

I

1. Classificação <i>INPE-COM.3/RPI</i> <i>C.D.U.: 528.711.7:553.611.9(815.12)</i>		2. Período	4. Distribuição
3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor) <i>SENSORIAMENTO REMOTO ARGILAS REFRATÁRIAS</i> <i>PESQUISA MINERAL/GEOLOGIA LANDSAT</i> <i>CLASSIFICAÇÕES AUTOMÁTICAS</i>			interna <input checked="" type="checkbox"/> externa <input type="checkbox"/>
5. Relatório nº <i>INPE-1906-RPI/023</i>	6. Data <i>Setembro, 1980</i>	7. Revisado por <i>Isaac Vitorello</i> <i>Ícaro Vitorello</i>	
8. Título e Sub-Título <i>MAPEAMENTO DE DEPÓSITOS DE ARGILAS DO TRIÂNGULO MINEIRO, ATRAVÉS DE CLASSIFICAÇÕES DIGITAIS DE DADOS LANDSAT</i>		9. Autorizado por <i>Parada</i> <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Diretor</i>	
10. Setor <i>DSR/DDP</i>	Código <i>30.241.000</i>	11. Nº de cópias <i>38</i>	
12. Autoria <i>Waldir Renato Paradella</i>		14. Nº de páginas <i>51</i>	
13. Assinatura Responsável <i>Waldir Renato Paradella</i>		15. Preço	
16. Sumário/Notas <p><i>São apresentados os resultados obtidos do uso de classificações temáticas supervisionadas de dados MSS do LANDSAT, na delimitação de depósitos de argilas em uma ampla faixa de ocorrência, no Triângulo Mineiro (M.G.). A partir de pontos conhecidos no terreno, foram de limitadas as extensões de áreas favoráveis à ocorrência de depósitos de argilas, para fins da indústria de refratários, através de classificações supervisionadas "single-cell" e "marver" no Analisador Image-100. Cõ gita-se utilizar tais dados como subsídios importantes para o planejamento da pesquisa mineral na avaliação das reservas de argilas da área.</i></p>			
17. Observações <i>Estudo desenvolvido dentro de um contrato de prestação de serviço estabelecido entre o INPE/CNPq e a Cerâmica TOGNI S/A. (Projeto Triângulo Mineiro).</i> <i>Trabalho concluído em Agosto de 1980.</i>			

## ÍNDICE

ABSTRACT .....	<i>iv</i>
LISTA DE FIGURAS .....	<i>v</i>
LISTA DE TABELAS .....	<i>vii</i>
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A REGIÃO DA PESQUISA .....	3
3. CARACTERÍSTICAS DOS JAZIMENTOS .....	5
4. MATERIAL UTILIZADO .....	8
5. METODOLOGIA .....	9
5.1 - O Sistema I-100 .....	9
5.2 - A Classificação Automática .....	12
5.2.1 - A Classificação "Single-cell" .....	14
5.2.2 - A Classificação Maxver .....	15
5.2.3 - Etapas no Desenvolvimento do Trabalho .....	16
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	19
7. CONCLUSÕES .....	42
BIBLIOGRAFIA .....	44

ABSTRACT

A program of thematic classification of LANDSAT data was done at INPE in the mineral research of clay-deposits. The automatic classifications were based on supervised single-cell and maxver algorithms, usefull at the GE-IMAGE-100, and covered almost 3.900 km<sup>2</sup> in the SW part of the Minas Gerais State. The results of the study will be important in the planning of the field-work during the evaluation phase of the reserves in the region. The study was developed by a contract of cooperation set between INPE/CNPq and a private enterprise (Cerâmica TOGNI S/A).

## LISTA DE FIGURAS

1. Localização das áreas analisadas no trabalho .....	4
2. Perfil geral dos depósitos de argilas, na área .....	5
3. Configuração básica do Sistema I-100, não incluindo o conjunto DICOMED .....	10
4. Fluxograma das etapas do trabalho .....	17
5. Pontos de amostragens utilizados na classificação automática, no Image-100, da área de Estrela do Sul/Nova Ponte .....	20
6. Pontos de amostragens utilizados na classificação automática, no Image-100, da área de Estrela do Sul .....	21
7. Pontos de amostragens utilizadas na classificação automática, no Image-100, da área de Nova Ponte .....	22
8. Pontos de amostragens utilizadas na classificação automática, no Image-100, da área de Uberaba .....	23
9. Pontos de amostragens utilizadas na classificação automática, no Image-100, da área de Perdizes .....	24
10. Regiões alarmadas para o tema argila aluminosa (classificação single-cell) da área de Estrela do Sul/Nova Ponte .....	28
11. Áreas alarmadas para os temas argila aluminosa e argila ferrosa (classificações maxver) da área de Estrela do Sul/Nova Ponte, com limiar 4,2 .....	29
12. Áreas alarmadas para os temas argila aluminosa e argila ferrosa (classificações maxver) da área Estrela do Sul/Nova Ponte, com limiar 4,0 .....	30
13. Histogramas de frequência para o tema argila aluminosa (classificações single-cell) para a área Estrela do Sul/Nova Ponte.....	32
14. Áreas alarmadas para o tema argila aluminosa (classificação single-cell) da área de Estrela do Sul .....	34
15. Áreas alarmadas para os temas argilas aluminosas e argilas ferrosas(classificação maxver, limiar 4,2) da área de Estrela do Sul .....	35
16. Histogramas de frequência para o tema argila aluminosa (classificação single-cell) da área de Estrela do Sul .....	36
17. Áreas alarmadas para o tema argila aluminosa (classificação single-cell) da área de Nova Ponte .....	37
18. Áreas alarmadas para os temas argilas aluminosas e argilas ferrosas (classificação maxver, limiar 4,2) para a área de Nova Ponte .....	38

19. Histogramas de frequência para a classe argila aluminosa (classificação single-cell) da área de Nova Ponte .....	39
20. Áreas alarmadas para o tema argila aluminosa (classificação single-cell) da área de Uberaba .....	40
21. Áreas alarmadas para o tema argila aluminosa (classificação single-cell) da área de Perdizes .....	41

LISTA DE TABELAS

1. Teores de $Al_2 O_3$ e $Fe_2 O_3$ dos pontos considerados nas classificações automáticas (*argila aluminosa, ** argila ferrosa).....	26
2. Descrição dos "slides" obtidos no trabalho .....	27
3. Matriz de classificação da área de Estrela do Sul/Nova Ponte, para as classes argila aluminosa, argila ferrosa, cerrado denso e cerrado ralo (classificação maxver, limiar 4,2).....	33

## 1. INTRODUÇÃO

Um dos produtos do Programa LANDSAT são as fitas magnéticas - as fitas CCT (Compatible Computer Tapes), onde as informações espectrais referentes aos quatro canais do MSS do satélite, com duas bandas na região do visível e duas bandas no infravermelho próximo, estão digitalizadas e formatadas para a análise por computadores.

Basicamente, são distinguidos dois tipos de técnicas de tratamento automático destes dados por computadores: as técnicas de extração de informações temáticas ou *classificação automática* e as técnicas de *realce automático*.

Na classificação automática, procura-se extrair informações, a partir dos dados multiespectrais, baseado no princípio de que os diferentes objetos ou materiais, na natureza, possuem assinatura espectral própria.

Utilizando-se desta premissa, é possível identificar alvos similares em tonalidade, através da análise e comparação simultânea de suas reflectâncias, nas diferentes bandas do espectro eletromagnético, estabelecendo, assim, a correspondência entre as respostas obtidas.

A restrição do uso da classificação automática, na identificação de alvos em geologia, diretamente ligada a consideração de apenas um dos fatores da fotoanálise, ou seja, a tonalidade, deixa ainda a exclusividade do estudo de variações texturais ao âmbito da análise visual.

Tal fato, tem motivado a busca do desenvolvimento de processamentos automáticos de realces de cenas, visando auxiliar ou destacar informações ao fotointérprete, facilitando, desta forma, a análise visual.

Muito embora o tratamento por análises automáticas seja uma técnica recente, com uso ainda restrito pela comunidade de usuários potenciais, já são encontrados, na literatura relacionada a aplicações de sensoriamento remoto em Geologia e Pesquisa Mineral, no País, exemplos com resultados bem sucedidos em classificações automáticas (Almeida Filho et al, 1976; Amaral, 1976; Almeida Filho e Paradella, 1977; Liu et al, 1978; Paradella et al, 1979) e em realces automáticos de imagens LANDSAT (Paradella et al, 1980; Paradella e Dutra, 1980).

Neste contexto, este relatório sintetiza os resultados obtidos de uma pesquisa realizada em conjunto com a Cerâmica TOGNI S/A, através de técnicas de classificações supervisionadas de dados LANDSAT, visando delimitar áreas favoráveis à ocorrência de depósitos de argilas para fins da indústria de refratários, em uma ampla faixa de ocorrência, na região SW do Estado de Minas Gerais (Projeto Triângulo Mineiro).

Os resultados obtidos, na fase preliminar desta pesquisa, em 1976 (Almeida Filho et al, Op. Cit.) encorajaram a continuidade do estudo na área, que, dispondo agora de um volume maior de informações de campo e de técnicas mais elaboradas de classificação automática, no I-100, visou prioritariamente, caracterizar a extensão da ocorrência, em superfície, destes depósitos. Tais dados forneceriam, em uma abordagem rápida, subsídios importantes para a avaliação das reservas nas várias áreas de interesse da empresa, a custos mais reduzidos, que os dispendidos com os métodos tradicionalmente utilizados em pesquisa mineral. Secundariamente, os dados serviriam, também, para uma avaliação preliminar das diferentes técnicas de classificações automáticas, disponíveis, atualmente, no I-100 do INPE, em uma aplicação em pesquisa mineral.

Todo o trabalho foi desenvolvido dentro de um contrato de prestação de serviço estabelecido entre o INPE/CNPq e a Cerâmica TOGNI S/A.



## 2. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A REGIÃO DA PESQUISA

Para facilidade de tratamento no I-100, a área do projeto foi subdividida em cinco subáreas, como representadas na Figura 1.

Geomorfologicamente, os depósitos de argila estão inseridos em uma superfície bastante aplainada, provavelmente remanescente do que foi uma superfície de sedimentação até o Cenozóico e que, atualmente, está sendo modelada por processos erosivos.

O sistema de drenagem regional tende para um tipo dendrítico-paralelo, com linhas bastante espaçadas entre si e dispondo-se em vales amplos, rasos e de encostas suaves.

Nesta configuração, o rio Araguari representaria a linha mestra do sistema regional de drenagem, correndo a quase 330 metros abaixo da cota do topo desta superfície aplainada ou planalto.

Do ponto de vista geológico, a unidade que constitui este planalto seria representada por uma sequência de quase 100 metros de espessura, composta por conglomerados basais, que gradam para arenitos que vão se tornando mais finos e argilosos para o topo.

Os conglomerados são constituídos quase que exclusivamente de seixos de arenitos caoticamente dispersos em uma matriz arenosiltosa mal selecionada.

A granulação dos conglomerados tende a diminuir para o topo da sequência, gradando para um arenítico conglomerático, arenito grosseiro e, finalmente, para um arenito argiloso fino. É comum observar uma estrutura gradacional em macro-escala.

Aspecto notável, nesta sequência, é a grande homogeneidade litológica que se estende por uma vasta área, cobrindo desde a região de Sacramento até Uberlândia.

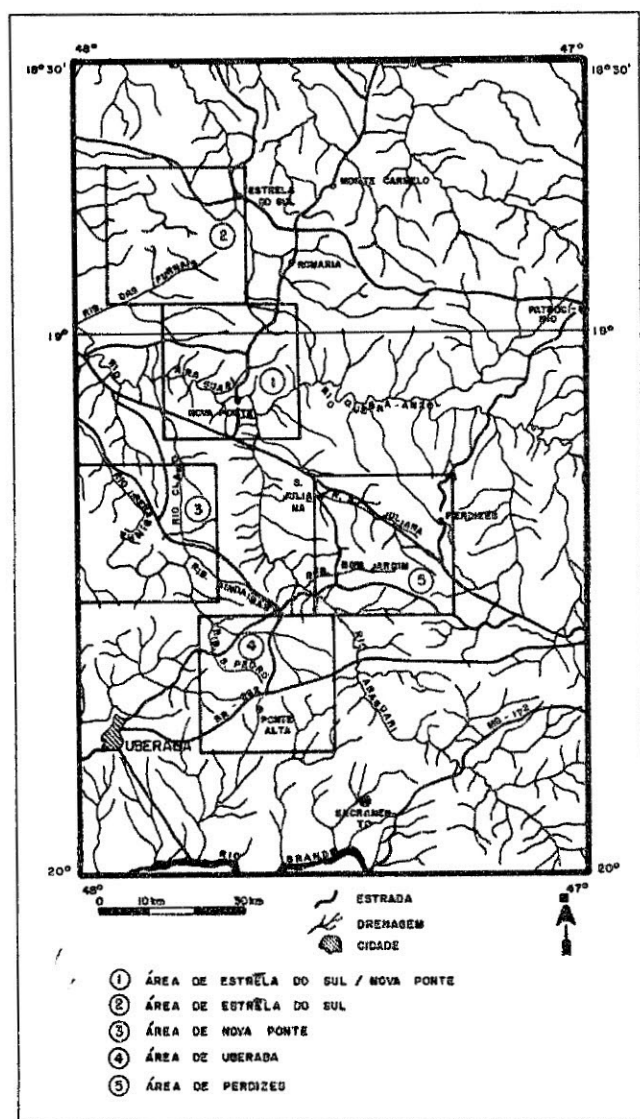


Fig. 1 - Localização das áreas analisadas no trabalho

A correlação estratigráfica desta unidade ainda persiste como um problema em aberto. Dos dados disponíveis é quase certo su por que pertença a um ciclo sedimentar distinto da formação dos arenitos tufáceos do fácies Uberaba e dos arenitos calcíferos do fácies Pon te Alta, quer considerando em termos de ambiente deposicional, paleo geografia e paleoclima.

