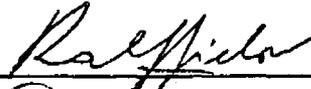
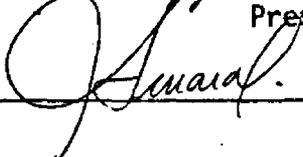


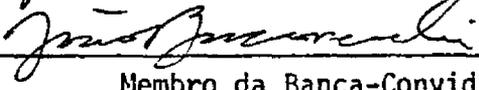
<b>1. Classificação</b> INPE-COM.1/TPT C.D.U: 553.495:621.38SR(816.12)	<b>2. Período</b>	<b>4. Critério de Distribuição:</b>  interna <input type="checkbox"/>  externa <input checked="" type="checkbox"/>
<b>3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor)</b>  MINERALIZAÇÕES RADIOATIVAS MACIÇO ALCALINO DE POÇOS DE CALDAS LANDSAT		
<b>5. Relatório nº</b> INPE-1112-TPT/065	<b>6. Data</b> Setembro, 1977	<b>7. Revisado por</b>  Gilberto Amaral
<b>8. Título e Sub-Título</b> ESTUDO DO MACIÇO ALCALINO DE POÇOS DE CALDAS ATRAVÉS DE IMAGENS LANDSAT COM ÊNFASE EM MI NERALIZAÇÕES RADIOATIVAS		<b>9. Autorizado por</b>   Nelson de Jesus Parada Diretor
<b>10. Setor</b> DSR	<b>Código</b>	<b>11. Nº de cópias</b> 17
<b>12. Autoria</b> RAIMUNDO ALMEIDA FILHO WALDIR RENATO PARADELLA		<b>14. Nº de páginas</b> 143
<b>13. Assinatura Responsável</b> 		<b>15. Preço</b>
<b>16. Sumário/Notas</b> Interpretações visuais e automáticas de imagens e fitas compatíveis com computador do sistema LANDSAT, integradas a dados geológicos, geofísicos, geocronológicos e altimétricos, permitiram definir os principais parâmetros condicionantes das mineralizações radioativas no Maciço Alcalino de Poços de Caldas, bem como delinear certos aspectos da evolução tectono-magmática desenvolvida na área. Verificou-se que as anomalias radiométricas e as ocorrências minerais radioativas conhecidas, estão relacionadas à presença de estruturas circulares secundárias menores, associadas à caldeira principal do Maciço. A identificação de várias destas estruturas circulares é altamente sugestiva como guia para a prospecção de novos depósitos na área.		
<b>17. Observações</b> Tese de Mestrado em Sensores Remotos e Aplicações, aprovada em 28 de dezembro de 1976.		

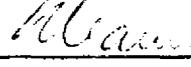


Aprovado pela Banca Examinadora  
em cumprimento dos requisitos exigidos  
para a obtenção do Título de Mestre em  
Sensores Remotos e Aplicações.

Dr. Ralf Gielow   
Presidente da Banca

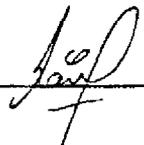
Dr. Gilberto Amaral   
Orientador

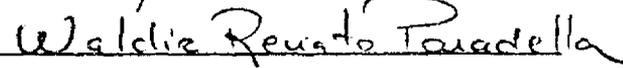
Dr. João Batista Moreschi   
Membro da Banca-Convidado

Dr. Yociteru Hasui   
Membro da Banca-Convidado

Geo. Marx Presles Barbosa, MSc.   
Membro da Banca

Eng. Agro. Antonio Tebaldi Tardin, MSc.   
Membro da Banca

Raimundo Almeida Filho   
Candidato

Waldir Renato Paradella   
Candidato

São José dos Campos, 28 de dezembro de 1976



## INDICE

ABSTRACT .....	<i>vi</i>
LISTA DE FIGURAS .....	<i>vii</i>
LISTA DE TABELAS .....	<i>xii</i>
 <u>CAPÍTULO I</u>	
INTRODUÇÃO .....	1
1.1 - Objetivo .....	1
1.2 - Justificativa .....	1
1.3 - Definição da Área .....	3
 <u>CAPÍTULO II</u>	
ASPECTOS GEOLÓGICOS .....	7
2.1 - Trabalhos Anteriores .....	7
2.2 - Geologia da Área .....	10
2.2.1 - Sedimentos .....	10
2.2.2 - Brechas, Tufos e Aglomerados Vulcânicos .....	12
2.2.3 - Rochas Efusivas e Hipabissais .....	12
2.2.4 - Rochas Plutônicas .....	16
2.3 - Evolução Geológico-Estrutural .....	19
2.4 - Características Gerais das Mineralizações Radioativas .....	25
2.4.1 - Mineralização Urânio-Zircônio .....	26
2.4.2 - Mineralização Tório-Terras Raras .....	28
2.4.3 - Mineralização Urânio-Molibdênio .....	

### CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS .....	35
3.1 - Materiais .....	35
3.2 - Métodos .....	36
3.2.1 - Sensoriamento Remoto .....	38
3.2.1.1 - Interpretação Visual .....	39
3.2.1.2 - Interpretação Automática e Realce de Imagens .....	41

### CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	51
4.1 - Interpretação Visual .....	51
4.1.1 - Escala Regional .....	51
4.1.2 - Maciço Alcalino .....	55
4.1.2.1 - Rede de Drenagem .....	55
4.1.2.2 - Estrutura .....	56
4.1.2.3 - Litologia .....	63
4.2 - Interpretação Automática e Realce de Cenas .....	64

### CAPÍTULO V

COMPARAÇÕES COM DADOS EXISTENTES .....	83
5.1 - Estrutura Regional .....	83
5.2 - Mapa Geológico .....	84
5.3 - Mapa Cintilométrico .....	88
5.4 - Esboço Altimétrico .....	90
5.5 - Mapa Aeromagnetométrico .....	92

CAPÍTULO VI

EVOLUÇÃO GEOLÓGICA DA ÁREA E MINERALIZAÇÕES RADIOATIVAS .....	97
6.1 - Desenvolvimento do Processo Evolutivo .....	98
6.2 - Mineralizações Radioativas .....	111

CAPÍTULO VII

CONCLUSÕES .....	115
AGRADECIMENTOS .....	117
BIBLIOGRAFIA .....	119



## ABSTRACT

*Visual and automatic interpretation of multispectral images and computer compatible tapes of LANDSAT System, allowed us to disclose the main controls of the radioactive deposits (Uranium and Thorium) in the Poços de Caldas Alkaline Complex. These results agree with available geological, geochronological, altimetric and geophysical data. It was verified that known radiometric anomalies and mineral occurrences are located around secondary circular structures associated with the main caldera. The identification of several favorable circular structures is highly suggestive as guide for prospection of new deposits in the area.*



## LISTA DE FIGURAS

Fig. I.1 - Necessidades acumuladas de Urânio para o Brasil, até o ano 2.000 .....	2
Fig. I.2 - Aspecto parcial da cidade de Poços de Caldas, vista de Norte para Sul. ....	3
Fig. I.3 - Localização da área .....	4
Fig. I.4 - Vista parcial do grande dique anelar externo, na borda Norte do Maciço .....	5
Fig. II.1 - Esboço Geológico do Complexo Alcalino de Poços de Caldas e localização de campos mineralizados ou indícios radioativos .....	11
Fig. II.2 - Esboço Geológico e dados geocronológicos do Maciço Alcalino .....	14
Fig. II.3 - Exposição dos tinguaitos na borda Norte do Maciço .....	15
Fig. II.4 - Afloramento de foiaito próximo ao Aeroporto .....	17
Fig. II.5 - Lujauritos aflorando na extremidade Norte do Maciço, formando a "Pedra Balão" .....	18
Fig. II.6 - Morro do Ferro. Grande jazida de Tório e Terras Raras .....	29
Fig. II.7 - Campo do Agostinho. Jazida de Urânio associado a Molibdênio .....	30

