença Significativa às Classes de Den _{sidade de Drenagem}	52
III.3 - Análise de Variância dos Índices de Frequência de Rios	53
III.4 - Teste da Menor Diferença Significativa às Classes de Frequência de Rios	53
III.5 - Análise de Variância dos Índices de Textura Topográfica ...	54
III.6 - Teste da Menor Diferença Significativa às Classes de Textura Topográfica	54
III.7 - Análise de Variância dos Índices de Densidade de Drenagem	56
III.8 - Análise de Variância dos Índices de Frequência de Rios	56
III.9 - Análise de Variância dos Índices de Concavidade e Conve _{xidade}	57
III.10 - Análise de Variância dos Índices de Declividade Média	57
III.11 - Teste da Menor Diferença Significativa às Classes de Declividade	58
III.12 - Análise de Variância dos Índices de Altitude	58
III.13 - Teste de Menor Diferença Significativa às Classes de Altitude Média	59
III.14 - Análise de Variância dos Índices de Amplitude Média.....	59
III.15 - Teste de Menor Diferença Significativa às Classes de Amplitude	60

III.16 - Coeficientes de Correlação Obtidos entre as Variáveis Morfométricas para a Unidade A	61
III.17 - Coeficientes de Correlação Obtidos entre as Variáveis Morfométricas para a Unidade B	62
III.18 - Coeficientes de Correlação Obtidos entre as Variáveis Morfométricas para a Unidade C	62
III.19 - Coeficientes de Correlação mais Elevados entre as Variáveis	63
III.20 - Dados de Densidade de Drenagem Coletados a partir de dois tipos de Sensores Fotográficos para o Relevo Cárstico	71
III.21 - Tabela de Análise de Variância	71
III.22 - Dados de Densidade de Drenagem Coletados a Partir de Dois Tipos de Sensores para o Relevo de Cristas	72
III.23 - Tabela de Análise de Variância	74
III.24 - Dados de Densidade de Drenagem Coletados a Partir de Dois Tipos de sensores para o relevo de colinas	76
III.25 - Tabela de Análise de Variância	76
III.26 - Dados de Densidade de Drenagem Obtidos Através de Imagens LANDSAT para as Três Unidades Geomorfológicas da Área	79
III.27 - Análise de Variância entre as Três Unidades Geomorfológicas da Área Através dos Índices de Densidade de Drenagem	79
III.28 - Teste da Menor Diferença Significativa entre as Três Unidades Geomorfológicas	80
III.29 - Análise de Variância entre as Superfícies de Grau 8 e de Grau 7 para a Variável Altitude	82
III.30 - Análise de Variância entre as Superfícies de Grau 6 e Grau 5 para a Variável Amplitude	83
III.31 - Análise de Variância entre as Superfícies de Grau 7 e Grau 6 para a Variável Densidade de Drenagem	84

III.32 - Análise de Variância entre as Superfícies de Grau 8 e Grau 7 para a Variável Frequência de Rios	85
III.33 - Teste de Student para Zona Mineralizada e Zona não Mineralizada	98
III.34 - Análise Química dos Solos da Área Teste	100
III.35 - Análise Química de Plantas da Área Teste	102

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Considerando as solicitações do II PND, com relação a crescente demanda de minerais não ferrosos no mercado interno, e a situação deficitária do país, que pode ser constatada pelo volume de importações desses metais, ou seja, 64.653,27. (60% do consumo nacional), equivalente a US\$ 80.567.267 no ano de 1974 (DNPM, 1975), é necessário não só o aumento da pesquisa mineral nesse setor, mas também a implantação de novos métodos de prospecção, que aumentem as possibilidades de suprir as necessidades do país. Desta forma o Instituto de Pesquisas Espaciais, através do Departamento de Sensoriamento Remoto, atendendo a estas solicitações, procura desenvolver novas metodologias, por meio de projetos específicos, entre os quais se encontra o Projeto Zinco. Este projeto foi desenvolvido por uma equipe multidisciplinar e constou de estudos geológicos, geomorfológicos e geobotânicos, na região de Vazante (MG), e procurou estabelecer uma metodologia de análise e aplicação de dados de sensores fotográficos e não fotográficos, na prospecção de áreas de possíveis mineralizações de zinco e chumbo no Grupo Bambuí (unidade geológica com elevada potencialidade em minerais não ferrosos).

1.1 - HISTÓRICO DO PROJETO

A idéia inicial de um estudo sobre a aplicação de Sensoriamento Remoto em estudos geológicos, na região de Vazante, MG, encontra-se definida no Plano de Missão 109 (Vazante). Foi proposta por Padilha em 1971 com o propósito de determinar parâmetros geológicos regionais, partindo de um completo interrelacionamento entre parâmetros locais, relativos às interdependências entre a cobertura vegetal especializada e a área mineralizada.

Em 1972, com a realização do primeiro sobrevôo da aeronave Bandeirantes sobre a região de Vazante, foram obtidos os seguintes produtos fotográficos:

- Transparências coloridas normais, coloridas infra-vermelho, branco e pretas com filtro verde, branco e pretas com filtro vermelho, nas escalas 1:60.000 e 1:90.000;
- Transparências coloridas normais e coloridas infravermelho, nas escalas 1:15.000 e 1:30.000;
- Filmes e fita magnética do scanner LRi-3, sobre a zona mineralizada.

Carraro (1972), analisando as transparências, concluiu:

- As transparências coloridas nas escalas 1:60.000 e 1:90.000, apresentaram uma tonalidade azulada uniforme em toda a extensão, devido provavelmente à falta de filtro conveniente, fato que se agravou com o aumento da altura de vôo nestas escalas;
- As transparências coloridas normais, nas escalas 1:15.000 e 1:30.000, tiveram um bom contraste de cor, mas devido a similaridade da resposta espectral da vegetação na faixa do visível, não se observaram diferenças entre as formações geológicas;
- As transparências coloridas infra-vermelho, nas escalas 1:25.000 e 1:30.000, apresentaram ótima qualidade, sendo possível uma fotointerpretação das diferentes formações geológicas e da zona mineralizada, delimitada pelas diferenças de cor das regiões adjacentes.

Carraro e Yamagata (1974), propuseram o Projeto Zinco, que teria como objetivo, coletar dados com sensores fotográficos sobre o Grupo Bambuí.

Nascimento et al. (1975), encarregados de execução do projeto, recomendaram a realização do sobrevôo nas áreas testes de Vazante, Paracatu e Januária (MG), utilizando os sensores previamente definidos, com base nos estudos até então realizados.

Posteriormente, em junho de 1975, com o interesse do United States Geological Survey (USGS), foi realizado o sobrevôo, conforme o planejamento da missão fotográfica INPE/CPRM/USGS.

Correa e Nascimento (1975), planejaram a segunda missão fotográfica na área teste Vazante-Paracatu, realizada em setembro de 1975, devido às falhas de recobrimento observadas na missão anterior.

Como resultado das duas missões fotográficas realizadas em 1975, são apresentadas as Tabelas I.1 e I.2, com informações sobre os produtos fotográficos obtidos, que se encontram no laboratório fotográfico em Cachoeira Paulista.

A partir de fevereiro de 1976, iniciaram-se as atividades do Projeto Zinco, com o objetivo de analisar dados de sensores fotográficos na faixa do visível e infravermelho, para identificação de zonas mineralizadas em zinco e chumbo na área de Vazante, baseado-se em estudos geológicos, geomorfológicos e geobotânicos na Formação Paraopeba do Grupo Bambuí.

TABELA I.1

RELAÇÃO DAS TRANSPARÊNCIAS OBTIDAS NAS MISSÕES FOTOGRÁFICAS I E II, EM 8 E 9/6/75

E 22/09/75, NA ÁREA TESTE PARACATU

ESCALAS MISSÕES	1:30.000 (I ² S)	1:20.000 (RC-10)	1:10.000 (I ² S)	1:50.000 (I ² S)
MISSÃO FOTOGRAFICA I	Rolo nº 3 Transparências Números: 103 a 139 106 a 134	Rolo nº 8. Transparências Números: 6717 a 6731 6662 a 6674	*	*
MISSÃO FOTOGRAFICA II	*	Rolo nº 6 Transparências Números: 934 a 936 941 a 943 944 a 946 947 a 949	*	*

* Foram plotados no Laboratório Fotográfico de Cachoeira Paulista.

TABELA I.2

RELAÇÃO DAS TRANSPARENCIAS OBTIDAS NAS MISSÕES FOTOGRÁFICAS I E II, EM 8 E 9/6/75
E 22/9/75 NA ÁREA TESTE VAZANTE

ESCALAS MISSÕES	1:30.000 (I ² S)	1:20.000(RC-10)	1:10.000 (I ² S)	1:5.000 (I ² S)
MISSÃO FOTOGRAFICA I	Rolos nºs 1 e 2 Transparências Números: 15 a 35 44 a 69 81 a 106 108 a 134	Rolo nº 8 Transparências Números: 6605 a 6616 6622 a 6631	Rolo nº 6. Transparências Números: 12 a 32 35 a 37 68 a 70 92 a 112 126 a 144	Rolo nº 7 Transparências Números: 165 a 199 201 a 235 237 a 271 273 a 302
	Rolo nº 1 Transparências Números: 12 a 42 44 a 82 89 a 119 121 a 158 163 a 190 192 a 222	Rolo nº 3 Transparências Números: 9221 a 9238 9240 a 9259 *	Rolo nº 2 Transparências Números: 47 a 80 82 a 110 113 a 147 149 a 184	Rolo nº 2 Transparências Números: 12 a 42 186 a 208 210 a 232
MISSÃO FOTOGRAFICA II				

* Utilizou-se filme planejado para a câmara I²S.

1.2 - OBJETIVOS

- Avaliar as fotografias aéreas branco e pretas, transparências multiespectrais I²S e fitas compatíveis com o computador, do sistema LANDSAT no mapeamento geológico da Formação Paropeba.
- Testar a aplicabilidade do sistema de classificação automatica I-100, com os dados de Sistema LANDSAT, como apoio às fotointerpretações geológicas realizadas com os sensores fotográficos.
- Avaliar as transparências coloridas normais e infravermelho na discriminação de zonas mineralizadas em zinco e chumbo.
- Testar a aplicabilidade do sistema de classificação automatica I-100, na separação de zonas mineralizadas conhecidas visiualmente em transparências coloridas infravermelho.
- Verificar a possível toxidez de zinco sobre plantas em zonas mineralizadas, baseando-se em análises químicas de solos e plantas, e análise automática das plantas.
- Verificar a toxidez de zinco no controle e distribuição da Gonphrena sp, também, a tolerância do teor de zinco para esta espécie, baseando-se em estudos de estufa.
- Discutir a estratigrafia, estrutura, tectônica, litologia e gênese das mineralizações na região de Vazante, MG.
- Testar as variáveis morfométricas ex traídas de fotografias aéreas branco e pretas e cartas topográficas, na discriminação das unidades litológicas mapeadas.

- Sugerir uma compartimentação geomorfológica para a área, com base na análise de variância e análise de correlação das variâncias morfométricas, extraídas de fotografias aéreas branco e pretas e de cartas topográficas.
- Verificar quais dos produtos fotográficos (fotografias aéreas branco e pretas ou transparências multiespectrais I²S) fornecem mais informações sobre a rede de drenagem, para cada unidade litológica mapeada.
- Testar as imagens LANDSAT, escala 1:250.000, na compartimentação geomorfológica da área, com base na rede de drenagem.
- Analisar a tendência regional das variáveis morfométricas extraídas de cartas topográficas e fotografias aéreas branco e pretas na área.

1.3 - JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DA ÁREA TESTE

A região de estudo reúne amplas condições para o desenvolvimento de um trabalho de pesquisas geológicas:

- A jazida ou Vazante é o maior depósito de minério de zinco conhecido no país, e vem sendo estudada desde 1964.
- A mineralização está encaixada em rochas da Formação Paraopeba, do Grupo Bambuí, unidade geológica com ampla distribuição geográfica.
- Existe uma notável associação entre espécies vegetais, características do cerrado, e diferentes tipos de rocha e minério de zinco.
- A mineralização é controlada por fraturas e falhas, que estão refletidas no relevo por uma topografia mais elevada,

numa superfície predominantemente plana.

- Além disso, há grande quantidade de fotografias e transparencias, obtidas com vários tipos de sensores, através da aeronave Bandeirantes PP-FCX, do Instituto de Pesquisas Espaciais, nos anos de 1972 e 1975 e bibliografia adequada.

1.4 - LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA

A área localiza-se a noroeste do Estado de Minas Gerais (Figura I.1), abrangendo a cidade de Vazante, as Serras Poço Verde, Sucuri e Ouro Podre e os Morros Lapa Nova e das Minas, entre as coordenadas:

<u>LATITUDE SUL</u>	<u>LONGITUDE OESTE</u>
17°46'15''	46°46'34''
17°49'48''	46°41'26''
18°04'33''	46°52'40''
18°01'08''	46°56'57''

O acesso até a cidade de Vazante pode ser feito através da cidade de Paracatú (Km 516 da rodovia BR-040 - Belo Horizonte - Brasília), de onde se segue por 118 km de estrada de terra perfeitamente trafegável, mesmo na estação chuvosa, até a cidade de Vazante. A cidade de Paracatú é servida por aeroporto com pista não pavimentada. Outro acesso até Vazante pode ser feito passando pela cidade de Patos de Minas, seguindo-se por 130 km de estrada dificilmente trafegável na estação chuvosa.

A área encontra-se no domínio das massas de ar equatoriais e tropicais, com clima tropical alternadamente úmido e seco, segundo a classificação climática Strahler (Figura I.2).

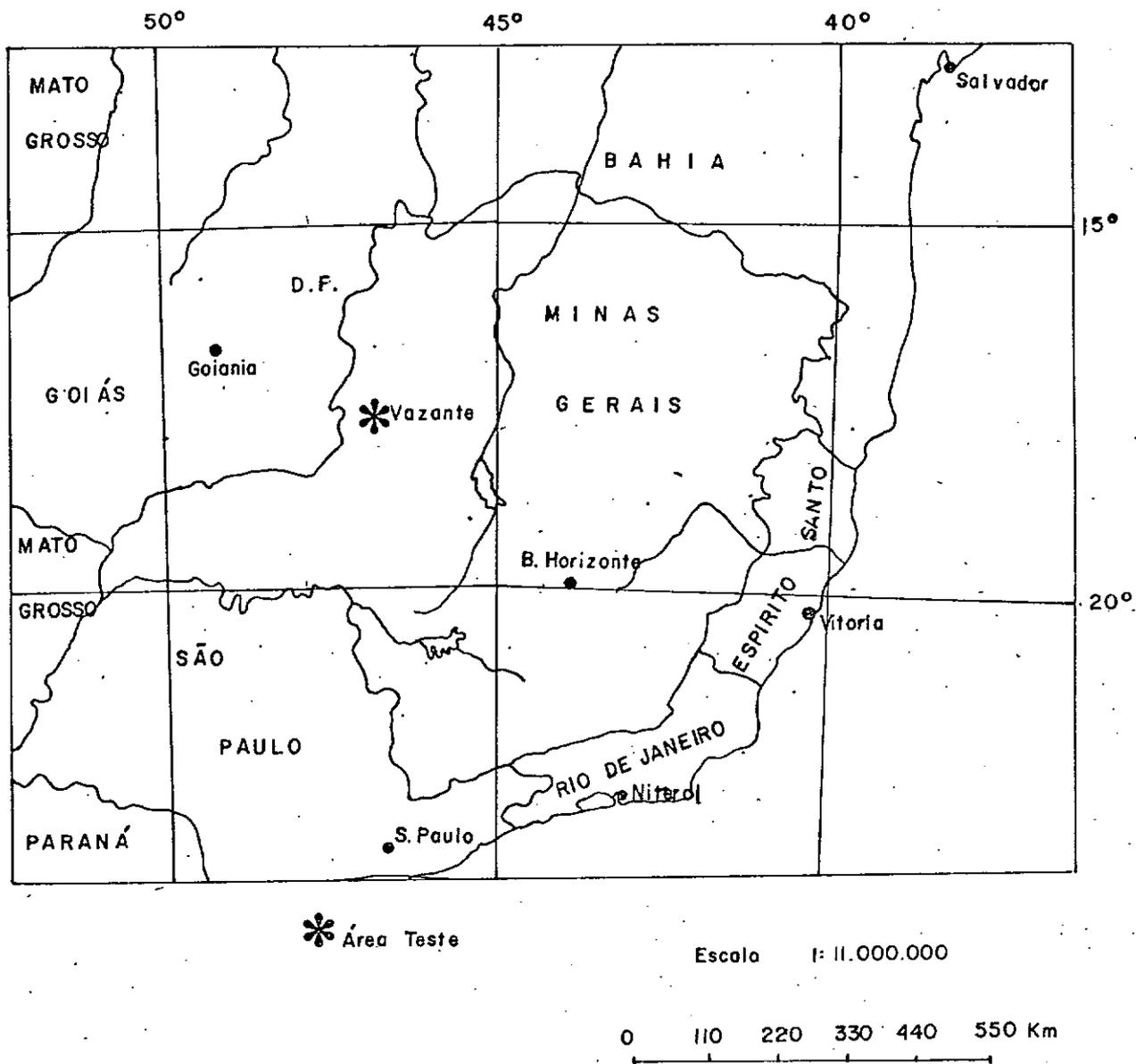


Fig. 1.1 - Localização da Área

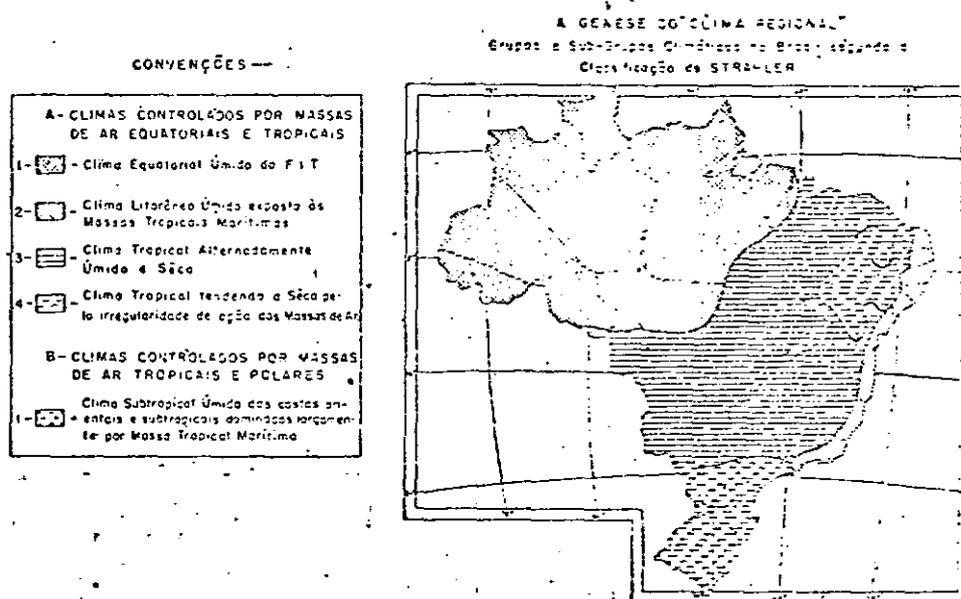


Fig. I.2 - Grupos e Sub-Grupos Climáticos no Brasil, segundo a Classificação Climática de Strahler.

Fonte: Monteiro, C.A.F. - Grande Região Sul.

Durante todo ano atua a massa de ar Tropical Atlântica (ta), quente, úmida, e com tendência à estabilidade, devida à subsidência superior.

No verão atua a massa de ar Equatorial Continental (Ec) que, dada à ausência de subsidência, tem um caráter de instabilidade, produzindo precipitações abundantes.

No inverno atua a massa de ar Equatorial Atlântica (Ea) que, apesar de possuir calor e muita umidade nos seus níveis inferiores, não possui instabilidades provocadoras de chuvas devido à existência, nos níveis superiores, de uma inversão térmica.

A temperatura média é de 21,4^oC, registrando-se as temperaturas mais elevadas nos meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro e fevereiro, e as mais baixas no restante do ano, com o mínimo no mês de julho. Não há variações térmicas pronunciadas durante todo ano, talvez pela ausência de massas de ar polares na região.

Os valores das amplitudes térmicas diárias, mostram grandes variações, causadas, talvez, pelo efeito da continentalidade.

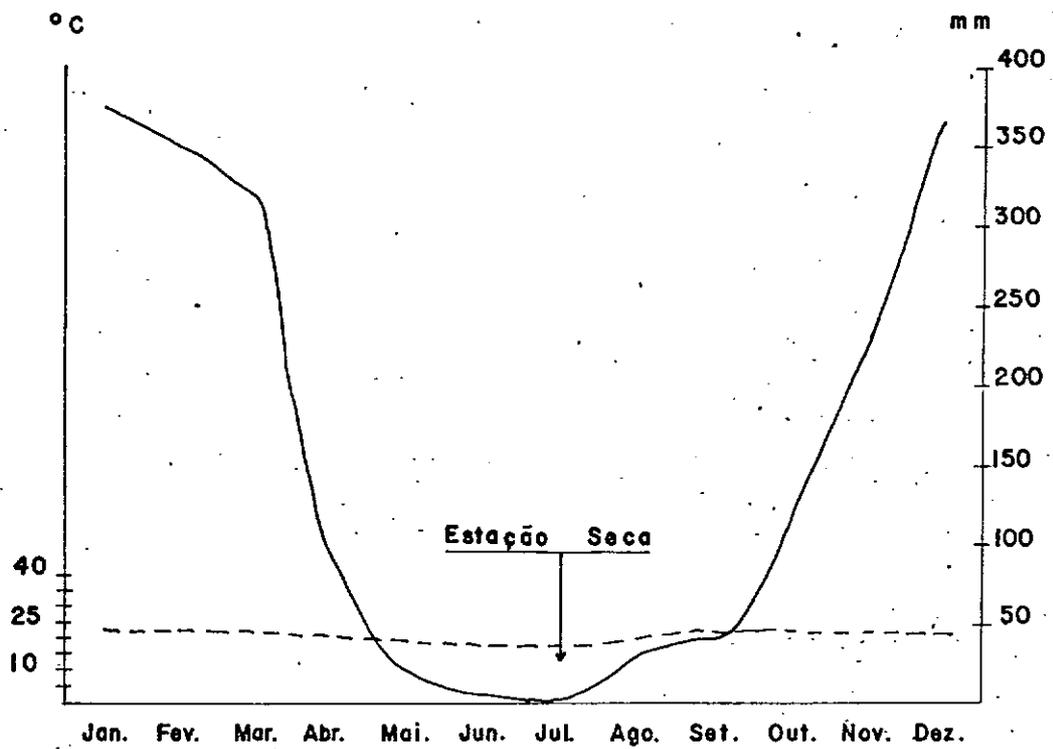
Segundo a classificação de Gaussen e Bagnouls (1953), a estação seca é a sequência dos meses maio, junho, julho, agosto e setembro, sendo considerado mês seco, aquele em que o total das precipições, em milímetros, é igual ou inferior ao dobro da temperatura em graus centígrados: $P \leq 2T$.

A determinação gráfica da estação seca é feita através da construção do diagrama ombrotérmico (Figura I.3), onde a superfície de cruzamento das curvas de precipitação e temperatura determinam a estação seca, período do ano em que a água existe em quantidade insuficiente ou mesmo ausente.

*Paracatu, M.G.

Lat. 17°13'S Long. 46°53'W

600 m Altitude



*Utilizaram-se os dados da cidade de Paracatu, por serem os mais próximos da cidade de Vazante.

O período de registros para os dados de precipitação é de 7 a 9 anos, e para os dados de temperatura de jan., fev., mar. e abr. é de 8 anos; para os outros meses é de 9 anos.

Fonte: Relatório Técnico Sobre a Nova Capital da República, 1956 - DASP

Fig. 1.3 - Diagrama Ombrotermico de Gaussen e Bagnouls

A vegetação é de cerrado, ocorrendo variações vinculadas ao relevo, solo e litologia.