Uma possibilidade viável seria a correlação da origem des ta sequência a retrabalhamentos de parte das Formações Bauru e Botuca tu, correspondendo assim, à última fase deposicional do ciclo Bauru, transgredindo sobre as fases anteriores.

### 3. CARACTERÍSTICAS DOS JAZIMENTOS

Os depósitos de argila desta região do Triângulo Mineiro estão diretamente associadas à áreas de pântanos ou paleopântanos. Normalmente, ocorrem em nascentes de córregos, nas encostas dos vales e em remanescentes de antigas várzeas, constituindo depósitos superficiais, homogêneos, tanto em extensão quanto em profundidade.

O perfil geral destes depósitos ajusta-se à concavidade dos vales abertos e suaves, da região, tendo os cursos de drenagem (Figura 2) entalhados na região central.

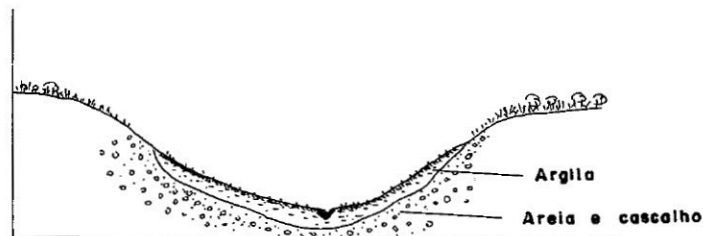


Fig. 2 - Perfil geral dos depósitos de argilas, na área

Em uma análise regional, observa-se que tais mineralizações ocorrem relacionadas a uma determinada faixa de altitude, oscilando entre 980 a 1000 metros. A medida que se desce destes níveis, os depósitos são menos frequentes e o próprio material se torna arenoso.

Nas áreas de ocorrência, é possível estabelecer uma relação estreita entre a presença destes depósitos e a ocorrência da sequência argilo-arenosa do topo do planalto.

O ciclo de sedimentação do Cenozóico (provavelmente associado ao ciclo de sedimentação da Formação Bauru) iniciou-se, na região, com a deposição de conglomerados e arenitos; findando-se com uma sequência de aproximadamente 20 metros de sedimentos areno-argilosos, que gradam cada vez mais para tipos mais argilosos, no topo.

Cessado o ciclo sedimentar, devido a processos tectônicos de soerguimentos regionais, instalaram-se sobre a superfície de sedimentação aplainada, as primeiras linhas de drenagens, distribuídas caoticamente e marcadas por depressões locais. Nestas depressões, ter-se-iam desenvolvidos várzeas e pântanos, com o pacote superior areno-argiloso, sendo lixiviado e removido o  $Fe_2 O_3$ . Deste modo, tais sedimentos eram originalmente ricos em  $Fe_2 O_3$  e de provável coloração avermelhada.

Em regiões situadas fora destas várzeas ou pântanos, tais sedimentos sofreram processos intempéricos normais, de condições subâreas, formando um solo de coloração avermelhada (vermelho-tijolo), muito típico no Triângulo Mineiro.

A delimitação destes depósitos ocorre, portanto, pela transição de condições pantanosas para subâreas, com a consequente mudança do ambiente geoquímico, que rege o processo de intemperismo químico.

Os íons de ferro, mobilizados das condições pantanosas, devem ter sido acumulados em níveis mais profundos que os do topo do planalto; de preferência nas transições para horizontes areno-conglomeráticos inferiores, mais permeáveis, o que é evidenciado pela presença de laterizações subjacentes aos depósitos de argila, de típica formação posterior à sedimentação.

Pela genese discutida acima, estes jazimentos se dispõem em manchas que seguem as várzeas atuais ou paleovárzeas. A dimensão destes depósitos é função, pois, da amplitude destas várzeas ou pantanos e do estágio de erosão em que se encontram.

Desta forma, estes depósitos se ajustam à tendência da distribuição dos atuais cursos de drenagem, ora na sua própria várzea, não atingida, ainda, por processos erosivos remontantes, ora na sua paleovárzea, atualmente abandonada e entregue à dissecação erosiva.

A dimensão do depósito é, também, função do estágio erosional em que se encontra. Em pantanos não afetados pela erosão, como na Lagoa dos Bexiguentos (Folha Estrela do Sul/Nova Ponte), o depósito atinge mais de uma centena de hectares em extensão e espessura média de 3,0 a 4,0 metros. Em jazidas de encostas de vales, onde já houve erosão parcial, a extensão é menor, com uma forma alongada, atingindo alguns quilômetros e largura média em torno de 400 metros.

Também, a espessura apresenta uma grande variação. O valor frequente oscila entre 2,5 a 3,0 metros, atingindo, entretanto, 8,0 metros, em algumas áreas.

O material superior destes depósitos é constituído, em grande parte por uma argila escura turfosa, rica, portanto, em matéria orgânica, que é lavrada junto com as demais argilas de profundidade.

O contato do minério (argila + areia/silte) com a areia ou cascalho não é muito brusco. Normalmente, ocorre uma passagem gradual, na qual o solo torna-se avermelhado e cada vez mais arenoso, até chegar à areia e ao cascalho. Este tipo de graduação ocorre tanto lateralmente quanto em profundidade, sendo tal solo vermelho produto de alteração do mesmo sedimento que, sob condições especiais, originou o minério.

A vegetação que se desenvolve sobre a mineralização é de pequeno porte, rala, tipo macega. Já sobre a areia, a vegetação torna-se mais exuberante, ocorrendo o cerrado ralo, que grada para denso ao atingir os interflúvios.

O minério é uma mistura de argila, silte e areia, com coloração cinza-clara a cinza amarelada, constituído de argilo - minerais do grupo caolínico, gibbsita, grãos de quartzo e secundariamente anatásio e limonita.

A mineralogia de pesados inclui: Turmalina, Estauroлита, hornblenda, cianita, zircão e rutilo.

#### 4. MATERIAL UTILIZADO

Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizados:

- Carta topográfica da Folha Nova Ponte (SE-23-Y-C-I) do IBGE, escala 1:100.000, edição de 1972.
- Carta topográfica da Folha Perdizes (SE-23-Y-C-II) do IBGE, escala 1:100.000, edição de 1972.
- Carta topográfica da Folha Uberaba (SE-23-Y-C-IV) do IBGE, escala 1:100.000, edição de 1972.
- Carta topográfica da Folha Estrela do Sul (SE-23-Y-A-IV) do DSG, Ministério do Exército, escala 1:100.000, edição de 1973.

- Imagens do MSS do LANDSAT, canais 5 e 7, cópias em papel, escala 1:500.000, órbita 192-ponto 25 de 18/agosto/1975.
- Imagens do MSS do LANDSAT, canais 5 e 7, cópias em papel, escala 1:500.000, órbita 178-ponto 25 de 24/junho/1975.
- Imagens do MSS do LANDSAT, canais 5 e 7, cópias em papel, escala 1:500.000, órbita 178-ponto 26 de 17/agosto/1975.
- Fitas CCT, relativas aos 4 canais do LANDSAT, órbita 178 - ponto 26 de 17/agosto/1975.
- Fitas CCT, relativas aos 4 canais do LANDSAT, órbita 178 - ponto 25 de 17/agosto/1875.
- Fitas CCT, relativas aos 4 canais do LANDSAT, órbita 192-ponto 25 de 18/agosto/1975.
- Relação de informações pontuais de campo (amostragem de furos) com descrição e análises químicas.
- "Slides" e fotografias coloridas do vídeo do I-100, com os resultados obtidos pela classificação "single-cell", da pesquisa realizada em 1976 (escala 1:100.000).

## 5. METODOLOGIA

Todas as classificações temáticas foram realizadas no Analizador Multiespectral I-100 do Instituto de Pesquisas Espaciais, em São José dos Campos, SP.

### 5.1 - O SISTEMA I-100

Basicamente, o Sistema I-100 corresponde a um analisador de imagens multiespectrais, sendo constituído pelos seguintes componentes (Figura 3):

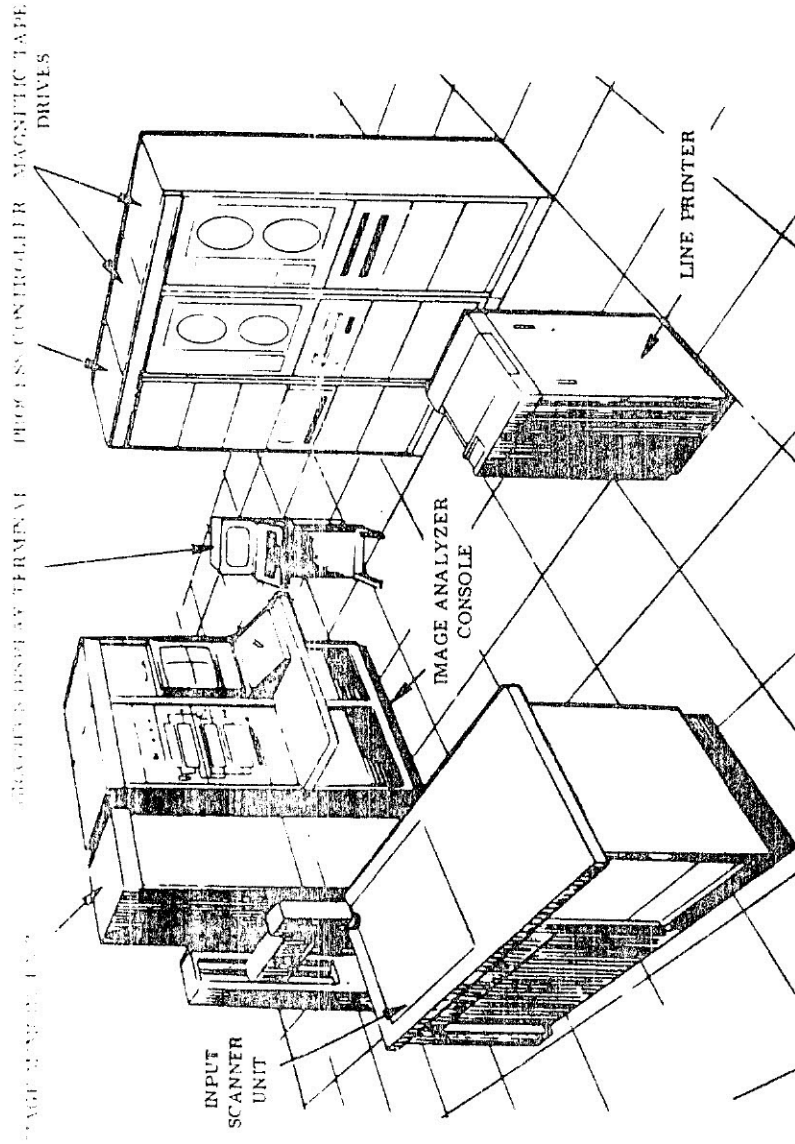


Fig. 3 - Configuração básica do Sistema I-100, não incluindo o conjunto DICOMED  
FONTE: General Electric Co., 1975



- um computador digital PDP 11-45;
- duas unidades de fitas magnéticas;
- uma unidade de memória de imagem;
- um console analisador de imagem;
- um terminal gráfico;
- uma impressora de linhas;
- uma unidade digitalizadora de entrada de dados;
- um conjunto DICOMED.

O computador é, evidentemente, o mais importante componente do sistema, porque controla todas as operações, nos moldes desejados pelo usuário.

As unidades de fitas magnéticas permitem alimentar o sistema com os dados digitais do MSS, na forma de fitas magnéticas. O console analisador de imagens permite a visualização dos resultados das operações realizadas, através de um vídeo de TV colorida, onde são mostradas as composições coloridas e as classificações temáticas obtidas.

A unidade de memória é capaz de armazenar os dados do vídeo, correspondendo a quatro canais do MSS do LANDSAT e mais um canal alternativo para armazenar informações temáticas.

O terminal gráfico com um "display" possibilita ao operador controlar as operações do computador facultando ao usuário a tomada de decisões durante a execução dos programas.

Uma câmera de TV, um conjunto de lentes e filtros e um conversor analógico/digital constituem a unidade digitalizadora de entrada de dados, que é acionada quando são disponíveis, para análise, apenas dados de transparências fotográficas.

Todos os resultados finais de operações no I-100 podem ser apresentados na forma fotográfica, utilizando-se do conjunto DICOMED, ou documentados, através de fotos convencionais do vídeo de TV colorida do sistema. Quando necessário, os resultados podem, também, ser impressos na forma gráfica, através da impressora de linhas.

Por permitir a interação usuário-máquina e pela grande potencialidade do "software" integrado ao "hardware" do I-100, é possível extrair e analisar uma grande quantidade de dados de imagens multiespectrais, através das técnicas de análise automática.