Fig. II.8 - Setor C/09. Grande jazida de Urânio associado a Molibdênio .....	32
Fig. III.1 - Etapas no desenvolvimento do trabalho .....	37
Fig. III.2 - Assinaturas espectrais (caso ideal) da água, do solo e da vegetação. ....	40
Fig. III.3 - Configuração básica do I-100, não incluindo o conjunto DICOMED .....	46
Fig. III.4 - Fluxograma básico da utilização do I-100 neste trabalho .....	50
Fig. IV.1 - Esboço Geológico-estrutural da região de Poços de Caldas baseado em interpretações visuais de imagens LANDSAT-1 .....	52
Fig. IV.2 - Aspecto dos gnaisses falhados que constituem a Serra do Cervu, próximo a Ipuina-MG, a Sudeste da região .....	53
Fig. IV.3 - Aspecto Regional da área, mostrada pela banda 5 do satélite LANDSAT .....	54
Fig. IV.4 - Visão regional da área obtida pela banda do canal 7 .....	55
Fig. IV.5 - Esboço fotogeológico do Maciço Alcalino, obtido a partir de interpretações visuais de imagens LANDSAT .....	57

Fig. IV.6 - Detalhe da estrutura circular-dômica da área Centro-Este do Maciço, ampliada no I-100. ....	59
Fig. IV.7 - Aspecto da estrutura circular na extremidade Oeste do Maciço, englobando os campos de Quirinos e Serrote, ampliada no I-100 .....	60
Fig. IV.8 - Feição circular-dômica ao Sul da cidade de Poços de Caldas .....	61
Fig. IV.9 - Detalhe da estrutura circular ao Norte do Maciço, sobre o grande dique anelar .....	62
Fig. IV.10 - Região de Poços de Caldas, como vista no Density Color Slicer do EROS DATA CENTER .....	65
Fig. IV.11 - Canal 7 realçado, mostrando aspectos regionais da área .....	66
Fig. IV.12 - Composição colorida mostrando o Maciço Alcalino e suas encaixantes .....	67
Fig. IV.13 - Composição colorida da região de Poços de Caldas, ressaltada pelos canais 5 e 7 do LANDSAT .....	69
Fig. IV.14 - Canal 5 do LANDSAT, mostrado no "video" do I-100, a partir de fitas CCT. ....	70
Fig. IV.15 - Canal 7 do Scanner Multiespectral do Satélite LANDSAT-1 .....	71
Fig. IV.16 - Aspecto local do Maciço Alcalino mostrado numa fotografia colorida composta .....	72

Fig. IV.17 - Aspecto do Maciço Alcalino, mostrando em destaque as estruturas circulares internas, ressaltadas pelo método de treinamento e classificação .....	73
Fig. IV.18 - Aspecto do interior do Maciço, mostrando as estruturas circulares pelas drenagens que contornam suas bordas. ....	75
Fig. IV.19 - Tema obtido pela técnica do "Slicer" (amarelo), sobreposto a uma fotografia colorida composta .....	76
Fig. IV.20 - Canal 7, ressaltado em suas feições pela técnica do "Contrast Stretch" .....	77
Fig. IV.21 - Região de Poços de Caldas mostrada através de técnicas de filtragens .....	78
Fig. IV.22 - Aspecto do Maciço Alcalino mostrando o resultado de combinações entre filtragens e imagens originais .....	80
Fig. IV.23 - Produto de Filtragem adicionado 50% da imagem normal do canal 7 .....	81
Fig. V.1 - Esboço estrutural do Maciço de Poços de Caldas, baseado em interpretações automáticas e visuais de imagens LANDSAT .....	85
Fig. V.2 - Esboço Radiométrico do Planalto de Poços de Caldas .....	89

Fig. V.3 - Esboço Altimétrico do Maciço .....	91
Fig. V.4 - Esboço Aeromagnetométrico da região de Poços de Caldas .....	94
Fig. V.5 - Superfície de Tendência a partir de Dados Aero magnetométricos da região do Maciço Alcalino .....	95
Fig. VI.1 - Localização das Estruturas Circulares Internas e Dados Geocronológicos para o Maciço de Poços de Caldas .....	101



## LISTA DE TABELAS

Tab. II.1 - Datações K/Ar de algumas rochas alcalinas da região Sudeste do Brasil. ....	21
Tab. II.2 - Reservas Brasileiras de Urânio .....	31
Tab. II.3 - Principais ocorrências de minério radioativo no Planalto de Poços de Caldas. ....	34



## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO

#### 1.1 - OBJETIVO

Este trabalho foi desenvolvido com a finalidade de testar a potencialidade das imagens multiespectrais LANDSAT, no estudo do Maciço Alcalino de Poços de Caldas, com ênfase em mineralizações radioativas, através de interpretações visuais e de modernas técnicas de análise automática, integradas a dados bibliográficos.

#### 1.2 - JUSTIFICATIVA

A área escolhida é muito importante, por conter as maiores reservas de urânio conhecidas no Brasil, havendo, ainda, adequado volume de informações adicionais, tais como: mapas geológicos, cintilométrico, topográfico, aeromagnetométrico, de ocorrências minerais radioativas e datações geocronológicas.

O crescente consumo de energia elétrica e a escassez dos combustíveis fósseis fazem com que o urânio assuma papel de mais alta importância, no atendimento energético em futuro próximo. Estudos oficiais estimam que, até o ano 2000, a energia nuclear terá que participar com aproximadamente 30% da demanda energética total, a fim de suprir um provável déficit, causado pelo esgotamento dos recursos hídricos, prin

principalmente nas regiões mais desenvolvidas do país. A implantação das centrais nucleares irá exigir um consumo de 75.000t de  $U_3O_8$  até aquele ano.

O gráfico da Figura I.1 mostra as necessidades acumuladas de urânio para o Brasil, até o final deste século. Atualmente, nossas reservas medidas são suficientes até meados da próxima década, o que torna, como se vê, imperativo a intensificação e o uso de modernas técnicas de prospecção deste elemento. Dentro deste contexto, o sensoria<sub>u</sub>mento remoto surge como uma ferramenta da mais alta relevância.

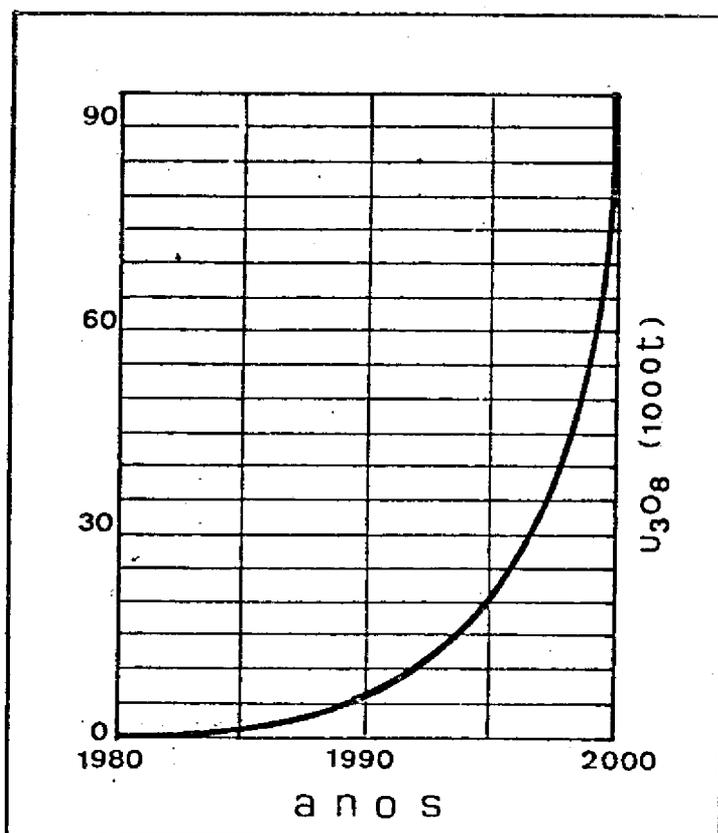


Fig. I.1 - Necessidades acumuladas de urânio para o Brasil, até o ano 2.000. (Fonte: CNEN, 1974).

