

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

APLICAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO  
MULTIESPECTRAL NA DETECÇÃO DE ANOMALIAS  
GEOBOTÂNICAS ASSOCIADAS A ALTERAÇÃO  
HIDROTERMAL NO GRUPO SERRA DO ITABERABA, SP

Rosely Kimie Teruiya

Orientador: Prof. Dr. Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida  
Co-Orientador: Prof. Dr. Caetano Juliani

Monografia de Trabalho de Formatura

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

APLICAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO  
MULTIESPECTRAL NA DETECÇÃO DE ANOMALIAS  
GEOBOTÂNICAS ASSOCIADAS A ALTERAÇÃO  
HIDROTERMAL NO GRUPO SERRA DO ITABERABA, SP

DEDALUS - Acervo - IGC



30900002773

Rosely Kimie Teruiya

Orientador: Prof. Dr. Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida

Co-Orientador: Prof. Dr. Caetano Juliani



Monografia de Trabalho de Formatura

SÃO PAULO  
1998

*"Ao meu Avô, que há muito tempo atrás,  
decidiu dar um futuro melhor aos seus netos".*

## Sumário

	<b>Página</b>
<b>Lista de figuras</b>	ii
<b>Lista de tabelas</b>	ii
<b>Lista de fotos</b>	iii
<b>Lista de anexos</b>	iii
<b>Resumo</b>	iv
<b>Abstract</b>	v
<b>Agradecimentos</b>	vi
<b>1. Introdução</b>	1
<b>2. Trabalhos Anteriores</b>	2
<b>2.1. Geologia Regional</b>	2
<b>2.2. Geologia Local</b>	3
<b>2.3. Comportamento Espectral de Coberturas Vegetais e a Geobotânica</b>	5
<b>2.4. Geobotânica por Sensoriamento Remoto no Brasil</b>	8
<b>3. Objetivos e Relevância do Trabalho</b>	10
<b>4. Materiais e Métodos</b>	11
<b>4.1. Processamento Digital das Imagens</b>	11
<b>4.2. Correção Geométrica das Imagens</b>	13
<b>4.3. Modelo Digital de Terreno</b>	16
<b>4.4. Trabalhos de Campo</b>	16
<b>4.5. Preparação de Amostras para Análises</b>	17
<b>5. Desenvolvimento do Trabalho</b>	18
<b>6. Resultados Obtidos</b>	19
<b>6.1. Processamento da Imagem 1</b>	19
<b>6.2. Processamento da Imagem 2</b>	28
<b>6.3. Correção Geométrica das Imagens</b>	33
<b>6.4. Modelo Digital de Terreno</b>	36
<b>6.5. Trabalhos de Campo</b>	39
<b>6.6. Análises Químicas</b>	45
<b>7. Discussão dos dados</b>	47
<b>7.1. Interpretação das Imagens</b>	47
<b>7.2. Interpretação dos Resultados Analíticos</b>	47
<b>8. Conclusões</b>	49
<b>9. Referências Bibliográficas</b>	50

## **Lista de figuras**

<b>Nº da figura</b>	<b>Título da figura</b>	<b>Página</b>
1	Localização da área e acessos	1
2	Mapa geológico das zonas de alteração hidrotermal-metassomática	4
3	Tela de trabalho do software Er-Mapper	12
4	Utilização do Er-Mapper para definição dos pontos de controle (GCP)	14
5	Comparação entre os pixels de uma imagem original e uma imagem gerada no processo de Reamostragem	15
6	Interpolação de pixels pelo Método de Vizinhos mais Próximos	15
7	Imagen 1, TM-Landsat WRS 219/76/D (30/08/89)	20
8	Áreas de amostragem – zonas alteradas	22
9	Imagen 1 - Classificação por leitura de pixels	24
10	Imagen 1 - Utilização do Método de Okada	26
11	Imagen 2 - TM-Landsat WRS 219/76 (03/12/85)	29
12	Imagen 2 - Classificação por leitura de pixels	31
13	Imagen original "formato RAW"	34
14	Imagen corrigida "formato E, N"	35
15	Modelo Digital de Terreno com sombreamento	37
16	Modelo Digital de Terreno com litotipos predominantes	38
17	Diagrama de análise multivariante de parâmetros de solo	48

## **Lista de tabelas**

<b>Nº da tabela</b>	<b>Título da tabela</b>	<b>Página</b>
1	Valores médios de cada banda obtidos na leitura de pixels	21
2	Imagen 1 – Fórmula para separação das zonas alteradas	23
3	Imagen 1 – Estatísticas	25
4	Imagen 2 – Fórmula para separação das zonas alteradas	30
5	Imagen 2 – Estatísticas	32
6	Resultado de quatro análises de solos	45
7	Resultado de cinco análises de folhas	46

### **Lista de fotos**

<b>Nº da foto</b>	<b>Título da foto</b>	<b>Página</b>
1	Vista geral das sequências do Grupo Serra do Itaberaba	42
2	Marantaceae <i>calathea</i> sp.	42
3	Copa das árvores, dossel mais aberto	43
4	Vista de "ilhota" de marantaceas presentes num dossel mais aberto	43
5	Típica marantacea sob solo de alteração de granada-cordierita cummingtonita/antofilita anfibolito	44

### **Lista de Anexos**

- 1 Imagem 1 - Áreas de Amostagem, Zonas Alteradas
- 2 Imagem 1 - Áreas de Amostagem, Encaixantes
- 3 Imagem 1 – Histogramas, Zonas Alteradas
- 4 Imagem 1 – Histogramas, Encaixantes
- 5 Imagem 2 - Áreas de Amostagem, Zonas Alteradas
- 6 Imagem 2 - Áreas de Amostagem, Encaixantes
- 7 Imagem 2 – Histogramas, Zonas Alteradas
- 8 Imagem 2 – Histogramas, Encaixantes

Este trabalho apresenta resultados de aplicação de sensoriamento remoto na identificação de anomalias geobotânicas na Serra do Itaberaba, Guarulhos, SP. Estas anomalias estão condicionadas pela complexa geologia da região, aparecendo sobre rochas alteradas hidrotermalmente, principalmente granada-cordierita-cummingtonita/antofilita anfibolito.

Para discriminar estas zonas alteradas foram utilizadas duas imagens TM-Landsat de diferentes estações do ano, primavera e inverno, a fim de comprovar a eficiência do método em diferentes condições de temperatura, pluviosidade, insolação e estágio do ciclo fenológico. Para o realce das anomalias foram feitos diversos processamentos orientados, inclusive utilizando operações aritméticas juntamente com a análise por principais componentes. A leitura de pixels das zonas alteradas, bem como a análise estatística das duas imagens, também foram muito importantes no processo de separação das áreas.

Para o reconhecimento da região, foram feitas duas etapas de trabalhos de campo, onde foi confirmado comportamento anômalo de um vegetal específico, denominado *Marantaceae calathea sp.* Esta planta apresenta freqüente gigantismo e maior distribuição em solos sobre as rochas mais intensamente alteradas. Não foram desenvolvidos estudos sistemáticos em fitosociologia e florística, mas observações em campo mostraram haver alterações entre os elementos observados, aparentemente relacionadas com o substrato rochoso dominante. Foram coletadas amostras de solos e plantas para verificar a existência de macro e micro-nutrientes discriminadores em solos sobre rochas sem alteração e intensamente alterados.

Finalmente foram feitas as correções geométricas das imagens e o modelo digital de terreno, a fim de estabelecer relações das áreas anômalas com a topografia do terreno e também para identificar nas imagens os pontos visitados em campo.

Todas estas informações integradas geraram um trabalho de caráter multidisciplinar, contando com o auxílio de pesquisadores nas áreas de geologia e petrologia, ecologia e sensoriamento remoto. Esta necessária multidisciplinaridade é, possivelmente, uma das causas de poucas pesquisas deste tipo serem desenvolvidas no país.

## **Abstract**

v

*This work presents results of remote sensing application in the identification of geobotanic anomalies in the Serra do Itaberaba, Guarulhos, SP. These anomalies are conditioned by the complex geology of the area, appearing on hidrothermally altered rocks, mainly garnet-cordierite-cummingtonite/anthophyllite amphibolite.*

*To discriminate these altered zones, two TM-Landsat images of different season , spring and winter, were used in order to check the efficiency of the method in different temperature conditions, rainfall, heatstroke and phenologic cycle stage. To anomalies enhancement several guided image processings were made, including arithmetic operations plus principal component analysis. The pixels determination of altered zones, as well as the statistical analysis of the two images, were also very important in the process of classification of areas.*

*The field recognition of the area was made on two stages, where it was identified the anomalous behavior of a specific plant, called Marantaceae calathea sp. This plant often presents gigantism and larger distribution in soils where rocks are more intensively altered. Systematic studies in phyto-sociology and floristic were not developed, but field observations showed that there are alterations among the observed elements, seemingly related with the dominant rocky substratum. Samples of soils and plants were collected to verify the existence of discriminating macro and micro-nutrients in soils, developed upon rocks without alteration and intensely altered.*

*Finally, geometric corrections of the images and the digital elevation model were performed, in order to establish relationships of the anomalous areas with the topography and also to locate in the images the sites investigated during field work.*

*All these integrated information resulted in a study of multidisciplinary character, participation of researchers in the fields of geology, petrology, ecology and remote sensing. This necessary multidisciplinarity is, possibly, one of the causes to have few studies of this nature developed in Brazil.*

## Agradecimentos

Especialmente ao orientador, Prof. Dr. Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida, por todo tempo em que trabalhamos juntos, sempre me apoiando e incentivando nas nossas pesquisas, onde demonstrou a função de um orientador e a preocupação de um grande amigo em me tornar uma profissional competente. Apesar da correria do dia-a-dia e dos momentos de desespero que passamos, este trabalho encerra uma importante etapa da minha vida, onde a sua presença foi inestimável.

Ao co-orientador, Prof. Dr. Caetano Juliani, profundo conhecedor da área e sempre disposto a auxiliar nas dúvidas mais cruciais da pesquisa. Sem dúvida, sua participação foi fundamental para o caminhamento e realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Sérgio Tadeu Meirelles do Departamento de Ecologia (IB-USP), que foi na verdade um segundo co-orientador, pela sua valiosa contribuição em toda a parte botânica da pesquisa, questão que enriqueceu muito este trabalho.

Aos técnicos do Laboratório de Triagem do Departamento de Ecologia - USP, que auxiliaram na preparação das amostras e ao Instituto Agronômico de Campinas, onde foram realizadas as análises químicas.

Aos geólogos Marco Aurélio Bonfá Martin e Annabel Pérez Aguilar, sempre dispostos a ajudar nas dúvidas sobre a geologia da área.

Ao geólogo Fábio Cardinale Branco, pelas sugestões durante o andamento deste trabalho.

Ao geólogo Marcos Souza Campos, pelas longas e divertidas conversas ao longo destes anos, em suas esporádicas visitas ao instituto.

Aos amigos Alexandre Carnier e Márcia Mika Saito, que ajudaram com muita boa vontade em alguma parte deste trabalho, mesmo tendo que fazer o deles também.

Aos demais amigos que não citarei nomes, pois seria injusto colocá-los numa ordem, por todos os momentos que passamos juntos (excursões, cafés, shoppings, pizzas, McDonald's, etc.), fortalecendo a amizade a cada dia.

Ao Fábio Luiz de Almeida Silva, pela enorme paciência durante todo tempo de curso e pela disposição em, mesmo assim, querer continuar pelo resto da vida.

Ao meu irmão Eduardo, que em todo início de mês, me possibilitou morar aqui em São Paulo, reconhecendo a importância da minha formação.

Aos meus pais e à toda a minha família, por TUDO, que eles representam na minha vida.

E finalmente, ao Fusca Azul, que "literalmente" me acompanhou durante todos estes anos, nesta incansável batalha do dia-a-dia.

## 1. Introdução

A detecção, por sensoriamento remoto, de zonas de alteração hidrotermal em climas áridos e semi-áridos vêm se tornando comum. Porém, quando se trata de regiões tropicais recobertas por florestas, tais ambientes podem ser detectados apenas indiretamente, por anomalias geobotânicas. E, neste caso, a literatura disponível ainda é escassa.

Este projeto visa a detecção de anomalias geobotânicas em clima tropical úmido, através de processamento digital de imagens. Para tal foram utilizadas as seis bandas do espectro refletido disponíveis do sensor TM do satélite Landsat 5.

A área de estudo engloba terrenos pertencentes ao Grupo Serra do Itaberaba, localizado no município de Guarulhos, SP. Esta região foi recentemente estudada, verificando-se em campo a presença de uma espécie vegetal (*Marantaceae Calathea sp.*), comum no sub-bosque da Mata Tropical Atlântica, mas que, sobre rochas alteradas hidrotermal-metassomaticamente, apresenta-se hiperdesenvolvida. A partir desta constatação foram feitos os primeiros processamentos em imagem desta área, onde foram obtidos resultados bastante satisfatórios (Ribeiro de Almeida et al, 1995).

A região a ser abordada neste projeto é essencialmente a mesma do trabalho acima citado, localizando-se a 35 km a nordeste da cidade de São Paulo (figura 1), em terrenos do Grupo Serra do Itaberaba, conforme definido por Juliani (1993). A idade desta seqüência é ainda incerta (entre o Proterozóico Médio e Inferior). Juliani (1993) subdividiu este grupo em três formações, respectivamente da base para o topo: Fm. Morro da Pedra Preta, Fm. Nhanguçu e Fm. Pirucaia. São conhecidas diversas mineralizações em ouro na Fm. Morro da Pedra Preta, tanto primárias (sin e epigenéticas) como secundárias.

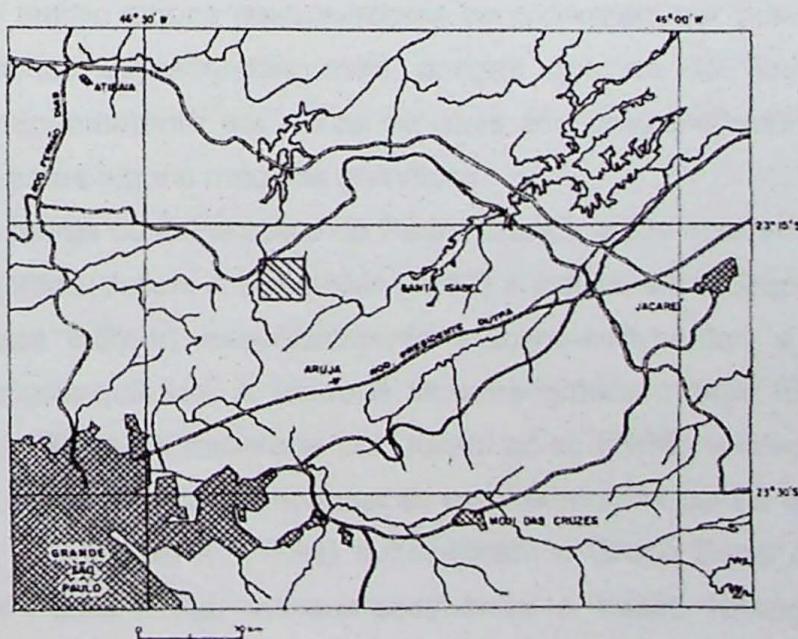


figura 1 - Localização da área e acessos (extraído de Juliani, 1993)

## 2. Trabalhos Anteriores

As referências utilizadas foram obtidas principalmente nas bibliotecas do Instituto de Geociências-USP, Instituto de Geociências-UNICAMP e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

### 2.1. Geologia Regional

A região insere-se no contexto geotectônico dos *Paraibides* de Ebert (1967), denominado de Cinturão Ribeira por Almeida et al. (1973), onde as rochas supracrustais das faixas São Roque e Açungui compõem o Sistema de Dobramentos de Apiaí (ou Faixas de Dobramentos São Roque e Açungui para Hasui et al., 1978).

As rochas supracrustais que constituem os grupos Serra do Itaberaba e São Roque afloram sob a forma de uma faixa com mais de 180 km de comprimento e 50 km de largura máxima, que se acunha no sentido nordeste até as proximidades de Monteiro Lobato.

A faixa está delimitada a norte pelos complexos Amparo e Paraíba do Sul (ou Igaratá), através da Zona de Cisalhamento de Jundiuvira; a sul pelo Complexo Embu, através das falhas de Taxaquara, Rio Jaguari e Monteiro Lobato, e a oeste pelos sedimentos permo-carboníferos do Grupo Tubarão.

A introdução do termo São Roque na literatura é devida a Oliveira (1925) ao apresentar dados analíticos de calcários, alguns dos quais provenientes do que denominou Série de São Roque. A redefinição da Série para Grupo São Roque (GSR) foi efetuada por Lefèvre et al. (1963), com a publicação do Mapa Geológico do Estado de São Paulo, na escala de 1:1.000.000.

Durante muito tempo alguns pesquisadores consideraram ser possível a existência de seqüência de rochas supracrustais mais antigas que as do Grupo São Roque, representadas predominantemente por xistos de mais alto grau metamórfico, comumente aflorantes nos arredores de alguns maciços graníticos.

Na região das serras do Itaberaba e da Pedra Branca, onde ocorrem estas rochas de mais alto grau metamórfico, Juliani & Beljavskis (1983) subdividiram o Grupo São Roque em duas sequências, uma inferior, essencialmente vulcâno-sedimentar, e outra superior, predominantemente clasto-química. A unidade litoestratigráfica inferior foi posteriormente denominada de Grupo Serra do Itaberaba por Juliani et al. (1986) e considerada como o embasamento do Grupo São Roque, denominação esta restringida para a unidade superior.

Juliani (1993) e Juliani et al. (1994) subdividiram o Grupo Serra do Itaberaba nas formações Morro da Pedra Preta, vulcâno-sedimentar e basal; Nhanguçu, superior e composta essencialmente por metapelitos com andaluzita, metapelitos ricos em ferro e manganês, com lentes de cátio-pelitos e rochas carbonáticas subordinadas; Pirucaia,

representando predominantemente antigos corpos psamíticos de partes marginais da bacia deposicional. O Grupo São Roque está representado, na região, por filitos, ritmitos, metarcóseos e metaconglomerados da Formação Piragibú.

## 2.2. Geologia Local

Na região afloram litotipos do Grupo Serra do Itaberaba - GSI (conforme definido por Juliani *et al.*, 1986) e do Grupo São Roque, originalmente denominado Série São Roque por Oliveira (1925). A idade do GSI é ainda incerta, entre o Proterozóico Médio e Inferior.

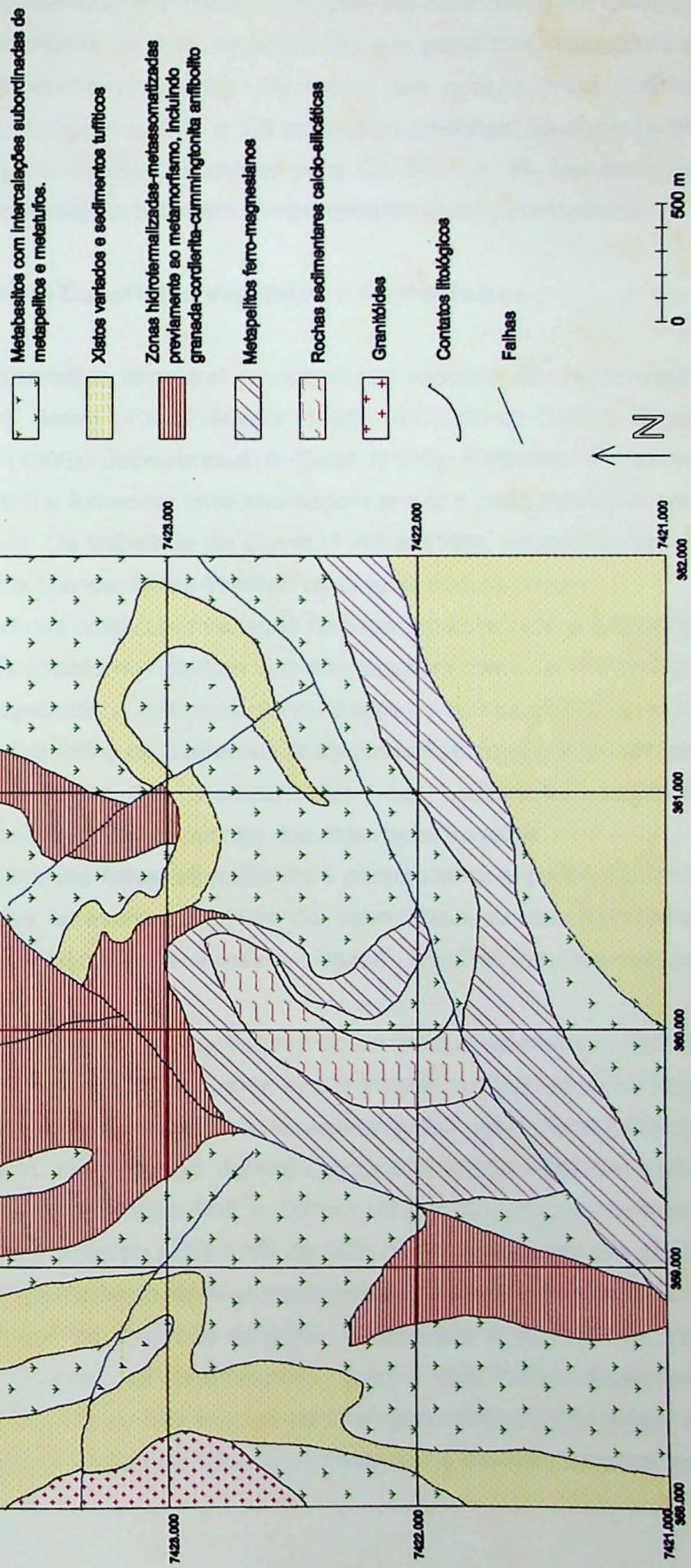
O Grupo Serra do Itaberaba foi dividido por Juliani (1993) em três formações, respectivamente, do topo para a base, Fm. Pirucaia, Fm. Nhanguçu e Fm. Morro da Pedra Preta. Esta última, basal, é a que se relaciona com o estudo proposto. Compõe-se essencialmente de anfibolitos, anfibólito xistos, metabasitos, xistos diversos, rochas cálcio-silicáticas, formações ferríferas (BIFs-banded iron formation do tipo Algoma) com rochas metavulcano/vulcanoclásticas intermediárias a ácidas, cordierita-granada-cummingtonita anfibolitos, granada anfibolitos, biotita anfibolitos, metacherts com hematita e/ou magnetita e margarita-coríndon xistos. Parte da Fm. Morro da Pedra Preta, na área em que se desenvolveu o projeto, foi estudada em detalhe por Pérez Aguilar (1996), sendo a base geológica a ser utilizada (*figura 2*).