Nas superfícies mais elevadas, com relevo acidentado, o cerrado é ralo, com árvores pouco desenvolvidas e predomínio de gramíneas. A mata galeria acompanha a maior parte dos cursos d'água. Os solos não são, bem desenvolvidos, devido à aceleração da erosão nos gradientes mais íngremes, deixando expostas as camadas inferiores do solo em formação. Há um predomínio de litossolos.

Nas superfícies planas, predomina o cerrado, com árvores de maior porte e menos espaçadas entre si. Aparece a mata seca de folhas caducas, cor esbranquiçada, e grande quantidade de cactáceas e barrigudas. Predominam latossolos vermelhos - escuros e vermelho amarelos.

CAPÍTULO II

MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 - MATERIAIS

2.1.1 - SISTEMAS EM NÍVEL DE AERONAVE

Para a coleta de dados de sensores fotográficos na região de Vazante, foi utilizada a Aeronave Bandeirante, do Instituto de Pesquisas Espaciais, que sobrevoou a área em diferentes altitudes, nos meses de julho de 1972 e junho e setembro de 1975.

2.1.1.1 - FOTOGRAFIAS AÉREAS BRANCO E PRETAS

Essas fotografias foram obtidas através da câmara Hasselblad ($f = 50$ mm), descrita no Manual de Sensoriamento Remoto (Reeves et al. 1975). Esta câmara se encontrava equipada com o filme plus-X Aerographic com filtro vermelho. O filme foi revelado em transparências 70mm no Laboratório Fotográfico do Instituto de Pesquisas Espaciais, numa escala 1:90.000 e ampliadas em cópia de papel para escala 1:30.000. Foram utilizadas 40 fotografias de 16,5 cm x 16,5 cm cada.

2.1.1.2 - TRANSPARÊNCIAS MULTIESPECTRAIS I²S

As transparências multiespectrais foram obtidas utilizando-se a câmara I²S (International Imaging Systems), com distância focal de 100 mm. Essa câmara encontra-se descrita no Manual de Sensoriamento Remoto (Reeves et al., 1975).

Foi utilizado o filme branco e preto Kodak Aerographic 2424, sensível à radiação visível e infravermelho. Nas objetivas fo

ram acoplados os filtros de transmitância espectral específica, produzindo imagens nas faixas espectrais do azul, verde, vermelho e infravermelho, tomadas simultaneamente de uma mesma cena.

Os filmes foram revelados e copiados em transparências positivas, na escala original (1:30.000), que contém as cenas das quatro bandas espectrais. em tamanho de 9,4 x 9,4 cm.

2.1.1.3 - TRANSPARÊNCIAS COLORIDAS NORMAIS E INFRAVERMELHO

Foram utilizadas as transparências 70 mm coloridas, normais e infravermelho, nas escalas 1:15.000 e 1:30.000. Essas transparências foram obtidas a partir da câmara Hasselblad, filme 70mm, colorido normal, Ektachrome MS, e colorido infravermelho, Aerochrome IR, com filtro laranja.

2.1.2 - SISTEMA ORBITAL

O sistema LANDSAT, originalmente denominado ERTS (Earth Resources Technology Satellite), encontra-se bem caracterizado no Manual do LANDSAT (NASA, 1972).

O satélite LANDSAT-1 possui dois tipos de sensores: imageador multiespectral (MSS-Multiespectral Scanner) e um conjunto de três câmaras de televisão (RBV - Return Beam Vidicon), desligado alguns dias após o lançamento.

O imageador multiespectral (Scanner) obtém a imagem da superfície da terra em quatro bandas espectrais, simultaneamente, na escala original de 1:3.369.000, com resolução de 60x80m., no terreno:

- canal 4: 0,5 a 0,6 (verde-laranja)
- canal 5: 0,6 a 0,7 (laranja-vermelho)
- canal 6: 0,7 a 0,8 (vermelho-infravermelho)
- canal 7: 0,8 a 1,1 (infravermelho próximo)

2.1.2.1 - FITAS COMPATÍVEIS COM O COMPUTADOR (CCT'S)

Os dados provenientes do MSS e RBV e outras informações são transmitidos à terra e recebidos pelas estações de recepção e gravação. Após a gravação, são processados nas estações de processamento, onde são convertidos em fitas compatíveis com o computador, utilizadas neste trabalho.

A cada quadro (conjunto de 4 imagens) corresponde um conjunto de duas fitas, no qual estão armazenadas as matrizes digitais representativas dessas imagens. Essas fitas são denominadas CCT (Computer Compatible Tapes), ou fitas compatíveis com o computador (Palestino, 1976). Foi utilizada a fita CCT nº 3-239-12-37-45, órbita 178, ponto 25 de 18/18/73, canais 4, 5, 6 e 7.

2.1.2.2 - IMAGENS LANDSAT

Foram utilizadas as imagens LANDSAT números E-1391-12374 e E-1373-12373, órbita 178-5, pontos 24 e 25, de 18/08/73 e 31/07/73, respectivamente, nos canais 5 e 7, na escala 1:250.000.

2.1.3 - CARTAS TOPOGRÁFICAS E MAPAS GEOLÓGICOS

Para a coleta de dados morfométricos foram utilizadas as Folhas de Arrenegado e Lagamar (SE.23.V-C-VI e SE.23-Y-A-III), do Serviço Geográfico do Exército, na escala 1:100.000, cuja restituição fotogramétrica foi realizada em 1968. Foram consultados os seguintes mapas geológicos:

- Mapa Geológico da Região de Vazante, na escala 1:25.000 (Heineck et al., 1975).
- Mapa Geológico da Região de Vazante, na escala 1:25.000 (Amaral, 1968).

- Mapa Geológico da Região de Vazante e Paracatu, na escala 1:60.000 (Dardenne, 1977 - inédito).

2.2 - METODOLOGIA

2.2.1 - FOTOINTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA E ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DADOS MORFOMÉTRICOS

A fotointerpretação geológica e a compartimentação geomorfológica foram realizadas numa área de aproximadamente 300 km², na escala 1:30.000. A compartimentação geomorfológica foi baseada em análise estatística de dados morfométricos para essa mesma área.

2.2.1.1 - FOTOINTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA

A fotointerpretação foi feita mediante superposições de papel polyester estável ("overlays"), diretamente sobre as fotografias e transparências. Foram extraídas a rede de drenagem, estradas e outros referenciais geográficos.

A separação das unidades litológicas e os lineamentos estruturais foi feita sobre os mesmos "overlays", que foram montados sem controle cartográfico. A justaposição dos "overlays" foi feita com base na rede de drenagem e estradas. Com o auxílio das Cartas Topográfica Lagamar e Arrenegado (SGE, 1968), foram traçadas coordenadas geográficas aproximadas, tendo-se como referência cidades confluências de rios e cruzamentos de estradas.

- Fotografias aéreas branco e pretas

As fotografias aéreas branco e pretas têm uma sensibilidade espectral que vai de 0,36 a 0,72 μm , que coincide aproximadamente com o intervalo de sensibilidade espectral do olho humano. Cada valor de tom de cinza é comparável à densidade (reflectância espectral) do filme, que equivale à resposta de um objeto colorido,

como percebido pelo olho humano. Este fato propicia a qualidade dos contrastes tonais e resolução, que são as bases fundamentais para interpretação dessas fotografias.

A fotointerpretação foi feita conforme metodologia convencional e os principais parâmetros utilizados foram: expressão topográfica, padrão de drenagem, lineamentos estruturais, contrastes tonais e vegetação.

- Transparências Multiespectrais I²S

A fotointerpretação geológica das transparências multiespectrais foi feita utilizando-se mesa de luz e o instrumento "Color Additive Viewer", cuja descrição do sistema se encontra no Manual de Sensoriamento Remoto (Reeves et al., 1975).

Na mesa de luz foi feita a análise de cada um dos quatro canais, para se escolher o que continha maior número de informações para fotointerpretação geológica. Os canais 3 e 4 (vermelho e infravermelho próximo) foram escolhidos, pois apresentavam melhor contraste na separação de litologias e na identificação de lineamentos estruturais. Essas informações eram retiradas em papel polyester transparente estável para utilização posterior na confecção do mapa geológico.

A análise das transparências através do "Color Additive Viewer" foi feita utilizando-se os quatro canais referentes às faixas espectrais azul, verde e vermelho e infravermelho. Os canais referentes às faixas espectrais são superpostos através de lentes. Com a adição dos filtros e o controle da intensidade de luz, simulam-se composições coloridas normais e falsa cor, além de outras combinações. Essas combinações foram úteis na definição de contatos litológicos difíceis de serem observados em mesa de luz e, também, para realçar lineamentos estruturais.

- Fitas Compatíveis com o computador (CCT)

As fitas compatíveis com o computador (CCT) foram utilizadas no Sistema I-100. Esse sistema foi desenvolvido pela General Electric Company, com a finalidade de realizar classificação automática das feições contidas em imagens orbitais, fotografias aéreas branco e pretas, coloridas normal e infravermelho, na forma de transparências positivas ou fitas digitalizadas.

A descrição dos componentes do Sistema Image 100, assim como suas funções, encontram-se no Manual de Utilização, fornecido pela General Electric Company (1975).

A área de estudo foi identificadas e delimitada através do cursor no vídeo da unidade console do sistema. Depois disto foi utilizado um dos programas existentes no Sistema, na ampliação da área para escala 1:250.000. Posteriormente, utilizaram-se os programas de contraste e fizeram-se variações nos filtros e na intensidade de luz existente no painel. As diferentes cenas foram observadas visualmente no vídeo, com a finalidade de auxiliar a fotointerpretação geológica dos sensores fotográficos a nível de aeronave.

2.2.1.2 - COLETA E ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DADOS MORFOMÉTRICOS

A coleta e a análise estatística de dados morfométricos foi feita com base em dois tipos de amostragens: a amostragem em grade e a amostragem circular; o tratamento estatístico utilizado foi a análise de variância unidirecional.

2.2.1.2.1 - AMOSTRAGEM EM GRADE

Os dados foram coletados de carta topográfica e de fotografias aéreas branco e pretas obtidas através da câmara Hasselblad. Em ambos os casos foi utilizada uma grade 1 cm x 1 cm sobre a área, totalizando 250 células medidas. Dessas 250 células distribuí

das homogeneamente sobre a área, foram sorteadas 28 para cada unidade litológica, através da tabela de números aleatórios.

Foi feita então, a análise de variância para as variáveis coletadas da carta topográfica e para as variáveis coletadas das fotografias aéreas branco e pretas, com o objetivo de verificar quais as variáveis morfométricas que tinham poder discriminatório entre as três unidades litológicas e, assim, sugerir uma compartimentação geomorfológica para a área.

Fez-se também, o cálculo da Menor Diferença Significativa (M.D.S.), que foi usada como intervalo grupador das classes. Adicionando-se o valor da M.D.S. a cada média, consecutivamente, verifica-se que o resultado da adição supera o valor da média seguinte. Assim, identificam-se os possíveis grupamentos de maneira objetiva, segundo características quantificadas. O Valor da M.D.S. é assim obtido:

$$M.D.S. = \left(\sqrt{\frac{2 QM_E}{N}} \right) t_{0,05 \text{ com } G.L._E} \quad \text{onde,}$$

M.D.S. = Menor Diferença Significante

Q.M._E = Quadrado Médio do Erro (Tabela IV.1)

t = Valor tabelado de "t"

G.L._E = Graus de Liberdade do Erro (Tabela IV.1)

N = Número de observações em cada tratamento

a) Variáveis Obtidas através de Carta Topográfica

Os dados foram coletados a partir da Folha Arrenegado, do Serviço Geográfico do Exército, na escala 1:100.000, com curvas

de nível de 40 m de espaçamento. Todas as variáveis foram medidas dentro de cada célula de 1cm x 1cm, que determina uma área de 1 km² no terreno.

- Altitude Média:

Essa variável foi medida para verificar o comportamento da altitude em área cujos movimentos tectônicos determinaram mudanças significativas no relevo. É dada pelo somatório das cotas altimétricas dentro de cada célula, dividido pelo número de cotas.

- Amplitude Relativa:

Toma-se a cota altimétrica mais elevada e a menos elevada dentro de cada célula, subtrai-se a menor da maior, e tem-se a amplitude relativa.

- Declividade Média:

A declividade entre dois pontos do terreno é medida pela inclinação da reta que os une com o plano horizontal, podendo ser expressa em ângulos ou em porcentagens. No caso foi medida em ângulo (α).

$$\alpha = \text{arctg} \frac{H}{D}$$

onde:

H = amplitude entre as curvas de nível

D = distância entre as curvas de nível

- Concavidade e Convexidade:

Fez-se o perfil topográfico para cada célula, ao longo da linha de maior declive (Figura II.1). Ligou-se o ponto A ao ponto B, determinando o segmento A-B, e o ponto B ao ponto C, determinando o segmento B-C. Traçou-se a normal ao ponto médio de cada segmento e obteve-se o raio (B-O) da circunferência que passa pelos pontos A, B e C.

A concavidade ou a convexidade foi determinada pela posição do arco, atribuindo-se um valor positivo à vertente côncava, e negativo à vertente convexa. Quando a vertente era côncavo-convexa, calculou-se a curvatura da parte que era a mais expressiva, isto é, a que continha maior número de segmentos e/ou maior comprimento.

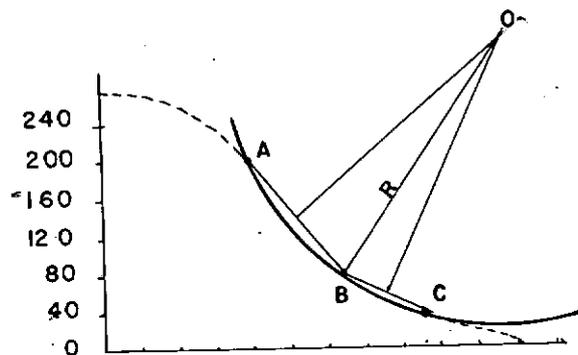


Fig. II.1- Medida de Concavidade e Convexidade

Fig. II.1 - Medida de Concavidade e Convexidade

- Densidade de Drenagem:

Este índice foi definido por Horton (1932), como a razão entre o comprimento total de rios e a área, sendo expresso pela equação:

$$D = \frac{L_t}{A}$$

onde:

L_t = comprimento total dos rios

A = Área

- Frequência de Rios:

Horton (1945) introduziu também o termo "frequência de rios" (F), para expressar quantitativamente o grau ou desenvolvimento da drenagem superficial de uma bacia hidrográfica. A frequência de rios foi definida pela equação:

$$F = \frac{N}{A}$$

onde:

N = Número total de rios

A = Área da bacia

b) - Variáveis obtidas através de Fotografias Aéreas Branco e Pretas:

Foi feito um mapa detalhado da drenagem da área, na es-

cala de 1:90.000. As variáveis medidas foram: densidade de drenagem, frequência de rios e textura topográfica.

A textura topográfica vai representar o grau de entalhamento e dissecação da superfície terrestre, através da fórmula proposta por Freitas (1952).

2.2.1.2.2 - AMOSTRAGEM CIRCULAR

O sistema de amostragem circular foi utilizado na comparação entre as fotografias aéreas branco e pretas e transparências multiespectrais I²S. Como a área recoberta pelas fotografias aéreas branco e pretas não era a mesma que a recoberta pelas transparências multiespectrais, o sistema de amostragem circular foi o melhor sistema de se coletar os dados, pois uma amostra circular pode ser deslocada dentro de uma unidade, sem considerar os limites de bacias hidrográficas, procurando abranger unicamente a maior proporção e a maior homogeneidade possíveis da unidade que está sendo amostrada.

Foram tomadas três amostras circulares na unidade A (metassiltitos com lente de dolomitos), três na unidade C (ardósias com intercalações de metassiltitos) e duas na unidade B (ardósias com filtros e quartzitos intercalados), devido à menor dimensão espacial desta.

A área de cada amostra foi de 5 km², embora Ray e Fisher (1960) considerem ideal a área de 10 km². Neste caso, 10 km² seria uma área muito grande em relação à área recoberta pelos dois tipos de sensores.

Foi feita, a seguir, a análise de variância para cada unidade, com o objetivo de verificar se havia diferenças estatísticas significativas entre dados de drenagem obtidos de fotografias aéreas branco e pretas e de transparências multiespectrais I²S e, assim, verifi

car se um dos produtos fotográficos daria maior quantidade de informações que outro para cada unidade litológica fotointerpretada.

a) Transparências Multiespectrais I²S:

As variáveis coletadas, das transparências multiespectrais foram: densidade de drenagem e frequência de rios, sendo que os comprimentos dos rios foram medidos com curvímeter e régua de precisão.

b) Fotografias Aéreas branco e pretas:

As variáveis coletadas neste tipo de amostragem para as fotografias aéreas branco e pretas foram as mesmas que as coletadas nas transparências multiespectrais: densidade de drenagem e frequência de rios, para possibilitar uma comparação entre os dois produtos fotográficos com base nessas duas características.

c) Imagens LANDSAT:

Essas mesmas variáveis (frequência de rios e densidade de drenagem) foram medidas em amostras circulares com área de 5 km² nas imagens LANDSAT, na escala 1:250.000. Por ser um sensor de nível orbital, a análise de variância entre as três diferentes unidades não foi feita junto com os sensores fotográficos.

O objetivo dessa análise foi verificar se o sensor LANDSAT poderia discriminar as três unidades litológicas fotointerpretadas, já que os sensores fotográficos possibilitaram essa discriminação.

2.2.1.2.3 - ANÁLISE DE CORRELAÇÃO

Fez-se a análise de correlação utilizando-se a coeficiente de Pearson, para todas as variáveis consideradas discriminatórias, ou seja, densidade de drenagem, frequência de rios e textura topográfica (de fotografias aéreas branco e pretas) e altitude, ampli

tude e grau de dissecamento (de carta topográfica).

A análise de correlação foi feita para 28 amostras sorteadas através da Tabela de Números Aleatórios, com o objetivo de verificar o grau de relacionamento entre elas, para melhor caracterizar cada unidade chegando assim, a uma compartimentação do relevo.

As variáveis da carta topográfica e das fotografias aéreas branco e pretas foram analisadas juntas, já que se sabe que todas são discriminatórias.

2.2.1.2.4 - ANÁLISE DE SUPERFÍCIE DE TENDÊNCIA

A análise de superfície de tendência é um método de análise de regressão múltipla tridimensional, que permite construir analiticamente uma série de superfícies teóricas, ajustadas através do método dos mínimos quadrados (Gerardi e Sanches, 1975).

O objetivo do processo de análise de superfície de tendência é descrever matematicamente a forma de uma série de superfícies que caracterizam a tendência geral dos valores observados.

Foi utilizado um programa de "Trend Surface Analysis", que fornecia como saída, ajustes de superfícies de até oitavo grau. O programa foi usado para as variáveis discriminatórias, num total de 299 amostras para as variáveis coletadas de carta topográfica, e 250 amostras para as variáveis coletadas de fotografias aéreas branco e pretas. Essas amostras foram coletadas através de uma grade, cujas células tinham 1 cm x 1 cm, definindo no terreno, uma área de 1 km², numa distribuição homogênea de pontos.

Como o computador ajusta superfícies de grau 1 a 8, os valores computados e residuais de y são diferentes para cada superfície ajustada. Assim, tem-se 8 superfícies, das quais se deve escolher uma que melhor represente a distribuição do evento estudado, ou

seja, a cada variável.

Os parâmetros mais importantes na escolha de melhor superfície de ajuste, são: porcentagem da soma total dos quadrados, variância, número F, coeficiente de correlação e verificação interna em S (Amaral, 1976).

Davis (1973) propõe que seja feita análise de variância para cada aumento no grau das superfícies, para verificar se esse aumento é estatisticamente significativo. Se o resultado do valor F for significativo, o polinômio de ordem maior deverá ser mantido; se F não for significativo, nada foi ganho com o ajuste de polinômio de grau maior.

2.2.2 - ANÁLISE VISUAL E AUTOMÁTICA DA ZONA MINERALIZADA

Foi realizada a análise visual e análise estatística de dados obtidos com o analisador I-100 numa área de aproximadamente 50 km², onde se encontram as mineralizações conhecidas de zinco e chumbo.

2.2.2.1 - ANÁLISE VISUAL DAS TRANSPARÊNCIAS COLORIDAS NORMAIS E INFRAVERMELHO

As transparências coloridas normais e infravermelho (70 mm) foram interpretadas em mesa de luz, com estereoscópio de bolso. Essas transparências recobrem uma área mais restrita, que abrange os Morros Lapa Nova e das Minas, as Serras Poço Verde, Sucuri e Ouro Podre.

A fotointerpretação geológica foi feita com base principalmente nas diferenças de cores e análise estereoscópica.

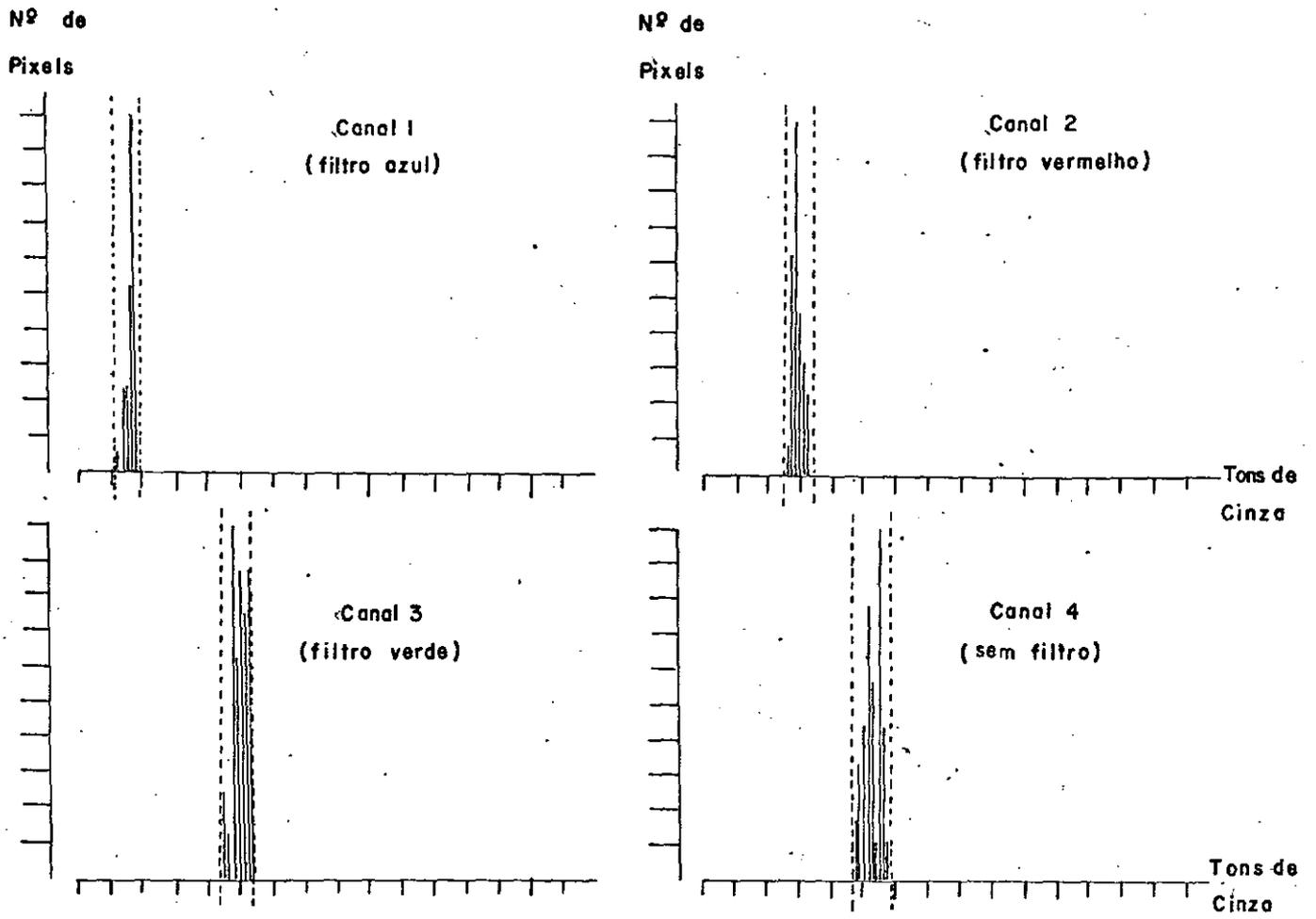
2.2.2.2 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS OBTIDOS COM O ANALISADOR I-100

As transparências coloridas infravermelho foram utilizadas no sistema I-100, onde foi feita a classificação automática, para verificar se havia diferenças estatísticas significativas entre as zonas mineralizadas, já separadas visualmente.