## 5.2 - A CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA

O procedimento para uma classificação temática supervisionada no I-100 pode, de um modo geral, ser dividido em duas fases distintas:

### a) Fase de treinamento

Nesta fase, ocorre a caracterização da assinatura espectral da classe de interesse, através da extração e análise do padrão de resposta espectral de pontos considerados como representativos nas imagens do alvo de interesse, i.e, incluídos como componentes das áreas de treinamento.

Nesta etapa é necessária a integração do usuário com o aparelho, permitindo-lhe informar quais os pontos que devem ser considerados como de treinamento. Isto é realizado por meio de um cursor que, assumindo diferentes formas e dimensões, é deslocado sobre os pontos de interesse do tema a analisar (no caso deste trabalho, os pontos conhecidos de ocorrência de argilas), permitindo, assim, a obtenção da assinatura espectral do alvo, nas diferentes bandas do espectro (canais 4, 5, 6 e 7 do LANDSAT).

b) Fase de classificação

Esta fase, corresponde ao processo de classificação dos dados da imagem para a distinção de temas, através de regras numéricas, que utilizam os padrões de assinatura espectral das classes, definidas na fase de treinamento. A atribuição de "pixels"\* da imagem a uma da categoria é baseada nos resultados de um teste de cada "pixel" em função de uma assinatura predeterminada. O processo resulta em um mapa espacial de todos os "pixels" que satisfaçam os critérios do teste e é, normalmente, exposto no vídeo de TV colorida do I-100, podendo ser documentado ou por fotografias convencionais do vídeo ou pelo conjunto auxiliar DICOMED.

Existem programas com diferentes algoritmos classificatórios, sendo utilizados, neste estudo, os Programas de Classificação "Single-cell" e "Maxver". O primeiro supõe um comportamento não aleatório para as características medidas de respostas espectrais ("atributos") do alvo natural, que pode ser descrito por funções que assumem valores definidos e bem estabelecidas, de acordo com o alvo ou classe considerada (algoritmo de classificação determinístico). Já o segundo tipo assume um comportamento de medidas de resposta espectral do objeto, aleatório, sendo descrito por funções de distribuição de probabilidade (algoritmo de classificação estatística).

Um aspecto importante, nestes tipos de classificações, é o seu caráter supervisionado, uma vez que cabe ao usuário definir as áreas de amostragens, bem como, através de conhecimentos prévios, decidir se a classificação obtida exhibe confiabilidade.

---

\* *Pixel: é um elemento de resolução da imagem do MSS do LANDSAT, correspondendo a um quadrado de 79 metros de lado no terreno.*

### 5.2.1 - A CLASSIFICAÇÃO "SINGLE-CELL"

Na classificação "single-cell" são determinados pelo I-100 os valores de reflectância, mínimo e máximo, da área de treinamento, para cada canal analisado (1 par de valores por canal).

Tais intervalos, em níveis de cinza, definem um certo espaço espectral ou espaço de atributos. (num sistema de 3 eixos ortogonais, representando as variações de cinza de 3 canais do LANDSAT, tais pares definiriam um paralelepípedo). Este espaço ou volume espectral seria, em primeira aproximação, a representação da assinatura espectral do alvo de interesse, nas bandas consideradas.

No critério de teste da classificação, qualquer ponto da imagem, cujos valores em níveis de cinza, nas diferentes bandas, definissem um ponto pertencente a este espaço espectral, seria considerado como incluído na classe do alvo, definido pelas características espectrais de sua área de amostragem.

Entretanto, neste espaço espectral, nem sempre a assinatura espectral do alvo, está representada com exatidão. Para alguns tipos de dados, esta aproximação pode ser suficiente, embora em casos de alvos distintos, com assinaturas, em parte sobrepostas, possam ocorrer dificuldades na separação por classificação "single-cell".

Assumindo-se, naturalmente, que as classes são separáveis, a sobreposição pode ser eliminada por alguns procedimentos, sendo, normalmente, utilizada a *modificação do limite dos pares*, depois da aquisição da assinatura na fase de treinamento.

Neste caso, o usuário é capaz de posicionar manualmente novos limites inferiores e superiores nos diferentes canais, a partir da análise dos comportamentos dos *histogramas\**, fornecidos na tela

---

\* *Histograma: representação da frequência de distribuição dos diversos níveis de cinza de uma cena.*

de um display do I-100. Os pontos ou "pixels" alarmados responderão às mudanças solicitadas dos histogramas, permitindo ao usuário visualizar os efeitos das variações dos limites espectrais da classe no domínio espacial.

Desta maneira, alguns pontos corretamente classificados serão eliminados, para evitar a sobreposição de classes, cometendo-se um erro por omissão.

### 5.2.2 - A CLASSIFICAÇÃO MAXVER

O programa de classificação Maxver destina-se à classificação, ponto a ponto, de imagens multiespectrais usando o critério estatístico da máxima verossimilhança (maximum likelihood), segundo classes escolhidas interativamente pelo usuário.

Na fase de treinamento, o usuário escolhe várias classes e os parâmetros *média* e *covariância* são determinados pelo I-100, para cada classe escolhida. Tais parâmetros possibilitam o cálculo das probabilidades de um ponto qualquer, na imagem, pertencer a cada uma das classes predefinidas, na fase de treinamento.

A classificação pelo critério da máxima verossimilhança procura, dado um ponto  $x$ , achar a classe  $y$ , tal que a probabilidade de  $x$  pertencer a  $y$  seja a máxima, sendo-lhe, então, atribuído tal classe.

A participação do usuário no treinamento está não só no conhecimento dos dados do terreno, visando uma boa definição das classes, como também, na escolha das amostras mais adequadas que as representam.

O usuário deve, também, empregar uma constante real positiva, o limiar, com a qual será feita a classificação. Abaixo deste valor probabilístico, o ponto não pode ser considerado como pertencente a uma classe, mesmo que sua probabilidade de pertencer a esta classe seja maior que às demais definidas. Na essência, o limiar dá ao usuário a opção de variar o rigor na classificação. Quanto menor o valor do limiar utilizado, mais rigorosa será a classificação.

Ainda na fase de treinamento são fornecidos ao usuário meios de avaliar a separabilidade das classes. Um deles é a matriz de classificação, (ex.: ver Tabela 3), em que é mostrada uma previsão dos resultados da classificação. Nesta matriz, cada linha corresponde a uma classe. A primeira coluna mostra a percentagem dos pontos da classe que não serão classificados. As outras colunas correspondem às percentagens estimadas dos pontos da classe  $i$  que serão classificados como pertencentes à classe  $j$ . Para  $i = j$  têm-se pontos corretamente classificados.

No caso de classes sobrepostas, pode-se aumentar esta separabilidade, através da mudança das amostras que as constituem, subtraindo ou adicionando novas amostras.

O uso deste tipo de programa minimiza a probabilidade de erro, i.e., de se ter um ponto atribuído a uma classe a que, na verdade, não pertença. Em contrapartida, a classificação é mais demorada que a single-cell e exige, também, um conhecimento prévio maior de dados de campo, principalmente na definição das várias classes necessárias na classificação.

### 5.2.3 - ETAPAS NO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

As diferentes fases no desenvolvimento do trabalho podem ser sintetizados no fluxograma da Figura 4 e incluem:

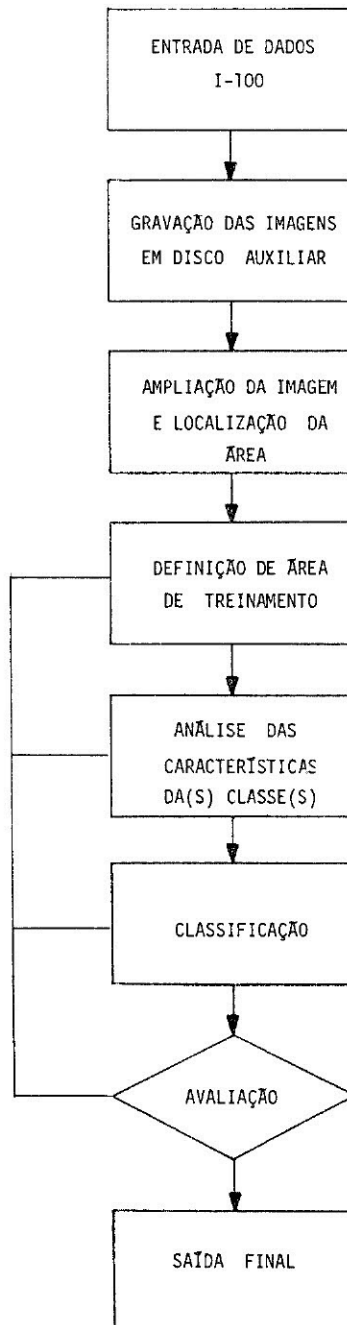


Fig. 4 - Fluxograma das Etapas do Trabalho

- a) Entrada de dados no I-100: são armazenados os dados contidos em fitas CCT referentes a quatro imagens do MSS do LANDSAT, que recobrem a área do projeto.
- b) Gravação das imagens em disco auxiliar de memória: este procedimento visa facilitar o acesso, sempre que necessário, a qualquer parte da cena, sem necessidade de recarregar a imagem original, após uma ampliação na tela de TV do I-100.
- c) Ampliação da imagem e localização da área de interesse: a área de interesse foi ampliada na escala 1:100.000. Para a perfeita localização da região, foram utilizadas "overlays" com traçados dos principais cursos de drenagem e toponímias, obtidos das folhas topográficas 1:100.000 correspondentes. A superposição destas "overlays" no vídeo de TV do I-100 assegurou uma perfeita delimitação das áreas de interesse nas imagens ampliadas.
- d) Definição de áreas de treinamento: a partir da ampliação obtida e da superposição dos "overlays" na tela, o cursor era deslocado para os pontos previamente definidos, como os de amostragens, escolhidas pelo usuário e com suas localizações indicadas nas "overlays". Tais pontos serviram de amostragens, na fase de treinamento, para as classificações (pontos de argilas aluminosas, no caso de classificação single-cell, e argilas aluminosas, argilas ferrosas, cerrado denso e cerrado ralo, em se tratando de classificação maxver). Para cada amostragem foi utilizado o cursor com sua menor dimensão disponível, correspondendo a um quadrado de aproximadamente quatro pixels na tela de TV do I-100.
- e) Análise das características das classes: escolhidas as áreas de treinamento, eram analisados os parâmetros que as caracterizavam. No caso de classificações single-cell, eram verificados os histogramas de frequência para os quatro canais, através do display do sistema. No que se referia a classificação



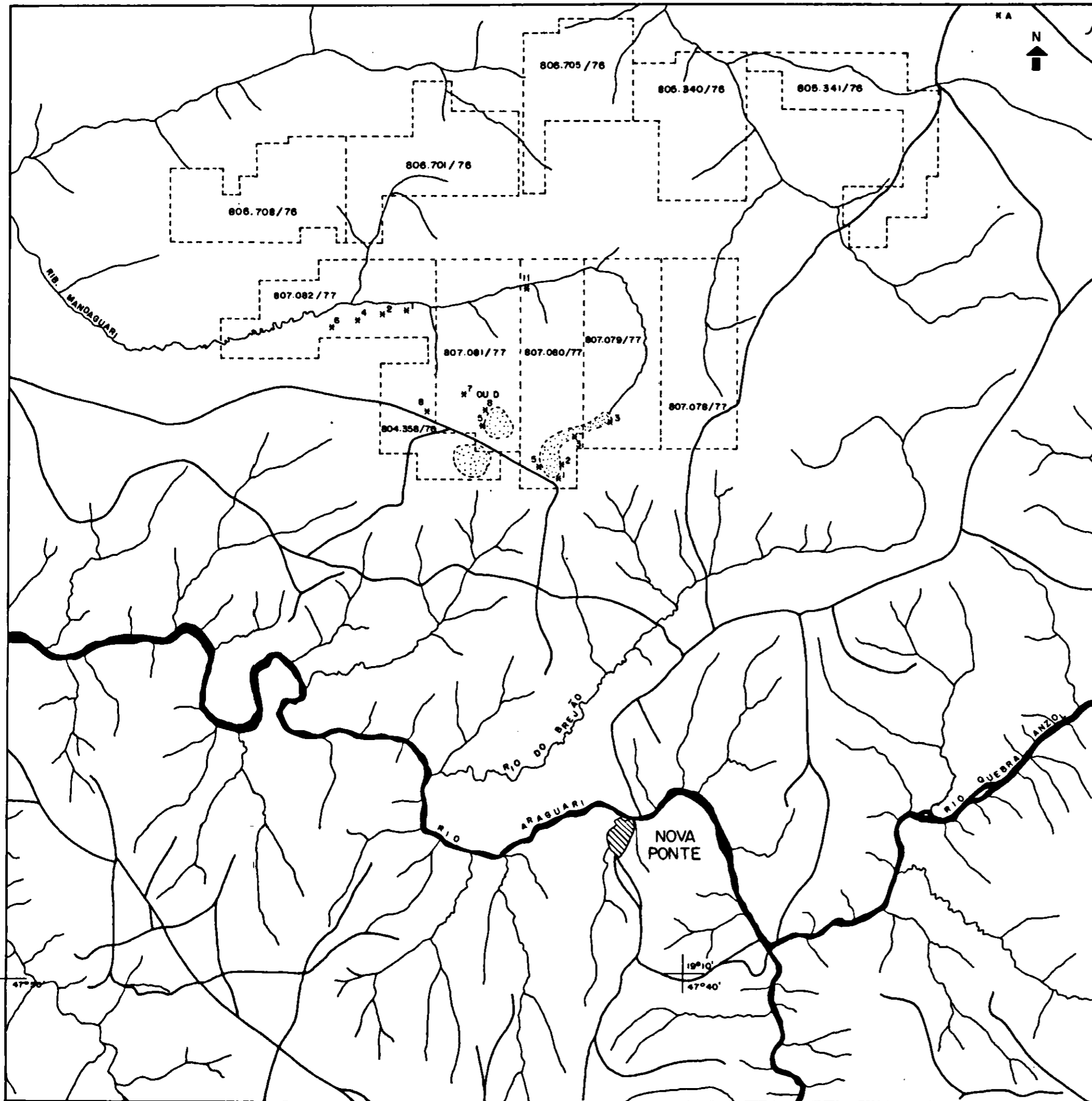
maxver, eram verificadas, principalmente a separabilidade das classes e a representatividades dos pontos amostrados em relação às classes, através da matriz de classificação, da matriz de covariância e da média. Nesta fase, eram finalmente definidos os histogramas da classe argila por canal (classificação single-cell) e o limiar da classificação (classificação maxver).