Os anfibolitos, menos alterados, preservam ainda as estruturas e texturas dos metabasitos não alterados, possuindo maior quantidade de anfibólito (actinolita, substituindo hornblenda), biotita freqüente e menor volume de plagioclásio. Com o incremento da alteração surge granada e o anfibólito passa a uma hornblenda magnesiana. Nas zonas de alteração mais intensa a hornblenda é substituída por cummingtonita, sendo aí também abundantes cordierita e granada. Plagioclásio cárlico (labradorita-bytownita) e quartzo são também freqüentes e, subordinadamente, ocorrem hornblenda, clorita, estaurolita, rutilo, ilmenita, magnetita, zircão e apatita. Em algumas amostras ocorre antofilita-gedrita, em outras carbonatos e flogopita, por vezes com magnetita em abundância. Na base destes corpos podem estar associados granada anfibolitos, rochas meta-intermediárias ricas em cordierita e cummingtonita e metabasitos e/ou metatufo originalmente carbonatizados e hoje variavelmente cálcio-silicáticos.

São reconhecidas diversas ocorrências de ouro no GSI, concentradas quase que totalmente na Fm. Morro da Pedra Preta (Beljavskis *et al.*, 1993). Podem ser primárias ou secundárias. As primárias podem ser divididas em singenéticas e epigenéticas, as quais, alteradas por intemperismo e retrabalhadas mecanicamente deram origem a depósitos eluvionares, coluvionares e aluvionares, lavrados por garimpos até o século XIX. As mineralizações primárias singenéticas predominam, ocorrendo concordantemente entre rochas metavulcânicas e metapelitos ou ainda em metabasitos.

**figura 2**  
**MAPA GEOLÓGICO DAS ZONAS DE  
 ALTERAÇÃO  
 HIDROTERMAL-METASSOMÁTICA**  
 (Simplificado de Pérez Aguilar, 1996)

**LEGENDA**



Ainda segundo aqueles autores, as mineralizações epigenéticas se associam preferencialmente às formações ferríferas e a metavulcanoclásticas cisalhadas, em veios de quartzo sulfetados ou manganesíferos. O ouro se apresenta em geral livre, associado a covelina, calcopirita e subordinadamente a pirita. Os teores em ouro e prata variam, respectivamente, entre 0,11 e 11,2 ppm e 0,05 a 1,8 ppm, com amostras puntiformes de ouro alcançando mais de 25 ppm. Análises químicas para Cu, Pb, Zn, W, Mo e As de amostras dos dois tipos de mineralizações mostram comportamento muito heterogêneo.

### **2.3. Comportamento Espectral de Coberturas Vegetais e a Geobotânica**

Estudos sobre o comportamento espectral de coberturas vegetais são numerosos, como Knippling (1970), Blasco & Bellan (1978), Sellers (1985, 1987), Grant (1987), Guyot (1988, 95), Achard & Blasco (1990), Jacquemoud & Baret (1990), Hoffmann & Kirchof (1991), Kirchof & Hoffmann (1991) e fornecem uma abordagem ampla e clara sobre o tema, que não apresenta controvérsias. Os trabalhos de Guyot (1988 e 1995), complementados por outros autores entre os acima citados, foram fonte do curto texto que se segue.

A reflectância bidirecional das coberturas vegetais no espectro solar (300 a 3.000nm) depende tanto das propriedades ópticas das plantas que as compõem como de seu arranjo espacial e ainda das do solo subjacente. A interpretação de dados de sensoriamento remoto exige o conhecimento de relações entre os diferentes fenômenos físicos que intervêm no processo: as propriedades ópticas dos componentes das coberturas vegetais (essencialmente das folhas) e as propriedades ópticas das coberturas vegetais.

O comportamento espectral das folhas clorofílicas é característico e pouco variável. As regiões do espectro em que apresentam feições de absorância ou de reflectância exacerbada pouco variam de espécie para espécie vegetal, alterando-se apenas as amplitudes das feições.

No espectro de reflectância das folhas podem ser observados 3 domínios, o visível (400 a 700nm), o infravermelho próximo (700 a 1.300nm) e o infravermelho médio (1.300 a 2.500nm). No primeiro, há importante absorância ensejada pelos pigmentos foliares, principalmente em 450 e 660nm. No segundo domínio, ocorre a feição espectral mais significativa, conhecida como *red edge*: entre 700 e 750nm há um abrupto aumento da reflectância, que passa de poucos porcento a até mais de 50%, persistindo como um platô de elevada reflectância. Este comportamento deve-se essencialmente à estrutura anatômica das folhas e à ausência de bandas de absorção da água. A absorção é muito tênue, da ordem de 10%. No terceiro domínio, as propriedades ópticas das folhas devem-se essencialmente ao seu teor em água, com três bandas de absorção relativamente largas e intensas, a 1.450, 1.950 e 2.200nm. Todo este intervalo, entretanto, é também sensível ao teor intrafoliar em água.

As propriedades direcionais das folhas compõem outro parâmetro importante, com a reflectância e a transmitância dependendo da interação de dois processos diferentes: a reflectância e transmitância difusa, que dependem da estrutura interna das folhas e de seu conteúdo em água e pigmentos, e a reflexão espelhada sobre a superfície cerosa da cutícula. Esta última é praticamente independente do comprimento de onda, sendo função do ângulo de visada, enquanto a reflectância difusa, ao contrário, é relativamente fraca no visível e forte no infravermelho próximo, onde a superfície foliar apresenta comportamento lambertiano.

A este comportamento geral, são acrescentados comportamentos também característicos, como a senescência. Nela ocorre o *red shift* (deslocamento para maiores comprimentos de onda) do pico de reflectância no visível e o *blue shift* (deslocamento para menores comprimentos de onda) do *red edge*. A senescência é evento natural, mas diversos estudos mostram que a presença de metais pesados no solo induz alterações (bem descritas) no comportamento sazonal das folhas de vegetação caducifólia.

Na abrangente revisão sobre aplicações de sensoriamento remoto à prospecção mineral, Goetz *et al.* (1983) citam numerosos resultados positivos da aplicação da geobotânica, obtidos tanto com a utilização de sensores de alta resolução espectral (aeroportados ou em laboratório) como sensores de baixa resolução, como as imagens MSS-Landsat (Masuoka *et al.*, 1982). De uma forma geral, os trabalhos exploram o deslocamento do *red edge* e alterações no ciclo fenológico, com a vegetação estressada por metais apresentando senescência precoce e rebrota tardia, bem como aumento de reflectância entre 0,63 e 0,69  $\mu\text{m}$  e entre 1,55 e 1,75  $\mu\text{m}$ , o primeiro por perda em clorofila e o último por diminuição do conteúdo foliar em água, efeitos habituais em vegetação estressada quimicamente.

Darch & Barber (1983) encontraram, sobre substratos comuns, intensa variação sazonal da concentração de metais nas folhas, implicando em maior ou menor toxicidade de um mesmo metal ao longo do ano. Banninger (1991) apresenta resultados de acompanhamento de dois grupos de *Norway spruce* (abeto da Noruega) crescendo por dois anos, um sobre solos normais e outro sobre solos com alta concentração de cobre, chumbo e zinco. A vegetação estressada por metais apresenta menores dimensões e, por vezes, evidências de clorose. A alteração mais significativa da reflectância deu-se no verão, na intensidade da resposta do platô no infravermelho próximo. Os resultados deste estudo, por um lado, demonstram adaptabilidade da vegetação a teores anômalos de metais no solo. Por outro lado, demonstram a rapidez da instalação de estresse químico, o qual, certamente, a longo prazo, estabelecerá diferenças maiores entre vegetações estressadas e não estressadas, bem como na seleção de espécies, implicando em alterações florísticas. O mesmo autor, trabalhando com prospecção geobotânica no Cinturão de Pírita, na Europa, utilizou essencialmente operações aritméticas e análise por principais componentes nos

processamentos de imagens TM e MSS. O autor concluiu que a banda mais eficiente para a detecção de estresse por metais é a TM4, seguido pela TM1.

Labovitz *et al.* (1984) examinando a relação entre o espectro da vegetação e a concentração de zonas mineralizadas em Virgínia, EUA, concluiu que a reflectância nas bandas TM3 e TM5 da vegetação "mineralizada" era maior do que a não mineralizada no final do verão e início do outono. Este é mais um fato que evidencia a necessidade da análise multitemporal em pesquisas deste tipo. Em outro trabalho, Labovitz *et al.* (1985) afirmam que cerca de 40 a 60% das variações de comportamento espectral devem-se às mineralizações e que há necessidade de estudos comparativos locais, nem sempre sendo possível transpor experiências de um sítio para outro.

Milton & Mouat (1984) exaltam a interação da biogeoquímica e geobotânica, como uma grande ferramenta na exploração mineral, bem como na agricultura, no florestamento e monitoramento ambiental.

Dutartre & King (1986) apresentam denso trabalho sobre sensoriamento remoto em geobotânica aplicado à pesquisa geológica e mineira, no Maciço de Rhodope, Grécia. Muitos aspectos deste trabalho possuem características regionais, diferentemente desta pesquisa. Entretanto devem ser salientados:

- ⇒ em meios com cobertura vegetal importante, além de estudos radiométricos para confirmar a anomalia, em laboratório ou *in situ*, esta abordagem (sensoriamento remoto em geobotânica) deve ser complementada por estudos sistemáticos, com inventário das condições geobotânicas "normais" da região em pesquisa e daquelas não conformes a esta "norma";;
- ⇒ deve-se definir "unidades de paisagem" e nelas abordar, em diferentes escalas, sua morfologia, sua cobertura vegetal, sua geologia...;
- ⇒ para cada unidade de paisagem os seguintes critérios descritivos devem ser observados:
  - homogeneidade local
  - morfologia
  - hidrologia
  - indicações estruturais
  - vegetação
    - ◆ tipo dominante (natureza, densidade)
    - ◆ tipo secundário (natureza, densidade)
    - ◆ associação com o tipo morfológico
    - ◆ papel antrópico ou acidentes.
- ⇒ escolher os locais pouco alterados pelo homem para as observações.
- ⇒ parâmetros geológicos: litologia, fraturamento (tipo e densidade)

⇒ parâmetros botânicos: inventário florístico (fito-sociologia), geometria da cobertura, estado fito-sanitário

Em suma, estes autores observam que, "em botânica, o objetivo é identificar as populações e caracterizar suas estruturas, de forma a não reter senão os parâmetros mais representativos dos locais de estudo e os relacionar com os parâmetros geológicos".

Numerosos outros trabalhos, no exterior, com resultados positivos da aplicação de geobotânica por sensoriamento remoto, como Milton (1981), Lefèvre (1982), Mouat (1982), Horler & Bruce (1985), Banninger (1988, 1991), Rock (1987), Minor *et al.* (1988), Hornsby *et al.* (1987, 1988), Tapper & Dempsey (1988), Hodcroft & Moore (1988), Torcoletti & Birnie (1988), Saraf & Cracknell (1989), Wagner *et al.* (1989), Rothfus *et al.* (1991), Dyer (1994), entre outros, demonstram que, mesmo não sendo uma técnica simples, apresenta potencial de aplicação em regiões com extensas coberturas de matas.

#### **2.4. Geobotânica por Sensoriamento Remoto no Brasil**

Como visto acima, apesar da complexidade do método, em regiões de clima temperado e frio, a interação rocha-solo-vegetação intensa e o ciclo fenológico muito marcado permitem a identificação de anomalias geobotânicas. Outro aspecto que concorre a favor de climas temperados a frios é a menor riqueza da biodiversidade, que implica em menor número de parâmetros envolvidos no processo. O fenômeno da senescência sazonal, relativamente ausente em climas tropicais, dificulta a aplicação do método nestes ambientes. Por estes motivos, a aplicação de geobotânica em florestas tropicais úmidas parece não ter o mesmo sucesso, com os poucos resultados positivos sendo devidos ou a condições excepcionais do terreno ou a correlação com os atributos espaciais do terreno (Paradella & Bruce, 1990).

A fraca interação rocha-solo-vegetação e a complexidade do ambiente são as prováveis causas para os insucessos neste tipo de abordagem (Lyon, 1975 *apud* Paradella & Bruce, 1990; Amaral, 1982). Realmente, ambientes como a Floresta Amazônica são, em princípio, pouco adequados para a metodologia, no atual estágio do conhecimento, pois a interação rocha/solo é extremamente reduzida, com a maior contribuição do substrato dando-se, principalmente, de forma indireta, pela relação rocha/relevo, como sugerem os resultados de diversos trabalhos, (Amaral, 1982; Almeida Filho, 1984, Paradella *et al.*, 1984 e Paradella, 1992), todos desenvolvidos na região Amazônica. Mesmo assim, Amaral (1982) cita possível condicionamento geoquímico da cobertura vegetal.

Trabalhos pioneiros como o de Carraro (1971) e, principalmente, Nascimento & Chen (1976) já apresentavam objetivos muito parecidos com o desta pesquisa. Trabalhando em Vazante, Minas Gerais, Nascimento & Chen (1976) apresentaram dados muito raros de serem encontrados em trabalhos deste caráter, como os efeitos que alguns metais podem

causar nos vegetais. Além disso, as análises químicas de vegetais e solos indicaram zonas mineralizadas, que foram separadas em transparências positivas de filme infravermelho colorido, com resultados satisfatórios. São ainda encontradas simples menções, como em Ferreira & Ribeiro de Almeida (1989), que citam diferenças na cobertura vegetal sobre falhas potencialmente mineralizadas em fluorita, em Santa Catarina. Em raras exceções, como Silva & Rosa (1989), Paradella & Bruce (1990), Almeida Filho & Castelo Branco (1992), Paradella & Vitorello (1995), Almeida Filho et al. (1996) e Almeida Filho & Vitorello (1996) vão à frente, correlacionando espécies ou comunidades vegetais com o substrato mas, mesmo assim, nem sempre fazendo um trabalho botânico sistemático ou multitemporal, como já demonstrava ser necessário Almeida Filho (1984).

O nordeste brasileiro apresenta locais de alta potencialidade para a aplicação da metodologia, pela necessariamente grande interação, quase direta, rocha/vegetação, como mostram Paradella & Bruce (1990) e, principalmente, Paradella & Vitorello (1995), que encontraram excelente correlação de espécies vegetais e da densidade da cobertura vegetal com as rochas subjacentes e Almeida Filho & Castelo Branco (1992), que mostram haver associação de gramíneas com rochas kimberlíticas, em contraste com vegetação de maior porte nas encaixantes, fato facilmente identificado em imagens TM da estação seca, quando apenas a vegetação de porte persiste verde. No Centro-Oeste, Almeida Filho & Vitorello (1996) e Almeida Filho et al. (1996) mostram a possibilidade de detecção de alvos com alteração hidrotermal em áreas vegetadas, por comportamento diferenciado da cobertura vegetal. O sul do Brasil também tem amplas regiões com solos rasos e fortemente controlados pelo substrato geológico, fornecendo claros indicadores geobotânicos, que auxiliam grandemente a utilização do sensoriamento remoto geológico regional (Ribeiro de Almeida et al., 1995a, 1997). No sudeste brasileiro a relação rocha/vegetação foi descrita por Amaral (1992), como anomalias geobotânicas no Vale do Ribeira, onde o autor correlacionou o comportamento da vegetação com diversas unidades litoestratigráficas.

Os trabalhos citados indicam ser potencialmente viável o desenvolvimento de pesquisas, no país, nesta área do conhecimento, mesmo havendo dificuldades em relação aos métodos utilizados e ao clima regional.

### 3. Objetivos e Relevância do Trabalho

O objetivo deste trabalho é avançar no processamento digital de imagens, melhorando o realce das anomalias geobotânicas e procurando diferenciá-las das respostas espúrias. A comparação de duas imagens, de diferentes datas, é fundamental para uma análise multitemporal dos dados. Para este fim, foi utilizado o software ER-Mapper 5.5, disponível no Laboratório de Informática Geológica do IG-USP.

A região objeto desta pesquisa foi escolhida por apresentar, ao mesmo tempo, interesse geológico e anomalias geobotânicas identificadas no campo, o que é incomum. Estas feições são muito raras em climas tropicais úmidos e não seriam visíveis em uma imagem não processada, exigindo para seu realce processamentos orientados.

A obtenção de bons resultados nesta região, abre a possibilidade de se aprimorar a metodologia de processamento digital de imagens e expandir este método para outras áreas do Grupo Serra do Itaberaba.

Os resultados obtidos serão um importante passo para testar as novas técnicas em outras regiões do país com características semelhantes à estudada neste projeto. Qualquer avanço neste sentido será relevante, considerando-se que as alterações hidrotermais constituem importantes processos formadores de depósitos minerais.

## 4. Materiais e Métodos

Para esta pesquisa foi utilizado o Laboratório de Informática Geológica (LIG) do IG-USP no processamento de imagens e os laboratórios do Instituto Agronômico de Campinas, forneceram os resultados das análises químicas e físicas de solos e vegetação. Atualmente a capacidade de processamento de imagens do LIG conta com microcomputadores Pentium, 166 e 200 e Pentium II 300, rodando o software ER-Mapper 5.5 (figura 3). O laboratório conta ainda com uma impressora modelo Epson Stylus Color 800, fundamental para a boa qualidade das impressões.

### 4.1. Processamento Digital das Imagens

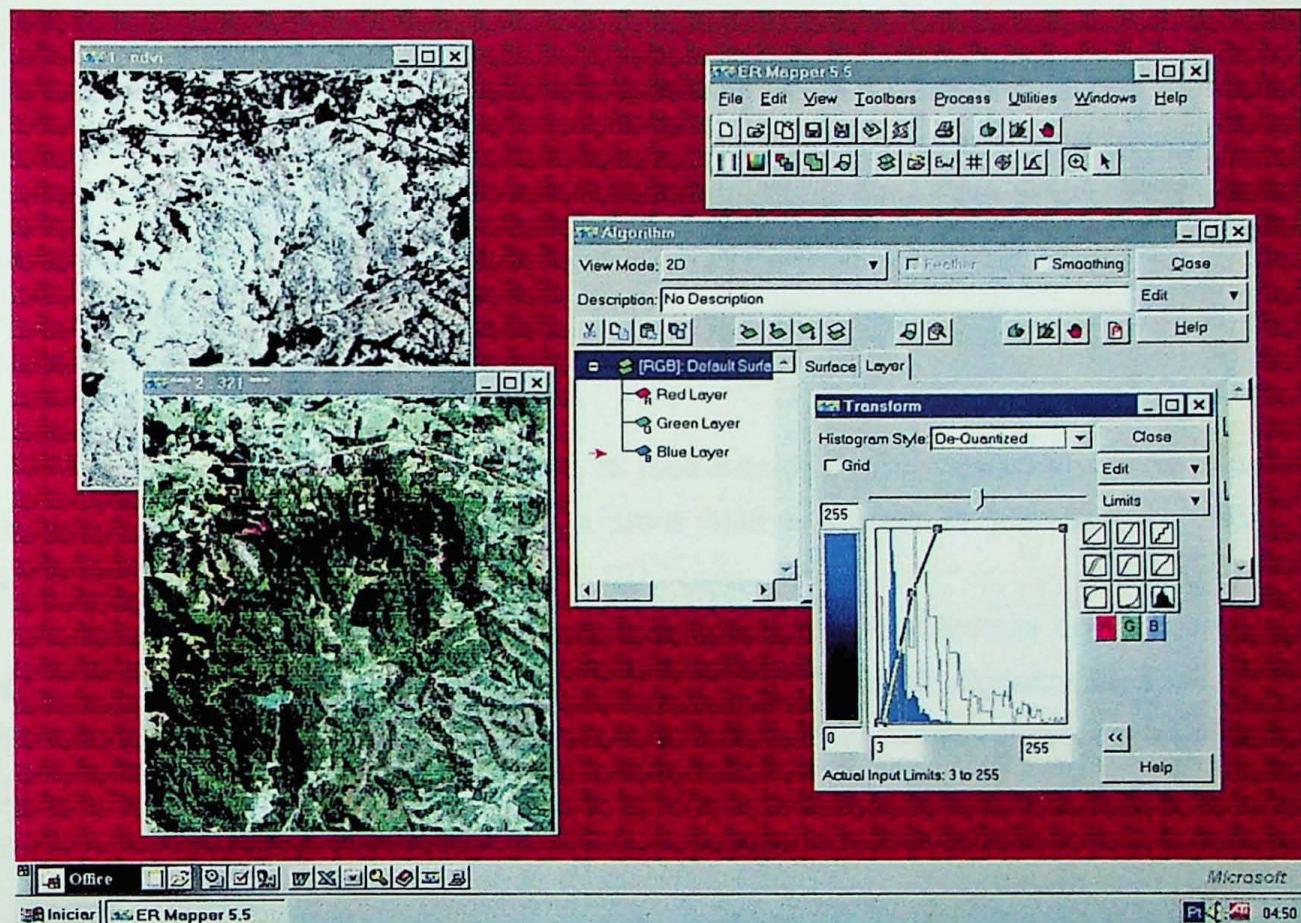
Foi utilizada a imagem TM-Landsat WRS 219/76/D de 30/08/89 e também a cena WRS 219/76 de 03/12/85, adquiridas no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As imagens foram processadas utilizando-se as seis bandas do espectro refletido do sensor TM (TM 1, 2, 3, 4, 5 e 7).

A primeira atividade em processamento digital de imagens foi a obtenção de leituras de *pixels* em todas as bandas, nas duas imagens, tanto para as áreas de alteração hidrotermal como de suas encaixantes, bem como daquelas áreas desmatadas com resposta espectral semelhante às primeiras, sem haver qualquer correlação entre as rochas. A leitura nas áreas alteradas teve como base o trabalho de Ribeiro de Almeida *et al.* (1995), que previamente já havia detectado espectralmente estas zonas de alteração hidrotermal. O objetivo de se obter o valor dos *pixels* é determinar um intervalo de confiança para as áreas alteradas bem como para suas encaixantes. Se os dados forem estatisticamente representativos, pode-se então isolar estes *pixels*, obtendo áreas com resposta espectral significativamente diferentes. Após uma cuidadosa análise dos valores das áreas alteradas e das encaixantes, as variáveis foram inseridas numa fórmula sugerida pelo geólogo Fábio Cardinale Branco (MSc). Esta fórmula será apresentada nos ítems referentes aos processamentos das imagens 1 e 2.

