

PALAVRAS CHAVES/KEY WORDS

AUTORES/AUTHORS: MAPEAMENTO GEOLÓGICO PROCESSO INTEMPÉRICO  
COBERTURAS DE ALTERAÇÃO  
SENSORIAMENTO REMOTO

AUTORIZADA POR/AUTHORIZED BY

*Ralf Gielow*  
Ralf Gielow  
Pres. Cons. Pós-Graduação

AUTOR RESPONSÁVEL  
RESPONSIBLE AUTHOR

Paulina Setti Riedel

DISTRIBUIÇÃO/DISTRIBUTION

INTERNA / INTERNAL  
 EXTERNA / EXTERNAL  
 RESTRITA / RESTRICTED

REVISADA POR / REVISED BY

*Juércio Tavares de Mattos*  
Juércio Tavares de Mattos

CDU/UDC

528.711.7:550.8:528

DATA / DATE

Julho 1989

TÍTULO/TITLE	PUBLICAÇÃO Nº PUBLICACION NO
	INPE-4849-TDL/364
ESTUDO DAS COBERTURAS DE ALTERAÇÃO DE PARTE DO CENTRO-LESTE PAULISTA ATRAVÉS DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO	
AUTORES/AUTHORSHIP	Paulina Setti Riedel <i>Paulina Setti Riedel</i>

ORIGEM  
ORIGIN

PG/DPA

PROJETO  
PROJECT

FRH/SER

Nº DE PAG.  
NO OF PAGES

143

ULTIMA PAG.  
LAST PAGE

C.2

VERSÃO  
VERSION

Nº DE MAPAS  
NO OF MAPS

02

RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES

Estudou-se a relação existente entre as características espaciais e espectrais das coberturas de alteração em imagens do TM-Landsat nas bandas 3, 4 e 7 com suas propriedades químicas como teores de alumínio, ferro, titânio e índice de intemperismo químico, e propriedades físicas, como porosidade, limites de liquidez e plasticidade, porcentagens de argila e índices de alteração física. Os estudos foram realizados numa região do Centro-Leste Paulista, entre as cidades de Rio Claro, Piracicaba, Limeira e Araras. Os resultados obtidos levaram às seguintes conclusões: o avanço do processo intempérico, principalmente a nível de latossolização, atua como fator homogeneizante das coberturas de alteração o que dificulta a separação das unidades geológicas mediante fotointerpretação. As propriedades físicas analisadas mostraram estreita relação com as texturas das coberturas de alteração nas imagens TM-Landsat e, as propriedades químicas, associadas através dos teores de alumínio, ferro e titânio mostraram que estes variam no decorrer do processo intempérico e se relacionam com os níveis de cinza das coberturas de alteração nas imagens TM-Landsat analisadas.

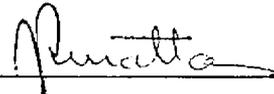
OBSERVAÇÕES / REMARKS

Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, aprovada em Dezembro de 1988.



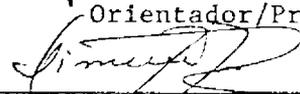
Aprovada pela Banca Examinadora  
em cumprimento a requisito exigido  
para a obtenção do Título de Mestre  
em Sensoriamento Remoto

Dr. Juércio Tavares de Mattos



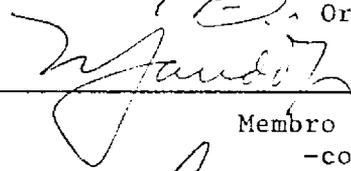
Orientador/Presidente

Dr. Jairo Roberto Jiménez Rueda



Orientador

Dr. Nilson Gandolfi



Membro da Banca  
-convidado-

Dr. Mário Valério Filho



Membro da Banca

Dr. Edison Crepani



Membro da Banca

Candidata: Paulina Setti Riedel

São José dos Campos, 19 de dezembro de 1988



A Nabor Ricardo Ruegg, um exce  
lente geólogo e, acima de tudo  
uma grande pessoa.

"in memoriam"



## AGRADECIMENTOS

Desejo expressar meus sinceros agradecimentos a todos que direta ou indiretamente contribuíram na concretização deste trabalho.

Aos doutores Juércio Tavares de Mattos e Jairo Jimenez Rueda pelas sugestões, revisão crítica, apoio e orientação neste estudo.

Ao amigo e companheiro José Ricardo Sturaro, pelas sugestões e auxílio, além do precioso apoio nos momentos de desânimo.

Ao desenhista José Carlos Laendl pela dedicação na realização de todas as ilustrações e mapas contidos neste trabalho.

Ao técnico Francisco Manuel Garcia Barrera, pela realização das análises físicas e companhia valiosa nos trabalhos de campo.

Ao técnico Cláudio Ribeiro da Silva, pela realização de análises físicas complementares, nas fases finais deste trabalho.

A Regina Lucia de Souza Bruno e Rosana Darcy Gonçalves, pelos cuidadosos trabalhos de datilografia e edição do texto no microcomputador.

A Suelena Costa Braga Coelho e Marciana Leite Ribeiro pela revisão das referências bibliográficas.

A técnica Maria Célia Zadra Schimidti, à secretária Márcia Regina Marotti e à estagiária Cristina Pran

do Bicho, pelo auxílio nos serviços de datilografia das Ta  
belas.

Aos funcionários Valéria Abrão Polodan, Cil  
berto Rodrigues Junior, Sérgio Henrique Babá e José Carlos  
Moreira, do Instituto de Pesquisas Espaciais, pelo auxílio  
nas sessões de I-100 realizados durante este estudo.

Aos demais técnicos do Instituto de Geociên  
cias e Ciências Exatas de Rio Claro e do Instituto de Pe  
quisas Espaciais que colaboraram na realização desta disser  
tação de mestrado.

À FAPESP, Fundação de Amparo à Pesquisa do Es  
tudo de São Paulo, pelo auxílio pesquisa concedido para a  
concretização deste trabalho.

### ABSTRACT

It has been studied the relation between spacial and spectral characteristics of alteration covers in TM-Landsat imagens, channels 3, 4 and 7 with their chemical properties, as iron, aluminium, titanium contents and chemical alteration index; and their physical properties as porosity, plasticity limits and liquidness limit, clay percentages and physical alteration index. The study has been developed in a portion of state of São Paulo, between Rio Claro, Piracicaba, Limeira and Araras cities. The results led to the following conclusions: the wheatering development, mainly the latossolization, acts as an landscape homogeneizer and turns it difficult to separate geological units through photointerpretation methods; the physical properties showed close relation with TM-Landsat images textures; the chemical properties evaluated through iron, aluminium and titanium contents demonstrated that they change during alteration process and are related to the gray levels af alteration covers in TM-Landsat images.



## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS .....	xi
LISTA DE TABELAS .....	xiii
ETAPAS DO DIAGRAMA DE FLUXO DE TRABALHO .....	xv
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u> .....	1
1.1 - Generalidades .....	1
1.2 - Objetivos .....	2
<u>CAPÍTULO 2 - ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO</u> .....	3
2.1 - Localização da área de estudo .....	3
2.2 - Clima .....	5
2.3 - Cobertura vegetal e uso da terra .....	5
<u>CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS</u> .....	7
3.1 - Materiais .....	7
3.2 - Métodos .....	11
<u>CAPÍTULO 4 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</u> .....	49
<u>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES</u> .....	99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	103
APÊNDICE A - DADOS UTILIZADOS	
APÊNDICE B - MAPA DE INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOLÓGICOS	
APÊNDICE C - MAPA DAS COBERTURAS DE ALTERAÇÃO	



## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Localização da área de estudo .....	4
3.1 - Localização dos mapas parciais utilizados .....	10
3.2 - Diagrama de fluxo de trabalho .....	12
3.3 - Níveis de cinza: localização dos pontos amostrados .....	42
3.4 - Análises químicas e físicas: localização dos pontos amostrados .....	47
4.1 - Curva de reflectância da vegetação e bandas do TM .....	50
4.2 - Foto da área de estudo - banda TM 3 com delimitação da área central .....	53
4.3 - Foto da área de estudo - banda TM 4 com delimitação da área central .....	54
4.4 - Foto da área de estudo - banda TM 7 com delimitação da área central .....	54
4.5 - Mapa de integração de dados geológicos .....	59
4.6 - Mapa das coberturas de alteração .....	60
4.7 - Mapas de superfície de tendência de grau 2 e de resíduos - porosidade .....	62
4.8 - Mapas de superfície de tendência de grau 2 e de resíduos - níveis de cinza da banda 3 .....	65
4.9 - Mapas de superfície de tendência de grau 2 e de resíduos - níveis de cinza da banda 4 .....	66
4.10 - Mapas de superfície de tendência de grau 2 e de resíduos - níveis de cinza da banda 7 .....	67
4.11 - Mapas de superfície de tendência de grau 2 e de resíduos - teores de ferro .....	70
4.12 - Mapas de superfície de tendência de grau 2 e de resíduos - teores de alumínio .....	72
4.13 - Mapas de superfície de tendência de grau 2 e de resíduos - teores de titânio .....	73
4.14 - Mapas de superfície de tendência de grau 2 e de resíduos - índice de intemperismo químico .....	74
4.15 - Mapas de superfície de tendência de grau 2 e de resíduos - porcentagem de argila .....	91



LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
3.1 - Coluna estatigráfica e descrição sucinta das unidades geológicas .....	21
4.1 - Limites de liquidez e plasticidade e porcentagens de argila das coberturas de alteração (médias dos horizontes A e B) .....	56
4.2 - Cálculos de isoferro, isotitânio e isoalumínio - cobertura latossólica da Formação Rio Claro ....	77
4.3 - Cálculos de isoferro, isotitânio e isoalumínio - cobertura podzólica das Rochas Intrusivas Básicas .....	77
4.4 - Cálculos de isoferro, isotitânio e isoalumínio - cobertura latossólica das Rochas Intrusivas Básicas .....	78
4.5 - Cálculos de isoferro, isotitânio e isoalumínio - cobertura latossólica da Formação Pirambóia ...	78
4.6 - Cálculos de isoferro, isotitânio e isoalumínio - cobertura podzólica da Formação Corumbataí ....	79
4.7 - Cálculos de isoferro, isotitânio e isoalumínio - cobertura latossólica da Formação Corumbataí ..	79
4.8 - Cálculos de isoferro, isotitânio e isoalumínio - cobertura podzólica da Formação Irati .....	80
4.9 - Cálculos de isoferro, isotitânio e isoalumínio - cobertura podzólica da Formação Tatuí.....	80
4.10 - Cálculos de isoferro, isotitânio e isoalumínio - cobertura latossólica da Formação Tatuí .....	81
4.11 - Cálculos de isoferro, isotitânio e isoalumínio - cobertura podzólica da Formação Itararé .....	81
4.12 - Cálculos de isoferro, isotitânio e isoalumínio - cobertura latossólica da Formação Itararé .....	82
4.13 - Cobertura latossólica da Formação Rio Claro-iso volume .....	83
4.14 - Cobertura podzólica das Rochas Intrusivas Básicas - isovolume .....	83
4.15 - Cobertura latossólica das Rochas Intrusivas Básicas - isovolume .....	84
4.16 - Cobertura latossólica da Formação Pirambóia - isovolume .....	84
4.17 - Cobertura podzólica da Formação Corumbataí - iso volume .....	85

	<u>Pág.</u>
4.18 - Cobertura latossólica da Formação Corumbataí - isovolume .....	85
4.19 - Cobertura podzólica da Formação Irati - isovolume .....	86
4.20 - Cobertura podzólica da Formação Tatuí - isovolume .....	86
4.21 - Cobertura latossólica da Formação Tatuí - isovolume .....	87
4.22 - Cobertura podzólica da Formação Itararé - isovolume .....	87
4.23 - Cobertura latossólica da Formação Itararé - isovolume .....	88
4.24 - Índices de alteração física médios e porcentagens médias de argila das coberturas de alteração - horizontes A e B .....	95

ETAPAS DO DIAGRAMA DE FLUXO DE TRABALHO

	<u>Pág.</u>
1.0 - Seleção da área de estudo .....	13
2.0 - Seleção de imagens .....	13
3.0 - Fundamentação teórica .....	14
4.0 - Fotointerpretação .....	30
5.0 - Mapa de integração de dados geológicos .....	30
6.0 - Mapa das coberturas de alteração .....	32
7.0 - Trabalhos de campo .....	34
8.0 - Análises físicas .....	35
9.0 - Análises químicas .....	38
10.0 - Tratamento digital de dados TM-Landsat .....	40
11.0 - Análises de superfícies de tendência e análises quantitativas .....	44
12.0 - Integração dos resultados .....	48
13.0 - Conclusões .....	48
14.0 - Produto Final .....	48



## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

#### 1.1 - GENERALIDADES

As rochas, durante o processo intempérico, sofrem modificações decorrentes de sua alteração química e/ou desagregação mecânica, resultando produtos secundários, muitas vezes distintos daqueles que as originaram. Estes materiais, que constituem uma cobertura superficial desenvolvida sobre os continentes, foram denominados por Dewolf (1965) de formações superficiais e são aqui referidos como coberturas de alteração que, segundo Melfi e Pedro (1977), cobrem 97 % do nosso território. A ação de processos pedogenéticos sobre estes materiais originam solos que foram considerados, neste trabalho, também como coberturas de alteração, para fins de descrição.

Num país quente e úmido como o nosso, onde o material de origem se encontra, na maioria das vezes, bastante alterado, torna-se necessário o estudo e a avaliação das coberturas, que se distribuem sobre a quase totalidade do território brasileiro.

O avanço do processo intempérico provoca mudanças na composição química e nas propriedades físicas das rochas e gera coberturas de alteração em diferentes estágios evolutivos, com características bastante distintas dos materiais originais, também quanto ao comportamento espacial e espectral em produtos de sensoriamento remoto.

Materiais rochosos inicialmente distintos podem gerar coberturas semelhantes, o que conduz à homogeneização da paisagem destas áreas, que passam a ter,

principalmente em produtos de sensoriamento remoto, comportamento bastante similar quanto a suas características texturais e espectrais. Por outro lado, a partir da mesma rocha podem ser formadas coberturas de alteração diferentes, dependendo das condições hidrodinâmicas atuantes no meio. Tal fato conduz a diferentes características texturais e espectrais, avaliadas através de produtos do TM-Landsat.

## 1.2 - OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é justamente avaliar as relações existentes entre as características espaciais e espectrais apresentadas pelas diferentes coberturas de alteração em imagens TM-Landsat, com suas propriedades químicas e físicas, obtidas em ensaios de laboratório.

## CAPÍTULO 2

### ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

#### 2.1 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

A área em estudo (Figura 2.1) localiza-se na porção centro-leste do Estado de São Paulo, aproximadamente entre os paralelos  $22^{\circ} 21'$  e  $22^{\circ} 42'$  de latitude sul e meridianos  $47^{\circ} 45'$  e  $47^{\circ} 15'$  de longitude oeste de Greenwich. Compreende um total de  $1.640 \text{ km}^2$ , que engloba parte dos municípios de Rio Claro, Piracicaba, Limeira, e parte do município de Araras. Esta região pertence a Bacia Sedimentar do Paraná, sendo que a parte oeste da área compreende a estrutura geológica conhecida como Domo de Pitanga.

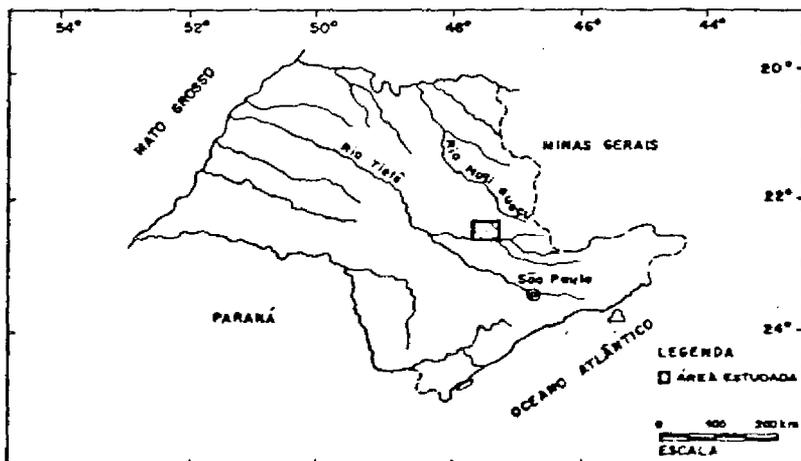
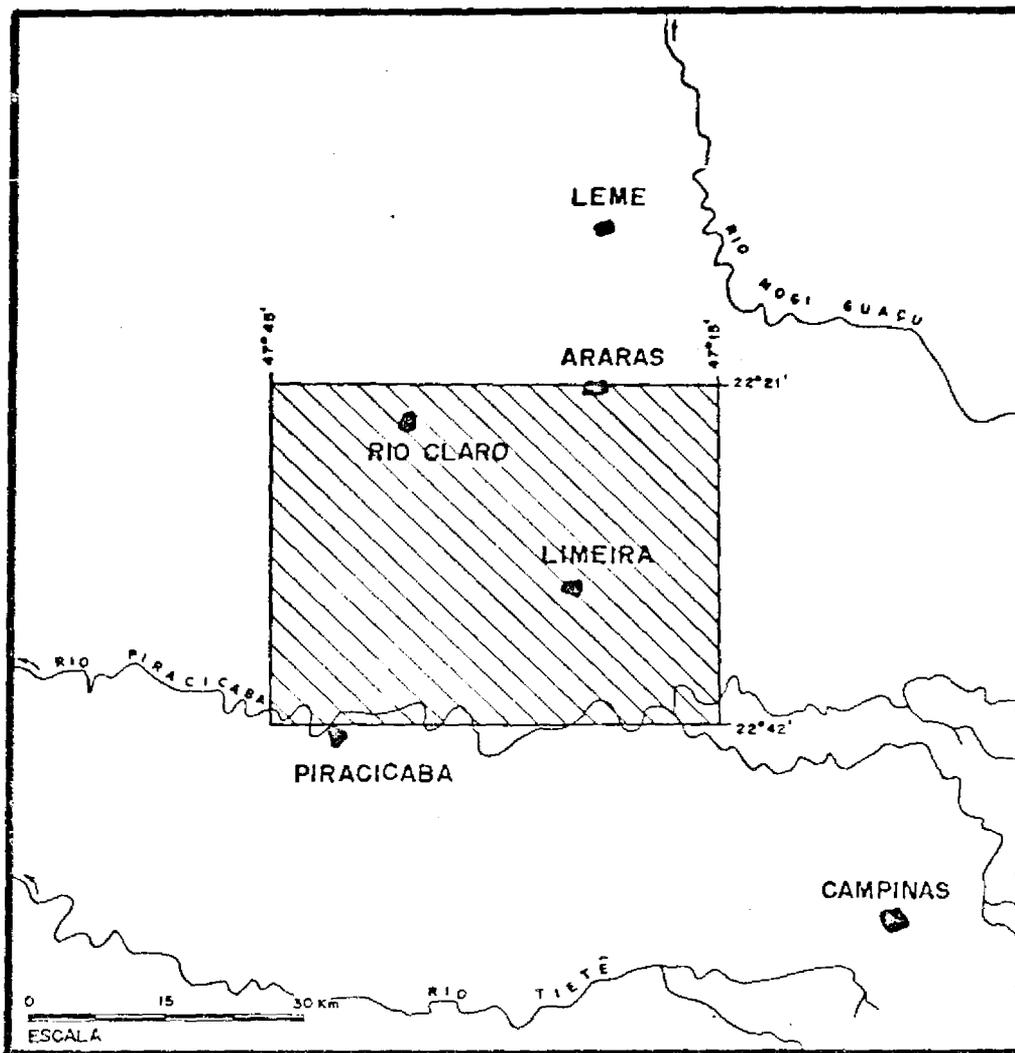


Fig. 2.1 - Mapa de localização da área.

## 2.2 - CLIMA

A Região Sudeste do Brasil, na qual se encontra a área em estudo é submetida a forte radiação solar. O regime de precipitação caracteriza-se, sobretudo, pela existência de uma estação muito chuvosa, na qual as precipitações são abundantes, enquanto que um período de duração variável se constitui em muito seco, quando as chuvas além de raras são pouco copiosas (DNPM, 1983).

As médias de temperaturas do ano imprimem a predominância de temperaturas medianas a elevadas durante todo o ano, principalmente no semestre Primavera-Verão. Segundo Setzer (1966), na região em estudo a temperatura do mês mais quente, geralmente fevereiro, é superior a 22°C enquanto que a do mês mais frio, geralmente julho, é superior a 18° C.

Na região, o máximo de precipitação ocorre nos meses de dezembro ou janeiro, enquanto que o mínimo se dá em julho (DNPM, 1983). O total de chuvas do mês mais seco não ultrapassa 30 mm e o total anual de chuvas se encontra entre 1200 e 1300 mm.

## 2.3 - COBERTURA VEGETAL E USO DA TERRA

Segundo Veloso e Goes Filho (DNPM, 1983), a maior parte da área de estudo se encontra dentro do domínio da Floresta Estacional Semidecidual, que se caracteriza pelo clima de duas estações, uma chuvosa e outra seca e cujas espécies adaptam-se com facilidade à deficiência hídrica ou à baixa temperatura. As espécies caducifólias constituem de 20 a 50% do total de árvores existentes nesse domínio.

A intensa ação antrópica existente na área de estudo provocou a substituição da vegetação original por áreas de agricultura e/ou pastagens. Através da Carta de Utilização da Terra do Estado de São Paulo (IGC, 1980), observa-se que grande parte da área encontra-se ocupada pela cultura de cana-de-açúcar, que se estende desde Rio Claro até Piracicaba, englobando os municípios de Iracemápolis, Santa Gertrudes e Charqueada.

A oeste de Rio Claro e na região de Ipeúna ocorrem áreas de pastagens e/ou campos antrópicos, enquanto que nas proximidades de Limeira e Cordeirópolis desenvolve-se a cultura de citrus.

## CAPÍTULO 3

### MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 - MATERIAIS

Neste trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

● Mapas temáticos:

- Carta de utilização da terra do Estado de São Paulo, escala 1:250.000 (IGC, 1980).
- Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000 (Almeida et alii, 1980).
- Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, escala 1:1 000 000 (Ponçano et alii, 1981).
- Mapa Geológico da estrutura de Pitanga, escala 1:25 000 (Paulipetro, 1980, inédito).
- Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:250.000 (UNESP, 1982).
- Levantamento Pedológico Semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula Araras, escala 1:100.000 (Oliveira et alii, 1982).
- Levantamento Pedológico Semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula São Carlos, escala 1:100.000 (Oliveira et alii, 1984).

- Levantamento Pedológico Semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula Campinas, escala 1:100.000 (Oliveira et alii, 1979)
- Mapa de coberturas superficiais (solos) - Região de Limeira, escala 1:20.000. (UNESP, 1986, inédito)
- Mapas do Domo de Pitanga efetuados anualmente por alunos e professores do Instituto de Geociências - UNESP, Rio Claro. Escala 1:50.000 (inédito).
- Mapa de vegetação do Projeto Radam Brasil - levantamento dos Recursos Naturais. Volume 32, folhas SF 23/24 Rio de Janeiro/Vitória (DNPM, 1983).
- Folhas topográficas Piracicaba, Limeira, Rio Claro e Araras, escala 1:50 000 (IBGE).
- **Produtos de Sensoriamento Remoto:**
  - Imagens do TM-Landsat 5, em papel fotográfico branco e preto nas bandas 3, 4 e 7, escala 1:100.000.
  - Fitas compatíveis com computadores (CCT) das bandas 3, 4 e 7 do TM-Landsat 5.

As imagens e fitas compatíveis com computadores correspondem à cobertura do TM-Landsat 5 e possuem as seguintes características:

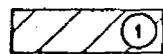
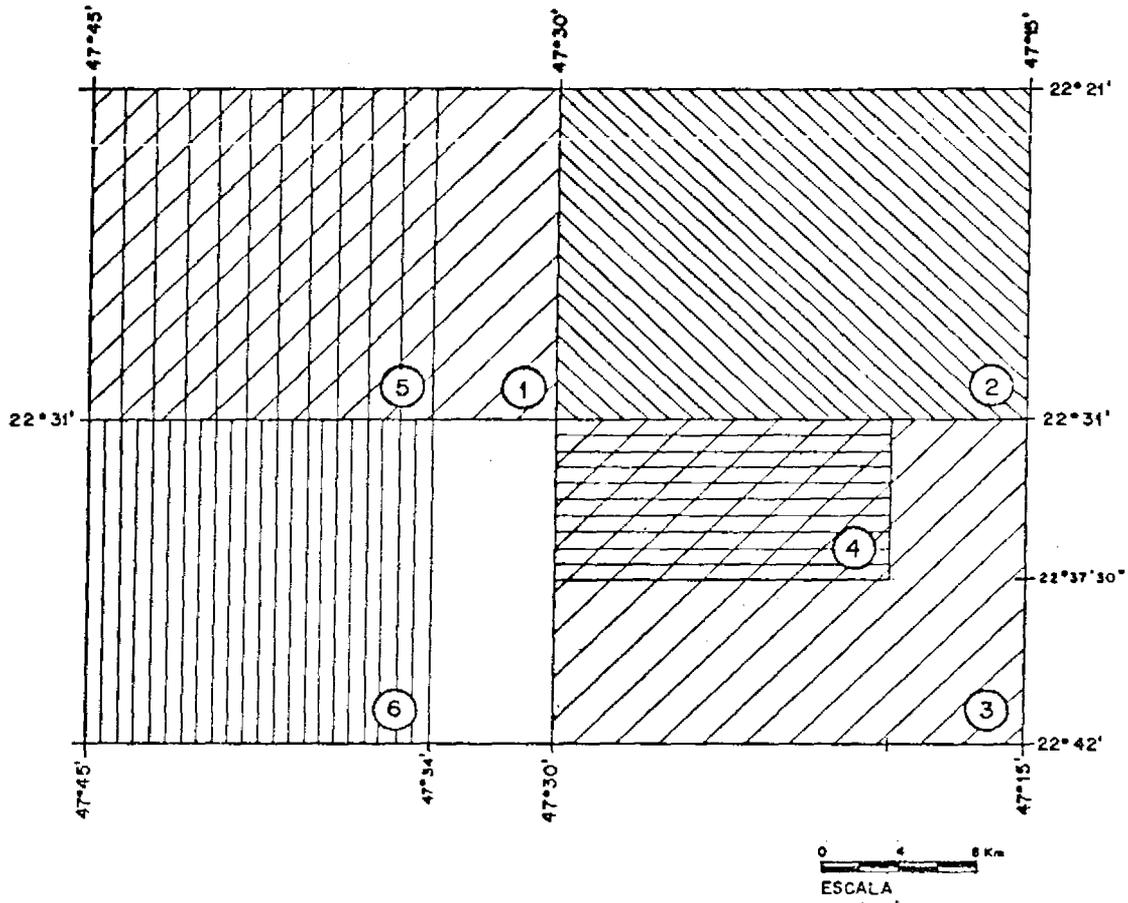
- Data da passagem: 13/09/86
- Órbita ponto: 220 76B
- Ângulo de elevação solar: 43°
- Azimute: 60°
- Resolução espacial - 30m

- Resolução temporal - 16 dias
- Resolução espectral - 7 bandas, nos seguintes intervalos espectrais:
  - .1 = 0,41 - 0,52  $\mu\text{m}$
  - .2 = 0,52 - 0,60  $\mu\text{m}$
  - .3 = 0,63 - 0,69  $\mu\text{m}$  (\*)
  - .4 = 0,76 - 0,90  $\mu\text{m}$  (\*)
  - .5 = 1,55 - 1,75  $\mu\text{m}$
  - .6 = 10,4 - 12,5  $\mu\text{m}$  (banda termal)
  - .7 = 2,08 - 2,35  $\mu\text{m}$  (\*)

(\*) bandas espectrais utilizadas neste trabalho.

- Analisador Multiespectral (I-100), do INPE, em São José dos Campos.

Muitos dos mapas geológicos e pedológicos utilizados cobrem apenas frações da área de estudo, conforme pode ser constatado na Figura 3.1.



LEVANTAMENTO PEDOLÓGICO SEMIDETALHADO DO ESTADO DE SÃO PAULO - QUADRÍCULA DE SÃO CARLOS



LEVANTAMENTO PEDOLÓGICO SEMIDETALHADO DO ESTADO DE SÃO PAULO - QUADRÍCULA DE ARARAS



LEVANTAMENTO PEDOLÓGICO SEMIDETALHADO DO ESTADO DE SÃO PAULO - QUADRÍCULA DE CAMPINAS



MAPA DE COBERTURAS SUPERFICIAIS - REGIÃO DE LIMEIRA



MAPA GEOLÓGICO DA ESTRUTURA DE PITANGA



MAPEAMENTO GEOLÓGICO REALIZADO ANUALMENTE PELOS PROFESSORES E ALUNOS DA UNESP - *Inédito*.

Fig. 3.1 - Localização dos mapas parciais utilizados.

### 3.2 - MÉTODOS

No presente trabalho é apresentada uma abordagem metodológica voltada para a investigação das relações existentes entre o comportamento espacial e espectral das coberturas de alteração em imagens do TM-Landsat e suas propriedades químicas e físicas. A sequência de trabalho é apresentada no diagrama de fluxo de trabalho (Figura 3.2) e as diferentes etapas são descritas a seguir.