- f) Classificação: os resultados da classificação eram mostrados através da Tela de TV colorida do Image-100, com a localização dos "pixels" consideradas como pertencentes às classes de interesse ("pixels" alarmados).
- g) Avaliação: da análise das áreas alarmadas, o usuário, com o conhecimento prévio de campo, indicava se aquele resultado exibía confiabilidade. Em caso negativo, as opções utilizadas foram: nova definição de áreas de amostragens (classificações single-cell e maxver), modificações nos limites dos histogramas (classificações single-cell) e variações nos valores do limiar (classificações maxver).
- h) Saída final: quando considerada satisfatória, a classificação era documentada por "slides" do vídeo de TV do I-100.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram analisados aproximadamente 3.900 km<sup>2</sup>, distribuídos nas cinco áreas de interesse da pesquisa da Cerâmica TOGNI S/A.

As localizações dos pontos utilizados como áreas de treinamento ou amostragens para as classificações, nas cinco áreas do Projeto Triângulo Mineiro, são mostradas nas Figuras 5, 6, 7, 8 e 9 respectivamente.





INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS  
INPE / CNPq


PROJETO TRIÂNGULO MINEIRO  
(CERÂMICA TOGNI S/A)

FÔLHA DE ESTRÊLA DO SUL/NOVA  
PONTE  
(ÁREA I)

**LEGENDA:**


 ÁREA DE PESQUISA DA CERÂMICA  
TOGNI S/A COM NÚMERO DO RES-  
PECTIVO ALVARÁ


 PONTO DE AMOSTRAGEM UTILIZADO  
NA CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA NO  
IMAGE - 100


 DRENAGEM


 ESTRADA


 POUSADA OU VILA

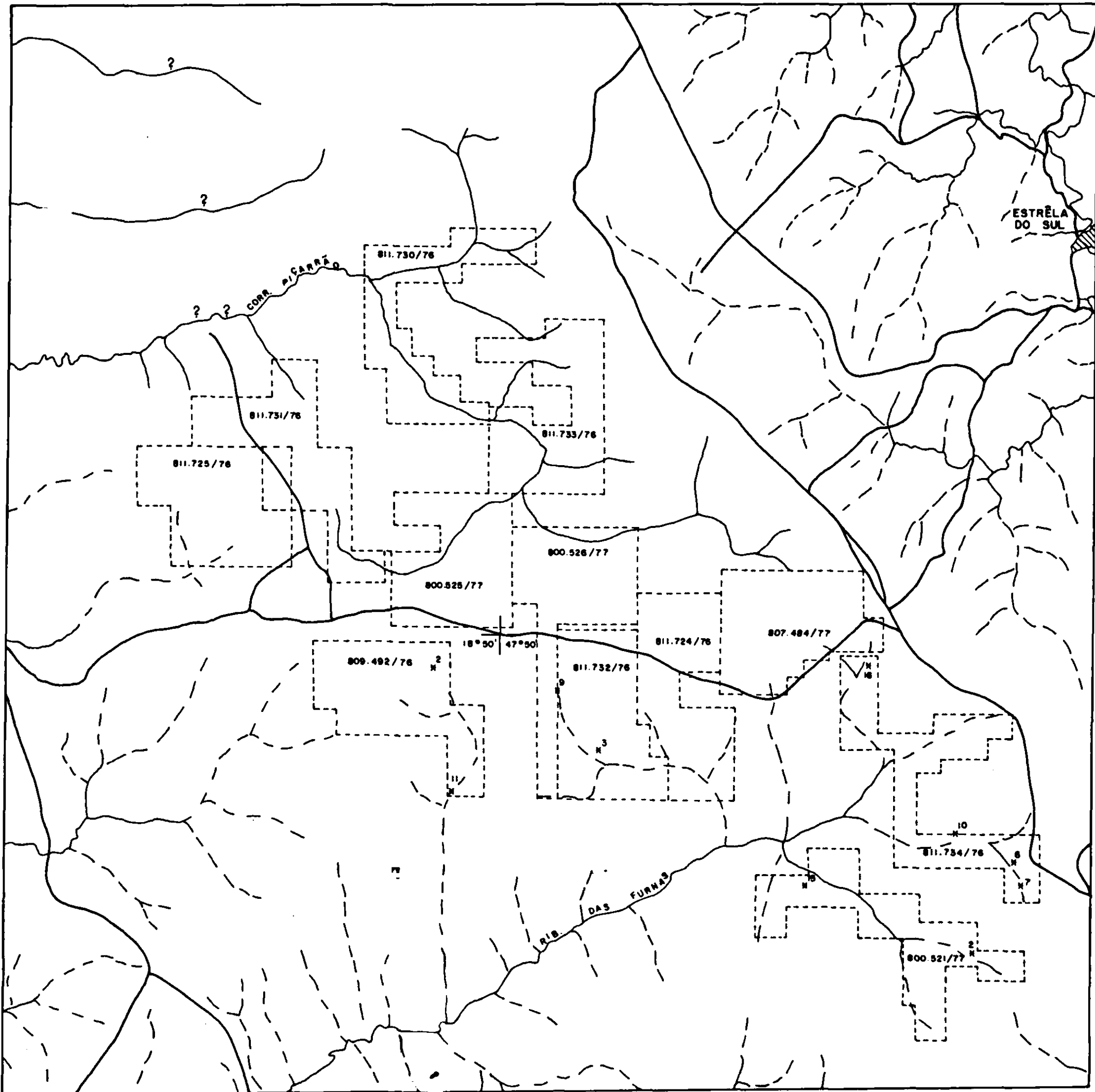

 LAGOA

0 (1cm) | 2 | 3km

ESCALA  
1:100.000

1980

**FIGURA 5**

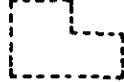


INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS  
INPE / CNPq

PROJETO TRIÂNGULO MINEIRO  
(CERÂMICA TOGNI S/A)

FÔLHA DE ESTRELA DO SUL  
(ÁREA II)

**LEGENDA:**

 ÁREA DE PESQUISA DA CERÂMICA TOGNI S/A COM NÚMERO DO RESPECTIVO ALVARÁ

 PONTO DE AMOSTRAGEM UTILIZADO NA CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA NO IMAGE - 100

 DRENAGEM

 ESTRADA

 POUSADA OU VILA

 LAGOA

0 (em) | 2 3km

ESCALA  
1:100.000

1980

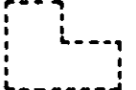
**FIGURA 6**

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS  
INPE / CNPq


PROJETO TRIÂNGULO MINEIRO  
(CERÂMICA TOGNI S/A)


FÔLHA DE NOVA PONTE  
(ÁREA III)

LEGENDA:

 ÁREA DE PESQUISA DA CERÂMICA TOGNI S/A COM NÚMERO DO RESPECTIVO ALVARÁ

\* PONTO DE AMOSTRAGEM UTILIZADO NA CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA NO IMAGE - 100

 DRENAGEM

 ESTRADA

 POUSADA OU VILA

 LAGOA

0 (1cm) | 2 | 3km

ESCALA  
1:100.000

1980

FIGURA 7

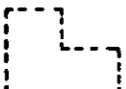



INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS  
INPE / CNPq

PROJETO TRIÂNGULO MINEIRO  
(CERÂMICA TOGNI S/A)


FÔLHA DE UBERABA  
(ÁREA 4)

LEGENDA:

 ÁREA DE PESQUISA DA CERÂMICA  
TOGNI S/A COM NÚMERO DO RES  
PECTIVO ALVARÁ

 PONTO DE AMOSTRAGEM UTILIZADO  
NA CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA NO  
IMAGE - 100

 DRENAGEM

 ESTRADA

 POUSADA OU VILA

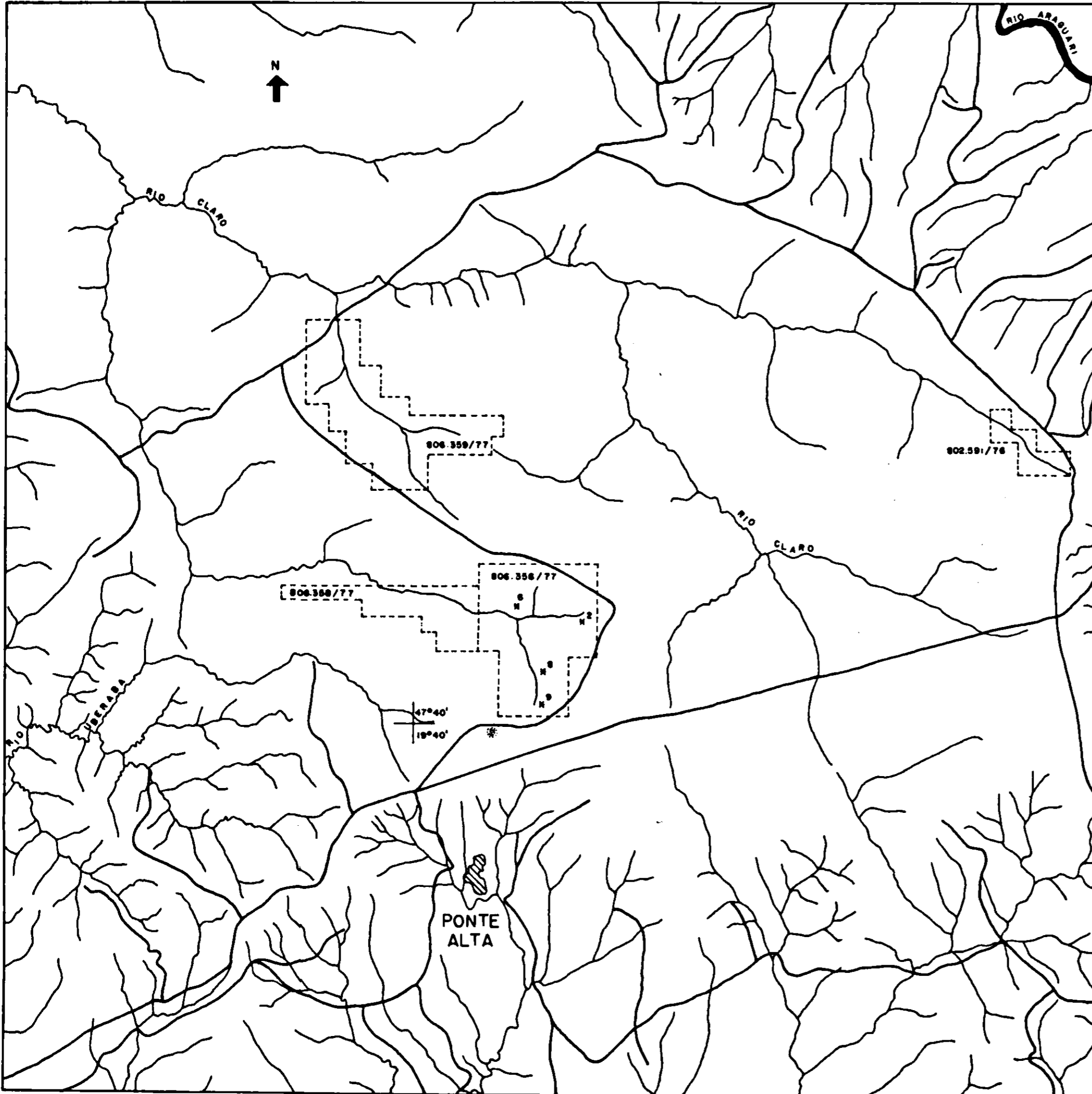
 LAGOA

0 (1cm) | 2 3 km

ESCALA  
1:100.000

1980

FIGURA 8

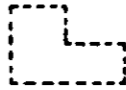



INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS  
INPE / CNPq


PROJETO TRIÂNGULO MINEIRO  
(CERÂMICA TOGNI S/A)

FÔLHA DE PERDIZES  
(ÁREA V)

LEGENDA:

 ÁREA DE PESQUISA DA CERÂMICA  
TOGNI S/A COM NÚMERO DO RES-  
PECTIVO ALVARÁ

 PONTO DE AMOSTRAGEM UTILIZADO  
NA CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA NO  
IMAGE - 100

 DRENAGEM

 ESTRADA

 POUSADA OU VILA

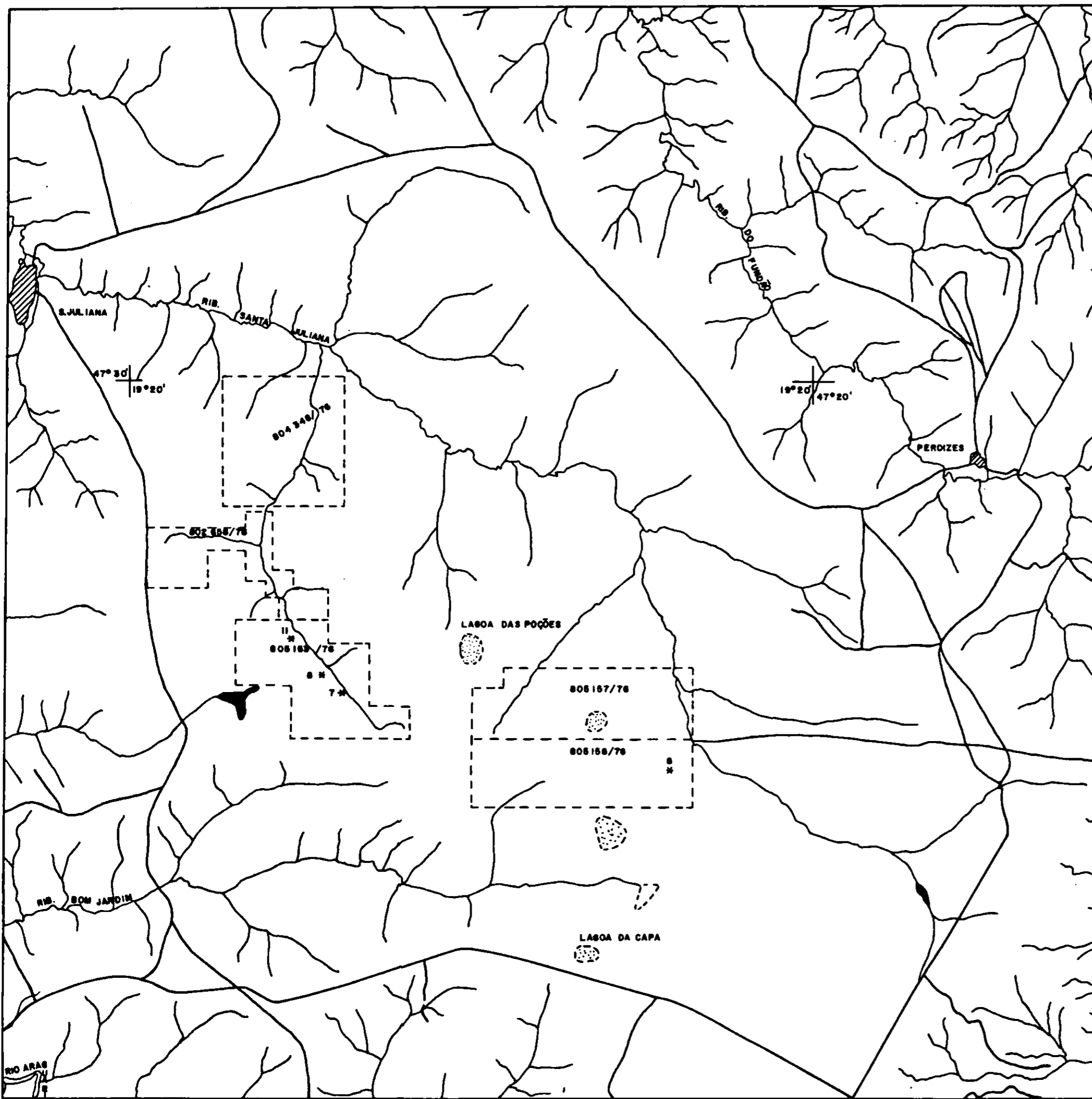
 LAGOA

0 1 2 3 km

ESCALA  
1:100.000

1980

FIGURA 9



Na Tabela 1 são fornecidos os dados de teores de  $Al_2O_3$  e  $Fe_2O_3$ , obtidos de análises de furos de sondagens, fornecidos pelo usuário, referentes aos pontos das Figuras citadas.

Das cinco áreas analisadas, as áreas de *Estrela do Sul/Nova Ponte*, *Estrela do Sul* e *Nova Ponte* foram classificadas utilizando-se classificações *single-cell* e *maxver*. As duas áreas restantes, *Uberaba* e *Perdizes*, somente foram classificadas pelo algoritmo *single-cell*.

Dois fatos explicam este procedimento: a necessidade de limitação de tempo de análise no computador, face à sobrecarga de utilização do sistema a época da análise, e a maior prioridade estabelecida pelo usuário, na obtenção de resultados destas três primeiras áreas, exigindo, desta forma, um tratamento mais minucioso, com a utilização dos dois programas classificatórios e, conseqüentemente, obtenção de dados em maior quantidade.

A descrição dos "slides" que documentaram os resultados finais das classificações, é mostrada na Tabela 2, acompanhadas das especificações dos pontos de amostragens considerados. Tais "slides", quando projetadas na escala adequada sobre um anteparo de papel funcionando como tela, permitem o traçado da extensão superficial do tema alarmado, segundo as classificações e os pontos de amostragens utilizados.

Pretende-se a partir destas informações, obter uma indicação preliminar da extensão superficial de áreas favoráveis à ocorrência de argilas refratárias, nas várias áreas de interesse do Projeto. Tais dados servirão de base para o direcionamento e planejamento posterior das malhas de sondagens, necessárias na avaliação das reservas das áreas.

TABELA 1

TEORES AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> E Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> DOS PONTOS CONSIDERADO NAS  
NAS CLASSIFICAÇÕES AUTOMÁTICAS

TOPONÍMIA	LOCAL	PONTO	INTERVALO AMOSTRADO / COR PREDOMINANTE NO INTERVALO	TEORES (% AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	TEOPES (% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
Folha Uberada	806.356/77	2 (*)	0,00 - 6,50 metros/argila cinza clara	52,30	0,98
Folha Uberaba	806.356/77	6 (*)	0,00 - 3,00 metros/argila cinza clara	80,00	1,70
Folha Uberaba	806.356/77	8 (*)	0,00 - 3,00 metros/argila cinza clara	72,40	1,08
Folha Uberaba	806.356/77	9 (*)	5,00 - 6,50 metros/argila cinza clara	47,82	1,91
Folha Nova Ponte	830.389/79	5 (*)	0,00 - 3,50 metros/argila cinza clara	45,97	1,18
Folha Nova Ponte	830.390/79	8 (*)	0,00 - 4,50 metros/argila amarelada	69,11	4,37
Folha E. Sul/Nova Ponte	807.079/77	3 (*)	0,00 - 3,00 metros/argila amarelada	63,86	3,60
Folha E. Sul/Nova Ponte	807.080/77	1 (*)	0,00 - 6,00 metros/argila amarelada	61,64	1,54
Folha E. Sul/Nova Ponte	807.080/77	2 (*)	0,00 - 5,00 metros/argila amarelada	65,78	4,00
Folha E. Sul/Nova Ponte	807.080/77	3 (*)	0,00 - 4,50 metros/argila amarela-avermelhada	48,32	4,00
Folha E. Sul/Nova Ponte	807.080/77	5 (*)	0,00 - 3,00 metros/argila avermelhada	56,00	4,40
Folha E.Sul/Nova Ponte	807.080/77	11 (*)	0,00 - 5,00 metros/argila cinza clara	64,92	1,04
Folha E.Sul/Nova Ponte	807.081/77	5 (*)	0,10 - 4,00 metros/argila cinza amarelada	45,25	1,00
Folha E.Sul/Nova Ponte	807.081/77	8 (*)	0,00 - 2,50 metros/argila cinza amarelada	73,63	1,10
Folha E.Sul/Nova Ponte	807.081/77	7 ou D (**)	0,00 - 3,50 metros/argila vermelha	48,78	7,60
Folha E.Sul/Nova Ponte	807.082/77	1 (*)	0,00 - 4,50 metros/argila cinza	43,65	1,00
Folha E.Sul/Nova Ponte	807.082/77	2 (*)	3,50 - 6,50 metros/argila cinza clara	55,08	0,99
Folha E.Sul/Nova Ponte	807.082/77	4 (*)	0,10 - 6,00 metros/argila cinza amarelada	65,50	1,07
Folha E.Sul/Nova Ponte	807.082/77	6 (*)	0,00 - 4,00 metros/argila cinza amarelada	38,64	1,60
Folha E.Sul/Nova Ponte	807.358/76	B	Cerrado Denso	-	-
Folha E.Sul/Nova Ponte	-	A	Reflorestamento	-	-
Folha Estrela do Sul	800.521/77	2 (*)	3,00 - 6,50 metros/argila cinza amarelada	47,23	1,60
Folha Estrela do Sul	800.521/77	15 (*)	1,00 - 2,50 metros/argila cinza amarelada	56,00	3,57
Folha Estrela do Sul	811.734/76	7 (*)	0,20 - 1,50 metros/argila cinza amarelada	59,15	1,20
Folha Estrela do Sul	811.734/76	6 (*)	0,00 - 4,00 metros/argila cinza claro	67,61	1,40
Folha Estrela do Sul	811.734/76	10 (*)	0,00 - 4,50 metros/argila amarelada	46,93	1,00
Folha Estrela do Sul	811.734/76	16 (*)	0,00 - 5,00 metros/argila cinza clara	49,10	1,60
Folha Estrela do Sul	811.732/76	3 (*)	0,00 - 4,00 metros/argila esbranquiçada	55,77	0,80
Folha Estrela do Sul	811.732/76	9 (*)	0,00 - 4,00 metros/argila esbranquiçada	51,62	0,80
Folha Estrela do Sul	809.492/76	2 (*)	0,00 - 3,00 metros/argila branca	67,73	1,80
Folha Estrela do Sul	809.492/76	11 (*)	0,00 - 4,00 metros/argila cinza amarelada	55,27	1,40
Folha Perdizes	805.153/76	7 (*)	0,00 - 4,50 metros/argila cinza clara	49,65	1,70
Folha Perdizes	805.153/76	8 (*)	0,00 - 4,00 metros/argila cinza amarelada	55,73	2,49
Folha Perdizes	805.153/76	11 (*)	0,20 - 4,00 metros/argila cinza amarelada	63,58	2,08
Folha Perdizes	805.158/76	6 (*)	0,00 - 4,00 metros/argila cinza clara	60,78	2,85

\* Argila aluminosa

\*\* Argila ferrosa



TABELA 2

DESCRIÇÃO DOS "SLIDES" OBTIDOS NO TRABALHO

SLIDE (Nº)	ÁREA ANALISADA	CLASSIFICAÇÃO	ÁREAS DE AMOSTRAGENS
1 e 2	Uberaba	single-cell	Argila Aluminosa pto 6,2,8 e 9 (área 806.356/77)
3, 4 e 5	Estrela do Sul/ Nova Ponte	single-cell	Argila Aluminosa pto 1,2 e 6 (área 807.082/77) pto 1,2,5 e 11 (área 807.080/77) pto 3 (área 807.079/77)
6, 7 e 8	Perdizes	single-cell	Argila Aluminosa pto 6 (área 805.158/76) pto 7,8 e 11 (área 805.153/76)
9 e 10	Estrela do Sul/ Nova Ponte	single-cell	Argila Aluminosa pto 6,4,2 e 1 (área 807.082/77) pto 11,3 e 5 (área 807.080/77) pto 5,8 (área 807.081/77)
11 e 12	Estrela do Sul	single-cell	Argila Aluminosa pto 6,4, 2 e 1 (área 807.082/77) pto 11, 3 e 5 (área 807.080/77) pto 5 e 8 (área 807.081/77)
13 e 14	Estrela do Sul	single-cell	Argila Aluminosa pto 16,10,6 e 7 (área 811.734/76) pto 15 e 2 (área 800.521/77) pto 3 e 9 (área 811.732/76) pto 2 e 11 (área 809.492/76)
15 e 16	Nova Ponte	single-cell	Argila Aluminosa pto 5 (área 830.389/79) pto 8 (área 830.390/79)
17 e 18	Estrela do Sul/ Nova Ponte	maxver (limiar 4,0)	Argila Aluminosa pto 6,4,2 e 1 (área 807.082/77) pto 11,3 e 5 (área 807.080/77) pto 5 e 8 (área 807.081/77)  Cerrado denso - pto B Cerrado ralo - pto A Argila Ferrosa - pto D
19	Estrela do Sul/ Nova Ponte	maxver (limiar 4,2)	Argila Aluminosa pto 6,4,2 e 1 (área 807.082/77) pto 11,3 e 5 (área 807.080/77) pto 5 e 8 (área 807.081/77)  Cerrado denso - pto B Cerrado ralo - pto A Argila Ferrosa - pto D
20	Nova Ponte	maxver (limiar 4,2)	Argila Aluminosa pto 6,4,2 e 1 (área 807.082/77) pto 11,3 e 5 (área 807.080/77) pto 5 e 8 (área 807.081/77)  Cerrado denso - pto B Cerrado ralo - pto A Argila Ferrosa - pto D
21	Estrela do Sul	maxver (limiar 4,2)	Argila Aluminosa pto 6,4,2 e 1 (área 807.082/77) pto 11,3 e 5 (área 807.080/77) pto 5 e 8 (área 807.081/77)  Cerrado denso - pto B Cerrado ralo - pto A Argila Ferrosa - pto D

Na Figura 10 é apresentado o resultado da classificação automática single-cell, para o tema argila aluminosa, referente ao "slide" 3 da Tabela 2, da área Estrela do Sul/Nova Ponte.