Outra ferramenta utilizada foi a análise estatística das duas imagens, a fim de obter alguma correlação entre as bandas, principalmente a TM4. Duas imagens são ditas correlacionadas quando, dada a intensidade de um determinado *pixel* em uma delas, pode-se deduzir com razoável aproximação a intensidade do *pixel* correspondente na outra imagem (Crósta, 1993).

**figura 3**

**Tela de trabalho do software Er-Mapper**



Imagens na tela da área de trabalho  
- NDVI  
- composição 3R/2G/1B

Foi aplicado ainda o método de Okada *et al.* (1994), para as duas imagens, que baseia-se em APCs dirigidas sobre as divisões TM4/TM3 e TM4/TM5 e para tentar realçar algumas diferenças na cobertura vegetal, foi utilizado o Índice Normalizado de Diferença de Vegetação (NDVI).

Foi testado também o Índice de estresse por umidade de Torcoletti & Birnie (1988), que consiste na razão das bandas TM5 por TM4. Estas imagens são importantes na abordagem botânica, pois este parâmetro, a umidade, é primordial para a vegetação e na definição da fito-sociologia em sub-áreas.

Darch & Barber (1983), Labovitz *et al.* (1985) e Bell *et al.* (1989) enfatizam a relação existente entre as anomalias geobotânicas e a época do ano em que a imagem foi adquirida. De acordo com estes autores, a detecção das anomalias não é possível em todas as épocas do ano, devido a própria variação sazonal da vegetação. A utilização de imagens TM-Landsat de duas diferentes estações (primavera/inverno) permitiu, como sugerido por Lillesand & Kiefer (1994), a aquisição de respostas espectrais diferenciadas (por senescência e diferenças de intensidade de metabolismo), mas correlacionadas entre si e com as rochas alteradas hidrotermalmente.

#### **4.2. Correção Geométrica das Imagens**

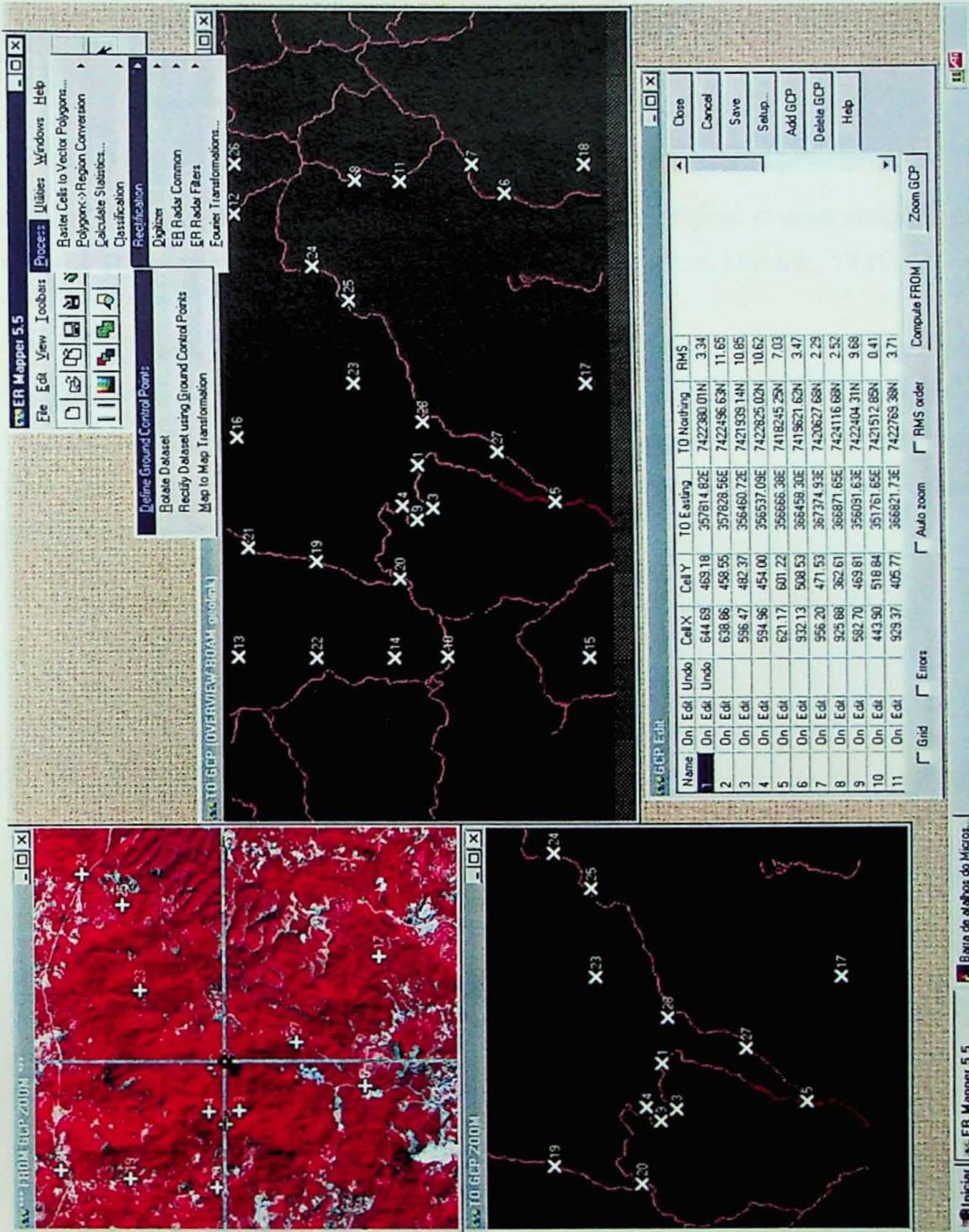
Após os processamentos digitais, foi feita a correção geométrica das duas imagens a fim de obter uma melhor comparação entre elas e sobretudo identificar os locais de identificação de campo.

A correção geométrica das imagens 1 e 2 foi feita utilizando como base a carta topográfica SF-23-Y-D-I-3, Itaquaquecetuba-1:50.000 do IBGE digitalizada. Esta base foi obtida na Internet no site [www.cena.usp.br](http://www.cena.usp.br), como parte do Projeto Piracena realizado pelo Centro de Energia Nuclear da USP. Neste site foram encontrados arquivos com bases digitalizadas de curvas de nível, estradas e drenagens.

A correção foi feita primeiramente sobre a imagem 1, de 30/08/89, utilizando o software Er-Mapper 5.5. Neste programa, o recurso utilizado foi o georeferenciamento por pontos de controle (*figura 4*). Este consiste em identificar pontos precisos na imagem através de uma base digitalizada, e neste caso, o arquivo de estradas mostrou-se o mais eficiente. Foram coletados na imagem mais de vinte pontos, sendo considerado um número suficiente para um bom registro. Em seguida é aplicado o processo de reamostragem por interpolação, a fim de corrigir as distorções da imagem com pontos de controle, gerando uma nova imagem (*figura 5*).

## Utilização do ER Mapper para definição dos pontos de controle (GCP)

figura 4



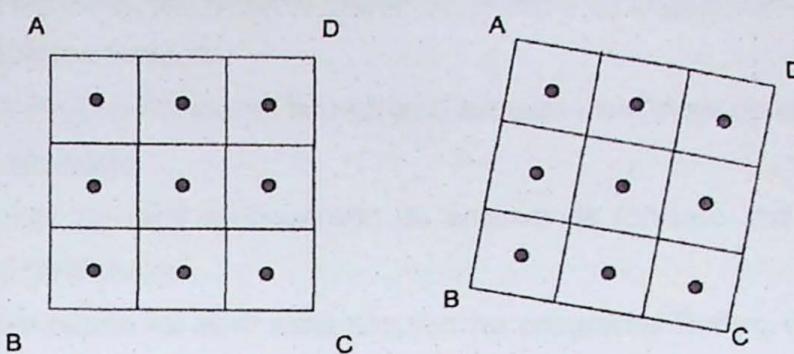


figura 5 – Comparação entre os pixels de uma imagem original e uma imagem gerada no processo de Reamostragem (extraído do Er-Mapper Reference Manual, 1995).

Para se determinar o valor dos pixels do grid corrigido, o método de interpolação de DNs utilizado foi o de Vizinhos mais próximos (figura 6). A reamostragem por este método é recomendada em casos de imagens multiespectrais, pois durante este processo, a relação entre as bandas é preservada, permitindo maior precisão nas operações realizadas (Er-Mapper Reference Manual).

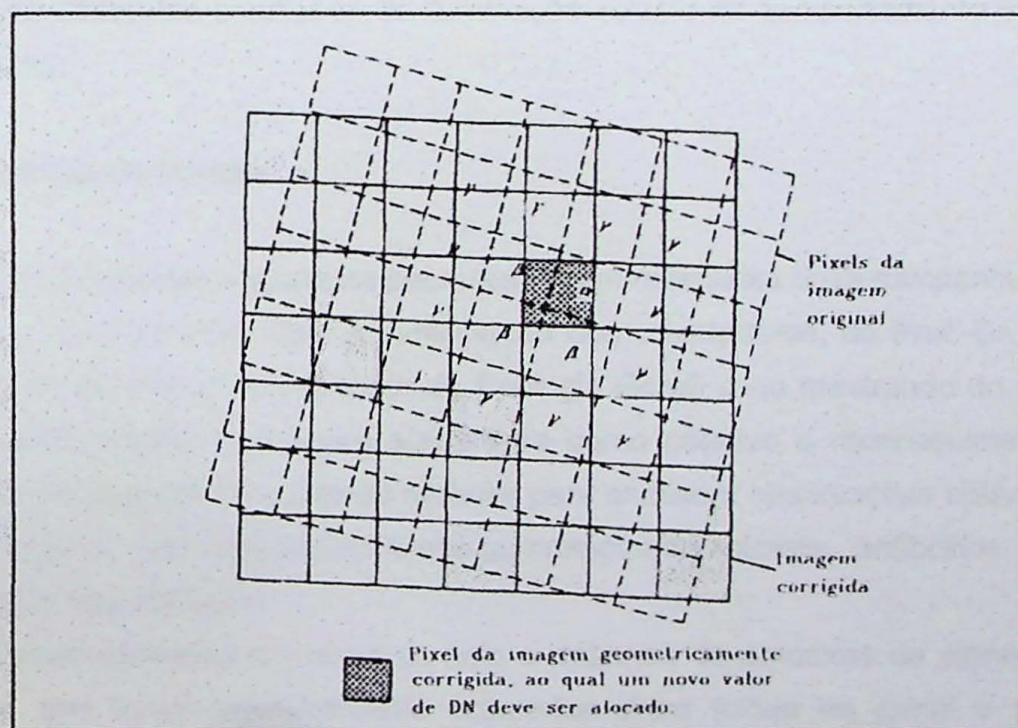


figura 6 – Interpolação de pixels pelo Método de Vizinhos mais Próximos (extraído de Crósta, 1993).

#### 4.3. Modelo Digital de Terreno

Para construir um modelo digital de terreno ou Digital Elevation Model (DEM), foram feitos os seguintes passos:

1- A partir do Projeto Piracena, foi obtido o arquivo de curvas de nível, em formato .dxf, com atributos de elevação.

2 - Em seguida, foi feita a conversão do arquivo de formato .dxf para .dat, através de um programa de conversão.

3 - O próximo passo foi abrir este arquivo no programa Surfer, onde é criado um grid, ou seja, um arquivo em formato .grd. Os atributos usados nesta conversão foram: espaçamento de 30m (coerente com o pixel das imagens TM-Landsat), método de interpolação IQD.

4 - Com o formato do Surfer, o arquivo pode ser importado direto para o programa Er-Mapper, onde é construído o modelo numérico de terreno. O procedimento no Er-Mapper é simples, havendo ferramentas próprias para este finalidade.

Para tentar obter alguma relação com a topografia, foram coletadas nas imagens amostras de litotipos baseando-se no mapa geológico 1:5.000 de Pérez Aguilar (1996). É importante ressaltar que estas amostras foram selecionadas destacando também a posição destas na topografia, ou seja, se é uma amostra de topo de elevação ou se quando em vertente, tem sua face voltada para leste ou oeste. Este procedimento foi adotado em função das diferentes condições de iluminação solar e do comportamento espectral pouco diferenciado.

#### 4.4. Trabalhos de Campo

Como importante etapa da pesquisa, foram realizadas duas campanhas de trabalhos de campo, que contaram com a participação dos orientadores, do Prof. Dr. Sérgio Tadeu Meirelles do IB-USP (Departamento de Ecologia Geral) e do mestrando do IG-USP Marco Aurélio Bonfá Martin. A primeira etapa teve como objetivo o reconhecimento das áreas anômalas e a segunda, a coleta de material para análise e observações botânicas em áreas de dominância de granada-cordierita-cummingtonita/antofilita anfibolitos, metatufo e metabasitos não alterados.

Foram coletadas amostras de solo e dezenas de amostras de plantas de diversas espécies, que foram imediatamente colocadas entre folhas de jornal e prensadas em equipamento especializado (pranchas e fitas de ajuste), para posterior análise e descrição. As amostras de solo foram coletadas a 40 cm de profundidade, tomando-se precauções para evitar contaminação por materiais superficiais (solo e fragmentos vegetais).

Foram ainda feitas observações fito-sociológicas das coberturas vegetais em campo nas mesmas unidades litológicas acima descritas.

#### 4.5. Preparação de Amostras para Análise

Ao chegar do campo, as amostras de plantas embrulhadas com jornal, foram colocadas numa estufa para secar durante uma semana. Após este período, foi feita uma triagem das folhas secas e então separada a espécie *Marantaceae calathea sp.* O restante das plantas servirá para uma caracterização mais detalhada das populações existentes na área percorrida.

Foram separadas cinco amostras de marantaceas, sendo três do primeiro ponto, uma do segundo e uma do terceiro. Estas amostras foram moídas e colocadas em sacos de papel, cada uma pesando em média 5g. Estas amostras foram encaminhadas ao Instituto Agronômico de Campinas (IAC), onde foram analisados os macro (N, P, K, Ca, Mg, S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Zn).

A grande quantidade de solo coletada foi colocada numa estufa para secar durante três dias. Após este período, as amostras, devidamente identificadas, foram peneiradas na fração areia fina e pesadas em porções de 200g. As amostras foram colocadas em sacos plásticos e também dirigidas ao IAC, onde foram feitas as análises básicas (P, K, Ca, Mg, acidez, matéria orgânica, saturação por bases, etc.) e de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Zn).

A preparação de todas as amostras foi realizada no Departamento de Ecologia do Instituto de Biologia-USP e contou com o auxílio do Prof. Sérgio Tadeu e técnicos do Laboratório de Triagem de Amostras. As análises químicas e físicas de solos e folhas foram feitas no Instituto Agronômico de Campinas.

## 5. Desenvolvimento do Trabalho

O trabalho desenvolveu-se segundo as etapas descritas neste ítem, cronologicamente:

- Pesquisa bibliográfica durante todo o período,
- Processamento digital das imagens 1 e 2,
- Trabalhos de campo,
- Coleta e preparação de amostras para análise.
- Comparação entre as duas imagens, analisando a eficiência de diferentes datas.
- Interpretação dos dados analíticos,
- Interpretação integrada,
- Discussão sobre eficiência dos métodos.

## 6. Resultados Obtidos

Os resultados obtidos serão descritos neste ítem, seguindo a ordem de realização das etapas cumpridas.

### 6.1. Processamento da Imagem 1

Na primeira fase da pesquisa os processamentos foram desenvolvidos sobre parte da imagem TM-Landsat 219/76/D de 30/08/89 (*figura 7*). Esta imagem possui as seis bandas do espectro refletido do sensor TM (TM 1, 2, 3, 4, 5 e 7).

Prioritariamente, neste início de processamento de imagem, fez-se a leitura de pixels tanto das áreas alteradas hidrotermalmente como de suas rochas encaixantes, como já descrito no ítem 4. Dentro das regiões selecionadas por Ribeiro de Almeida *et al.* (1995) como sendo de áreas alteradas, fez-se a leitura de pixels aleatoriamente, porém procurando ser o mais representativo possível.

Foram selecionados dez valores de pixels por banda em cada área amostrada. Estes valores estão expressos em forma de tabelas (*anexos 1 e 2*). Para facilitar a compreensão dos números, os valores médios de cada banda obtidos na leitura dos pixels apresenta-se na *tabela 1*, juntamente com os dados da imagem 2 para posterior comparação. A impressão da área de amostragem indica as regiões onde foram obtidos estes dados (*figura 8*).

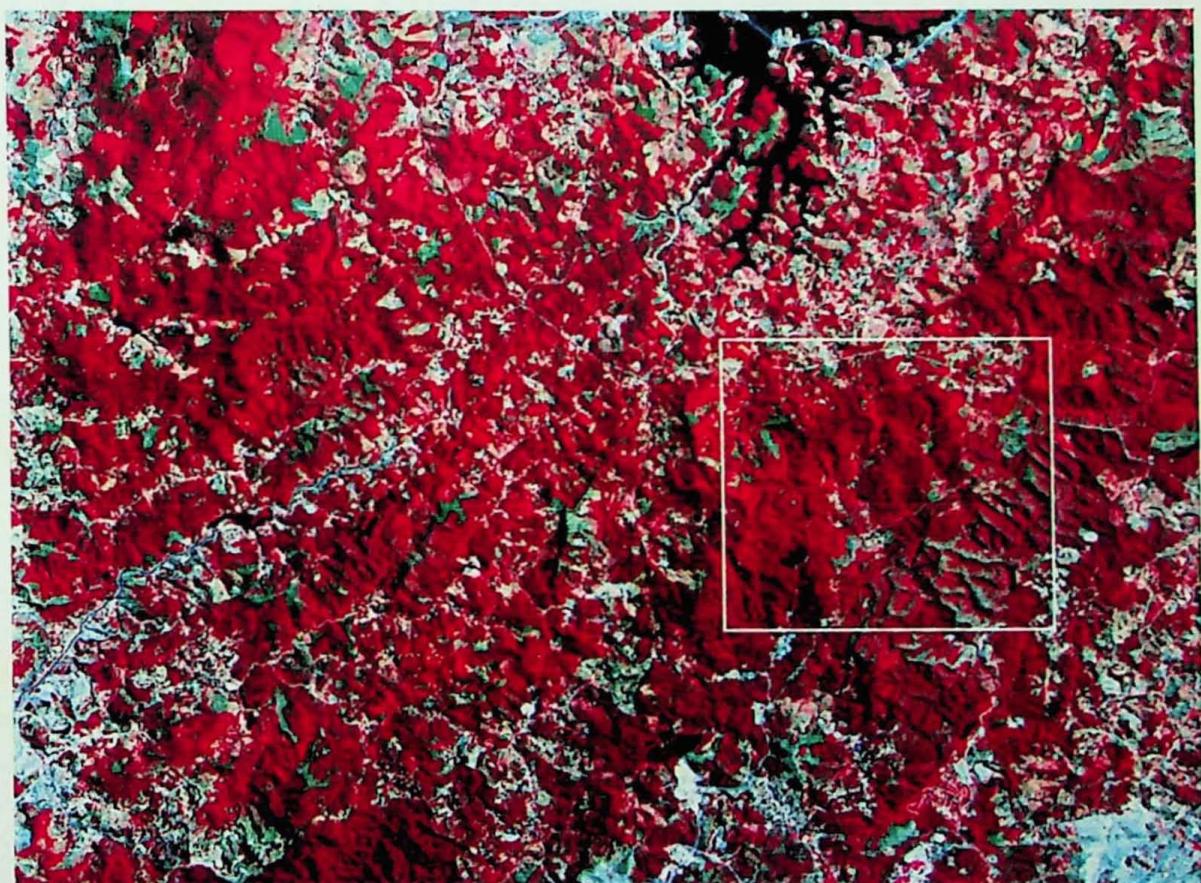
A partir destas tabelas, foram construídos histogramas referentes às seis bandas (TM 1, 2, 3, 4, 5 e 7), tanto para as áreas alteradas como para as rochas encaixantes (*anexos 3 e 4*). Após uma cuidadosa análise dos histogramas, procurando salientar as diferenças entre os valores das áreas alteradas e das encaixantes, as variáveis foram inseridas na fórmula sugerida pelo geólogo Fábio Cardinale Branco (MSc.) (*tabela 2*).

Considerando-se esta fórmula numa composição colorida, obteve-se uma imagem onde as áreas alteradas foram discriminadas através desta cuidadosa leitura de pixels, realizando na verdade uma classificação (*figura 9*).

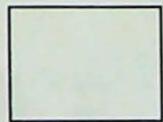
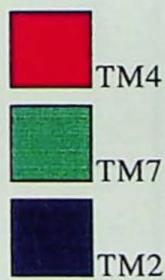
O próximo procedimento foi analisar estatisticamente a imagem 1, onde percebe-se a alta correlação existente entre a PC2 e a banda TM4 (*tabela 3*). Apesar de serem altamente correlacionáveis, a PC2 não apresentou resultados satisfatórios na discriminação de anomalias geobotânicas. Já a aplicação do Método de Okada *et al.* (1994) que baseia-se em APCs dirigidas sobre as divisões TM4/TM3 e TM4/TM5, apresentou bons resultados na imagem 1, discriminando o que possivelmente são as áreas alteradas (*figura 10*). Para compor o triplete juntamente com a PC2, utilizou-se as bandas TM3 e TM5, devido às suas baixas respostas espectrais em áreas alteradas, permitindo o realce da PC2, na qual está contida a grande maioria das informações.