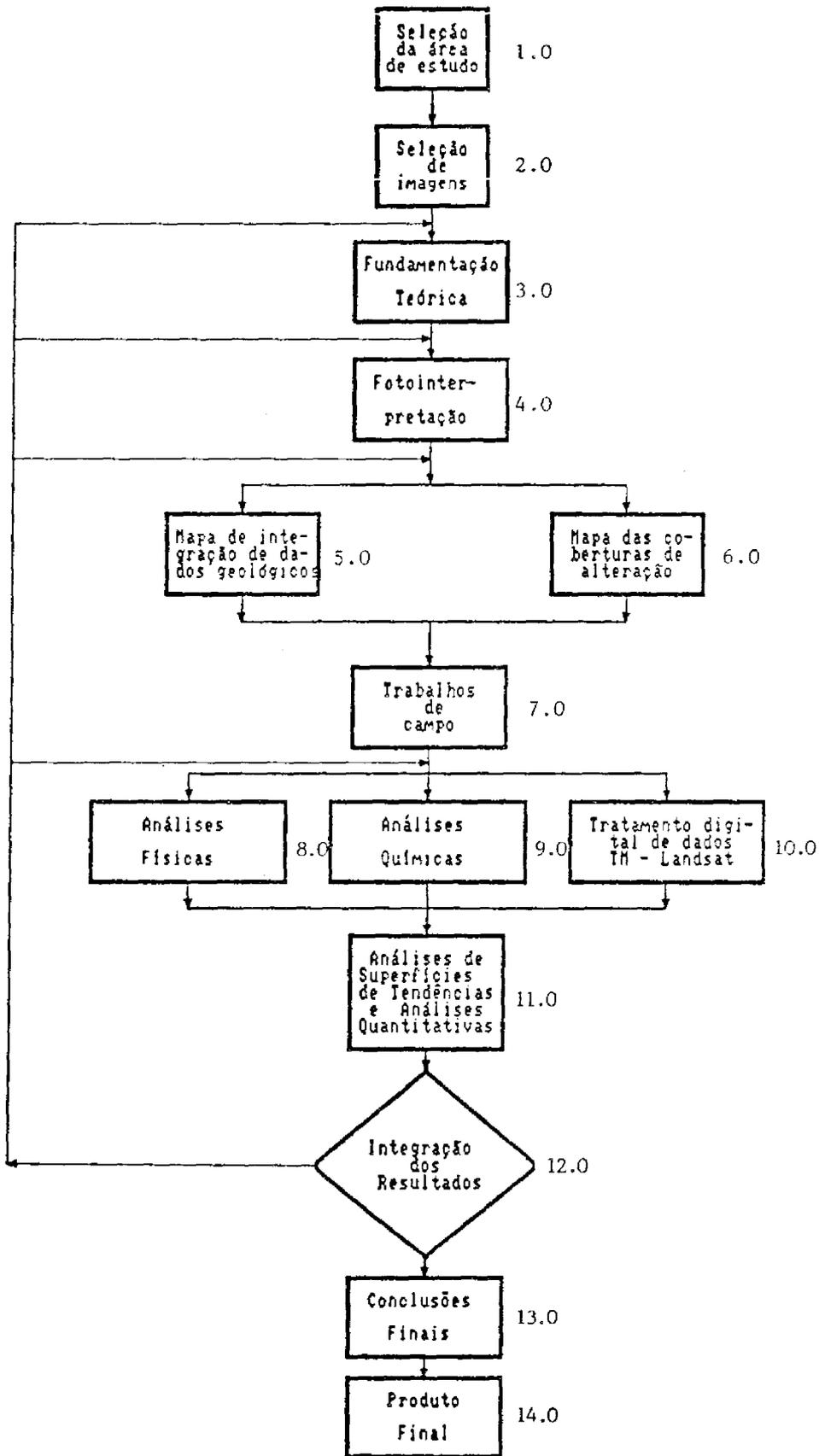


Fig. 3.2 - Diagrama de fluxo de trabalho

## 1.0 - Seleção da Área de Estudo

Foram considerados os seguintes aspectos para a seleção da área de estudo:

- A porção oeste da região, onde se situam as cidades de Piracicaba e Rio Claro, é intensamente estudada por alunos e professores do Instituto de Geociências da UNESP - Campus de Rio Claro, que realizam anualmente mapeamentos geológicos nesta área. Desta forma, há grande quantidade de informação disponível no acervo interno de dados no Instituto.
- Os trabalhos prévios na região, em geral, utilizaram fotografias aéreas como dados de sensoriamento remoto. É ainda bastante reduzido o número de trabalhos geológicos e/ou pedológicos realizados através de imagens orbitais nesta área. Donzelli et alii (1983) efetuaram um dos poucos trabalhos com imagens orbitais para definição de padrões fisiográficos, aplicados aos solos de parte desta região.
- A proximidade da área de estudo também foi fator importante, uma vez que reduz os custos do projeto e facilita a realização de trabalhos de campo, sempre que necessário.

## 2.0 - Seleção de Imagens

A área de estudo encontra-se ocupada por culturas de cana-de-açúcar. Procurou-se obter, assim, imagens de épocas em que a cana estivesse sendo cortada e/ou plantada, de modo a se tentar diminuir a resposta espectral da cultura. Este processo se estende de julho a

outubro, de forma que foram selecionadas, dentro deste período, as imagens de melhor qualidade, com o mínimo de ruído e cobertura de nuvens.

### 3.0 - Fundamentação Teórica

A pesquisa bibliográfica foi feita visando a caracterização da área quanto à geologia, aos solos, ao relevo e aos processos de alteração, conforme descrito a seguir.

Em todas as fases do trabalho a pesquisa bibliográfica tornou-se também necessária, para embasar os procedimentos escolhidos, as discussões e conclusões.

#### ● Geologia

##### - Aspectos Estruturais

A área de estudo localiza-se dentro da porção nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná, que é uma entidade geotectônica estabelecida no interior da Plataforma Sul Americana, no Paleozóico Inferior.

Os tipos básicos de estruturas que ocorrem na parte nordeste da Bacia do Paraná, no Estado de São Paulo, segundo Soares (1974), são: falhas isoladas, sistemas lineares de falhas, domos e flexuras, "horsts" e "grabens".

As falhas isoladas são bastante frequentes, com rejeitos pequenos, inferiores a 100 m, ao longo de planos verticais. Apresentam, normalmente, diques de diabásio associados, introduzidos após o falhamento.

Ocorrem também sistemas lineares de falhas, definidas por Soares (1974) como zonas de falhamentos em

que as linhas de rupturas mais longas apresentam-se em direções similares. A direção predominante é  $N10^{\circ} - 20^{\circ} W$  e os rejeitos são variáveis, comumente situados em torno de 50 m, podendo atingir até 100 m. Algumas evidências destes sistemas são encontradas ao longo da estrada que acompanha o Rio Corumbataí, entre Piracicaba e Paraisolândia.

Ocorre na área de estudo a estrutura dômica de Pitanga, situada entre os meridianos  $47^{\circ} 45'$  e  $47^{\circ}30' W$  e paralelos  $22^{\circ} 21'$  e  $22^{\circ} 42' S$ , que apresenta forma mais alongada que os demais domos da bacia (Artemis, Urucuaia, Jacu, Anhembi) e está associado ao sistema de falhas Rio das Pedras - Ipeúna a oeste e ao sistema de falhas do Rio Passa Cinco - Cabeças a norte, com direção dominante  $N45^{\circ} W$ .

#### - Aspectos Litológicos

Na região em estudo ocorrem as formações: Itararé e Tatuí, do Grupo Tubarão; Irati e Corumbataí, do Grupo Passa Dois; Pirambóia e Rochas Intrusivas Básicas associadas à Formação Serra Geral do Grupo São Bento e Formação Rio Claro.

#### . Formação Itararé

A Formação Itararé data do Permiano Inferior e constitui uma unidade bastante estudada da Bacia Sedimentar do Paraná, por representar seu ciclo glacial de deposição. Caracteriza-se por grande variação litofaciológica, tanto na vertical quanto na lateral, decorrente das peculiaridades do sistema glacial que influenciou na sua sedimentação (Caetano-Chang e Landim, 1987).

Os arenitos constituem a litologia mais abundante desta formação, com cores de cinza claro a cinza

acastanhado e granulações que variam desde muito finos até arcólios (Soares e Landim, 1973).

Ocorrem diamictitos e tilitos com espessuras variadas e siltitos, argilitos e folhelhos com cores que gradam de cinza claro a escuro. Os componentes principais dos arenitos da Formação Itararé são quartzo e feldspato e os argilominerais predominantes em toda formação são ilita e clorita, em proporções semelhantes, localmente com baixa frequência de montmorilonita ou interestratificados montmorilonita-ilita (Rodrigues e Quadros, 1976).

#### . Formação Tatuí

A Formação Tatuí representa o início do ciclo de deposição pós glacial, na Bacia Sedimentar do Paraná, no Estado de São Paulo e data do Permiano Médio. Caracteriza-se por sedimentação bastante uniforme, constituída predominantemente por siltitos, com camadas subordinadas de arenitos, calcários e folhelhos (Almeida et alii, 1981). Foram identificados por Soares (1972) dois membros nesta formação: o inferior, constituído principalmente por siltitos de cor marrom-arroxeadada, às vezes brancos, finamente laminados, ocorrência local de arenitos finos, com estratificação plano paralela e camadas calcárias de cor cinzenta arroxeadada; ; o superior, constituído por siltitos de cores claras, amareladas e esverdeadas, intercalados com corpos de arenitos na base e bancos de arenitos maduros na parte superior.

Entre os argilominerais desta formação predominam o interestratificado ilita-montmorilonita, seguido por clorita e caolinita (Sinelli, 1979).

• Formação Irati

A Formação Irati, de idade Permiana, constitui-se por uma sequência de argilitos e folhelhos cinza escuros, silticos e folhelhos cinza escuros a pretos, pirobetuminosos, associados a níveis de rochas carbonáticas. Esta formação divide-se em dois membros: Membro Taquaral, na base e Membro Assistência, no topo (Barbosa e Almeida, 1948 apud Almeida et alii, 1981). O Membro Taquaral consiste em argilitos, folhelhos cinza escuros a cinza claros e siltitos cinzas. O Membro Assistência constitui-se de folhelhos pretos pirobetuminosos, folhelhos e argilitos cinza escuros a pretos e calcários creme a cinza escuros, às vezes dolomíticos. Os calcários apresentam-se silicificados e ocorrem, no Estado de São Paulo, nódulos de sílex.

Os minerais mais comuns são quartzo e feldspato, além de ilita, montmorilonita e clorita. A presença destes minerais independe da litologia, pois podem estar associados a folhelhos cinzas, pretos e siltitos com ou sem níveis de calcários. A caolinita é inexistente ou muito rara nesta formação (Ramos e Formoso, 1975).

• Formação Corumbataí

A litologia da Formação Corumbataí consiste em argilitos, folhelhos e siltitos de cores cinza escura, na sua parte inferior e argilitos, folhelhos e siltitos arroxeados a avermelhados com intercalações de bancos carbonáticos e camadas de arenitos bastante finos na parte superior (Schneider et alii, 1974). Sua deposição data do Permiano Superior e encerra o Paleozóico na Bacia Sedimentar do Paraná.

Os argilominerais desta formação constituem-se por montmorilonita, seguida por illita (Ramos e Formoso, 1975).

. Formação Pirambóia

Trata-se de uma das unidades sedimentares de maior ocorrência no Centro Leste Paulista, depositada mais provavelmente no intervalo do Triássico Inferior ao Jurássico Superior (Fúlfaro et alii, 1980).

Esta formação caracteriza-se por arenitos de granulação muito fina a média, com cores amarelo - esbranquiçadas e avermelhadas. Camadas de siltitos e argilitos são raras e apresentam coloração de vermelho-escuras a marrom avermelhadas (Soares e Landim, 1973).

Os constituintes minerais predominantes desta formação são quartzo e feldspato, sendo a clorita o mineral de argila mais comum (Sinelli, 1979).

. Rochas Intrusivas Básicas

A Formação Serra Geral é uma sequência vulcânica, de idade Mesozóica, constituída por basaltos toleíticos. As unidades geológicas inferiores a estes derrames sofreram grandes intrusões de diabásio, predominantemente sob a forma de sills e mais raramente sob a forma de diques (Wu, 1981).

O grande problema para a estratigrafia destas rochas e das demais do Mesozóico, é a identificação dos corpos formados por extensão de lavas e daqueles formados por intrusão. Estas dificuldades, entretanto, existem para corpos magmáticos alojados nas formações Botucatu e Pirambóia, pois como não ocorrem derrames basálticos

anteriores ao Grupo São Bento, todos os magmatitos alojados em rochas paleozóicas são considerados sills (Fúlfaro et alii, 1980).

Mineralogicamente estas rochas constituem-se por feldspatos alcalinos, piroxênios e minerais de ferro que se apresentam como intercrescimentos de ilmenita e de magnetita ou hematita (Williams et alii, 1970).

#### . Formação Rio Claro

Os depósitos neoceno-zóicos da região Centro - Leste de São Paulo distribuem-se em três níveis: o primeiro, de 900 a 1.000m de altitude, onde situa-se a cidade de São Carlos, o segundo, entre 800 e 900m de altitude, sobre a qual desenvolve-se a cidade de Itirapina e o último, com cerca de 600m, onde localiza-se a cidade de Rio Claro e a drenagem do rio Corumbataí. Este nível foi denominado por Bjornberg e Landim (1966) de Formação Rio Claro.

A espessura desta formação é variável e capeia superfícies aplainadas. Sua distribuição granulométrica é muito semelhante a do arenito Botucatu, porém na primeira ocorrem restos vegetais e maior porcentagem de magnetita, além de estruturas primárias de deposição, características importantes para a diferenciação das duas unidades.

Os sedimentos da Formação Rio Claro apresentam quartzo como principal componente, seguido pelo feldspato, em porcentagem bem mais baixa. . As argilas, principalmente caoliníticas, ocorrem em algumas lentes (Bjornberg e Landim, 1966).

A coluna estratigráfica e a descrição sucinta das unidades geológicas da área encontram-se dispostas na Tabela 3.1.

#### ● Geomorfologia

De acordo com a divisão geomorfológica do Estado de São Paulo (Almeida, 1964), a região de estudo localiza-se dentro da província geomorfológica denominada de Depressão Periférica Paulista, Zona do Médio Tietê.

A Depressão Periférica, com altitude média entre 500 e 700m, compreende uma faixa de 450km de comprimento por 100km de largura média, deprimida entre os terrenos pré-cambrianos a leste e a escarpa arenito basáltica a oeste (IBGE,1977).

Segundo observações de campo, a topografia da área de estudo é, em geral, pouco acidentada, com desníveis entre 20 e 50m. As formas de relevo são suaves, com colinas levemente convexas de topos aplainados entre 550 e 700m, com divisores formados por vales largos e planícies aluviais pouco expressivas.

A grande variação litológica existente acarreta em diferenças de resistência à erosão e gera um relevo de vertentes assimétricas com desníveis variáveis.

A Formação Irati, com calcários e siltitos silicificados, é responsável, em certos locais, pela sustentação da topografia dos níveis mais elevados, o mesmo acontecendo com bancos parcialmente silicificados da Formação Corumbataí. Os principais altos topográficos, contudo, são sustentados pelos sills e diques de diabásio (Almeida, 1964).

TABELA 3.1

COLUNA ESTRATIGRÁFICA E DESCRIÇÃO SUCINTA DAS UNIDADES GEOLÓGICAS

ERA	PERÍODO	GRUPO	FORMAÇÃO	ESPESSURA	DESCRIÇÃO SUCINTA
Cenozóico	Terciário-Quaternário		Rio Claro	30m	Arenitos, arenitos conglomeráticos, arenitos argilosos e pequenas intercalações argilosas. Ambiente: fluvial.
Mesozóico	Jurássico a Cretáceo		Intrusivas Básicas		Rochas intrusivas básicas (diabásio), na forma de diques a sills.
	Triássico a Jurássico	São Bento	Pirambóia	250m	Arenitos finos a médios, avermelhados, siltico-argilosos, de estratificação cruzada ou plano-paralela, níveis de folhelhos e arenitos argilosos de cores variadas. Ambiente: fluvial e de planície de inundação.
Paleozóico	Permiano Superior	Passa Dois	Corumbataí	130m	Argilitos, folhelhos e siltitos cinza arroxeados ou avermelhados com intercalações de bancos carbonáticos, silicíticos e camadas de arenitos finos. Ambiente: marinho, de planície de maré.

(continua)

Tabela 3.1 - Conclusão.

ERA	PERÍODO	GRUPO	FORMAÇÃO	ESPESSURA	DESCRIÇÃO SUCINTA
Paleozóico			Irati	40m	Siltitos, argilitos e folhelhos silticos de cor cinza-claro a escura, folhelhos pirobetuminosos, localmente com alternância rítmica de calcários creme, silicificados; membro pelítico muito persistente na base. Ambiente: continental lacustre, misto lagunar.
	Permiano Médio	Tubarão	Tatuí	<100m	Siltitos, arenitos fins em parte concrecionados, calcários, sílex; cor vermelha arroxeada na parte inferior e verde na superior; presença de estratificação plano-paralela. Ambiente: marinho.
	Permiano Inferior		Itararé		Depósitos glaciais continentais, glácio marinhos, deitáicos, fluviais, lacustres e marinhos, compreendendo principalmente arenitos de granulação variada, passando a arcósios; conglomerados, diamictitos, argilitos, folhelhos, siltitos, ritmitos.

A rede de drenagem apresenta controle litoestrutural proveniente de diáclases e fraturas e da existência de corpos litológicos mais resistentes, principalmente diabásio (Almeida, 1964).

Observa-se na área de estudo um subnívelamento geral dos interflúvios entre 600 e 700m que, segundo Penteado (1976), seria decorrente de processos de aplainamento que se instalaram em toda região, provavelmente no Terciário, entre o Plioceno Superior e Pleistoceno Inferior, dando origem a uma superfície de erosão denominada por "Superfície de Erosão do Médio Tietê" por Almeida (1964).

#### ● Processos de alteração das rochas

A fração mineral do solo é formada a partir da alteração das rochas, que se dá tanto através da desintegração física e mecânica, como através da alteração química das mesmas. O primeiro processo acarreta o aumento da superfície de contato das partículas e facilita a alteração química dos minerais por meio de uma série de reações onde são formados minerais secundários, a partir de minerais primários do material inicial (Salomão, 1984).

A alteração química das rochas se dá por diversos mecanismos e a ocorrência de cada um destes processos vai depender das condições de pH do meio e da sua concentração catiônica. Pelo fato do Brasil estar localizado na faixa climática tropical e subtropical do globo, o mecanismo essencial de alteração superficial das rochas é a hidrólise, que afeta 97% do território (Melfi e Pedro, 1978). A ação da hidrólise pode ser mais ou menos completa, dependendo das condições termodinâmicas do meio (Melfi e Pedro, 1977).

Dois tipos de hidrólise podem ocorrer, conforme descritos a seguir: (Harrassowitz, 1926 apud Pedro, 1969).

1. A hidrólise total, em condições de lixiviação intensa, onde os elementos constituintes dos minerais primários (Si, Al, Na, K, etc...) são totalmente liberados e aparecem no meio de alteração sob a forma de hidróxidos. Neste processo a sílica é totalmente eliminada e o alumínio, insolúvel, acumula-se no perfil na forma de hidróxidos de alumínio do tipo gibsitita. Este processo corresponde ao fenômeno de alitização.
2. A hidrólise parcial, onde a sílica é menos eliminada do meio em relação às bases e origina os argilominerais, juntamente com o alumínio e os cátions básicos. Este processo foi denominado de sialitização.

A eliminação dos cátions básicos, porém, pode ser mais ou menos acentuada, individualizando-se argilominerais distintos. Quando a eliminação dos cátions básicos é total ou quase total, formam-se argilominerais com estrutura 1:1, do tipo caolinita. Quando a eliminação das bases é parcial, formam-se argilominerais do tipo 2:1, do grupo das esmectitas, onde o principal representante é a montmorilonita. O primeiro processo foi denominado por Pedro (1966, apud Melfi e Pedro, 1977) de monossialitização e o segundo de bissialitização.

#### - Resposta dos Elementos ao Processo Intempérico

O comportamento dinâmico dos elementos liberados dos minerais durante o processo intempérico dependerá, teoricamente, das características físico-

químicas destes elementos (constante de acidez, potencial de oxidação-redução, produto de solubilidade de seus compostos, constante de estabilidade dos complexos eventuais, etc...) e das condições do meio ambiente (pH, Eh e clima).

. Sódio, Potássio, Cálcio e Magnésio

São elementos pertencentes ao grupo dos alcalinos e alcalinos terrosos, que existem no estado de cátions simples em quase toda gama de pH.

São retidos no perfil do solo quando são adsorvidos por reações de troca ou quando se combinam com outros elementos para formarem os minerais de argila, caso contrário perdem-se facilmente por lixiviação, quando a água é abundante (Malagon, 1979). O comportamento do lençol freático tem uma interferência substancial na remoção e precipitação destes elementos no perfil (Duchaufour, 1977 apud Salomão, 1984).

. Alumínio

Sua mobilidade é controlada pelo pH e pela ação de compostos orgânicos. O alumínio é muito solúvel a pH inferior a 5 ou pH superior a 10, sendo praticamente insolúvel em meios com pH entre 4.5 e 9.5, onde se precipita originando bohemita, bauxita, gibsitita ou reage com  $H_4SiO_4$  formando os minerais argilosos, especialmente caolinita. Sob a ação de agentes húmicos, compostos do elemento e algum material gipsítico pode ser translocado no perfil de solo (Malagon, 1979).

. Ferro

O ferro se apresenta na natureza nas formas oxidada ( $Fe^{+3}$ ) e reduzida ( $Fe^{+2}$ ). Dependendo das condições

de Eh e pH do meio, pode permanecer na forma de  $Fe^{+2}$ , ser complexado pela matéria orgânica ou então ser oxidado para  $Fe^{+3}$  (Salomão, 1984).

Este elemento, na forma reduzida, possui certa mobilidade e se encontra no solo em concentrações altas até valor de pH de 6.5, a partir deste valor existe na forma de hidróxidos. A forma oxidada é praticamente imóvel, ocorrendo na forma de hidróxidos insolúveis a valores de pH superiores a 2.5 (Malagon, 1979).

#### . Silício

Com relação a produtos tais como  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  e  $Fe_2O_3$ , pode-se afirmar que  $SiO_2$  apresenta a maior mobilidade (Malagon, 1979).

A sílica migra em solução na forma de ácido silícico e sua intensidade depende do pH e da solubilidade do alumínio. (Duchaufour, 1977 apud Salomão, 1984). Em solos com pH entre 6 e 8, submetidos a lixiviação moderada, a sílica em solução pode estar ausente, como acontece nos latossolos, tendo sido adsorvida pelo alumínio para formar os minerais argilosos (Malagon, 1979).

#### . Titânio

O titânio é um elemento que ajuda nas indicações sobre o estágio evolutivo do solo, por ser dificilmente perdido por lixiviação e, portanto, retido no perfil do solo por período mais longo. O íon  $Ti^{+4}$  só ocorre em valores de pH inferiores a 2 e acima deste valor já se apresenta sob a forma de  $Ti(OH)_4$  (Malagon, 1979). Este elemento se perde muito lentamente sob a forma de  $Ti(OH)_4$ , especialmente em meios com  $pH < 5$  e em outras condições ele permanece praticamente insolúvel sob a forma de  $TiO_2$ .

● Solos

Ocorrem na área de estudo solos com horizonte B Latossólico, B Textural, B Câmbico e Solos Pouco Desenvolvidos denominados de Latossolos, Podzólicos, Cambissolos e Litossolos, respectivamente.

- Solos com Horizonte B Latossólico

Trata-se de um horizonte em adiantado estágio de alteração, onde não são encontrados os minerais menos resistentes ao intemperismo, e/ou minerais de argila 2:1 (do grupo das esmectitas). A massa de solo consiste, principalmente, de minerais de argila do tipo 1:1 (caolinita), quartzo e outros minerais primários resistentes ao intemperismo (CNEPA.CS, 1960).

Na composição do horizonte B Latossólico não deve restar mais do que 4% de minerais primários menos resistentes ao intemperismo na fração areia. As frações areia e argila poderão apresentar pequenas quantidades de minerais interestratificados (ilita-montmorilonita) ou ilitas e apenas traços de argilominerais do grupo das esmectitas (montmorilonitas) (Camargo et alii, 1987).

Os solos com horizonte B Latossólico, também denominados Latossolos, são solos profundos, com espessura mínima de 50 cm, que apresentam estrutura granular, com grânulos pequenos a muito pequenos e porosidade, na maioria das vezes, elevada (CNEPA.CS, 1960) e denominados neste trabalho de coberturas latossólicas ou latossolizadas.

- Solos com Horizonte B Textural

Os solos com horizonte B Textural são denominados de Podzólicos. Trata-se de um horizonte subsuperficial que apresenta aumento da concentração de argilas (< 0.002 mm) em relação ao horizonte A, podendo ou não ser maior do que no horizonte C (CNEPA.CS, 1960).

A argila, por sua natureza coloidal, possui mobilidade e é transportada através da água no solo, formando películas de partículas argilosas, com orientação paralela às superfícies que revestem, ao contrário das argilas formadas in situ, que apresentam orientação desordenada. Este revestimento de material argiloso, assim como outros tipos de revestimentos de material coloidal inorgânico, é uma característica do horizonte B Textural e denominado de cerosidade (Camargo et alii, 1987).

Os constituintes minerais deste horizonte são sesquióxidos, minerais de argila silicatadas (com mais frequência do tipo 1:1), quartzo, além de outros minerais primários (CNEPA.CS, 1960). Sua profundidade varia de moderada a profunda e a estrutura é forte a moderadamente desenvolvida e se apresenta em blocos subangulares e angulares (Oliveira et alii, 1982). A porosidade, por sua vez, varia conforme a porcentagem de argila existente, sendo menor para os solos mais argilosos (CNEPA.CS, 1960). Neste trabalho os diferentes tipos de solos podzólicos são identificados como coberturas podzólicas ou podzolizadas.

- Solos com Horizonte B Câmbico (incipiente)

Trata-se de horizonte subsuperficial, subjacente ao horizonte A, que sofreu alteração física e química em grau não muito avançado, porém suficiente para o desenvolvimento de cor e/ou estrutura.

Neste horizonte 5% ou mais do volume de material pode apresentar estrutura da rocha original com estratificações finas ou fragmentos de rocha semi ou não intemperizada (CNEPA.CS, 1960).

Os solos com horizonte B incipiente, também chamados de cambissolos, são solos rasos que apresentam cores brunadas, amareladas e avermelhadas e cores acizentadas com mosqueados, resultantes da segregação de óxidos de ferro. A estrutura deste horizonte é geralmente em blocos ou prismática, podendo também ocorrer estrutura granular ou maciça (ausência de estrutura) (Camargo et alii, 1987).

Em certas áreas, os Cambissolos podem se assemelhar morfológicamente aos Latossolos, diferenciando-se destes por apresentarem principalmente 4% ou mais de minerais primários menos resistentes ao intemperismo na fração areia. (Oliveira et alii, 1982).

As áreas de ocorrência de solos desenvolvidos a nível de cambissolos são denominadas, neste trabalho, de coberturas cambissólicas ou cambissolizadas.

#### - Solos Pouco Desenvolvidos

Representados na área pelos Litossolos, que apresentam como principal característica um perfil pouco desenvolvido (CNEPA.CS, 1960). Possuem horizonte A fraco, moderado, diretamente sobre a rocha e/ou sobre um horizonte C pouco espesso (Oliveira et alii, 1982).

São solos rasos, imaturos, com altos teores de minerais primários pouco resistentes ao intemperismo e minerais de argila do grupo das esmectitas

(montmorilonitas). Sua textura é bastante variável, e está diretamente ligada à natureza do substrato rochoso (Oliveira e Prado, 1984).

As regiões onde ocorrem litossolos são referidas, neste trabalho, como áreas de ocorrência de coberturas litólicas ou litossólicas.

#### 4.0.- Fotointerpretação

A quantidade de informação passível de ser obtida das imagens orbitais do TM-Landsat depende de características intrínsecas ao produto, como sua resolução espectral de sete bandas e resolução espacial de 30 m, com exceção à banda 6, do termal, onde a resolução é de 120 m. Desta forma, a fotointerpretação foi realizada conhecendo-se as limitações de resolução do produto e potencialidades quanto à disponibilidade de imagens em diferentes bandas, equivalentes a diversos comprimentos de onda do espectro eletromagnético. Maiores informações sobre os produtos orbitais podem ser extraídos dos manuais de sensoriamento remoto e de fotointerpretação (American Society of Photogrammetry, 1975).

Adotou-se na fotointerpretação conceitos de elementos texturais de relevo e drenagem, contidos nos trabalhos de Soares e Fiori (1976), Veneziani e Anjos (1982); tonalidades de cinza, contidos em Goosen (1968), Soares e Fiori (1976), Veneziani e Anjos (1982), Donzelli et alii (1983) e rupturas de declive, Soares e Fiori (1976) e Veneziani e Anjos (1982).

#### 5.0 - Mapa de Integração de Dados Geológicos

Nesta fase foram inicialmente identificadas as rupturas de declive (quebras negativas) através da

utilização de estereoscópio de espelho diretamente sobre as imagens orbitais, nas bandas 3 e 7. Tal método pode parecer a princípio incoerente, pelo fato das imagens do TM-Landsat serem obtidas sem variação do ângulo de visada, o que impossibilitaria a visão estereoscópica. Porém, constatou-se que a diferença tonal entre os dois canais provoca a percepção estereoscópica, menos eficaz que a real, mas já suficiente para permitir a visualização das quebras negativas que constituem, em sua maioria, o contato entre unidades geológicas distintas (Jimenez e Godoy, 1982).

Após a identificação das quebras negativas, foram extraídas as feições lineares negativas (traços de fraturas e/ou drenagem) de toda a imagem, com o objetivo de se tentar correlacionar a densidade de feições lineares e a textura de imagem resultante, com as diferentes unidades geológicas delimitadas por contatos erosivos (quebras negativas) ou por fraturas. Não foi extraído porém, todo o dissecamento dos contatos erosivos, por questões de escala do produto utilizado.

As cartas geológicas existentes da área foram então integradas com os dados de imagem através da transferência das unidades mapeadas em carta para as imagens orbitais. Esta transferência, porém, foi feita limitada pela resolução espacial e pela escala do produto utilizado, uma vez que não foram transferidas unidades cujas rupturas de declive, que constituíam seus contatos, não tivessem sido anteriormente identificadas ao estereoscópio de espelho.

Após a integração analisou-se a variação das tonalidades de cinza dentro de cada uma das unidades geológicas representadas nas imagens em papel nas bandas 3, 4 e 7.

A análise ao estereoscópio de espelho visou, deste modo, estabelecer os limites da resolução espacial do produto orbital utilizado para que fosse efetuada a integração de dados das cartas utilizadas e das imagens de forma coerente.

O mapa resultante, que foi denominado de mapa de integração de dados geológicos serviu de base para os trabalhos de campo, auxiliando na seleção dos pontos de amostragem.

#### 6.0 - Mapa das Coberturas de Alteração

Nesta fase foram individualizadas as diferentes coberturas de alteração existentes na área de estudo: coberturas latossólicas, podzólicas, cambissólicas e litólicas.

Os critérios para a individualização das coberturas basearam-se nas análises da densidade textural de drenagem, definida através dos elementos texturais de drenagem (Soares e Fiori, 1976); da densidade textural de relevo, definida pelos elementos texturais de relevo, que são função dos pares luz e sombra da imagem (Veneziani e Anjos, 1982); e das tonalidades de cinza, Goosen (1968), (Soares e Fiori, 1976), Veneziani e Anjos (1982), Donzelli et alii (1983), Mattos (1986). Estes critérios foram utilizados por estes autores para fotointerpretação geológica aplicadas neste trabalho para a individualização das coberturas de alteração.

As densidades de elementos texturais de relevo e drenagem identificáveis nas imagens do TM-Landsat analisadas são função do grau de dissecação do relevo e das porosidades dos materiais, que constituem as várias zonas homólogas caracterizadas.