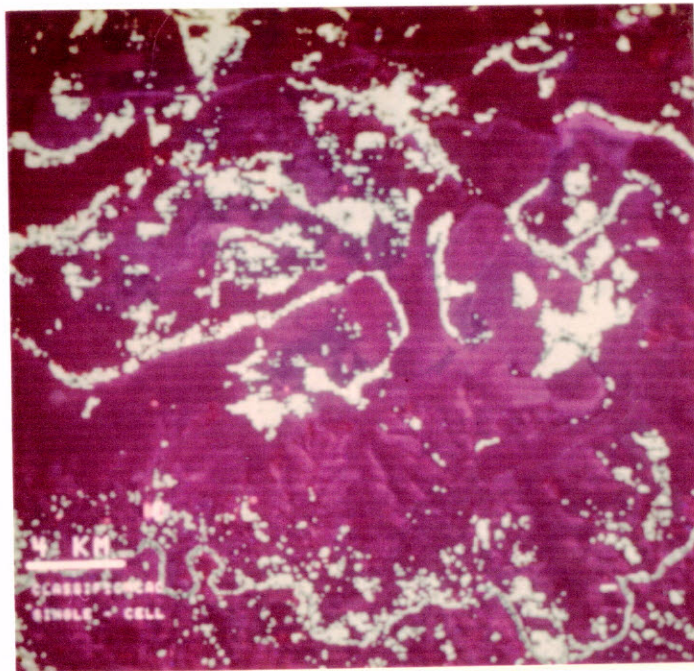


Fig. 10 - Regiões alarmadas para o tema argila aluminosa (classificação single/cell) da área de Estrela do Sul/Nova Ponte.

Na Figura 11, a mesma área é, agora, mostrada com a indicação das regiões alarmadas para os temas argila aluminosa (esverdeado) e argila ferrosa (rôseo), com uso de classificação maxver e limiar 4,2. (slide de referência nº 19 da Tabela 2).

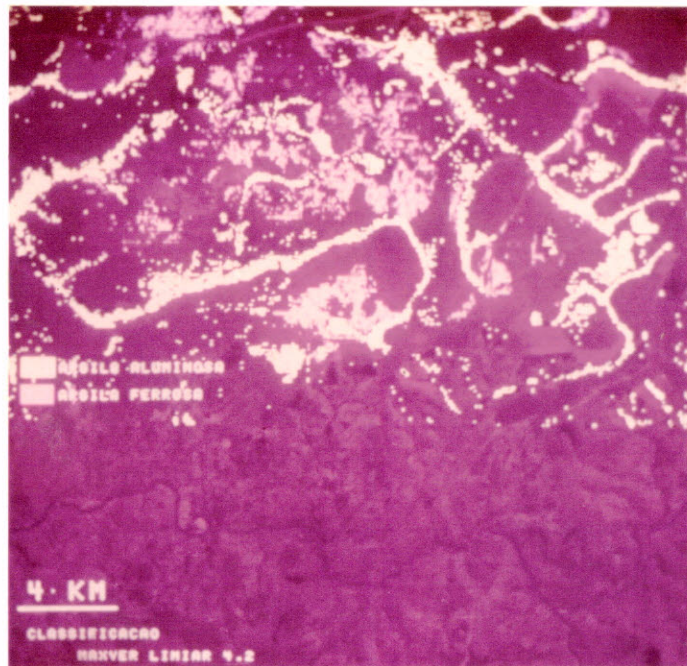


Fig. 11 - Áreas alarmadas para os temas argila aluminosa e argila ferrosa (classificações maxver) da área de Estrela do Sul/Nova Ponte, com limiar 4.2.

Na Figura 12, a mesma classificação por máxima verossimilhança foi utilizada nesta área, enfocando os mesmos temas anteriores, só que com uso do limiar 4.0.

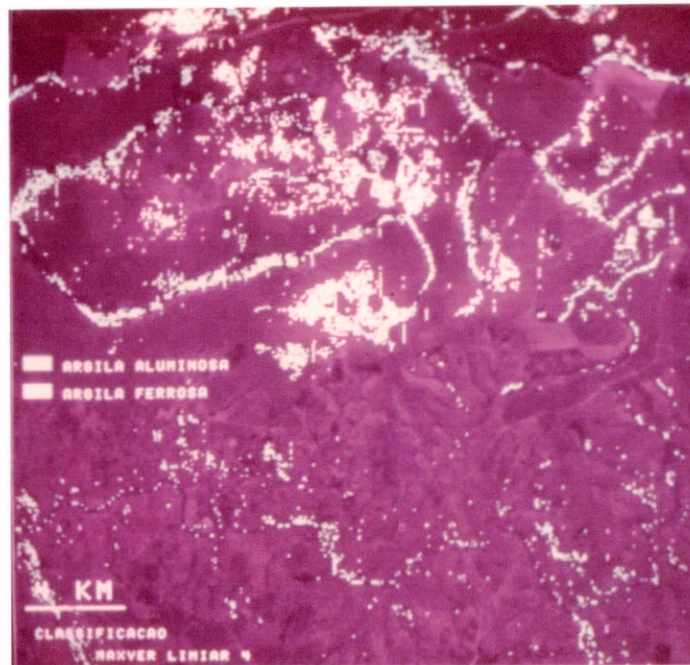


Fig. 12 - Áreas alarmadas para os temas argila aluminosa e argila ferrosa(classificações maxver) da área Estrela do Sul/Nova Ponte, com limiar 4.0

Da comparação destes resultados verifica-se que os dois tipos de classificações apresentam, de modo geral, uma mesma tendência de distribuição dos alarmes, ou seja, uma tendência de concentração ao longo dos cursos de drenagem e ausência de indicações e áreas de interflúvios, o que sugere uma confiabilidade entre as análises.

A classificação maxver com limiar 4,2 parece mostrar melhor detalhamento nas bordas que delimitam os alarmes do tema argila aluminosa, quando comparada com o mesmo tema obtido pela classificação single-cell. Entretanto, uma avaliação definitiva sobre os dois tipos de resultados somente será viável, a partir dos dados de verificações posteriores de campo.

Um aspecto interessante observado é que as áreas alarmadas para o tema argila ferrosa, na classificação maxver, não coincidem de modo geral, com as áreas alarmadas para os temas argilas aluminosas nos dois tipos de classificações.

Embora, a primeira vista estes dois tipos de argilas estejam ocorrendo em um mesmo ambiente, foi possível, pela classificação maxver, individualizar áreas distintas de ocorrências, pelas diferenças em assinaturas espectrais envolvidas.

A classificação maxver com limiar 4,0 apresenta, em muitos locais alarmados, uma característica de distribuição pontual e isolada. Tal fato, não se ajustando ao modelo previamente conhecido de ocorrência homogênea destes depósitos em campo, obrigou a que se considerasse o limiar 4,2 como o mais adequado à rotina da análise posto que exibiu a maior confiabilidade ao usuário que acompanhou a classificação e forneceu resultados que mais se aproximaram dos obtidos pela classificação single-cell.

A Figura 13 mostra os histogramas de frequência de níveis de cinza da classe argila aluminosa, obtidos a partir das áreas de treinamento do slide 13 (Tabela 2) para classificação "single-cell" da região de Estrela do Sul/Nova Ponte, para cada canal do MSS do LANDSAT.

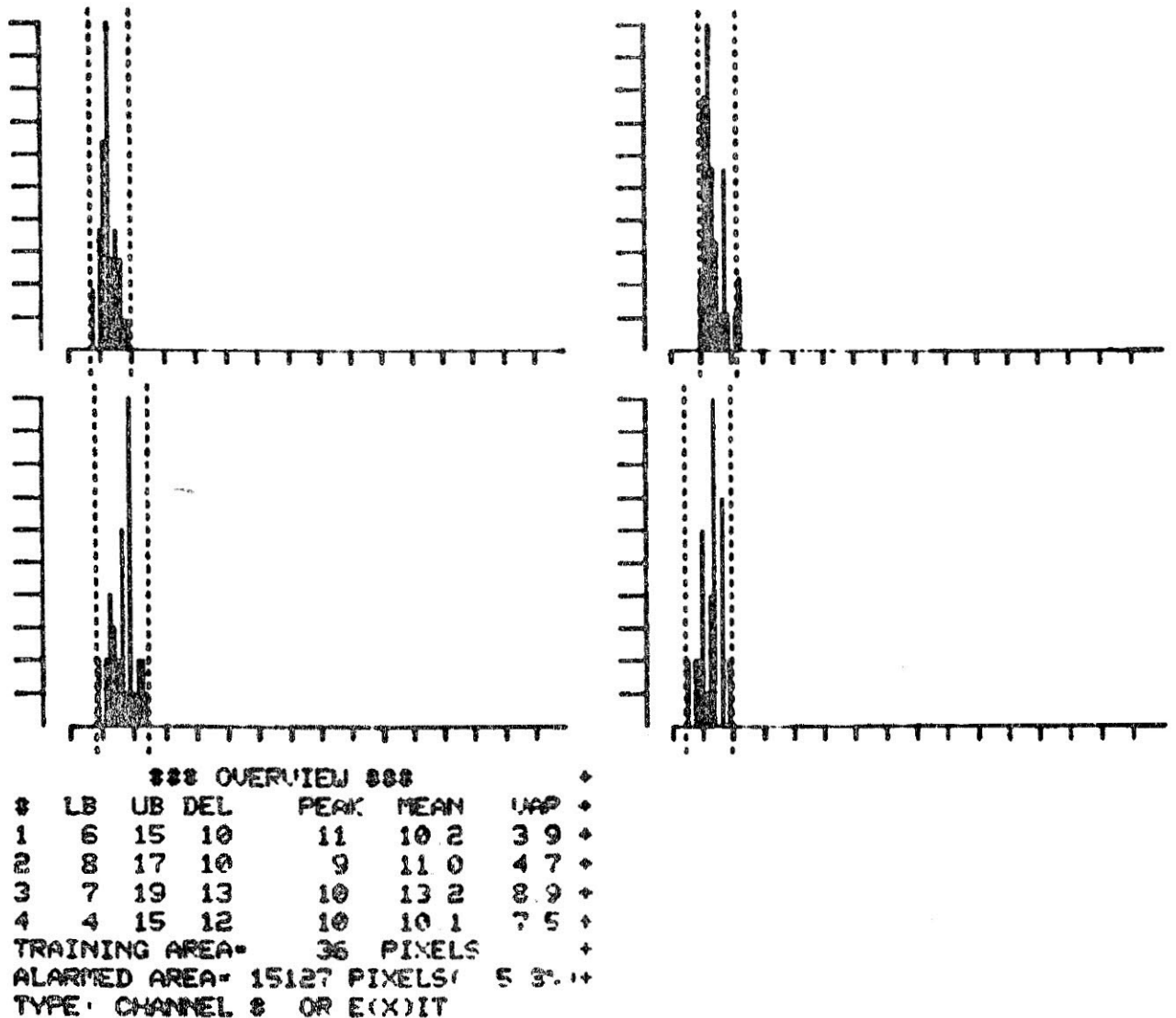


Fig. 13 - Histogramas de frequência para o tema argila aluminosa (classificação "single-cell") para a área Estrela do Sul/Nova Ponte

A Tabela 3 mostra a matriz de classificação fornecida para a classificação por máxima verossimilhança da área da Figura 12, utilizando-se do limiar 4,2.

Da análise desta tabela tem-se que 100% dos pontos considerados como área de treinamento para as classes argilas aluminosas e argilas ferrosas foram consideradas na classificação com este limiar, o que assegura uma boa classificação e separabilidade destas classes.

TABELA 3

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DA ÁREA DE ESTRELA DO SUL/NOVA PONTE, PARA AS CLASSES ARGILA ALUMINOSA, ARGILA FENOSA, CERRADO DENSO E CERRADO RALO (CLASS. MAXVER, LIMIAR 4.2)

	N	1	2	3	4
1. Argila aluminosa	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
2. Cerrado denso	0.0	0.0	97.2	0.0	2.8
3. Cerrado ralo	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0
4. Argila fenosa	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0

A Figura 14 mostra os resultados da classificação single-cell para a área de Estrela do Sul, referente ao "slide" nº 13, para o tema argila aluminosa (verde).

A Figura 15 mostra a mesma área com as regiões alarmadas para os temas argila aluminosa (esverdeado) e argila ferrosa (amarelado), utilizando-se classificação maxver com limiar 4,2.