*figura 7*

IMAGEM I  
TM-Landsat WRS 219/76/D - 30/08/89



2 0 2 4  
Kilometers



area de trabalho

**tabela 1** - Valores médios de cada banda obtidos na leitura de pixels

Áreas Alteradas				Encaixantes			
bandas	média	desv.padrão		bandas	média	desv.padrão	
TM1	22,22727	3,803893	<b>IMAGEM 1</b>	TM1	31,86364	8,275471	<b>IMAGEM 1</b>
TM2	26,59091	1,688066		TM2	28	1,252289	
TM3	24,09091	1,521952		TM3	26,40909	3,442914	
TM4	174,8182	15,9458		TM4	142,4545	14,65638	
TM5	74,45455	8,187661		TM5	73,36364	9,911713	
TM7	42,5	9,140375		TM7	43,40909	11,41282	
Áreas Alteradas				Encaixantes			
bandas	média	desv.padrão		bandas	média	desv.padrão	
TM1	55,9	1,724205	<b>IMAGEM 2</b>	TM1	56,21667	2,870609	<b>IMAGEM 2</b>
TM2	22,38333	1,427237		TM2	23,5	3,661527	
TM3	18,56667	1,184171		TM3	19,5	3,71666	
TM4	87,3	9,489155		TM4	86,08333	14,95223	
TM5	65,73333	8,144597		TM5	66,48333	14,37334	
TM7	12,83333	2,140542		TM7	13	4,202501	

*figura 8*

Areas de Amostragem  
Zonas Alteradas



- |                     |        |                   |        |                    |        |
|---------------------|--------|-------------------|--------|--------------------|--------|
| [Yellow square]     | area 1 | [Red square]      | area 3 | [Green square]     | area 5 |
| [Light Blue square] | area 2 | [Dark Red square] | area 4 | [Dark Blue square] | area 6 |

**tabela 2**

**Imagen I - Fórmula para separação das zonas alteradas**

```
IF I2<V1 THEN I1 ELSE  
IF I2>V2 THEN I1 ELSE  
IF I3<V3 THEN I1 ELSE  
IF I3>V4 THEN I1 ELSE  
IF I4<V5 THEN I1 ELSE  
IF I4>V6 THEN I1 ELSE  
IF I5<V7 THEN I1 ELSE  
IF I5>V8 THEN I1 ELSE  
IF I6<V9 THEN I1 ELSE  
IF I6>V10 THEN I1 ELSE 255
```

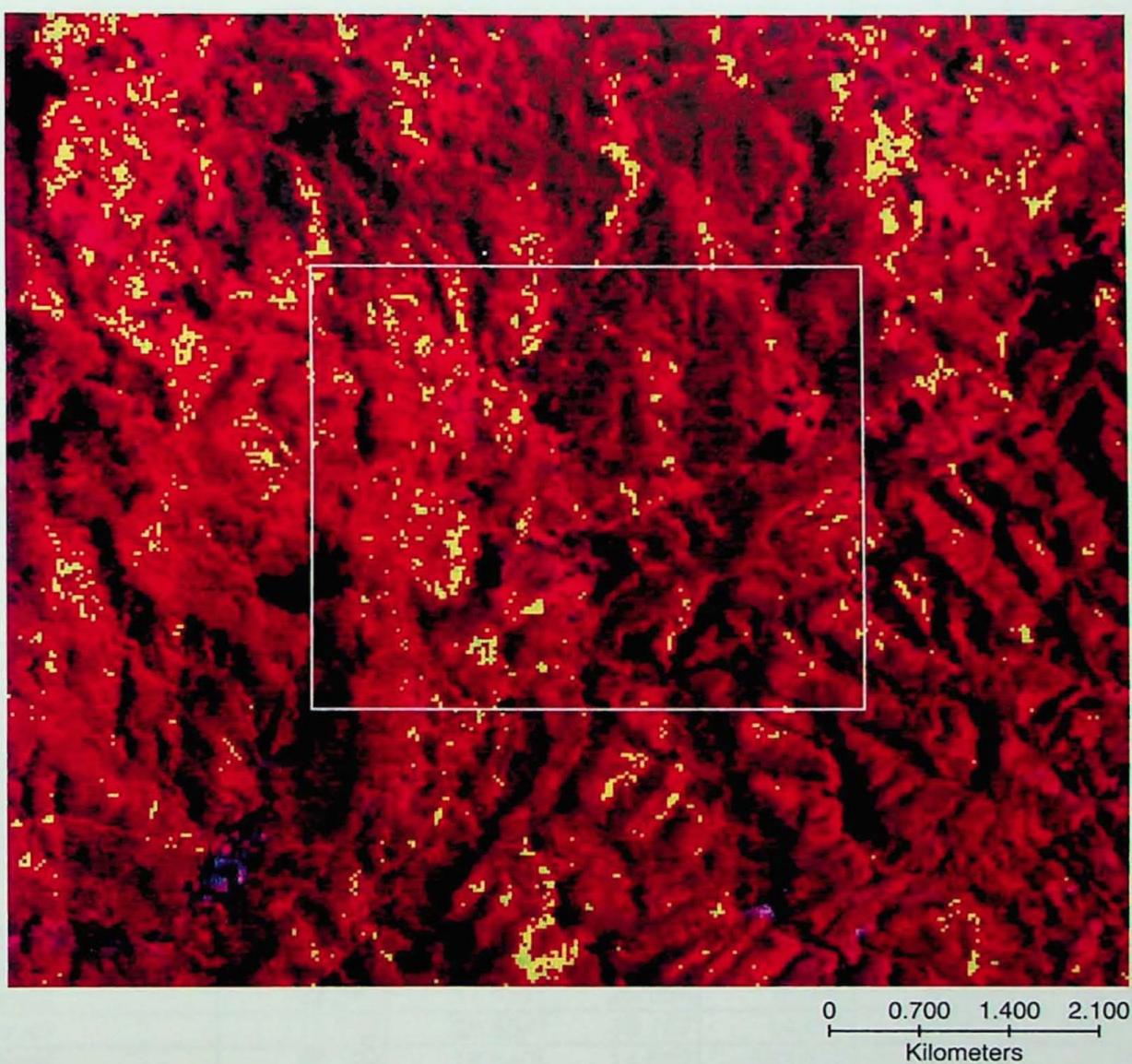
---

ONDE:

I1= TM2	V1= 25
I2= TM1	V2= 30
I3= TM3	V3= 25
I4= TM4	V4= 35
I5= TM5	V5= 140
I6= TM7	V6= 170
	V7= 60
	V8= 90
	V9= 30
	V10= 50

*figura 9*

Imagen I - (30/08/89)  
Classificacao por leitura de pixels



Composicao TM4R/formulaG/3B  
Areas em amarelo indicam zonas alteradas hidrotermalmente

**tabela 3**  
ESTATÍSTICAS - IMAGEM I (30/08/89)

	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band6
Null Cells	32	0	0	0	16	48
Non-Null Cells	78224	78256	78256	78256	78240	78208
Area In Hectares	7.040.160	7.043.040	7.043.040	7.043.040	7.041.600	7.038.720
Area In Acres	17.396.616	17.403.732	17.403.732	17.403.732	17.400.174	17.393.057
Minimum	3.000	20.000	18.000	22.000	4.000	2.000
Maximum	251.000	76.000	115.000	255.000	203.000	209.000
Mean	28.824	27.815	27.056	147.097	74.636	46.066
Median	24.313	27.000	23.684	147.602	69.297	38.387
Std. Dev.	17.249	4.142	7.665	23.315	22.286	23.837
Std. Dev. (n-1)	17.249	4.142	7.665	23.315	22.286	23.837
Corr. Eigenval.	4.485	1.016	0.269	0.124	0.057	0.049
Cov. Eigenval.	1.341.760	519.663	80.635	29.574	8.985	1.303

Correlation Matrix	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band6
Band1	1.000	0.889	0.890	0.112	0.777	0.823
Band2	0.889	1.000	0.941	0.195	0.824	0.851
Band3	0.890	0.941	1.000	0.082	0.813	0.873
Band4	0.112	0.195	0.082	1.000	0.358	0.140
Band5	0.777	0.824	0.813	0.358	1.000	0.916
Band6	0.823	0.851	0.873	0.140	0.916	1.000

Corr. Eigenvectors	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Band1	0.437	0.134	0.443	-0.771	0.008	-0.017
Band2	0.452	0.049	0.356	0.452	-0.343	0.587
Band3	0.450	0.165	0.232	0.434	0.287	-0.667
Band4	0.113	-0.958	0.183	0.006	0.191	-0.012
Band5	0.438	-0.175	-0.552	-0.100	-0.623	-0.273
Band6	0.446	0.068	-0.533	-0.044	0.613	0.367

Inv. of Corr. Ev.	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Band1	0.437	0.452	0.450	0.113	0.438	0.446
Band2	0.134	0.049	0.165	-0.958	-0.175	0.068
Band3	0.443	0.356	0.232	0.183	-0.552	-0.533
Band4	-0.771	0.452	0.434	0.006	-0.100	-0.044
Band5	0.008	-0.343	0.287	0.191	-0.623	0.613
Band6	-0.017	0.587	-0.667	-0.012	-0.273	0.367

Covariance Matrix	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band6
Band1	297.515	63.547	117.712	45.224	298.817	338.180
Band2	63.547	17.157	29.884	18.840	76.039	84.000
Band3	117.712	29.884	58.757	14.682	138.876	159.504
Band4	45.224	18.840	14.682	543.612	186.244	77.763
Band5	298.817	76.039	138.876	186.244	496.666	486.719
Band6	338.180	84.000	159.504	77.763	486.719	568.213
Determinant	1946329368	9.029				

Cov. Eigenvectors	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Band1	0.408	0.174	0.847	0.093	0.277	0.033
Band2	0.100	0.026	0.107	-0.009	-0.376	-0.914
Band3	0.184	0.087	0.169	-0.045	-0.875	0.403
Band4	0.228	-0.953	0.107	-0.166	-0.010	0.017
Band5	0.592	-0.024	-0.365	0.718	0.018	0.007
Band6	0.622	0.228	-0.314	-0.668	0.124	-0.006

**figura 10**

Imagen 1  
Utilização do Método de Okada

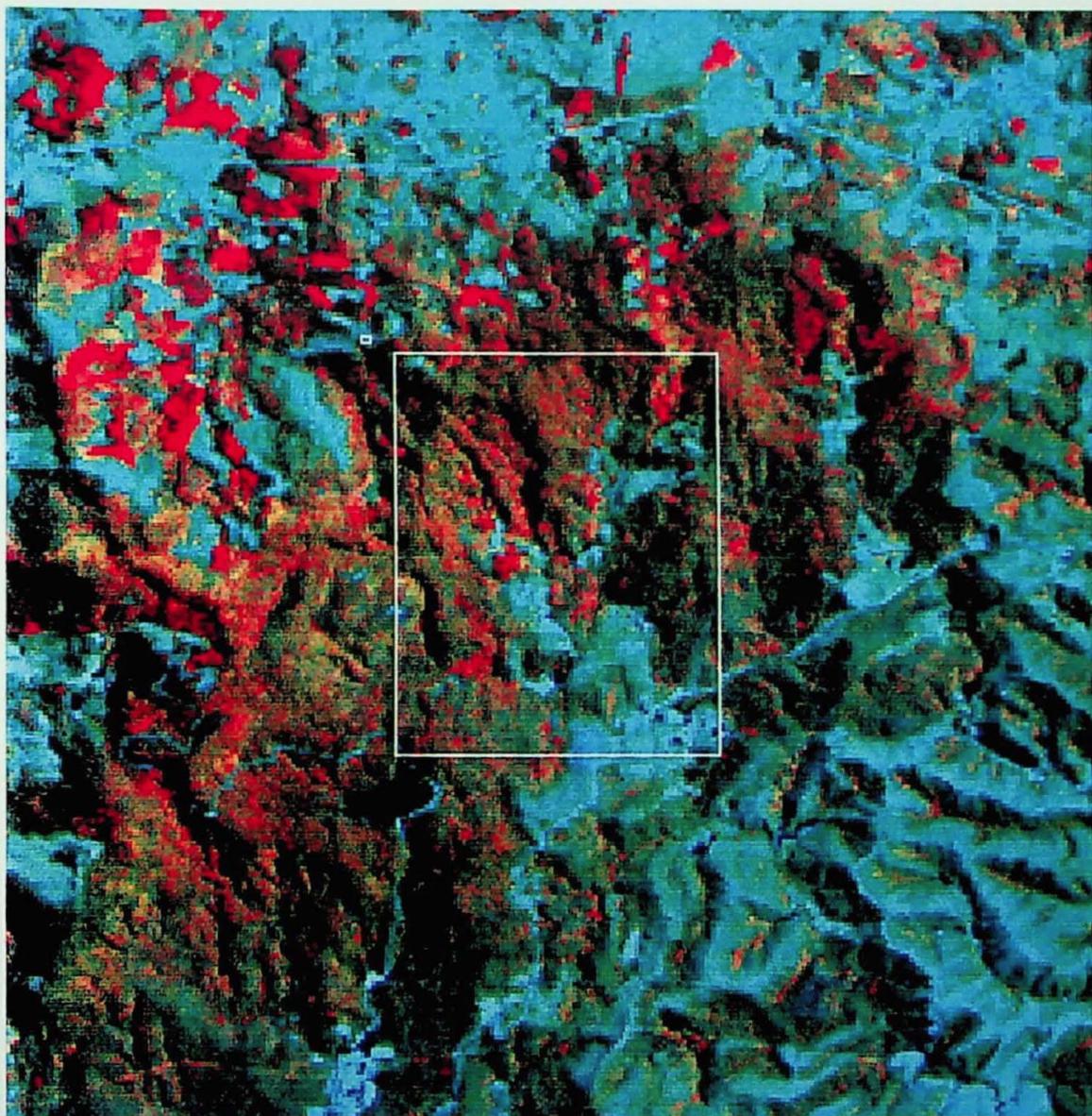


Imagen de inverno. Composição C2R/5G/3B.  
As áreas avermelhadas dentro da área de estudo indicam as zonas alteradas.

escala aproximada 1:50.000

Em composições coloridas comuns ou em bandas isoladas, percebe-se que não há grandes mudanças na cobertura de vegetação. Para tentar realçar algumas diferenças, foi utilizado o Índice Normalizado de Diferença de Vegetação (NDVI) para as duas imagens e percebeu-se que na imagem 1 de 30/08/89 a vegetação encontra-se mais homogênea. Mesmo procurando aplicar tratamento semelhante para ambas as imagens, não foi possível identificar diferentes feições que caracterizem uma das imagens.

Foi testado também o Índice de Estresse por Umidade de Torcoletti & Birnie (1988), que consiste na razão das bandas TM5 por TM4. Estas imagens foram apenas preliminarmente analisadas, mostrando na imagem de verão maior homogeneidade de comportamento dentro da área florestada. Estas imagens são importantes na abordagem botânica, pois este parâmetro, a umidade, é primordial para a vegetação e na definição da fito-sociologia em sub-áreas.

## 6.2. Processamento da Imagem 2

A segunda imagem processada que data de 03/12/85 é a cena 219/76 adquirida no INPE (*figura 11*). Esta imagem possui as seis bandas do espectro refletido do sensor TM (TM 1, 2, 3, 4, 5 e 7).

Prioritariamente, como já feito na imagem anterior, fez-se a leitura de *pixels* tanto das áreas alteradas hidrotermalmente como de suas rochas encaixantes. A leitura nas áreas alteradas teve como base o trabalho de Ribeiro de Almeida *et al.* (1995), que previamente já havia detectado estas zonas de alteração hidrotermal.

Para posterior comparação dos dados, a leitura de *pixels* desta imagem foi feita utilizando-se as mesmas áreas de amostragem aplicadas à imagem anterior, como mostrada na figura 5. Foram selecionados dez valores de *pixels* por banda em cada área amostrada (*anexos 5 e 6*). A média e o desvio padrão destas amostras estão expressas na *tabela 1*, juntamente com os dados da imagem 1. Semelhante ao realizado para a primeira imagem, foram construídos histogramas para a visualização dos intervalos mais apropriados para cada banda (*anexos 7 e 8*). Os valores mais expressivos para cada banda foram inseridos na mesma fórmula aplicada à imagem 1, alterando somente as variáveis (*tabela 4*). A imagem apresentou resultados razoáveis na área de estudo, porém apresentou grande quantidade de respostas espúrias, prejudicando a interpretação (*figura 12*).

Na análise estatística da imagem 2 também foi observada a alta correlação entre a PC2 e a TM4 (*tabela 5*), porém, semelhante ao que ocorreu para a imagem 1, a utilização deste método não foi eficiente na discriminação de áreas anômalas.

Ao contrário do ocorrido na imagem 1, a aplicação do método de Okada na imagem 2 não foi satisfatória, resultando em uma imagem pobre espectralmente. Foram utilizados também o NDVI e o Índice de Estresse por Umidade, também não apresentando bons resultados. É importante ressaltar que os processamentos feitos para as duas imagens foram os mesmos, a fim de obter uma boa comparação.

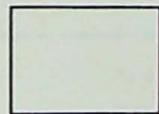
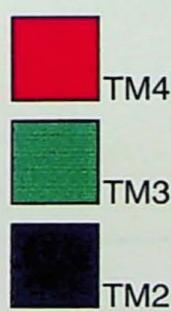
*figura 11*

IMAGEM II  
TM-Landsat WRS 219/76 - 03/12/85



15 0 15 30

Kilometers



area de trabalho

**tabela 4****Imagen II - Fórmula para separação das zonas alteradas**

```
IF I2<V1 THEN I1 ELSE  
IF I2>V2 THEN I1 ELSE  
IF I3<V3 THEN I1 ELSE  
IF I3>V4 THEN I1 ELSE  
IF I4<V5 THEN I1 ELSE  
IF I4>V6 THEN I1 ELSE  
IF I5<V7 THEN I1 ELSE  
IF I5>V8 THEN I1 ELSE  
IF I6<V9 THEN I1 ELSE  
IF I6>V10 THEN I1 ELSE 255
```

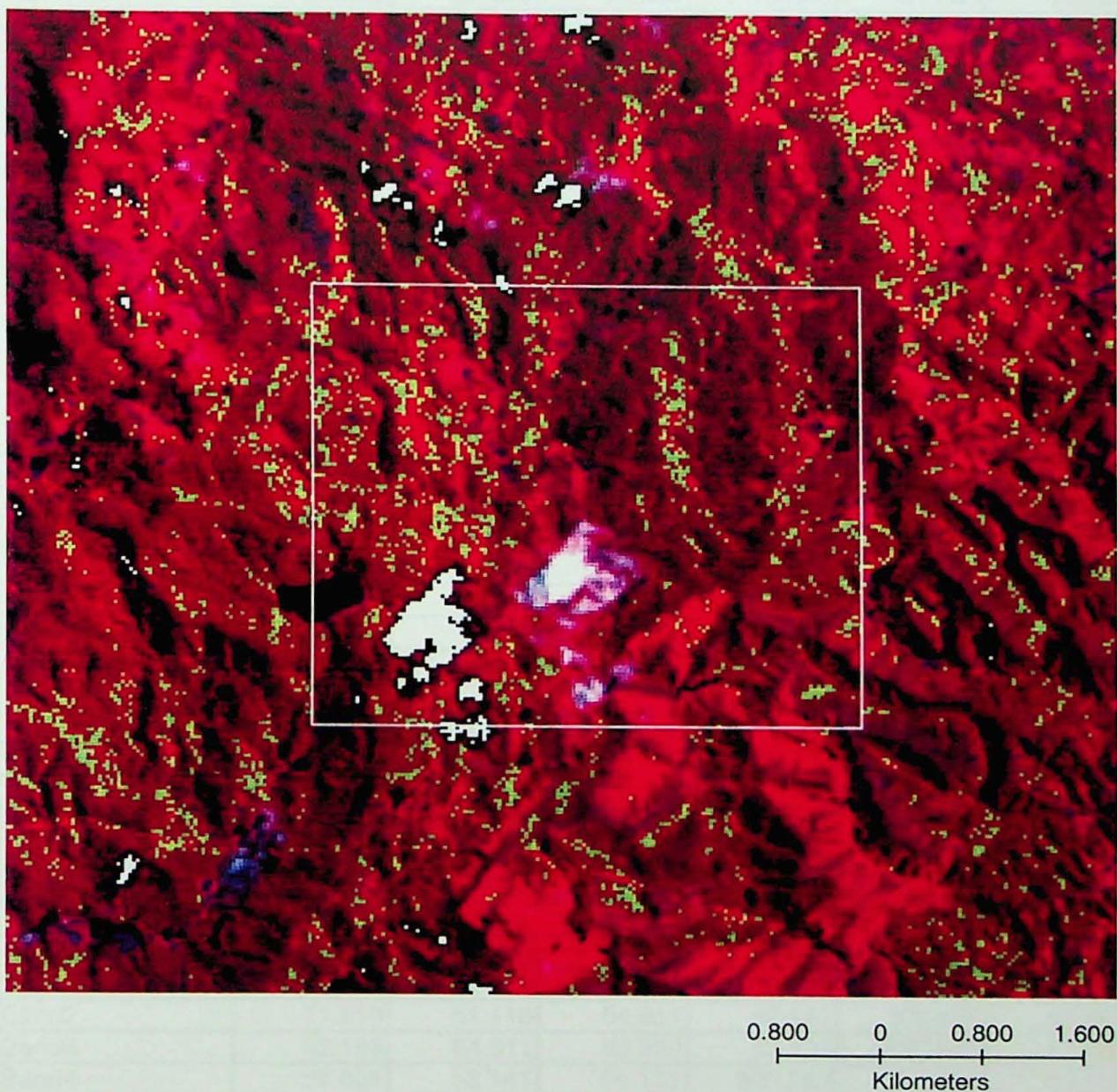
---

ONDE:

I1= TM2	V1= 22
I2= TM1	V2= 24
I3= TM3	V3= 18
I4= TM4	V4= 21
I5= TM5	V5= 80
I6= TM7	V6= 100
	V7= 60
	V8= 80
	V9= 12
	V10= 14

*figura 12*

Imagen II- (03/12/85)  
Classificacao por leitura de pixels



Composicao TM4R/formulaG/3B

Areas em verde indicam zonas alteradas hidrotermalmente

**tabela 5**  
ESTATÍSTICAS - IMAGEM II (03/12/85)

	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band6
Null Cells	0	0	0	0	0	256
Non-Null Cells	78256	78256	78256	78256	78256	78000
Area In Hectares	7.043.040	7.043.040	7.043.040	7.043.040	7.043.040	7.020.000
Area In Acres	17.403.732	17.403.732	17.403.732	17.403.732	17.403.732	17.346.799
Minimum	46.000	13.000	10.000	6.000	2.000	1.000
Maximum	255.000	174.000	217.000	175.000	255.000	134.000
Mean	57.205	23.903	20.325	74.837	62.927	14.101
Median	56.000	22.000	19.000	76.000	61.000	13.000
Std. Dev.	10.568	7.150	9.300	17.467	20.010	7.722
Std. Dev. (n-1)	10.568	7.150	9.301	17.467	20.010	7.722
Corr. Eigenval.	4.573	0.947	0.350	0.056	0.051	0.023
Cov. Eigenval.	747.290	184.614	70.813	5.891	4.345	1.468

Correlation Matrix	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band6
Band1	1.000	0.944	0.938	0.324	0.612	0.769
Band2	0.944	1.000	0.972	0.418	0.719	0.843
Band3	0.938	0.972	1.000	0.339	0.701	0.851
Band4	0.324	0.418	0.339	1.000	0.672	0.451
Band5	0.612	0.719	0.701	0.672	1.000	0.890
Band6	0.769	0.843	0.851	0.451	0.890	1.000

Corr. Eigenvectors	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Band1	0.422	-0.334	0.372	-0.751	0.047	0.074
Band2	0.448	-0.217	0.226	0.394	0.113	-0.730
Band3	0.442	-0.289	0.110	0.502	0.073	0.673
Band4	0.264	0.788	0.506	0.042	-0.214	0.074
Band5	0.408	0.369	-0.503	-0.143	0.651	0.008
Band6	0.437	0.015	-0.538	-0.078	-0.714	-0.056

Inv. of Corr. Ev.	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Band1	0.422	0.448	0.442	0.264	0.408	0.437
Band2	-0.334	-0.217	-0.289	0.788	0.369	0.015
Band3	0.372	0.226	0.110	0.506	-0.503	-0.538
Band4	-0.751	0.394	0.502	0.042	-0.143	-0.078
Band5	0.047	0.113	0.073	-0.214	0.651	-0.714
Band6	0.074	-0.730	0.673	0.074	0.008	-0.056

Covariance Matrix	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band6
Band1	111.684	71.318	92.198	59.858	129.332	62.756
Band2	71.318	51.118	64.611	52.141	102.855	46.537
Band3	92.198	64.611	86.500	55.131	130.536	61.132
Band4	59.858	52.141	55.131	305.090	234.764	60.856
Band5	129.332	102.855	130.536	234.764	400.403	137.575
Band6	62.756	46.537	61.132	60.856	137.575	59.625
Determinant	367108685.	835				

Cov. Eigenvectors	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Band1	0.277	0.426	0.507	0.612	0.317	0.097
Band2	0.211	0.251	0.255	-0.203	-0.279	-0.842
Band3	0.263	0.378	0.284	-0.464	-0.460	0.529
Band4	0.503	-0.749	0.418	-0.084	0.052	0.033
Band5	0.704	0.076	-0.639	0.247	-0.174	0.004
Band6	0.248	0.212	-0.121	-0.549	0.760	-0.031

### 6.3. Correção Geométrica das Imagens

De acordo com Crósta (1993), um mapa pode ser definido como: "...uma representação gráfica, em uma superfície plana, da superfície da Terra, ou parte dela, mostrando suas feições geográficas e superficiais. Estas são posicionadas de acordo com controles geodélicos, grids, projeções e escalas previamente definidos". Portanto para que a precisão cartográfica seja introduzida em imagens de sensoriamento remoto, é necessário que as imagens digitais sejam corrigidas, segundo algum sistema de coordenadas. Esta transformação na imagem é chamada correção geométrica.