Estabeleceu-se uma escala de texturas para ser utilizada na caracterização das zonas homólogas nas imagens, baseada nas diferenças relativas de densidades dos elementos texturais de relevo e drenagem. O critério adotado foi aquele que se mostrou mais diagnóstico para a área de estudo e a partir dele gerou-se uma escala de textura para ser aplicada nas imagens na individualização das diferentes zonas homólogas:

- a) **textura muito alta** - densidades de elementos texturais de relevo e drenagem muito altas.
- b) **textura alta** - densidades de elementos texturais de relevo e drenagem altas.
- c) **textura média** - densidades de elementos texturais de relevo e drenagem médias.
- d) **textura baixa** - densidades de elementos texturais de relevo e drenagem baixas.
- e) **textura muito baixa** - densidades de elementos texturais de relevo e drenagem muito baixas.

Após as análises das densidades texturais de drenagem e de relevo, procedeu-se à análise das tonalidades de cinza, procurando-se compatibilizar as propriedades das zonas homólogas já definidas, com as tonalidades de cinza observados nas imagens, conforme sugerem Veneziani e Anjos (1982).

O mapa fotointerpretado das coberturas de alteração, resultante desta fase, serviu de subsídio para os trabalhos de campo e, da mesma forma que o mapa de

integração de dados geológicos, auxiliou na seleção dos pontos de controle.

#### 7.0 - Trabalhos de Campo

Os trabalhos de campo foram realizados com o objetivo de se avaliar a fotointerpretação das coberturas de alteração e o mapa de integração de dados geológicos, além de se coletar amostras para as análises químicas e físicas.

Foram feitas descrições geológicas e pedológicas de ponto de controle, previamente selecionados com o auxílio das imagens e dos mapas de integração de dados geológicos e de coberturas, dentro de áreas que apresentaram as propriedades geológicas, pedológicas, espectrais e texturais homogêneas. Nestes pontos efetuou-se amostragem dos horizontes A e B de solo, por serem aqueles que influenciam na resposta do sensor, e da rocha fresca, num total de setenta e dois perfis de solo, dos quais, sorteou-se trinta amostras representativas das várias zonas homólogas para a realização de análises químicas e físicas.

Este tipo de amostragem, onde são delimitadas inicialmente regiões homogêneas, denominadas estratos, é conhecida, em Estatística, como amostragem estratificada (Cochran, 1965). Dentro de cada estrato são coletadas amostras acidentais ou aleatórias, de modo que o método pode ser chamado de amostragem acidental estratificada (Cochran, 1965) ou amostragem aleatória estratificada (Grossi Sad, 1986).

A seleção das amostras para as análises químicas e físicas foi feita através de sorteio, para garantir sua aleatoriedade, pois segundo Koch e Linck

(1970), a amostragem aleatória é de grande interesse em Geologia.

Uma preocupação constante durante a coleta de amostras foi sua distribuição em área. Procurou-se cobrir toda a área de estudo, evitando-se direções preferenciais de amostragem ou concentração de amostras, conforme sugere Davis (1986).

## 8.0 - Análises Físicas

### - Análise Granulométrica e Índice de Alteração Física

Os ensaios granulométricos tiveram como objetivo principal a obtenção das porcentagens de argila, silte e areia das amostras, e posteriores cálculos dos índices de alteração física dos materiais. Além disso, visaram também determinar a porosidade dos materiais, que se relaciona à permeabilidade dos terrenos.

A separação das frações areia grossa, areia fina, silte e argila foi realizada pelo método do densímetro, conforme descrito em Mojica et alii (1973).

Este método difere dos tradicionais, uma vez que são realizadas somente duas leituras, uma aos 40 segundos, para a obtenção das areias e outra às 2 hs, para as argilas, sendo o silte resultante da diferença em relação aos 100% do material.

O índice de alteração física foi calculado através da relação: % de areia total/% de argila total, de modo que à medida que avança a alteração, aumenta a porcentagem de argila do material, resultando na diminuição do índice. (COLCIÊNCIAS, 1973).

- Densidade Aparente, Densidade Real e Porosidade Total

Os ensaios de densidade real e aparente foram realizados para se obter a porosidade dos materiais, sendo que a densidade aparente foi utilizada também para os cálculos de isovolume, que serão descritos adiante.

A porosidade é um fator que influencia as densidades de drenagem das unidades geológicas e pedológicas. As diferentes texturas de relevo observáveis na imagem, por sua vez, relacionam-se a esta variação de densidade de drenagem.

As densidades aparentes de todos os horizontes de solo foram obtidas através do método do anel volumétrico e suas densidades reais, calculadas através do método do balão volumétrico. Ambos encontram-se detalhadamente descritos em SNLCS (1979).

A porosidade total foi calculada a partir das densidades real e aparente, conforme fórmula contida em SNLCS (1979), onde: porosidade total =  $100(densidade\ real - densidade\ aparente)/densidade\ real$

- Limites de Liquidez e Plasticidade

Os limites de liquidez, obtidos para um dado solo, indicam a fronteira convencional entre o estado líquido e o estado plástico (Vilar e Bueno, 1984). Desta forma, os altos valores de limites de liquidez indicam a necessidade de grande quantidade de água para que determinado solo se liquefaça e o relevo se desestabilize.

Espera-se assim, que associados a altos valores de limites de liquidez ocorram relevos estáveis,

mais resistentes à erosão, correspondentes à baixas texturas nas imagens. O objetivo deste cálculo foi avaliar a alteração da textura da imagem em relação aos diferentes valores de limites de liquidez.

O limite de liquidez foi calculado para todas coberturas associadas às unidades geológicas, através da utilização do aparelho de Casagrande, segundo procedimento descrito em SNLCS (1979).

O limite de plasticidade, por sua vez, representa o teor de umidade que determina a fronteira entre o estado plástico e o semi-sólido (Vilar e Bueno, 1984) e também tem relação com a erodibilidade dos materiais. Seus maiores valores estão associados à porcentagens mais elevadas de argilas expansivas, principalmente montmorilonitas, que são mais facilmente transportadas pela água das chuvas, o que gera maior dissecação do relevo, segundo informação verbal de Jimenez (1988) Estas argilas são do tipo 2:1 e geralmente não ocorrem em solos evoluídos, onde o adiantado estágio de alteração já provocou sua transformação em argilas 1:1 (caolinitas).

Da mesma maneira que para o limite de liquidez, o objetivo desta etapa é avaliar a variação da textura das imagens decorrente da mudança dos valores de limites de plasticidade. Espera-se que os maiores limites de plasticidade correspondam à regiões de maior dissecação do relevo, com maior densidade de textura nas imagens TM-Landsat.

## 9.0 - Análises Químicas

### - Análise Química Total e Índice de Intemperismo Químico

Estes ensaios visam o estabelecimento de relações entre os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$  e as características observadas na imagem, uma vez que é esperado que variações nos teores destes elementos alterem a cor do material e os níveis de cinza da imagem.

Os ensaios foram efetuados através de dois métodos diferentes:

- 1) A determinação de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{TiO}_2$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  foi realizada por espectrometria de fluorescência de raio X e fusão com  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ .
- 2) Para a determinação de  $\text{MnO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{MgO}$  foi feita abertura com ácido fluorídico e posterior espectrofotometria de absorção atômica.

Com os dados de teores obtidos nas análises químicas, calculou-se o Índice de intemperismo químico, segundo fórmula descrita em Krauskopf (1972), onde:

$$I.I = \frac{\text{Mol de CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{H}_2\text{O}}{\text{Mol de SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}$$

Conforme o material é intemperizado, perde Ca, Mg, Na e K e incrementa-se a concentração residual de Al e Fe, o que resulta na diminuição do índice.

- Análises de Perdas e Ganhos durante o Intemperismo

A partir das composições químicas, em porcentagens, obtidas nas análises, calculou-se as perdas e ganhos dos óxidos em relação ao material original, no decorrer do processo de intemperismo, conforme metodologia descrita em Krauskopf (1972).

Os cálculos foram feitos em quatro etapas distintas. Na primeira, denominada de isoalumínio, considera-se os teores de  $Al_2O_3$  como constantes durante o intemperismo e as variações dos outros óxidos são analisadas em relação a eles.

A segunda etapa, denominada de isoferro, considera a somatória dos teores  $Fe_2O_3 + FeO$  como constante, repetindo a mesma sequência de cálculos feitos para o isoalumínio.

A terceira, isotitânio, é realizada considerando-se os teores de  $TiO_2$  como constantes.

Na última, denominada de isovolume, calcula-se a variação do volume da rocha durante o intemperismo. No decorrer da alteração, o aumento e a diminuição dos constituintes podem ser ambos reais, isto é, o intemperismo pode envolver perdas de alguns elementos e adição de outros, permanecendo constante a massa total da rocha. Pode ocorrer também, que um determinado elemento não seja afetado, enquanto os outros diminuem, originando um aumento aparente de sua porcentagem com relação aos demais. Outra possibilidade pode ser a diminuição de todos os elementos, de forma que aqueles que diminuírem menos mostrarão um aparente aumento. A escolha entre qualquer uma destas hipóteses pode ser feita através dos cálculos das variações

dos volumes dos elementos constituintes da rocha durante a alteração.

Estes cálculos têm como objetivo a análise do comportamento dos elementos ao longo do perfil de solo, quando se consideram coberturas em diversos estágios de alteração. Pretende-se avaliar se as concentrações de  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3 + FeO$  e  $TiO_2$ , no decorrer do processo intempérico, se relacionam com as tonalidades de cinza das coberturas, nas imagens do TM-Landsat.

#### 10.0 - Tratamento Digital de Dados TM - Landsat

O analisador de imagens multiespectrais Image 100 (I-100), do Instituto de Pesquisas Espaciais, é um sistema interativo de análise de imagens, onde estão implantados programas especiais para processamento das imagens digitais. Estas imagens entram no sistema através de uma fita compatível com computador (CCT), que é posteriormente carregada na memória do sistema ou em disco de maior capacidade, para visualização no monitor de TV, em diferentes escalas de até 1:25.000.

O objetivo dos programas de processamento de imagens é prepará-las, para facilitar sua interpretação visual, permitindo uma melhor exploração da quantidade de informação nelas contidas. Torna-se possível uma análise quantitativa da informação extraída através de parâmetros estatísticos, como média e variância.

O I-100 foi utilizado, neste trabalho, para a extração dos valores dos níveis de cinza da imagem, visualizada no monitor de TV na escala de 1:50.000.

A extração dos valores dos níveis de cinza de uma imagem digital torna-se possível, uma vez que existem,

nas imagens do TM-Landsat, 256 níveis de cinza para representar a radiância aparente de cada elemento de resolução da imagem (pixel), correspondente a uma área de 30m x 30m do terreno.

A amostragem dos pontos para a extração dos valores dos níveis de cinza foi feita através do posicionamento de um indicador da tela (cursor), que pode assumir diferentes tamanhos e formas e permite a extração de informação da área contida no seu interior.

A amostragem dos valores dos níveis de cinza foi feita segundo uma malha regular quadrada em espaçamentos de 4cm, equivalentes a 2,0km no terreno. Optou-se pela regularidade da malha e alta densidade de amostragem, pela grande variabilidade das tonalidades de cinza existentes na imagem, nas três bandas do TM avaliadas para a área de estudo.

Segundo Grossi Sad (1986), por uma questão aritmética, sabe-se que quanto maior o número de amostras, maior a probabilidade de que a média determinada situe-se próximo da real e o adensamento experimental do retículo é o método de otimização mais seguro e mais simples. Em mineração, quando um dado retículo permite visualizar a correlação entre a estrutura e os corpos mineralizados, ele é considerado ótimo, mesmo que não defina com acurácia os próprios corpos. Por outro lado, quando um determinado retículo experimental não se mostra adequado para a detecção das variabilidades da propriedade em estudo, há que se adensá-lo.

Desta forma, utilizou-se neste trabalho, um retículo de 2km x 2km, conforme ilustrado na Figura 3.3. As falhas de amostragem foram decorrentes das dificuldades de junção dos nove módulos, através dos quais a área de estudo

foi observada na tela do I-100. A separação em módulos é necessária, uma vez que a escala de trabalho utilizada não permite a observação da área total na tela.

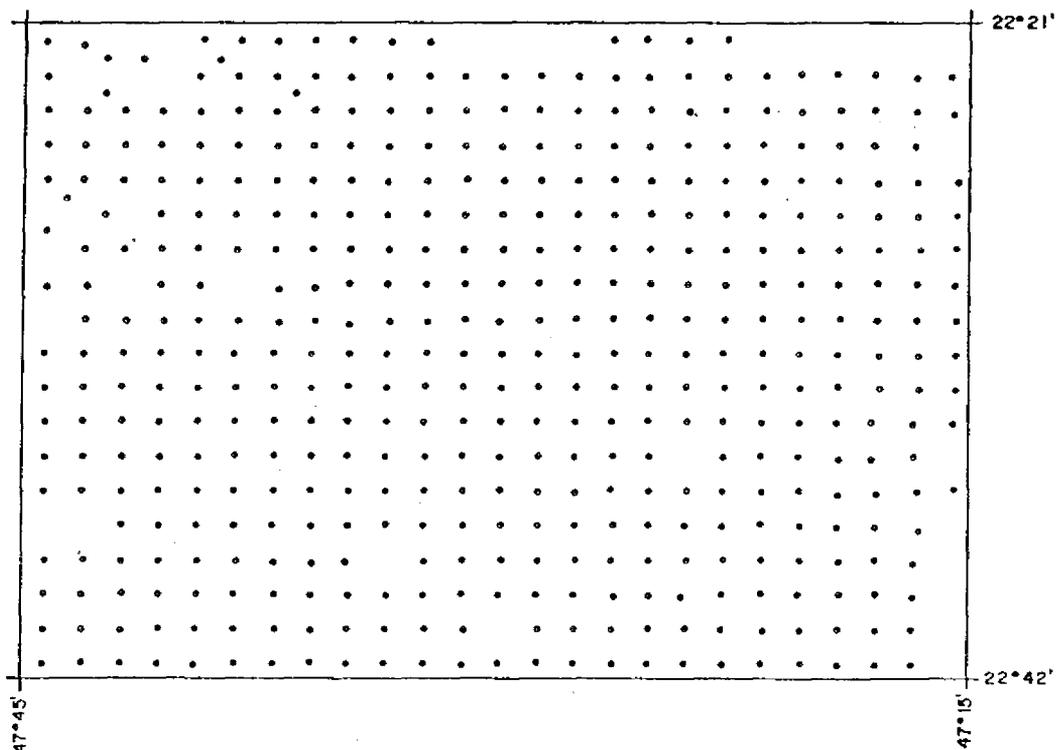


Fig. 3.3 - Níveis de cinza: localização dos pontos amostrados.

A amostragem foi realizada através do posicionamento do cursor, de forma quadrada, com área correspondente a 16 pixels, no centro de cada retículo. Concomitantemente, efetuou-se a localização das amostras nas folhas topográficas 1:50.000, de Piracicaba, Rio Claro, Limeira e Araras, de modo a se obter as coordenadas geográficas de cada ponto, para posterior elaboração de análises de Superfície de Tendência, conforme será descrito adiante.

A extração dos valores de níveis de cinza foi realizada através da utilização do Sistema Maxver, o qual se destina à classificação ponto a ponto de imagens multiespectrais, utilizando o critério da máxima verosimilhança. Este sistema apresenta duas fases distintas: a do treinamento, no qual o usuário escolhe as classes e determina seus parâmetros (média e matriz de covariância) e a classificação propriamente dita (INPE, 1985).

Neste trabalho restringiu-se à aplicação da primeira fase do sistema, uma vez que se objetivava somente a obtenção das médias dos valores de níveis de cinza nas bandas 3, 4 e 7 e não a classificação de áreas da imagem.

A utilização do Sistema Maxver, para a extração dos valores dos níveis de cinza dos pontos, possui a vantagem de possibilitar a apresentação das médias e da matriz de covariância na impressora, além da gravação dos pontos amostrados em fitas de papel, úteis no caso da necessidade de se retomar os pontos no decorrer do trabalho.

## 11.0 - Análises de Superfícies de Tendência e Análises Quantitativas

Para se avaliar as relações existentes entre os dados de níveis de cinza extraídos no I-100; os teores de  $Fe_2O_3$ ,  $+ FeO$ ,  $TiO_2$  e  $Al_2O_3$ , obtidos nas análises químicas totais, as porcentagens de argila, provenientes dos ensaios granulométricos; os índices de alteração física e intemperismo químico e a porosidade, decidiu-se aplicar a técnica de Análise de Superfície de Tendência, uma vez que a mesma possibilita a visualização do comportamento espacial das variáveis envolvidas no estudo, através de mapas de superfícies ajustadas.

A Análise de Superfície de Tendência é um método estatístico, derivado da Análise de Regressão Múltipla, que visa a obtenção de superfícies matemáticas, ajustadas através do método dos mínimos quadrados, de tal forma que se visualize a tendência regional dos dados (Davis, 1986). Trata-se de um caso tridimensional de regressão, que se baseia no fato de que as observações (variável dependente) são função das coordenadas geográficas (variáveis independentes).

A superfície de tendência é ajustada matematicamente através de uma função polinomial, de tal forma que sua complexidade pode ser controlada pelo usuário através do número de termos incluídos, o qual é dependente do grau do polinômio. Deste modo, a superfície de primeiro grau é um plano, a de segundo grau pode ter apenas uma dobra, assumindo a forma de uma parábola ou ter a forma de uma sela. As superfícies de terceiro grau ou mais se sucedem com complexidades cada vez maiores (Jones et alii, 1986).

Após a superfície de tendência ter sido calculada, são determinadas as diferenças entre a superfície ajustada e o valor real, observadas para cada ponto do mapa de controle. Estas diferenças são chamadas de resíduos e definem as anomalias existentes na área de estudo, o que consiste em uma das proposições da análise de tendência. Eles apresentam valores positivos ou negativos, associados a pontos localizados acima ou abaixo da superfície ajustada, respectivamente (Miesch e Connor, 1968).

A escolha do grau da superfície é baseada em avaliações estatísticas e qualitativas, inerentes à variável em estudo. Os testes estatísticos, entretanto, não constituem mais do que guias, uma vez que as técnicas utilizadas na quantificação em Geologia podem ser consideradas como procedimentos quase estatísticos ou protoestatísticos, pois poucos deles podem ser usados nos rigorosos testes de hipóteses estatísticas (Davis, 1986).

Para as análises de superfícies de tendência de dados geológicos, as tendências e os resíduos são normalmente computados para graus de 1 até 4 ou 5. Este limite é arbitrário mas, para dados bem distribuídos espacialmente, graus superiores a 4 usualmente resultam em pouca informação adicional (Miesch e Connor, 1968).

Dentro do campo das Geociências, este método tem sido usado com maior frequência na Geologia. Neste trabalho, porém, ele é utilizado no estudo de variáveis associadas à coberturas de alteração, como seu teores de  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3 + FeO$  e  $Al_2O_3$ , índice de intemperismo químico e de alteração física, porcentagens de argila, porosidade e níveis de cinza das bandas 3, 4 e 7.

Com exceção da variável "níveis de cinza", as demais foram obtidas através das amostras coletadas em campo. A amostragem para a realização das análises químicas e físicas não foi feita numa malha regular, como no caso dos níveis de cinza, mas distribuída de forma a cobrir praticamente toda área, conforme sugere Davis (1986). Segundo este autor, o número e o espaçamento dos pontos de controle tem influência direta na dimensão das variabilidades que podem ser detectadas pelo referido método, definindo sua resolução espacial.

Por ser uma área intensamente ocupada com culturas, principalmente cana-de-açúcar, em diversos estádios de crescimento, desde cana cortada até cana adulta, a variabilidade dos níveis de cinza é muito grande. Por este motivo, optou-se por uma malha regular bastante densa, de modo a se aumentar a confiabilidade dos resultados. (Figura 3.3). Segundo Grossi Sad (1986), para se estudar a propriedade de maior variabilidade há a necessidade de maior número de amostras, enquanto que para uma menor variabilidade pode ser efetuada amostragem menos intensa.

Via de regra, deve-se efetuar uma amostragem mais densa ao longo das direções de maior variabilidade de um fenômeno regionalizado. Com relação à variável "níveis de cinza", que apresenta alta variabilidade em área, a malha foi relativamente densa e suficiente para o estudo de ajuste das superfícies de tendência. Caso não tivesse se mostrado suficiente, ela teria sido adensada.

Se por um lado a variabilidade dos níveis de cinza é muito grande, o mesmo não se verifica no comportamento químico e físico das unidades de estudo, consideradas como zonas homogêneas quanto às características litológicas e ao grau de alteração das

coberturas. Assim sendo, as superfícies de tendência para estas variáveis foram calculadas a partir de uma malha irregular, de menor densidade e com pontos bem distribuídos em área, conforme pode ser visualizado na Figura 3.4.

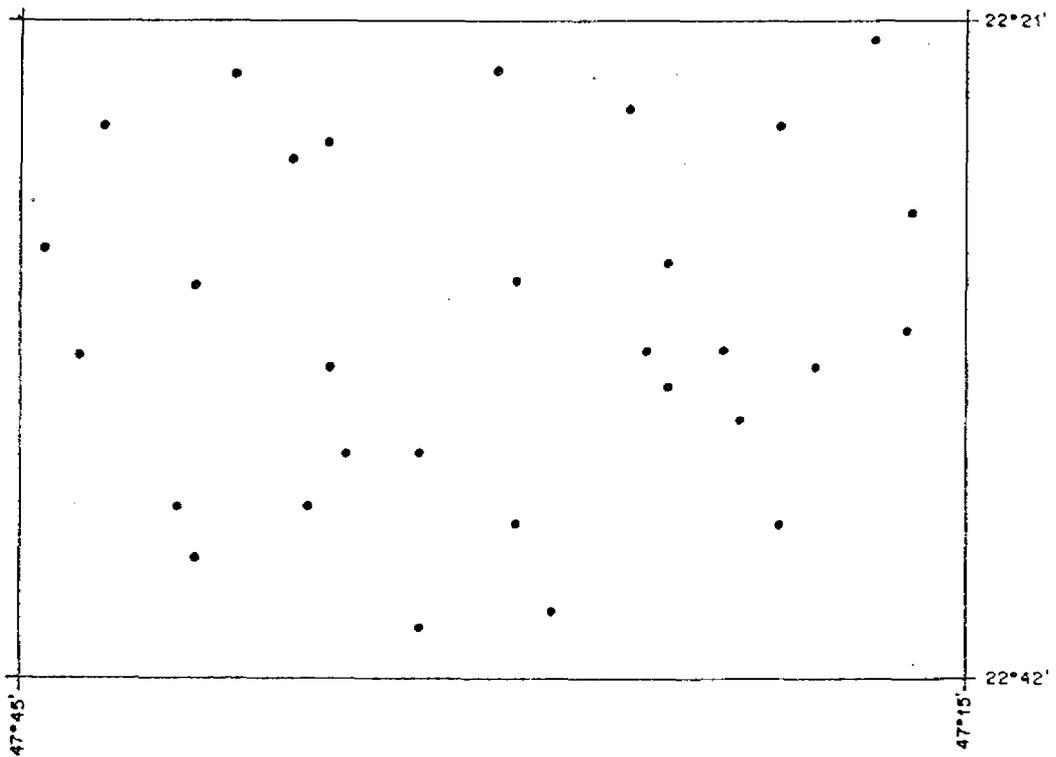


Fig. 3.4 - Análises físicas e químicas: localização dos pontos amostrados.

É importante frisar que, mesmo segundo estatísticos (Cruz, 1978; Cochran, 1965), que utilizam técnicas bem rigorosas, a amostragem é controlada pelos fatores custo e bom senso do pesquisador. O método utilizado neste trabalho não se encaixa dentro do rigor da estatística, porém tem sido utilizado com sucesso em estudos geológicos.

#### 12.0 - Integração dos Resultados

Esta fase visou a análise integrada dos dados. A partir dos resultados obtidos, avaliou-se a necessidade de se retornar a qualquer uma das fases anteriores, até que fossem solucionados os pontos de dúvidas.

#### 13.0 - Conclusões

A partir dos resultados finais obtidos, estabeleceram-se as relações existentes entre o comportamento espacial e espectral das coberturas de alteração nas imagens e suas propriedades químicas e físicas.

#### 14.0 - Produto Final

O produto final foi elaborado, visando uma contribuição ao estudo das coberturas de alteração, através de dados de sensoriamento remoto.

## CAPÍTULO 4

### DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na montagem dos pares para a observação ao estereoscópio de espelho, constatou-se que as conjugações das bandas 4 e 7 e bandas 4 e 3, apresentam diferenças tonais muito elevadas, o que torna difícil a fusão das duas imagens ao estereoscópio. Tal fato é decorrente da alta reflectância da vegetação na banda 4, que resulta numa imagem muito clara, quando comparada às imagens das bandas 3 e 7, conforme pode ser observado na Figura 4.1, que mostra o comportamento da reflectância da vegetação nas diferentes bandas do TM. Deste modo, a conjugação das bandas 3 e 7 mostrou-se mais adequada para a montagem do par estereoscópico.

A interpretação visual das imagens através do estereoscópio de espelho facilitou a identificação das rupturas de declive (quebras negativas), o que se tornaria mais difícil monoscopicamente. Constatou-se, porém, que muitos dos limites das zonas fotolitológicas se dão através de descontinuidades geológicas e não somente através de quebras negativas.

Durante a integração de dados das cartas geológicas e das imagens, as unidades geológicas de pequena espessura e/ou pouca expressão em área não foram transferidas das cartas geológicas para as imagens do TM-Landsat, pois as rupturas de declive que constituem seus contatos não foram identificadas na escala 1:100.000 utilizada. Além disso, a própria resolução espacial de 30 m das imagens TM não possibilitou a separação de unidades como a Formação Irati, cuja espessura varia de 20 a 40 m na

área de estudo. Ocorrem, desta forma, no mapa gerado, unidades fora da seqüência estratigráfica normal, como exemplo pode ser citado o caso da Formação Tatuí em contato direto com a Formação Corumbataí, omitindo a Formação Irati, à sudeste da cidade de Ipeúna.

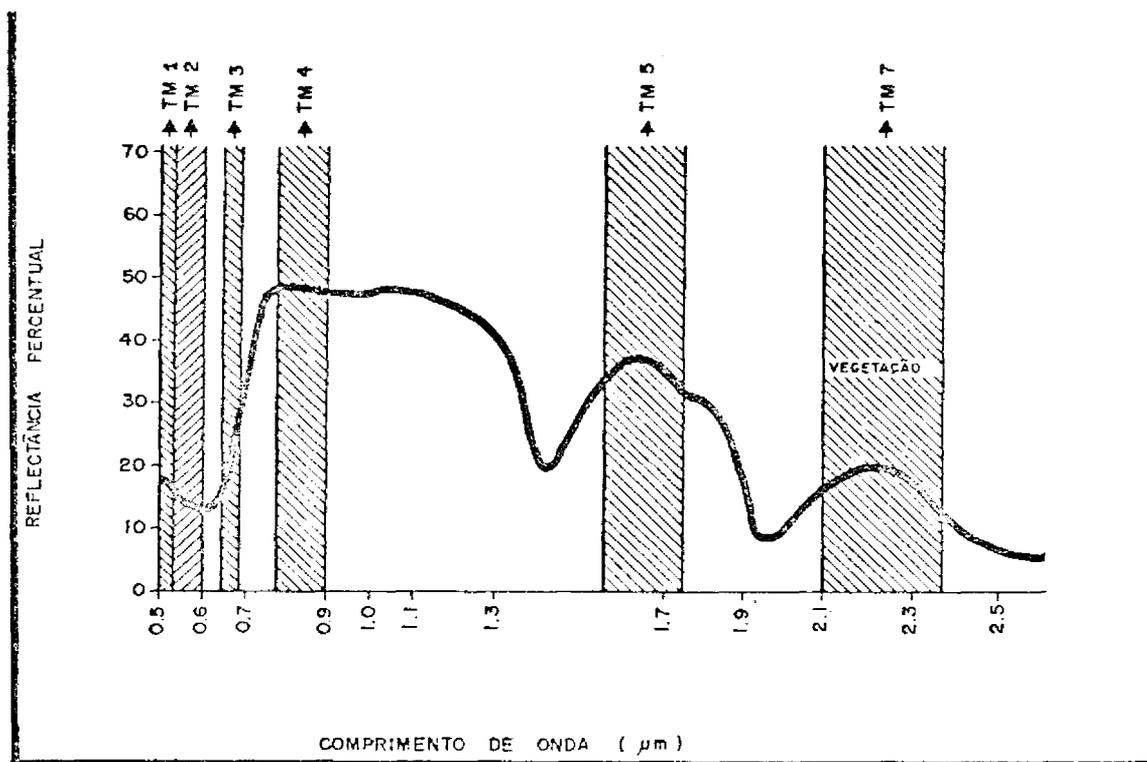


Fig. 4.1 - Curva de reflectância da vegetação e bandas do TM.

FONTE: Menezes (1986).

A análise mais detalhada das texturas fotográficas das imagens orbitais das diversas unidades geológicas, nas três bandas, mostrou que há baixo grau de uniformidade textural dentro delas. Observou-se que, dentro de uma mesma unidade geológica, são definidas várias zonas homólogas quanto às propriedades texturais de relevo, drenagem e às tonalidades de cinza, que podem ser associadas às coberturas de alteração existentes.

As regiões de baixa textura, determinadas neste trabalho por baixas densidades de elementos texturais de relevo e drenagem, constituem uma zona homóloga associada às coberturas latossólicas, que são geralmente bastante profundas e desenvolvidas, com grande conteúdo de elementos minerais argilosos, parcialmente responsáveis pelas tonalidades de cinza mais escuras que ocorrem nesta zona.

As regiões de textura média, onde ocorrem médias densidades de elementos texturais de relevo e drenagem, associam-se às coberturas podzólicas, com tonalidades de cinza no geral mais claras do que as coberturas latossólicas.

As coberturas alteradas a nível de cambissolos e litossolos, rasas e pouco desenvolvidas, aparecem relacionadas à texturas altas e muito altas, respectivamente, onde as densidades de elementos texturais de relevo e drenagem são superiores às demais. Ambas apresentam matizes de cinza mais claros quando comparadas às coberturas latossólicas e podzólicas de uma mesma unidade geológica, para as três bandas do TM analisadas.

Ocorrem também texturas intermediárias entre aquelas definidas para as diversas coberturas de alteração. Desta forma, identificou-se textura média-baixa relacionada

à área de ocorrência de associações de coberturas podzólicas e latossólicas e textura média-alta, relacionada à áreas de ocorrência de associações de coberturas podzólicas e litólicas, assim como podzólicas e cambissólicas. As texturas destas duas últimas associações são bastante semelhantes, porém ligeiramente mais altas quando ocorrem os litossolos.