### 1.3 - DEFINIÇÃO DA ÁREA

O Planalto de Poços de Caldas se localiza ao Sul do Estado de Minas Gerais, limítrofe com o Estado de São Paulo (Figura I.3). Sua superfície, em torno de  $900 \text{ km}^2$ , é definida pelas seguintes coordenadas:

$21^{\circ} 45'$  -  $22^{\circ} 05'$  de Lat. Sul

$46^{\circ} 20'$  -  $46^{\circ} 45'$  de Long. Oeste.

A principal cidade da região é Poços de Caldas (Figura I.2), com população aproximada de 75.000 habitantes, ligada aos principais centros do país por vias asfaltadas, distando 250 km de São Paulo.

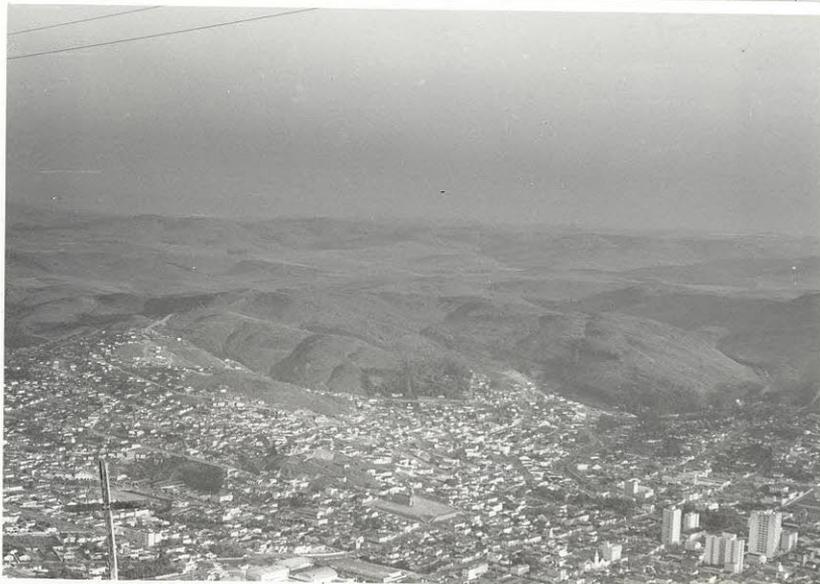


Fig. I.2 - Aspecto parcial da cidade de Poços de Caldas, vista de Norte para Sul. Ao fundo, a superfície ondulada do interior da chaminé alcalina.

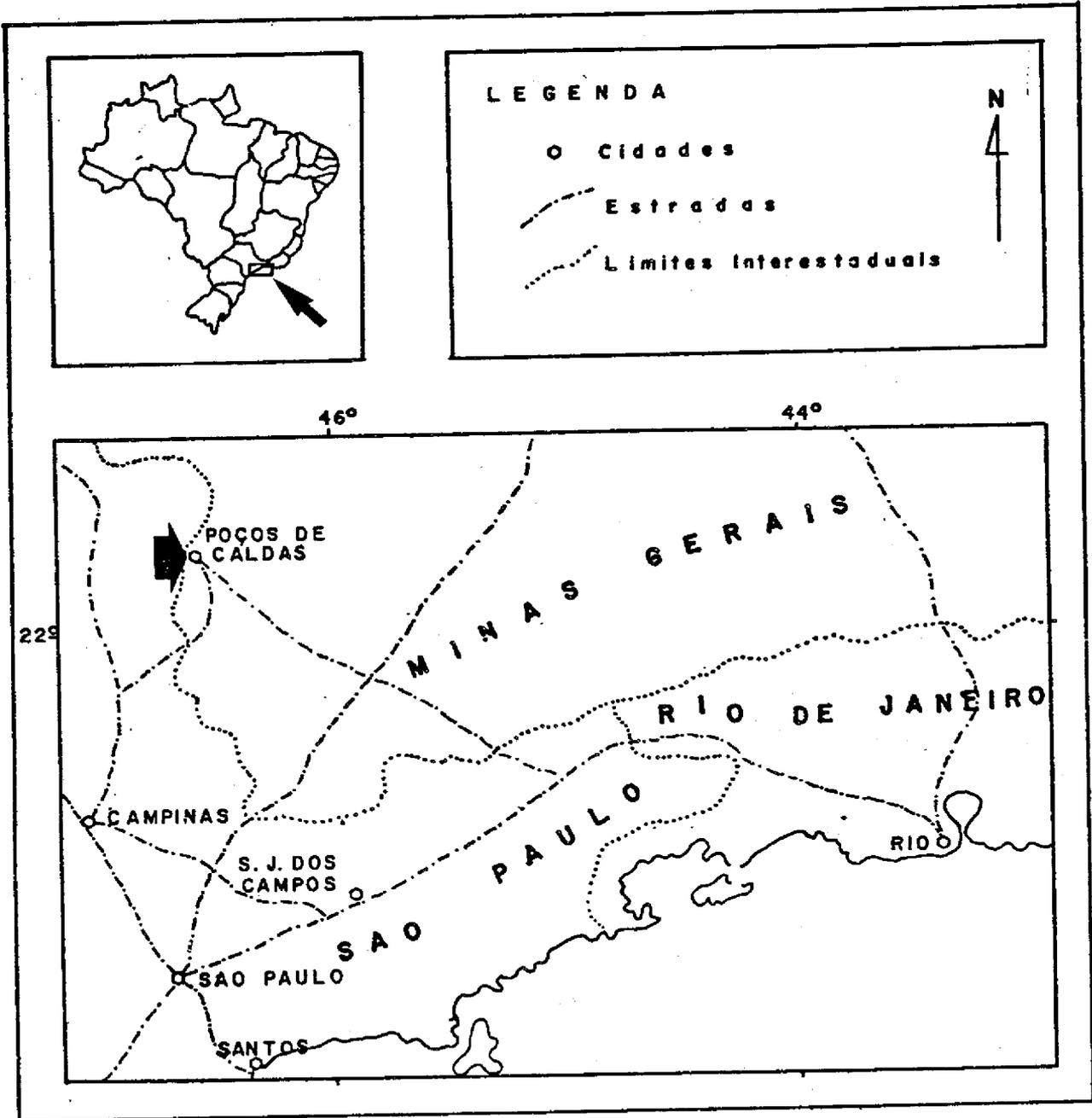


Fig. I.3 - Localização da Área

O Planalto apresenta uma forma ligeiramente circular, com diâmetro médio de 30 km e altitude em torno de 1.200 m. Às suas bordas, dispõem-se diques anelares que, às vezes, chegam a apresentar 400 m de desnível em relação ao interior do Maciço, constituindo as serras de São Domingos (Figura I.4), Selado, Maranhão, Pedra Branca, Forquilha, Caracol, Monte Belo e a Serra de Poços, que lhe conferem o aspecto de uma imensa cratera.