As tonalidades contidas nas transparências foram separadas por diferentes filtros do "Scanner" e armazenadas na memória nos seus respectivos canais: no canal 1, com filtro azul, canal 2, com filtro vermelho, canal 3, com filtro verde e no canal 4, não foi utilizado filtro.

As áreas selecionadas através do cursor abrangiam 36 pixels cada uma e eram conhecidas previamente, por análise visual, como áreas mineralizadas e áreas não mineralizadas. Foram utilizados os programas "Single Cell Signature Acquisition" e "One Dimensional Histogram Display/Modification", existentes no Sistema I-100. A classificação é feita pelo sistema. Os histogramas das áreas classificadas são mostrados no Terminal Gráfico, possibilitando as modificações necessárias, numa interação homem-máquina, para uma melhor classificação. Os resultados obtidos são fornecidos através da impressora em forma de histogramas (Figura II.2).

Foram obtidos 32 histogramas com informações de tons de cinza versus número de pixels, sendo 16 para áreas mineralizadas e 16 para área não mineralizadas. Com os histogramas foi feita análise de variância das médias de tons de cinza obtidas para cada canal, a fim de confirmar a separação de zonas mineralizadas observadas visualmente.



Canal	Limite		Delta	Pico	Média	Variância
	Inferior	Superior				
1	10	15	6	17	13,2	0,8
2	21	27	7	13	23,5	1,9
3	36	42	7	8	39,7	3,0
4	38	46	9	9	42,1	4,7

Área de Treinamento = 36 pixels
 Área Alarmada = 11.780 pixels

Fig. 11.2 - Histograma da Classificação fornecida pelo Sistema I-100, em transparências Infravermelho Colorido

2.2.3 - GEOBOTÂNICA

A metodologia descrita consta de estudos preliminares realizados na área de Vazante.

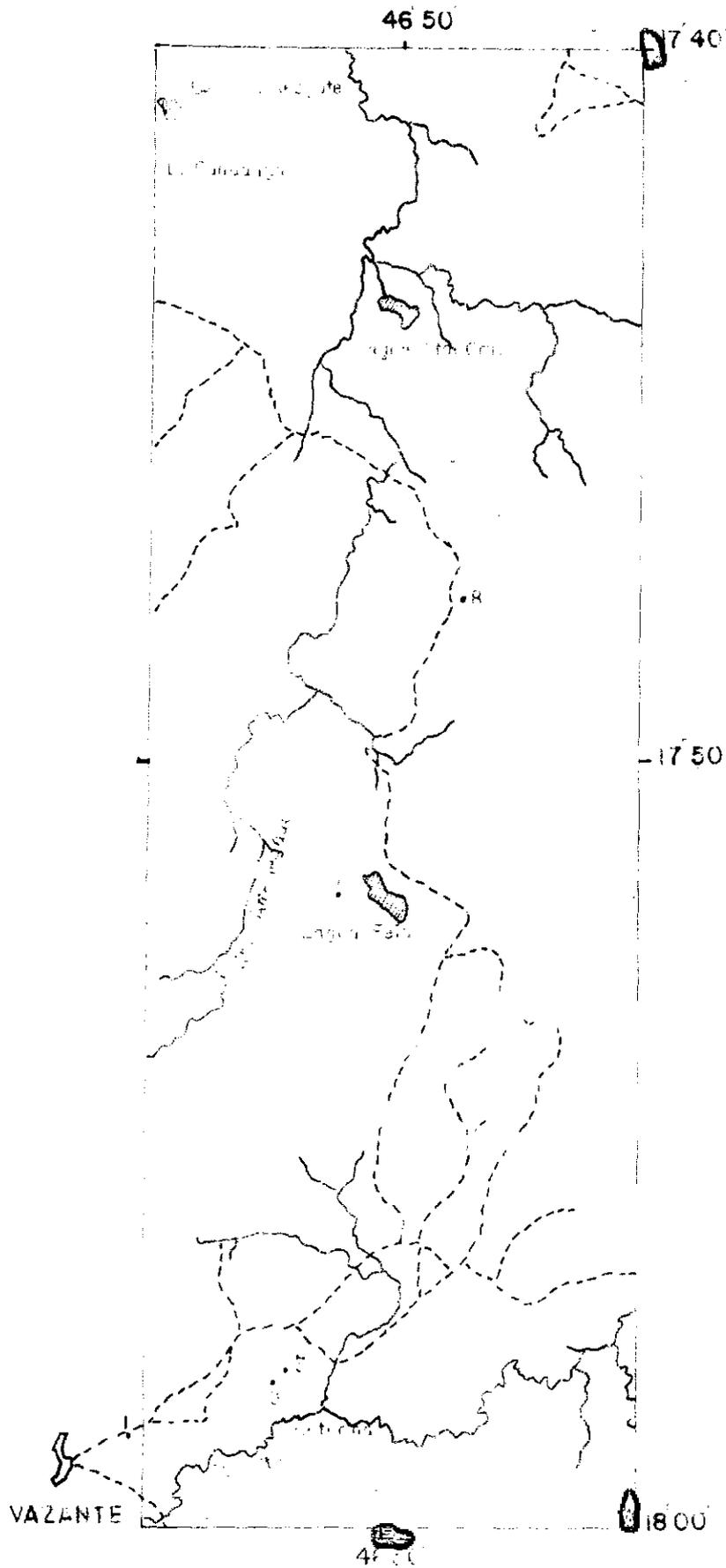
2.2.3.1 - COLETA DE DADOS PARA ANÁLISE QUÍMICA DE PLANTAS E SOLOS

Para análise química, de plantas e solos, foram escolhidas amostras na área de Vazante, durante o trabalho de campo preliminar.

Na amostragem foram obedecidos os seguintes critérios: procuraram-se plantas de larga distribuição geográfica na região, assim como plantas características de locais que continham o minério oxidado. Em cada ponto foram coletadas amostras de folhas e caule das plantas, como também do solo subjacente. A localização dos pontos de coleta se encontra na Figura II.3.

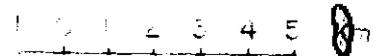
2.2.3.1.1 - PREPARAÇÃO PARA ANÁLISE DE ABSORÇÃO ATÔMICA DAS PLANTAS

Uma porção de 0,15 gramas de amostra foi lavada com água não mineralizada, secada a 70-80^oS, moída e submetida à peneira de 20 mesh. O material foi misturado com 10 ml de HNO₃ (puro). Estando a matéria orgânica parcialmente digerida e o volume de ácido nítrico reduzido à metade do volume inicial, adicionou-se 2 ml de ácido perclórico (72%). Por fim, juntou-se 100 ml de água destilada ao resíduo, para análise de absorção atômica, no espectrofotômetro, dos elementos K, Ca, Mg, Mn, Zn e Cu. O nitrogênio foi analisado pelo método Kjeldahl e o fósforo foi determinado por colorimetria.



LEGENDA

-  CIDADE
-  LAGO
-  DRENAGEM
-  ESTRADA



2.2.3.1.2 - PREPARAÇÃO PARA ANÁLISE DE SOLOS

As amostras de solos foram preparadas para análise de rotina, no Centro de Estudos de Solos (ESALQ).

Para medida de pH, foram colocadas 20 gramas de solos em um becker de 50 ml, com 20 ml de água destilada. Agitou-se várias vezes, durante 10 minutos, e deixou-se em repouso, durante 30 minutos, para que as partículas sólidas se precipitassem. O pH foi medida por um back, model 2075 ph meter, com o eletrodo imerso num líquido semi-claro da solução.

2.2.3.1.3 - PREPARAÇÃO PARA ANÁLISE ANATÔMICA DAS PLANTAS

As folhas foram fixadas numa solução FAA (formol-ácido-álcool) e cortadas em pequenos pedaços, de aproximadamente um centímetro,

2.2.4 - TRABALHO DE CAMPO

Para o estudo geobotânico, apresentado neste relatório, foi realizado um trabalho de campo preliminar de 4 dias que constou de coleta de amostras de solos e plantas.

Durante o trabalho de campo regular em julho de 1976, foram realizadas duas atividades concomitantes.

A primeira etapa foi realizada em seis dias e constou de coleta de amostras de solos e plantas e medidas radiométricas em plantas e ambientes, que contêm minério de zinco e nos que não contêm.

A segunda etapa foi realizada em 15 dias, e constou de descrições geológicas e geomorfológicas. Procuraram-se locais que tivessem maior quantidade de informações, como perfis perpendiculares às direções das camadas, afloramentos de rochas, testemunhas de sonda

gens, etc.

Os pontos eram localizados nas fotografias aéreas e lançados em "overlays" ou no mapa geológico fotointerpretado. As descrições eram feitas em cadernetas de campo.

Para cada ponto foram feitas medidas de: altitude, atitude das rochas, eixo de dobras e outras orientações estruturais. Foram descritos 139 pontos (Apêndice A), que se encontram no Trabalho de Campo em Vazante, Estado de Minas Gerais (Nascimento et al., 1976).

CAPÍTULO III

RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 - GEOLOGIA DA REGIÃO DE VAZANTE

3.1.1 - MAPA GEOLÓGICO

A fotointerpretação geológica e o trabalho de campo na região de Vazante, permitiram a elaboração de mapa geológico da área (Apêndice B).

Foram individualizadas três unidades da Formação Paropeba, do Grupo Bambuí, sugeridas por relações de campo, onde se observou uma variação faciológica com posteriores deslocamentos e dobramentos causados por esforços compressivos que atuaram na área.

A unidade, que ocupa toda porção oriental da área, é representada por uma sequência predominantemente pelítica, constituída por ardósias com pequenas intercalações de matarenitos, metassiltitos e metargilitos.

As ardósias se apresentam em cores variáveis. Em alguns casos, parece depender do grau de alteração, pois as ardósias quando frescas são cinza, e quando sujeitas a um grau mais intenso de intemperismo, se tornam amareladas, observando-se, ainda, ardósias róseas, verdes e pretas, carbonosas.

O metargilito tem cor verde clara, e restringe-se aos fundos dos vales. Nos locais mais altos, aparece o metassiltito vermelho escuro, bem duro, em finas camadas, que às vezes sobressaem no relevo. Associado ao metassiltito, numa mudança transicional, encontra-se um metarenito centimétrico, de cor marrom-escuro. Nas proximidades do Ribeirão Santa Catarina, logo após a confluência com o Córrego Bar

roquinha, aparece um metassiltito rítmico, com cores verde clara e vermelho escuro com microfalhas.

Esta unidade, apresenta direções de acamamento e fo-
liação variando de N20E a N85E (com maior frequência em N60E), com
mergulhos de 11 a 75⁰ para NW. Por se constituir de rochas com pro-
priedades plásticas, apresenta dobramentos intensos e bem pronunciados.
Os falhamentos e fraturamentos não são tão frequentes como nas unida-
des que lhe segue, porém, são concordantes e mostram três direções pre-
ferenciais: N10E, N70W e E-W. Os falhamentos transversais são proe-
minentes, como é o caso do falhamento em que se encontra o Córrego Pa-
lmital.

A unidade que ocupa a faixa central na área, numa largu-
ra média de 3,5 km, é constituída por metassiltitos com lentes de dolô-
mitos. Os dolomitos acompanham uma faixa de direção NNE, são descon-
tínuos e se diferenciam de Leste para Oeste, como observado em perfis
realizados nestas direções: a Oeste, observam-se dolomitos cinza lami-
naods, e outras vezes listados; mais a leste, encontram-se dolomitos
rosados com intercalações de metassiltitos verdes. Continuando na mes-
ma direção, encontram-se dolomitos cinza descritos por Cassedanne(1968),
como sublitográficos e também dolomitos com estromatólitos. A sedimen-
tação pelítica nesta unidade, quando nas proximidades de zonas de fa-
lhas se encontra filonitizada. No centro norte da área, encontram-se
pequenas elevações de direção NE, constituídas por metassiltitos rít-
micos, de cores marrom claro e marrom escuro, em níveis milimétricos.
Intercala-se um metassiltito calcífero, placoso, de cor cinza escuro.

Nesta unidade, ocorrem as mineralizações de zinco e chum-
bo, relacionadas à falha de direção N50E, onde se alinham o Morra La-
pa Nova, as Serras Poço Verde, Sucuri e Ouro Podre e o Morro das Mi-
nas.

Os dolomitos apresentam dobras suaves, por serem rochas maciças, com os eixos apresentando direções próximas a N e N45W. O acamadamento varia entre N20E a N80E, com predominância em N60E, com exceção do Morro das Minas, onde houver inflexão e a direção é de N05W. O mergulho vai de 15 a 75° para NW, sendo que os mergulhos mais fortes estão nas proximidades das falhas. Os falhamentos e fraturamentos se encontram em duas direções preferenciais; uma variando entre N-S e N50E, e outra entre N40W e E-W.

A falha longitudinal de direção NE, atravessa toda a área mapeada. Ao Sul da área, ela limita a unidade predominantemente pelítica com a unidade pelítico-carbonática, numa escarpa de falha bem delineada. Volta a aparecer encoberta no vale do Córrego Barroquinha e paralela à falha das Serras Poço Verde, Sucuri e Ouro Podre, sofrendo inflexão também para Oeste, próximo ao Morro das Minas. No centro norte da área, a falha longitudinal localiza-se também nas proximidades da unidade em que predominam os pelitos, seguindo em direção NE, sofrendo inflexão para o Norte, nas proximidades do vale do Rio Escurinho.

Os falhamentos transversais, com direções N40W e E-W, são posteriores aos falhamentos NE, pois os últimos se encontram deslocados. O principal falhamento transversal de direção E-W, desloca o Morro Lapa Nova para Oeste, afastando-o da Serra Poço Verde, como sugere Amaral (1968). Outros fraturamentos transversais com direções N40W são encontrados formando bocainas nas Serras Poço Verde, Sucuri e Ouro Podre.

A unidade que ocupa o Centro Ocidental e Noroeste da área é representada por rochas areno-pelíticas, constituída por ardósias, metassiltitos, metargilitos nos locais mais dissecados e intercalações de quartzitos e filitos, constituindo serras com escarpas íngremes. A ardósia é de cor creme a rósea, intercalando-se com metargilito branco. Ardósias carbonatadas cinza escuro aparecem em espessuras métricas. O metassiltito marrom escuro forma pequenas serras, em

forma de "hog-backs". O quartzito que se intercala com o filito cinza claro é branco, com alguns pontos vermelhos e fraturas preenchidas por veios de quartzo.

As direções de acamadamento e foliação variam de N20E a N70E, com mergulhos entre 17 e 70° para NW. As variações nas direções das estruturas se devem aos falhamentos sofridos ao norte do Córrego Barroção. Os dobramentos, que são bem representados por crenulações de direção N-S, predominam nas intercalações dos quartzitos e filitos, devido à plasticidade dos filitos. Os falhamentos longitudinais possuem direções próximas a N-S e N40E, e os transversais E-W e N30W.

O diagrama de juntas foi obtido com medidas de 32 fraturas e apresenta duas direções preferenciais e perpendiculares: N15E e N75W (Figura III.1), para as rochas da Formação Paraopeba, na região de Vazante. Portanto, a tectônica da região reflete os esforços exercidos de leste para oeste em direção ao craton do São Francisco.

3.1.2 - FOTOINTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA

Com as fotografias aéreas branco e preto e transparências multiespectrais I²S, foi possível a separação das três unidades litológicas da Formação Paraopeba na região de Vazante. A análise das imagens contidas nas fitas CCT's, mostradas através do Sistema Image-100, auxiliou as interpretações estruturais por fornecerem uma visão global da área mapeada.

3.1.2.1 - FOTOGRAFIAS AÉREAS BRANCO E PRETAS

Os tons de cinza mais escuros, de menor reflectância espectral na faixa do vermelho, predominam em litologias pelítico-carbônicas, que possuem solos vermelhos espessos, com cobertura vegetal mais densa e árvores mais desenvolvidas. Para os tons de cinza mais claros, de maior reflectância na faixa do vermelho, predominam as ro-

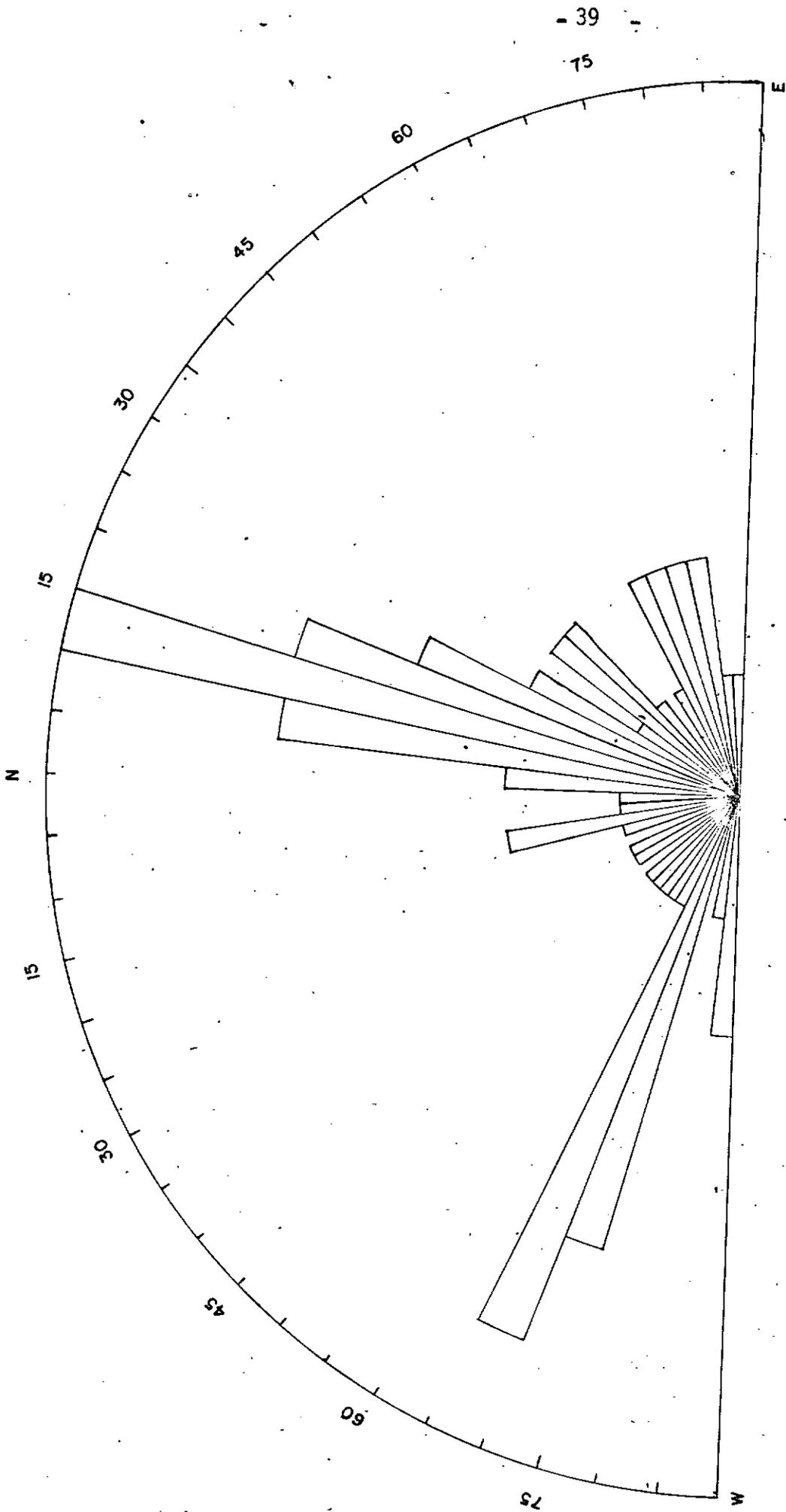


Fig. III.1 - Diagrama de Juntas

chas arenopelíticas (ardósias, metassiltitos, quartzitos e filitos), com pouca ou quase nenhuma cobertura de solo, e vegetação predominantemente de cerrado ralo (árvores pouco desenvolvidas e gramíneas).

A análise estereoscópica permitiu um maior grau de detalhamento no traçado da drenagem e uma melhor visualização das estruturas (direções e mergulhos das camadas, sinclinais, etc.), através das diferenças de altitude relativa e também o realce de suaves diferenças texturais. Isto possibilitou observar que para rochas impermeáveis (filitos e ardósias), a densidade de drenagem aumenta em relação às rochas carbonáticas, onde a drenagem superficial é mais escassa. Nestas rochas observaram-se ainda, dolinas e drenagem intermitente na sua maior parte.

As rochas mais resistentes à erosão (quartzitos) são evidenciadas no relevo. O tectonismo sofrido por estas rochas (falhas e fraturas) é mostrado por contatos bruscos no relevo.

3.1.2.2 - TRANSPARÊNCIAS MULTIESPECTRAIS I²S

A utilização de transparências multiespectrais em levantamentos aerofotográficos, deve ser precedida de um trabalho de campo preliminar, a fim de se escolher as combinações filme/filtro a serem utilizados, pois estas combinações devem ser adequadas na separação de unidades litológicas.

O melhor contraste observado entre vegetação, solo e água ocorreu na faixa espectral do vermelho (0.6 a 0.7 μ m).

Os diferentes tipos de rocha foram discriminados devido principalmente a diferenças geobotânicas. A faixa espectral correspondente ao infravermelho próximo, que possui alta reflectância para as plantas, acentuou o contraste entre vegetação mais desenvolvida e menos desenvolvida. Como exemplo constatamos que, na unidade cons

tituída por metassiltitos e dolomitos, a separação dos dolomitos foi possível devido à alta reflectância na região do infravermelho oferecida pela vegetação mais exuberante que recobre estas rochas.

As estruturas geológicas, principalmente os falhamentos, são acentuadas quando se utiliza o "Color Additive Viewer", pois os filtros de contraste e a variação na intensidade de luz, realçam lineamentos relacionados a zonas de maior umidade ou a mudanças bruscas de vegetação. Como exemplo de falhamentos relacionados a zonas de maior umidade, citamos o Córrego Barroquinha, enquanto que nas serras Poço Verde e Sucuri, encontram-se zonas de falha que se relacionam a mudanças bruscas de vegetação.

3.1.2.3 - FITAS COMPATÍVEIS COM O COMPUTADOR (CCT's)

A análise das informações de nível orbital (LANDSAT), utilizando o sistema Image-100, foi muito importante para as interpretações estruturais da região. O contato por falhamento entre as unidades litológicas são marcantes, bem como a identificação de estruturas circulares ou semi-circulares. Essas feições são mais visualizadas devido ao encaixe da drenagem à estrutura, que tem uma origem tectônica desenvolvida, possivelmente, pelos esforços compressivos que sofreram estas rochas, originando dobras de arrasto.

As mineralizações de zinco e chumbo, controladas por fraturas e falhas, aparecem com uma topografia mais elevada, numa superfície predominantemente plana. Este aspecto foi bem evidenciado quando se utilizou o programa que realça o contraste no canal 7 (0.7 a 1.1 μ m) - (Figura III.2). Esse canal tem importância na identificação de ressaltos topográficos, devido ao efeito de sombra causado pelo ângulo de iluminação solar.