Se por um lado foi possível o estabelecimento de uma escala de texturas nas áreas de ocorrência da associação de coberturas, o mesmo não se deu com relação as suas tonalidades de cinza. Torna-se difícil, por exemplo, a determinação de diferenças entre as tonalidades de cinza das áreas de coberturas podzólicas e latossólicas, com relação às regiões onde estes dois tipos de solos aparecem associados.

É bastante nítida, nas bandas 3, 4 e 7 do TM-Landsat a existência de uma faixa central homogênea, com tonalidades de cinza mais escuras e textura baixa, que se estende desde a cidade de Piracicaba, até a cidade de Araras, correspondente às coberturas latossolizadas das formações Tatuí, Corumbataí e Intrusivas Básicas. (Figuras 4.2, 4.3 e 4.4).

A imagem na banda 4, embora com tonalidades mais claras que as demais, devido à alta reflectância da vegetação neste intervalo de comprimento de onda (Figura 4.1), também permite a observação de uma faixa central com matizes cinzentas relativamente mais escuras, quando comparadas ao restante da imagem.

A avaliação das propriedades físicas das coberturas de alteração teve início com a análise dos limites de liquidez e plasticidade, calculados para todos os tipos de coberturas de alteração sobrepostas às várias unidades geológicas da área de estudo, permitindo o estabelecimento de associações entre o grau de alteração das coberturas e a textura das mesmas em imagens TM-Landsat, conforme é discutido a seguir.

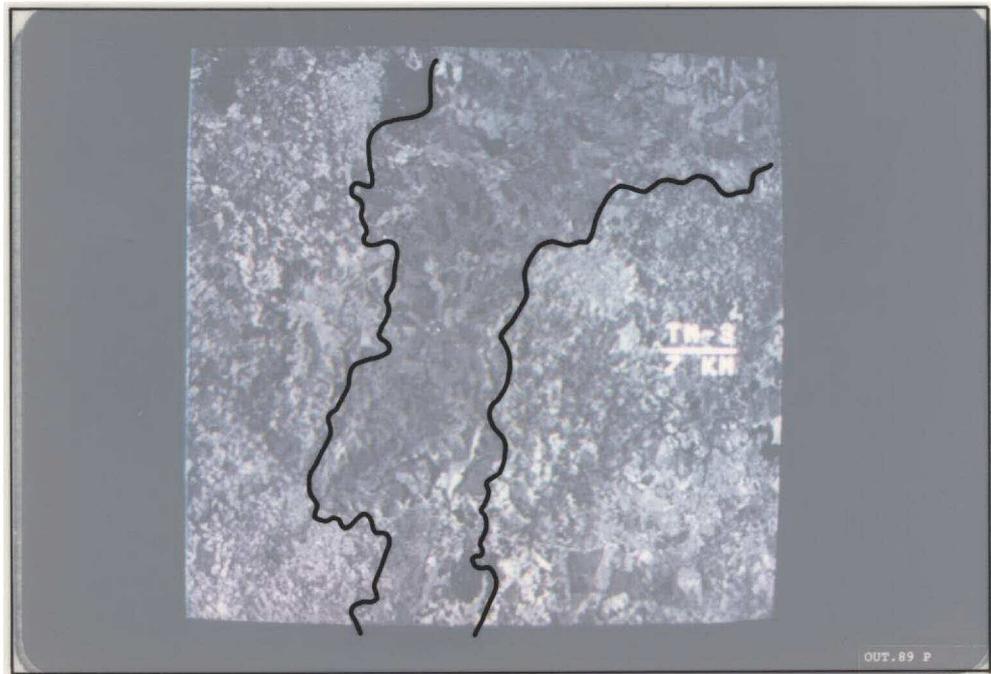


Fig. 4.2 - Foto da área de estudo - banda TM 3, com delimitação da área central.

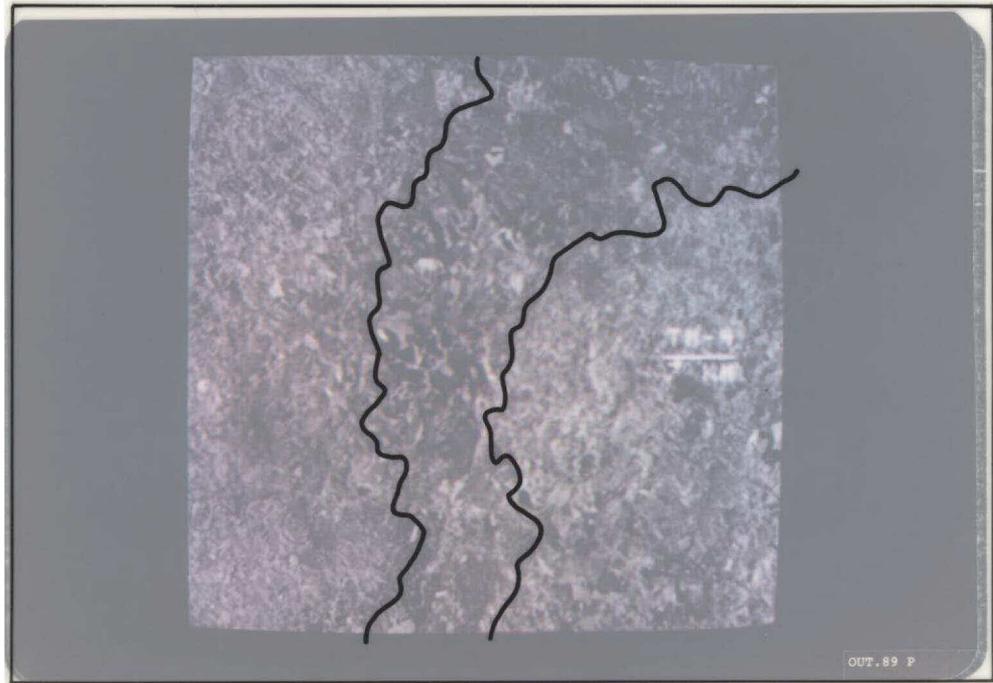


Fig. 4.3 - Foto da área de estudo - banda TM 4, com delimitação da área central.

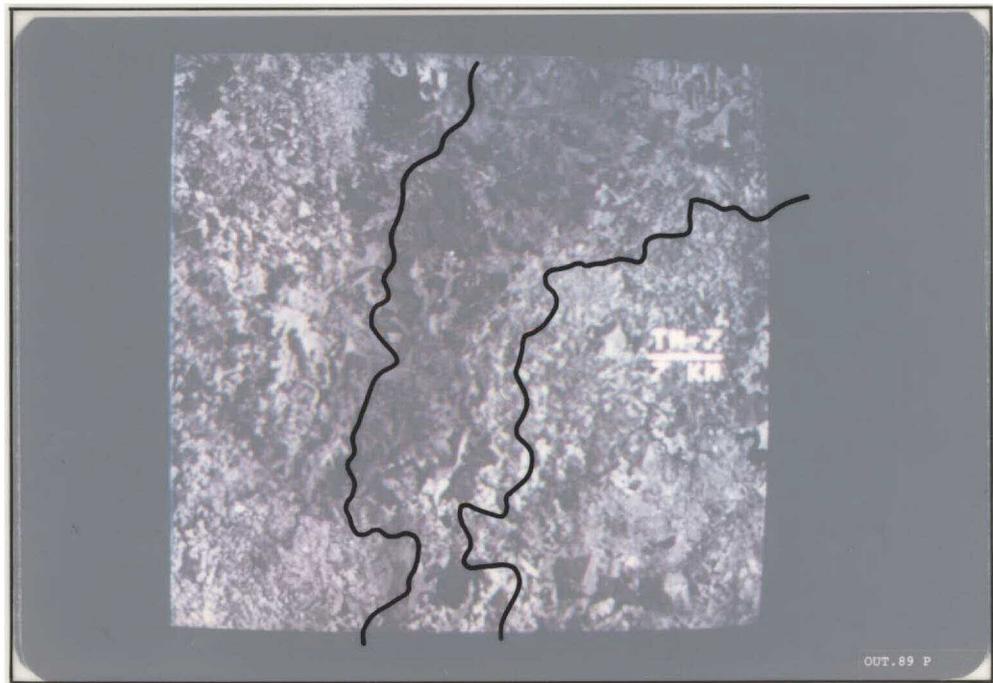


Fig. 4.4 - Foto da área de estudo - banda TM 7, com delimitação da área central.

Através da Tabela 4.1, pode-se observar que dentro de uma mesma unidade geológica, ocorrem diversos valores de limites de liquidez, sendo que, para uma mesma formação geológica, os maiores limites associam-se, em geral, às coberturas latossólicas, os intermediários às podzólicas e os inferiores às cambissólicas. Não foi possível, porém, a realização do referido ensaio para as coberturas litólicas, por apresentarem característica ainda muito próximas da própria rocha, e para as coberturas provenientes da Formação Pirambóia, onde a grande porcentagem de areia inviabiliza o ensaio.

As coberturas latossólicas, em adiantado estágio de alteração, apresentam relevo pouco dissecado, baixa densidade de drenagem, e estão associadas a altos valores de limites de liquidez e textura baixa nas imagens analisadas.

As coberturas podzólicas encontram-se em estágio menos adiantado de alteração com relação às anteriores e aparecem associadas a relevo mais dissecado e conseqüentemente maior densidade de drenagem. Os valores dos limites de liquidez, por sua vez, foram mais baixos e a textura de imagem considerada média.

Por último, as coberturas cambissólicas, que ocorrem em poucas regiões da área de estudo, são menos evoluídas e associadas a valores inferiores de limites de liquidez e alta textura de imagem.

TABELA 4.1

LIMITES DE LIQUIDEZ E PLASTICIDADE E PORCENTAGENS DE  
ARGILA DAS COBERTURAS DE ALTERAÇÃO  
(MÉDIAS DOS HORIZONTES A E B)

FORMAÇÃO GEOLOGICA	TIPO DE SOLO DA COBERTURA DE ALTERAÇÃO	LIMITE DE LIQUIDEZ	LIMITE DE PLASTICIDADE	ARGILA (%) MÉDIAS DOS HORIZONTES A E B
RIO CLARO	latossolo	46,75	N.P.	16,61
ROCHAS BÁSICAS	latossolo	34,50	16,84	34,35
ROCHAS BÁSICAS	podzólico	31,40	23,35	17,60
PIRAMBÓIA	latossolo	--	N.P.	22,53
CORUMBATAÍ	latossolo	50,60	30,00	38,09
CORUMBATAÍ	podzólico	38,90	34,00	31,02
CORUMBATAÍ	cambissolo	37,25	34,50	28,70
IRATI	podzólico	31,00	9,00	14,70
TATUÍ	latossolo	38,90	7,00	29,70
TATUÍ	podzólico	30,00	17,37	16,70
TATUÍ	cambissolo	21,80	12,34	12,80
ITARARÉ	latossolo	35,50	N.P.	29,24
ITARARÉ	podzólico	24,35	14,11	15,08
ITARARÉ	cambissolo	15,2	11,00	7,68

N.P. = Não Plástico

Quanto aos limites de plasticidade, através da Tabela 4.1 pode-se notar que seus maiores valores, dentro de uma mesma unidade geológica, correspondem às coberturas alteradas a nível de cambissolos, seguidas pelas coberturas podzólicas. Tal fato é esperado, pela maior quantidade de argilas 2:1 (montmorilonitas) existentes nestas coberturas em comparação às latossólicas, bem mais evoluídas.

As partículas da fração argila constituídas por montmorilonitas apresentam dimensões menores e, conseqüentemente, maior mobilidade, enquanto que as argilas de grandes dimensões e pouco ativas (caolinitas) apresentam menor mobilidade, sendo facilmente imobilizadas por íons férricos (Blume, 1964 apud Salomão, 1984). Assim sendo, espera-se encontrar associados a maiores quantidades de montmorilonitas os relevos mais dissecados, correspondentes nas imagens à texturas mais elevadas.

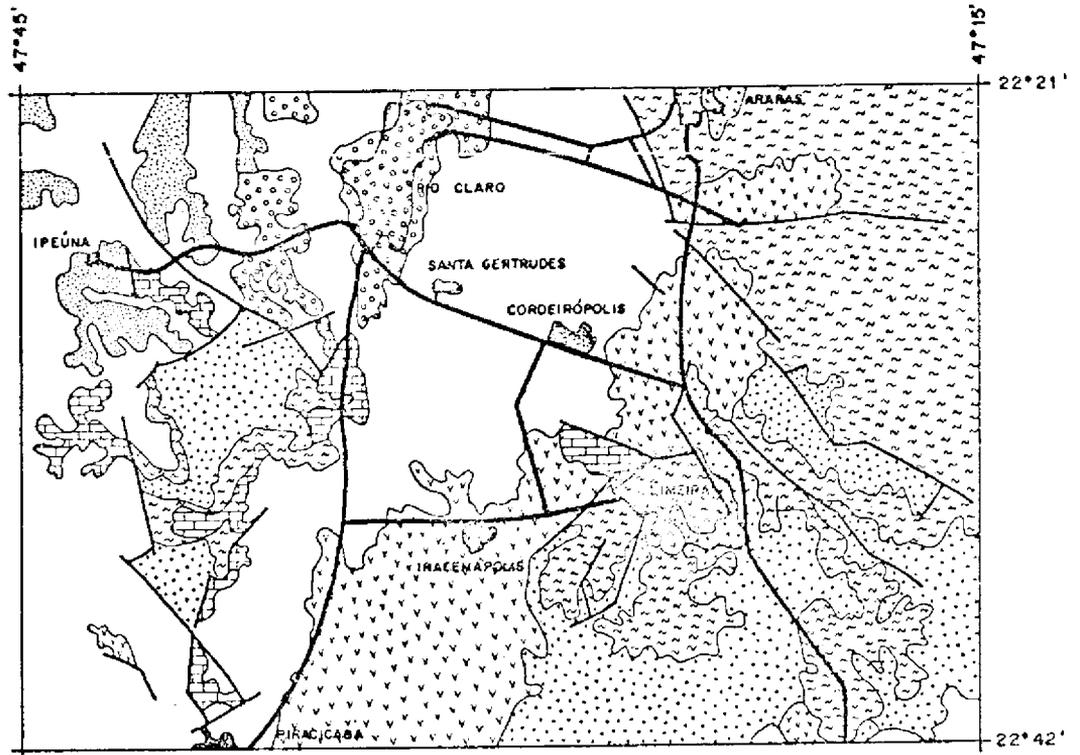
A análise das imagens confirma o comportamento esperado para as diferentes coberturas de alteração, uma vez que os maiores valores de limites aparecem associados às maiores texturas nas imagens, em regiões de coberturas cambissólicas e podzólicas.

Na região central da área de estudo, onde ocorrem as coberturas latossólicas das formações Corumbataí, Tatuí e das Rochas Intrusivas Básicas, a textura é baixa, associada a altos limites de liquidez e baixos de plasticidade. Da mesma forma, em outras regiões de ocorrência deste tipo de cobertura, como à noroeste (latossolos da Formação Corumbataí) e sudeste (latossolos da Formação Tatuí) os limites apresentam comportamento idêntico e a textura de imagem é a mesma.

Nas regiões oeste e leste da área de estudo ocorrem coberturas podzolizadas das formações Corumbataí, Itararé, Tatuí e Irati, com textura média nas imagens, associadas a limites intermediários entre as latossólicas e cambissólicas. (Figuras 4.2 a 4.6 ; Tabela 4.1).

Analisando-se as porcentagens de argila da Tabela 4.1, observa-se que as coberturas latossólicas das formações Tatuí, Corumbataí e das Rochas Intrusivas Básicas apresentam as porcentagens mais altas, associadas aos menores limites de plasticidade dentro de uma mesma unidade geológica. A união destes dois fatores leva à suposição de que a grande quantidade de argila destas coberturas seja do tipo 1:1 (caolinitas), uma vez que baixos limites de plasticidade atestam reduzida porcentagem de montmorilonita. Tal fato apresenta direta repercussão na textura das imagens, uma vez que a textura de imagem associada a reduzidos limites de plasticidade é baixa.

As coberturas latossolizadas das formações Rio Claro e Pirambóia mostram-se não plásticas, pela grande quantidade de areia existente no material original. Estas coberturas aparecem também associadas à baixa textura nas imagens TM analisadas.

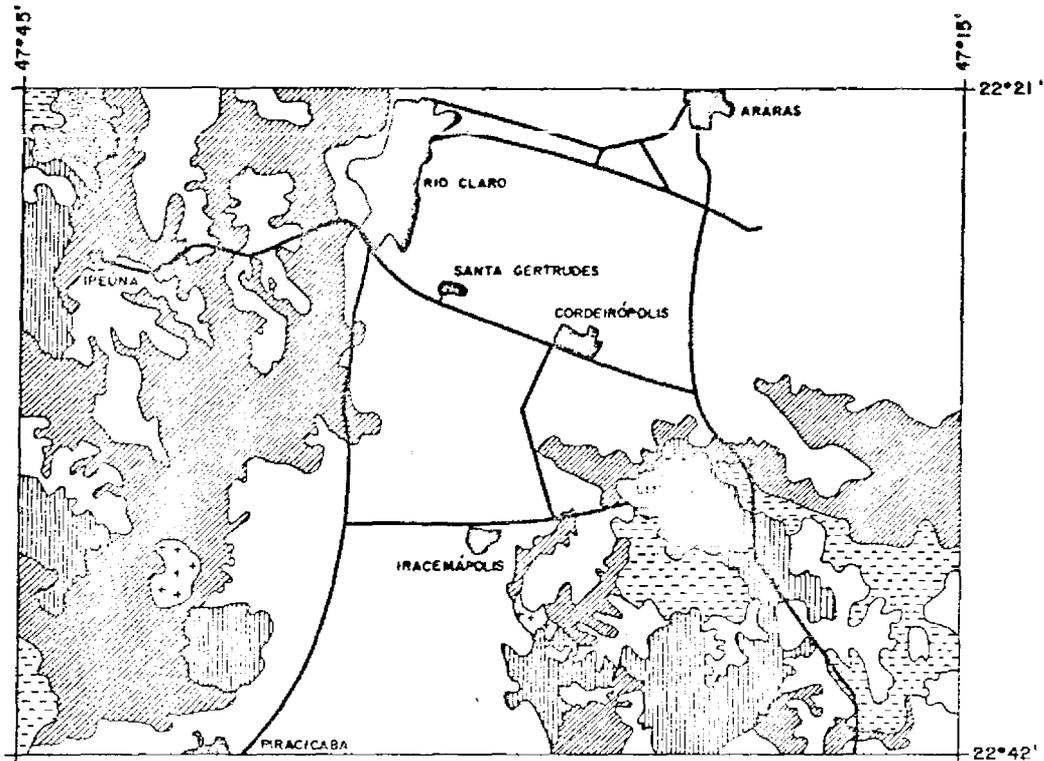


LEGENDA

-  CIDADE
-  ESTRADAS DE RODAGEM
-  FALHAS DEFINIDAS
-  FORMAÇÃO RIO CLARO
-  ROCHAS INTRUSIVAS BÁSICAS
-  FORMAÇÃO PIRAMBÓIA
-  FORMAÇÃO CORUMBATÁI
-  FORMAÇÃO IRATI
-  FORMAÇÃO TATUÍ
-  FORMAÇÃO ITARARÉ

0 4 8 Km.  
ESCALA

Fig. 4.5 - Mapa de integração de dados geológicos.



LEGENDA

-  CIDADES
-  ESTRADAS DE RODAGEM
-  COBERTURA LATOSSÓLICA
-  ASSOCIAÇÃO DE COBERTURAS PODZÓLICAS E LATOSSÓLICAS
-  COBERTURA PODZÓLICA
-  ASSOCIAÇÃO DE COBERTURAS PODZÓLICAS E LITÓLICAS
-  COBERTURA CAMBISSÓLICA
-  COBERTURA LITÓLICA

0 4 8 Km.  
ESCALA

Fig. 4.6 - Mapa das coberturas de alteração.

As demais propriedades físicas e químicas foram avaliadas com o suporte da Análise de Superfícies de Tendência e, após uma cuidadosa avaliação preliminar das superfícies ajustadas e seus resíduos, dos graus de 1 a 5, escolheu-se neste trabalho, o ajuste das superfícies de grau 2. Nesta avaliação foram inicialmente comparadas as configurações das superfícies e suas respectivas aderências (equivalentes aos coeficientes de correlação). Notou-se que as configurações dos graus 2 a 5 eram semelhantes e as aderências apresentavam somente um pequeno acréscimo na medida em que se aumentava o grau da superfície. Os mapas de resíduos, por sua vez, mostraram distribuição bastante semelhante dos resíduos positivos e negativos em todos os graus, inclusive no primeiro grau. Esta última, porém, foi eliminada visto ser sua aderência significativamente menor que as demais, com valores de resíduos altos, mostrando ser inferior o ajuste da superfície.

A semelhança das configurações e o pequeno incremento da aderência da sequência de superfícies dos graus 2 a 5, levou à utilização do grau 2 para o trabalho, uma vez que não se justificaria um grau mais elevado sem significativa melhora nos resultados obtidos.

É importante ressaltar, porém, que os mapas de superfícies de tendência e de resíduos não têm como objetivo a cartografia, mas apenas a visualização espacial do comportamento das variáveis em estudo.

A superfície de tendência para os dados de porosidade das coberturas de alteração mostrou uma tendência de aumento da porosidade em direção à região central da área de estudo, confirmada pelo mapa de resíduos, através da localização dos resíduos positivos nesta área, conforme ilustra a Figura 4.7.

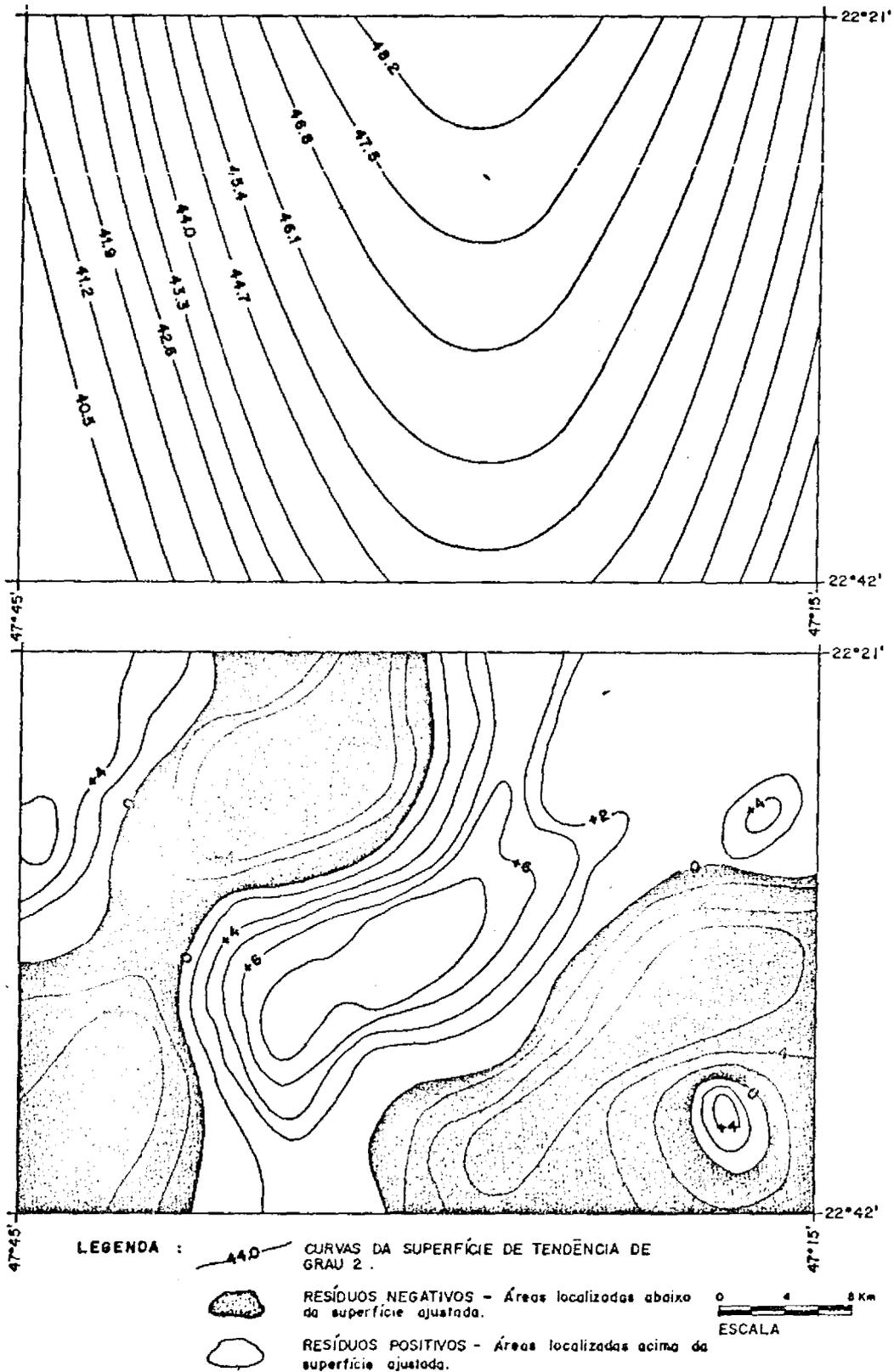


Fig. 4.7 - Mapas de superfície de tendência de grau 2 e de resíduos - porosidade.

Os resíduos positivos, associados às áreas de maior porosidade, coincidem com as ocorrências das coberturas latossólicas das formações Corumbataí, Tatuí e das Rochas Intrusivas Básicas, que aparecem numa faixa disposta de nordeste a centro-sul e às coberturas também latossólicas da Formação Pirambóia, na região noroeste e da Formação Tatuí, à sudeste.

Os resíduos negativos, por sua vez, coincidem em parte com as coberturas podzólicas e litólicas das formações Corumbataí, Irati, Tatuí e Itararé, a oeste e das formações Itararé e Tatuí, a leste (Figuras 4.5 e 4.6).

Verificou-se que o acréscimo da porosidade possui estreita relação com o grau de alteração das coberturas. À medida que prossegue a alteração e as coberturas evoluem de litossolos para podzólicos e posteriormente para latossolos, o material torna-se menos coeso e, conseqüentemente, mais poroso. Ao analisar-se as texturas destas coberturas nas imagens, observou-se que as maiores porosidades associam-se às baixas texturas de imagem, enquanto que as texturas mais altas correspondem às coberturas menos porosas, onde se desenvolvem os litossolos e os podzólicos.

Quanto à porosidade das coberturas de alteração torna-se necessário ressaltar que nas coberturas latossólicas as elevadas porcentagens de caolinita formam agregados com ferro e alumínio e geram partículas mais estáveis, com granulometria próxima das areias (Malagon, 1979). Tal fato, além da baixa coesão destes materiais, justifica a alta porosidade das coberturas bastante alteradas, que ocorrem principalmente na região central da área de estudo.

Posteriormente passou-se à análise das tonalidades de cinza das diversas coberturas de alteração nas imagens TM-Landsat.

Os mapas de superfície de tendência de grau 2, gerados a partir da variável "níveis de cinza" das bandas 3, 4 e 7 do TM-Landsat, forneceram o seu comportamento regional. Notou-se, na análise das superfícies geradas para cada uma das bandas, uma tendência de diminuição dos valores de níveis de cinza, relacionados às tonalidades mais escuras, em direção à região central da área de estudo, conforme pode ser constatado nas Figuras 4.8, 4.9 e 4.10. Os mapas de resíduos para estas três bandas confirmaram esta tendência, com os resíduos negativos localizados na porção central, o que indica a ocorrência de valores de níveis de cinza inferiores aos da superfície ajustada.

Observou-se, porém, que o decréscimo dos valores de níveis de cinza em direção à região central da área de estudo se faz de modo mais acentuado nas bandas 3 e 7, enquanto que na banda 4 este é mais brando, conforme pode ser visualizado nas Figuras 4.8, 4.9 e 4.10. Tal fato está provavelmente associado à alta reflectância da biomassa nesta banda, que provoca valores de níveis de cinza mais elevados em toda imagem, decorrentes da intensa cultura canavieira.

Notou-se uma constante coincidência entre as regiões de ocorrência de coberturas latossolizadas (Figura 4.5) e os menores valores de níveis de cinza. A região central, onde se encontram os latossolos das formações Corumbataí, Tatuí e das Rochas Intrusivas Básicas (Figura 4.5) apresenta-se sempre com resíduos negativos (Figuras 4.8, 4.9 e 4.10).

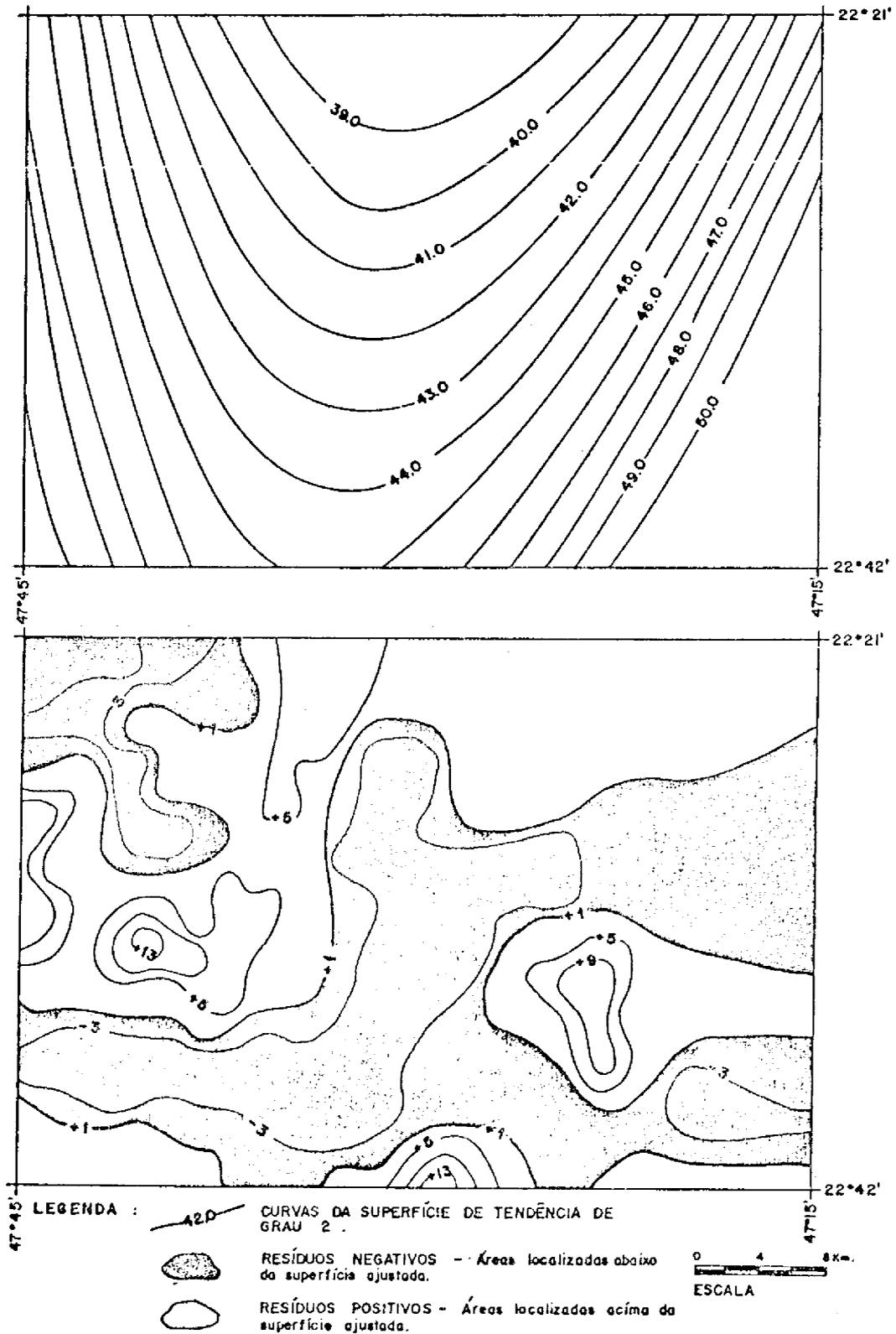


Fig. 4.8 - Mapas de superfície de tendência de grau 2 e de resíduos - níveis de cinza da banda 3.