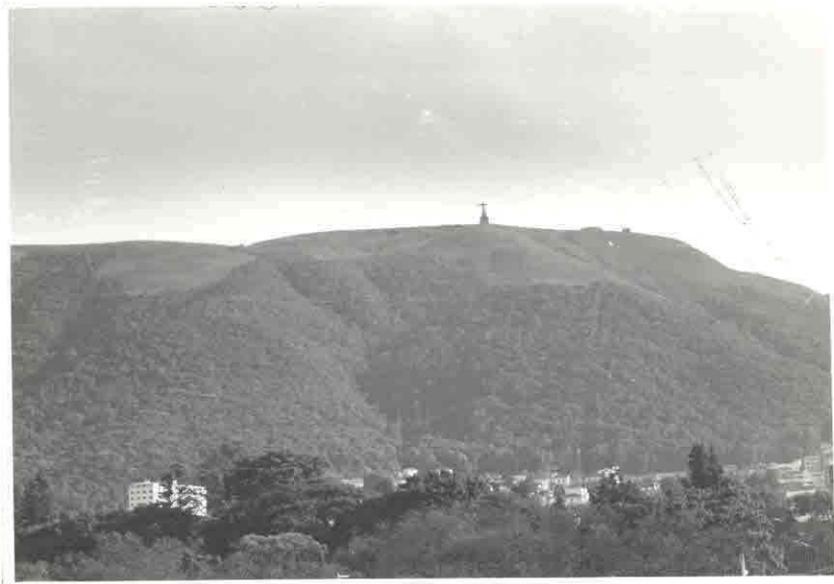


Fig. I.4 - Vista parcial do grande dique anelar externo, na borda Norte do Maciço.

O clima da região é caracterizado por duas estações distintas: uma chuvosa, mais marcante entre outubro e março, e outra seca, entre junho e setembro.

A vegetação predominante na região constitui-se de campos limpos, onde as gramíneas compõem a paisagem principal. Christofolletti (1972) reconhece duas formações vegetais na área: os Campos, constituídos de gramíneas rústicas, sobressaindo-se a "Barba-de-bode" (*Aristida pallens*), mais comuns nas vertentes e topos, e uma vegetação arbórea e arbustiva, disseminada em pequenas manchas nas cabeceiras das drenagens, ou formando matas galerias.

## CAPÍTULO II

### ASPECTOS GEOLÓGICOS

#### 2.1 - TRABALHOS ANTERIORES

Encaixado em gnaisses e granitos do embasamento cristalino, às vezes localmente fenitizados, o maciço de Poços de Caldas é uma das maiores ocorrências de rochas alcalinas em todo o mundo. Remontam ao século passado as primeiras referências sobre sua geologia, quando Derby (1887) reconhece ali uma sequência de foiaítos, fonólitos e tufos, assim como o caráter intrusivo circular da estrutura. O citado autor admite para o Maciço uma provável idade paleozóica, baseado em correlação com as camadas sedimentares da bacia do Paraná, reconhecidas em sua borda oeste. Para os foiaítos e fonólitos sugeriu uma origem comum, ligados a um único evento magmático.

Vários autores citam trabalhos de Machado (1888) e Hussak (1900) sobre estudos petrográficos do Maciço.

Barbosa (1934) descreve com detalhe a petrografia de várias rochas do Planalto, agrupando-as em sienitos nefelínicos, gnaisses e arenitos, distinguindo entre as primeiras, fonólito e foiaíto. Em 1936, aquele autor descreve os aspectos geológicos e os recursos minerais do Complexo Alcalino, sendo o primeiro a suspeitar da existência de chaminés vulcânicas secundárias em seu interior.

A primeira referência sobre a geomorfologia do Maciço de ve-se a Frêitas (1943), que concluiu por uma origem relacionada a intrusão e extrusão de rochas alcalinas, com o levantamento das camadas do Gondwana.

Frêitas (1944) associa os focos das rochas alcalinas do Brasil Meridional a movimentos de tensão, ocorridos no escudo brasileiro, que criaram a serra do Mar.

Guimarães (1947) estuda as rochas alcalinas, inferindo para a região de Poços de Caldas a existência de vários centros vulcânicos, responsáveis pelos derrames fonólito-tinguaíticos e depósitos de tufos. O envolvimento de massas de foiaitos pelas lavas de mesma composição, bem como a existência de tipos de transição, sugerem ao autor uma origem comum a toda filiação alcalina. A erosão, atuando sobre os depositos vulcânicos, fez aparecer os "stocks" de foiaito.

Barboša (1948) prossegue seus estudos na área, reconhecendo duas fases distintas de magmatismo no Maciço: uma intrusiva (foiaitica) e outra extrusiva (fonolítica), separadas no tempo. A primeira com idade mais provável pré-Ordoviciãna e a segunda pós-Botucatu, variando do Neo-Triássico a Neo-Cretáceo.

As rochas sedimentares preservadas no Planalto foram analizadas por Björnberg (1956, 1959).

Os estudos de geologia e petrografia de parte do Maciço prosseguiram com Branco (1956).

Ellert (1959) apresenta o primeiro mapa geológico do Complexo Alcalino, descrevendo os principais tipos petrográficos na área, abordando também aspectos da evolução magmática e dos mecanismos formadores do Maciço.

Dutra (1966) mostra os resultados de datações absolutas, utilizando o método chumbo-alfa em zircões dos veios de caldasito, que cortam as rochas do Maciço, encontrando para os mesmos idade média de 98 m.a.

Dados geocronológicos, pelo método K/Ar, foram mencionados por Amaral et. al. (1967) e por Bushee (inédito).

Christofolletti (1972, 1973) analisa a morfologia, o clima e a vegetação do Planalto.

Em 1974, dando prosseguimento ao estudo das mineralizações radioativas, a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) apresenta os mapas geológico e cintilométrico do Complexo Alcalino de Poços de Caldas.

Liu et. al. (1973) fornecem resultados de estudos geológicos e estruturais regionais, utilizando imagens LANDSAT, que cobrem a região de Poços de Caldas e a represa de Furnas.

Os primeiros estudos na chaminé alcalina, utilizando imagens LANDSAT, foram apresentados por Almeida Filho e Paradella (1975).

## 2.2 - GEOLOGIA DA ÁREA

Os principais levantamentos geológicos, no Maciço, correspondem aos efetuados por Ellert (1959) e pela CNEN (1974), apresentados nas Figuras II.2 e II.1, respectivamente.

A descrição abaixo representa os tipos litológicos principais encontrados na região, segundo os autores acima.

### 2.2.1 - SEDIMENTOS

Correspondem à sequência de arenitos com estratificação cruzada, possuindo na base folhelhos intercalados a camadas arenosas. Os arenitos se apresentam silicificados e recristalizados, passando em muitos lugares a quartzitos. São cortados por diques e sills de diabãsio, bem como por intrusões de rochas alcalinas.

Os sedimentos se dispõem no bordo interno do Maciço Alcalino, acompanhando o contato com as encaixantes e mergulhando para o interior do Planalto, quando não perturbados tectonicamente. Na parte central do Complexo, não são encontrados vestígios de sua ocorrência.