O canal 5 (0.6 a 0.7 μ m), com o programa de contraste, facilita a identificação das unidades litológicas, sem contudo precisar os contatos entre as mesmas, devido à alta reflectância radio

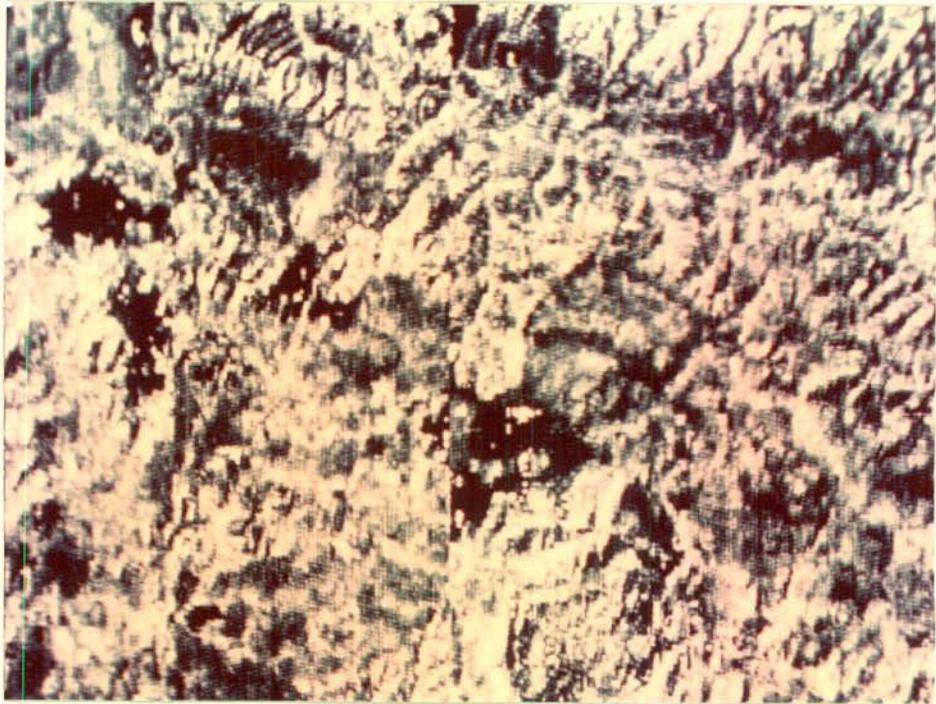


Fig. III.2 - Canal 7 com constraste
Sistema I-100. Destaca-se o falhamento NE
nas Serras Poço Verde, Sucuri e Ouro Podre,
com mineralizações em zinco.

métrica dos solos com pouca cobertura vegetal, que se encontra nas unidades pelíticas e areno-pelíticas (Figura III.3).

A composição colorida infravermelho foi composto pelos canais 5 (com filtro azul), 6 (com filtro verde) e canal 7 (com filtro vermelho). Esta composição foi feita na tentativa de delimitação das unidades, porém a alta refletância radiométrica dos solos desprovidos de vegetação no canal 5, também mascarou o contraste entre as unidades (Figura III.4).

3.1.3 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO MAPEAMENTOS GEOLÓGICO E TRABALHOS ANTERIORES

Baseando-nos numa análise bibliográfica dos trabalhos desenvolvidos na região, no trabalho de campo da área mapeada e em observações de campo regionais, nos propomos a uma discussão da estratigrafia estrutura, tectônica, e gênese das mineralizações na região de rochas carbonáticas de Vazante.

3.1.3.1 - ESTRATIGRAFIA

Costa e Branco (1960) correlacionam as formações calcárias da região de Vazante com os calcários conhecidos em Sete Lagoas, baseando-se num perfil geológico da rodovia Belo Horizonte-Brasília. Jaime Branco (1962) correlaciona as ardósias e folhelhos ardosianos, que recobrem os calcários de Sete Lagoas, com os mesmos metassedimentos da região de Vazante, localmente com granulação mais grosseira. Amaral (1968b) separa os metassedimentos da região de Vazante em dois; correlaciona os metassedimentos a Oeste da faixa calcária, denominada Formação Sete Lagoas como pertencentes ao Grupo Canastra, e as ardósias e folhelhos ardosianos a Leste da mesma faixa, como Formação Rio Paraopeba. Braun (1968) reúne as rochas aflorantes na região como pertencentes à Formação Paraopeba, que englobaria o que ele denominou de Fácies Sete Lagoas, e os metassedimentos, basean



Fig. III.3 - Canal 5 com contraste
Sistema I-100. A unidade geológica constituída
por metassiltitos com lentes de dolomito é in
dividualizada no centro da fotografia.
Observam-se também estruturas semi-circulares.



Fig. III.4 - Composição Colorida Infravermelho. Sistema I-100. Destaca-se um grande falhamento de direção NW no Córrego Palmital.

do-se num mapeamento regional de 100.000 km² que engloba a borda ocidental da bacia Bambuí. Dardenne (1974) considera as rochas da região, também como pertencentes à Formação Paraopeba e a divide em quatro fácies. Thorman (1974) considera as rochas da região como pertencentes à Formação Paraopeba, e a divide em três unidades, sem precisar a posição estratigráfica das mesmas, devido à existência de falhas de acamamento entre elas. Heineck et al. (1975) dividem as rochas da região em três unidades da Formação Paraopeba, sendo a unidade mais antiga, a dos pelitos situados a Leste da Unidade intermediárias, que é pelítico-carbonática, e a mais nova situada a Oeste, constituída por metassedimentos areno-pelíticos.

Considerando a importância do trabalho de mapeamento regional para as correlações estratigráficas no Grupo Bambuí, torna-se aceitável, para os geólogos que desenvolveram trabalho na região de Vazante, denominarem as rochas encontradas, como pertencentes a Formação Paraopeba ou Sub-Grupo Paraopeba, como sugerem Amaral et al. (1976). Porém, encontram-se também litologias nas proximidades de Vazante, possivelmente pertencentes à Formação Paranoá. São as mesmas rochas citadas por Braun (1968), para a região de Paracatu, mencionadas por Amaral (1968b) como metassedimentos do Grupo Canastra (posteriormente retificadas em informações verbais e englobadas no Sub-Grupo Paraopeba por Amaral et al., 1976). Foram descritas por Thorman (1974) como unidade C da Formação Paraopeba, englobadas na unidade areno-pelítica definida por Heineck (1975), e também neste trabalho.

Essas litologias, são quartzitos intercalados com filitos e filitos cinza grafitosos com pirita, que se estendem nas proximidades Oestes e Norte de Vazante, passando por Vazamor, e seguindo para Paracatu e encontram-se mapeadas por Dardenne (1977). No entanto, seria necessário um mapeamento mais detalhado em toda a faixa ocidental do Grupo Bambuí, para definir não só a posição estratigráfica destas rochas, como reconstituir o paleoambiente de sedimen

tação, para compreender as variações litológicas locais existentes nessa unidade.

O empilhamento estratigráfico das três unidades da Formação Paraopeba para a região de Vazante é sugerido, baseando-se na possível reconstituição paleogeográfica da região. Inicialmente a sedimentação marinha foi essencialmente pelítica, o que Dardenne chamou de fácies sub-litoral, representadas por ardósias cinza. A existência de um alto fundo, sugerido por Cassedanne (1968) e Dardenne (1972), condicionou posteriormente a precipitação dos sedimentos pelítico-carbonáticos, representados pelos metassiltitos e dolomitos, descritos por Cassedanne (1968) e Dardenne (1972, 1974), onde constituíram as fácies e ambientes correspondentes à formação dos diversos dolomitos encontrados na região, onde fases regressivas e transgressivas são explicadas por movimentos locais de fundo de bacia. A sedimentação pelítica também é concomitante a essa fase, representada por ardósias avermelhadas, róseas e intercalações de metarenitos e metassiltitos. A última fase é representada por uma subsidência da bacia (Dardenne, 1972), representada por ardósias cinza e verde, carbonatadas.

3.1.3.2 - ROCHAS CARBONÁTICAS

Para as rochas carbonáticas da região, a caracterização litológica é controvertida. Moore (1955) chama de dolomitos as rochas carbonáticas das Serras Poço Verde e Barrocão; Branco (1962) fala de calcários localmente dolomitizados por processos tectônicos de falhamentos. Guimarães (1962) chama a atenção para a predominância de dolomita e pouca calcita, em Vazante, colocando numa situação inversa do que ocorre nas demais regiões do Bambuí (Camadas Gerais). Amaral (1968) encontra calcários na Serra Poço Verde e quanto aos dolomitos, diz serem metassomáticos, devido à ação de soluções mineralizantes. Cassedanne (1968), acredita que as dolomiti

zações das rochas carbonáticas da região sejam em parte penecontemporâneas à sedimentação, baseado em análises químicas, inclusive em rochas carbonáticas não afetadas por falhamentos. Dardenne, em informações verbais, afirma que a dolomitização é sin-diagnética, e classifica todas as rochas carbonáticas como dolomitos. Amaral (1976) diz que a dolomitização está associada à mineralização, citando como argumentos a frequência de dolomitização em rochas permeáveis, onde se observa uma relação quase linear entre os teores de MgO, Pb e Zn dessas rochas, e a composição isotrópica de estrôncio, que indica a remobilização a partir de outras rochas.

Verificando os argumentos citados pelos autores, possivelmente existiu uma dolomitização penecontemporânea à sedimentação, podendo ter ocorrido também durante a diagênese, com circulação de soluções mineralizantes e magnesianas, procurando as rochas mais permeáveis, e outra dolomitização posterior relacionada à reativação tectônica, que sofreram as rochas nesse área.

3.1.3.3 - ESTRUTURA E TECTÔNICA

Todos os estudos realizados na região de Vazante, são unânimes em afirmar que as rochas da região foram afetadas por esforços de Oeste para Leste, em direção ao craton do São Francisco, porém as interpretações estruturais são diversas.

As direções de acamadamento e clivagens são, em geral, para NE, sofrendo inflexões, em alguns locais, como no Morro das Minas. Thorman (1974) acredita em uma forte deformação compressiva horizontal, sugerida por estas inflexões, que modificam o comportamento regional.

Estas inflexões ocorrem também ao norte da área, próximo ao vale do Rio Escurinho, e possivelmente estão relacionadas ao mesmo fenômeno verificado no grande falhamento de empurrão que coloca as rochas do Grupo Araxá sobre rochas do Grupo Bambuí, onde Ladej

ra e Salomão (1973), se referem a sinuosidade locais no "front" des se grande falhamento.

Amaral (1968b) afirma que as rochas da região foram dobradas pelo último evento orogênico que afetou o Geossinclíneo Brasília e correlaciona cronologicamente os sistemas de falhamentos NE e NW com os mesmos da região de Patos de Minas, de idade cretácica. Guimarães (1962), Cassedanne (1968) e Dardenne (1974) acreditam numa idade tardi-Bambuí para os falhamentos NE, que foram reativados no Jurássico, segundo Guimarães (1962) e Dardenne (1974). Dardenne (1974) menciona também a existência de falhamentos longitudinais NE e transversais NW, também reativados no Jurássico e de idade tardi-Bambuí.

3.1.3.4 - DEPÓSITOS MINERAIS E GÊNESE DA MINERALIZAÇÃO

Os depósitos minerais se encontram na base da sequência litológica, em que predominam os dolomitos rosados, e ao longo da zona de falha de direção NE nos morros Lapa Nova, das Minas e Serras Poço Verde, Sucuri e Ouro Podre.

O corpo de minério apresenta, ao longo de sua faixa, uma série de zonas de estricção, com larguras variáveis, da ordem de centímetros até cerca de 60 metros. A mineralização vai até a profundidade de 90 metros sob a superfície atual (Guimarães, 1962). O dolomito se apresenta com impregnação difusa de zinco em ambos os lados do corpo principal do minério, e encerra teores de décimos a 1% de ZnO (Guimarães, 1962).

Amaral (1968b), estudando as mineralizações da Serra Poço Verde, descreve as mineralizações hipogena e supergênica. A mineralização hipogena, ou primária, originou como minerais de minério, apenas a blenda e a galena. A mineralização supergênica ou secundária

ria, aparece cimentando os depósitos eluvionares nas fendas de dis solução ou cimentando o material superficial da zona de falha longi tudinal e transversal. São dezessete os minerais secundários iden tificados: prata nativa, cobre nativo, calcosina, covelina, alcan tita, zincita, cuprita, smithsonita, cerussita, malaquita, auricalci ta, hidrozincoita, brochantita, linarita, piromorfita, Willemita, e hemimorfita (Amaral, 1968).

Os depósitos da região de Vazante, assim como em ou tras regiões mineralizadas no Grupo Bambuí, estão sendo classifi cados por muitos autores como do tipo "Mississippi Valley".

Robertson (1963), Guimarães (1962) atribuem à minerali zação primária, uma origem hidrotermal, denominada por Beurlen (1974), como epi-exogenética. Cassedanne (1968) e Dardenne (1974) acredi tam numa origem sin-sedimentar, denominada por Beurlen como epi-endo genética. Amaral (1968) considera que a gênese do minério hipógeno tenha se dado por concentração primária dos elementos nas rochas da Formação Sete Lagoas, com posterior remobilização e deposição em zo nas de falha. Portanto, considerando a fase inicial de concentra ção também estaria classificado como epiendogenética, segundo Beurlen (1974).

Beurlen (1974), estudando as mineralizações do Grupo Bambuí, distingue quatro fases, que estão de acordo com os estudos realizados anteriormente para a região de Vazante:

- Fase sin-sedimentar;
- Fase da diagênese tardia e distrofismo do Grupo Bambuí;
- Fase de remobilização no ciclo cárstico pré-Urucuia;
- Fase dos processos de cimentação-oxidação e concentração e luvial.

3.2 - COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA ÁREA, COM BASE EM VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS

3.2.1 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

A elaboração de uma compartimentação geomorfológica para a área (Apêndice C) foi possível através de uma avaliação do poder discriminatório das variáveis e da análise do relacionamento entre as variáveis discriminatórias.

3.2.1.1 - AValiação DO PODER DISCRIMINATÓRIO DAS VARIÁVEIS

O objetivo da análise morfométrica era verificar se as diferentes unidades litológicas (A, B e C), poderiam ser discriminadas através das variáveis morfométricas e assim, propor uma compartimentação geomorfológica para a área. Isso foi feito através da análise de variância, para as variáveis extraídas das fotografias aéreas branco e pretas e para as variáveis extraídas de carta topográfica.

Foram analisados os comportamentos somente das variáveis discriminatórias para cada unidade; as variáveis que não foram discriminatórias foram abandonadas, visto que o objetivo dessa análise era justamente a separação das três unidades litológicas e a elaboração de uma compartimentação geomorfológica através das variáveis morfométricas discriminatórias.

Variáveis Extraídas de Fotografias Aéreas Branco e Pretas

As variáveis extraídas de fotografias aéreas branco e pretas foram: densidade de drenagem, frequência de rios e textura topográfica, cujos resultados encontram-se nas Tabelas III.1, III.2, III.3, III.4, III.5 e III.6.

Pelos resultados da análise de variância, que demonstram o poder discriminatório de cada variável, e pelos testes de Menor Diferença Significativa (M.D.S.), que permitem a criação objetiva de classes que podem agrupar e ordenar partes componentes do sistema segundo características quantificadas, constata-se que as três variáveis: densidade de drenagem, frequência de rios e textura topográfica, permitem a discriminação das três unidades litológicas da Formação Paraopeba, a um nível de significância de 0,01.

TABELA III.1

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS ÍNDICES DE DENSIDADE DE DRENAGEM

FONTES DE VARIACÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F _{calc.}	F _{tab.} (Nível 0,01)
Tratamentos	2	181,41	90,71		
Erro	81	180,08	2,22	40,86**	4,82
TOTAL	83	361,49	-	-	-

** Significante ao nível de 0,01

FONTE: Steel and Torrie, 1960.

TABELA III.2

TESTE DA MENOR DIFERENÇA SIGNIFICATIVA ÀS CLASSES DE DENS. DE DRENAGEM

VALOR DA M.D.S. (Nível 0,01)	CLASSES		
	A	B	C
0,05	0,92	2,85	4,52

FONTE: Steel and Teorrie, 1960.

TABELA III.3

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS ÍNDICES DE FREQUÊNCIA DE RIOS

FONTES DE VARIÇÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F _{calc.}	F _{tab.} (Nível 0,01)
Tratamentos	2	3632,64	1816,32		
Erro	81	5312,50	65,59	27,69**	4,82
TOTAL	83	8945,14	-	-	-

** Significante ao nível de 0,01

FONTE: *Steel and Torrie, 1960*

TABELA III.4

TESTE DA MENOR DIFERENÇA SIGNIFICATIVA ÀS CLASSES DE FREQUÊNCIA DE RIOS

VALOR DA M.D.S. (Nível 0,01)	CLASSES		
	A	B	C
5,71	2,71	10,61	18,82

FONTE: *Steel and Torrie, 1960.*

TABELA III.5

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS ÍNDICES DE TEXTURA TOPOGRÁFICA

FONTES DE VARIACÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F _{calc.}	F _{tab.} (Nível 0,01)
Tratamentos	2	745,43	372,72		
Erros	81	776,53	9,59	38,87**	4,82
TOTAL	83	1521,96	-	-	-

** Significante ao nível de 0,01.

FONTE: Steel and Torrie, 1960

TABELA III.6

TESTE DA MENOR DIFERENÇA SIGNIFICATIVA ÀS CLASSES DE TEXTURA TOPOGRÁFICA

VALOR DA M.D.S. (Nível 0,01)	CLASSES		
	A	B	C
2,81	1,67	5,45	8,97

FONTE: Steel and Torrie, 1960

$$M.D.S. = \left(\sqrt{\frac{2 QM_E}{N}} \right) t_{0,05 \text{ com G.L.E.}}$$

M.D.S. = Menor Diferença significativa

Q.M._E = Quadrado Médio do Erro

t = Valor Tabelado de "t"

G.L.E. = Graus de Liberdade do Erro

N = Número de observações em cada tratamento

FONTE: Steel and Torrie, 1960.

VARIÁVEIS EXTRAÍDAS DE CARTA TOPOGRÁFICA

As variáveis extraídas de carta topográfica foram: densidade de drenagem, frequência de rios, altitude, amplitude e declividade, concavidade e convexidade, cujos resultados encontram-se nas Tabelas III.7, III.8, III.9, III.10, III.11, III.12, III.13, III.14 e III.15.

Pelos resultados da análise de variância para os dados de carta topográfica, tem-se que as variáveis discriminatórias foram: altitude e amplitude, conforme Tabelas III.12 e III.14 e as variáveis não discriminatórias foram: densidade de drenagem, frequência de rios e concavidade e convexidade, conforme Tabelas III.7, III.8 e III.9.

Quanto à variável declividade, o resultado da análise de variância, na Tabela III.10, demonstrou que existem diferenças significativas entre as unidades. O cálculo da M.D.S., entretanto, agrupou numa mesma classe as unidades B (ardósias com filitos e quartzitos intercalados) e C (ardósias com intercalações de metassiltitos) - Tabela III.11. Essa variável, portanto, foi considerada não discriminatória.

Quanto à densidade de drenagem e frequência de rios (Tabela III.7 e III.8), essa análise pode ser compreendida através de Ricci e Petri (1965): "as cartas topográficas correntes são, na maior parte dos casos, desenhadas de modo a obter um conjunto homogêneo; o desenhista, especialmente por razões de estética cartográfica, conserva todos os elementos da rede hidrográfica quando esta é pouco densa, e suprime alguns, ou grande parte dos cursos de água, quando a rede é densa. Assim, a densidade de drenagem mantém-se constante, e muitos indícios de significado geológico ficam, portanto, perdidos".

TABELA III.7

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS ÍNDICES DE DENSIDADE DE DRENAGEM

FONTES DE VARIACÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMAS DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F _{calc.}	F _{tab.} (Nível 0,01)
Tratamentos	2	0,09	0,05		
Erros	81	33,10	0,40	0,13	4,82
TOTAL	83	33,19	-	-	-

FONTE: *Steel and Torrie, 1960.*

TABELA III.8

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS ÍNDICES DE FREQUÊNCIA DE RIOS

FONTES DE VARIACÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F _{calc.}	F _{tab.} (Nível 0,01)
Tratamentos	2	1,50	0,75		
Erros	81	56,82	0,70	1,70	4,82
TOTAL	83	58,32	-	-	-

FONTE: *Stell and Torrie, 1960.*

TABELA III.9

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS ÍNDICES DE CONCAVIDADE E CONVEXIDADE

FONTES DE VARIACÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F _{calc.}	F _{tab.} (Nível 0,01)
Tratamentos	2	5,45	2,73		
Erros	81	393,62	4,82	0,57	4,82
TOTAL	83	399,97	-	-	-

FONTE: *Steel and Torrie, 1960*

TABELA III.10

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS ÍNDICES DE DECLIVIDADE MÉDIA

FONTES DE VARIACÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F _{calc.}	F _{tab.} (Nível 0,01)
Tratamentos	2	1099,63	549,82		
Erros	81	2413,13	29,79	18,46**	4,82
TOTAL	83	3512,76	-	-	-

** *Significante ao nível de 0,01*

FONTE: *Steel and Torrie, 1960.*

TABELA III.11

TESE DA MENOR DIFERENÇA SIGNIFICATIVA ÀS CLASSES DE DECLIVIDADE

VALOR DA M.D.S. (Nível 0,01)	CLASSES		
	A	C	B
3,85	4,07	9,11	12,91

FONTE: *Steel and Torrie, 1960.*

TABELA III.12

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS ÍNDICES DE ALTITUDE

FONTES DE VARIACÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F _{calc.}	F _{tab.} (Nível 0,01)
Tratamentos	2	165495,24	82747,62		
Erros	81	174828,57	2158,38	38,34**	4,82
TOTAL	83	340323,81	-	-	-

** *Significante ao nível de 0,01*

FONTE: *Steel and Torrie, 1960.*

TABELA III.13

TESTE DE MENOR DIFERENÇA SIGNIFICATIVA ÀS CLASSES DE ALTITUDE MÉDIA

VALOR DA M.D.S. (Nível 0,01)	CLASSES		
	C	A	B
32,78	<u>685,43</u>	<u>745,71</u>	<u>795,00</u>

FONTE: Steel and Torrie, 1960.

TABELA III.14

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS ÍNDICES DE AMPLITUDE MÉDIA

FONTES DE VARIACÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F _{calc.}	F _{tab.} (Nível 0,01)
Tratamentos	2	83657,15	41828,58		
Erros	81	144057,14	1778,48	23,52**	4,82
TOTAL	83	227714,29	-	-	-

** *Significante ao nível de 0,01*

FONTE: Steel and Torrie, 1960.

TABELA III.15

TESTE DE MENOR DIFERENÇA SIGNIFICATIVA ÀS CLASSES DE AMPLITUDE

VALOR DE M.D.S. (Nível 0,01)	CLASSES		
	A	C	B
29,76	<u>27,14</u>	<u>70,0</u>	<u>104,29</u>

FONTE: *Steel and Torrie, 1960.*

Quanto à variável concavidade e convexidade, observa-se através das fotografias aéreas e no campo, que as vertentes da unidade (ardósias com intercalações de metassiltitos) são convexas no topo e côncavas na base; as vertentes da unidade B (ardósias com filitos e quartzitos intercalados) são irregulares, com alternância de abruptos rochosos e degraus cobertos de solos e, na unidade A (metassiltitos com lentes de dolomitos), o relevo é predominantemente plano. No entanto, através da análise estatística dos dados (Tabela III.17), não se confirmou tal observação. Um dos problemas talvez tenha sido na própria tomada de medidas. Devido ao tamanho regular da malha escolhida para se medir essa variável, e tendo-se em vista que varia a distribuição das formas, esse tipo de amostragem em grade não é adequado para esse índice. Ora os dados coletados numa célula se referem a todo o perfil de vertente, ora apenas a um segmento, ou ainda, a vários perfis de vertentes. Para esse índice, portanto, a amostragem em grade não foi satisfatória. Essa medida deveria ser feita ao longo do perfil de cada vertente. Isso, no entanto, fugiria do sistema de amostragem em grade, utilizado para as outras variáveis.

3.2.1.2 - ANÁLISE DO RELACIONAMENTO ENTRE AS VARIÁVEIS DISCRIMINATÓRIAS

Num estudo sobre o relacionamento entre número de canais e tipos de rochas em 130 bacias de terceira ordem, extraídas de 8 regiões morfologicamente distintas de Uganda, Doornkamp e King(1971) concluem que altos níveis de correlação ocorrem quando a análise é confinada a um só tipo de rocha, e não a vários tipos.

Assim também foi feita a análise do relacionamento entre as variáveis para a região de Vazante. Das 250 amostras coletadas para toda a região, foram sorteadas 28 para cada unidade litológica, e calculou-se o coeficiente de correlação entre todas as variáveis discriminatórias: densidade de drenagem, frequência de rios e textura topográfica (de fotografias aéreas branco e pretas), e altitude, amplitude e grau de dissecamento (de carta topográfica). Os resultados encontram-se nas Tabelas III.16, III.17 e III.18.