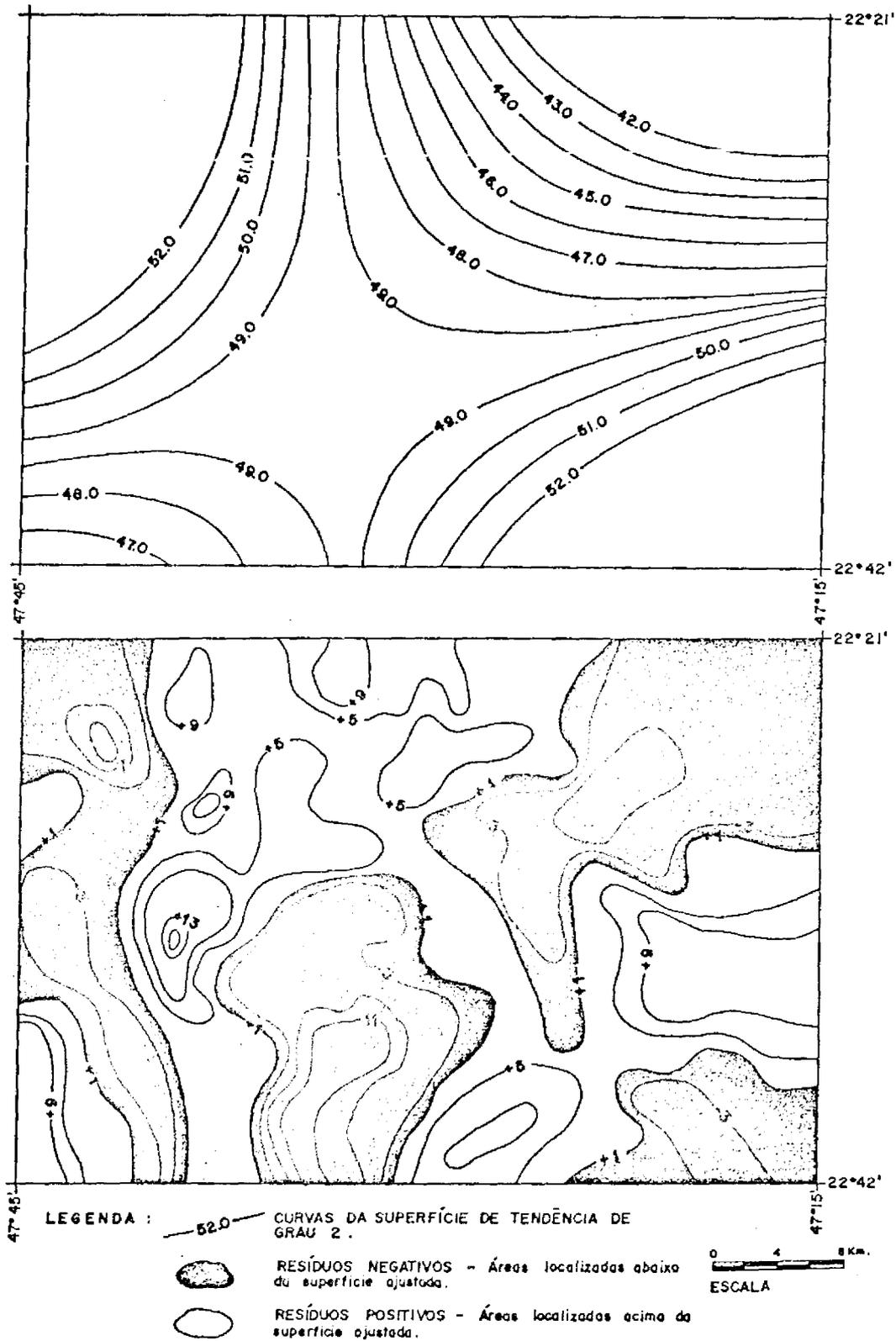


Fig. 4.9 - Mapas de superfície de tendência de grau 2 e de resíduos - níveis de cinza da banda 4.

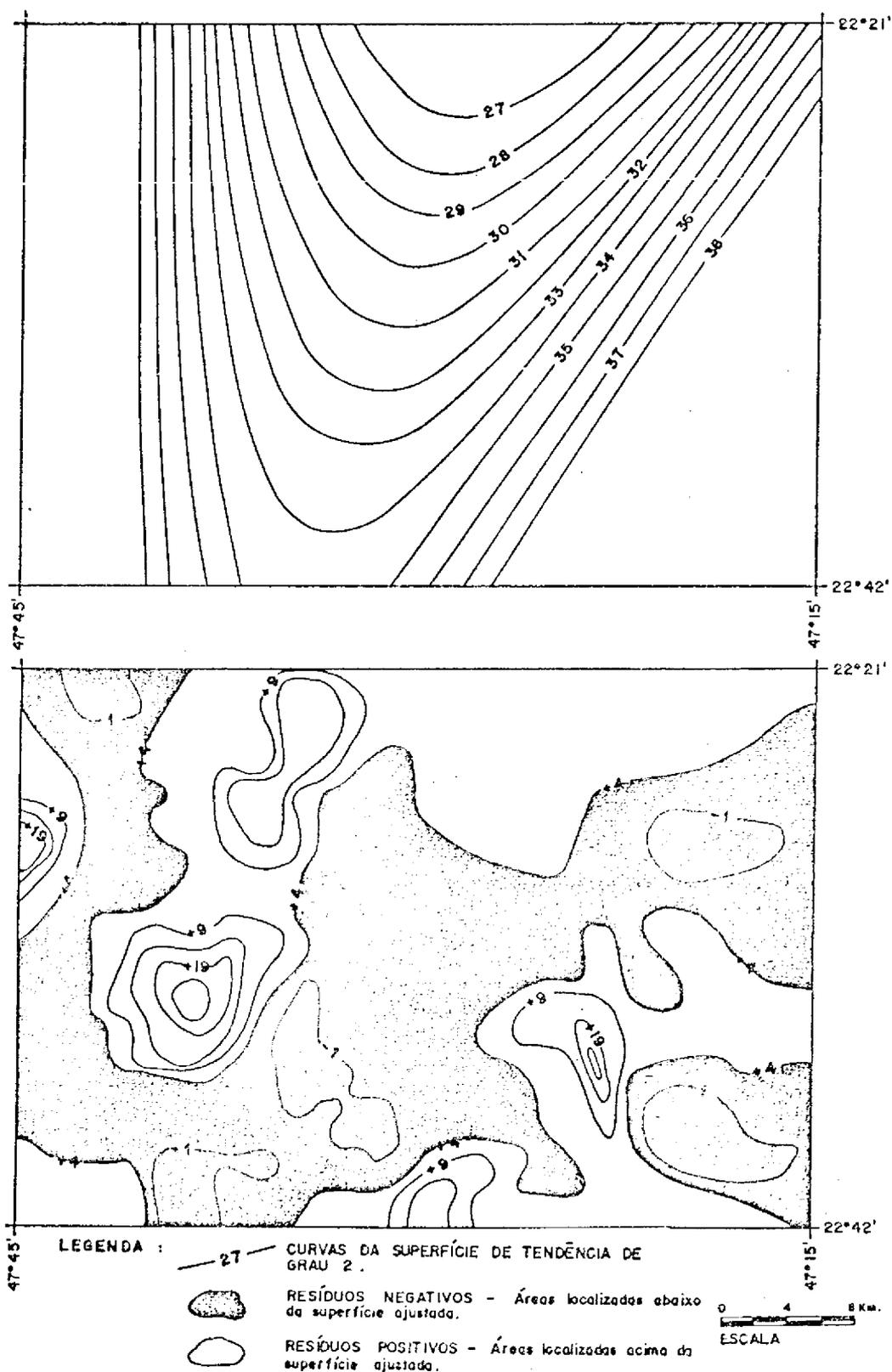


Fig. 4.10 - Mapas de superfície de tendência de grau 2 e de resíduos - níveis de cinza da banda 7.

Nas três superfícies aparecem também resíduos negativos nas porções SE e NW da área, coincidentes com a ocorrência das coberturas latossólicas das formações Tatuí e Pirambóia, respectivamente. As superfícies das bandas 4 e 7 mostraram um prolongamento dos resíduos negativos a NW, constituindo uma faixa que se estende até SW, provavelmente associada às coberturas latossólicas da Formação Corumbataí.

Quanto aos resíduos positivos, observou-se nas três bandas analisadas, um núcleo de maiores valores de níveis de cinza, associados às tonalidades mais claras, na porção centro-oeste da área, provavelmente relacionado às coberturas podzolizadas da Formação Itararé. Outros dois núcleos são também visíveis nas regiões centro-sul e centro-leste relacionados às coberturas podzólicas e litólicas da Formação Itararé.

Observou-se direta relação entre as tonalidades de cinza e o grau evolutivo das coberturas de alteração. As coberturas mais desenvolvidas, a nível de latossolos, aparecem sempre aliadas às tonalidades mais escuras da imagem, nas três bandas do TM avaliadas. A Formação Rio Claro, no entanto, constitui-se numa exceção, pois apresenta tonalidades de cinza mais claras que as demais.

Quanto às propriedades químicas das coberturas de alteração, as três superfícies de tendência obtidas a partir de dados de teores de  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  e  $Fe_2O_3 + FeO$  mostraram uma nítida tendência de aumento dos teores em direção à região central da área de estudo. Os mapas de resíduos confirmaram esta tendência, com os resíduos positivos associados aos mais altos teores e distribuídos ao longo de uma faixa com direção NE - centro-sul, além de

dois núcleos, um a NW e outro a SE da área de estudo (Figuras 4.11, 4.12 e 4.13).

Constatou-se que os resíduos positivos dos teores dos elementos analisados são coincidentes com as coberturas latossolizadas. A grande faixa de direção NE - centro-sul, citada acima, corresponde aos latossolos das formações Corumbataí, Tatuí e das Rochas Intrusivas Básicas, enquanto que o núcleo NW encontra-se, possivelmente, associado aos latossolos das formações Pirambóia e Corumbataí e o núcleo SE, aos latossolos da Formação Tatuí (Figuras 4.5 e 4.6).

Tal fato é coerente com o processo de evolução dos solos e com a resposta dos elementos químicos ao processo intempérico. Os latossolos são solos bastante desenvolvidos e maduros, onde ocorre o empobrecimento em bases e o enriquecimento em sesquióxidos. O conteúdo de bases pode ser visto, desta forma, como uma medida de amadurecimento dos solos e sua redução leva a um aumento das quantidades de alumínio, ferro e titânio, elementos menos móveis durante o processo intempérico. É esperado que as coberturas alteradas a nível de podzólicos, cambissolos e litossolos, menos maduros que os latossolos, apresentem menor enriquecimento relativo destes elementos, uma vez que a perda de bases não é tão acentuada.

Os resíduos negativos das três superfícies confirmam esta hipótese, por se apresentarem associados às coberturas podzólicas e litólicas das formações Itararé e Tatuí, na região centro-leste e, das formações Tatuí, Irati e Corumbataí, a centro-oeste.

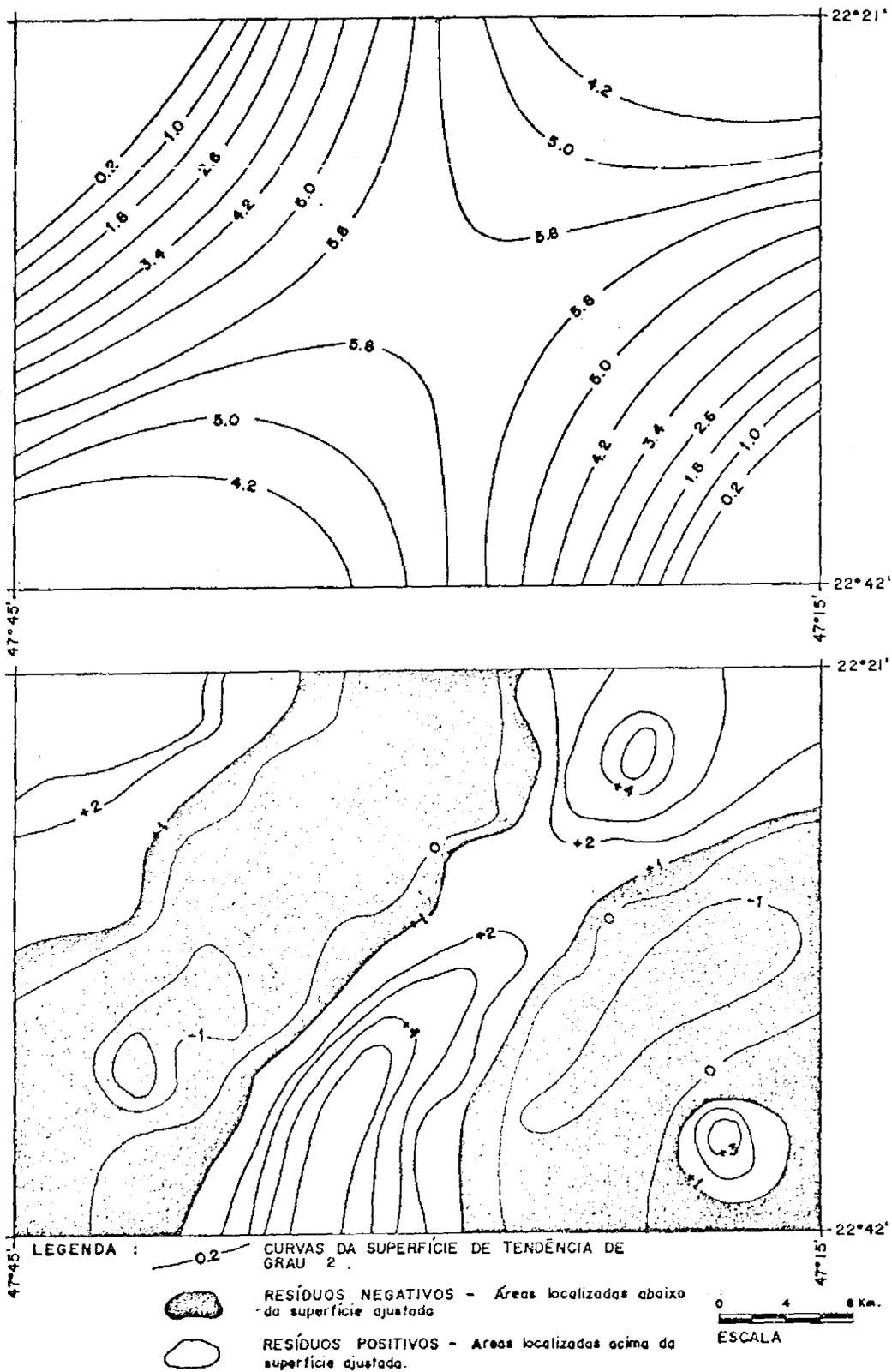


Fig. 4.11 - Mapas de superfície de tendência de grau 2 e de resíduos - teores de ferro.

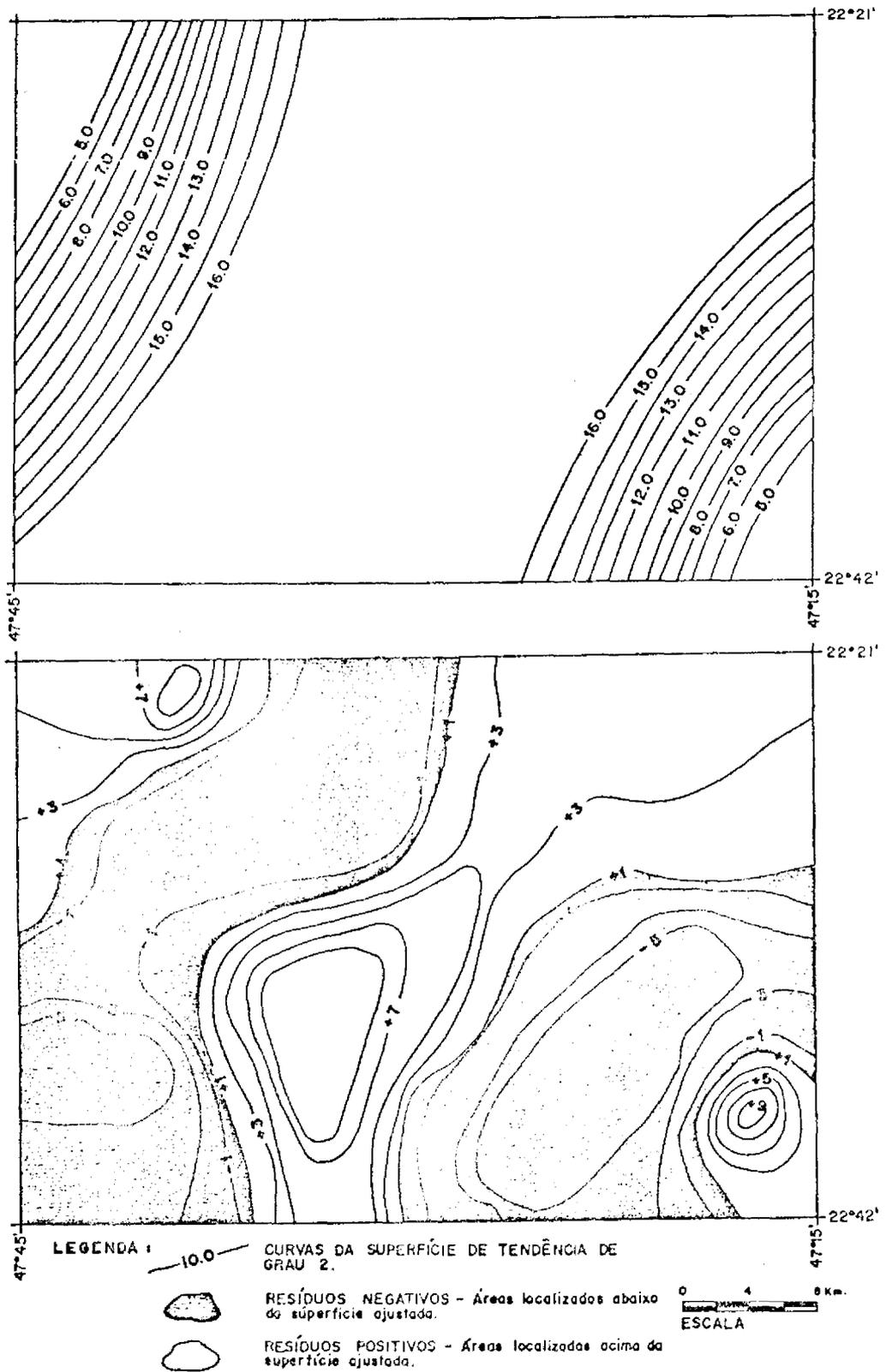


Fig. 4.12 - Mapas de superfície de tendência de grau 2 e de resíduos - teores de alumínio.

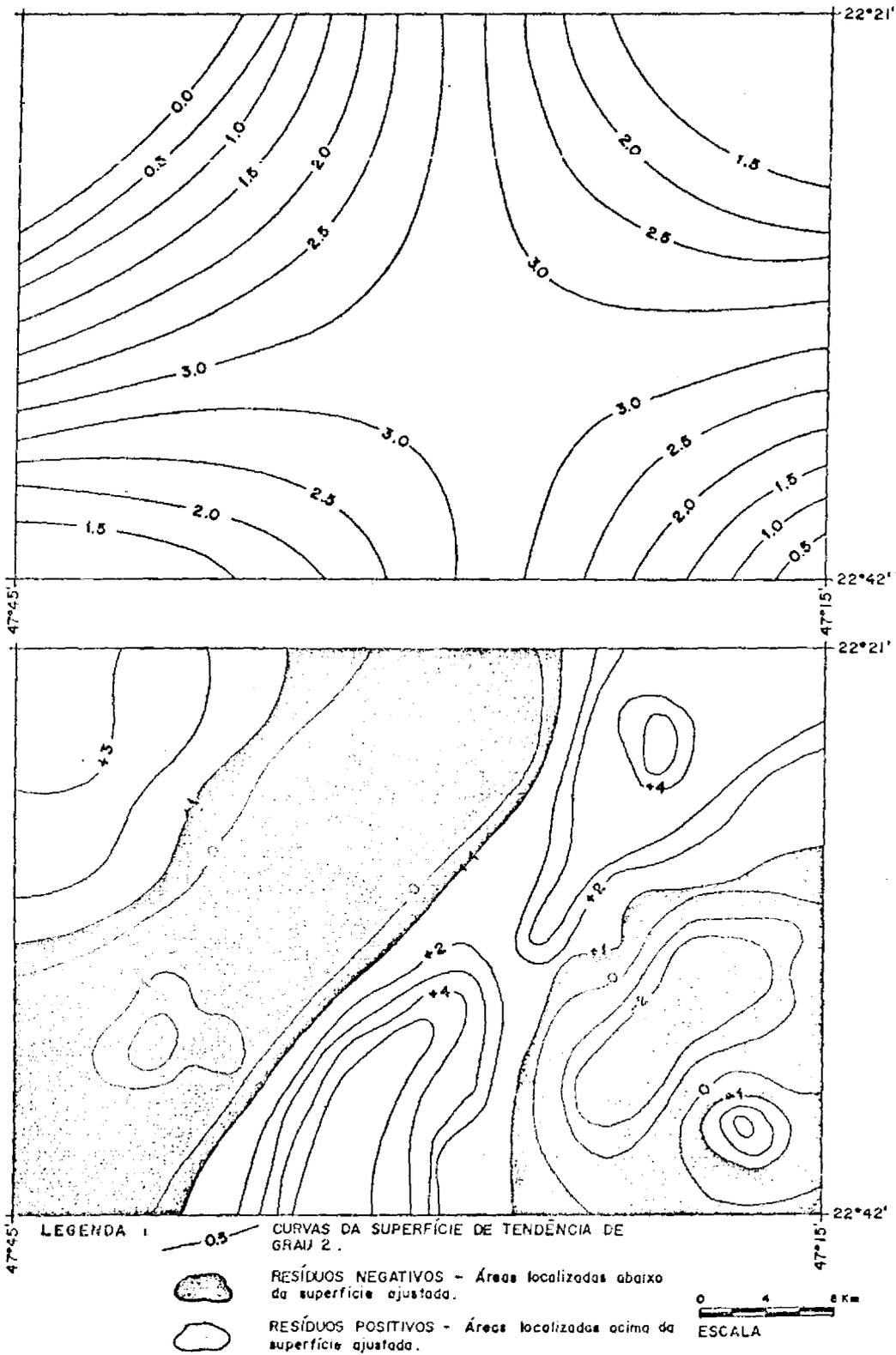


Fig. 4.13 - Mapas de superfície de tendência de grau 2 e de resíduos - teores de titânio.

Gerou-se também, a superfície de tendência para o índice de intemperismo químico. Este índice, cuja fórmula foi descrita anteriormente, foi utilizado por Krauskopf (1972) e possibilitou, neste trabalho, o estabelecimento dos graus de intemperismo para as diversas coberturas de alteração.

A superfície de tendência de grau 2 para esta variável mostrou uma diminuição dos índices em direção a área central. O mapa de resíduos confirma esta tendência, com os resíduos negativos localizados ao longo de uma faixa de direção NE - centro-sul e em dois núcleos, a NW e SE (Figura 4.14).

A análise comparativa desta superfície com as tendências de  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$  mostrou uma correspondência entre os menores índices de intemperismo químico, associados ao maior intemperismo, e as áreas de teores mais elevados destes elementos. Os mapas de resíduos para os teores e para o índice em questão mostraram configuração bastante semelhante dos resíduos positivos e negativos, o que confirma que o maior intemperismo associa-se às áreas de coberturas latossólicas, onde os teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$  e  $\text{TiO}_2$  são mais elevados e os níveis de cinza das imagens, mais baixos nas três bandas do TM analisadas. As coberturas podzólicas e litólicas, por sua vez, associam-se a menor intemperismo químico, com teores mais baixos destes elementos e níveis de cinza mais elevados, também nas três bandas avaliadas.

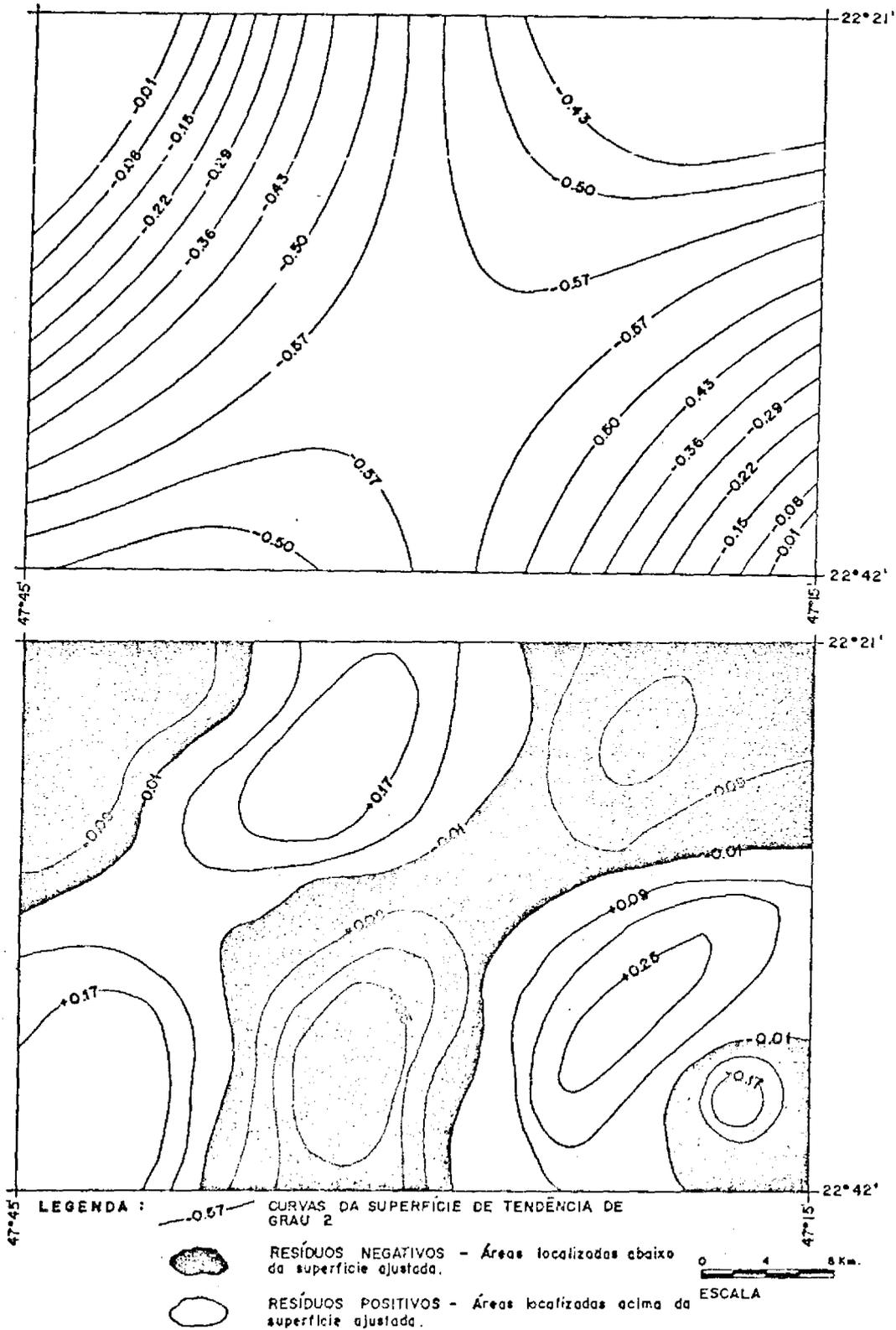


Fig. 4.14 - Mapas de superfície de tendência de grau 2 e de resíduos - índice de intemperismo químico.

As concentrações maiores ou menores dos elementos químicos no decorrer do processo de alteração das rochas podem ser demonstradas através dos cálculos de perdas e ganhos durante o intemperismo (isotitânio, isoferro, isoalumínio e isovolume). Estes cálculos fornecem as mobilidades relativas e as variações de volume dos vários elementos presentes em um determinado estágio de intemperismo. Se, por exemplo, uma rocha intemperizada perder a maior parte do sódio e do potássio originais, mas apenas um pouco de alumínio e ferro, a análise indicará um aparente aumento porcentual dos dois últimos constituintes. Procurou-se, nestes cálculos, avaliar o comportamento dos elementos constituintes das coberturas nos diversos estágios de alteração, quanto às variações volumétricas e mobilidades ao longo do perfil.

Os três tipos de cálculos efetuados, isotitânio, isoferro e isoalumínio resultaram na mesma escala de mobilidade dos elementos. Desta forma, cada cálculo confirmou o resultado dos demais quanto ao comportamento das várias coberturas de alteração avaliadas. Os resultados destes cálculos, que serão discutidos a seguir, estão ilustrados nas Tabelas 4.2 a 4.12.

Constatou-se, nos cálculos efetuados para as coberturas latossolizadas e podzolizadas, que nas primeiras existe maior ganho relativo de alumínio, ferro e titânio em relação aos demais elementos, nas formações Corumbataí, Tatuí, Pirambóia e para as Rochas Intrusivas Básicas. As coberturas latossólicas das formações Itararé e Rio Claro, por sua vez, apresentaram comportamentos distintos dos demais, uma vez que o alumínio, o ferro e o titânio não se encontram nos últimos lugares da escala de mobilidade e não apresentam maior ganho relativo, como seria esperado num latossolo mais evoluído. Tal fato leva à suposição de se

tratarem de latossolos mais recentes, onde a maturidade se encontra em estágio menos avançado. (Tabelas 4.2 a 4.12).