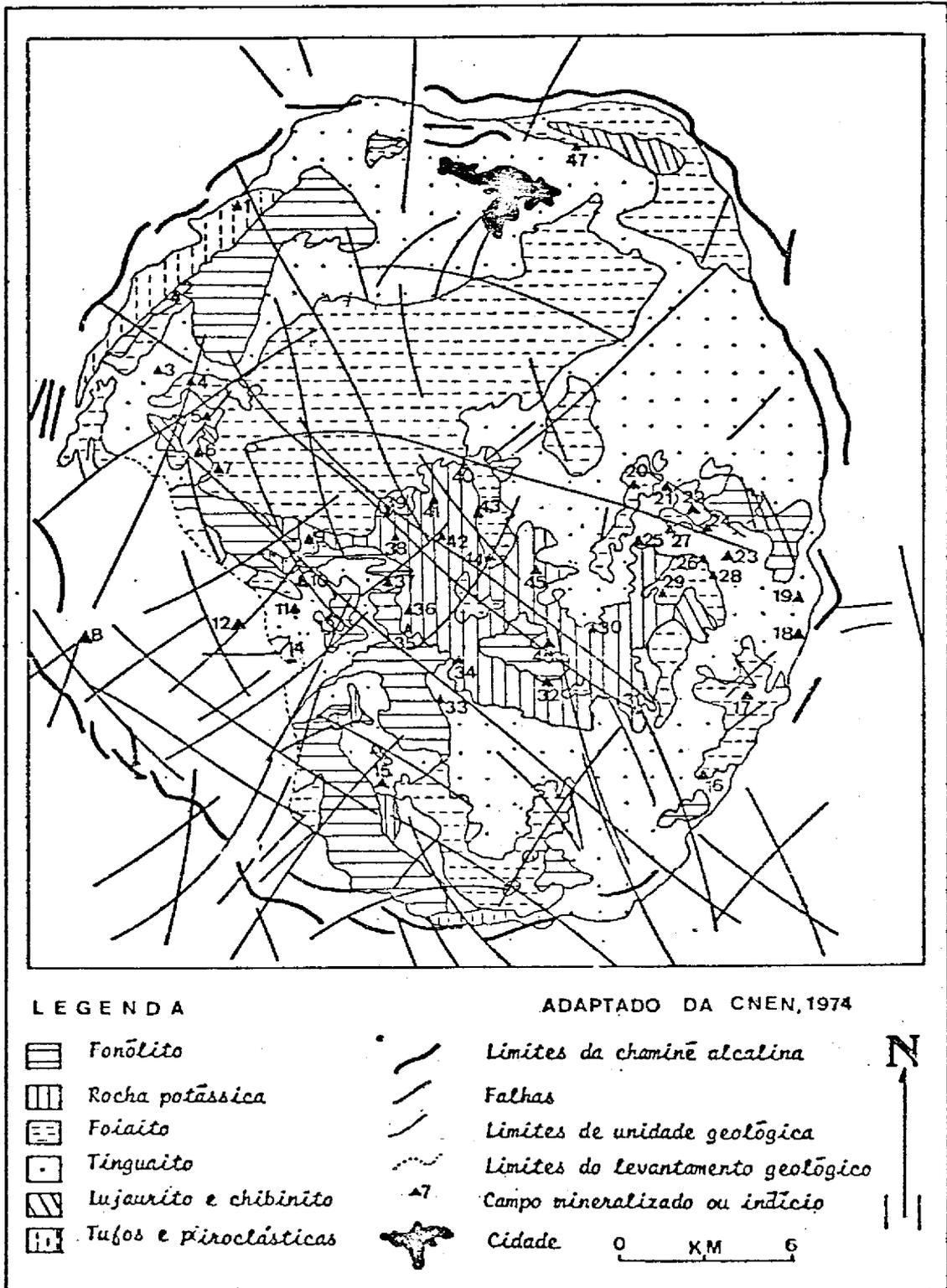


Fig. II.1 - Esboço Geológico do Complexo Alcalino de Poços de Caldas e localização de campos mineralizados ou indícios radioativos (os números correspondem aos da Tabela II.3).

### 2.2.2 - BRECHAS, TUFOS E AGLOMERADOS VULCÂNICOS

Ocorrem principalmente em vários afloramentos numa larga faixa, bordejando o dique anelar, na região Norte-Occidental do Maciço Alcalino, estando associados a arenitos e lavas. Pequenos afloramentos de material piroclástico ocorrem também na região central do Planalto.

No que se refere à origem das brechas, são discerníveis dois tipos (Ellert, 1959):

1 - vulcânicas

2 - vulcânicas, com transporte ulterior

Os fragmentos das brechas são constituídos principalmente de arenitos, gnaisses, siltitos e diabásios.

Os aglomerados vulcânicos encontrados nas proximidades da borda Occidental do Maciço, são em geral constituídos de fragmentos de lavas ankaratríticas. Quando estratificadas, brechas e tufos mergulham para o centro do Complexo Alcalino.

### 2.2.3 - ROCHAS EFUSIVAS E HIPABISSAIS

Ankaratritos - referem-se aos correspondentes extrusivos dos nefelina-sienitos, dispostos em extensos afloramentos na borda NW-W-SW do Planalto, com mergulho dirigido para o seu interior. Apresentam um as

pecto de lavas aglomeráticas, com texturas microcristalinas ou porfiríticas, assentadas sobre sedimentos ou em intercalações com tufos e brechas. Correspondem à fração básica do clã alcalino.

Lavas Fonolíticas - ocorrem intensamente fraturadas na área sul do Planalto, capeando sedimentos, sem intercalações de tufos e brechas. Os afloramentos na área exibem profundo grau de alteração, sendo perturbados por intrusões posteriores de tinguaítos. Em derrames espessos, o gradual resfriamento permitiu o desenvolvimento de uma textura mais grosseira, apresentando muitas similaridades com tinguaítos e microfoiaítos. O mergulho das lavas é suave e dirigido para o interior do Complexo Alcalino.

Tinguaítos e Fonólitos - são considerados como os correspondentes efusivos e hiabissais dos nefelina-sienitos, apresentando-se como as maiores exposições no interior do Planalto.

A diferente terminologia para tinguaítos e fonólitos se refere tão somente à diferentes tipos de textura envolvidas, relacionado o termo "fonólito" para rochas de textura afanítica ou porfirítica, e "tinguaítos", para correspondentes texturais granulares ou sacaróides (Johannsen, 1939 in Ellert, 1959).

A transição é comum de um tipo para outro, predominando no conjunto as rochas consideradas como tinguaítos.