TABELA III.16

COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO OBTIDOS ENTRE AS VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS PARA A UNIDADE A

	DENSIDADE DRENAGEM	TEXTURA TOPOGR.	FREQ. DE RIOS	ALTITUDE	AMPLITUDE	GRAU DE DISSEC.
D. Drenagem	1,00					
T. Topograf.	0,99	1,00				
Freq. Rios	0,88	0,87	1,00			
Altitude	-0,27	-0,26	-0,18	1,00		
Amplitude	0,22	0,22	0,14	0,18	1,00	

TABELA III.17

COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO OBTIDOS ENTRE AS VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS PA-
RA A UNIDADE B

	DENSIDADE DRENAGEM	TEXTURA TOPOGR.	FREQ. DE RIOS	ALTITUDE	AMPLITUDE	GRAU DE DISSEC.
D. Drenagem	1,00					
T.Topograf.	0,99	1,00				
Freq. Rios	0,70	0,71	1,00			
Altitude	0,16	0,15	0,05	1,00		
Amplitude	0,21	0,21	0,06	0,72	1,00	
G.Dissec.	-0,15	-0,15	-0,04	-0,99	-0,72	1,00

TABELA III.18

COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO OBTIDOS ENTRE AS VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS PA-
RA A UNIDADE C

	DENSIDADE DRENAGEM	TEXTURA TOPOGR.	FREQ. DE RIOS	ALTITUDE	AMPLITUDE	GRAU DE DISSEC.
D. Drenagem	1,00					
T.Topograf.	0,99	1,00				
Freq.Rios	0,42	0,42	1,00			
Altitude	0,38	0,38	0,50	1,00		
Amplitude	0,26	0,26	0,22	0,57	1,00	
G. Dissec.	-0,38	-0,38	-0,50	-0,99	-0,57	1,00

UNIDADE A = Metassiltitos com lentes de dolomitos

UNIDADE B = Ardósias com filitos e quartzitos intercalados

UNIDADE C = Ardósias com intercalações de metassiltitos

Analisando-se esses resultados, tem-se que os coeficientes de correlação mais elevados são:

TABELA III.19

COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO MAIS ELEVADOS ENTRE AS VARIÁVEIS

VARIÁVEIS	UNIDADES		
	A	B	C
Dens. Drenagem X Text. Topográfica	0,99	0,99	0,99
Dens. Drenagem X Freq. de Rios	0,88	0,70	0,42
Altitude X Amplitude	0,18	0,72	0,57
Altitude X Grau de Dissecamento	-0,99	-0,99	-0,99

Para as três unidades, o coeficiente de correlação entre altitude e grau de dissecamento foi de -0,99, portanto, uma correlação alta, inversa. Isso indica que as duas variáveis possuem o mesmo comportamento para as três unidades. Portanto, a variável grau de dissecamento, que é inversamente derivada da altitude, pode ser rejeitada. O mesmo acontece entre densidade de drenagem e textura topográfica, onde se optou pela densidade de drenagem.

3.2.2 - COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA ÁREA

A avaliação do poder discriminatório das variáveis e a análise do relacionamento entre elas, permitiu chegar-se a uma compartimentação geomorfológica para a área que, nessa ordem de grandeza, vincula-se diretamente ao comando das estruturas, como pode ser observado no Apêndice C.

Entretanto, prevaleça a influência estrutural ou a es cultural, ou haja equilíbrio dos dois fenômenos geomorfológicos, a paisagem sempre reflete interação de processos. (Penteado, 1974).

3.2.2.1 - RELEVO CÂRSTICO (UNIDADE A)

Litologicamente essa unidade é constituída de metassilitos com lentes de dolomitos, que se sobressaem na topografia plana,

O melhor exemplo de relevo ruiforme é o dos dolômi tos, carbonatos duplos de cálcio e magnésio. Na teoria, elas são me nos solúveis do que o calcário, pois contém carbonato de magnésio, mas por serem muito porosas, sofrem intensamente o ataque das águas (Derrouau, 1962).

Na região de Vazante, observa-se que essas lentes de do lomitos possuem escarpas rochosas nuas, abruptas e crivadas de laplãs.

Essa unidade, definida como Relevo Cârstico, apresenta baixa densidade de drenagem ($0,92 \text{ km/km}^2$, conforme Tabela III.2), com a maioria dos rios de natureza temporária, devido à alternância de pe ríodos chuvosos e de seca acentuada, e à própria natureza das rochas.

Na estação seca, alguns rios superficiais vão diminuin do o débito pela perda de água através de fissuras localizadas em seu leito, ou desaparecem inteiramente. Um exemplo típico é o Córrego Barroção que durante a estação seca desaparece totalmente, deixando seu leito pavimentado de detritos. Os cursos subterrâneos são alimentados pela infiltração, ressurgindo em vários tipos de fontes, das quais são exemplos típicos a Lagoa do Poço Verde e Lagoa do Sucuri, que permane cem com água durante o ano todo.

O Ribeirão Santa Catarina e os córregos Barroquinha e Água Doce são os que assumem maior importância devido a sua natureza de rios perenes e por controlar o nível do lençol freático. O Ribeirão Santa Catarina, além do grande volume de água que contém, é alimentado durante o seu curso por fontes e lagoas mantidas por cursos de água subterrâneos. Além disso, não atravessa regiões de grandes fissuramentos.

A frequência de rios dessa unidade (2,71 rios/km², conforme Tabela III.4) é baixa com relação às demais unidades. É que os rios perenes e longos, em área de morfologia cárstica (como o Ribeirão Santa Catarina, por exemplo), não possuem afluentes pequenos (de primeira ordem), que são os que mais contribuem para um aumento na frequência de rios e na capacidade geradora de novos cursos d'água.

Essa unidade apresenta valores intermediários de altitude média (745,71, conforme Tabela III.13). Analisando-se as fotografias aéreas e através de observações de campo, essa unidade parece ser a menos elevada com relação às demais, aqui definidas. Mas através da análise dos valores médios de altitude para toda a região, constatou-se que, no conjunto, ela não é a mais deprimida. É que no contato entre essa unidade e a unidade C (Relevo de Colinas, constituído de ardósias com intercalações de metassiltitos), há uma inversão da topografia. Realmente a unidade A aparece mais baixa do que a unidade C. Esse aspecto é evidenciado por uma escarpa contínua e bem delineada, que separa as duas unidades.

Quando o relevo mostra fraca dependência à resistência das litologias envolvidas, ele pode corresponder a uma escarpa de falha, pois se resultasse somente da ação erosiva isolada, as rochas mais duras manteria, as elevações, enquanto as planícies e os vales corresponderiam às formações mais moles. Se as rochas mais resistentes ocupam áreas mais rebaixadas, enquanto as moles ressaltam na topografia, tal situação é favorável a uma escarpa de falha.

A amplitude média é de 27,14 m (Tabela III.15), portanto, uma amplitude pequena quando comparada com as outras unidades, indicando que não há grandes desníveis na área, exceto onde aparecem as lentes de dolomitos.

Quanto ao relacionamento entre as variáveis, verificou-se que, entre densidade de drenagem e frequência de rios, o coeficiente de correlação foi de 0,88 (Tabela III.16). Como os rios são longos, com pouca ramificação, um aumento no número de rios implica no aumento do comprimento dos rios e, conseqüentemente, haverá um aumento da densidade de drenagem. Daí o alto grau de correlação entre essas duas variáveis para essa unidade.

3.2.2.2 - RELEVO DE CRISTAS (UNIDADE B)

Litologicamente essa unidade é constituída por ardósias com filitos e quartzitos intercalados.

Caracteriza-se por uma densidade de drenagem de 2,85 km/km², conforme Tabela III.2. Trata-se, portanto, de um índice médio com relação às demais unidades.

Os quartzitos são muito resistentes pela homogeneidade, natureza dos grãos e pelo fissuramento que reduz o escoamento superficial. Sua composição silicosa torna-os rochas menos solúveis. Eles constituem, pois, as cristas e arestas mais elevadas no meio dos filitos.

No alto curso do Córrego Barrocão, observa-se um controle estrutural da drenagem pelos lineamentos de quartzitos. Os rios, na sua maioria, correm paralelos à estrutura, alguns, entretanto, a cortam perpendicularmente. Além disso, observa-se um pronunciado desenvolvimento de vales condicionados à remoção rápida das rochas menos resistentes, como os filitos e ardósias. O índice mé

dio de densidade de drenagem, portanto, é devido ao reduzido escoamento superficial nos quartzitos e ao aumento da densidade nos filitos.

O índice de frequência de rios foi de 10,61 rios/km² (Tabela III.4), portanto, um índice também médio com relação às de mais unidades. É que onde há um maior desenvolvimento de vales condicionados às rochas menos resistentes, observa-se um aumento no número de canais de primeira ordem, que são os que mais contribuem para um aumento na frequência de rios. Por outro lado, não se observa o desenvolvimento de drenagem sobre os quartzitos, devido à resistência oferecida por esse tipo de rocha. Portanto, nessa região, onde há diferenças nos tipos de rochas quanto à resistência, a frequência de rios caracteriza-se por um valor médio.

As altitudes médias são as mais elevadas entre todas as unidades (795,0 m, conforme Tabela III.13), pois os quartzitos, por serem mais resistentes à erosão, mantêm a topografia num nível mais elevado. Por serem mais resistentes à erosão, e por se acharem intercalados com filitos, o ataque da erosão é maior nos filitos que, sendo menos resistentes, vão sofrendo um maior desgaste pelos agentes erosivos. Isso ocasiona uma grande amplitude média para essa unidade (104,29m, conforme Tabela III.15), com degraus de escarpas rochosas nuas correspondentes aos quartzitos, e solos mais espessos, correspondentes aos filitos.

O coeficiente de correlação entre densidade de drenagem e frequência de rios para essa unidade foi de 0,70 (Tabela III.17). É que nessa unidade há um aumento no número de canais de primeira ordem, mas isso não implica no aumento do comprimento dos rios. Portanto, um aumento no número de rios não corresponde a um aumento no comprimento deles. Isso faz com que haja uma diminuição no coeficiente de correlação com relação à unidade anterior.

O coeficiente de correlação entre altitude e amplitude foi de 0,72 (Tabela III.17); o mais elevado entre todas as unida-

des. Essa é a unidade que topograficamente se acha mais elevada, e cujos valores de amplitude média também são os mais elevados, resultando num coeficiente de correlação alto. As cristas paralelas de quartzito, que mantêm a topografia num nível mais elevado, são também as responsáveis pelos altos valores de amplitude, pois dão vertentes íngremes, em formas de degraus com grandes desníveis entre o topo e a base.

Esse índice foi um dos fatores principais para se definir um relevo de cristas, desde que o paralelismo das cristas corresponde às rochas duras, e os valores, ou seja, as partes mais baixas, correspondem às rochas tenras.

3.2.2.3 - RELEVO DE COLINAS

Litologicamente essa unidade é constituída de ardósias com intercalações de metassiltitos.

Os dois índices, obtidos a partir das fotografias aéreas branco e pretas, foram os mais elevados entre as três unidades.

Assim, a densidade de drenagem foi de $4,52 \text{ km/km}^2$ (Tabela III.2). Isto se deve à baixa permeabilidade desse tipo de rocha, responsável pelo alto coeficiente de escoamento superficial.

No contato entre essa unidade e a correspondente ao relevo cárstico, observa-se que os canais de drenagem são profundos e múltiplos, com vertentes inclinadas e recortadas pela erosão dos canais.

Mais a leste, observa-se que os vales são mais largos e a carga dos rios é mais grosseira, pavimentando os fundos dos vales, impedindo, assim, a erosão do leito rochoso subjacente. Com isso, o excesso de energia disponível é usado no alargamento dos vales. fi-

cando os leitos rasos e abertos.

Predomina o padrão dendrítico, característico de terrenos impermeáveis, e que indica falta de controle estrutural, com exceção do Córrego Palmital e do córrego paralelo a ele, mais ao norte. No restante da área, a drenagem se caracteriza por rios principais longos e afluentes curtos, com grande número de canais de primeira ordem, principalmente na região de contato com unidade adjacente.

A frequência de rios foi de 18,82 rios/km², conforme Tabela III.4, portanto, um coeficiente elevado com relação às demais unidades. Essa elevada frequência de rios deve-se ao fato de haver grande número de canais de primeira ordem dessa unidade, pois de todos os canais dentro de uma bacia de drenagem, são os canais de primeira ordem que fornecem a maior quantidade para o comprimento total da rede de drenagem, apesar do fato do comprimento médio dos canais de primeira ordem ser menor do que os de outra ordem (Doornkamp e King, 1971). Isso implica que o que falta no comprimento dos canais de primeira ordem, é suprido pelo número deles.

No conjunto, essa unidade apresenta as menores altitudes médias da região (685, 43 m, conforme Tabela III.13). O relevo encontra-se bastante dissecado pela grande quantidade de rios esculpindo rochas de baixa resistência à erosão.

As amplitudes médias de 70,0m (Tabela III.15), são mais representativas no contato entre essa unidade e a adjacente, de relevo cárstico, já que no restante desta área observou-se, em trabalho de campo, que as amplitudes entre os fundos de valres e os interflúvios tendem a decrescer em direção ao nível de base do vale do Rio Paracatu.

Quanto ao relacionamento entre as variáveis, observou-se o mais baixo coeficiente de correlação entre densidade de drenagem

e frequência de rios (0,42 conforme Tabela III.18). Portanto, o que está influenciando o coeficiente de correlação é o número de canais de primeira ordem. Como eles são muito numerosos nesta unidade, e como são de pequena extensão, vão contribuir pouco para um aumento na densidade de drenagem (comprimento dos canais/área). Entretanto sua contribuição vai ser grande no aumento da frequência de rios ((número de rios/área).

De fato, Melton (1958), segundo Strahler (1964), conclui que um aumento na frequência de rios não implica necessariamente num aumento da densidade de drenagem. Duas bacias podem ter a mesma densidade de drenagem, porém diferentes frequências de rios e vice-versa.

Quanto ao relacionamento entre as variáveis altitude e amplitude, verificou-se um coeficiente de correlação de 0,57 (Tabela III.18), portanto, um coeficiente médio com relação às demais unidades. Esse coeficiente médio é explicado pelo fato de haver grande amplitude e altitudes elevadas na região de contato, e uma diminuição das altitudes e das amplitudes mais a leste, em direção ao nível de base do Rio Paracatu. Essa diferença pode ser atribuída ao fator estrutural (escarpa de falha), que provocou um levantamento das bordas dessa unidade.

3.3 - COMPARAÇÃO ENTRE SENSORES FOTOGRÁFICOS COM BASE NA REDE DE DRENAGEM

A comparação entre os sensores foi feita através da análise de variância, com o objetivo de verificar se havia diferenças estatísticas significativas entre as fotografias aéreas branco e pretas e as transparências multiespectrais I²S e, assim, verificar qual dos produtos fotográficos daria maior quantidade de informações para cada unidade fotointerpretada.

Da unidade A (Relevo Cárstico), foram extraídas três a mostras circulares, cujos dados e resultados encontram-se nas Tabelas III.20 e III.21).

TABELA III.20

DADOS DE DENSIDADE DE DRENAGEM COLETADOS A PARTIR DE DOIS TIPOS DE SENSORES FOTOGRÁFICOS PARA O RELEVO CÁRSTICO

AMOSTRAS	TRANSPARÊNCIAS MULTIESPECTRAIS (I ² S)	FOTOGRAFIAS BRANCO E PRETAS (HASSELBLAD)
A ₁	1,01	1,02
A ₂	0,51	2,02
A ₃	0,75	0,90

TABELA III.21

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FONTES DE VARIACÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F _{calc.}	F _{tab.} (Nível 0,01)
Tratamentos	1	0,46	0,46		
Erros	4	0,88	0,22	2,09	21,20
TOTAL	5	1,34	-	-	-

Pelo teste F (distribuição devida a Fisher), fica estabelecida a hipótese nula (H_0), de que os dois tipos de sensores dão a mesma quantidade de informações na unidade de relevo cárstico, pois o $F_{tab.}$ é maior do que o $F_{calc.}$

Porém, analisando-se visualmente as amostras da unidade de A (Relevo Cárstico), na Figura III.5, verifica-se que as fotografias aéreas branco e pretas fornecem maior quantidade de informações.

É que essa unidade, por ser bastante plana, permite um traçado mais detalhado da rede de drenagem, através do uso do este reoscópio, para as fotografias branco e pretas.

A fotografia multiespectral mostrou-se menos eficiente na extração da rede de drenagem. Por outro lado, ela é mais eficiente na diferenciação das lentes de dolomito, por apresentar uma vegetação mais exuberante, portanto maior reflectância na região do infravermelho.

Os dados e resultados da unidade B (Relevo de Cristas), encontram-se nas Tabelas III.22 e III.23..

TABELA III.22

DADOS DE DENSIDADE DE DRENAGEM COLETADOS A PARTIR DE DOIS TIPOS DE
SENSORES PARA O RELEVO DE CRISTAS

AMOSTRAS	TRANSPARÊNCIAS MULTIESPECTRAIS (I^2S)	FOTOGRAFIAS BRANCO E PRETAS (HASSELBLAD)
B ₁	9,76	8,77
B ₂	11,10	8,81

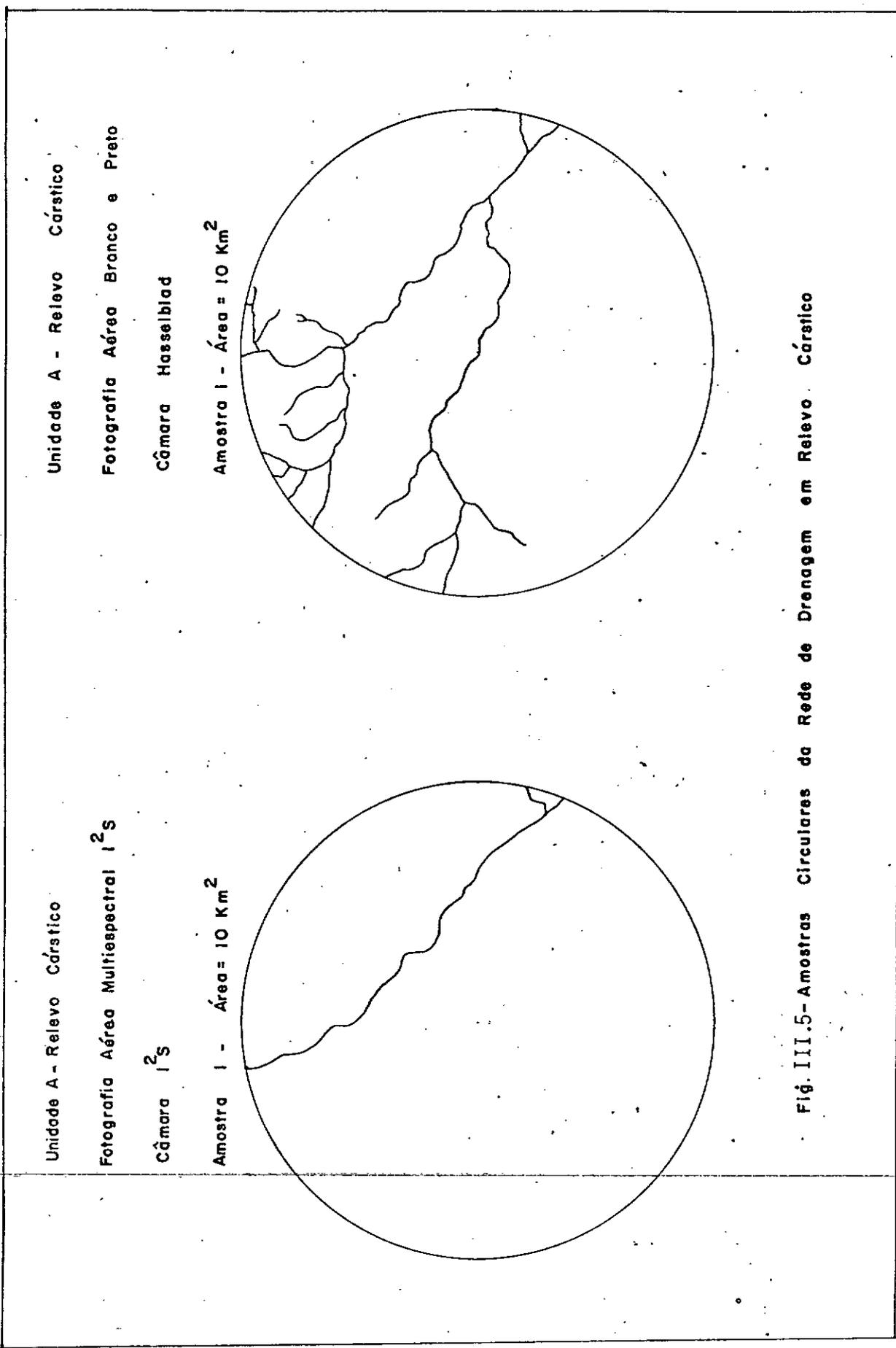


Fig. III.5- Amostras Circulares da Rede de Drenagem em Relevo Cárstico

TABELA III.23

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FONTES DE VARIACÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F _{calc.}	F _{tab.} (Nível 0,01)
Tratamentos	1	2,69	2,69		
Erros	2	0,88	0,44	6,11	98,50
TOTAL	3	3,57	-	-	-

Através do Teste F, fica estabelecida a hipótese nula (H₀) de que os dois tipos de sensores fotográficos dão a mesma quantidade de informações para a Unidade B, de Relevo de Cristas, pois o F_{tab.} foi maior do que o F_{calc.}

Analisando-se visualmente a Figura III.6, entretanto, nota-se que as transparências multiespectrais I²S fornecem maior quantidade de informações quanto à densidade de drenagem do que as fotografias aéreas branco e pretas. Isso porque nas fotografias aéreas branco e pretas, a drenagem é traçada através da mata galeria. No canal 4 das transparências multiespectrais, entretanto, a rede de drenagem pode ser traçada através do próprio curso d'água, que nessa faixa apresenta baixa reflectância, aparecendo com cor escura, permitindo um traçado mais detalhado de seu curso.

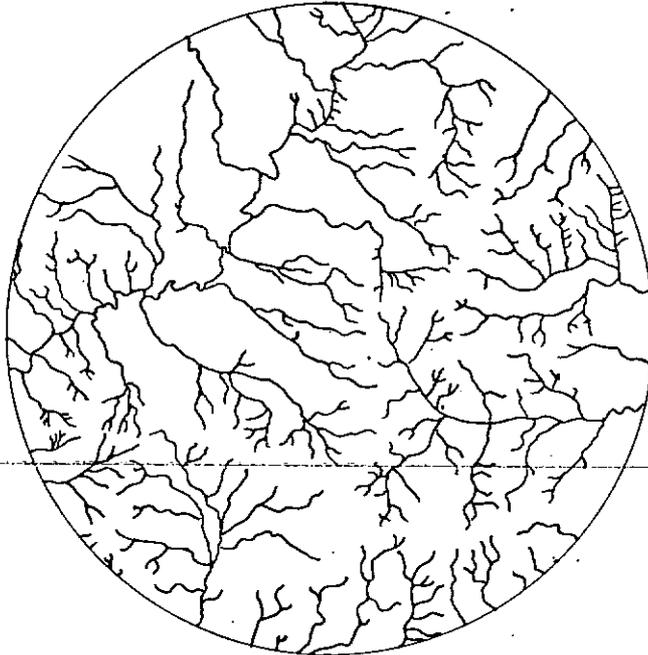
Os dados e resultados da unidade C (Relevo de Colinas), encontram-se nas Tabelas III.24 e III.25.