Constatou-se nos cálculos efetuados para as coberturas latossólicas e podzólicas que, de forma geral, nas primeiras ocorre maior ganho relativo de alumínio, ferro e titânio em relação aos demais elementos. Estes constituintes, por serem menos móveis durante o processo intempérico, tendem a se acumular no perfil de solo e sua concentração relativa aumenta, à medida em que ocorre o empobrecimento em bases.

Na área estudada, os cálculos de isoalumínio, isoferro e isotitânio demonstraram que, para as coberturas latossólicas das formações Tatuí, Corumbataí, Pirambóia e das Rochas Intrusivas Básicas, os três elementos em questão se encontram nos últimos lugares da escala decrescente de mobilidade, tendendo a permanecer no perfil (Tabelas 4.4 , 4.5 , 4.7 e 4.10).

Os cálculos de isovolume, efetuados para todas as coberturas de alteração da área de estudo, que serão utilizados para as posteriores discussões, encontram-se ilustrados nas Tabelas 4.13 a 4.23.

Os cálculos de isovolume realizados para as coberturas latossólicas das diversas formações geológicas mostraram um ganho absoluto em volume de titânio, ferro e alumínio, constatado através do aumento de volume para estes constituintes, nas formações Tatuí, Corumbataí e nas Rochas Intrusivas Básicas, comparado à perda volumétrica nas demais, conforme pode ser constatado nas Tabelas 4.15, 4.18 e 4.21. A Formação Pirambóia, por sua vez, apresentou perda em volume para o alumínio, aliada ao pequeno ganho de titânio e ferro. Este ganho, conforme mostra a Tabela 4.16, é menor que para as outras três coberturas citadas acima.

TABELA 4.2

COBERTURA LATOSSÓLICA DA FORMAÇÃO RIO CLARO;  
ISOFERRO, ISOTITÂNIO E ISOALUMÍNIO

	ROCHA	ISOFERRO		ISOTITÂNIO		ISOALUMÍNIO	
		A	BW	A	BW	A	BW
SiO <sub>2</sub>	80,90	31,627	-5,148	43,135	1,112	67,39	14,53
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,10	-21,336	-17,178	-14,491	-11,712	0,00	0,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +							
FeO	3,03	0,000	0,000	-11,343	6,601	3,61	20,74
CaO	0,05	24,691	-6,192	35,593	0,000	58,67	13,27
TiO <sub>2</sub>	0,80	-8,040	-6,192	0,000	0,000	16,95	13,27
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05	24,691	-6,192	35,593	0,000	58,57	13,27
MnO	0,01	24,691	-6,192	35,593	0,000	58,57	13,27
Na <sub>2</sub> O	0,01	24,691	-6,192	35,593	0,000	58,57	13,27
K <sub>2</sub> O	0,03	24,691	-6,192	35,593	0,000	58,57	13,27
HgO	0,03	24,691	-6,192	35,593	0,000	58,57	13,27

Escala de mobilidade-isoferro, isotitânio, isoalumínio:

Horizonte A: Al>Ti>Fe>Ca=P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=Mn=Na=K=Mg>Si

Horizonte BW: Al>Ca=Ti=P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=Mn=Na=K=Mg>Si>Fe

TABELA 4.3

COBERTURA PODZÓLICA DAS INTRUSIVAS BÁSICAS;  
ISOFERRO, ISOTITÂNIO E ISOALUMÍNIO

	ROCHA	ISOFERRO		ISOTITÂNIO		ISOALUMÍNIO	
		A	BL	A	Bt	A	BL
SiO <sub>2</sub>	49,50	-57,551	-57,922	-64,444	-53,925	-53,74	-66,62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,10	-8,238	26,056	-23,140	38,031	0,00	0,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +							
FeO	15,24	0,000	0,000	-16,240	9,499	8,48	-20,67
CaO	9,20	-99,092	-98,676	-99,239	-98,551	-99,01	-98,95
TiO <sub>2</sub>	4,00	19,389	-8,675	0,000	0,000	30,11	-27,55
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,32	-47,767	-47,929	-56,250	-42,982	-43,08	-58,69
MnO	0,30	-44,285	-63,684	-53,333	-60,234	-39,28	-71,19
Na <sub>2</sub> O	2,70	-99,337	-98,576	-99,444	-98,441	-99,28	-98,87
K <sub>2</sub> O	1,60	-95,896	-97,597	-96,563	-97,368	-95,53	-98,09
HgO	4,50	-97,745	-98,006	-98,111	-97,817	-97,54	-98,42

Escala de mobilidade-isotitânio, isoferro, isoalumínio:

Horizonte A: Na>Ca>Mg>K>Si>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>>Mn>Al>Fe>Ti

Horizonte Bt: Ca>Na>Mg>K>Mn>Si>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>>Ti>Fe>Al

TABELA 4.4

COBERTURA LATOSSÓLICA DAS INTRUSIVAS BÁSICAS;  
ISOFERRO, ISOTITÂNIO E ISOALUMÍNIO

	ROCHA	ISOALUMÍNIO		ISOTITÂNIO		ISOFERRO	
		A	BW	A	BW	A	BW
SiO <sub>2</sub>	49,50	-71,265	-72,163	-72,877	-72,741	-68,870	-69,820
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,10	0,000	0,000	9,613	9,752	25,851	21,510
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +							
FeO	15,24	-20,544	-17,700	-12,902	-9,676	0,000	0,000
CaO	9,20	-99,739	-99,736	-99,714	-99,710	-99,672	-99,679
TiO <sub>2</sub>	4,00	-8,770	-8,886	0,000	0,000	14,814	10,713
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,32	-72,991	-75,703	-70,395	-73,333	-66,009	-70,477
MnO	0,30	-79,193	-78,942	-77,193	-76,889	-73,814	-74,413
Na <sub>2</sub> O	2,70	-99,289	-99,640	-99,220	-99,605	-99,105	-99,563
K <sub>2</sub> O	1,60	-97,299	-97,267	-97,039	-97,000	-96,601	-96,679
MgO	4,50	-98,826	-98,812	-98,713	-98,696	-98,523	-98,557

Escala de mobilidade-isoalumínio, isotitânio, isoferro:

Horizonte A: Ca>Na>Mg>K>Mn>Si>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>>Fe>Ti>Al

Horizonte BW: Ca>Na>Mg>K>Mn>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>>Si>Fe>Ti>Al

TABELA 4.5

COBERTURA LATOSSÓLICA DA FORMAÇÃO PIRAMBÓIA  
ISOFERRO, ISOTITÂNIO E ISOALUMÍNIO

	ROCHA	ISOALUMÍNIO		ISOTITÂNIO		ISOFERRO	
		A	BW	A	BW	A	BW
SiO <sub>2</sub>	90,00	19,67	-17,25	-68,697	-75,592	-53,390	-65,417
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,30	0,00	0,00	-73,737	-70,505	-64,395	-58,210
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +							
FeO	0,66	180,86	139,29	-26,240	-29,421	0,000	0,000
CaO	0,05	21,15	-13,70	-68,182	-74,545	-56,863	-63,934
TiO <sub>2</sub>	0,14	280,77	239,04	0,000	0,000	35,574	41,686
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05	21,15	-13,70	-68,182	-74,545	-56,863	-63,934
MnO	0,01	21,15	-13,70	-68,182	-74,545	-56,863	-63,934
Na <sub>2</sub> O	0,01	21,15	-13,70	-68,182	-74,545	-56,863	-63,934
K <sub>2</sub> O	0,12	-79,81	-85,62	-94,997	-95,758	-92,810	-93,989
MgO	0,09	-59,62	-71,23	-89,394	-91,515	-85,621	-87,978

Escala de mobilidade-isoalumínio, isotitânio, isoferro:

Horizonte A: K>Mg>Al>Si>Ca=Na=Mn=P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>>Fe>Ti

Horizonte BW: K>Mg>Si>Ca=P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=Mn=Na>Al>Fe>Ti

TABELA 4.6

COBERTURA PODZÓLICA DA FORMAÇÃO CORUMBATAÍ;  
ISO FERRO, ISOTITÂNIO E ISOALUMÍNIO

	ROCHA	ISOALUMÍNIO		ISOTITÂNIO		ISO FERRO	
		A	Bt	A	Bt	A	Bt
SiO <sub>2</sub>	73,60	-17,42	-69,09	-72,926	-71,936	73,637	-25,149
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,30	0,00	0,00	-67,216	-9,214	110,254	142,137
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>+</sup>							
FeO	9,48	-52,44	-58,70	-84,408	-62,506	0,000	0,000
CaO	0,05	-16,96	-58,48	-72,778	-62,308	74,586	0,530
TiO <sub>2</sub>	0,49	205,03	10,15	0,000	0,000	541,335	166,713
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,41	-89,87	-92,91	-96,680	-93,565	-78,709	-82,836
MnO	0,01	66,07	-58,48	-45,556	-62,308	249,171	0,530
Na <sub>2</sub> O	0,08	-58,48	-84,43	-66,349	-85,855	-12,707	-62,301
K <sub>2</sub> O	1,30	-50,82	-68,06	-83,876	-71,006	3,408	-22,66
MgO	0,45	-42,80	-64,02	-81,247	-67,333	20,270	-12,874

Escala de mobilidade-isoalumínio, isotitânio, isoferro:

Horizonte A: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>>Na>Fe>K>Mg>Si>Ca>Al>Mn>Ti

Horizonte Bt: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>>Na>Si>K>Mg>Fe>Ca=Mn>Al>Ti

TABELA 4.7

COBERTURA LATOSSÓLICA DA FORMAÇÃO CORUMBATAÍ;  
ISO FERRO, ISOTITÂNIO E ISOALUMÍNIO

	ROCHA	ISOALUMÍNIO		ISOTITÂNIO		ISO FERRO	
		A	BW	A	BW	A	BW
SiO <sub>2</sub>	73,60	-79,87	-81,11	-85,420	-85,819	-47,077	-51,952
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,30	0,00	0,00	-27,554	-24,919	162,967	154,392
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>+</sup>							
FeO	9,48	-61,97	-60,69	-72,450	-70,486	0,000	0,000
CaO	0,05	-66,18	-67,37	-75,500	-75,500	-11,063	-16,988
TiO <sub>2</sub>	0,49	38,03	33,19	0,000	0,000	262,582	238,825
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,41	-95,05	-94,43	-96,415	-95,817	-86,986	-85,827
MnO	0,01	1,45	-2,11	-26,500	-26,500	166,792	149,037
Na <sub>2</sub> O	0,08	-74,64	-79,61	-81,625	-84,688	-33,302	-48,117
K <sub>2</sub> O	1,30	-95,58	-96,23	-96,796	-97,173	-88,371	-90,422
MgO	0,45	-90,23	-91,30	-92,922	-93,467	-95,671	-77,863

Escala de mobilidade-isoalumínio, isotitânio, isoferro:

Horizonte A: K>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>>Mg>Si>Na>Ca>Fe>Al>Mn>Ti

Horizonte BW: K>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>>Mg>Si>Na>Ca>Fe>Mn>Al>Ti

TABELA 4.8

COBERTURA PODZÓLICA DA FORMAÇÃO IRATI;  
ISOFERRO, ISOTITÂNIO E ISOALUMÍNIO

	ROCHA	ISOALUMÍNIO		ISOTITÂNIO		ISOFERRO	
		A	Bt	A	Bt	A	Bt
SiO2	44,60	73,816	4,700	-42,089	-15,240	6,189	-7,243
Al2O3	21,70	0,000	0,000	-67,142	-19,048	-38,908	-11,410
Fe2O3+							
FeO	18,80	63,699	12,880	-46,217	-8,621	0,000	0,000
CaO	0,19	181,360	34,370	-7,544	8,772	71,907	19,034
TiO2	3,10	204,348	23,535	0,000	0,000	85,933	9,435
P2O5	0,03	253,804	46,264	16,250	18,403	116,147	29,574
MnO	0,07	843,478	97,552	210,000	59,921	476,392	75,009
Na2O	0,04	17,935	-46,817	-61,250	-56,944	-27,951	-52,682
K2O	0,08	234,149	86,154	9,792	50,694	104,139	64,912
MgO	0,25	170,464	74,450	-11,133	41,222	65,233	54,546

Escala de mobilidade-isoalumínio, isotitânio, isoferro:

Horizonte A: Al>Na>Fe>Si>Mg>Ca>Ti>K>P2O5>Mn

Horizonte Bt: Na>Al>Si>Fe>Ti>Ca>P2O5>Mg>K>Mn

TABELA 4.9

COBERTURA PODZÓLICA DA FORMAÇÃO TATUÍ;  
ISOFERRO, ISOTITÂNIO E ISOALUMÍNIO

	ROCHA	ISOALUMÍNIO		ISOTITÂNIO		ISOFERRO	
		A	Bt	A	Bt	A	Bt
SiO2	74,00	72,867	39,002	-26,014	-3,156	89,469	33,138
Al2O3	13,80	0,000	0,000	-57,200	-30,329	9,604	-4,218
Fe2O3+							
FeO	3,28	-8,760	4,400	-60,951	-27,261	0,000	0,000
CaO	0,05	55,056	27,778	-33,636	-10,976	69,948	22,388
TiO2	0,73	133,646	43,531	0,000	0,000	156,086	37,477
P2O5	0,05	55,056	27,778	-33,636	-10,976	69,948	22,388
MnO	0,01	55,056	27,778	-33,636	-10,976	69,948	22,388
Na2O	0,15	-58,652	-65,926	-82,303	-76,260	-54,680	-67,363
K2O	3,10	-91,497	-71,971	-96,361	-80,472	-90,680	-73,154
MgO	0,45	-79,326	-65,926	-91,152	-76,260	-77,340	-67,363

Escala de mobilidade-isoalumínio, isotitânio, isoferro:

Horizonte A: K>Mg>Na>Fe>Al>P2O5=Mn=Ca>Si>Ti

Horizonte Bt: K>Na>Mg>Al>Fe>Mn=P2O5=Ca>Si>Ti

TABELA 4.10

COBERTURA LATOSSÓLICA DA FORMAÇÃO TATUI;  
ISOFERRO, ISOTITÂNIO E ALUMÍNIO

	ROCHA	ISOALUMÍNIO		ISOTITÂNIO		ISOFERRO	
		A	BW	A	BW	A	BW
SiO <sub>2</sub>	74,00	-49,799	-25,165	-89,046	-84,660	-77,900	-69,333
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,80	0,000	0,000	-78,179	-79,502	-55,977	-59,020
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>+</sup>							
FeO	3,28	127,150	144,022	-50,434	-49,979	0,000	0,000
CaO	0,05	-30,303	-10,968	-84,792	-81,750	-69,317	-63,515
TiO <sub>2</sub>	0,73	358,282	387,848	0,000	0,000	101,750	99,918
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05	-30,303	-10,968	-84,792	-81,750	-69,317	-63,515
MnO	0,01	248,485	256,129	-23,958	-27,000	53,414	45,940
Na <sub>2</sub> O	0,15	-86,061	-76,258	-96,958	-95,133	-93,863	-90,271
K <sub>2</sub> O	3,10	-96,628	-96,266	-99,264	-99,235	-98,515	-98,470
MgO	0,45	-76,317	-76,258	-95,267	-95,133	-90,554	-90,271

Escala de mobilidade-isoalumínio, isotitânio, isoferro:

Horizonte A: K>Na>Mg>Si>Ca=P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>>Al>Fe>Mn>Ti

Horizonte BW: K>Na=Mg>Si>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=Ca>Al>Fe>Mn>Ti

TABELA 4.11

COBERTURA PODZÓLICA DA FORMAÇÃO ITARARÉ  
ISOFERRO, ISOTITÂNIO E ISOALUMÍNIO

	ROCHA	ISOALUMÍNIO		ISOTITÂNIO		ISOFERRO	
		A	Bt	A	Bt	A	Bt
SiO <sub>2</sub>	71,30	61,467	5,279	-1,237	-13,274	65,894	6,494
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,70	0,000	0,000	-38,834	-17,623	2,742	1,154
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>+</sup>							
FeO	4,83	-2,670	-1,140	-40,466	-18,563	0,000	0,000
CaO	0,05	45,545	4,255	-10,976	-14,118	49,536	5,459
TiO <sub>2</sub>	0,73	63,488	21,393	0,000	0,000	67,971	22,794
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05	45,545	4,255	-10,976	-14,118	49,536	5,459
MnO	0,05	-41,782	-79,149	-64,390	-82,824	-40,186	-78,908
Na <sub>2</sub> O	0,08	-45,421	-47,872	-66,616	-57,059	-43,924	-47,271
K <sub>2</sub> O	2,40	-42,995	-4,433	-65,132	-21,275	-41,432	-3,330
MgO	0,46	-24,064	1,989	-53,552	-15,985	-21,981	3,166

Escala de mobilidade-isoalumínio, isotitânio, isoferro:

Horizonte A: Na>K>Mn>Mg>Fe>Al>Ca=P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>>Si>Ti

Horizonte Bt: Mn>Na>K>Fe>Al>Mg>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=Ca>Si>Ti

TABELA 4.12

COBERTURA LATOSSÓLICA DA FORMAÇÃO ITARARÉ:  
ISOFERRO, ISOTITÂNIO E ISOALUMÍNIO

	ROCHA	ISOALUMÍNIO		ISOTITÂNIO		ISOFERRO	
		A	BW	A	BW	A	BW
SiO <sub>2</sub>	71,30	395,90	226,56	122,808	81,630	369,062	214,592
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,70	0,00	0,00	-55,070	-44,381	-5,411	-3,665
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>+</sup>							
FeO	4,83	-5,72	3,80	-52,499	-42,265	0,000	0,000
CaO	0,05	286,84	162,50	73,810	46,000	265,909	152,880
TiO <sub>2</sub>	0,73	122,57	79,79	0,000	0,000	110,523	73,205
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05	286,84	162,50	73,810	46,000	265,909	152,880
MnO	0,05	-22,63	-47,50	-65,238	-70,800	-26,818	-49,424
Na <sub>2</sub> O	0,08	-51,64	31,25	-78,274	-27,000	-54,261	26,440
K <sub>2</sub> O	2,40	-80,66	-81,41	-91,310	-89,658	-81,705	-82,088
MgO	0,46	-49,54	-54,35	-77,329	-74,609	-52,273	-56,021

Escala de mobilidade-isoalumínio, isotitânio, isoferro:

Horizonte A: K>Na>Mg>Mn>Al>Fe>Ti>Ca=P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>>Si

Horizonte BW: K>Mg>Mn>Al>Fe>Na>Ti>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=Ca>Si

TABELA 4.13

COBERTURA LATOSSÓLICA DA FORMAÇÃO RIO CLARO-ISOVOLUME

	VROCHA	VA	VA-VR	VBW	VBW-VR
SiO <sub>2</sub>	211,960	128,100	-83,860	127,610	-84,350
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29,080	10,500	-18,580	15,290	-13,800
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +FeO	7,940	3,650	-4,290	5,039	-2,901
CaO	0,130	0,075	-0,056	0,080	-0,051
TiO <sub>2</sub>	2,096	0,885	-1,211	1,248	-0,850
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,131	0,075	-0,056	0,080	-0,051
MnO	0,026	0,015	-0,011	0,015	-0,011
Na <sub>2</sub> O	0,026	0,015	-0,011	0,015	-0,011
K <sub>2</sub> O	0,079	0,045	-0,034	0,047	-0,032
MgO	0,079	0,045	-0,034	0,047	-0,032

TABELA 4.14

COBERTURA PODZÓLICA DAS ROCHAS INTRUSIVAS BÁSICAS-ISOVOLUME

	VROCHA	VA	VA-VR	VBL	VBL-VR
SiO <sub>2</sub>	138,60	51,400	-87,20	45,500	-93,100
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33,90	27,160	-6,74	33,320	-0,580
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +FeO	42,70	37,270	-5,43	33,300	-9,400
CaO	25,70	0,200	-25,50	0,270	-25,430
TiO <sub>2</sub>	11,20	11,700	0,50	8,000	-3,200
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,89	0,410	-0,48	0,360	-0,560
MnO	0,80	0,410	-0,39	0,240	-0,560
Na <sub>2</sub> O	7,50	0,044	-7,46	0,084	-7,420
K <sub>2</sub> O	4,50	0,161	-4,34	0,084	-7,420
MgO	12,60	0,250	-12,35	0,195	-12,410

TABELA 4.15

COBERTURA LATOSSÓLICA DAS ROCHAS INTRUSIVAS BÁSICAS-ISOVOLUME

	VROCHA	VA	VA-VR	VBW	VBW-VR
SiO <sub>2</sub>	138,600	35,700	-102,900	36,700	-101,920
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33,900	35,280	1,380	36,100	2,210
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +FeO	42,700	43,800	1,100	45,420	2,720
CaO	25,700	0,070	-25,600	0,073	-25,630
TiO <sub>2</sub>	11,200	12,600	1,400	12,870	1,670
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,890	0,250	-0,640	0,230	-0,660
MnO	0,800	0,182	-0,618	0,190	-0,600
Na <sub>2</sub> O	7,500	0,056	-7,500	0,030	-7,500
K <sub>2</sub> O	4,500	0,126	-4,380	0,130	-4,370
K <sub>2</sub> O	12,600	0,154	-12,500	0,160	-12,440

TABELA 4.16

COBERTURA LATOSSÓLICA DA FORMAÇÃO PIRAMBÓIA-ISOVOLUME

	VROCHA	VA	VA-VR	VBW	VBW-VR
SiO <sub>2</sub>	235,800	120,020	-115,780	127,720	-108,090
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,510	7,020	-9,500	10,800	-5,710
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +FeO	1,730	2,060	0,330	2,710	0,980
CaO	0,131	0,070	-0,060	0,074	-0,057
TiO <sub>2</sub>	0,370	0,600	0,270	0,814	0,440
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,131	0,070	-0,061	0,074	-0,057
MnO	0,026	0,014	-0,012	0,015	-0,011
Na <sub>2</sub> O	0,026	0,014	-0,012	0,015	-0,011
K <sub>2</sub> O	0,314	0,027	-0,287	0,030	-0,284
K <sub>2</sub> O	0,236	0,040	-0,200	0,045	-0,191

TABELA 4.17

COBERTURA PODZÓLICA DA FORMAÇÃO CORUMBATAÍ-ISOVOLUME

	VROCHA	VA	VA-VR	Vbt	Vbt-VR
SiO2	198,720	98,820	-100,000	71,240	-127,500
Al2O3	25,110	15,120	-10,000	29,120	4,000
Fe2O3+FeO	25,650	7,330	-18,320	12,300	-13,300
CaO	0,135	0,068	-0,067	0,065	-0,070
TiO2	1,323	2,430	1,107	1,700	0,380
P2O5	1,107	0,068	-1,040	0,090	-1,017
MnO	0,027	0,027	0,000	0,013	-0,014
Na2O	0,216	0,054	-0,162	0,039	-0,177
K2O	3,510	1,040	-2,470	1,300	-2,210
MgO	1,251	0,420	-0,830	0,507	-0,750

TABELA 4.18

COBERTURA LATOSSÓLICA DA FORMAÇÃO CORUMBATAÍ-ISOVOLUME

	VROCHA	VA	VA-VR	VbV	VbV-VR
SiO2	198,720	59,570	-139,150	54,530	-144,190
Al2O3	25,110	37,400	12,290	36,480	11,370
Fe2O3+FeO	25,650	29,700	-11,150	14,620	4,050
CaO	0,135	0,068	-0,067	0,064	-0,071
TiO2	1,323	2,720	1,400	2,560	1,237
P2O5	1,107	0,082	-1,025	0,090	-1,017
MnO	0,027	0,041	0,014	0,038	0,011
Na2O	0,216	0,082	-0,134	0,064	-0,152
K2O	3,510	0,230	-3,280	0,192	-3,320
MgO	1,215	0,177	-1,038	0,154	-1,061

TABELA 4.19

COBERTURA PODZÓLICA DA FORMAÇÃO IRATI-ISOVOLUME

	VROCHA	VA	VA-VR	VBL	Vbt-VR
SiO <sub>2</sub>	192,510	109,160	-83,350	88,560	-103,900
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	39,700	13,940	-25,800	17,340	-22,360
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +FeO	13,050	4,460	-8,600	5,630	-7,420
CaO	0,135	0,069	-0,070	0,060	-0,074
TiO <sub>2</sub>	1,970	1,130	-0,840	1,050	-0,530
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,135	0,069	-0,070	0,060	-0,074
MnO	0,135	0,028	-0,110	0,012	-0,123
K <sub>2</sub> O	0,216	0,041	-0,175	0,050	-0,170
K <sub>2</sub> O	6,480	1,300	-5,180	2,710	-3,770
MgO	1,242	0,330	-0,910	0,550	-0,690

TABELA 4.20

COBERTURA PODZÓLICA DA FORMAÇÃO TATUI-ISOVOLUME

	VROCHA	VA	VA-VR	VBL	Vbt-VR
SiO <sub>2</sub>	186,50	111,380	-75,120	104,650	-81,900
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34,80	12,020	-22,800	14,040	-20,760
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +FeO	8,27	2,610	-5,700	3,500	-4,770
CaO	0,13	0,070	-0,060	0,065	-0,065
TiO <sub>2</sub>	1,84	1,490	-0,350	1,010	-0,830
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,13	0,067	-0,060	0,065	-0,065
MnO	0,03	0,014	-0,016	0,013	-0,017
K <sub>2</sub> O	0,38	0,054	-0,330	0,052	-0,330
K <sub>2</sub> O	7,80	0,230	-7,600	0,880	-6,920
MgO	1,13	0,081	-1,050	0,156	-0,974

TABELA 4.21

COBERTURA LATOSSÓLICA DA FORMAÇÃO TATUÍ-ISOVOLUME

	VROCHA	VA	VA-VR	VBW	VBW-VR
SiO <sub>2</sub>	186,50	73,020	-113,50	79,600	-106,900
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34,80	37,130	-7,70	19,300	2,330
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +FeO	8,27	14,650	6,38	11,500	3,270
CaO	0,13	0,070	-0,03	0,064	-0,066
TiO <sub>2</sub>	1,84	6,590	4,74	5,120	3,280
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,13	0,070	-0,06	0,064	-0,066
MnO	0,03	0,070	0,04	0,050	0,020
Na <sub>2</sub> O	0,38	0,041	-0,34	0,050	-0,330
K <sub>2</sub> O	7,80	0,210	-7,60	0,170	-7,630
MgO	1,13	0,190	-0,94	0,150	-0,980

TABELA 4.22

COBERTURA PODZÓLICA DA FORMAÇÃO ITARARÉ-ISOVOLUME

	VROCHA	VA	VA-VR	VBt	VBt-VR
SiO <sub>2</sub>	188,230	122,600	-65,630	108,720	-79,500
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	38,810	15,650	-23,160	21,300	-17,500
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +FeO	12,750	5,000	-7,750	6,920	-5,830
CaO	0,132	0,078	-0,054	0,080	-0,052
TiO <sub>2</sub>	1,927	1,270	-0,660	1,280	-0,647
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,132	0,078	-0,054	0,080	-0,052
MnO	0,132	0,030	-0,102	0,015	-0,117
Na <sub>2</sub> O	0,211	0,047	-0,164	0,060	-0,150
K <sub>2</sub> O	6,340	1,460	-4,880	3,320	-3,000
MgO	1,210	0,370	-0,840	0,680	-0,530

TABELA 4.23

COBERTURA LATOSSÓLICA DA FORMAÇÃO ITARARÉ-ISOVOLUME

	ROCHA	VA	VA-VR	VBW	VBW-VR
SiO <sub>2</sub>	188,230	133,450	-54,780	12,620	-59,600
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	38,810	5,550	-33,260	8,120	-30,700
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +FeO	12,750	1,930	-10,790	2,770	-10,000
CaO	0,132	0,073	-0,060	0,073	-0,060
TiO <sub>2</sub>	1,927	0,613	-1,314	0,730	-1,200
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,132	0,073	-0,060	0,073	-0,060
MnO	0,132	0,015	-0,120	0,015	-0,120
K <sub>2</sub> O	0,211	0,015	-0,200	0,058	-0,150
K <sub>2</sub> O	6,340	0,175	-6,170	0,250	-6,100
MgO	1,210	0,083	-1,100	0,120	-1,100

As coberturas latossólicas das formações Itararé e Rio Claro apresentaram comportamentos distintos das demais, uma vez que nos cálculos de isoelementos efetuados, o ferro, o alumínio e o titânio não se encontram nos últimos lugares da escala decrescente de mobilidade e elementos mais móveis como potássio e sódio ainda se encontram no perfil, não tendo sido totalmente eliminados, como seria esperado em estágios mais adiantados de evolução intempérica (Tabelas 4.2 e 4.12). Os cálculos de isovolume mostraram uma perda absoluta em volume para todos os elementos analisados, conforme pode ser constatado nas Tabelas 4.13 e 4.23. Esta situação de perda volumétrica para todos os constituintes do perfil é diagnóstica de etapas iniciais do processo de alteração, quando ainda não houve acúmulo de nenhum elemento. Este fato leva à suposição de se tratarem de coberturas latossólicas mais recentes e menos evoluídas que as demais.

A cobertura latossólica da Formação Pirambóia estaria numa situação intermediária, dentro da área de estudo, entre as coberturas mais evoluídas das formações Tatuí, Corumbataí e Rochas Intrusivas Básicas e as menos evoluídas, das formações Itararé e Rio Claro.

Na observação das imagens pode-se constatar que as coberturas latossólicas das formações Itararé e Rio Claro e mesmo da Pirambóia, consideradas como mais recentes que as demais, com menores ganhos relativos e absolutos de alumínio, ferro e titânio, apresentam tonalidades de cinza mais claras, associadas aos resíduos positivos de níveis de cinza das superfícies de tendência das bandas 3, 4 e 7 (Figuras 4.8, 4.9 e 4.10), contrastando com as demais coberturas latossólicas da área de estudo, associadas aos resíduos negativos de níveis de cinza.

Para as coberturas podzolizadas observou-se, no geral, comportamento distinto em relação ao caso anterior. As análises efetuadas para as coberturas das formações Corumbataí, Itati, Tatuí, Itararé e para as Rochas Intrusivas Básicas mostraram que, com exceção das primeiras, os ganhos relativos de alumínio, ferro e titânio não são notadamente superiores aos demais elementos, como ocorre nas coberturas latossolizadas (Tabelas 4.6 , 4.8 , 4.9, 4.11 e 4.3). Constatou-se também que não ocorrem ganhos em volume para alumínio, ferro e titânio, como no caso anterior, caracterizando-se por uma perda volumétrica praticamente generalizada de todos os constituintes. (Tabelas 4.17, 4.19, 4.20, 4.22 e 4.14). Elementos menos móveis como cálcio e potássio ainda se encontram no perfil, o que denota um estágio menos avançado de intemperismo. Tal fato é coerente com os índices de intemperismo calculados, que demonstraram serem os latossolos correspondentes às coberturas em maior estágio de alteração.