Ainda segundo aquele autor, a projeção cartográfica é uma maneira de se representar a superfície curva da Terra sobre uma folha de papel. No Brasil, o sistema de projeção cartográfica UTM (Universal Tranversa de Mercator) é utilizado como padrão para mapas, sendo que nele as distâncias são aproximadamente representadas.

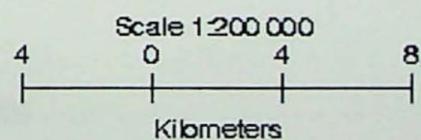
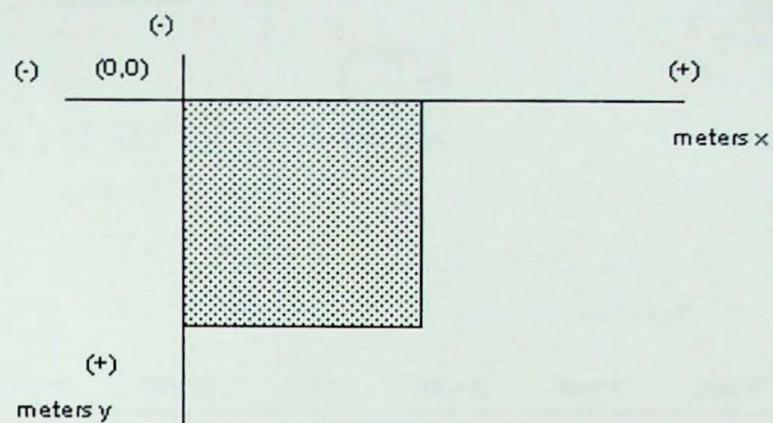
Nas imagens corrigidas a projeção cartográfica utilizada foi UTM-Sul23, o datum Córrego Alegre e o tipo de coordenada EN (Eastings, Northings).

A figura 13 apresenta uma imagem em formato RAW (original), mostrando também o comportamento da imagem num eixo onde a origem é (0,0). Já a figura 14 apresenta uma imagem corrigida, sendo possível comparar, no gráfico esquemático, a imagem ajustada num eixo de coordenadas leste e norte em metros.

Este mesmo procedimento foi utilizado para a imagem 2 de 03/12/85, obtendo resultados bastante satisfatórios.

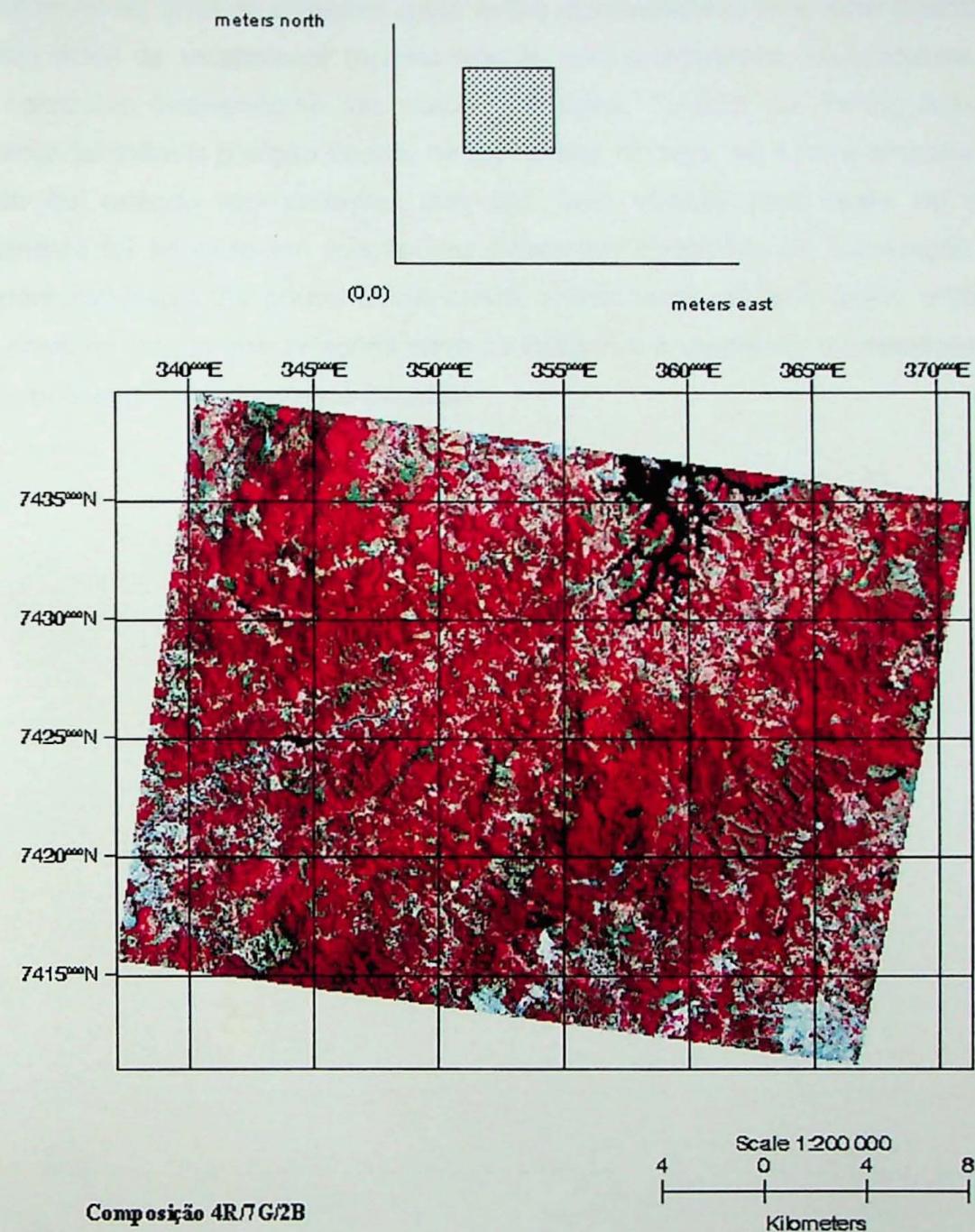
**figura 13**

Imagen original - "formato RAW"



**figura 14**

Imagen corrigida - "formato E, N"

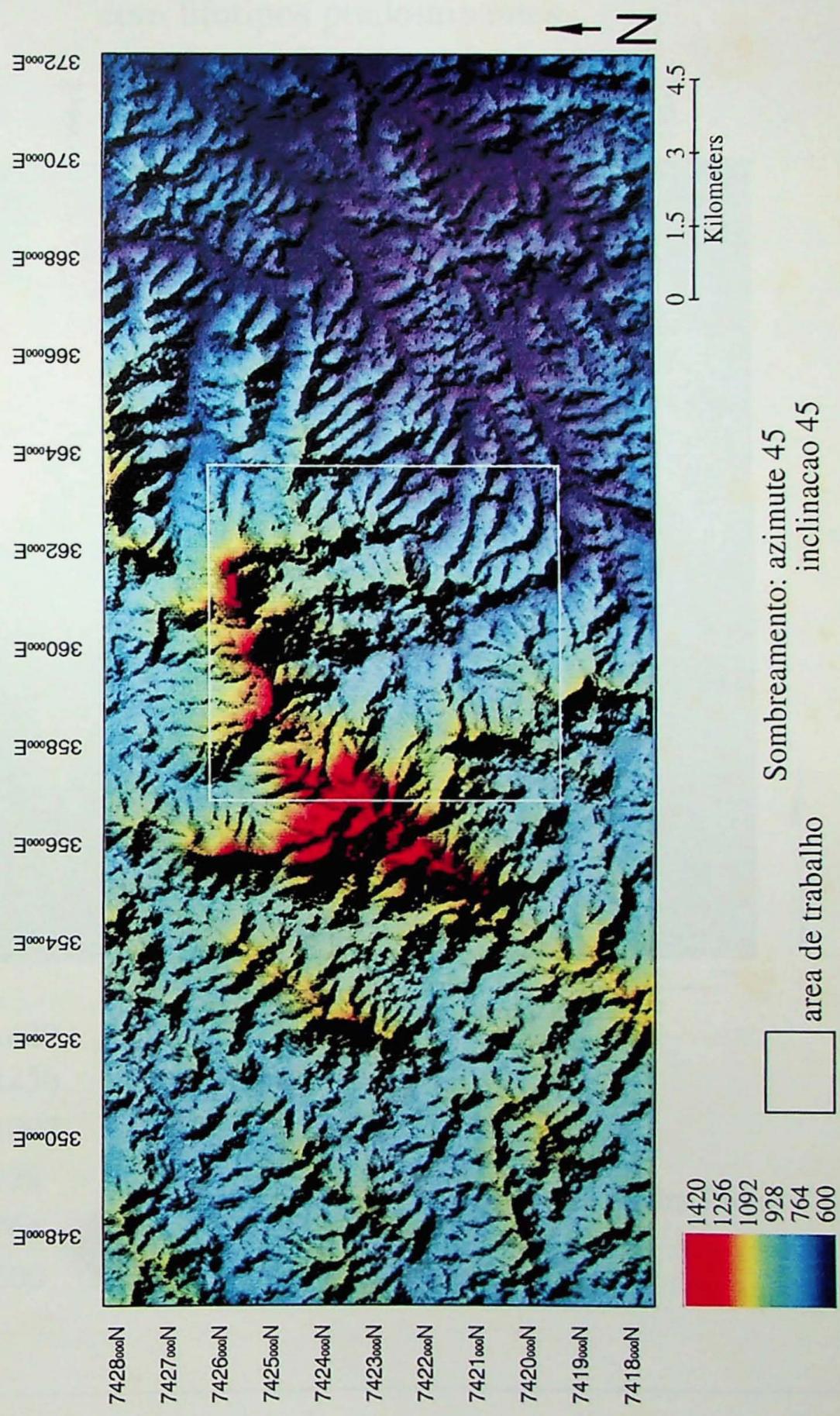


#### 6.4. Modelo Digital de Terreno

Para uma boa visualização do relevo da área, a *figura 15* apresenta um modelo numérico de terreno com sombreamento e corresponde à metade superior da Carta Topográfica Itaquaquecetuba 1:50.000. Já a *figura 16* apresenta um modelo sem sombreamento da área de trabalho, onde estão representados os quatro principais litotipos da região, a fim de estabelecer alguma relação com a topografia. As amostras de litotipos foram coletadas baseando-se no mapa geológico 1:5.000 de Pérez Aguilar (1996), destacando também a posição destas na topografia, ou seja, se é uma amostra de topo de elevação ou quando em vertente, tem sua face voltada para leste ou oeste. Este procedimento foi adotado em função das diferentes condições de iluminação solar e do comportamento espectral pouco diferenciado. Infelizmente, através deste prático método, não foi possível estabelecer relações entre os litotipos e a topografia, necessitando talvez de estudos mais aprofundados nesta questão.

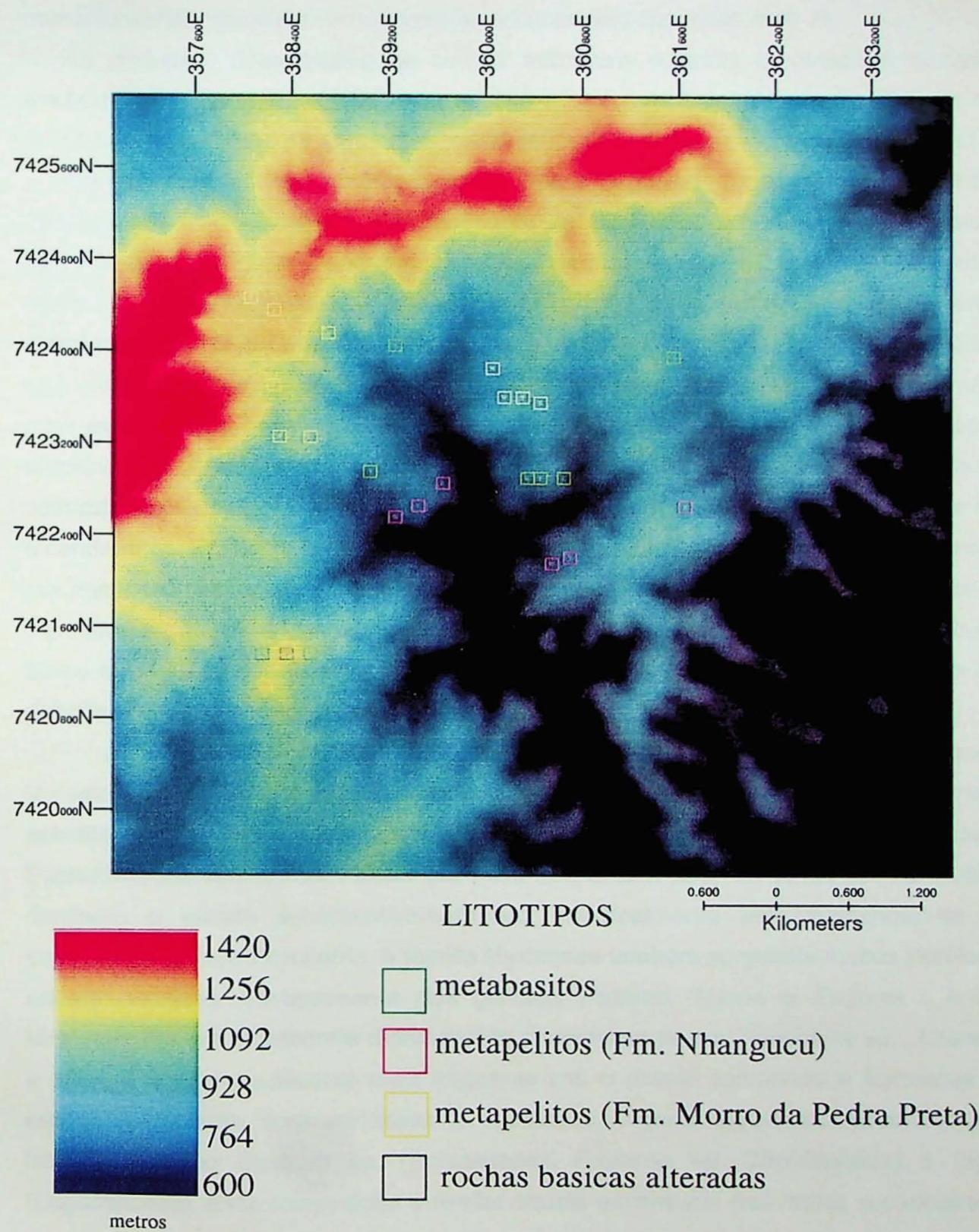
*figura 15*

### Modelo Digital de Terreno com sombreamento



*figura 16*

Modelo Digital de Terreno (DEM)  
com litotipos predominantes



## 6.5. Trabalhos de Campo

Os trabalhos de campo foram realizados em duas etapas. A primeira campanha foi realizada no dia 14/04/98, nos arredores do município de Guarulhos e contou com a participação dos orientadores e do Prof. Sérgio Tadeu Meirelles do IB-USP. Este trabalho consistiu basicamente em um primeiro reconhecimento da região (foto 1).

As principais observações de campo estiveram voltados à variações abruptas de espécies arbóreas, entre algumas das unidades litológicas. Destas variações, a mais notável foi observada no Norte da área, entre metabasitos e rochas com alteração hidrotermal.

Dentro de um viés botânico, foram feitas algumas observações. As distinções encontradas dizem respeito principalmente à fisionomia da vegetação. A fisionomia predominante é a florestal, com predominância de mesofanerófitas. Ocorrem vários estratos, verificando-se principalmente um arbóreo, um arbustivo arbóreo e um estrato de nanofanerófitas. O estrato herbáceo é muitas vezes inexistente ou composto por *Calathea* sp., *Rhynchospora* sp. e pteridófitas arbustivas e hemicriptofíticas. As descontinuidades mais evidentes no dossel e aquelas provocadas pelo corte da estrada são ocupadas por touceiras de *Chusquea* sp. A maior parte das árvores não ultrapassa 6 metros de altura, com diâmetros de até 15cm, sendo que visualmente predominam diâmetros menores do que 5 centímetros. Epífitas e lianas são raras ou ausentes. O dossel é aparentemente dominado por mirtaceas pequenas. Os indivíduos com diâmetro maior do que 25cm correspondem a leguminosas, que se encontram distribuídas de forma muito esparsa mas que contribuem de forma evidente para a fisionomia da vegetação. Plantas jovens são freqüentes no estrato subarbustivo, não ocorrendo na vizinhança imediata de adultos da mesma espécie.

A composição florística lenhosa apresenta um predomínio de Myrtaceae e Melastomataceae no dossel. Nesse estrato ocorre também leguminosas e raras Palmae. Os estratos sob o dossel apresentam predominância de Euphorbiaceae e Rubiaceae. As Euphorbiaceae são representadas por *Pera* sp.; *Croton* sp.; *Alchomea* sp. As Rubiaceae dominam o estrato subarbustivo-herbáceo, principalmente pela incidência de várias espécies do gênero *Psychotria*. A família Myrtaceae também apresenta muitos indivíduos no estrato herbáceo principalmente dos gêneros *Psidium*, *Myrcia* e *Eugenia*. A família Melastomataceae se encontra representada principalmente por *Tibouchina* sp., *Leandra* sp. e *Miconia* sp. sendo *Miconia* mais frequente sob o dossel compondo a fisionomia desse estrato juntamente com mirtáceas e rubiáceas. Alguns elementos encontrados com frequência são *Cestrum* sp. (Solanaceae), *Rapanea* sp. (Myrsinaceae) e *Inga* sp. (Leguminosae). Esta composição é similar àquela encontrada nas matas e capoeiras mais desenvolvidas, distribuídas em todo o estado. No entanto, a proporção entre esses elementos se apresenta bastante variável e aparentemente se relaciona com o padrão de tipo de afloramento rochoso predominante. A caracterização fitosociológica mais

pormenorizada permitirá obter uma resolução que permita comparar os padrões e testar possíveis efeitos do substrato sobre a estrutura da vegetação

Assim, como fruto de observações preliminares, nota-se que sobre terrenos de rochas sem alteração hidrotermal (metabasitos) e com alteração (metatufo e granada-cordierita-cummingtonita/antofilita anfibolitos - GCCA) ocorrem alterações nas espécies mais comumente presentes, com exceção de mirtaceas, que aparecem bem distribuídas. No estrato arbóreo sobre os metabasitos ocorre com freqüência Melastomataceae, o que não parece se passar sobre as duas outras rochas. Já no estrato herbáceo, as marantaceas aparecem com maior freqüência e muito desenvolvidas sobre granada-cordierita-cummingtonita/antofilita anfibolitos, em touceiras grandes, tendo sido observada mancha populacional de pelo menos 10 metros de largura. Estas marantaceas também ocorrem no estrato herbáceo sobre metatufo, mas raramente.

A respeito da espécie particularmente enfocada neste projeto, a *Marantaceae calathea* sp. (foto 2) confirmou-se a sua maior concentração em áreas onde o sub-bosque é mais aberto (foto 3), como bem já havia notado anteriormente o Prof. Caetano e orientandos.

Outra constatação feita é a singular ocorrência das marantaceas sobre os solos de alteração da rocha granada-cordierita-cummingtonita/antofilita anfibolito, consistindo em quartzo, magnetita, biotita/flogopita, estaurolita, clorita, titanita, anortita, rutilo, diopsídio e sulfetos (pirita e pirrotita) (Aguilar, 1996). Esta rocha é chamada de "exótica", devido a sua enorme complexidade e variedade de minerais.

Sobre esta mesma rocha foi encontrada uma situação muito característica das áreas alteradas em relação à espécie. Observou-se a presença de uma "ilhota" de marantaceas com características bem peculiares, tais como mata pouco perturbada, sem interferência de altitude, declive e presença de água (foto 4).