Unidade B - Relevo de Cristas

Fotografia Aérea Multiespectral 1²S

Câmara 1²S

Amostra 1 - Área = 10 Km²



Unidade B - Relevo de Cristas

Fotografia Aérea Branco e Preto

Câmara Hasselblad

Amostra 1 - Área = 10 Km²

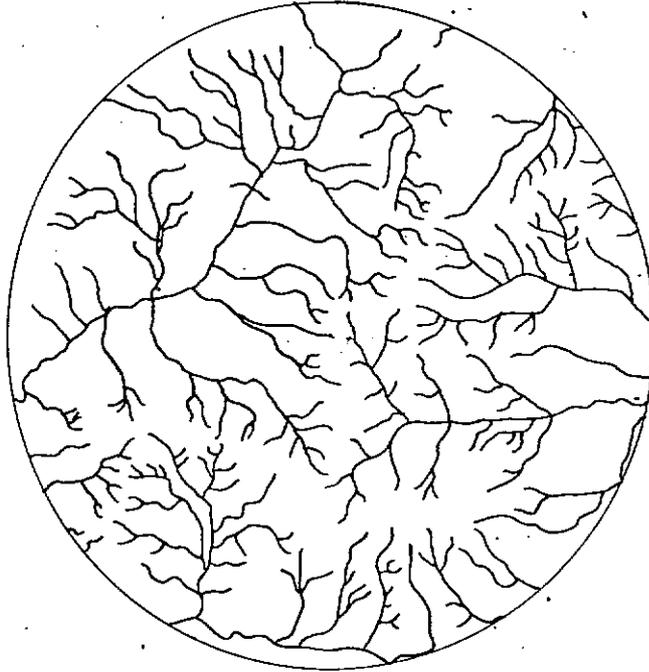


Fig.III.6 - Amostras Circulares da Rede de Drenagem em Relevo de Cristas

TABELA III.24

DADOS DE DENSIDADE DE DRENAGEM COLETADOS A PARTIR DE DOIS TIPOS DE SEN
SORES PARA O RELEVO DE COLINAS

AMOSTRAS	TRANSPARÊNCIAS MULTIESPECTRAIS (I ² S)	FOTOGRAFIAS BRANCO E PRETAS (HASSELBLAD)
C ₁	10,96	11,81
C ₂	11,25	12,22
C ₃	11,00	10,49

TABELA III.25

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FONTES DE VARIACÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F _{calc.}	F _{tab.} (Nível 0,01)
Tratamentos	1	0,28	0,28		
Erros	4	1,68	0,42	0,66	21,20
TOTAL	5	1,96	-		

Pelo teste F (distribuição devida a Fisher), fica esta
beleçada a Hipótese Nula (H₀) de que os dois tipos de sensores dão a
mesma quantidade de informações para a área de Relevo de Colinas, pois
o F_{calc.} foi menor do que o F_{tab.}

Analisando-se visualmente as amostras dessa unidade (Figura III.7), nota-se que realmente não há grandes diferenças entre as fotografias branco e pretas e as multiespectrais I²S quanto à densidade de drenagem. O único aspecto que indica uma diferença é que na fotografia multiespectral, o traçado da rede de drenagem é mais detalhado, o que é evidenciado através da quantidade de curvas apresentadas ao longo do canal principal.

Nessa unidade, os canais são bem marcados na topografia e possuem mata galeria que os acompanha desde os canais de pequena ordem até os principais. Esse aspecto facilita a identificação da rede de drenagem tanto em um tipo de fotografia quanto em outro: através das transparências multiespectrais, a drenagem pode ser traçada através dos cursos d'água, que apresentam baixa reflectância no infravermelho, e através das fotografias branco e pretas, tem-se evidenciados os entalhamentos dos canais, devido ao princípio da estereoscopia.

3.4 - UTILIZAÇÃO DE DADOS DO LANDSAT NA COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

A análise das amostras circulares, extraídas do sensor orbital LANDSAT, teve como objetivo constatar a divisão do relevo em três unidades distintas, verificando, assim, qual o nível de detalhe a que se pode chegar através das imagens LANDSAT em geomorfologia.

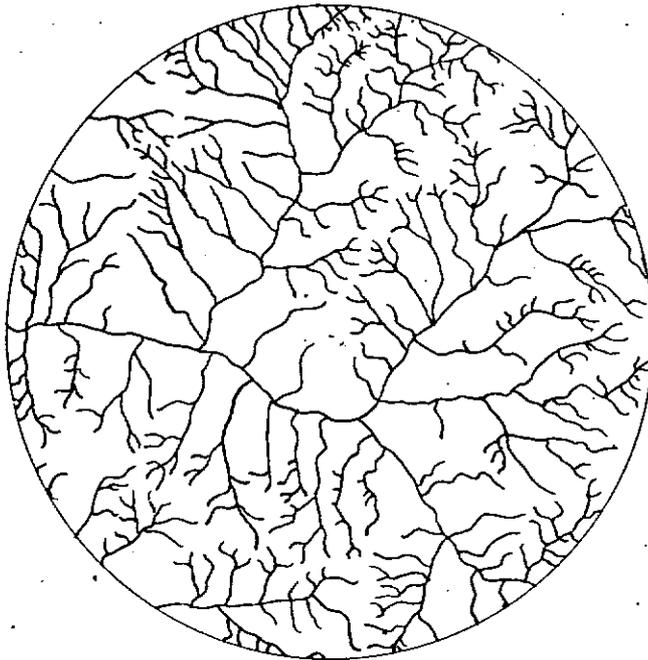
Os dados coletados e os resultados obtidos encontram-se nas Tabelas III.26 e III.27.

Unidade C - Relevo de Colinas

Fotografia Aérea Branco e Preto

Câmara Hasselblad

Amostra 1 - Área = 10 Km²



Unidade C - Relevo de Colinas

Fotografia Aérea Multiespectral 1²S

Câmara 1²S

Amostra 1 - Área = 10 Km²



Fig. III.7 - Amostras Circulares da Rede de Drenagem em Relevo de Colinas

TABELA III.26

DADOS DE DENSIDADE DE DRENAGEM OBTIDOS ATRAVÉS DE IMAGENS LANDSAT PARA AS TRÊS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DA ÁREA

AMOSTRAS	RELEVO CĀRSTICO (UNIDADE A)	RELEVO DE CRISTAS (UNIDADE B)	RELEVO DE COLINAS (UNIDADE C)
1	0,90	1,40	2,12
2	0,37	1,70	2,15
3	0,00	-	1,80

TABELA III.27

ANÁLISE DE VARIĀNCIA ENTRE AS TRÊS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DA ÁREA ATRAVÉS DOS ÍNDICES DE DENSIDADE DE DRENAGEM

FONTE DE VARIACĀO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MĒDIO	F _{calc.}	F _{tab.} (Nível 0,01)
Tratamentos	2	4,0	2,0		
Erros	5	0,52	0,10	20,0**	13,27
TOTAL	7	4,52	-	-	-

** *Significante ao nível de 0,01.*

Tem-se assim, que hĀ diferenças significativas entre as unidades geomorfológicas. Foi feito, entĀo, o teste da Menor Diferença Significativa (M.D.S.), cujos resultados encontram-se na Tabela III.28. Esse teste permitiu verificar se existiam unidades que podiam ser agrupadas ou se cada uma formava uma classe separadamente.

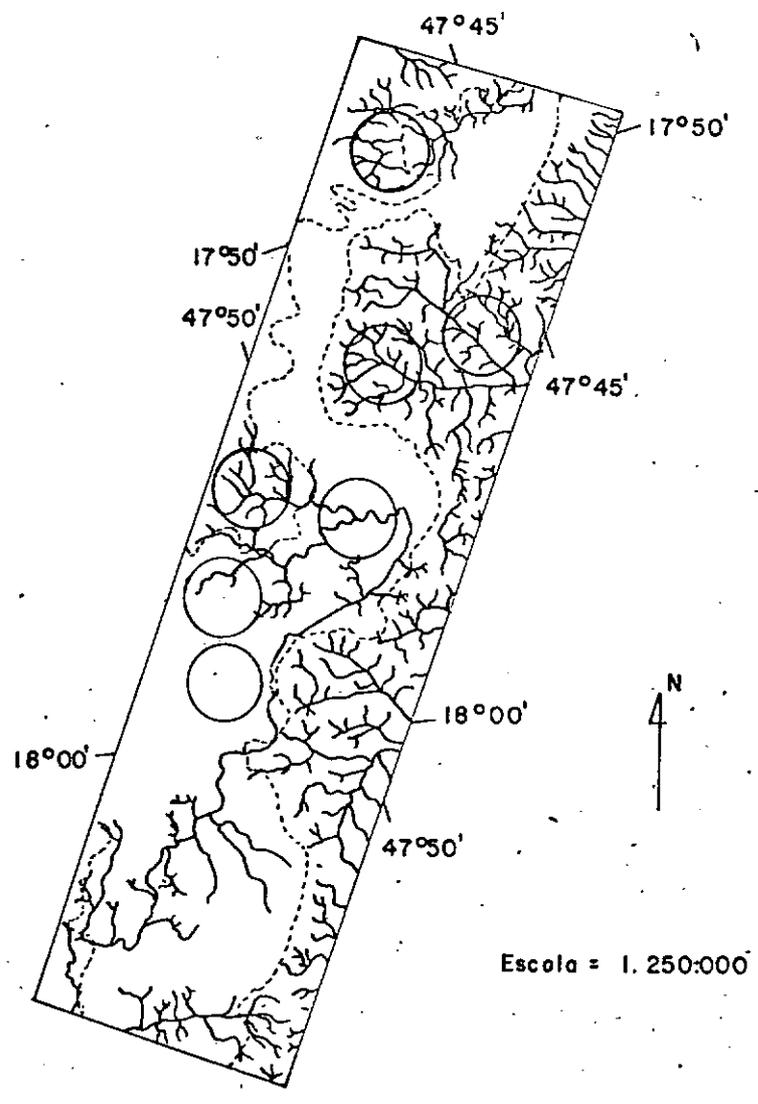
TABELA III.28

TESTE DA MENOR DIFERENÇA SIGNIFICATIVA ENTRE AS TRÊS UNIDADES GEOMORFO
LÓGICAS

UNIDADES		M.D.S.
A 0,42	B 1,55	1,16
A 0,42	C 2,02	1,04
B 1,55	C 2,02	1,16

Os resultados mostraram que as unidades que podem ser discriminadas através das imagens LANDSAT são a de Relevo Cárstico(A) e a de Relevo de Colinas (C). A unidade correspondente ao Relevo de Cristas (B), grupa-se tanto com a unidade A quanto com a unidade C, portanto, ela não pode ser discriminada.

Portanto, o que se conseguiu separar, através das imagens orbitais, foi uma área com alta densidade de drenagem, correspondente ao Relevo de Colinas, e uma área de baixa densidade de drenagem, correspondente ao Relevo Cárstico. Isso é bem evidenciado nas amostras circulares da Figura III.8.



Escola = 1.250:000

Relevo
Cárstico



A₁

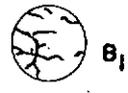


A₂



A₃

Relevo
de Cristas



B₁



B₂

Relevo
de Colinas



C₁



C₂



C₃

Fig. III.8-Amostras Circulares da rede de Drenagem, extraídas das imagens LANDSAT.

3.5 - ANÁLISE DE SUPERFÍCIE DE TENDÊNCIA

A escolha da melhor superfície de ajuste foi feita segundo o método de Davis (1973), em que ele propõe que seja feita análise de variância para cada aumento no grau das superfícies, verificando-se, assim, se há diferenças significativas entre as superfícies de grau maior e de grau menor.

Foi feita, então, a análise de variância para cada aumento no grau das superfícies, desde o grau 1 até o grau 8. Os resultados encontram-se nas Tabelas III.29, III.30, III.31 e III.32 que representam apenas a escolha da melhor superfície de ajuste.

TABELA III.29

ANÁLISE DE VARIÂNCIA ENTRE AS SUPERFÍCIES DE GRAU 8 E DE GRAU 7 PARA A VARIÁVEL ALTITUDE

FONTES DE VARIACÃO	SOMA DOS QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	TESTE F
Regressão do Polinômio de Grau 8	837528,03	44		
Desvio do Polinômio de Grau 8	196441,82	254	773,39	
Regressão do Polinômio de Grau 7	826919,64	35		
Desvio do Polinômio de Grau 7	207049,51	263		
Regressão devido ao aumento do Grau 7 para o Grau 8	10608,39	9	1178,71	1,52

$$F_{\text{tab.}} = 2,34$$

$F_{\text{calc.}} \leq F_{\text{tab.}}$, portanto, não há diferenças estatísticas significativas entre as duas superfícies.

TABELA III.30

ANÁLISE DE VARIÂNCIA ENTRE AS SUPERFÍCIES DE GRAU 6 E GRAU 5 PARA A VARIÁVEL AMPLITUDE

FONTES DE VARIAÇÃO	SOMA DOS QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	TESTE F
Regressão do Polinômio de Grau 6	204834,36	35		
Desvio do Polinômio de Grau 6	495130,78	263	1882,62	
Regressão do Polinômio de Grau 5	171405,86	27		
Desvio do Polinômio de Grau 5	528559,34	272		
Regressão devido ao aumento do Grau 5 para o Grau 6	33428,5	8	4178,56	2,21

$$F_{\text{tab.}} = 2,51$$

$F_{\text{calc.}} < F_{\text{tab.}}$, portanto, não há diferenças estatísticas significativas entre as duas superfícies.

TABELA III.31

ANÁLISE DE VARIÂNCIA ENTRE AS SUPERFÍCIES DE GRAU 7 E GRAU 6 PARA A
VARIÁVEL DENSIDADE DE DRENAGEM

FONTES DE VARIAÇÃO	SOMA DOS QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	TESTE F
Regressão do Polinômio de Grau 7	515,19	35		
Desvio do Polinômio de Grau 7	772,83	213	3,62	
Regressão do Polinômio de Grau 6	450,40	27		
Desvio do Polinômio de Grau 6	837,61	222		
Regressão devido ao aumento do Grau 6 para o Grau 7	64,79	8	8,09	2,23

$$F_{\text{tab.}} = 2,51$$

$F_{\text{calc.}} < F_{\text{tab.}}$, portanto, não há diferenças estatísticas significativas entre as duas superfícies.

TABELA III.32

ANÁLISE DE VARIÂNCIA ENTRE AS SUPERFÍCIES DE GRAU 8 E GRAU 7 PARA A
VARIÁVEL FREQUÊNCIA DE RIOS

FONTES DE VARIAÇÃO	SOMA DOS QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	TESTE F
Regressão do Polinômio de Grau 8	15451,08	44		
Desvio do Polinômio de Grau 8	16360,56	205	79,80	
Regressão do Polinômio Grau 7	13322,37	35		
Desvio do Polinômio de Grau 7	18489,28	214	236,52	2,96**
Regressão devido ao aumento do Grau 7 para o Grau 8	2128,71	9		

** *Significante ao nível de 0,01*

$$F_{\text{tab.}} = 1,92$$

$F_{\text{calc.}} > F_{\text{tab.}}$, portanto, há diferenças estatísticas significativas entre as duas superfícies.

Tem-se então, que as melhores superfícies de ajuste foram:

- Para Altitude: Superfície de Grau 7
- Para Amplitude: Superfície de Grau 6
- Para Densidade de Drenagem: Superfície de Grau 6
- Para Frequência de Rios: Superfície de Grau 8

Para cada variável foram feitos 6 perfis, mostrando a superfície computada, a superfície observada e os resíduos. Desses perfis escolheu-se um para cada variável, como exemplo (Figuras III.9 e III.10).

Os mapas de superfície de tendência para cada variável são mostrados nas Figuras III.11, III.12, III.13 e III.14.

O comportamento de cada variável será discutido a seguir:

Altitude:

Observou-se que, para a variável altitude, todos os resíduos foram positivos na zona mineralizada, isto é, a superfície observada era sempre mais elevada do que a superfície computada. (Figura III.9). Isto quer dizer que a zona mineralizada se comporta de maneira anômala com relação aos resíduos observados para a unidade correspondente ao Relevo Cárstico. Este fato é atribuído aos ressaltos topográficos que as Serras Poço Verde, Sucuri e Ouro Podre apresentam numa superfície predominantemente plana. Em outros perfis observou-se que na unidade de Relevo Cárstico, os resíduos positivos correspondem a dolomitos aflorantes à superfície numa cota mais elevada do que observado regionalmente para essa unidade.

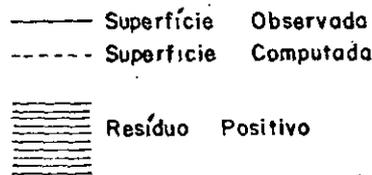
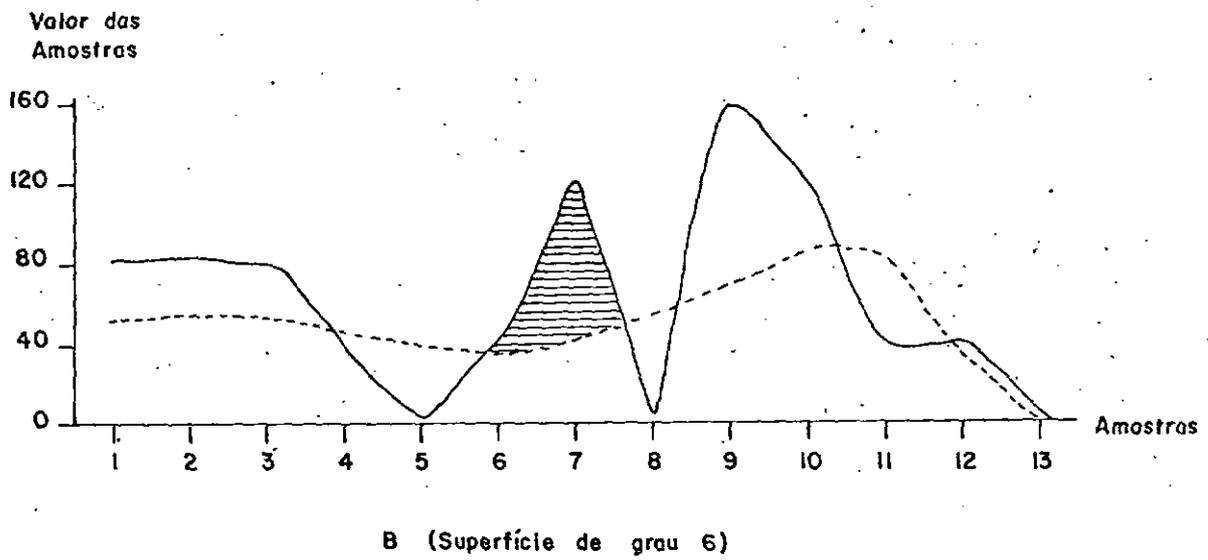
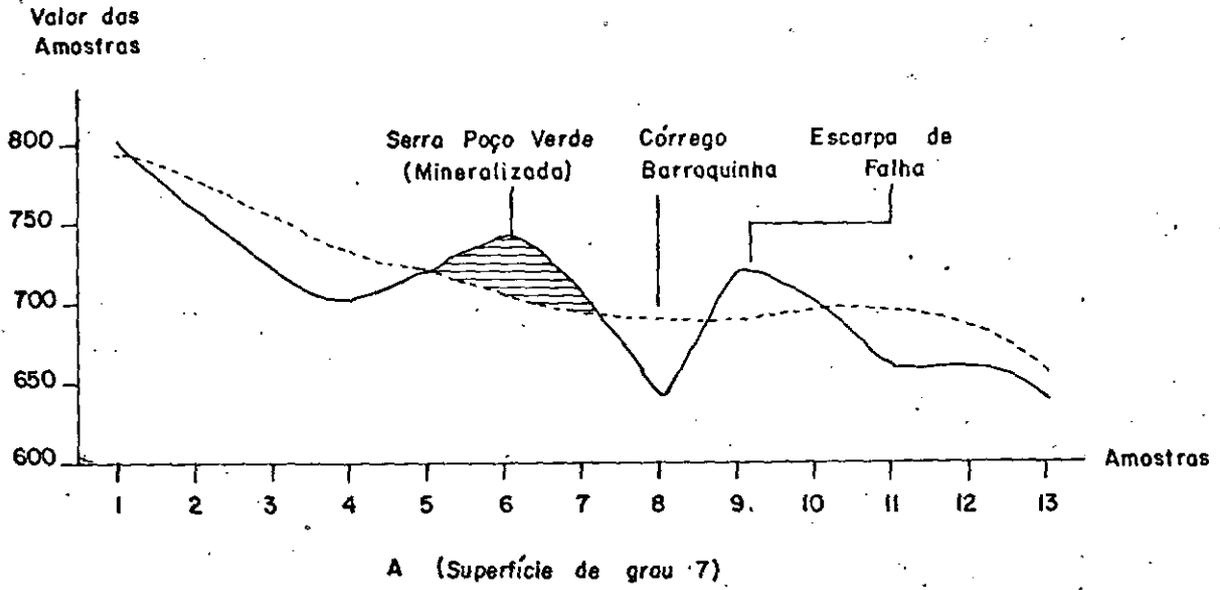


Fig. III.9- Perfis dos Resíduos das Variáveis Altitude (A) e Amplitude (B)