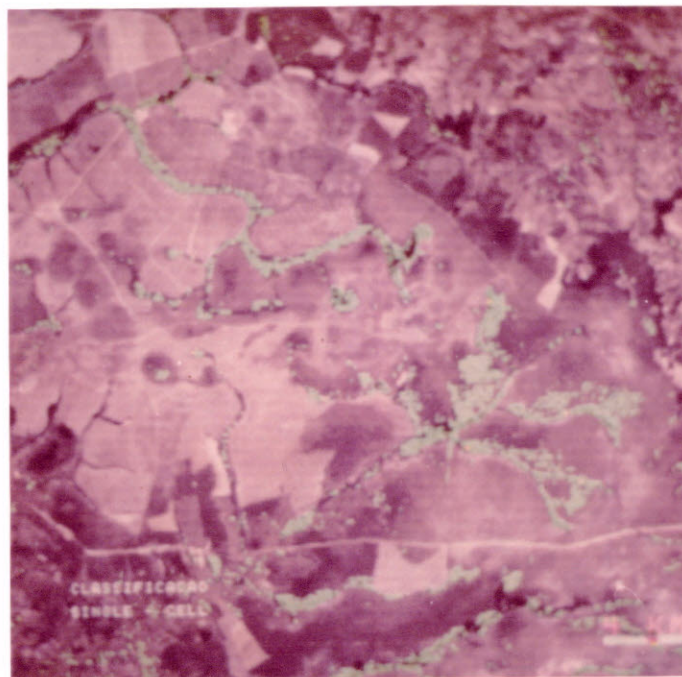


Fig. 14 - Áreas alarmadas para o tema argila aluminosa (classificação "single-cell") da área de Estrela do Sul



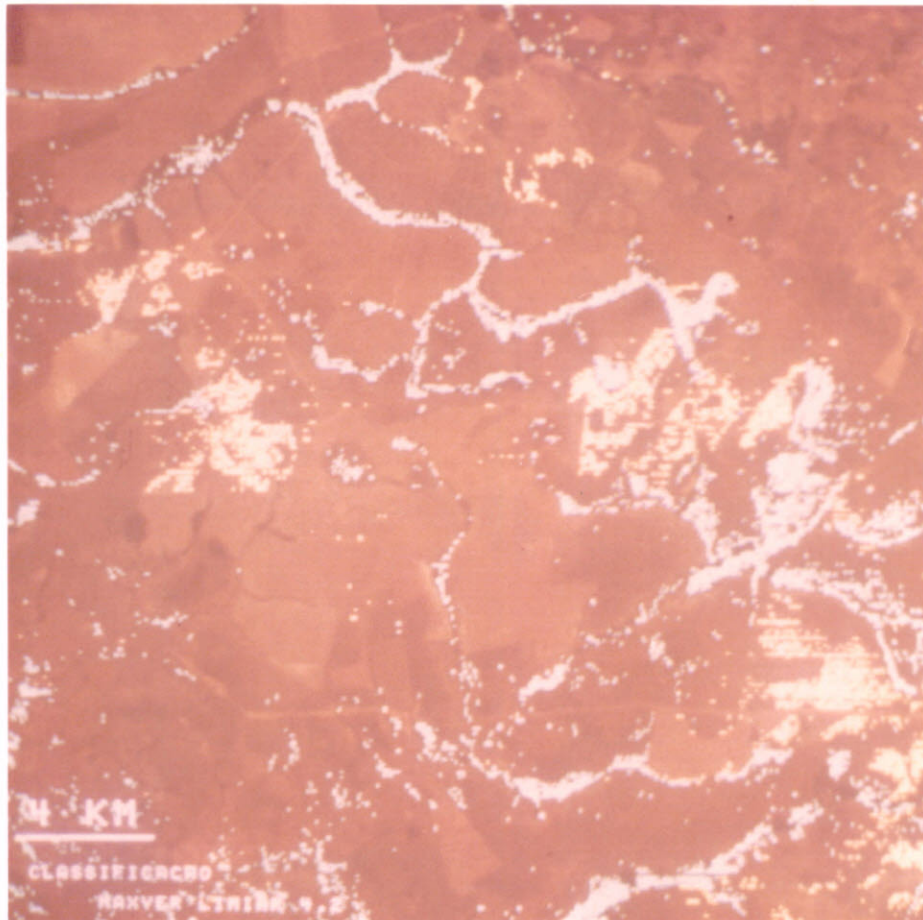


Fig. 15 - Áreas alarmadas para os temas argilas aluminosas e argilas ferrosa (classificação maxver, limiar 4,2) da área de Estrela do Sul

Os histogramas de frequência para a classe argila aluminosa referente à Figura 14 são apresentados na Figura 16.

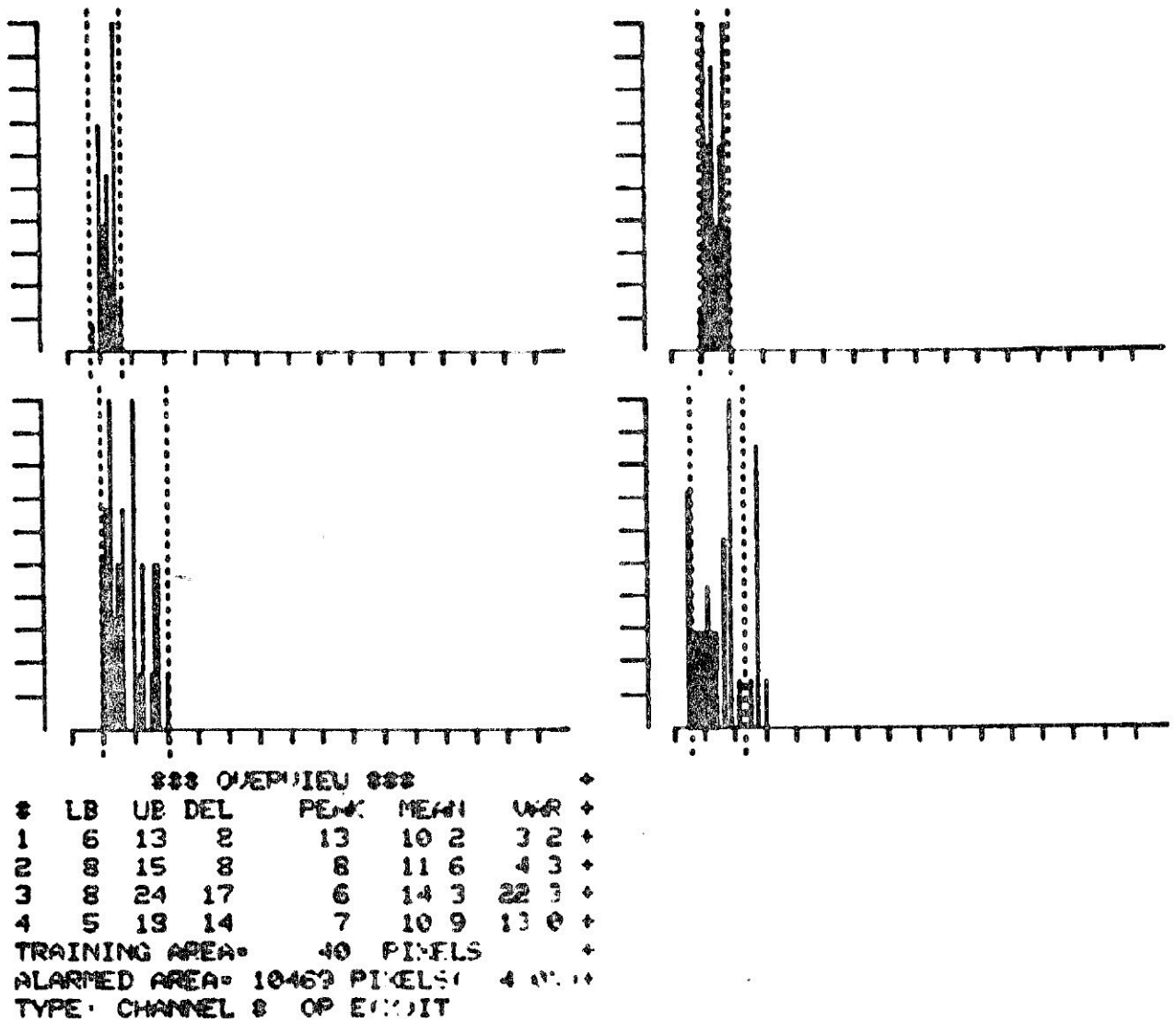


Fig. 16 - Histogramas de frequência para o tema argila aluminosa (classificação single-cell), da área de Estrela do Sul

A Figura 17 mostra os resultados obtidos da classificação single-cell (slide de referência nº 15 da Tabela 2), para o tema argila aluminosa, na área de Nova Ponte.

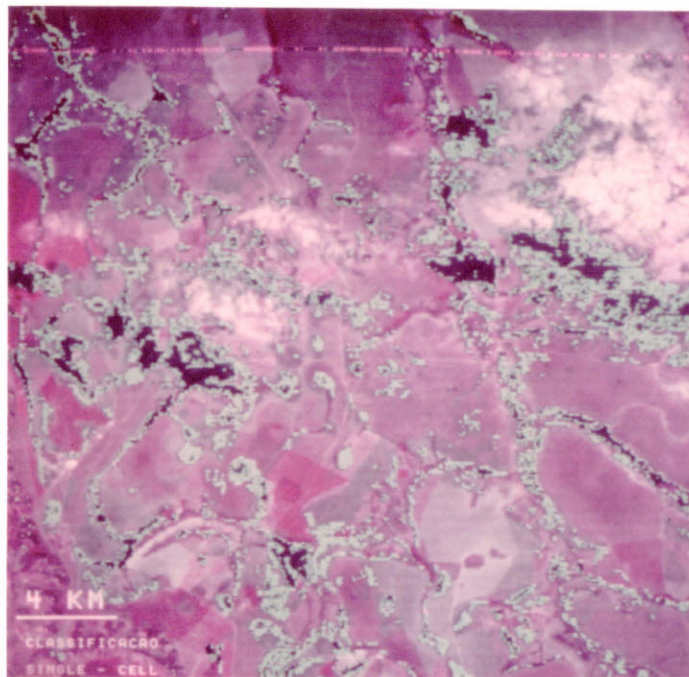


Fig. 17 - Áreas alarmadas para o tema argila aluminosa (classificação single-cell) da área de Nova Ponte

A Figura 18 mostra os resultados obtidos da classificação maxver (limiar 4,2) para os temas argila aluminosa e argila ferrosa da mesma área da figura anterior.

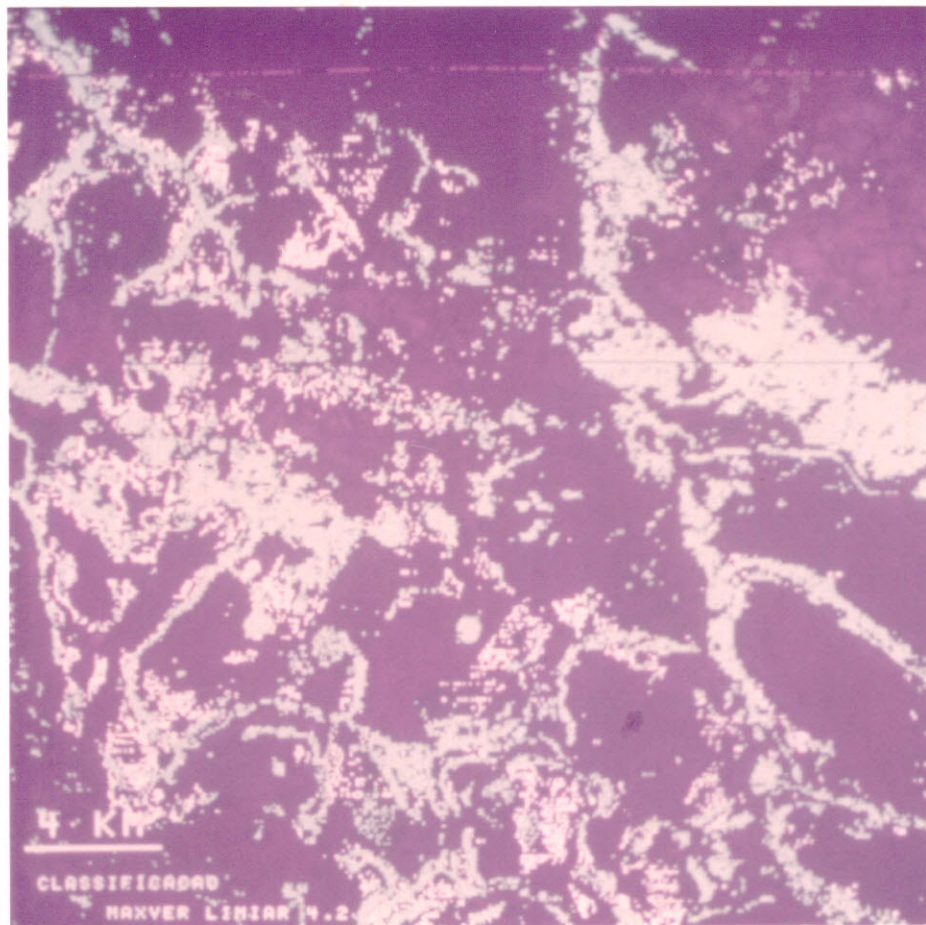


Fig. 18 - Áreas alarmadas para os temas argilas aluminosas e argilas ferrosas (classificação maxver, limiar 4,2) para a área de Nova Ponte

A Figura 19 mostra os histogramas de frequência de níveis de cinza, por canal, de classificação 'single-cell' para a área de Nova Ponte.