A posição do titânio na escala de mobilidade, obtida nos três cálculos efetuados para as coberturas de alteração, é fator indicativo de seus estágios evolutivos. Observa-se que, para coberturas mais evoluídas, a nível de latossolos, este elemento sempre aparece associado aos maiores valores de ganhos percentuais ao longo do perfil de solo, seguido pelo ferro e alumínio. Os demais elementos, mais móveis, apresentam ganhos percentuais inferiores ou mesmo perdas durante o processo intempérico.

As coberturas podzólicas, ainda menos evoluídas que os latossolos recentes, mostraram menor ganho relativo de titânio com relação aos demais elementos mais móveis, que ainda se encontram no perfil do solo.

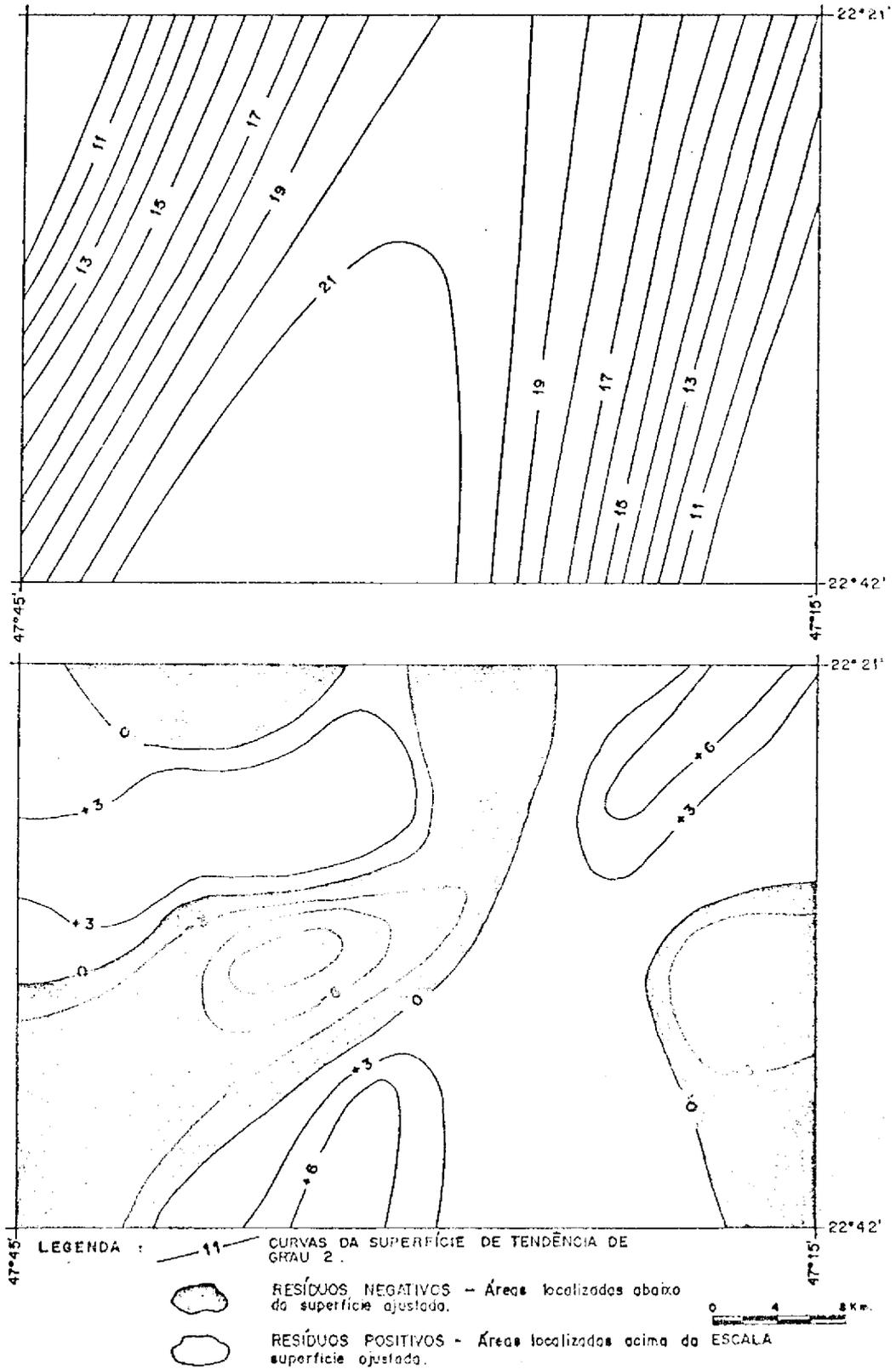


Fig. 4.15 - Mapas de superfície de tendência de grau 2 e de resíduos - porcentagem de argila.

As coberturas podzolizadas das Rochas Intrusivas Básicas, entretanto, apresentam comportamento distinto das demais e bastante próximo aos latossolos. Provavelmente tratam-se de podzólicos em adiantado estágio evolutivo, tendendo a latossolo, o que pode ser deduzido pela posição do titânio na escala de mobilidade (Tabelas 4.3 e 4.4).

A análise das imagens nas bandas 3, 4 e 7 mostrou também a existência de relação entre as coberturas podzolizadas de alteração mais evoluídas e, portanto, possuindo maiores ganhos relativos e ganhos volumétricos reais de alumínio, ferro e titânio, com as tonalidades de cinza mais escuras da imagem, enquanto relação inversa pode ser constatada para as coberturas menos evoluídas, correspondentes na imagem às tonalidades de cinza mais claras (Figuras 4.8 , 4.9 e 4.10).

As porcentagens de argila das diversas coberturas, obtidas em análises granulométricas, geraram também uma superfície de tendência, onde as maiores porcentagens correspondem às coberturas latossólicas das formações Tatuí, Corumbataí e das rochas básicas, na região central e das formações Pirambóia e Rio Claro, na região noroeste (Figura 4.15).

As argilas existentes nas coberturas de alteração podem ser herdadas do material original ou ainda neoformadas, a partir da alteração dos minerais primários, principalmente os feldspatos.

Quando o grau de alteração é elevado, estão ausentes os minerais primários menos resistentes ao intemperismo, que são transformados em caolinita, associada ou não à gibsita, dependendo do conteúdo de  $\text{SiO}_2$  da rocha original (Melfi e Pedro, 1977).

Quando o grau de alteração é inferior, existem ainda minerais primários passíveis de serem alterados e a constituição argilosa é sempre heterogênea, formada por diversos ou, pelo menos, por dois tipos de argilominerais, que podem ser neoformados, ou também herdados (Melfi e Pedro, 1977).

Por último, quando o grau de alteração é nulo ou imperceptível, estão presentes grandes quantidades de minerais primários e não ocorre evolução geoquímica notável (Melfi e Pedro, 1977).

O grau de alteração das coberturas foi obtido através do cálculo do índice de alteração física, que auxilia também na interpretação dos conteúdos de argila obtidos para as diversas coberturas.

Nas coberturas latossólicas das formações Tatuí, Corumbataí e das Rochas Intrusivas Básicas, o alto grau de alteração gera grandes porcentagens de argila 1:1 e pode ser confirmado através do cálculo do índice de alteração física (Tabela 4.24). As duas primeiras formações, originalmente ricas em feldspatos e argilominerais geram grandes porcentagens de argilas nas suas coberturas de alteração. O mesmo pode ser dito das rochas básicas, caracterizadas por conterem entre 30 a 50% de  $\text{SiO}_2$ , abundância de minerais ferromagnesianos e feldspatos cálcicos. Estas últimas rochas intemperizam-se facilmente e originam minerais argilosos de colorações vermelhas, com base na dinâmica do ferro nelas contidas (Malagon, 1979).

As coberturas latossólicas das formações Pirambóia e Rio Claro apresentaram valores de índices de alteração física discrepantes das demais e, embora suas

porcentagens de argila sejam relativamente elevadas, como pode ser constatado no mapa de resíduos (Figura 4.15 e Tabela 4.24), seus valores são inferiores aos das três formações analisadas anteriormente. A Formação Pirambônia é predominantemente arenosa e por ser o índice de alteração física obtido através da razão entre areia e argila, o resultado calculado será bastante elevado, mesmo que a alteração se enquadre na categoria de moderada, conforme foi constatado anteriormente.

A Formação Rio Claro, por sua vez, constituída basicamente por quartzo e feldspato, gerou uma cobertura latossólica onde as porcentagens de argila são elevadas com relação às coberturas podzólicas e litólicas, porém inferiores a das formações Tatuí, Corumbataí e das Rochas Intrusivas Básicas. O índice de alteração física calculado enquadra-se na escala de baixa alteração (Tabela 4.24), provavelmente decorrente do fato de se tratar de latossolo recente, hipótese que também foi levantada na interpretação dos cálculos de perdas e ganhos durante o intemperismo.

A cobertura latossólica da Formação Itararé apresentou índice de intemperismo na classe de moderadamente alterado, em contraste com as coberturas das formações Tatuí, Corumbataí e das Rochas Intrusivas Básicas, que se encontram na classe de fortemente intemperizado. Este fato confirma as hipóteses levantadas anteriormente de se tratar de uma cobertura mais recente, não totalmente evoluída.

A textura de imagem das regiões de ocorrência das coberturas latossólicas é muito baixa e a paisagem constitui-se de morros em forma de meia laranja entre as drenagens. Tal paisagem é característica de mantos de alterações caolínicos, gerados na latossolização.

TABELA 4.24

ÍNDICES DE ALTERAÇÃO FÍSICA MÉDIOS E PORCENTAGENS  
MÉDIAS DE ARGILA DAS COBERTURAS DE ALTERAÇÃO - HORIZONTES A E B

FORMAÇÃO GEOLOGICA	TIPO DE SOLO DA COBERTURA DE ALTERAÇÃO	ÍNDICE DE ALTERAÇÃO FÍSICA MÉDIO	PORCENTAGENS MÉDIAS DE ARGILA
RIO CLARO	latossolo	10,48	16,61
ROCHAS BÁSICAS	latossolo	2,48	34,35
ROCHAS BÁSICAS	podzólico	7,00	17,60
PIRANÓIA	latossolo	19,15	22,53
CORUMBATAÍ	latossolo	2,05	38,09
CORUMBATAÍ	podzólico	3,64	31,02
CORUMBATAÍ	cambissolo	12,22	28,70
IRATI	podzólico	3,50	14,70
TATUI	latossolo	2,80	29,70
TATUI	podzólico	4,07	16,70
TATUI	cambissolo	6,71	12,80
ITARARÉ	latossolo	3,75	29,24
ITARARÉ	podzólico	5,36	15,08
ITARARÉ	cambissolo	11,70	7,68

Escala de alteração física	Argila (%)
<1,00 - muito fortemente intemperizado	>35
1,00 - 3,5 - fortemente intemperizado	18-35
3,50 - 8,50 - moderadamente intemperizado	9-18
>8,50 - fracamente intemperizado	<9

As regiões de médio grau de alteração, associada às coberturas podzólicas, caracterizam-se por conterem porcentagem mais elevada de minerais primários menos resistentes ao intemperismo e, conforme citado anteriormente, diversos ou, pelo menos, dois tipos de argilominerais, diferindo das coberturas mais alteradas onde a caolinita constitui praticamente o único argilomineral existente, que pode estar associado à gibsita em regiões com menores teores de  $\text{SiO}_2$ , como nas rochas básicas.

As porcentagens totais de argila para estas superfícies são inferiores às latossólicas, conforme pode ser constatado na Tabela 4.24 e no mapa de resíduos (Figura 4.15), onde os resíduos negativos, relacionados às porcentagens mais baixas, indicam aproximadamente a localização das coberturas podzólicas e cambissólicas, ou mesmo litólicas, que ocorrem em raros locais. Embora exista grande diferença de alteração entre estas duas últimas coberturas, o método de superfícies de tendência não mostrou resolução suficiente para distingui-las, de modo que são sempre referidas conjuntamente. Através do índice de alteração física, porém, as diferenças são detectadas (Tabela 4.24).

Observou-se que os maiores graus de alteração física associam-se às coberturas latossólicas, enquanto que o grau decresce para coberturas podzólicas e cambissólicas, nesta ordem. Os graus de alteração associam-se também às porcentagens de argila obtidas para as diversas coberturas, conforme pode ser visualizado no mapa de resíduos da Figura 4.15. Por dificuldades laboratoriais não foi calculado o índice para coberturas litólicas, porém seu grau de alteração, nulo ou imperceptível, enquadra-as na última posição da escala decrescente de alteração.

Através da análise das imagens notou-se uma relação entre a textura das imagens nas três bandas utilizadas e o grau de alteração física das coberturas. Enquanto as coberturas latossólicas, com alto grau de alteração e grandes porcentagens de argilas caoliníticas, apresentam textura baixa nas imagens, as coberturas podzólicas, com grau mais baixo de alteração física e porcentagens inferiores de argila, que são predominantemente montmoriloníticas, mostram textura média. As coberturas cambissólicas, de ocorrência muito restrita, onde a porcentagem de argila e o grau de alteração física são ainda inferiores aparecem nas imagens com textura alta e, por último as litólicas, de ocorrência também restrita, onde o grau de alteração física é praticamente nulo, a porcentagem de argila muito baixa, e a textura considerada muito alta na imagem.

Ocorrem também na área de estudo, regiões com texturas intermediárias entre as constatadas para as coberturas latossólicas, podzólicas, cambissólicas e litólicas. Desta forma, verificou-se textura média-baixa, aliada à áreas de ocorrência de associações de coberturas podzólicas e latossólicas e regiões de textura média-alta relacionadas às associações de coberturas podzólicas e cambissólicas e podzólicas e litólicas.

Estas associações são inerentes à escala de trabalho utilizada, que não possibilita o detalhamento do perfil de solo das coberturas, e permite somente a identificação do tipo de cobertura predominante em cada região da área de estudo.



## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES

A interação dos dados químicos e físicos com dados da imagem TM-Landsat da área de estudo, obtidos através da interpretação visual e da aplicação de técnicas digitais no I-100, com o suporte de Análises de Superfícies de Tendências, possibilitou o estabelecimento de relações entre o comportamento químico e físico das coberturas de alteração e os níveis de cinza e texturas de imagens TM-Landsat:

- a) A fotointerpretação, através do uso de estereoscópio de espelho sobre as imagens orbitais, não permitiu a delimitação das rupturas de declive correspondentes às unidades geológicas de menor espessura como é o caso da Formação Irati, com espessuras da ordem de 20 m.
- b) O intenso uso da terra não foi fator limitante na fotointerpretação, permitindo a avaliação das texturas das diferentes coberturas de alteração e do comportamento das tonalidades de cinza dentro de cada uma delas.
- c) Os diferentes graus de alteração dificultam a avaliação do comportamento textural das unidades geológicas, uma vez que existem diferentes densidades texturais de elementos de relevo e drenagem dentro de uma mesma formação geológica.
- d) A latossolização funciona, na área de estudo, como fator homogeneizante da paisagem e dificulta a separação das unidades geológicas, pelo método

adotado, tanto mediante critérios fotointerpretativos, quanto em trabalhos de campo.

- e) As texturas na imagem, definidas através da densidade de elementos texturais de relevo e drenagem, e as tonalidades de cinza das diferentes coberturas de alteração apresentam variações dentro de uma mesma unidade geológica, dificultando a caracterização do comportamento do material de origem.
- f) Os teores de alumínio, ferro e titânio mostram relação com o grau de intemperismo químico das coberturas de alteração e com o comportamento dos níveis de cinza observados nas imagens do TM-Landsat, nas três bandas analisadas. Os teores destes elementos aumentam com o avanço do intemperismo químico, enquanto os valores de níveis de cinza decrescem, ocasionando tonalidades mais escuras nas imagens.
- g) O avanço da alteração acarreta o aumento da porosidade das coberturas, o que tem reflexo direto na textura das imagens. À medida em que aumenta a porosidade, diminui a densidade textural das imagens.
- h) Os limites de liquidez e plasticidade calculados mostraram relação com o grau de alteração das coberturas e as texturas das imagens TM-Landsat. Os maiores limites de liquidez associam-se às coberturas mais alteradas, com textura mais baixa nas imagens, enquanto os maiores limites de plasticidade, por sua vez, associam-se às coberturas menos alteradas, com textura mais alta nas imagens.

- i) As tonalidades de cinza mais escuras na imagem estão também associadas ao maior conteúdo de material argiloso, que pode ser derivado tanto do material de origem, relacionado ao seu processo de diagênese, quanto de processos pedogenéticos atuantes na área durante a alteração.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. de. Fundamentos geológicos do relevo paulista. Boletim do Instituto Geográfico e Geológico, (41):169-263, 1964.
- ALMEIDA, F.F.M. de.; HASUI, Y.; PONÇANO, W.L.; DANTAS, A.S. L.; CARNEIRO, C.D.R.; MELLO, M.S.; BISTRICHI, C.A. Mapa geológico do Estado de São Paulo: escala de 1:500.000. São Paulo, IPT, 1981. v 1/2 (Monografias, 6).
- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY (ASP). Manual of remote sensing. Falls Church, VA, 1975. 2v.
- BJORNBERG, A.J.S; LANDIM, P.M.B. Contribuição ao estudo da Formação Rio Claro (Neocenozóico). Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, 15(4):42-67, 1966.
- CAETANO-CHANG, M.R.; LANDIM, P.M.B. Evolução ambiental da sedimentação do Subgrupo Itararé na área de Itararé - Itaporanga (SP). In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 6., Rio Claro, 1987. Atas. Rio Claro, SBG, 1987, v. 1, p. 339-354.
- CAMARGO, M.N.; KLAMT, E.; KAUFMAN, J.H. Sistema brasileiro de classificação de solos. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 12(1):11-33, 1987.
- CENTRO NACIONAL DE ENSINO E PESQUISAS AGRONÔMICAS, COMISSÃO DE SOLOS (CNEPA.CS). Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo, contribuição à Carta de Solos do Brasil. Rio de Janeiro, 1960. 634 p. (Boletim do Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, 12).
- COCHRAN, W.G. Técnicas de amostragem. Rio de Janeiro, Fundo de Cultura, USAID, 1965. 555 p.

- CRUZ, J. Amostragem estatística; noções básicas. Aracaju, Universidade Federal de Sergipe, 1978. 267 p.
- DAVIS, J.C. Statistics and data analysis in geology. New York, NY, John Wiley, 1973. 646 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). Projeto RADAM - Folha SF 23/24 Rio de Janeiro e Vitória; geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1983. v. 32 (Levantamento de Recursos Naturais).
- DEWOLF, Y. Interêt et principes d'une cartographie des formations superficielles. Caen. Association de publications de la Faculte des Letters et Sciences Humaines de l'Université de Caen. 1965. 183 p.
- DONZELLI, P.L.; VALÉRIO FILHO, M.; NOGUEIRA, F.P.; PEREZ FILHO, A.; KOFFLER, N.F. Imagens orbitais e de radar na definição de padrões fisiográficos aplicados a solos. Revista Brasileira de Ciências do Solo, 7(1):89-94, Jan./Abr. 1983.
- FONDO COLOMBIANO DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS Y PROYETOS ESPECIALES (COLCIENCIAS). UNIVERSIDAD DE BOGOTA. DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS. Genesis, classification y aptitud de explotacion de algunos suelos de la Orinoquia y la Amazonia Colombianas. Bogota, DE, mar. 1973. 185 p.
- FULFARO, V.J.; GAMA JUNIOR, E.G.; SOARES, P.C. Revisão estigráfica da Bacia do Paraná. São Paulo, CESP/IPT, 1980. 155 p. (Paulipetro, Relatório BP-008/80).
- GOOSEN, D. Interpretacion de fotos aereas y su importancia em levantamiento de suelos. Roma, Instituto Internacional para Levantamento Aereo y Ciencias Terrestres (ITC), 1968. 58 p.

- GROSSI SAD, J.H. Fundamentos sobre a variabilidade dos depósitos minerais. Colaboração de H. Quada. Rio de Janeiro, DNPM/CPRM. Geosol., 1986. 141 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Geografia do Brasil: Região Sudeste. Rio de Janeiro, SERGRAF-IBGE, 1977. v 3.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO (IGC). Carta de utilização da terra do Estado de São Paulo: escala 1:250.000. São Paulo, Governo do Estado de São Paulo, 1980.
- INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Divisão de Suporte Computacional. Laboratório para Tratamento de Imagens Digitais. Sistemas de tratamento de imagens; manuais de usuário. São José dos Campos, Nov. 1985.
- JIMENEZ, J.R.R.; GODOY, A.M. Metodologia para visão tridimensional das imagens "LANDSAT". Geografia, 7(13-14): 163-167, out. 1982.
- JONES, T.A.; HAMILTON, D.E.; JOHNSON, C.R. Contouring geologic surfaces with the computer. New York, NY, Van Nostrand Reinhold, 1986. 313 p.
- KRAUSKOPF, K.B. Introdução à geoquímica. São Paulo, EDUSP, 1972. v. 1.
- KOCH, G.S.; LINK, R.F. Estatistical analysis of geological data. New York, NY, Wiley, 1970. 375 p.
- MALAGON, D. Fundamentos de mineralogia de suelos sus origenes y aplicaciones). Venezuela, CIDIAT-MERIDA, 1979. 350 p.
- MATTOS, J.T. de. Caracterização do comportamento geológico-estrutural na região da represa de Furnas (MG) com dados de sensoriamento remoto. Tese de doutorado em Geologia. São Paulo, USP, Instituto de Geociências, 1986. 181 p.

MELFI, A.J.; PEDRO, G. Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil - Parte 1. Caracterização e repartição dos principais tipos de evolução pedogeoquímica. Revista Brasileira de Geociências, 7(4):271-286, 1977.

\_\_\_\_\_ Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil - Parte 2. Considerações sobre os mecanismos geoquímicos envolvidos na alteração superficial e sua repartição no Brasil. Revista Brasileira de Geociências, 8(1):11-22, 1978.

MENESES, P.R. Avaliação e seleção de bandas do sensor "Thematic Mapper" do Landsat-5 para a discriminação de rochas carbonáticas do Grupo Bambuí como subsídio ao mapeamento de semmi-detelhe. Tese de Doutorado em Geociências. São Paulo, USP, Instituto de Geociências, 1986. 233 p.

MIESCH, A.T.; CONNOR, J.J. Stepwise regression and nonpolynomial models in trend analysis. Lawrence, KS, University of Kansas, 1968. 40 p. (Computer Contribution, 27).

MOJICA, F.S.; RODRIGUES, L.O.; MÚNOZ, B.M. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Colômbia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Dirección Agrología, República de Colombia - Ministerio de Hacienda y Crédito Público, 1973. 172 p.

OLIVEIRA, J.B.; PRADO, H. Levantamento pedológico semi-detelhado do Estado de São Paulo: quadrícula de São Carlos, memorial descritivo. Boletim Técnico do Instituto Agrônomo, (98):1-188, 1984.

- OLIVEIRA, J.B.; MENK, J.R.F.; ROTTA, C.L. Levantamento pedológico semidetalhado dos solos do Estado de São Paulo: quadrícula de Campinas. Rio de Janeiro, SUPREN/IBGE, 1979. 172 p.
- OLIVEIRA, J.B.; MENK, J.R.F.; BARBIERI, J.L.; ROTTA, C.L.; TREMOCOLDI, W. Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de Araras. Boletim Técnico do Instituto Agrônômico, nº 41, 1982, 180 p.
- PEDRO, G. A alteração das rochas em condições superficiais (Perimorfismo) - caracterização geoquímica dos processos fundamentais. Notícias Geomórfológicas, 9(17):3-14, jun. 1969.
- PENTEADO, M.M. Geomorfologia do setor centro-ocidental da Depressão Periférica Paulista. São Paulo, USP, 1976. 86 p. (Série Teses e Monografia nº 22).
- PONÇANO, W.L.; CARNEIRO, C.R.; BISTRICHI, C.A.; ALMEIDA, F.F.M. de; PRANDINI, F.L. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo: escala 1:1.000.000. São Paulo, IPT, 1981. v. 1-2. (Monografias, 5).
- RAMOS, A.N.; FORMOSO, M.L.L. Clay mineralogy of the sedimentary rocks of the Paraná Basin, Brasil. Revista Brasileira de Geociências, 6(1):15-42, 1975.
- RODRIGUES, R.; QUADROS, L.P. de Mineralogia das argilas e teor de boro das formações paleozóicas da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., Ouro Preto, 1976. Anais. Ouro Preto, SBG, 19, v. 2, p. 351-379.
- SALOMÃO, F.X.T. Interpretação geopedológica aplicada a estudos de geologia de engenharia. Dissertação de Mestrado em Geologia. São Paulo, USP, 1984.

- SCHNEIDER, R.L.; MUHLMANN, E.T.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F.; NOGUEIRA, A.A. Revisão estratiográfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., Porto Alegre, 1974. Anais. Porto Alegre, SBG, 1974. v. 1, p. 41-65.
- SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DOS SOLOS (SNLCS). Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, SNLCS, 1979.
- SETZER, J. Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo. São Paulo, Comissão Interestadual da Bacia do Paraná, 1966. 61 p. il.
- SINELLI, O. Contribuição ao estudo das argilas da Bacia do Paraná na região SE do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2., Rio Claro, 1979. Atas. Rio Claro, UNESP, 1979. v. 1, p. 243-256.
- SOARES, P.C. Elementos estruturais da parte nordeste da Bacia do Paraná: classificação e gênese. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., Porto Alegre, 1974. Anais. Porto Alegre, SBG, 1974. v. 4, p. 107-121.
- \_\_\_\_\_. O limite glacial - pós-gracial do Grupo Tubarão no Estado de São Paulo. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 44(supl.):333-341, 1972.
- SOARES, P.C.; EIORI, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. Notícias Geomorfológicas, 16(32):71-104, dez. 1976.
- SOARES, P.C.; LANDIM, P.M.B. Aspectos regionais da estratiografia da Bacia do Paraná no seu flanco nordeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27., Aracajú, 1973. Anais. Aracajú, SBG. v. 1, p. 243-256.

- VENEZIANI, P.; ANJOS, C.E. dos Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia. São José dos Campos, INPE, nov. 1982. 61 p. (INPE-2227-MD/014).
- VILAR, O.M.; BUENO, B.S. Mecânica dos solos. São Carlos, USP. Escola de Engenharia de São Carlos, 1984. 131 p.
- WILLIAMS, H.; TURNER, F.J.; GILBERT, C.M. Petrografia: uma introdução ao estudo das rochas em seções delgadas. São Paulo, Polígono/EDUSP, 1970. 424 p.
- WU, F.T. Minerais pesados das seqüências arenosas Paleozóica e Mesozóica no Centro-Leste do Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado em Geologia. São Paulo, USP, 1981.



APÉNDICE A

DADOS UTILIZADOS

DADOS DAS ANÁLISES FÍSICAS

PONTO	FORMAÇÃO GEOLOGICA	TIPO DE COBERTURA	HORI- ZONTE	DENS. REAL	DENS. APARENTE	POROSIDADE (%)
1	Rio Claro	latossólica	A	2.62	1.50	42.74
			BW	2.62	1.51	42.36
2	Corumba- taí	podzólica	A	2.61	1.36	47.89
			Bt	2.69	1.30	51.67
3	Piram- bóia	latossólica	A	2.59	1.45	44.01
			BW	2.66	1.48	44.36
4	Corumba- taí	podzólica	A	2.66	1.41	46.99
			Bt	2.83	1.35	52.29
5	Corumba- taí	cambissólica	A	2.64	1.65	37.5
			Bi	2.76	1.60	42.02
6	Corumba- taí	latossólica	A	2.60	1.33	48.84
			BW	2.79	1.25	55.19
7	Tatuí	latossólica	A	2.98	1.28	57.04
			BW	3.10	1.36	56.12
8	Tatuí	podzólica	A	2.83	1.37	51.59
			Bt	2.61	1.30	50.2
9	Rochas Básicas	podzólica	A	2.88	1.59	44.8
			Bt	3.09	1.54	50.1
10	Rochas Básicas	latossólica	A	3.04	1.62	46.71
			BW	2.94	1.63	44.55
11	Tatuí	latossólica	A	2.51	1.35	46.21
			BW	2.73	1.29	52.74
12	Itararé	podzólica	A	2.49	1.49	40.16
			Bt	2.80	1.79	35.71
13	Itararé	latossólica	A	2.67	1.46	45.5
			BW	2.68	1.45	45.9
14	Tatuí	podzólica	A	2.65	1.35	49.0
			Bt	2.76	1.75	36.6
15	Irati	podzólica	A	2.92	1.58	45.8
			Bt	2.75	1.83	33.5
16	Itararé	cambissólica	A	2.66	1.68	36.8
			Bi	2.51	1.69	32.6
17	Corumba- taí	latossólica	A	2.6	1.36	47.7
			BW	2.59	1.20	53.6
18	Tatuí	latossólica	A	2.83	1.37	51.5
			BW	2.62	1.51	42.4

(continua)

Conclusão.