Em outra situação onde a mata é mais fechada, como sobre rochas metabásicas, a marantacea aparece mais baixa e em menor quantidade. Isto se deve possivelmente a uma menor irradiação e talvez uma altitude maior. Neste local predominava um outro tipo de espécie vegetal denominada psicótreia, indicando novamente a relação entre as espécies vegetais e o substrato rochoso, que não é simples, por alguns motivos:

- 1) a marantacea associa-se a sub-bosques mais limpos, com dosséis mais abertos e preferencialmente com abundância de água,
- 2) sobre rochas com alteração hidrotermal, as matas são mais abertas, mas a presença de marantacea é variada, tanto em tamanho como em densidade,
- 3) sobre granada-cordierita-cummingtonita/antofilita anfibolito ocorrem marantaceas de maiores dimensões, mesmo em platôs distantes das drenagens (foto 5),
- 4) as espécies arbóreas tem presença variada sobre diferentes litologias. Assim, não apenas a densidade da mata varia, mas também sua fito-sociologia,

5) mesmo em área de reflorestamento (*Pinus ellioti*) a presença de marantaceas sobre solos de granada-cordierita-cummingtonita/antofilita anfibolito persiste, embora o ambiente seja agressivo para espécies arbustivas de sub-bosque.

Apesar das observações terem sido breves, pode-se perceber algumas características importantes a respeito das anomalias geobotânicas, enquadrando-se em pelo menos três dos efeitos descritos por Drury (1993) e Lillesand & Kiefer (1994). São eles: (1) distribuição anômala de espécies e/ou comunidade de plantas, (2) atraso no crescimento e/ou diminuição da cobertura vegetal do terreno e (3) gigantismo (das marantaceas).

A segunda etapa do trabalho de campo realizada no dia 17/06/98, contou com a participação do orientador, do Prof. Dr. Sérgio Tadeu e do mestrando do IG-USP Marco Aurélio Bonfá Martin, conhecedor da região e de sua geologia.

Este trabalho de campo consistiu basicamente em visitas aos locais considerados importantes na primeira etapa de campo, porém desta vez para uma observação mais cuidadosa e coleta de material para análise.

Foram descritos principalmente três pontos sendo o primeiro o de uma rocha metabásica, onde foram coletadas duas amostras de solo (aproximadamente 500g) e dezenas de amostras de plantas de várias espécies. No segundo ponto foi encontrada uma rocha tufítica com alteração hidrotermal e supérgena e, no terceiro ponto, foi observada a rocha com intensa alteração hidrotermal, denominada granada-cordierita-cummingtonita/antofilita anfibolito. Em ambos os pontos foram coletadas uma amostra de solo e dezenas de amostras de plantas de diversas espécies, seguindo o procedimento já descrito.



Foto 1 - Vista geral das sequências do Grupo Serra do Itaberaba.



Foto 2 - Marantaceae *calathea* sp.



Foto 3 - Copa das árvores, dossel mais aberto.



Foto 4 - Vista de “ilhota” de marantaceas presentes num dossel aberto.



Foto 5 - Típica marantacea sobre solo de alteração de granada-cordierita-cummingtonita/ antofilita anfibolito.

## 6.6. Análises Químicas

Os resultados das análises de solos e folhas, feitas pelo IAC, foram os seguintes:

Tabela 6 : Resultado de quatro análises de solos

Parâmetros	Metabasito	Metabasito	Metatufo	GCCA
<b>Cor (Carta de Munsell)</b>	2.5YR valor 4/6	2.5YR valor 4/6	7.5YR,valor 4/6	10YR,valor4/6
<b>Mat. Org. (mg/dm<sup>3</sup>)</b>	23	27	20	16
<b>PH (solução CaCl)</b>	4,2	4.1	4,1	4,0
<b>P (mg/dm<sup>3</sup>)</b>	3	2	2	2
<b>K (mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>)</b>	0.7	0.4	0,4	0,3
<b>Ca (mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>)</b>	1	1	1	1
<b>Mg (mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>)</b>	1	1	1	1
<b>H + Al (mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>)</b>	89	99	89	65
<b>Soma de Bases (mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>)</b>	2,7	2.4	2,4	2,3
<b>Cap. Troca Cat. (mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>)</b>	91.7	101.4	91,4	67,3
<b>V sat. Bases (%)</b>	2	2	2	3
<b>B (mg/dm<sup>3</sup>)</b>	0,17	0.14	0,31	0,15
<b>Cu (mg/dm<sup>3</sup>)</b>	1.8	2.3	2,4	1,5
<b>Fe (mg/dm<sup>3</sup>)</b>	61	69	17	71
<b>Mn (mg/dm<sup>3</sup>)</b>	5.1	2.4	82,8	11,1
<b>Zn (mg/dm<sup>3</sup>)</b>	1,6	1.2	1,7	2,1

*Tabela 7 : Resultado de cinco análises de folhas*

	<b>Metabasito</b>	<b>Metabasito</b>	<b>Metabasito</b>	<b>Metatufo</b>	<b>GCCA</b>
<b>N (g/kg)</b>	-----	15,2	15,9	13,5	17
<b>K (g/kg)</b>	11,6	9	8	13,5	9
<b>P (g/kg)</b>	0,7	0,5	0,6	0,7	0,9
<b>Ca (g/kg)</b>	1,5	1,5	1	3,3	1,9
<b>Mg (g/kg)</b>	1,1	1	1	3,4	2,3
<b>B (mg/kg)</b>	38,4	35,6	18,9	21,9	34,2
<b>Cu (mg/kg)</b>	4,9	23,3	2,5	4,9	8,8
<b>Fe (mg/kg)</b>	716,1	7661,6	157,2	1125,5	924,3
<b>Mn (mg/kg)</b>	3675	2363,5	1868	2366,4	3323,7
<b>Zn (mg/kg)</b>	41,9	36,4	16,4	163,3	46,5

## 7. Discussão dos dados

De acordo com a metodologia utilizada, os resultados obtidos tanto no processamento de imagens, quanto na análise química foram muito satisfatórios, sendo discutidos a seguir.

### 7.1. Interpretação das Imagens

De acordo com os métodos utilizados, a imagem que apresentou melhores resultados foi a imagem 1 (inverno). Esta constatação era de fato esperada: no verão (fim da primavera), na região em estudo, as altas temperaturas, pluviosidade e insolação tendem a minimizar as diferenças de metabolismo devidas à composição do substrato rochoso. Já em fins de agosto, estação de temperaturas mais baixas, menos horas de insolação e pluviosidade muito mais baixa, a composição do substrato que na região em apreço é composta de litologias muito variadas, afetará mais fortemente a vegetação. A água, por exemplo, terá um período de residência mais longo, antes da absorção pelas raízes e portanto são mais influenciadas por diferenças de pH e de elementos com elevada toxicidade. Tendo em vista estas observações, pode-se prever que as anomalias geobotânicas aparecerão muito mais evidentes na imagem de inverno, fato que foi comprovado na análise das duas imagens.

### 7.2. Interpretação dos Resultados Analíticos

A figura 17 corresponde a um gráfico cartesiano baseado nos autovalores resultantes de uma análise de componentes principais com os resultados da análise do solo padronizados. Os vetores representam as variáveis envolvidas e foram representados apenas aqueles que apresentavam maior significância. A maior diferenciação foi verificada entre os valores das variáveis associadas ao solo sobre CGCA e as outras áreas. Destaca-se o gradiente produzido pelo aumento do parâmetro "V", maior em CGCA e menor nas outras rochas. Esse parâmetro representa o grau de saturação de bases dividido pela capacidade de troca catiônica do solo em porcentagem. De forma geral, o solo sobre CGCA apresenta-se pobre em nutrientes, além de ser incapaz de interceptar nutrientes e preservá-los da lixiviação. Isto contrasta agudamente com os solos do entorno que são, em geral, mais férteis, apresentando maior potencial de preservação desta fertilidade frente à alta pluviosidade da região.

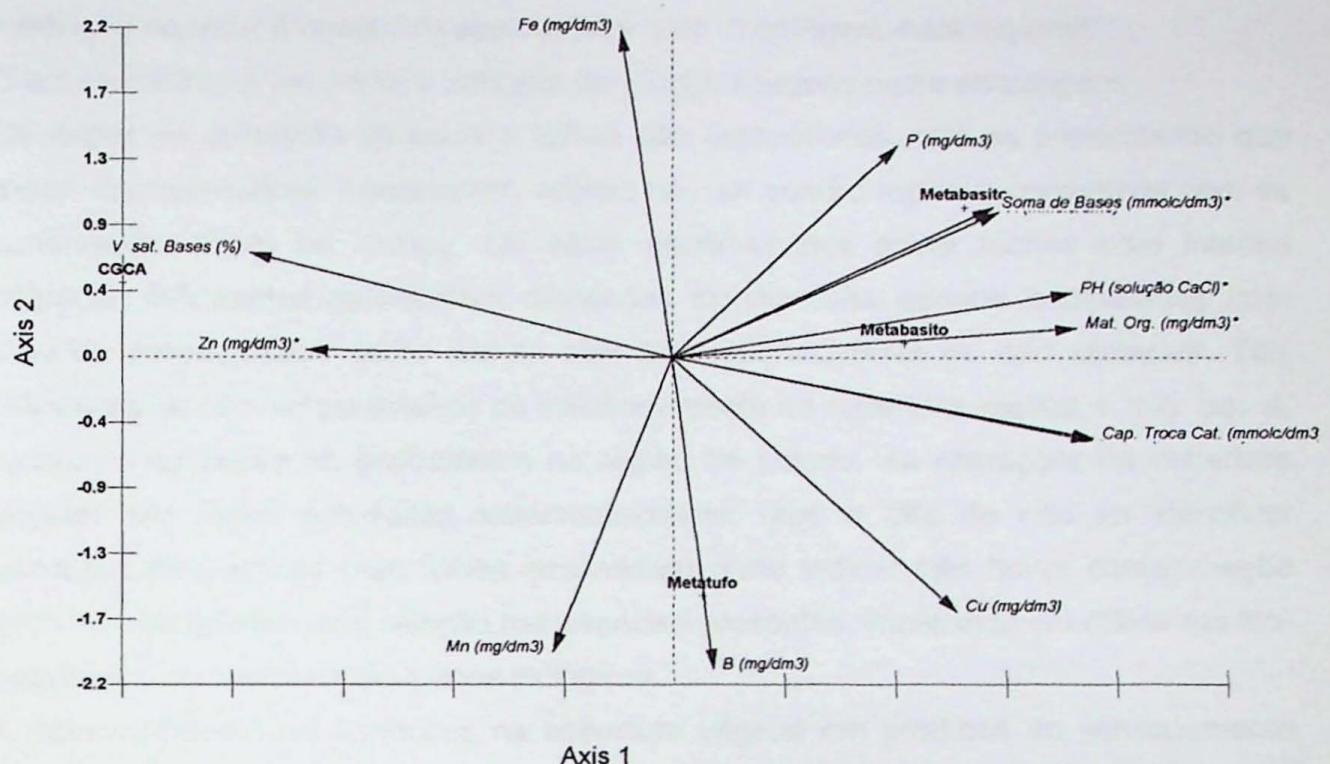


figura 17 - Diagrama de análise multivariante de parâmetros de solo

## 8. Conclusões

- As imagens TM-Landsat possuem razoável resolução espectral para abordar o problema, que, no entanto, se manifesta de forma clara apenas na banda 4. Já a resolução espacial é adequada apenas para uma abordagem mais regional.
- O fim de inverno é um período indicado para obter imagens nesta abordagem.
- Os dados de quimismo de solos e folhas são exploratórios, não se pretendendo que sejam representativos. Apresentam, entretanto, um quadro lógico e compatível com as observações feitas no campo. Os solos desenvolvidos sobre rochas com intensa alteração hidrotermal apresentam diferenças significativas quando comparados com aqueles desenvolvidos sobre rochas com alteração incipiente ou não alteradas. Tais diferenças se dão em parâmetros de influência direta na cobertura vegetal, o que, por si, justifica a aplicação da geobotânica na região de estudo. As alterações na cobertura vegetal não foram estudadas sistematicamente, mas o fato de não se identificar variações fitoquímicas (nas folhas analisadas) pode indicar não haver contaminação química mas apenas uma seleção nas espécies presentes, implicando em diferentes fito-sociologias correlacionadas a tipos litológicos.
- A detectabilidade das variações na cobertura vegetal em produtos de sensoriamento remoto exigirá destes uma excelente resolução espacial, pois estas variações se dão freqüentemente. Também a resolução espectral deverá ser alta, idealmente capaz de verificar a ocorrência de *red* e *blue shift*, bem como identificar espécies ou grupos de espécies arbóreas, como vem sendo feito pelo sensor AVIRIS (Raymond Kokaly, informação verbal).

## 9. Referências Bibliográficas

- ACHARD, F. & BLASCO, F. (1990) – *Analysis of vegetation seasonal evolution and mapping of forest cover in west Africa with the use of NOAA, AVHRR, HRTP data.* Photogrammetric Engeenering and Remote Sensing, 56 (10): 1359-1365.
- ALMEIDA, F.F.M. de; AMARAL, G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K. (1973) – *The precambrian evolution of the South American cratonic margin south of Amazon River.* In: NAIRN, A.E.M. & STEHLI, F.G.; The Ocean Basin and Margins, NY, Plenum 1, p. 411-446.
- ALMEIDA FILHO, R. (1984) – *Multiseasonal and geobotanical approach in remote detection of albitized-greisenized areas in the Serra da Pedra Branca granitic massive, Goiás State, Brazil.* Economic Geology, 79:1914-1920.
- ALMEIDA FILHO, R. & CASTELO BRANCO, R.M.G. (1992) – *Location of kimberlites using Landsat Thematic Mapper images and aerial photographs: the Redondão diatreme, Brazil.* International Journal of Remote Sensing, 13:1449-1457.
- ALMEIDA FILHO, R. & VITORELLO, I. (1996) – *Mapping of hidrothermally altered areas in vegetated terrain, using multisource data integration and segmentation techniques.* International Archives of Photogrammetry and remote Sensing, 31, B7: 7-13.
- ALMEIDA FILHO, R., VITORELLO, I. & CORREIA, V.R.M. (1996) – *Use of Landsat Thematic Mapper Imagery as Mineral Prospecting Tool in the Tin Province of Goiás, Brazil.* Geocarto International 11(1):61-69.
- AMARAL, G. (1982).– . *Aplicabilidade da análise automática de imagens Landsat na pesquisa mineral no interflúvio Araguaia Xingu.* 1982. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto 2. Brasília. 1982.
- AMARAL, G. (1992).– . *Estudos geobotânicos no Vale do Ribeira com base em sensoriamento remoto.* Boletim. IGUSP, Publicação Especial 12:11-12.
- BANNINGER, C. (1985) – *Comparison between Landsat MSS and Thematic Mapper Data for Geological Prospecting in the Spanish-Portuguese Pyrite Belt.* Remote Sensing Instrumentation Technology for Science and Applications – International Geoscience and Remote sensing Symposium (IGARSS'85). 1985, Massachussets. EUA. p. 949-956.
- BANNINGER, C. (1988) – *Analysis of Airborne Imaging Spectrometer (AIS) Data for Geobotanical Prospecting.* Proceedings of the Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, 6 ERIM, Houston, EUA. p. 489-498.
- BANNINGER, C. (1991) – *Phenological Changes in the Red Edge Shift of Norway Spruce Needles and their Relationship to Needle Chlorophyll Content.* Proceedings of the International Colloquim – Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, 5, Courchevel, França.p. 155-158.

14509

- **BELJAVSKIS, P.; GARDA, G.M. & JULIANI, C.** (1993) – *Características das mineralizações auríferas no Grupo Serra do Itaberaba, Guarulhos, SP.* **Revista do Instituto Geológico**, 14 (1):21-29.
- **BELL, R. ; EVANS, C. S. ; MASUOKA, E. J. & LABOVITZ, M. L.** (1989) - *Using remotely sensed botanical information in geological exploration; anticipate the unexpected.* Proceedings of the Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, 7. ERIM, Ann Arbor, MI, USA p. 167-169.
- **BLASCO, F. & BELLAN, M.F.** (1978) – *Interpretation supervisée de la vegetation tropicale, naturelle et cultivée sur une image satelite.* **Photo-interpretation**, 78(4): 4-9.
- **CARRARO, C.C.** (1971) - *Reconhecimento de rocha mineralizada de Vazante nas transparências falsa cor.* **INPE-2882-RI/71.** 28p.
- **CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR** – CENA/USP (1997) – **Mapas Temáticos** In: <http://www.cena.usp.br/piracena/html/vetores.htm>.
- **CRÓSTA, A. P.** (1993) - *Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto.* Campinas, SP. IG/UNICAMP, 170p.
- **DARCH, J. P. & BARBER, J.** (1983) - *Multitemporal remote sensing of a geobotanical anomaly.* **Economic Geology** , 78 (4):770-782.
- **DRURY, S.A.** (1993) – *Image Interpretation in Geology*, Second Edition. Chapman & Hall, 283p.
- **DUTARTRE, P. & KING, C.** (1987) – *Contribution géobotanique en télédétection pour la recherche géologique et minière: exemple du Massif du Rhodope.* Second European Workshop in Mineral Exploration. Repot EUR 11317, p. 371-394.
- **DYER, R.C.** (1994) – *Some South American Case Studies in Geobony.* **International Archives of Photogrammetry ang Remote Sensing** 30 (7-a): 404-411.
- **EBERT, H.** (1967) – *A estrutura pré-cambriana do sudoeste de Minas Gerais e áreas adjacentes.* In: Congresso Brasileiro de Geologia, 21, Curitiba 1967. **Resumos e Roteiros das Excursões.** Boletim Paranaense de Geociências (26), p. 42-45.
- **ER-MAPPER 5.0** (1995) – *Reference Manual.*
- **FERREIRA, A.C. & RIBEIRO DE ALMEIDA, T.I.** (1989) - *Tectônica transcorrente e imagens TM-LANDSAT aplicadas à prospecção de fluorita e barita em Santa Catarina.* **Revista Brasileira de Geociências**. 19(2): 207-223..
- **GOETZ, A.F.H.; ROCK, B.N. & ROWAN, L.C.** (1983) – *Remote Sensing for Exploration: an overview.* . **Economic Geology**, 78; (4):573-590.

- GRANT, L. (1987) – *Diffuse and specular characteristics of leaf reflectance. Remote sensing of Environment*, 22:309-322.
- GUYOT, G. (1988) – *Propriétés Spectrales de la vegetation- applications a la Télédétection.* in Télédétection Spatiale: aspects physiques et modelisation. CNES, Toulouse, 1988. Capítulo VIIb. p. 637-727.
- GUYOT, G. (1995) – *La Réflectance des couverts vegetaux. Photo-Interprétation*, 95(3):157-180.
- HASUI, Y.; ALMEIDA, F.F.M. & BRITO NEVES, B.B. (1978) – As estruturas Brasilianas. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30, Recife. *Anais*. Recife, SBG. vol. 6. p. 2433-2437.
- HODCROFT, A.J.T. & MOORE, J.McM. (1988) – *Remote Sensing of Vegetation – A Promising Exploration Tool. Mining Magazine*, Oct. 1988.p. 274-279.
- HOFFMANN, H & KIRCHOF, W. (1991) – *The spectral reflection behaviour of branches and branch components of healthy and damaged beech trees.* Proceedings of the 5<sup>th</sup> International colloquium – Physical Measurements and signatures in Remote sensing. Courchevel, França. 1991.p. 193-196.
- HORLER, D.N.H. & BRUCE, B. (1985) – *Geobotany in Canada: Status, Potential and Program.* Proceedings of the International Symposium on Remote Sensing of Environment, 4, San Francisco. 1985. EUA. p. 155-167.
- HORNSBY, J.K.; BRUCE, B. & MAHLTORA, R.V. (1987) – *Proceedings of the Canadian Symposium of Remote Sensing.* Waterloo. p. 277-286.
- HORNSBY, J.K.; BRUCE, B.; HARRIS, J. & RENCZ, A.N. (1988) – *Implementation of Background and Target Geobonical Techniques in Mineral Exploration.* Proceedings of the Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, 6 ERIM, Houston, EUA. p.511-521.
- JACQUEMOUD, S. & BARET, F. (1990) – *PROSPECT – A Model of Leaf Optical Properties Spectra.* *Remote Sensing of Environment*, 34:75-91.
- JULIANI, C. & BELJAVSKIS, P. (1983) – *Geologia e evolução geológico-estrutural preliminar do Grupo São Roque na região da Serra do Itaberaba (SP).* In: Simpósio Regional de Geologia, 4, São Paulo, 1983. *Atas*. São Paulo, SBG-NSP, p. 113-126.
- JULIANI, C.; BELJAVSKIS, P. & SCHORSCHER, H.D. (1986) – *Petrogênese do vulcanismo e aspectos metalogenéticos associados: Grupo Serra do Itaberaba na região do São Roque.* Congresso Brasileiro de Geologia, *Anais*, Goiania, SBG. v.2: 730-743.
- JULIANI, C. (1993) - *Geologia, petrogênese e aspectos metalogenéticos dos Grupos Serra do Itaberaba e São Roque na região das serras do Itaberaba e da Pedra Branca, NE da cidade de São Paulo, SP.* São Paulo, 2v., 5 mapas, Tese de Doutorado - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 803p.

- JULIANI, C.; SCHORSCHER, H.D.; BELJAVSKIS, P. & GARDA, G.M. (1994) – *Litoestratigrafia e petrografia do Grupo Serra do Itaberaba, NE da cidade de São Paulo.* In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38. Balneário de Camboriú, 1994. **Boletim de Resumos Expandidos**, SBG, v.2, p. 101-103.
- KIRCHOF, W & HOFFMANN, H (1991) – *Evaluation of high resolution laboratory reflectance data of healthy and damage beech and spruce branches for the improvement of forest damage classification.* . Proceedings of the 5<sup>th</sup> International colloquium – Physical Measurements and signatures in Remote sensing. Courchevel, França. 1991.p.197-200.
- KNIPPLING, E.B. (1970) – *Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near infrared radiation from vegetation.* **Remote Sensing of Environment**, 1: 155-159.
- LABOVITZ, M.L.; MASUOKA, E.J. & BELL, R. (1984) – A “Blind” examination for the use of remote sensing in researching for geobotanical anomalies. Proceedings of the Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, 3. ERIM, Colorado, Michigan, EUA. p.171-172.
- LABOVITZ, M. L; MASUOKA, E. J.; BELL, R.; NELSON, R. F.; LARSEN, C. A.; HOOKER, L. K.; TROENSEGAARD, K. W. (1985) - *Experimental evidence for spring and autumn windows for the detection of geobotanical anomalies through the remote sensing of overlying vegetation.* **International Journal of Remote Sensing** 6 (1):195-216.
- LEFÈVRE, V.; BARBOSA, A.F.; WOHLERS, A.; ALMEIDA, F.F.M.de; MELCHER, G.C.; FELICÍSSIMO JR, J.; GUIMARÃES, J.E.P.; SETZER, J.; PAOLIELLO, P.C.; FREITAS, R.O.de; MEZZALIRA, S.; PETRI, S.; KNECHT, T. (1963) *Mapa Geológico do Estado de São Paulo (Brasil)*, escala 1:1.000.000. Instituto Geográfico e Geológico.
- LEFÈVRE, M. J. (1982) - *Teledetection d'anomalies geobotaniques appliquée à la recherche minière par la méthode de traitement d'images.* **Bulletin de la Société Géologique de France**, 24; (1): 127-130.
- LILLESAND, T. M. & KIEFER, R. W. (1994) - *Remote sensing and image interpretation.* 3a.ed. John Wiley & Sons, 750p.
- MASUOKA, E.J.; LABOVITZ, M.L.; BELL, R.; NELSON, R.F.; BRODERICK, P.W. & LUDWIG, R.W. (1982) – *The application of remote sensing in geobotanical exploration for metal sulfides.* Proceedings of the Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, 2. ERIM, Forth Worth, Texas, EUA. p.669-677.
- MILTON, M.N. (1981) – *Use of Reflectance Spectra of Native Plant Species for Interpreting Airborne Multispectral Scanner Data in the East Tintic Mountains.* Int. **Geoscience and Remote Sensing Symposium – IGARSS'81-** Washington, EUA. P. 614-616.
- MILTON, N.M. & MOUAT, D.A. (1984) – *Spatial and Spectral Resolution in Geobotany.* Proceedings of the Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, 4. ERIM, Colorado, Michigan, EUA. p.173-179.