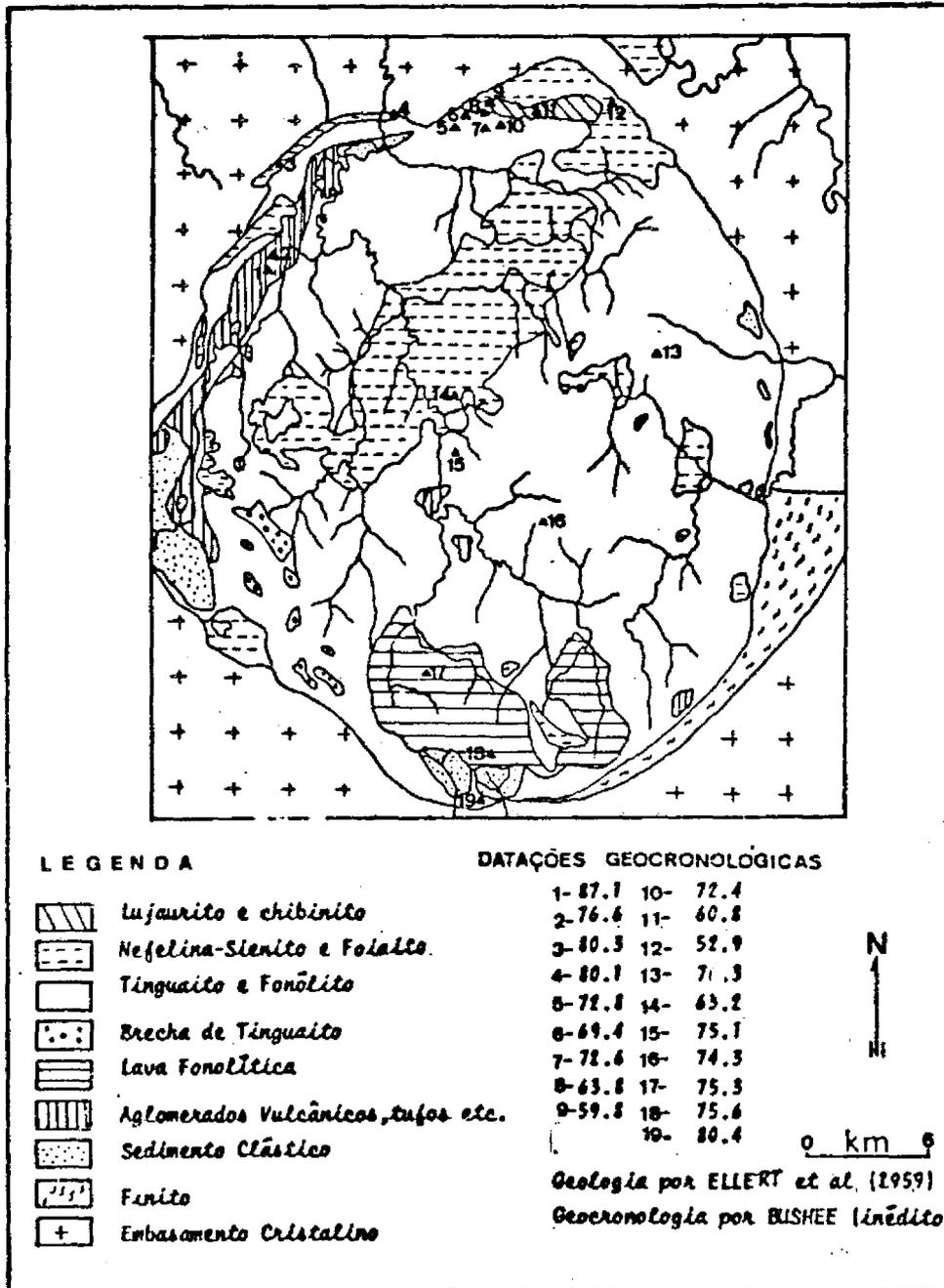


Fig. II.2 - Esboço Geológico e Dados Geocronológicos do Maciço Alcalino (os números correspondem às datações geocronológicas)

O tinguaĩto que suporta o dique anelar externo (Figura II.3), difere um pouco do correspondente ao interior do Maciço, apresentando pequenos autólitos esféricos de micro-foiãito.



Fig. II.3 - Exposição dos tinguaĩtos na borda Norte do Maciço.

Na porção centro-este, o tinguaĩto se apresenta esbranquiado, face à influência de soluções hidrotermais. A alteração em superfície deste material, origina um tipo litológico, conhecido como "rocha potássica", importante como índice de mineralização uranífera.

. Pseudo leucita-tinguaĩto - relaciona-se a um tinguaĩto, apresentando pseudomorfos de leucita. Afloramentos ocorrem principalmente na borda ocidental do Maciço, numa faixa limitada entre analcita-tinguaĩto, e foiãito, e em forma de diques, cortando tinguaĩtos.

Analcita-tinguaíto ou analcita-fonólito - tinguaiços com p $\ddot{o}$ rfiros de analcita s $\ddot{a}$ o encontrados principalmente na borda W, estendendo-se para SW do Planalto. Nesta regi $\ddot{a}$ o, a analcita-tinguaíto apresenta contato transicional com tinguaiço.

. Brechas de tinguaiço - Apresentam-se em camadas, com estratificaç $\ddot{a}$ o vari $\ddot{a}$ vel e mergulhando suave para o sul do Complexo Alcalino. S $\ddot{a}$ o constituídas de fragmentos de tinguaiços. Tipicamente, ocorrem numa faixa de afloramentos esparsos e alongados, acompanhando a borda SW da estrutura circular.

#### 2.2.4 - ROCHAS PLUT $\ddot{O}$ NICAS

. Foi $\ddot{a}$ itos - correspondem a um nefelin $\ddot{a}$ -sienito de granulaç $\ddot{a}$ o grosseira  $\ddot{a}$  m $\ddot{e}$ dia. Eventualmente, apresentam textura traquit $\ddot{o}$ ide, sendo em muitos locais, intrusivos nos tinguaiços, n $\ddot{a}$ o faltando, por $\ddot{e}$ m, zonas com contatos gradacionais com a sequ $\ddot{e}$ ncia foi $\ddot{a}$ ito-microfoi $\ddot{a}$ ito-tinguaíto sendo observada. A principal  $\ddot{a}$ rea de ocorr $\ddot{e}$ ncia no Planalto  $\ddot{e}$  uma larga faixa de direç $\ddot{a}$ o NE-SW, na zona centro-norte (Figura II.4). Tamb $\ddot{e}$ m faixas de foi $\ddot{a}$ itos em formas de diques, cortam e acompanham o grande dique anelar de tinguaiço, na metade norte do Complexo. Ao lado do Rio Pardo, na borda NE, um "stock" de foi $\ddot{a}$ ito ressalta-se topograficamente no gnaisse encaixante.

Lujaurito e Chibinito - O chibinito  $\ddot{e}$  um foi $\ddot{a}$ ito de granulaç $\ddot{a}$ o grosseira, rico em eudialita. O lujaurito apresenta a mesma composiç $\ddot{a}$ o

do chibinito, distinguindo-se apenas na textura, com os minerais sendo alongados e orientados paralelamente. Acompanhando a borda interna do

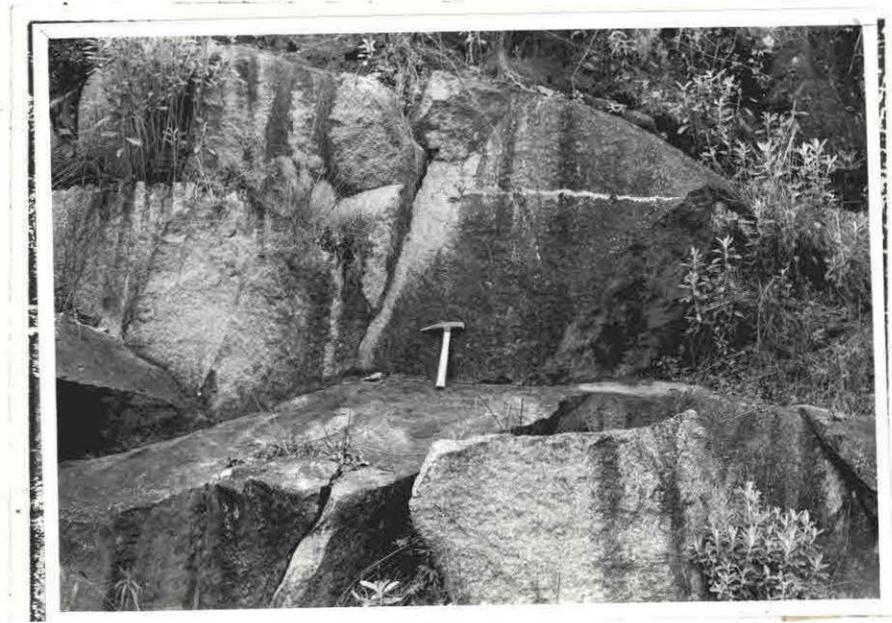


Fig. II.4 - Afloramento de foiaito próximo ao Aeroporto

dique anelar, aflora uma faixa de lujaurito e chibinito, muito ricos em concentrações de eudialita, no extremo norte do Planalto (Figura II.5). Outros afloramentos estão presentes nas bordas E e W.



Fig. II.5 - Lujauritos aflorando na extremidade Norte do Maciço, formando a "Pedra Balão".

### 2.3 - EVOLUÇÃO GEOLÓGICO-ESTRUTURAL

A reativação tectono-magmática que afetou a Plataforma Brasileira, entre o Mesozóico e o Cenozóico (Almeida, 1967), foi caracterizada, entre outros eventos, pelo intenso magmatismo alcalino. Da tações geocronológicas efetuadas por Amaral et. al. (1967) e Hasui e Cordani (1968) em algumas rochas alcalinas do sudeste do Brasil, permi tem agrupá-las, de modo geral, em dois eventos magmáticos distintos no tempo. O primeiro predominou entre 130 e 120 m.a.. O segundo, de dura ção mais longa, foi mais atuante entre 80 e 60 m.a. passados.