---

19	Tatuí	podzólica	A	2.74	1.57	42.7
			Bt	2.75	1.56	43.27
20	Piram- bóia	latossólica	A	2.57	1.37	46.7
			BW	2.68	1.31	51.1
21	Rio Claro	latossólica	A	2.60	1.50	42.3
			BW	2.61	1.52	41.76
22	Corum- bataí	podzólica	A	2.64	1.41	46.5
			Bt	2.75	1.43	48.0
23	Corum- bataí	latossólica	A	2.6	1.34	48.46
			BW	2.62	1.23	53.05
24	Rochas Básicas	latossólica	A	3.1	1.63	47.4
			BW	3.05	1.60	47.5
25	Tatuí	latossólica	A	2.63	1.38	47.5
			BW	2.70	1.45	46.3
26	Corum- bataí	latossólica	A	2.61	1.34	48.6
			BW	2.59	1.21	53.3
27	Corum- bataí	latossólica	A	2.7	1.35	50
			BW	2.73	1.30	52.4
28	Itararé	latossólica	A	2.65	1.47	44.5
			BW	2.63	1.44	45.3
29	Rochas Básicas	latossólica	A	3.0	1.61	46.4
			BW	2.94	1.62	45.0
30	Tatuí	latossólica	A	2.60	1.34	48.5
			BW	2.70	1.32	51.1

---

DADOS DE ANÁLISES QUÍMICAS

PONTO	HEZIZ.	SI02	Al2O3	Fe2O3	CaO	TiO2	SO3	K2O	MgO	Na2O	K2O	MgO	FeO
1	A	85,40	7,00	1,70	0,05	0,59	0,05	0,01	0,03	0,01	0,02	0,02	0,72
	B*	82,20	9,20	2,70	0,05	0,79	0,05	0,01	0,03	0,01	0,03	0,03	0,59
	R	80,90	11,10	2,60	0,05	0,80	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,03	0,43
2	A	63,50	15,10	5,90	0,13	0,90	0,05	0,01	3,60	0,12	0,14	0,14	1,46
	B*	62,30	17,60	6,50	0,05	0,93	0,05	0,01	2,50	0,02	0,30	0,30	1,02
	R	66,70	16,00	5,10	0,05	0,70	0,05	0,02	3,60	0,15	1,61	1,61	0,58
3	A	88,90	5,20	1,10	0,05	0,44	0,05	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,43
	B*	86,30	7,30	1,40	0,05	0,55	0,05	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,43
	R	82,90	10,30	1,40	0,05	0,43	0,05	0,01	0,09	0,01	0,09	0,11	0,43
4	A	52,80	22,40	7,60	0,13	1,90	0,09	0,05	0,79	0,03	0,79	0,35	1,02
	B*	45,70	28,70	9,40	0,05	1,60	0,05	0,02	0,70	0,03	0,70	0,32	0,59
	R	69,10	17,30	4,30	0,05	0,72	0,05	0,09	1,20	0,05	1,20	0,43	0,36
5	A	73,20	11,20	4,70	0,05	1,80	0,05	0,02	0,77	0,04	0,77	0,31	0,73
	B*	54,80	22,40	6,70	0,05	1,30	0,07	0,01	1,00	0,03	1,00	0,39	0,73
	R	66,70	16,40	5,10	0,05	0,73	0,05	0,02	3,60	0,13	3,60	1,60	0,58
6	A	55,10	21,00	9,20	0,05	1,50	0,05	0,05	0,09	0,02	0,09	0,10	0,73
	B*	42,40	28,10	12,40	0,05	2,00	0,02	0,03	0,10	0,02	0,10	0,11	0,58
	R	66,70	16,40	5,10	0,05	0,73	0,05	0,02	3,60	0,13	3,60	1,60	0,58
7	A	38,30	19,40	17,20	0,21	5,90	0,25	0,12	0,09	0,02	0,09	0,16	2,72
	B*	37,00	21,00	19,70	0,05	6,20	0,13	0,10	0,05	0,03	0,05	0,10	2,53
	R	49,50	12,10	4,80	9,20	4,00	0,32	0,30	1,60	2,70	1,60	4,50	10,44
8	A	72,50	12,90	3,20	0,05	1,50	0,05	0,04	0,22	0,03	0,22	0,19	1,02
	B*	56,40	24,00	6,00	0,05	1,30	0,05	0,01	0,24	0,04	0,24	0,21	0,58
	R	68,30	10,90	2,50	0,05	0,61	0,05	0,02	0,24	0,03	0,24	0,21	0,58

(continua)

Continuação

9	A	35,20	18,60	22,98	0,14	8,80	0,28	0,28	0,03	0,11	0,17	2,63
	B†	32,50	23,60	21,30	0,19	5,79	0,26	0,17	0,05	0,06	0,14	2,49
	R	49,50	12,10	4,80	0,20	4,00	0,32	0,30	2,70	1,60	4,50	10,41
10	A	25,50	25,20	22,50	0,05	7,50	0,18	0,13	0,04	0,09	0,11	2,92
	B†	25,30	24,90	23,40	0,05	7,50	0,16	0,13	0,02	0,09	0,11	2,41
	R	49,50	12,10	4,80	0,20	4,00	0,32	0,30	2,70	1,60	4,50	10,41
11	A	50,40	17,70	4,60	0,05	4,10	0,05	0,04	0,06	0,09	0,10	3,14
	B†	51,10	22,80	7,80	0,05	4,50	0,05	0,04	0,01	0,06	0,07	1,61
	R	62,50	18,90	2,80	0,05	0,61	0,05	0,02	0,03	0,24	0,21	0,83
12	A	79,10	10,10	2,50	0,05	0,82	0,05	0,02	0,03	0,94	0,24	0,73
	B†	72,00	14,10	4,80	0,05	0,85	0,05	0,01	0,04	2,20	0,45	0,53
	R	71,30	14,70	4,10	0,05	0,73	0,05	0,05	0,08	2,40	0,46	0,73
13	A	91,40	3,90	0,59	0,05	0,42	0,05	0,01	0,01	0,12	0,06	0,73
	B†	98,70	5,60	1,40	0,05	0,50	0,05	0,01	0,04	0,17	0,08	0,51
	R	86,60	6,90	1,80	0,05	0,54	0,05	0,01	0,02	0,54	0,13	0,43
14	A	82,50	8,90	1,20	0,05	1,10	0,05	0,01	0,04	0,17	0,06	0,73
	B†	80,58	10,80	2,10	0,05	0,82	0,05	0,01	0,04	0,60	0,12	0,58
	R	74,00	13,80	2,70	0,05	0,73	0,05	0,01	0,15	3,10	0,45	0,53
15	A	49,30	13,80	16,80	0,34	6,00	0,18	0,42	0,83	0,17	0,43	2,77
	B†	43,90	20,40	18,20	0,24	3,60	0,11	0,13	0,02	0,14	0,41	1,75
	R	44,60	21,70	17,20	0,19	3,10	0,08	0,07	0,04	0,09	0,25	1,60
16	A	87,10	5,20	1,50	0,05	0,51	0,05	0,02	0,04	0,17	0,06	0,58
	B†	67,90	16,00	5,80	0,05	0,62	0,05	0,01	0,11	1,70	0,38	0,58
	R	71,30	14,70	4,10	0,05	0,73	0,05	0,05	0,08	2,40	0,46	0,73
17	A	43,80	27,50	8,20	0,05	2,80	0,06	0,03	0,06	0,17	0,13	1,46
	B†	42,60	28,50	10,40	0,05	2,80	0,07	0,03	0,05	0,15	0,12	1,02
	R	66,70	16,40	5,10	0,05	0,73	0,05	0,02	0,13	3,60	1,60	0,58

(continua)

Continuação

18	A	53,30	19,80	8,80	0,95	4,60	0,05	0,05	0,05	0,03	0,15	0,14	1,62
	Bw	62,20	15,50	7,10	0,05	4,00	0,05	0,04	0,04	0,12	0,12	0,12	1,59
	R	74,00	13,80	2,70	0,05	0,73	0,05	0,01	0,15	3,12	0,45	0,45	0,53
19	A	77,30	8,10	3,70	0,05	2,94	0,05	0,09	0,02	0,19	0,11	0,11	1,60
	Bw	65,20	17,50	6,40	0,05	2,40	0,05	0,04	0,03	0,33	0,18	0,18	0,97
	R	73,60	12,50	2,70	0,37	0,52	0,05	0,07	2,10	2,20	1,20	1,20	0,43
20	A	88,90	5,20	1,10	0,05	0,55	0,05	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,43
	Bw	82,70	9,60	1,40	0,05	0,72	0,05	0,01	0,01	3,02	0,63	0,63	0,70
	R	82,90	10,30	1,40	0,05	0,43	0,05	0,01	0,01	1,09	0,11	0,11	0,43
21	A	85,40	7,00	1,70	0,05	0,59	0,05	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,73
	Bw	83,60	9,10	2,00	0,05	0,77	0,05	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,52
	R	80,90	11,10	2,60	0,05	0,83	0,05	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,43
22	A	52,80	22,40	7,60	0,15	1,90	0,09	0,05	0,03	0,79	0,35	0,35	1,02
	Bw	42,60	30,40	10,90	0,05	1,60	0,05	0,02	0,03	0,71	0,34	0,34	0,42
	R	69,10	17,30	4,30	0,05	0,72	0,05	0,02	0,05	1,20	0,43	0,43	0,35
23	A	47,80	17,20	14,00	4,20	0,05	0,05	0,03	0,06	0,17	0,13	0,13	2,92
	Bw	41,10	22,60	18,70	0,05	1,40	0,07	0,03	0,05	0,15	0,12	0,12	1,13
	R	66,70	16,40	15,10	0,05	0,73	0,05	0,02	0,13	0,13	1,60	1,60	0,53
24	A	25,50	25,20	22,30	0,05	7,60	0,19	0,13	0,04	0,09	0,11	0,11	2,92
	Bw	23,80	26,00	22,80	0,05	8,20	0,16	0,13	0,02	0,09	0,11	0,11	3,24
	R	49,50	12,10	4,80	9,23	4,30	0,32	0,30	2,70	1,60	4,50	4,50	10,41
25	A	53,30	19,80	8,80	0,05	4,60	0,05	0,05	0,03	0,15	0,14	0,14	1,39
	Bw	63,40	17,60	3,70	0,05	5,90	0,05	0,04	0,04	0,13	0,12	0,12	0,97
	R	74,00	13,80	2,70	0,05	0,73	0,05	0,01	0,15	3,10	0,45	0,45	0,53
26	A	55,10	21,00	9,20	0,05	1,50	0,05	0,05	0,02	0,09	0,10	0,10	0,71
	Bw	51,50	22,30	10,40	0,05	3,00	0,08	0,03	0,02	0,10	0,11	0,11	1,41
	R	66,70	16,40	5,10	0,05	0,73	0,05	0,02	0,13	3,60	1,60	1,60	0,50

(continua)

Conclusão.

27	A	55,30	21,20	9,00	0,05	1,80	0,05	0,05	0,02	0,09	0,10	0,73
	Bw	42,52	28,30	12,00	0,05	2,10	0,07	0,02	0,02	0,10	0,11	6,59
	R	66,70	16,40	1,10	0,05	0,44	0,55	0,01	0,01	0,02	0,03	4,43
28	A	91,10	4,10	0,62	0,05	0,45	0,05	0,01	0,01	0,12	0,06	0,73
	Bw	88,59	5,00	1,60	0,05	0,52	0,25	0,01	0,04	0,17	0,08	4,51
	R	84,90	6,90	1,00	0,05	0,53	0,65	0,31	0,02	0,51	0,13	0,43
29	A	25,20	25,20	22,30	0,05	7,40	0,18	0,13	0,04	0,09	0,11	2,92
	Bw	25,10	24,70	23,70	0,05	7,10	0,15	0,13	0,02	0,09	0,11	2,41
	R	42,50	12,10	4,00	0,20	0,00	0,32	0,30	2,70	1,60	4,50	10,44
30	A	91,40	3,00	0,59	0,05	0,42	0,05	0,01	0,01	0,12	0,06	0,73
	Bw	88,50	5,50	1,40	0,05	0,51	0,05	0,01	0,04	0,17	0,08	4,51
	R	86,80	6,90	1,80	0,05	0,54	0,05	0,01	0,02	0,54	0,13	0,43

DADOS DE NIVEIS DE CINZA

FONTO	X(km)	Y(km)	B3	B4	B7
1	218,00	7524,00	34,38	51,53	28,17
2	222,00	7524,00	38,59	51,92	35,62
3	224,00	7524,00	26,42	57,04	10,70
4	228,00	7524,00	39,16	56,42	33,66
5	218,00	7523,00	42,15	57,36	48,00
6	232,00	7522,00	37,90	46,90	32,74
7	222,00	7515,00	48,20	56,91	45,86
8	220,00	7516,00	45,80	58,78	45,15
9	226,00	7515,00	59,43	56,12	51,84
10	220,00	7519,00	39,74	57,17	22,62
11	219,00	7514,00	62,26	64,01	70,02
12	219,00	7523,00	40,01	48,36	36,22
13	227,00	7523,00	36,75	57,97	32,62
14	229,00	7523,00	45,39	60,38	43,32
15	231,00	7523,00	40,68	55,09	37,48
16	231,00	7521,00	32,09	52,27	22,42
17	229,00	7521,00	42,44	56,33	41,17
18	227,00	7521,00	37,86	61,51	32,58
19	225,00	7521,00	62,65	56,72	59,86
20	223,00	7521,00	40,41	49,13	30,71
21	222,00	7522,00	40,33	54,58	27,88
22	221,00	7521,00	40,94	60,57	39,48
23	219,00	7521,00	36,77	55,98	32,51
24	219,00	7519,00	48,25	53,41	51,78
25	221,00	7519,00	43,05	44,16	39,57
26	233,00	7519,00	38,08	39,95	23,91
27	220,00	7519,00	43,61	58,75	40,32
28	227,00	7519,00	41,98	50,19	37,35
29	229,00	7519,00	41,25	57,75	40,67
30	231,00	7519,00	51,95	53,73	55,46
31	231,00	7517,00	42,10	54,27	43,87
32	229,00	7517,00	45,70	51,75	44,23
33	225,00	7517,00	49,58	51,99	34,24
34	223,00	7517,00	37,66	52,35	33,64
35	221,00	7517,00	55,16	54,34	56,40
36	219,00	7517,00	41,66	59,17	39,86
37	225,00	7515,00	34,96	51,78	17,58
38	227,00	7515,00	47,24	48,34	40,59
39	229,00	7515,00	41,28	65,26	38,33
40	231,00	7515,00	42,24	52,37	42,14
41	231,00	7513,00	50,62	42,94	49,08
42	229,00	7513,00	36,16	56,28	25,28
43	227,00	7513,00	34,97	54,55	29,34
44	225,00	7513,00	43,68	54,92	40,87
45	223,00	7513,00	35,24	53,49	18,02
46	221,00	7513,00	44,54	53,07	39,56
47	233,00	7523,00	43,48	54,22	35,44
48	235,00	7523,00	55,30	57,90	46,93
49	237,00	7523,00	65,70	61,25	69,22

(continua)

Continuação

50	239.00	7523.00	39.49	51.84	32.02
51	241.00	7523.00	49.82	52.64	42.69
52	243.00	7523.00	37.81	42.73	25.18
53	245.00	7523.00	40.05	53.11	32.65
54	247.00	7523.00	46.30	44.81	37.57
55	247.00	7521.00	39.72	39.65	27.00
56	245.00	7521.00	42.65	47.21	33.87
57	243.00	7521.00	37.36	63.27	24.77
58	241.00	7521.00	24.32	44.84	9.11
59	239.00	7521.00	44.26	52.27	40.40
60	237.00	7521.00	53.87	48.01	51.27
61	235.00	7521.00	54.61	50.80	50.14
62	233.00	7521.00	42.09	45.77	28.60
63	233.00	7519.00	43.10	56.01	33.25
64	235.00	7519.00	47.26	58.81	39.97
65	237.00	7519.00	51.06	48.93	46.81
66	239.00	7519.00	24.69	47.86	8.23
67	241.00	7519.00	28.68	48.95	16.87
68	243.00	7519.00	38.63	56.51	28.51
69	245.00	7519.00	39.41	57.15	32.55
70	247.00	7519.00	42.26	52.81	31.86
71	245.00	7517.00	42.58	50.63	31.57
72	243.00	7517.00	37.15	54.63	30.53
73	241.00	7517.00	31.29	60.12	17.34
74	239.00	7517.00	33.66	53.71	16.47
75	239.00	7517.00	36.72	51.93	27.68
76	235.00	7517.00	42.60	51.89	35.58
77	233.00	7517.00	41.64	54.45	23.85
78	233.00	7515.00	55.70	61.56	43.70
79	235.00	7515.00	47.62	49.89	44.93
80	237.00	7515.00	37.34	50.84	20.89
81	239.00	7515.00	45.92	47.50	33.64
82	241.00	7515.00	42.99	50.72	33.94
83	243.00	7515.00	36.61	53.15	20.16
84	245.00	7515.00	31.61	46.23	17.83
85	245.00	7513.00	44.28	38.23	30.77
86	243.00	7513.00	39.79	37.46	23.37
87	241.00	7513.00	41.12	53.01	25.41
88	239.00	7513.00	33.95	52.70	15.16
89	237.00	7513.00	37.70	52.93	23.05
90	235.00	7513.00	54.60	53.71	55.42
91	233.00	7513.00	36.93	58.71	19.50
92	235.00	7511.00	34.61	55.73	17.50
93	237.00	7511.00	36.43	55.82	20.14
94	239.00	7511.00	34.84	51.78	17.95
95	241.00	7511.00	39.73	51.54	22.66
96	243.00	7511.00	36.80	54.21	19.88
97	245.00	7511.00	31.76	58.42	14.17
98	249.00	7521.00	39.17	41.14	23.92
99	253.00	7521.00	41.10	40.75	27.38
100	255.00	7521.00	45.00	39.47	38.67
101	249.00	7519.00	38.17	64.14	31.58
102	251.00	7519.00	44.21	50.16	34.74

(continua)

Continuação

103	253.00	7519.00	41.85	45.16	32.62
104	255.00	7519.00	45.81	34.85	34.04
105	257.00	7519.00	46.48	36.66	39.87
106	259.00	7519.00	45.69	33.77	31.87
107	261.00	7519.00	50.31	41.52	37.41
108	261.00	7517.00	41.62	37.36	36.54
109	259.00	7517.00	43.32	32.52	32.40
110	257.00	7517.00	44.60	34.34	32.00
111	255.00	7517.00	39.11	30.49	26.48
112	253.00	7517.00	41.46	28.83	27.27
113	251.00	7517.00	43.65	51.98	36.76
114	249.00	7517.00	44.40	34.39	34.27
115	247.00	7515.00	49.27	41.29	35.73
116	249.00	7515.00	47.19	35.82	35.22
117	251.00	7515.00	44.82	38.97	40.09
118	253.00	7515.00	44.09	38.46	39.86
119	255.00	7515.00	42.11	47.56	31.88
120	257.00	7515.00	40.97	44.85	27.71
121	259.00	7515.00	39.29	38.61	27.22
122	261.00	7515.00	43.49	33.23	35.58
123	261.00	7513.00	37.23	44.58	21.75
124	259.00	7513.00	41.95	38.86	35.24
125	257.00	7513.00	41.82	32.48	33.31
126	255.00	7513.00	39.51	34.34	25.58
127	253.00	7513.00	43.41	31.54	33.74
128	251.00	7513.00	35.07	44.47	23.97
129	247.00	7517.00	42.13	46.68	42.84
130	249.00	7513.00	39.71	52.03	31.98
131	247.00	7513.00	36.82	54.35	26.63
132	247.00	7511.00	38.47	44.09	25.89
133	249.00	7511.00	35.87	38.47	23.14
134	251.00	7511.00	35.87	35.55	21.83
135	253.00	7511.00	39.73	51.25	32.76
136	255.00	7511.00	41.17	42.84	27.99
137	257.00	7511.00	46.88	35.93	35.72
138	259.00	7511.00	41.84	46.42	32.91
139	261.00	7511.00	43.26	50.65	35.93
140	261.00	7509.00	48.49	43.65	42.17
141	259.00	7509.00	44.88	39.24	42.61
142	257.00	7509.00	40.77	64.78	28.78
143	255.00	7509.00	50.96	51.12	45.67
144	253.00	7509.00	38.99	50.25	21.34
145	251.00	7509.00	42.58	35.72	28.31
146	249.00	7509.00	39.14	45.14	28.96
147	247.00	7509.00	38.00	47.36	25.34
148	259.00	7507.00	42.22	65.81	37.88
149	257.00	7507.00	45.24	48.71	33.76
150	255.00	7507.00	48.54	49.15	48.45
151	253.00	7508.00	36.57	48.41	28.86
152	219.00	7507.00	56.19	47.38	46.33
153	221.00	7507.00	44.11	40.58	37.54
154	223.00	7507.00	47.83	55.48	38.82
155	225.00	7507.00	60.25	54.59	57.67
156	227.00	7507.00	41.80	57.54	33.84

(continua)

Continuação

157	229.00	7507.00	40.28	59.15	47.20
158	229.00	7505.00	42.66	51.69	32.75
159	227.00	7505.00	57.50	72.82	51.07
160	225.00	7505.00	64.02	55.45	62.91
161	223.00	7505.00	46.45	41.10	36.38
162	221.00	7505.00	53.50	57.42	47.55
163	219.00	7505.00	49.57	52.68	41.11
164	219.00	7503.00	49.36	48.87	44.27
165	221.00	7503.00	51.25	41.10	40.15
166	223.00	7503.00	59.74	61.94	51.62
167	225.00	7503.00	58.46	51.81	50.60
168	227.00	7503.00	57.74	57.95	60.03
169	229.00	7503.00	53.48	50.30	62.18
170	219.00	7501.00	52.20	50.00	46.65
171	221.00	7501.00	40.11	50.37	20.85
172	223.00	7501.00	38.07	42.93	22.30
173	225.00	7501.00	50.97	46.04	50.28
174	227.00	7501.00	37.97	60.97	33.82
175	229.00	7501.00	49.27	48.15	49.66
176	229.00	7499.00	53.09	44.70	60.43
177	227.00	7499.00	33.93	54.63	20.92
178	225.00	7499.00	52.97	42.97	63.79
179	223.00	7499.00	51.81	44.83	51.18
180	221.00	7499.00	37.69	57.19	36.43
181	219.00	7499.00	50.16	61.10	39.66
182	220.00	7497.00	39.46	50.95	32.60
183	227.00	7497.00	27.53	47.85	16.47
184	225.00	7497.00	46.89	39.27	40.89
185	223.00	7497.00	38.25	39.92	15.77
186	231.00	7507.00	48.77	61.88	44.15
187	233.00	7507.00	57.42	48.82	43.60
188	235.00	7507.00	47.52	39.41	35.90
189	237.00	7507.00	52.70	41.36	41.41
190	239.00	7507.00	39.53	33.24	23.93
191	241.00	7507.00	37.35	25.77	22.49
192	243.00	7507.00	38.75	49.62	22.92
193	245.00	7507.00	36.31	55.91	22.16
194	245.00	7505.00	38.16	58.42	33.34
195	243.00	7505.00	45.07	41.35	34.73
196	241.00	7505.00	40.90	51.43	29.86
197	239.00	7505.00	31.79	55.34	14.27
198	237.00	7505.00	38.70	54.11	19.25
199	235.00	7505.00	47.50	38.64	37.83
200	233.00	7505.00	41.23	53.53	31.42
201	231.00	7505.00	63.14	54.01	67.43
202	231.00	7503.00	49.21	38.07	45.66
203	233.00	7503.00	42.05	44.29	25.99
204	235.00	7503.00	44.59	48.83	31.16
205	237.00	7503.00	47.47	39.62	39.15
206	239.00	7503.00	35.20	48.74	19.45
207	241.00	7503.00	42.51	42.98	29.18
208	243.00	7503.00	31.37	56.48	17.49
209	245.00	7503.00	38.62	60.84	21.39
210	243.00	7501.00	38.22	43.81	24.06

(continua)

Continuação

211	241,00	7501,00	39,59	45,33	28,45
212	239,00	7501,00	34,43	43,50	18,54
213	237,00	7501,00	38,04	57,63	21,92
214	235,00	7501,00	45,16	44,64	32,76
215	233,00	7501,00	43,96	47,41	31,84
216	231,00	7501,00	56,00	44,67	59,53
217	231,00	7499,00	42,61	55,35	32,67
218	233,00	7499,00	39,39	50,88	26,53
219	235,00	7499,00	45,67	34,62	36,39
220	237,00	7499,00	45,07	33,44	35,96
221	239,00	7499,00	39,59	26,65	25,98
222	241,00	7499,00	42,20	36,24	27,74
223	243,00	7499,00	43,70	51,10	33,48
224	243,00	7497,00	46,56	43,48	36,39
225	241,00	7497,00	35,12	28,73	19,66
226	239,00	7497,00	42,41	36,71	27,15
227	237,00	7497,00	43,36	32,93	34,26
228	235,00	7497,00	39,99	41,90	29,37
229	233,00	7497,00	35,08	64,84	19,70
230	231,00	7497,00	44,42	42,15	37,05
231	243,00	7495,00	39,56	43,96	25,37
232	241,00	7495,00	35,46	50,55	19,27
233	239,00	7495,00	35,04	41,72	18,12
234	247,00	7505,00	39,90	68,45	22,67
235	249,00	7507,00	43,70	37,44	32,28
236	251,00	7507,00	46,71	34,77	26,27
237	253,00	7507,00	37,28	44,33	26,95
238	259,00	7505,00	40,35	46,58	36,22
239	261,00	7505,00	51,54	61,19	44,69
240	257,00	7505,00	49,34	54,88	39,86
241	255,00	7505,00	48,99	49,52	39,97
242	253,00	7505,00	42,78	51,52	34,98
243	251,00	7505,00	47,96	47,81	39,90
244	249,00	7505,00	35,75	57,18	28,92
245	247,00	7505,00	39,01	50,96	31,63
246	247,00	7503,00	34,63	66,54	17,74
247	249,00	7503,00	48,67	52,39	44,27
248	251,00	7503,00	51,57	46,76	44,73
249	253,00	7503,00	49,77	45,95	42,70
250	255,00	7503,00	58,39	52,68	49,87
251	257,00	7503,00	47,40	56,23	39,35
252	259,00	7503,00	53,25	65,87	51,56
253	259,00	7501,00	52,50	58,50	47,10
254	257,00	7501,00	46,37	54,81	35,82
255	255,00	7501,00	58,47	52,52	44,16
256	251,00	7501,00	46,64	48,31	41,79
257	249,00	7501,00	48,37	48,53	42,47
258	247,00	7501,00	52,25	50,38	47,07
259	245,00	7501,00	36,98	37,63	22,37
260	245,00	7499,00	41,56	47,19	26,12
261	247,00	7499,00	39,09	48,81	29,15
262	249,00	7499,00	45,53	63,26	36,29
263	251,00	7499,00	39,92	52,58	33,12

(continua)

Continuação

264	253,00	7499,00	51,51	44,73	50,91
265	255,00	7499,00	52,17	52,01	47,69
266	257,00	7499,00	40,68	59,18	34,83
267	259,00	7499,00	57,91	59,43	59,50
268	259,00	7497,00	46,47	57,83	42,00
269	257,00	7497,00	47,66	41,69	34,26
270	255,00	7497,00	72,21	62,55	71,93
271	253,00	7497,00	46,91	53,16	37,69
272	251,00	7497,00	38,59	48,23	31,71
273	249,00	7497,00	38,40	48,49	27,19
274	247,00	7497,00	32,58	49,62	20,73
275	245,00	7497,00	43,62	46,39	32,98
276	245,00	7495,00	47,78	53,94	38,62
277	247,00	7495,00	39,66	56,66	29,21
278	249,00	7495,00	40,06	62,25	37,21
279	251,00	7495,00	43,74	61,11	41,16
280	253,00	7495,00	39,20	61,17	33,76
281	255,00	7495,00	61,20	52,49	61,23
282	257,00	7495,00	47,32	49,23	39,87
283	259,00	7495,00	36,32	44,24	21,42
284	259,00	7493,00	48,99	54,85	48,63
285	257,00	7493,00	47,59	57,31	43,95
286	255,00	7493,00	49,62	49,46	47,48
287	217,00	7493,00	45,85	56,04	42,60
288	219,00	7493,00	47,42	54,79	38,16
289	221,00	7493,00	47,39	52,39	39,24
290	223,00	7493,00	33,12	47,53	19,34
291	225,00	7493,00	33,72	44,99	24,30
292	227,00	7493,00	44,10	43,48	39,35
293	227,00	7493,00	42,18	46,98	28,33
294	225,00	7493,00	54,01	44,16	41,89
295	223,00	7493,00	37,67	47,64	25,58
296	221,00	7493,00	41,49	48,05	29,74
297	219,00	7493,00	52,74	56,07	49,61
298	217,00	7493,00	38,73	63,25	29,63
299	217,00	7491,00	61,14	64,53	60,70
300	219,00	7491,00	56,77	47,30	53,99
301	221,00	7491,00	53,45	46,48	49,33
302	223,00	7491,00	51,82	54,62	46,36
303	225,00	7491,00	54,18	53,63	49,97
304	227,00	7491,00	39,01	43,82	33,07
305	217,00	7489,00	49,79	60,80	43,67
306	219,00	7489,00	50,39	48,02	47,07
307	221,00	7489,00	47,44	40,60	44,35
308	223,00	7489,00	47,35	48,07	42,05
309	225,00	7489,00	44,39	45,04	34,47
310	227,00	7489,00	43,33	36,63	29,91
311	227,00	7487,00	48,49	43,41	40,82
312	225,00	7487,00	51,59	51,96	44,15
313	223,00	7487,00	42,42	51,22	34,61
314	221,00	7487,00	52,76	45,69	55,87
315	219,00	7487,00	56,15	52,44	63,68
316	217,00	7487,00	49,86	46,46	49,35
317	229,00	7493,00	42,53	51,82	30,06

(continua)

Conclusão.					
318	231,00	7493,00	37,60	47,70	26,62
319	233,00	7493,00	38,96	44,56	27,28
320	235,00	7493,00	42,02	34,15	31,53
321	237,00	7493,00	36,45	41,43	24,79
322	239,00	7493,00	37,43	50,30	23,53
323	241,00	7493,00	39,64	44,34	26,00
324	241,00	7491,00	37,26	42,09	22,06
325	239,00	7491,00	42,17	38,46	27,61
326	237,00	7491,00	38,39	41,62	25,24
327	235,00	7491,00	39,24	36,98	24,55
328	233,00	7491,00	44,39	37,93	32,54
329	231,00	7491,00	46,19	51,06	43,20
330	229,00	7491,00	46,92	39,59	33,16
331	229,00	7489,00	49,35	54,04	41,28
332	231,00	7489,00	36,92	49,96	19,54
333	233,00	7489,00	42,10	49,70	26,63
334	235,00	7487,00	44,10	47,52	31,65
335	237,00	7489,00	46,16	45,66	34,56
336	239,00	7489,00	54,79	47,96	44,93
337	241,00	7489,00	37,61	37,04	21,95
338	241,00	7487,00	38,42	49,78	22,39
339	239,00	7487,00	58,35	59,41	55,90
340	245,00	7452,00	43,49	54,10	38,64
341	245,00	7491,00	56,24	56,17	53,90
342	247,00	7491,00	43,09	70,15	45,05
343	249,00	7491,00	55,93	66,41	51,00
344	251,00	7491,00	36,12	69,36	32,59
345	253,00	7491,00	37,64	49,16	29,86
346	255,00	7491,00	44,00	66,17	37,48
347	243,00	7489,00	70,50	62,20	69,38
348	245,00	7489,00	56,31	77,92	46,57
349	247,00	7489,00	42,40	54,47	26,92
350	249,00	7489,00	39,87	55,99	29,94
351	251,00	7489,00	52,44	53,28	46,39
352	253,00	7489,00	45,93	57,00	41,64
353	255,00	7489,00	49,22	42,42	52,19
354	257,00	7489,00	50,97	55,65	47,07
355	257,00	7487,00	68,64	55,37	68,43
356	255,00	7487,00	53,69	63,05	56,66
357	253,00	7487,00	44,12	53,40	34,95
358	251,00	7487,00	42,54	47,58	32,33
359	249,00	7487,00	54,28	55,19	48,55
360	247,00	7487,00	64,21	60,71	64,21
361	245,00	7487,00	45,13	36,83	40,11
362	243,00	7487,00	64,44	55,15	64,50

APÊNDICE B

MAPA DE INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOLÓGICOS



APÊNDICE C

MAPA DAS COBERTURAS DE ALTERAÇÃO