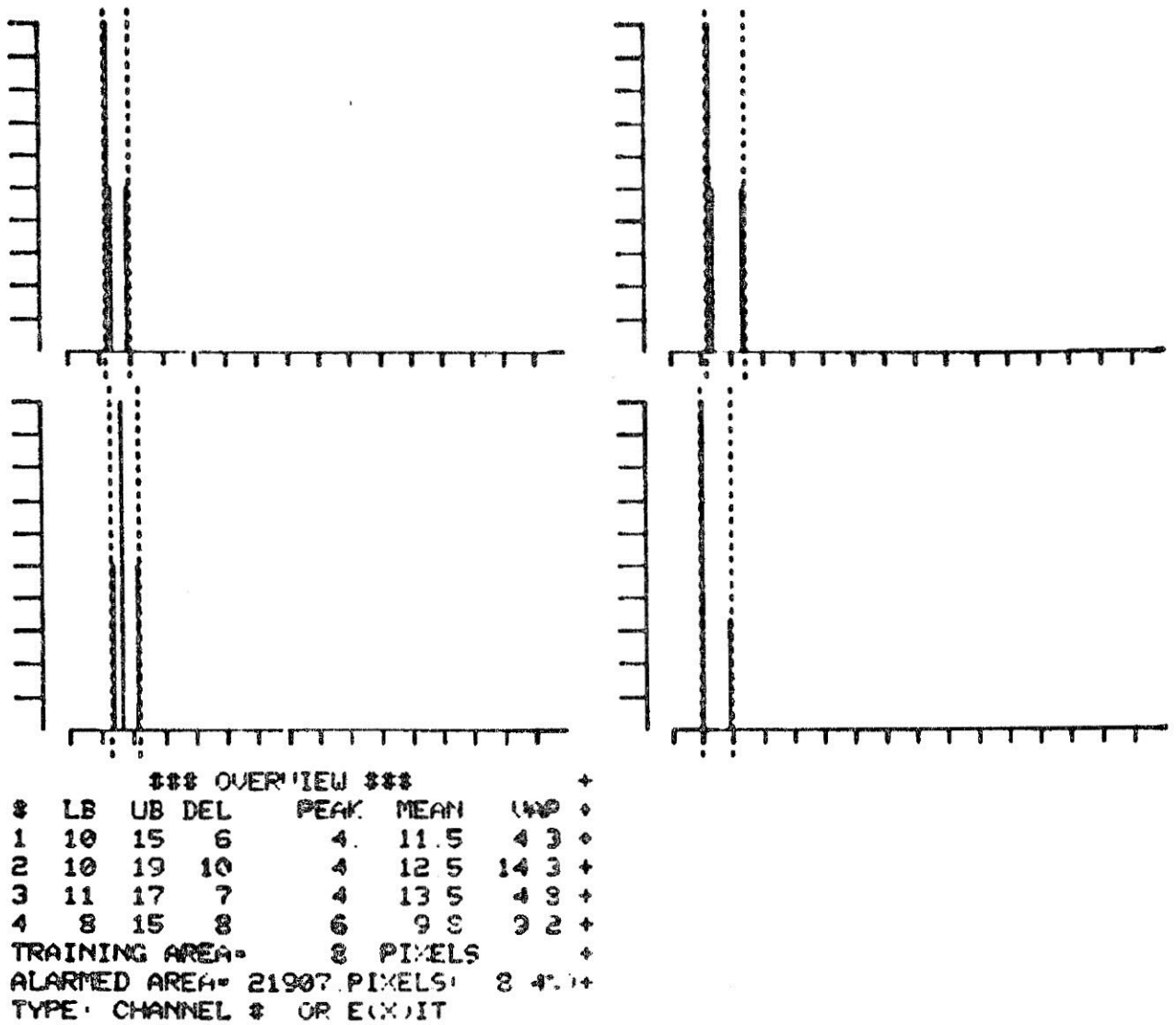


Fig. 19 - Histogramas de frequência para a classe argila aluminosa (classificação 'single-cell') da área de Nova Ponte

A matriz de classificação da Figura 18 é a mesma da Tabela 3, visto que os pontos de amostragem e o limiar considerados são os mesmos.

Os resultados das classificações single-cell para as áreas de Uberaba ("slide" de referência nº 1) e Perdizes ("slide" de referência nº 6), para o tema argila aluminosa, são apresentados nas Figuras 20 e 21, respectivamente,

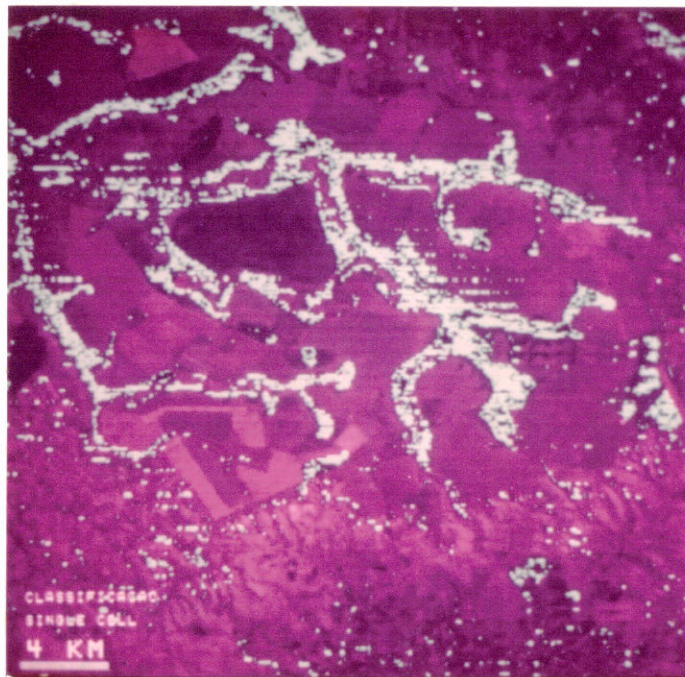


Fig. 20 - Áreas alarmadas para o tema argila aluminosa (classificação single-cell) da área de Uberaba

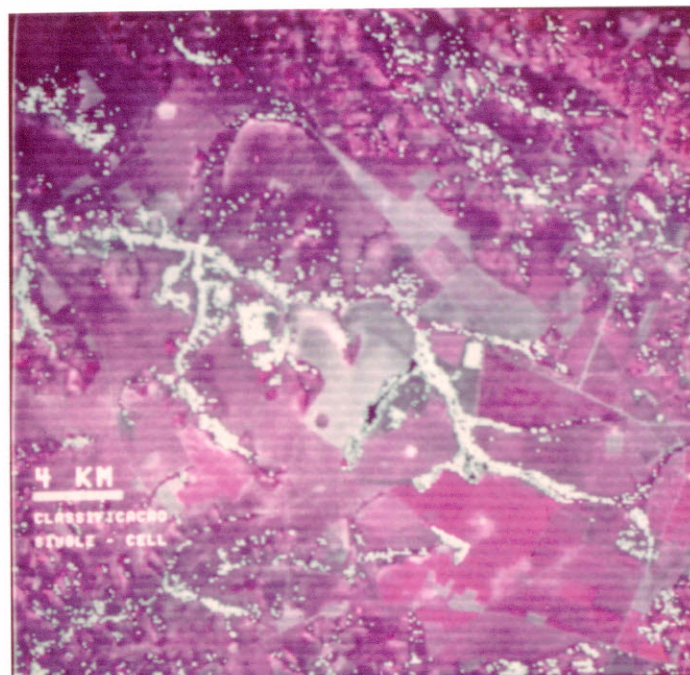


Fig. 21 - Áreas alarmadas para o tema argila aluminosa (classifi\_ cação single-cell) da área de Perdizes

## 7. CONCLUSÕES

- 1) Os resultados obtidos comprovaram as conclusões de Almeida Filho et al, 1976, de que zonas favoráveis à ocorrência de depósitos de argilas refratárias, em áreas de clima e ambiente geológico-geoquímico, como o da região analisada, podem ser indicadas pela metodologia de classificação automática supervisionada de dados LANDSAT.
- 2) Os resultados das classificações single-cell e maxver, quando comparados para uma mesma área, assemelham-se, com as áreas alarmadas concentrando-se ao longo dos cursos de drenagem, o que indica uma confiabilidade dos resultados.
- 3) A classificação single-cell apresentou como vantagens uma maior facilidade e um menor tempo dispendido na análise, além de exigir um menor conhecimento de dados prévios de campo, na fase de treinamento da classificação. Já a classificação maxver, embora com um processamento mais demorado e exigindo maiores conhecimentos prévios do terreno (são necessárias várias classes), apresentou resultados, que em uma análise visual parecem mais precisos, refletidos, no geral, por uma melhor definição de detalhes na extensão das áreas alarmadas.
- 4) Através das classificações maxver foi possível uma separação das classes argilas aluminosas (relação  $AL_2O_3/Fe_2O_3$  mais elevada) e argilas ferrosas (relação  $AL_2O_3/Fe_2O_3$  menor).
- 5) Para uma mesma área, na comparação visual entre os dois tipos de classificações, os resultados maxver, com limiar 4,2 foram os que mais se aproximaram, visualmente, dos obtidos com a classificação single-cell.



- 6) A metodologia depende, fundamentalmente, dos dados fornecidos pelo usuário.
- 7) A vegetação não teve maior influência na caracterização espectral dos alarmes, posto que, além de não ser exuberante, foram utilizadas as imagens de época de estiagem, na região.
- 8) Os alarmes obtidos parecem estar relacionados à interação de três fatores que devem influenciar a resposta espectral dos alvos: a presença de uma camada superficial de argila escura turfosa, a relação  $Al_2O_3/Fe_2O_3$  (maior para argilas aluminosas e menor para argilas ferrosas) e a presença de umidade.
- 9) Os resultados obtidos do trabalho sugerem que a extensão superficial dos depósitos de argilas aluminosas, na região, pode ser indicada, em uma abordagem preliminar, pela metodologia utilizada, facilitando, deste modo, o planejamento das malhas de sondagens para a avaliação das reservas, com reflexos importantes no custo e tempo da pesquisa. Entretanto uma conclusão definitiva, sobre o nível de concordância entre as delimitações fornecidas pela metodologia e as reais extensões superficiais dos depósitos, somente será obtida, com o desenvolvimento dos trabalhos posteriores de campo.

## BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA FILHO, R.; PARADELLA, W.R. *Estudo do Maciço Alcalino de Poços de Caldas através de imagens LANDSAT com ênfase em mineralizações radioativas*. Tese de Mestrado em Sensores Remotos e Aplicações. São José dos Campos, INPE, 1977. (INPE-1112-TPT/065).

——— - *Mapeamento Automático de áreas favoráveis a ocorrência de argilas no planalto de Poços de Caldas*. São José dos Campos, INPE, Jul. 1977. (INPE-1067-NTI/089)

ALMEIDA FILHO, R.; PARADELLA, W.R.; PEQUENO, V.S. *Identificação de Áreas de argila na região das cabeceiras do Rio Claro (MG), através de análise automática de dados do LANDSAT*. São José dos Campos, INPE, nov. 1976. (INPE-964-NTE/073).

AMARAL, G. Estudos sobre a aplicabilidade da interpretação automática de imagens LANDSAT para prospecção mineral. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29, Ouro Preto, 1976. Anais. p. 191-193.

GENERAL ELECTRIC. *Image 100 interactive multispectral image analysis system*. user manual, Florida, 1975.

LIU, C.C.; MENESES, P.R.; PARADELLA, W.R. Sensoriamento Remoto no quadrilátero ferrífero: uma avaliação de dados de diferentes tipos de sensores. Apresentado no *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 1, São José dos Campos, 27-29 nov. 1978.

PARADELLA, W.R. Atuação do INPE na prospecção Mineral, utilizando os sensores remotos. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE TÉCNICAS EXPLORATÓRIAS EM GEOLOGIA, 1., Poços de Caldas, 1976. Anais. p.235-236.

- PARADELLA, W.R.; ALMEIDA FILHO, R. Condicionamento das mineralizações radiativas no planalto de Poços de Caldas, baseada em imagens MSS do LANDSAT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., Ouro Preto, 1976. Anais. p. 181-189.
- PARADELLA, W.R.; DUTRA, L.V. *Filtragens digitais de imagens LANDSAT como técnica de auxílio visual na fotointerpretação geológica*. São José dos Campos, INPE, 1980, (INPE-1923-RPE-189).
- PARADELLA, W.R.; LIU, C.C.; MENESES, P.R. *Projeto Planalto Arenítico Basáltico: Análise de anomalias morfológicas através do analisador Image-100 baseada em dados LANDSAT*. São José dos Campos, INPE, 1980. No prelo.
- PARADELLA, W.R.; MENESES, P.R.; LIU, C.C. Caracterização de maciços ácidos e diferenciados ao Sul do Espírito Santo através de técnicas de análise automática de dados LANDSAT. Apresentado no *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 1., São José dos Campos, 27-29 nov. 1978.
- PARADELLA, W.R.; MENESES, P.R.; MATTOSO, S.Q. Interpretação automática de dados do LANDSAT na pesquisa de ilmenita de floresta, Pernambuco. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE TÉCNICAS EXPLORATÓRIAS EM GEOLOGIA, 2., Gravatal, SC, 1979. Anais 307-317.
- VELASCO, F.R.D.; PRADO, L.O.C.; SOUZA, R.C.M. *Sistema MAXVER: manual do usuário*. São José dos Campos, INPE, 1978. (INPE-1315-NTI/110).