Tendo em vista os processos de tectonismo, sedimentação e magmatismo observados no transcorrer da Reativação Mesozóica-Cenozóica, Almeida (1969) reconhece três fases distintas no desenvolvimento da mesma. A primeira coincide com o início do fenômeno no final do Ju rássico, estendendo-se até o Cretáceo Inferior. A segunda prolongou-se do Aptiano ao Eoceno. Os últimos efeitos da Reativação fizeram-se sen tir até início do Quaternário.

Os dados da Tabela II.1 permitem colocar o Maciço de Po ços de Caldas como ligado à segunda fase da Reativação da Plataforma Brasileira.

Diversos autores, após estudos efetuados na área, apresen taram, com base em dados geológicos e inferências, suposições sobre a evolução do Complexo Alcalino de Poços de Caldas.

Coube a Ellert (1959), entretanto, um avanço considerável na tentativa de esclarecer a origem e o desenvolvimento do Complexo, ao propor um mecanismo para a intrusão alcalina, explicando as principais fases do evento.

O autor admite um levantamento de blocos do embasamento, precedendo ou acompanhando o início da atividade vulcânica. Tais indícios são fundamentados principalmente na observação de desníveis altimétricos elevados, existentes entre gnaisses e sedimentos situados no lado externo da estrutura circular, em relação aos mesmos sedimentos encontrados no interior do Maciço. Também no contato com as rochas alcalinas, as encaixantes estão topograficamente elevadas, diminuindo de altura, à medida em que se afasta do Complexo.

Concomitantemente com o alçamento do embasamento, teve início a primeira fase de atividade vulcânica, alternando-se fases efusivas e explosivas, com a formação, sobre os arenitos, de brechas, tufos, alternados com lavas ankaratríticas. Vestígios desta atividade são encontrados em quase toda a borda do Maciço, indicando uma fase inicial vulcânica, desenvolvendo-se em todo o atual Planalto.

Uma segunda fase correspondeu aos derrames de lavas fonolíticas, as quais não possuem intercalações com rochas piroclásticas. Durante ou após a atividade vulcânica, deu-se o abatimento do edifício vulcânico, com a formação de fendas circulares e radiais na periferia. Os indícios de tal abatimento podem ser constatados nos mergulhos sem

TABELA II.1

DATAÇÕES K/Ar DE ALGUMAS ROCHAS ALCALINAS DA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL

(AMARAL et. al., 1967 e HASUI et. al. 1968)

ROCHA ALCALINA	IDADE K/Ar (m.a.)
Jacupiranga, SP .....	133
Itanhaém, SP .....	130
Anitápolis, SC .....	129
Serrote, SP .....	127
Ipanema, SP .....	123
Piedade, SP .....	122
Itapirapuã, SP .....	103
Araxã, MG .....	95-87
São Gotardo, MG .....	85-78
Salitre, MG .....	83-79
Catalão I, GO .....	83
Cananéia, SP .....	82
Serra Negra, MG .....	82
Ilha de São Sebastião, SP .....	81
Ilha Montão do Trigo, SP .....	80
Poços de Caldas, MG .....	80-63
Pico Marapicu, RJ .....	72
Rio Bonito, RJ .....	69
Itatiaia, RJ .....	66
Tinguã, RJ .....	66
Lajes, SC .....	65
Casimiro de Abreu, RJ .....	59
Cabo Frio, RJ .....	51

pre dirigidos para o interior do Complexo, encontrados em sedimentos, tufos, brechas e lavas, na presença de uma maior diversificação de tipos litológicos, próximo à borda interna do anel circular, enquanto na área central predominam tão somente foiaítos e tinguaiítos. Também a inexistência de afloramentos do embasamento cristalino na área interna da estrutura circular, bem como a posição topográfica inferior de sedimentos, brechas, tufos e lavas em relação à encaixante gnáissica, fornecem argumentos consideráveis para tal afirmação. O abatimento não foi entretanto total, visto que vestígios de brechas e tufos são encontrados em algumas áreas esparsas na parte centro-sul do Planalto, sugerindo ter parte do teto servido também de encaixante, para a formação de tinguaiítos e foiaítos posteriores.

A ascensão do magma nefelínico levou à formação de fonólitos, tinguaiítos e, por diferenciação, foiaítos. Na periferia, constituiu-se o grande dique anelar, através da ascensão do material por fendas circulares e radiais, enquanto, segundo o autor, na parte central, faltam indícios que permitam suposições quanto à forma geométrica das intrusões.

O anel circular é formado de tinguaiíto semelhante aos demais do interior do Maciço, tendo a diferenciá-lo a ocorrência de microfoiaíto.

Complementando os eventos magmáticos, ocorreram intrusões de diques de foiaítos cortando o grande dique anelar, seguidas por fa

lhamentos de grande extensão, tangenciando principalmente a borda Sul da estrutura circular formada.

Ellert (1959) também sugere como sendo do centro para as bordas, as sequências das intrusões.

Bjornberg (1959), na complementação do trabalho anterior, apresenta resultados sobre estudos das rochas clásticas do interior do Planalto. Com base em tais dados, aceita como provisória, na atual fase de conhecimento, a correlação dos sedimentos encontrados no Maciço, com as rochas da formação Botucatu. Atribui-lhes, portanto, uma idade triássica, sugerindo uma remobilização durante as manifestações alcalinas, tendo levando a crer terem se depositado anteriormente à intrusão, em ambiente misto eólico-aquoso.

Em relação às brechas, concorda com Ellert quanto a uma idade posterior à deposição dos arenitos e anterior às últimas manifestações alcalinas. Também definiu-se por um levantamento em bloco da área da intrusão alcalina, sem presença de basculamento e um solapamento parcial do edifício vulcânico no desenvolver do processo.

Dados geocronológicos da região foram mencionados a partir dos trabalhos de Amaral et al (1967), concluindo principalmente por um magmatismo de diferentes estágios na região.

Complementando o estudo anterior, Bushee (Inédito) apre

senta resultados de datações radiométricas dos principais eventos, bem como o tempo total transcorrido pela manifestação alcalina em Poços de Caldas.

Com base nas evidências geocronológicas de idade, estabelece os seguintes valores para os eventos listados a seguir:

- a) As lavas ankaratríticas possuem no mínimo 87 m.a..  
Os dados para esta idade são discordantes, existindo a possibilidade de valores maiores.
- b) A história intrusiva do Maciço deve ter se iniciado há 80-81 m.a. passados.  
Tais valores relacionados a amostras da periferia do Complexo, indicam o tempo total no qual o magma se resfriou, possibilitando a retenção do argônio. Tal idade, portanto, é aparente e se refere a uma época próxima à ascensão do magma.
- c) A idade para o magma tinguaitico corresponde a 72-76 m.a.  
Tal intervalo reflete uma longa e complexa história de resfriamento do Maciço e sugere, inclusive, a possibilidade de mais do que uma fase de magma tinguaitico ter ocorrido, antes da intrusão de rochas sieníticas.
- d) As lavas fonolíticas possuem no mínimo 75 m.a.  
Tais valores podem ser mais elevados, tendo ocorrido perda de argônio por intrusões de tinguaitos posteriores.
- e) "Stocks" de nefelina-sienitos englobam idades de 60-63 m.a.

- f) Eudialita-nefelina-sienitos são aproximadamente contemporâneos aos nefelinas-sienitos, com valores de 60-61 m.a., aproximadamente.
- g) Diques fonolíticos possuem no mínimo valores de 53 m.a.
- h) A idade total do desenvolvimento da atividade ígnea não ultrapassa 28 m.a.