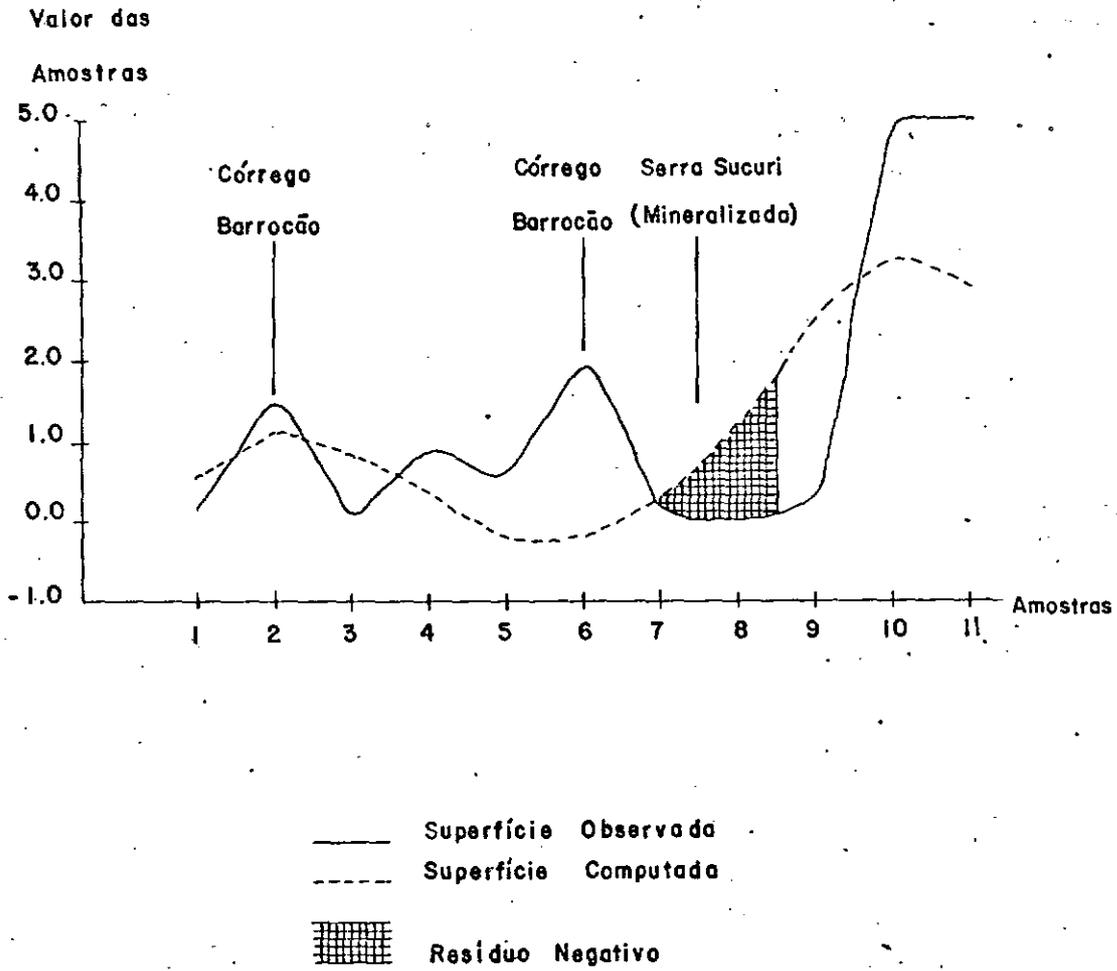
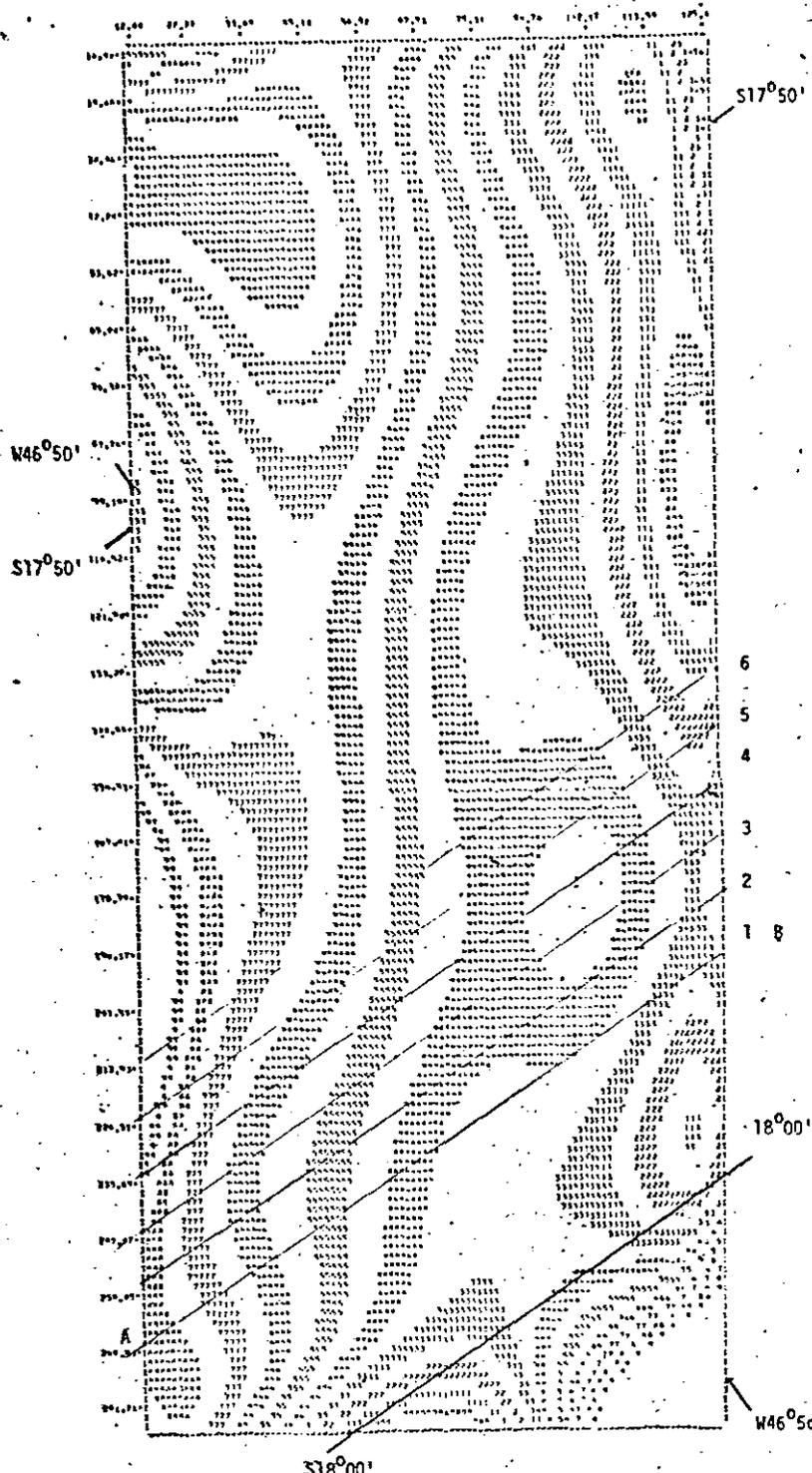


Fig. III.10- Perfil dos Resíduos da Variável Densidade de Drenagem (Superfície de grau 6)

ALTITUDE Superfície de Grau 7

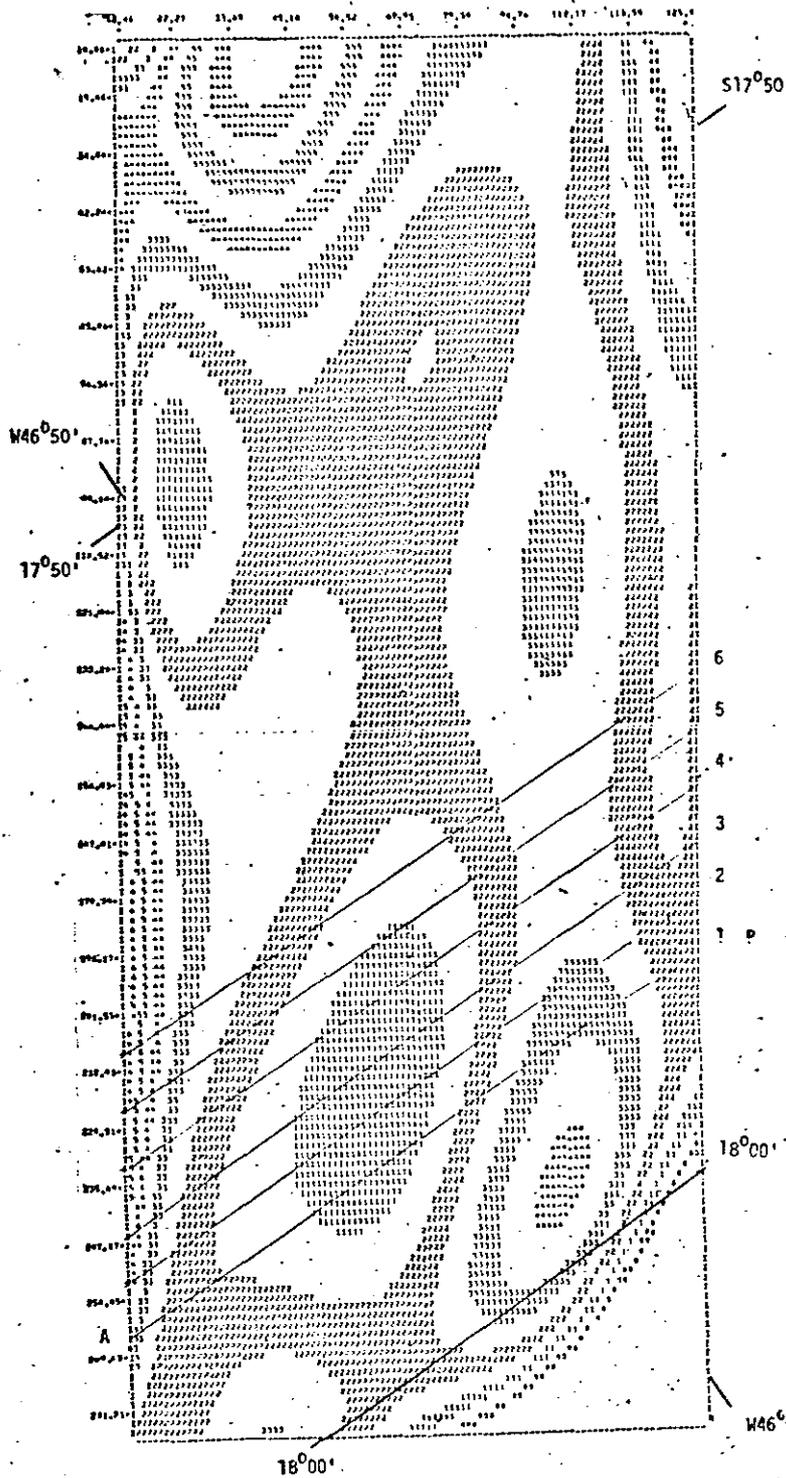


LEGENDA DO MAPA

Símbolo	Valor Máximo
0	612.0
1	624.0
2	636.0
3	648.0
4	660.0
5	672.0
6	684.0
7	696.0
8	708.0
9	720.0
10	732.0
11	744.0
12	756.0
13	768.0
14	780.0
15	792.0
16	804.0
17	816.0
18	828.0
19	840m

0,91 0 0,91 2,73 4,55 Km

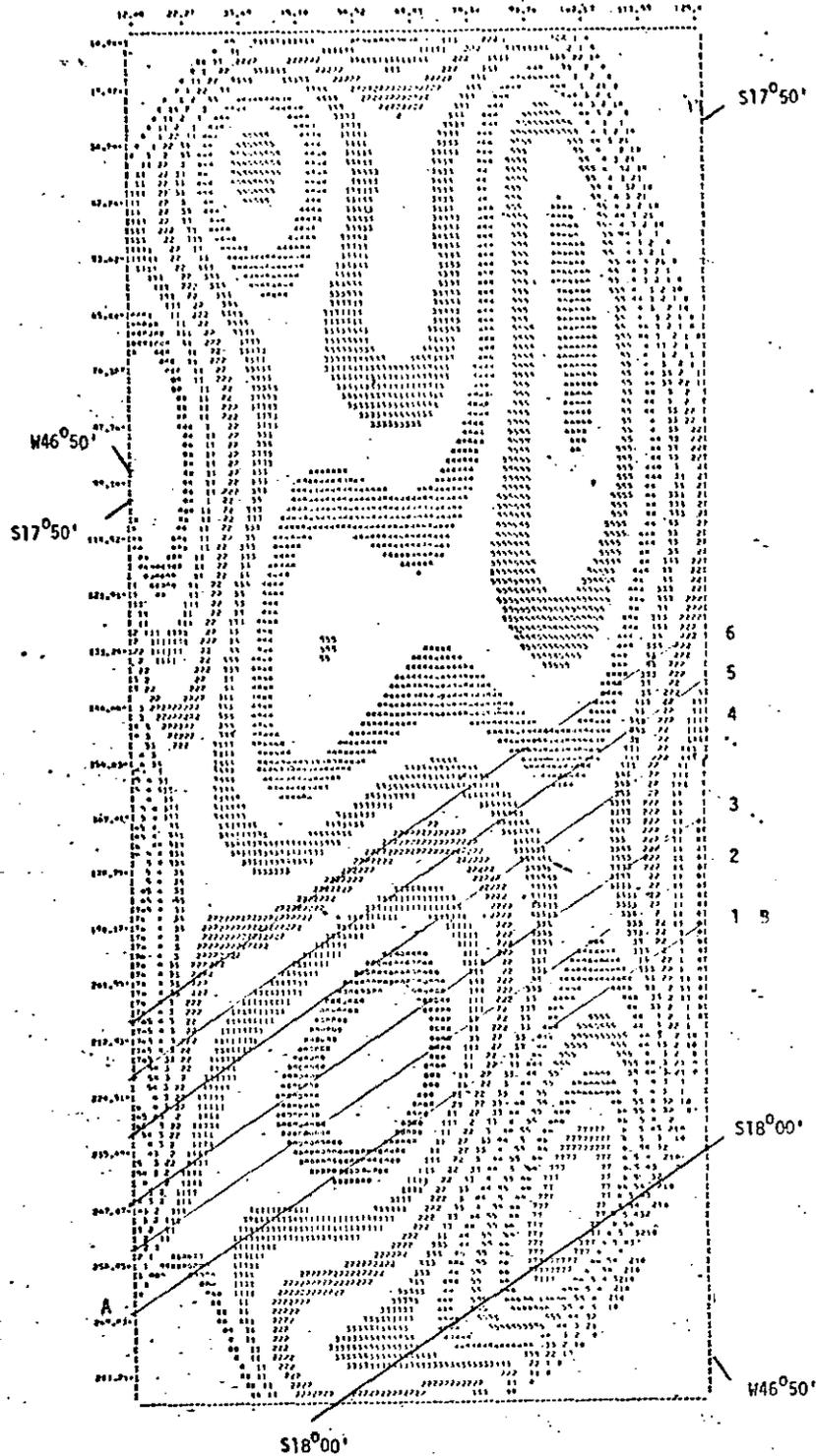
AMPLITUDE - Superfície de Grau 6



LEGENDA DO MAPA

Símbolo	Valor Máximo
0	12.0
1	24.0
2	36.0
3	48.0
4	60.0
5	72.0
6	84.0
7	96.0
8	108.0
9	120.0
	132.0
	144.0
	156.0
	168.0
	180.0
	192.0
	204.0
	216.0
	228.0
	Altim

DENSIDADE DE DRENAGEM- Superfície de Grau 6

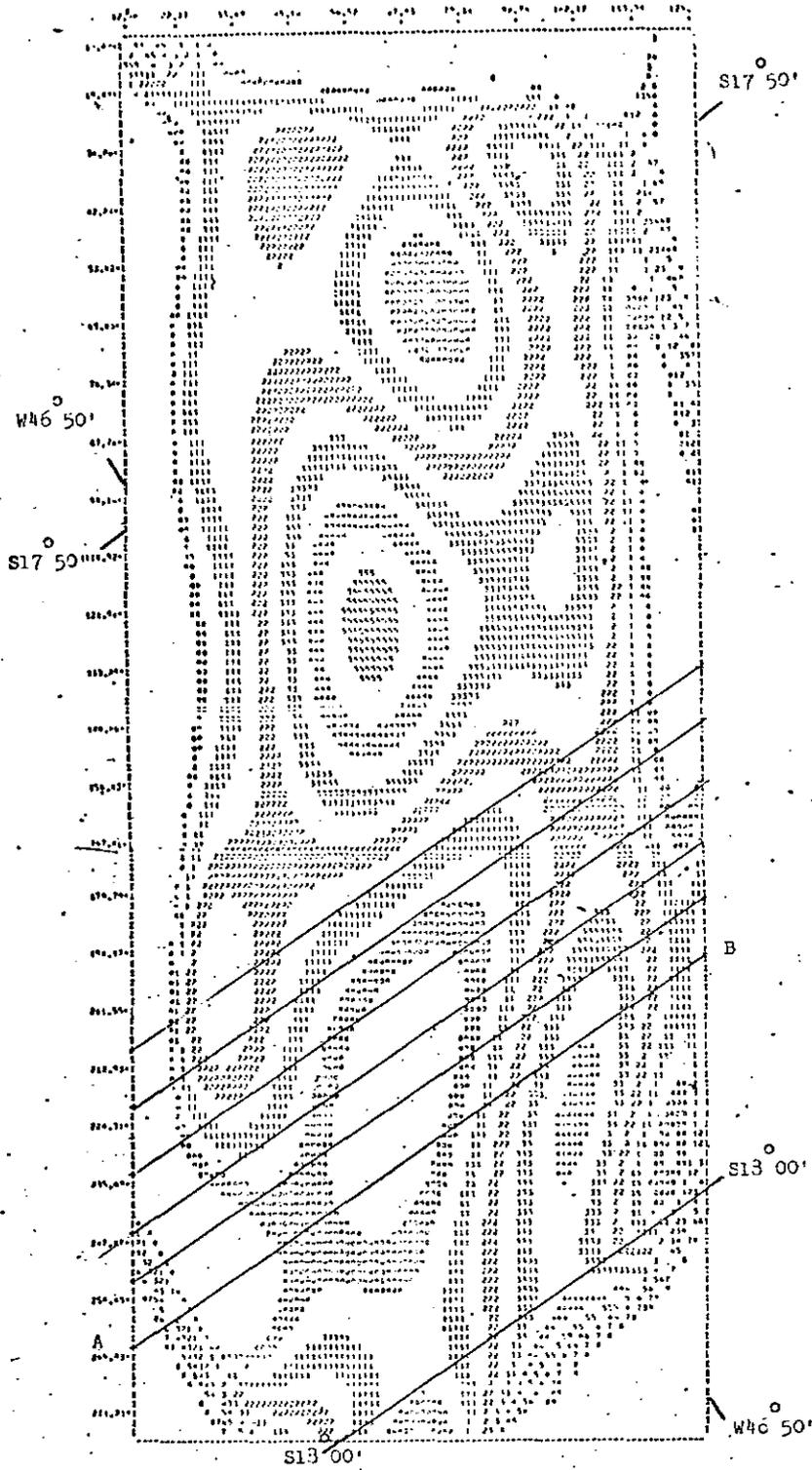


LEGENDA DO MAPA

Símbolo	Valor Máximo
0	0,40
1	0,80
2	1,20
3	1,60
4	2,00
5	2,40
6	2,80
7	3,20
8	3,60
9	4,00

0,91 0 0,91 2,73 4,55 Km

FREQUÊNCIA DE RIOS e Superfície de Grau 8



LEGENDA DO MAPA

Símbolo	Valor Máximo
0	3.0
	6.0
1	9.0
	12.0
2	15.0
	18.0
3	21.0
	24.0
4	27.0
	30.0
5	33.0
	36.0
6	39.0
	42.0
7	45.0
	48.0
8	51.0
	54.0
9	57.0
	Além

0 0.91 1.82 2.73 3.64 4.55 Km

Fig. III.14 - Mapa de Tendência da Variável Frequência de Rios

A escarpa de falha, que limita o Relevo Cárstico do Relevo de Colinas, é outro aspecto de importância na análise do perfil da Figura III.9. Na célula correspondente à amostra número 9, nota-se uma elevação da superfície observada, que não corresponde a uma elevação da superfície computada. Isso acontece justamente devido à presença da escarpa de falha, com as rochas mais resistentes ocupando áreas mais rebaixadas, e as rochas mais tenras ocupando áreas mais elevadas.

Logo a seguir, há uma diminuição da superfície observada com a superfície computada ocupando as cotas mais elevadas. Isso confirma o abaixamento geral dessa unidade de Relevo de Colinas em direção ao vale do Rio Paracatu.

Outro fato a ser analisado no mapa de tendência (Figura III.11), é o nítido abaixamento das cotas altimétricas de NW para E e SE e de W para E. Esse aspecto também vem confirmar a observação de que a unidade correspondente ao Relevo Cárstico não é mais deprimida com relação às demais, como se tem a impressão nas fotografias aéreas ou mesmo no campo.

A unidade referente ao Relevo de Cristas é perfeitamente individualizada regionalmente através do comportamento dessa variável, com as mesmas altitudes na parte NW e W da região, cujos valores acham-se representados no mapa de tendência com os símbolos 9 e 8.

Amplitude:

Para a variável amplitude, observou-se que todos os resíduos também foram positivos na zona mineralizada, o que pode ser observado na Figura III.9. A superfície observada em todos os perfis, na zona mineralizada, foi mais elevada do que a superfície computada, isto é, a zona mineralizada se constitui numa anomalia com relação à

tendência regional, para essa variável.

Confrontando-se este perfil com o da variável altitude, nota-se um comportamento semelhante entre as duas variáveis: em ambas a superfície observada é maior do que a superfície computada. Próximo à zona mineralizada, há um rápido abaixamento das amplitudes, correspondente ao vale do Córrego Barroquinha e, a seguir, uma brusca elevação, correspondente à escarpa de falha já mencionada, onde as amplitudes e altitudes são mais elevadas devido ao levantamento das bordas dessa unidade, provocada pela escarpa de falha. As amplitudes tendem a decrescer em direção ao vale do Rio Paracatu, onde há uma diminuição das altitudes.

O mapa de tendência (Figura III.12), para essa variável mostra valores elevados na unidade correspondente ao Relevo de Cristas, valores baixos para o Relevo Cárstico, e valores intermediários a baixos na unidade correspondente ao Relevo de Colinas. Esses valores mostram as diferenças de amplitudes que caracterizam cada uma dessas unidades. No Relevo de Cristas, as amplitudes maiores ocorrem devido às escarpas íngremes, formadas pelas intercalações dos quartzitos e filitos. No Relevo Cárstico, a superfície é plana, com exceção de pequenas "ilhas" de dolomitos ou zonas de falhas (Zona Mineralizada), que se destacam na topografia.

No Relevo de Colinas, há uma diminuição das amplitudes em direção ao vale do Rio Paracatu, a partir da escarpa de falha, onde se observa um aumento tanto das altitudes quanto das amplitudes.

Densidade de Drenagem:

Em todos os perfis observaram-se resíduos negativos na zona mineralizada, mas não consideramos esse índice importante a ponto de definir uma anomalia, já que toda a unidade em que está inserida a zona mineralizada se comporta de modo anômalo com relação às outras unidades.

A superfície observada é maior que a computada somente onde há rios perenes, como é o caso do Córrego Barroco (Figura III.10).

Próximo à escarpa de falha, a superfície computada continua mais elevada que a superfície observada, e esse aspecto deve-se ao fato de a maioria dos cursos d'água, que nascem na unidade correspondente ao Relevo de Colinas, desaparecerem ao atingir a unidade de Relevo Cárstico.

Analisando-se o mapa de tendência da Figura III.13, tem-se uma confirmação daquilo que é observado em campo: valores elevados no Relevo de Colinas, intermediários no Relevo de Cristas e baixos no Relevo Cárstico.

Frequência de Rios:

Não se observou um comportamento constante dessa variável com relação à zona mineralizada, pois dos 6 perfis realizados, 3 apresentaram resíduos negativos e os outros 3 apresentaram resíduos positivos.

No entanto, o mapa de tendência evidenciou os três compartimentos geomorfológicos com relação à frequência de rios, cujo comportamento é semelhante ao da densidade de drenagem.

3.6 - ANÁLISE VISUAL E AUTOMÁTICA DA ZONA MINERALIZADA

3.6.1 - ANÁLISE VISUAL DE TRANSPARÊNCIAS COLORIDAS NORMAIS E INFRAVERMELHO

A análise visual das transparências coloridas normais mostrou a dificuldade de separação de litologias. Isto se deve, principalmente, ao fato de que vegetação que recobre as rochas na região se tornar um fator preponderante na separação das mesmas, pois a vege

tação na faixa espectral do visível não tem uma resposta tão acentuada como na faixa espectral do infravermelho. No entanto, as transparências coloridas infravermelho separaram litologias onde se encontram as mineralizações de zinco e chumbo (dolomitos). Essas transparências, além de permitirem a separação das rochas que se encontram mineralizadas, permitiram também a individualização das zonas mineralizadas (minério oxidado), evidenciadas no Apêndice D.

As zonas mineralizadas em zinco, no Morro Lapa Nova e Serras Poço Verde, Sucuri e Ouro Podre, aparecem nas transparências coloridas infravermelho nas escalas 1:15.000 e 1:30.000 com uma cor verde azulada (Figura III.15), devido à diminuição da resposta espectral na região do infravermelho. São faixas descontínuas, alinhadas em direção NE (concordantes com a zona de falha), e que foram delimitadas devido à existência de diferentes comunidades de plantas nas zonas mineralizadas e fora delas. Onde a vegetação se constitui de uma comunidade de árvores mais altas e densas, obteve-se uma tonalidade vermelha, que denota uma alta reflectância espectral. Nas zonas mineralizadas, há um prodomínio de gramíneas, que apresentam uma resposta espectral menos acentuada na região do infravermelho, como mostra a cor verde azulada.

3.6.2 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE DADOS OBTIDOS COM TRANSPARÊNCIAS INFRAVERMELHO COLORIDAS

Os histogramas, obtidos através da classificação automática realizada pelo Sistema Image-100, forneceram as médias dos tons de cinza das transparências infravermelho coloridas. Foi feito, então, a análise de variância entre a zona mineralizada e a zona não mineralizada, para cada canal, com o objetivo de testar se havia diferenças estatísticas significativas entre elas. Partiu-se então, da hipótese nula (H_0), de que a zona mineralizada e a zona não mineralizada não apresentavam diferenças de tons de cinza para cada um dos quatro canais, portanto, as 32 amostras eram oriundas da mesma população.