- MINOR, T; MOUAT, D. & MYERS, J. (1988) – *Geobotanical Determination of Aggregate Source Material Using Airborne Thematic Mapper Imagery*. Proceedings of the Thematic Conference Remote Sensing for Exploration Geology, 6. ERIM, Houston. EUA. 12p.
- MOUAT, D.A. (1982) – *The response of Vegetation to Geochemical Conditions*. International Symposium of Remote Sensing of Environment, 2<sup>nd</sup> Thematic Conference. Fort Worth. EUA. p. 75-84.
- NASCIMENTO, F.S. & CHEN, S.C. (1976) – *Sensoriamento remoto aplicado à prospecção de minerais de zinco no Grupo Bambuí, baseado em estudos geobotânicos*. Relatório INPE 951-pe/042. 25p.
- OKADA, K. SEGAWA, K. E HAYOSHI, I. (1994) *Removal of the vegetation effect from Landsat TM and GER imaging spectroradiometer data*. *Journal of Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 48, no. 6, p. 16-27.
- OLIVEIRA, E.P. de (1925) – *Analyses de calcáreos*. *Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico* 10:1-45.
- PARADELLA, W.R.; SILVA, M.F.F.; ROSA, N.A. & KUSHIGBOR, C.A. (1984)- *A Geobotanical approach to the tropical rain forest environment of the Carajás Mineral Province (Amazon Region, Brazil) based on digital TM-Landsat and DFEM data*. *International Journal of Remote Sensing* 15 (8): 1633-1648. 1984.
- PARADELLA, W.R. & BRUCE, W.D. (1990) – *Geobotânica por sensores remotos: uma revisão*. *Revista Brasileira de Geociências*, 19 (4): 425-435.
- PARADELLA, W.R. (1992) – *A GIS and a geobotanical investigation based on TM-Landsat and DEM for geological mapping in the tropical rain forest (Brazilian Amazon region)*. Proceedings, IGARSS'92, VOL. 1, P. 631-633.
- PARADELLA, W.R. & VITORELLO, I. (1995) – *Geobotanical and soil spectral investigation in the Caatinga environment (Brazil) based on multitemporal remote sensing data*. *Jounal Canadien de Télédétection/Canadian Journal of Remote sensing*. 21, (1): 52-59.
- PÉREZ AGUILAR, A. (1996) - *Geologia, petrografia e gênese dos granada -cordierita-cummingtonita/antofilita anfibolitos e rochas associadas do Grupo Serra do Itaberaba, SP*. São Paulo, Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 151p.
- RIBEIRO DE ALMEIDA, T. I. ; JULIANI, C.; AGUILAR, A. P. & MARTIN, M. A. B. (1995) - *Aplicación de imágenes TM-Landsat en la detección de zonas de alteración hidrotermal pré-metamórfica con mineralizaciones en Au en una secuencia vulcano-sedimentar Precámbrica: Grupo Serra do Itaberaba, SP, Brazil*. VII Simpósio Latino Americano de Percepción Remota. Puerto Vallarta, México. p. 470-478.

- RIBEIRO DE ALMEIDA, T.I.; DA SILVA FILHO, W.F.; SAYEG, H.S.; FAMBRINI, G.L.; MACHADO, R. & FRAGOSO CÉSAR, A.R.S. (1995a)- *Procesamiento digital y interpretación geológica de imágenes TM-Landsat del área al Este de la Mina de Camaquã (Límite Proterozoico-Fanerozóico), Estado do Rio Grande do Sul, Brazil.* VII Simpósio Latinoamericano de Percepción Remota. Puerto Vallarta, México. **Memórias** 457-469. 1995.
- RIBEIRO DE ALMEIDA, T.I.; DA SILVA FILHO, W.F.; FAMBRINI, G.L.; SAYEG, H.S.; Mc Reath, I.; MACHADO, R. & FRAGOSO CÉSAR, A.R.S. (1997) – *Digital processing and Geological Interpretation of TM-Landsat Images of the area East of the Camaquã Mine in Rio Grande do Sul State, Southern Brazil.* Boletim IGUSP - Série Científica 28: 101-118.
- ROCK, B. N. (1987) - *Geobotanical remote sensing; an overview.* Journal of Geochemical Exploration 29; 1-3, Amsterdam-New York, p. 430.
- ROTHFUS, H.; LEHMANN & RICHTER, R. (1991) – *The comparison of Airborn Imaging Spectrometry and Geochemiocal Ground Survey for the Analysis of Vegetation Anomalies over Wasre Deposits.* Proceedings of the International Colloquim – Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, 5, Courchevel, França.p.189-191.
- SARAF, A. K. & CRACKNELL, A. P. (1989) - *Linear discriminant and profile analysis; an aid in remote sensing for geobotanical investigation.* International Journal of Remote Sensing (10; 11) p. 1735-1748.
- SELLERS, P.J. (1985) - *Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration.* International Journal of Remote Sensing 6:1335-1372.
- SELLERS, P. J. (1987) - *Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration.* Remote Sensing of Environment 21:143-183
- SILVA, M.F.F. & ROSA, N.A. (1989) - *Análise do estrato arbóreo da vegetação sobre jazidas de cobre na Serra dos Carajás, PA.* Boletim do Instituto Paraense Emílio Goeldi (Botânica) 5: 176-206.
- TAPPER, G.O. & DEMPSEY, D.A. (1988) – *MEIS II and Surface Data Integration for Detection of Geobonical Anomalies.* Proceedings of the Thematic Conference Remote Sensing for Exploration Geologyic, 6. ERIM, Houston. EUA. p. 499-508.
- TORCOLLETTI, P.J. & BIRNIE, R.W. (1988) – *A Landsat Thematic Mapper Investigation of the Geobonical relationships in the Northern Spruce-Fir Forest, Mt. Moosilauke, New Hampshire.* Proceedings of the Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, 6. ERIM, Houston, Texas, EUA. p.541-550
- WAGNER, C. L. ; HOWARTH, P. J. & SINGHROY, V. H. (1989) - *A spectral geobotanical study at Natal Lake, northern Ontario.* International Journal of Remote Sensing (10; 11) p. 1721- 1734.

## **ANEXO 1**

**ÁREAS DE AMOSTRAGEM - IMAGEM I (30/08/89)**  
**ZONAS ALTERADAS**

**ÁREA 1**

TM1	21	18	25	21	18	29	32	29	18	10	21
TM2	26	27	27	26	29	27	28	27	26	27	25
TM3	23	23	24	24	26	26	25	24	23	24	22
TM4	146	154	192	186	174	174	166	204	178	188	154
TM5	63	74	71	76	71	71	81	81	71	73	71
TM7	22	36	36	43	34	34	41	50	34	34	39

**ÁREA 2**

TM1	25	25	25	36	29	21	29	32	21	32	25
TM2	26	28	25	30	30	28	25	27	28	27	26
TM3	25	25	24	27	26	23	25	26	25	25	25
TM4	204	200	206	184	194	210	198	188	202	200	198
TM5	69	87	64	99	86	87	81	85	70	94	82
TM7	43	50	32	55	43	50	43	22	39	52	39

**ÁREA 3**

TM1	18	10	21	36	25	29	25	21	32	25	21
TM2	26	28	27	30	30	27	24	25	28	27	26
TM3	21	25	26	32	25	25	25	23	28	24	25
TM4	208	184	162	156	192	202	166	162	188	180	142
TM5	77	80	75	74	93	81	74	63	90	76	64
TM7	43	45	48	39	59	43	29	32	50	43	41

**ÁREA 4**

TM1	32	32	36	23	21	25	32	21	21	25	29
TM2	29	27	30	27	27	27	29	26	27	27	27
TM3	25	26	30	24	25	25	25	23	24	24	26
TM4	198	174	190	176	180	186	170	174	174	176	178
TM5	77	74	75	69	75	79	74	68	76	78	73
TM7	41	41	48	36	45	43	41	32	45	45	36

**ÁREA 5**

TM1	21	21	21	25	21	25	21	21	32	25	25
TM2	28	27	25	26	26	26	26	29	28	30	27
TM3	26	26	24	25	22	26	22	26	26	26	26
TM4	182	170	166	188	172	140	162	190	192	158	170
TM5	78	77	64	73	75	81	66	83	84	83	86
TM7	45	43	36	39	34	55	34	48	45	52	52

**ÁREA 6**

TM1	18	18	21	14	25	18	32	18	21	25	21
TM2	27	26	26	28	27	22	30	23	25	26	27
TM3	23	24	24	22	22	22	26	22	23	24	23
TM4	176	182	188	174	180	158	220	178	158	166	176
TM5	73	68	79	74	69	58	98	68	57	74	70
TM7	43	36	45	39	34	32	80	34	25	43	41

## **ANEXO 2**

**ÁREAS DE AMOSTRAGEM - IMAGEM I (30/08/89)**  
**ENCAIXANTES**

NW

TM1	43	25	18	21	51	18	25	65	47	18	7
TM2	30	29	25	23	31	27	29	32	28	26	24
TM3	32	25	20	22	33	25	25	44	28	25	23
TM4	132	216	120	220	148	204	170	108	150	150	136
TM5	95	85	49	67	105	70	76	129	97	90	41
TM7	78	43	27	22	73	34	48	126	25	57	22

NW

TM1	54	32	29	51	25	21	18	21	18	25	58
TM2	33	27	27	31	26	25	27	23	25	24	36
TM3	39	26	25	35	22	23	25	22	21	23	44
TM4	102	114	150	148	144	156	156	194	168	156	170
TM5	126	72	62	106	60	66	69	53	66	59	143
TM7	142	43	32	80	29	36	41	22	29	27	117

SW

TM1	10	18	10	21	25	21	21	36	25	14	18
TM2	25	27	23	26	26	24	26	30	25	25	28
TM3	23	23	19	24	22	21	23	32	22	23	26
TM4	128	130	100	154	134	114	132	164	140	156	158
TM5	59	62	37	65	52	48	58	82	60	64	67
TM7	32	34	18	32	27	29	29	59	29	32	36

NE

TM1	10	25	29	65	18	29	32	25	10	25	10
TM2	24	27	27	39	24	27	27	27	26	25	22
TM3	22	25	25	44	23	24	26	25	22	23	19
TM4	130	162	190	188	138	156	162	164	150	158	136
TM5	49	71	75	131	48	65	73	75	61	66	42
TM7	29	39	39	94	25	34	34	43	36	32	18

SÃO ROQUE

TM1	40	36	25	36	40	36	25	47	51	25	32
TM2	29	28	29	28	30	29	27	30	30	27	27
TM3	35	29	27	26	31	31	23	27	32	25	23
TM4	122	122	152	160	138	116	152	156	140	156	144
TM5	91	83	72	84	92	83	69	80	92	62	70
TM7	66	55	45	41	62	59	36	48	59	32	32

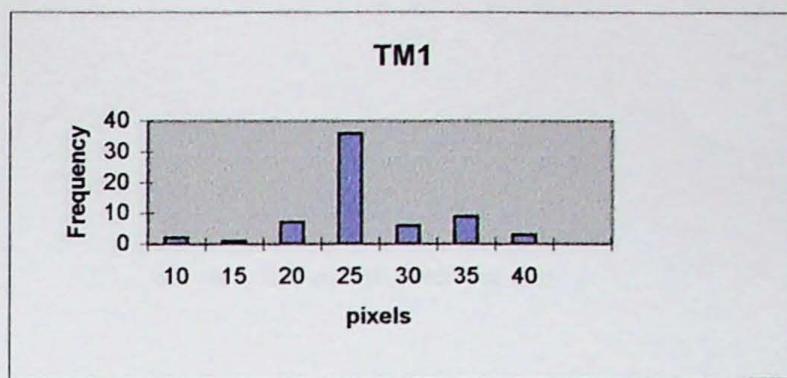
SÃO ROQUE

TM1	21	36	36	18	18	36	29	32	32	25	25
TM2	29	28	30	25	27	27	26	28	28	27	27
TM3	25	26	30	22	23	25	23	26	24	25	23
TM4	148	156	146	116	138	150	148	150	130	156	138
TM5	71	82	78	52	67	65	58	71	61	71	60
TM7	41	45	55	29	32	34	27	48	36	41	32

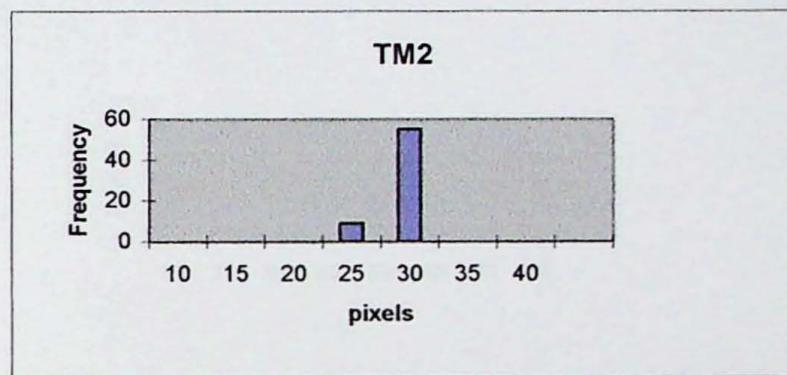
## **ANEXO 3**

**HISTOGRAMAS - IMAGEM I**  
**ZONAS ALTERADAS**

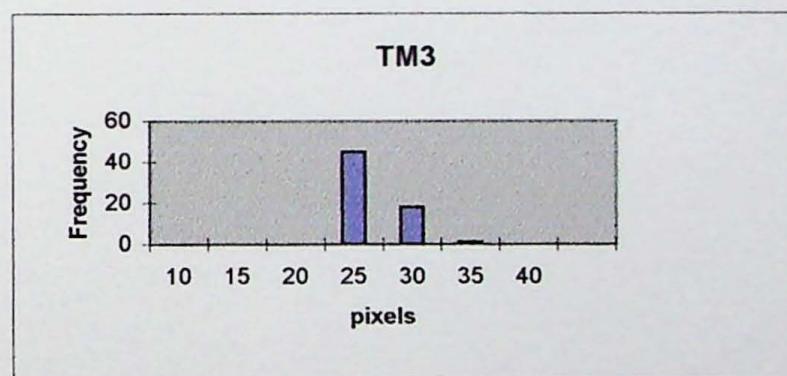
Bloco	Frequencia
10	2
15	1
20	7
25	36
30	6
35	9
40	3
Mais	0



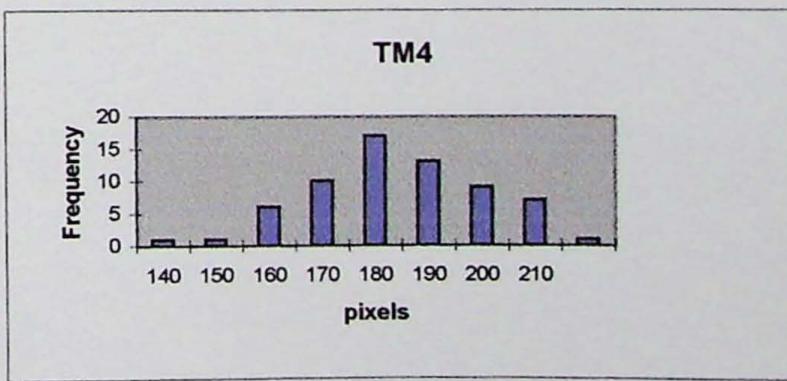
Bloco	Frequencia
10	0
15	0
20	0
25	9
30	55
35	0
40	0
Mais	0



Bloco	Frequencia
10	0
15	0
20	0
25	45
30	18
35	1
40	0
Mais	0

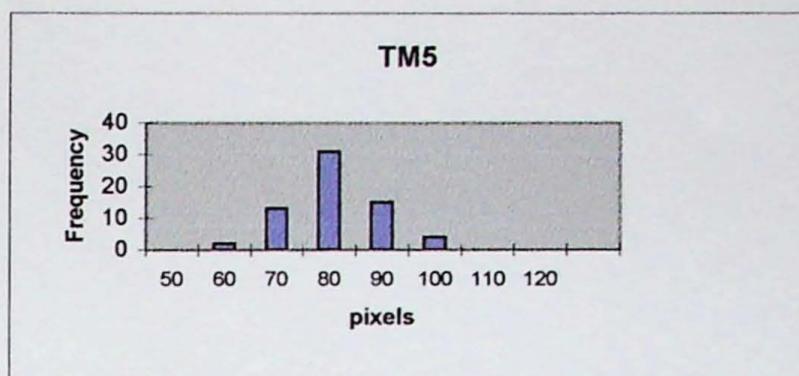


Bloco	Frequencia
140	1
150	1
160	6
170	10
180	17
190	13
200	9
210	7
Mais	1

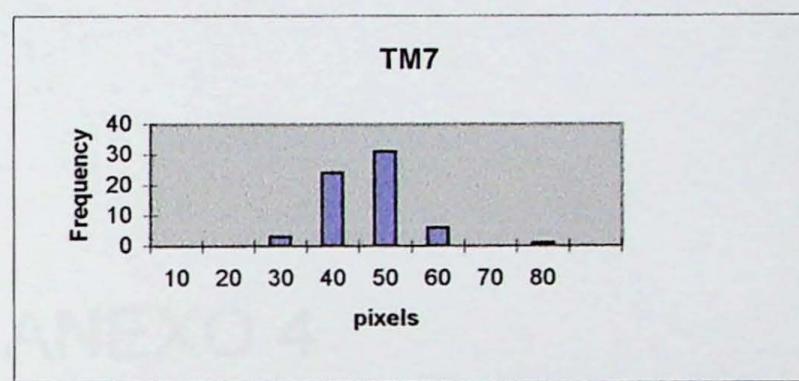


HISTOGRAMAS - IMAGEM I  
ZONAS ALTERADAS

Bloco	Frequencia
50	0
60	2
70	13
80	31
90	15
100	4
110	0
120	0
Mais	0



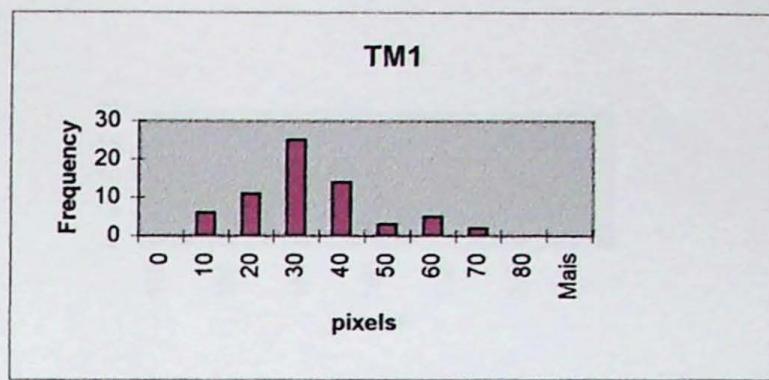
Bloco	Frequencia
10	0
20	0
30	3
40	24
50	31
60	6
70	0
80	1
Mais	0



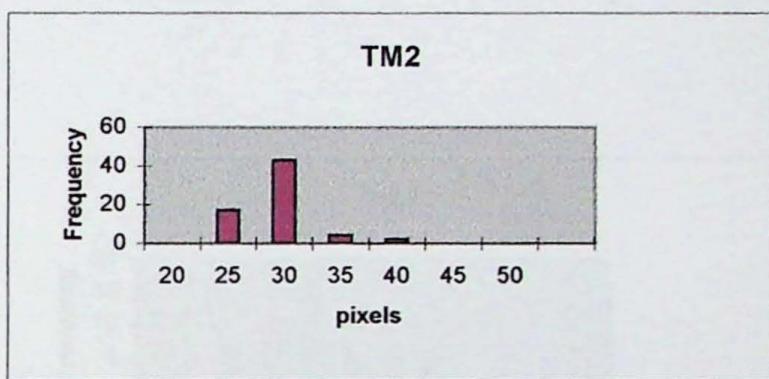
## **ANEXO 4**

**HISTOGRAMAS - IMAGEM I  
ENCAIXANTES**

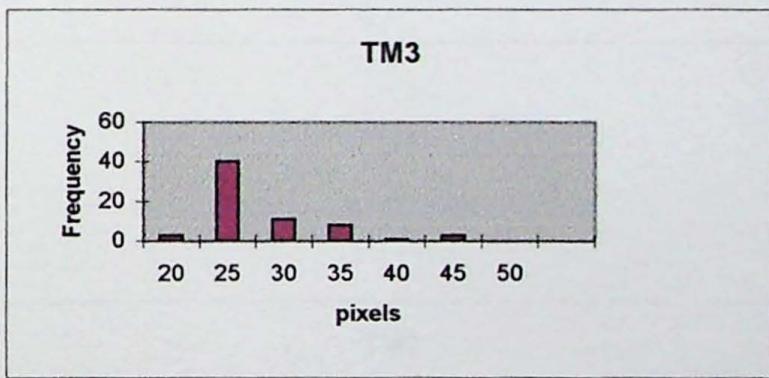
<i>Bloco</i>	<i>Frequencia</i>
0	0
10	6
20	11
30	25
40	14
50	3
60	5
70	2
80	0
<b>Mais</b>	<b>0</b>



<i>Bloco</i>	<i>Frequencia</i>
20	0
25	17
30	43
35	4
40	2
45	0
50	0
<b>Mais</b>	<b>0</b>