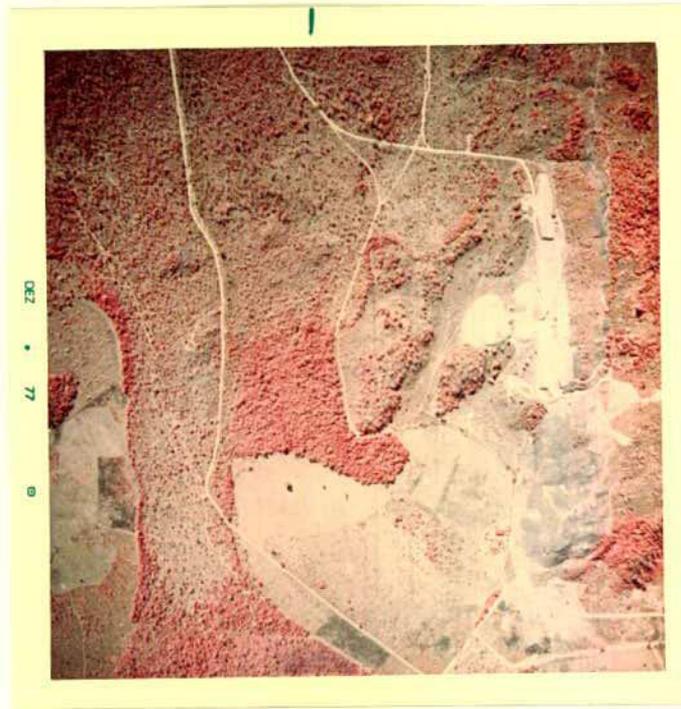


Fig.III.5 - Fotografia Colorida Infravermelho, onde a zona mineralizada aparece na cor verde azulada, em faixas descontínuas

Através do teste "t" (distribuição de Student), en tretanto, (Tabela III.33), fica rejeitada a hipótese nula (H_0), pois nos quatro canais observou-se um valor de $t_{calc.}$ maior do que o va lor de $t_{tab.}$. Conclui-se então, com uma probabilidade de 99,9% que as amostras da zona mineralizada e zona não mineralizada, são oriūn das de populações diferentes, cujos resultados diferentes não podem ser atribuídos ao acaso.

TABELA III.33

TESTE DE STUDENT PARA ZONA MINERALIZADA E ZONA NÃO MINERALIZADA

CANAIS	VALOR DE $t_{calc.}$	VALOR DE $t_{tab.}$
CANAL 1 (Filtro Azul)	3,53**	2,95
CANAL 2 (Filtro Vermelho)	5,26**	
CANAL 3 (Filtro Verde)	7,11**	
CANAL 4 (Sem Filtro)	6,12**	

** *Significante ao nível de 0,01, com 15 Graus de Liberdade*

3.7 - GEOBOTÂNICA

Os resultados do estudo geobotânico na região de Vazante, são descritos em dois sub-ítem, que constam de análise química das plantas e solos, e análise anatômica das plantas, respectivamente.

3.7.1 - ANÁLISE QUÍMICA DE PLANTAS E SOLOS

Para interpretação dos dados devemos ter em mente que a disponibilidade de um elemento a ser utilizado pela planta, neste estudo o zinco, depende do pH e do conteúdo de fósforo e matéria orgânica do solo.

Clark e Braham (1951) verificaram que, para solos com pH abaixo de 6,5 e 0,05 ppm de zinco, o zinco é disponível para planta, ao passo que em solos com pH acima de 6,5 e 2,7 ppm de zinco, já não existe essa disponibilidade.

Outros estudos também mostraram que o zinco, disponível para as plantas, está em função da acidez do solo.

Os solos da área mineralizada, conhecida em Vazante, são ácidos, têm um elevado conteúdo de potássio, fósforo e matéria orgânica, comparados com o índice de fertilidade usado no I.A.C (Instituto Agrônomo de Campinas) (Tabela III.34).

Os solos da área mineralizada têm qualidade mais elevada de cálcio e magnésio, devido à predominância de calcário dolomítico.

As análises químicas das amostras de solos para zinco, não foram feitas.

Embora numerosos estudos tenham mostrado que o zinco disponível para plantas é inversamente correlacionável com o pH, fós

TABELA III.34

ANÁLISE QUÍMICA DOS SOLOS DA ÁREA TESTE

AMOSTRA DE SOLO IDENTIFICAÇÃO	pH	CARBONO ORGÂNICO %	TEOR TROCÁVEL EM MILIEQUIVALENTES/100 g DE TERRA					
			Fósforo $PO_4^{=}$	Potássio K^+	Cálcio Ca^{++}	Magnésio Mg^{++}	Alumínio Al^{+++}	Hidrogênio H^+
1	5,9	3,00	1,55	0,62	13,92	3,68	0,14	3,20
3	5,9	2,64	0,07	0,56	4,80	2,56	0,11	5,60
5	5,2	1,20	0,06	0,48	1,60	1,12	0,40	6,24
7	5,3	1,80	0,04	0,48	4,00	2,00	0,08	5,14
8	4,6	1,80	0,03	0,60	1,28	0,96	1,71	8,00

foro e matéria orgânica, assumimos que havia zinco suficiente nos solos, para absorção pelas plantas, porque todas as amostras de plantas das áreas 1,3 e 5 (Tabela III.35) possuem alto conteúdo de zinco, nos caules e folhas, enquanto que, para as áreas não mineralizadas (7 e 8), o conteúdo foi abaixo de 104 ppm, considerado normal para vegetação (Sarrage, 1974).

A distribuição irregular do conteúdo de zinco, nas partes das plantas (caules e folhas), não indicam a preferência para análise química.

O conteúdo anormal na planta 1 (*Gomphrena* sp) é notável. Cole (1968) verificou que a espécie *Gomphrena* (*Canascenã*) ocorria somente sobre uma zona mineralizada, conhecida, de zinco e chumbo na Austrália, mas não era uma espécie indicadora*, pois se desenvolvia também em outras áreas, como em Warwina e Jirrupbom Springs, onde o conteúdo de zinco e chumbo estão abaixo de 20 ppm. Entretanto, seu conteúdo de metais parece se relacionar com o conteúdo de metal do solo, sugerindo sua aptidão para prospecção biogeoquímica na Austrália.

No nosso caso, como a planta 1 (*Gomphrena* sp) existe somente na área mineralizada, pensamos que ela seja essencial para identificar os fatores que controlam sua distribuição, assim como para verificar se é uma planta indicadora em potencial. Esta verificação será realizada num estudo de estufa.

* A *Polucarpae spirostylis* é a planta indicadora de cobre em Queensland e a *Trianthena rhynehocalyptra*, a *Gomphrena canescens* e *Tephorosia aff. polyzyga* são plantas acumuladoras de chumbo em Rune Jungle.

TABELA III.35

ANÁLISE QUÍMICA DE PLANTAS DA ÁREA TESTE

AMOSTRA *	PARTE DE AMOSTRA	% N	% P	% K	% Ca	% Mg	ppm Mn	ppm Zn	ppm Fe	ppm Cu
1.1	folha	2,970	0,280	3,800	0,900	0,408	300	10.320	10.700	traços
1.2	"	2,379	0,216	1,080	0,700	0,236	75	474	2.060	"
3.2	"	1,707	0,157	1,280	1,000	0,300	40	210	550	"
3.3	"	2,822	0,390	1,280	1,200	0,192	50	210	800	"
5.2	"	2,460	0,169	1,080	0,800	0,220	75	174	640	"
7.2	"	2,003	0,134	1,200	0,900	0,236	50	104	550	"
8.2	"	1,908	0,163	1,080	0,600	0,252	26	34	640	"
1.1	caule	1,747	0,210	2,640	0,600	0,236	400	8.240	19.100	"
1.2	"	0,793	0,192	0,680	0,800	0,144	100	880	2.900	"
3.2	"	0,618	0,152	0,800	1,120	0,176	26	494	550	"
3.3	"	1,169	0,332	1,760	0,800	0,116	50	140	550	"
5.2	"	1,102	0,236	0,960	0,900	0,208	250	628	1.000	"
7.2	"	0,941	0,140	0,960	0,800	0,116	75	52	550	"
8.2	"	1,116	0,169	1,080	0,700	0,160	75	34	800	"

* O primeiro número refere-se ao ponto de amostragem e o segundo à planta.

3.7.2 - ANÁLISE ANATÔMICA DAS PLANTAS

Durante o trabalho preliminar de campo, verificou-se que as mudanças de vegetação, entre as áreas que continham minério oxidado e as estêreis, eram marcantes.

Não foi possível classificar as plantas coletadas, de acordo com os seus nomes científicos, pois durante a coleta (novembro), as plantas se encontravam em estágio vegetativo, portanto sem flores. Assim sendo, foi dado um número a cada uma delas. O local da coleta de cada uma delas está explícito na Tabela III.35.

Na área mineralizada predominam as três espécies de gramíneas: *Heteropogon vilosus* Nees, *Paspalum trachycoleon* Stendel e *Axonopus chrysodactylus* Kuhlum. Em alguns lugares da zona mineralizada, aparece a planta 2 (*Bauhinia*) e/ou arbustos da planta 1 (*Gomphrena* sp). A vegetação da zona não mineralizada é predominantemente, de cerrado e/ou moitas secas.

A planta 1 (*Gomphrena*) possui folhas pubescentes, o que dificultou o seu corte com o micrótomo. O corte a mão livre deu melhores resultados, para efeito de microfotografia. Essa planta tem folhas dorso ventrais, com pelos multicelulares que foram ramificados de maneira dendrítica, em ambos os lados da superfície da folha. Grandes drusas de oxalato de cálcio foram encontradas na mesófila.

A planta 2 (*Bauhinia*) é típica de cerrado e possui várias camadas de células palisadas e células esponjosas, sendo que as esponjosas não são claramente definidas. A camada dorsal é mais palisada, enquanto que a ventral é menos palisada. A superfície dorsal da folha, com hipoderma, não tem estômato e é coberta somente por pelos normais. Entretanto, no lado ventral, os estômatos foram facilmente localizados entre as papilas. Pelos ordinários e glandulares foram encontrados. Os tipos de pelos e a estrutura mesófila. le

varam-nos a concluir que se tratava da planta 2, uma espécie do genero Bauhinia.

As Bauhinias das áreas 7 e 8 (que tem o menor conteúdo de zinco) foram comparadas com as de outras áreas (1, 3 e 5), para verificar se o conteúdo de zinco no solo causa alguma modificação na estrutura celular. As seguintes diferenças foram notadas:

- 1) O arranjo da estrutura mesófila das folhas de áreas mineralizadas, é mais esperso, com mais espaços intercelulares do que as folhas das plantas de área não mineralizada.
- 2) As folhas de plantas de áreas mineralizadas têm mais fibras circundando os vasos condutores, e foram mais facilmente afetadas, após a desidratação do álcool, do que as folhas de áreas não mineralizadas. Então, após o corte, as células superficiais não ficaram intactas. Provavelmente isso se deve ao fato de que plantas de áreas mineralizadas estejam, fisiologicamente afetadas, tornando as folhas mais sensíveis aos processos químicos usados.
- 3) A parênquima palisada, da folha de uma área não mineralizada, tem mais cloroplastos do que a de áreas anômalas, conforme observação microscópica.

Uma suposição, aplicável à observação acima, é que a comparação é feita em folhas de mesma idade e sob as mesmas condições ambientais. Assim, desenvolvimentos diferentes e radiação solar recebida não afetarão a estrutura mesófila, as fibras e o conteúdo de clorofila nas folhas.

A planta 3 tem mesófila bem compacta com uma camada de células palisadas e 2 ou 3 camadas de células semelhantes à palisada (mais curtas e arredondadas).

CAPÍTULO IV

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- Com as fotografias aéreas branco e preto e as transparências multispectrais I²S, foi possível a separação das três unidades litológicas da Formação Paraopeba.
- A análise das imagens contidas nas fitas CCT's e mostradas através do Sistema Image-100, auxiliaram as interpretações estruturais, por fornecerem uma visão global da área mapeada.
- A utilização da câmara Hasselblad com filme Plus-X Aerographic para levantamentos aerofotográficos com fins geológicos, permite uma ampliação de três vezes nos dados originais obtidos, sem perda de informações, e facilitando a fotointerpretação.
- As transparências multiespectrais I²S auxiliam as interpretações estruturais na identificação de fraturamentos e falhamentos relacionados a zonas de maior umidade (sem contudo dispensar a utilização do estereoscópio nas interpretações das fotografias aéreas branco e preto).
- O canal 4 (infravermelho) das transparências multiespectrais I²S e as transparências coloridas infravermelho permitem a separação dos dolomitos, que são as rochas condicionantes das mineralizações primárias de zinco e chumbo na Formação Paraopeba, ou Sub-Grupo Paraopeba, do Grupo Bambuí.
- As transparências coloridas infravermelho são uma ferramenta bastante útil na prospecção de minerais, quando existem mudanças de vegetação relacionadas à toxidez de metais, como verificado em Vazante, M.G.

- A classificação automática de zonas mineralizadas em zinco, identificadas previamente por análise visual em transparências coloridas infravermelho, foi confirmada estatisticamente através das médias dos tons de cinza de cada canal: canal 1 (filtro azul), canal 2 (filtro vermelho), canal 3 (filtro verde) e canal 4 (sem filtro), a um nível de significância de 0,01.
- A utilização de fotografias aéreas branco e preto e transparências coloridas infravermelho é a combinação ideal para mapeamentos geológicos na Formação Paraopeba, ou Sub-Grupo Paraopeba, do Grupo Bambuí, visando a prospecção de minerais de zinco e chumbo.
- Um mapeamento geológico na escala 1:50.000, de toda a faixa ocidental do Grupo Bambuí, é necessário para definir as relações entre as unidades que compõem a Formação Paraopeba, que possivelmente seriam definidas como formações que comporiam o Grupo Paraopeba, do Super Grupo Bambuí, como é sugerido por Ladeira e Loczy (1975), ou Sub-Grupo Paraopeba. Definiria, também, as relações existentes entre litologias com variações faciológicas e metamórficas que são consideradas do Grupo Canastra, e possivelmente seria a base do Grupo Bambuí.
- As variáveis morfométricas discriminatórias para as três unidades litológicas da Formação Paraopeba são: densidade de drenagem e frequência de rios (extraídas de fotografias aéreas), e altitude e amplitude (extraídas de carta topográfica).
- Variáveis relacionadas à rede de drenagem da carta topográfica na escala 1:100.000, não permitiram a separação de unidades litológicas pois, devido ao problema da estética cartográfica, é mantida a homogeneidade da rede de drenagem.

- A amostragem em grade de 1 cm x 1 cm para a variável concavidade x convexidade, não foi eficiente, pois, na natureza, as vertentes não tem um padrão homogêneo de distribuição.
- Quanto maior o número de rios de primeira ordem de uma unidade, menor é o grau de correlação entre densidade de drenagem e frequência de rios.
- A análise estatística dos dados morfométricos, obtidos a partir de fotografias aéreas branco e preto e carta topográfica, permitiu a compartimentação geomorfológica da área em três unidades: Relevo Cárstico, Relevo de Cristas e Relevo de Colinas.
- Em áreas de Relevo Cárstico, há necessidade de utilizar as fotografias aéreas pancromáticas, que permitem o uso do estereoscópio, pois geralmente são áreas planas, cujos canais intermitentes são podem ser identificados pela diferença de altitude.
- Em áreas de Relevo de Cristas, onde a rede de drenagem é condicionada a elas, as transparências multiespectrais são mais eficientes do que as fotografias branco e pretas.
- Se aumentar o número de amostras circulares no estudo da rede de drenagem, provavelmente haverá diferenças estatísticas significativas entre os dois tipos de sensores.
- O Relevo de Colinas, com um padrão de drenagem dendrítico, caracteriza-se, principalmente, por um baixo coeficiente de correlação entre densidade de drenagem e frequência de rios.
- O coeficiente de correlação entre altitude e amplitude pode definir um relevo de cristas, mas não define áreas planas com alguns ressaltos topográficos, como é o caso do Relevo Cárstico.

- A análise dos resíduos da superfície de tendência mostrou anomalias com relação às variáveis altitude, amplitude e densidade de drenagem, na Serra Poço Verde (Mineralizada), e na escarpa de falha, que separa o Relevo Cárstico do Relevo de Colinas.
- A utilização de imagens LANDSAT na escala 1:250.000, com base na análise da drenagem, permitiu a separação de duas das três unidades geomorfológicas individualizadas através de fotografias aéreas branco e pretas e transparências multiespectrais I²S.
- As análises químicas do solo e o conteúdo de zinco nas plantas confirmam que o nível de toxidez de zinco, na zona mineralizada, é um dos fatores que controla a distribuição da vegetação, onde somente as espécies de gramíneas *Heteropogon villosus* Nees, *Paspalum trachycoleon* Stendel e *Axonopus crhysodactus* Kuhl, juntamente com a *Gomphrena* e *Bauhinia*, são menos suscetíveis.
- A análise anatômica da planta 2 (*Bauhinia*) que cresceu em áreas mineralizadas e áreas estereas, possibilitou observar as modificações nas respectivas estruturas celulares confirmando que o teor anômalo no conteúdo de zinco nas zonas mineralizadas está refletido nas plantas, indicando a potencialidade de métodos geobotânicos na prospecção mineral.

BIBLIOGRAFIA

AMARAL, G. Geologia e Depósitos Minerais da Região de Vazante, Estados de Minas Gerais *Tese de Doutorado em Geologia* São Paulo, USP, 1968a.

——— Contribuição ao Conhecimentos dos Depósitos de Zn-Pb-Cu-Ag da Serra do Poço Verde, Vazante, Estado de Minas Gerais. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 22º, Belo Horizonte, 1968b Anais p. 13-31.

——— *Condicionamento Geológico das Ocorrências de Chumbo e Zinco Encaixadas no Grupo Bambuí*. São José dos Campos, INPE, Ago. 1976 (INPE-934-NTE/068).

AMARAL, G., MATTOS, J.T., ALMEIDA FILHO, R.; CUNHA, R.P.; PARADELLA, W. R. *Carta Geológica ao Milionésimo da Folha de Belo Horizonte com base na interpretação de imagens LANDSAT*. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 29º, 1976 Inédito.

BEURLEN, H. Sobre a origem singenético-sinsedimentar de alguns corpos mineralizados em chumbo, zinco e fluorita no grupo Bambuí e Dispersão Primária dos Elementos mineralizantes. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 28º, Porto Alegre, 1974 *Resumo das Comunicações* p. 165-169.

BRANCO, J.J.R. Principais Ocorrências de zinco em Minas Gerais. *SICEG-II Semana de Estudos de Alumínio e Zinco* 2: 149-184, 1962

BRAUN, O.P.G. Contribuição à Estratigrafia do Grupo Bambuí. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 22º, Belo Horizonte, 1968 Anais p. 155-160.

- CARRARO, C.C. Reconhecimento de Rocha mineralizada nas Transparências Falsa Cor de Vazante - MG São José dos Campos, INPE, 1973 (INPE-282-RI/71).
- CARRARO, C.C.; YAMAGATA, S.K. *Projeto Zinco*. São José dos Campos, INPE, Janeiro, 1974 (INPE-473-RI/193).
- CASSEDANNE, J. Nota sobre o ambiente de sedimentação das rochas encaixando a mineralização de Vazante (MG) In: Congresso Brasileiro de Geologia, 22ª, Belo Horizonte, 1968 Anais p.33-40.
- CLARK, A.C.; GRAHAM, E.R. Zinc diffusion and distribution coefficient in soil as affected by soil texture, zinc concentration and pH *soil Science* 105 (S.F.) 409-418, 1978.
- CORREA, A.C.; NASCIMENTO, F.S. *Missão Fotográfica II (INPE/CPRM/USGS) na área de Vazante/Paracatú*. São José dos Campos, INPE, 1975 (INPE-681-NTI/018).
- COSTA, M.T.; BRANCO, S.J.R. Roteiro para excursão Belo Horizonte - Brasília. *Instituto de Pesquisas Radioativas de Belo Horizonte*, (15): 9-68, 1960.
- COLE, M.M.; PROVAN, D.M.J.; TOOMS, J.S. Geobotany, biogeochemistry in mineral exploration in the Bulman - waimuna Springs area, Northern Territory, Australia. *Transaction of Institute of Mining and Metallurgy (Sessão B)*, 77: B81-104.
- DARDENNE, M.A. Os recifes algais de Vazante (M.G.; Brasil). In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 26ª, Belém, 1972 (Boletim Especial nº 1, p.247).
- Geologia da Região de Vazante (Minas Gerais, Brasil); In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 28ª, Porto Alegre, 1974. Resumo das Comunicações p.182-185.

- DARDENNE, M.A. *Mapa Geológico da região de Vazante e Paracatu*. Trabalho de Tese de Estado a ser apresentado em janeiro de 1978.
- DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DO SERVIÇO PÚBLICO (DASP) *Relatório Técnico sobre a Nova Capital de República*. Rio de Janeiro, 1956.
- DERRUAU, M. *Precis de Geomorphologie*. Paris, Masson et Cie, 1962.
- DEPARTAMENTO NACIONAL PRODUÇÃO MINERAL (DNPM) *Anuário Mineral Brasileiro*. Brasília, 1975.
- DOORNKAMP, J.C.; KING, C.A.M. Basin Morphometry and Morphological Regions. In: ARNOLD, E. *Numerical Analysis in Geomorphology: An Introduction*. London, 1971. Cap. 5, p.96-111.
- FREITAS, R.O. DE *Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica*. *Boletim Paulista de Geografia*, 11: 53-57, 1952.
- GAUSSEN, H.; BAGNOULS, J. Saison sèche et Indice Xerothermique *Bulletim de la Societé d'Histoire Naturelle de Toulouse* 88: 193-293, 1953.
- GENERAL ELECTRIC COMPANY *Image 100 - Interactive Multispectral Image Analysis System: Users Manual*. Daytona, 1975.
- GERARDI, L.H.O.; SANCHES, M.C. Considerações sobre Aplicação de Análise das Superfícies de Tendência em Geografia *Boletim de Geografia Teorética*, 5 (9-10): 63-82, 1975.
- GUIMARÃES, D. Gênese do Minério de Zinco de Vazante: Minas Gerais SICEG - *II Semana de Estudos de Alumínio e Zinco*. 21: 101-147, 1962.
- HEINECK, C.A.; HECHT, C.; MELLO, E.J.; OLIVEIRA, J.J.C. *Projeto Geoquímica da Bambuí: Áreas pilotos*. Belo Horizonte, CPRM/DNPM, 1975.

- HORTON, R.E. Erosional Development of Streams and their drainage Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology *Bulletim Geol. Soc. Amer.*, 56: 275-370, 1945.
- LADEIRA, E.A.; SALOMÃO, E.P. O cavalgamento do Bordo Ocidental da Bacia Bambuí In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 27º, Aracaju, 1973 (Boletim Especial nº 1)
- NASCIMENTO, F.S.; MARTINI, P.R.; CREPANI, E.; CUNHA, R.P.; MATTOS, J. T. *Relatório Preliminar do Projeto Zinco*. São José dos Campos, INPE, maio, 1975 (INPE-658-NTI/011).
- NASCIMENTO, F.S.; NASCIMENTO, M.A.L.S.; CHEN, S.C.; MARTELETTO, M. *Trabalho de Campo em Vazante, Estado de Minas Gerais* São José dos Campos, INPE, Dez. 1976 (INPE-980-RVi/026).
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA) *Data users Handbook - ERTS* Baltimore, Goddard Space Flight Center, 1972.
- PALESTINO, C.V.B. Formação das Fitas CCT's *Exemplo de Montagem de Arquivos em Discos para sua utilização*. São José dos Campos, INPE, Março, 1976 (INPE-845-NTE/054).
- PENTEADO, M.M. *Fundamentos de Geomorfologia*. Rio de Janeiro, IBGE, 1974 (Biblioteca Geográfica Brasileira, série D.3).
- REEVES, R.G.; ANSON, A.; LANDEN, D. *Manual of Remote Sensing* Falls Church, American Society of Photogrammetry, 1975.
- RICCI, M.; PETRI, S. *Princípios de Aerofotogrametria e Interpretação Geológica* São Paulo, Nacional, 1975.
- SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. *Análises Químicas em plantas*. Piracicaba E.S.A. Luiz de Queiroz, 1974.

- STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. Principles and Procedures of Statistics with special reference to the Biological Sciences New York, Mc Graw-Hill, 1960.
- STRAHLER, A.N. Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Network. In: CHOW, U.T. Handbook of Applied Hidrology New York, 1964 p.2.
- THORMAN, C.H., NAHASS, S. Interpretação estrutural da área de Vazante, Minas Gerais, Brasil, In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 289, Porto Alegre, Out. 1974. Resumo das Comunicações p.173-175.
- YOST, E.; WENDEROTH, S. The reflectance spectral of mineralized Trees *Proceedings 7th Symp. Rem. Sens. Environ.* 1: 269-284.