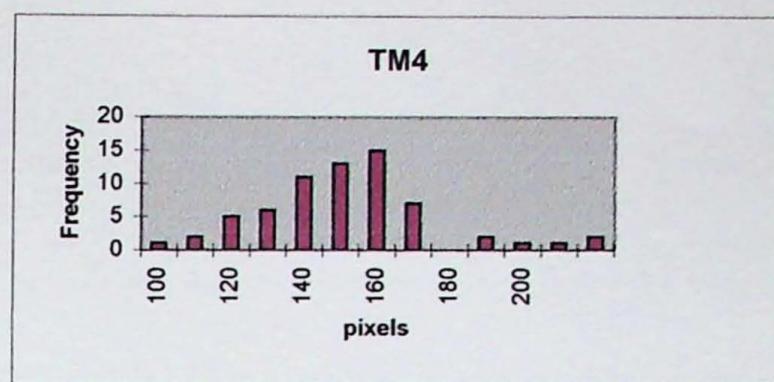


<i>Bloco</i>	<i>Frequencia</i>
20	3
25	40
30	11
35	8
40	1
45	3
50	0
<b>Mais</b>	<b>0</b>

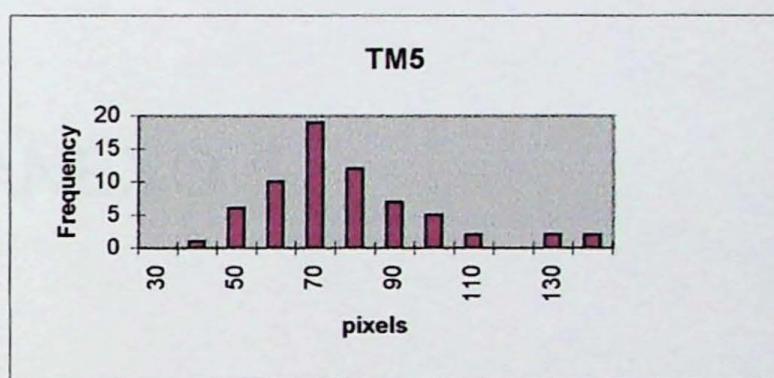


**HISTOGRAMAS - IMAGEM I  
ENCAIXANTES**

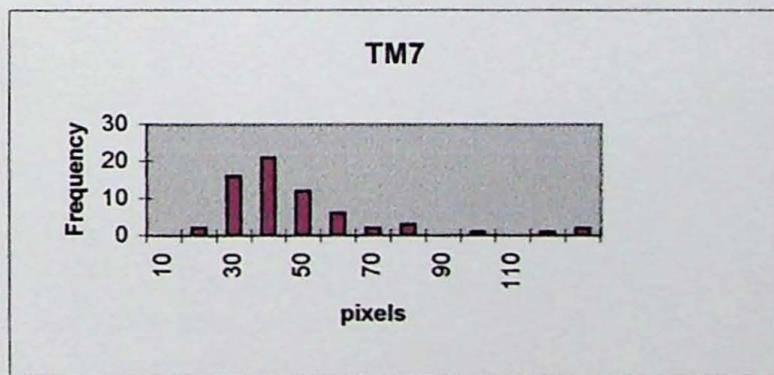
<i>Bloco</i>	<i>Frequencia</i>
100	1
110	2
120	5
130	6
140	11
150	13
160	15
170	7
180	0
190	2
200	1
210	1
Mais	2



<i>Bloco</i>	<i>Frequencia</i>
30	0
40	1
50	6
60	10
70	19
80	12
90	7
100	5
110	2
120	0
130	2
Mais	2



<i>Bloco</i>	<i>Frequencia</i>
10	0
20	2
30	16
40	21
50	12
60	6
70	2
80	3
90	0
100	1
110	0
120	1
Mais	2



## **ANEXO 5**

**ÁREAS DE AMOSTRAGEM - IMAGEM II (03/12/85)**  
**ZONAS ALTERADAS**

**ÁREA 1**

TM1	55	57	57	57	55	53	59	53	56	54
TM2	21	22	22	22	23	20	23	23	22	23
TM3	19	19	20	19	18	18	21	19	17	19
TM4	93	86	88	86	88	73	89	87	74	89
TM5	70	67	66	71	58	46	66	61	59	58
TM7	14	13	13	14	14	10	12	12	9	11

**ÁREA 2**

TM1	63	56	55	55	55	57	56	55	56	54
TM2	21	22	23	23	20	23	20	21	23	20
TM3	20	19	16	19	17	19	18	19	19	17
TM4	76	96	93	75	83	84	90	77	77	64
TM5	71	71	67	56	61	67	70	58	63	50
TM7	13	15	13	13	11	13	14	11	12	9

**ÁREA 3**

TM1	56	55	56	56	55	56	55	56	56	55
TM2	21	22	24	21	19	20	23	24	23	25
TM3	19	17	21	18	16	18	19	19	20	18
TM4	86	92	89	76	79	77	90	94	93	83
TM5	75	70	71	73	71	66	71	73	71	64
TM7	12	14	16	15	14	11	11	14	14	13

**ÁREA 4**

TM1	56	57	56	57	58	56	61	58	56	56
TM2	23	24	22	24	23	23	25	23	23	21
TM3	18	19	18	18	18	19	21	18	16	17
TM4	93	73	83	85	86	103	113	94	88	85
TM5	63	73	69	68	76	73	89	71	69	71
TM7	14	14	13	13	14	13	17	14	14	15

**ÁREA 5**

TM1	56	54	57	57	54	55	55	53	56	58
TM2	24	22	23	24	23	21	23	20	24	23
TM3	19	18	19	19	18	20	19	16	18	18
TM4	100	91	92	87	80	71	86	71	87	90
TM5	71	69	71	56	58	54	52	40	67	68
TM7	13	15	15	9	13	11	11	7	14	15

**ÁREA 6**

TM1	56	57	55	55	55	56	54	56	57	53
TM2	24	25	23	23	21	23	21	23	23	20
TM3	19	21	20	19	18	19	18	19	19	19
TM4	84	105	94	96	113	93	88	94	90	96
TM5	72	78	68	61	67	61	63	68	63	54
TM7	18	17	13	10	11	11	10	13	14	9

## **ANEXO 6**

**ÁREAS DE AMOSTRAGEM - IMAGEM II (03/12/85)**  
**ENCAIXANTES**

NW

TM1	53	56	55	54	56	55	55	55	56	57
TM2	19	21	21	21	23	23	20	22	24	22
TM3	16	16	18	17	19	19	18	18	21	20
TM4	65	88	105	74	86	96	97	85	126	100
TM5	46	47	54	53	62	76	48	66	64	80
TM7	7	8	8	10	11	16	7	12	8	15

NW

TM1	52	55	58	56	55	54	55	62	60	61
TM2	20	22	22	21	21	21	21	28	32	22
TM3	15	17	19	17	16	15	18	24	26	18
TM4	77	96	97	78	61	71	71	88	121	76
TM5	59	70	54	50	48	48	62	94	99	45
TM7	11	14	9	9	7	11	11	14	24	10

SW

TM1	56	55	56	54	56	55	54	51	56	56
TM2	22	20	22	22	23	23	22	19	21	21
TM3	16	17	19	18	21	19	18	17	18	17
TM4	75	71	86	86	90	79	79	66	71	89
TM5	56	59	70	67	71	66	61	51	67	69
TM7	11	10	11	12	13	14	11	10	13	12

NE

TM1	55	56	55	55	55	56	55	54	55	56
TM2	21	23	22	22	21	23	25	22	22	23
TM3	17	19	18	18	18	18	20	18	21	18
TM4	88	91	98	98	88	88	102	80	71	86
TM5	64	74	77	77	60	68	79	57	79	69
TM7	12	14	15	15	10	14	15	10	18	14

SÃO ROQUE

TM1	56	61	64	60	61	59	63	67	56	57
TM2	25	31	32	30	32	27	30	21	23	23
TM3	21	26	31	25	33	22	25	18	18	18
TM4	95	86	86	103	83	83	96	74	81	72
TM5	71	70	95	80	101	66	88	57	60	62
TM7	14	19	19	17	25	14	21	10	11	13

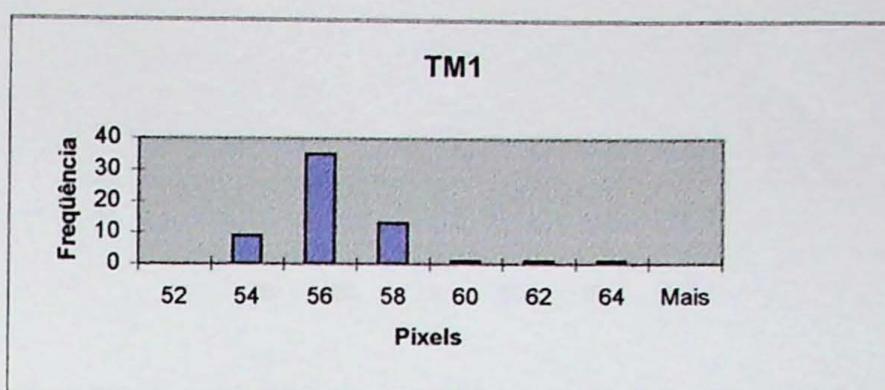
SÃO ROQUE

TM1	60	56	61	56	63	56	53	54	61	58
TM2	29	21	31	21	31	22	20	23	30	23
TM3	22	18	25	17	27	18	17	15	23	20
TM4	100	75	119	71	114	69	59	59	107	99
TM5	80	54	97	55	90	63	45	47	79	72
TM7	19	10	23	11	20	12	9	8	17	14

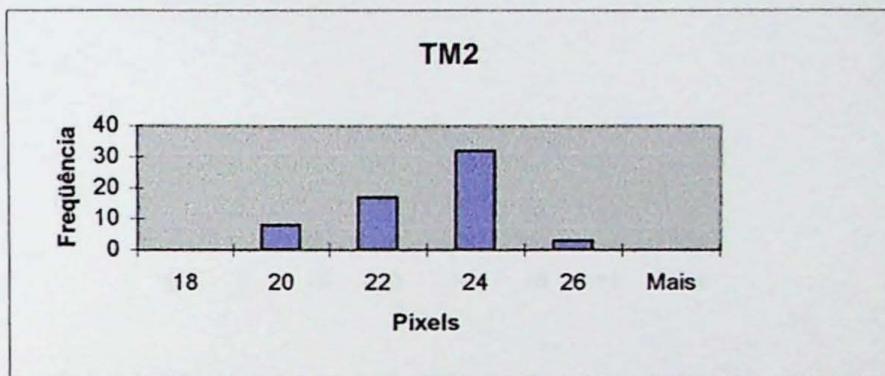
## ANEXO 7

**HISTOGRAMAS - IMAGEM II**  
**ZONAS ALTERADAS**

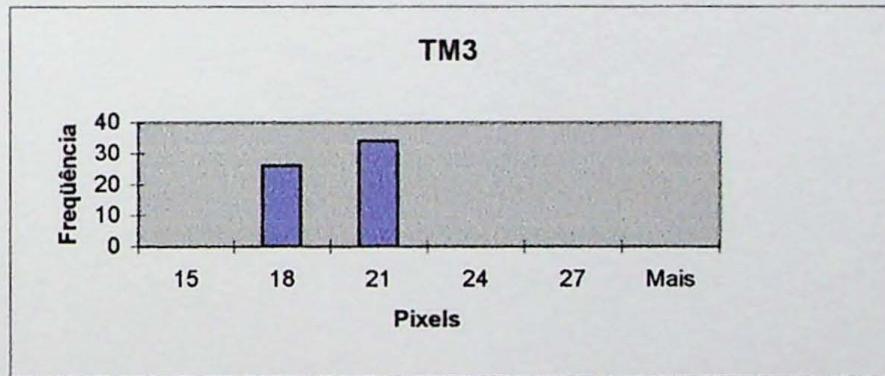
Bloco	Freqüência
52	0
54	9
56	35
58	13
60	1
62	1
64	1
Mais	0



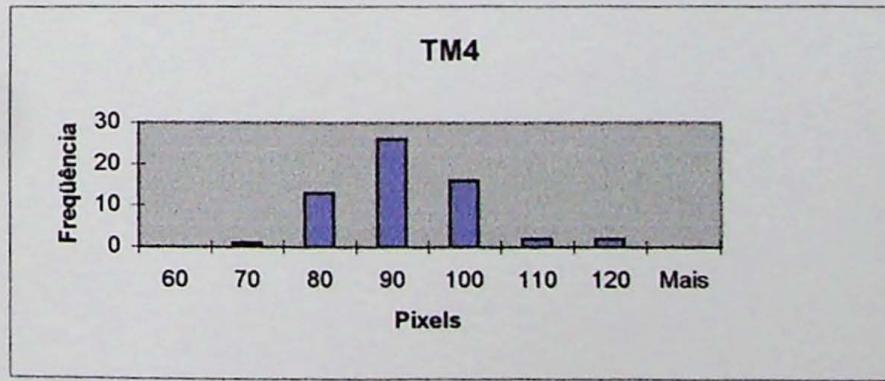
Bloco	Freqüência
18	0
20	8
22	17
24	32
26	3
Mais	0



Bloco	Freqüência
15	0
18	26
21	34
24	0
27	0
Mais	0

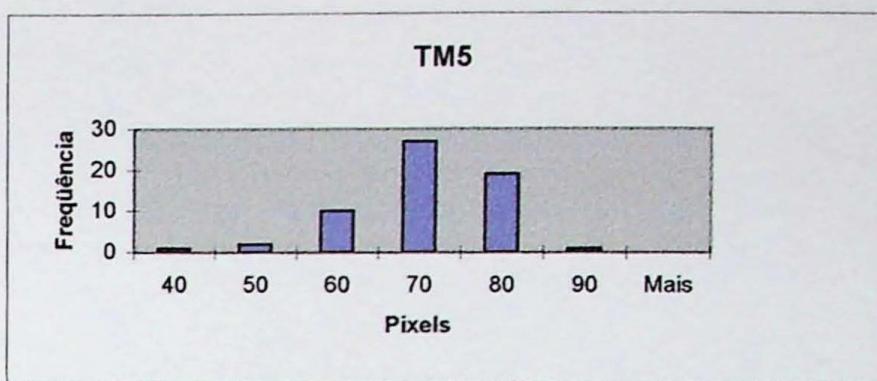


Bloco	Freqüência
60	0
70	1
80	13
90	26
100	16
110	2
120	2
Mais	0

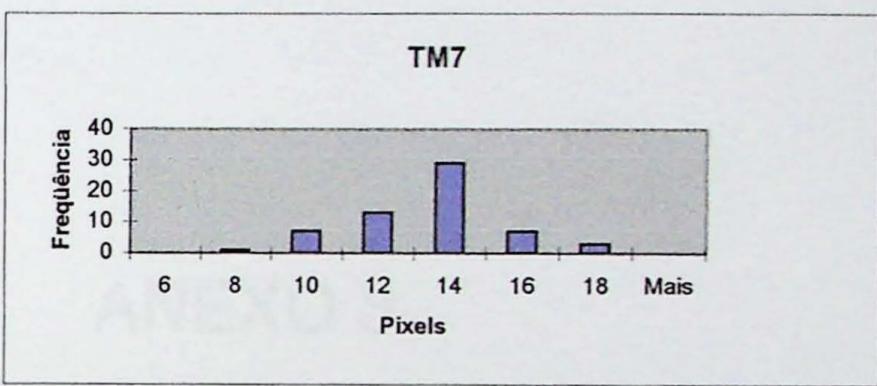


HISTOGRAMAS - IMAGEM II  
ZONAS ALTERADAS

Bloco	Freqüência
40	1
50	2
60	10
70	27
80	19
90	1
Mais	0



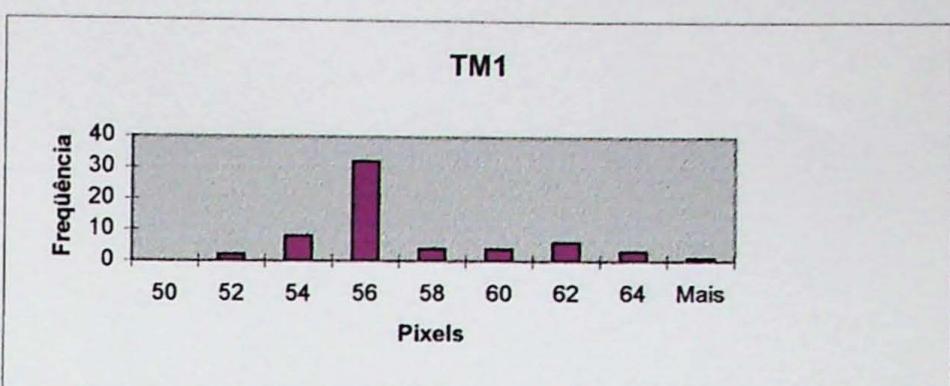
Bloco	Freqüência
6	0
8	1
10	7
12	13
14	29
16	7
18	3
Mais	0



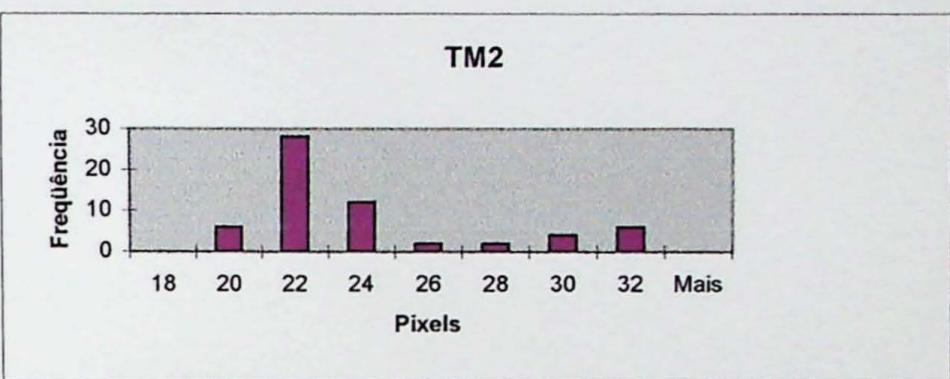
## **ANEXO 8**

**HISTOGRAMAS - IMAGEM II  
ENCAIXANTES**

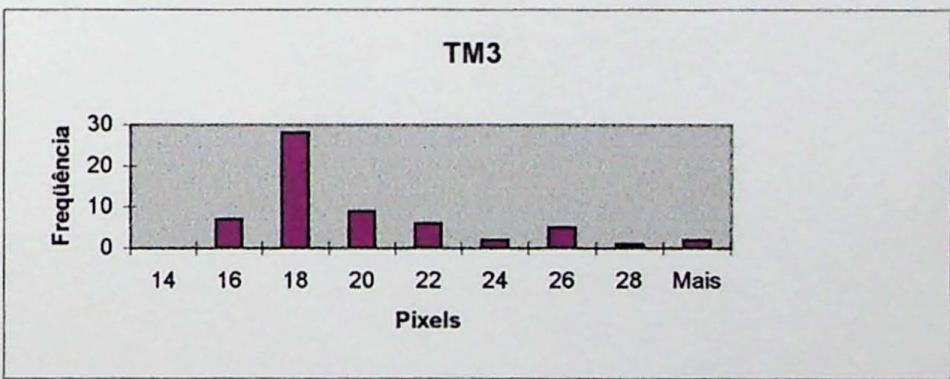
Bloco	Freqüência
50	0
52	2
54	8
56	32
58	4
60	4
62	6
64	3
Mais	1



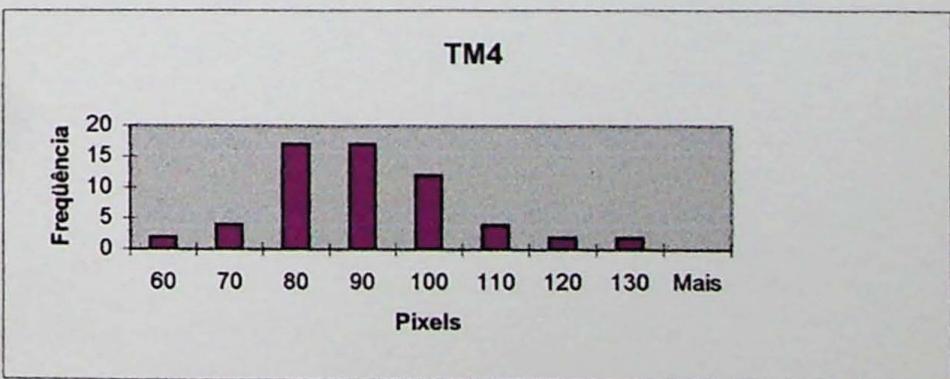
Bloco	Freqüência
18	0
20	6
22	28
24	12
26	2
28	2
30	4
32	6
Mais	0



Bloco	Freqüência
14	0
16	7
18	28
20	9
22	6
24	2
26	5
28	1
Mais	2

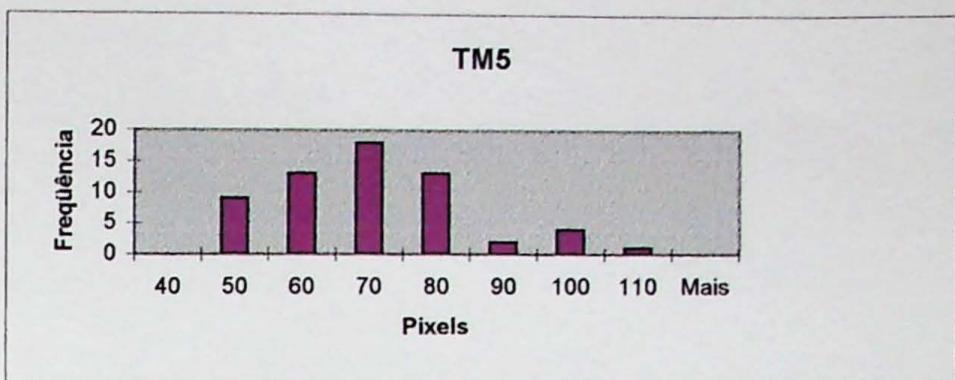


Bloco	Freqüência
60	2
70	4
80	17
90	17
100	12
110	4
120	2
130	2
Mais	0



**HISTOGRAMAS - IMAGEM II  
ENCAIXANTES**

<i>Bloco</i>	<i>Freqüência</i>
40	0
50	9
60	13
70	18
80	13
90	2
100	4
110	1
Mais	0



<i>Bloco</i>	<i>Freqüência</i>
5	0
8	7
11	20
14	17
17	7
20	5
23	2
26	2
Mais	0