O autor deixa em aberto a ocorrência de uma peneplanização da área já no Cénozóico, se tais valores forem confirmados.

#### 2.4 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS MINERALIZAÇÕES RADIOATIVAS

Derby (1887) faz as primeiras referências às mineralizações no Planalto de Poços de Caldas, reconhecendo ali uma variedade zirconífera de foidaito. Alguns autores atribuem-lhe também o termo "Caldasito" para designar o minério de zircônio, constituído de uma associação de óxido e silicato daquele elemento.

A ocorrência de urânio associado ao caldasito (badeleita e zirconita) só foi constatada, no entanto, ao final dos anos 40. Atualmente, as mineralizações radioativas conhecidas na chaminé alcalina são encontradas em três associações distintas: Urânio-Zircônio, Tório-Terras Raras e Urânio-Molibdênio.

#### 2.4.1 - MINERALIZAÇÕES URÂNIO-ZIRCÔNIO

Embora não se constitua nas maiores reservas conhecidas na área, o urânio associado ao minério de zircônio é o mais comumente encontrado. As jazidas de caldasito ocorrem sob a forma de veios e de pósitos aluvionares e eluvionares, tendo sido estudadas por Barbosa (1936), Teixeira (1937 e 1943), Franco (1945a e 1945b), Franco e Loewenstein (1948), Guimarães (1948), Frayha (1950, 1952, 1957 e 1962), Campos et al (1953), Tolbert (1958 e 1966), Dirksen (1964) e Gorsky e Gorsky (1968).

Enquanto o minério aluvionar ("favas") é encontrado ao longo das drenagens, formando terraços ou bancos, o eluvionar ocorre nas encostas das elevações, na forma de um manto de material residual.

O minério caldasítico na forma de veios, apresenta-se muito irregular quanto ao tamanho, distribuição e profundidade dos mesmos. Ocorrem em geral associado ao tinguaito alterado até uma profundidade de 15 m.

A mineralização caldasítica foi admitida por Barbosa (1936) como de origem hidrotermal, ligada aos últimos derrames de lavas fonolíticas.

Teixeira (1943) atribuiu ao minério uma origem magmática. Duas fases de hidrotermalismo, atuando na rocha mineralizada, propi

ciaram a deposição do mesmo ao longo de fraturas já existentes, enquanto o intemperismo, agindo na rocha regional, formava os depósitos aluviais.

Franco e Loewenstein (1948) consideram uma origem hidrotermal para o minério de Poços de Caldas. Soluções atuando nas rochas nefelínicas, dissolveram os silicatos de zircônio nelas contidos, depositando-os em fissuras, na forma de óxidos e silicatos.

Uma origem hidrotermal foi também defendida por Guimarães (1965) para o caldasito, mobilizado a partir de sílico-zirconatos dos tinguaítos e foiaítos. Após a consolidação das lavas alcalinas, a retração pelo resfriamento produziu fissuras ou diaclases que foram preenchidas pelo minério.

Gorsky e Gorsky (1968) concluem pela presença de soluções hidrotermais zirconíferas, responsáveis pela "deposição nas rochas de agregados caldasíticos, micro e cripto cristalinos, cristalização de badeleíta em cavidades (futuras favas) e formação de veios de caldasito...". Estes autores também admitem interdependência entre os diferentes tipos de mineralização hidrotermal no Planalto.

Dois sistemas de fraturamento, um grosseiramente N-S, variando entre N30W-N30E e outro aproximadamente E-W, com variações no intervalo S60E-N60E são reconhecidos por Tolbert (1958) como condicionantes dos veios zircônio-uraníferos. Adaptadas ao primeiro padrão estariam

as Jazidas de D. Irene, D. Rita, Três Barras, Itororô, Taquari, Zotinho, Tamanduã e Vilela. Por outro lado, o segundo padrão seria responsãvel pelo condicionamento dos campos da área Quirinos-Serrote.

Na área Serrote, Ellert (1959) observa que as maiores jazidas zirconíferas, dispõem-se no contato de um corpo de foiaito intrusivo, com aspecto quase circular, encaixado nos tinguaitos.

#### 2.4.2 - MINERALIZAÇÕES TÓRIO - TERRAS RARAS

O Morro do Ferro e a área Cercado encerram o segundo tipo de mineralização radioativa encontrada em Poços de Caldas, representada pela associação Tório-Terras Raras.

A jazida do Morro do Ferro (Figura II.6) foi estudada em detalhe por Frayha (1962) e Wedow (1967). A mineralização ali está associada a numerosos veios de magnetita, de dimensões variáveis, cortando o Morro. O principal deles, encaixado em tinguaitos muito alterados, orienta-se para N30W, mergulhando para NE (Frayha, 1962).

O Morro do Ferro apresenta uma "massa mineralizada em extremo grau de alteração em virtude de ações intensas de hidrotermalismo e intemperismo (...). O minério propriamente dito é constituído por uma argila oriunda da total alteração de um sienito (...). Impregnando toda a massa, encontramos o tório e as terras raras, possivelmente sob a forma coloidal ..." (Frayha, 1962, p.18).

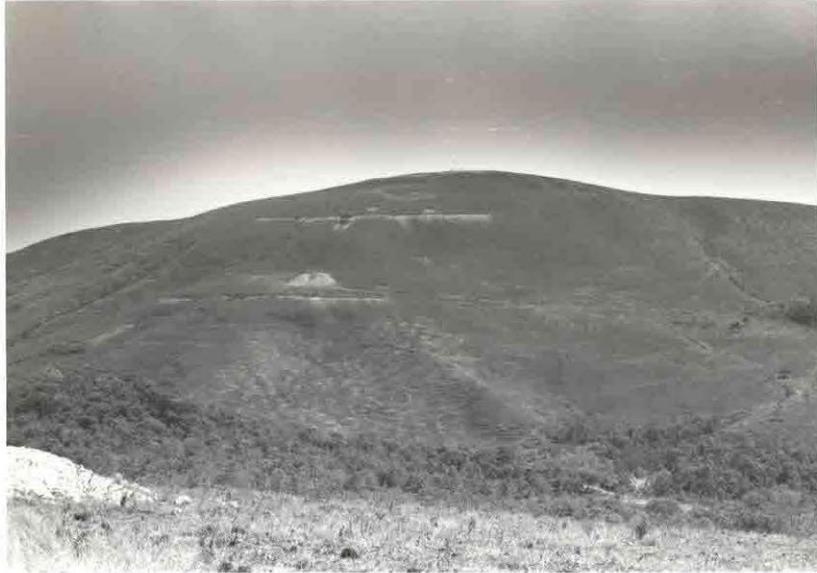


Fig. II.6 - Morro de Ferro. Grande Jazida de Tório e Terras Raras

A ocorrência de tório e terras raras na região de Cercado foi descrita por Frayha (1962). Encontram-se com frequência na área numerosos veios ferro-manganesífero, encaixados em tinguaítos alterados. São comuns afloramentos residuais de cascalho detrítico, com espessura de até 1 m. Conquanto se assemelhem à jazida do Morro de Ferro, tanto os veios mineralizados quanto o cascalho detrítico apresentam baixo teor em tório e terras raras.

#### 2.4.3 - MINERALIZAÇÃO URÂNIO-MOLIBDÊNIO

Mais recentemente foi descoberto pela CNEN um novo tipo de mineralização uranífera no Maciço Alcalino de Poços de Caldas, descrito nos trabalhos de Oliveira (1968, 1973 e 1974), Utsumi (1971), Gorsky e Gorsky (1970 e 1973) e Maciel e Cruz (1973). É o tipo de mine

realização encontrada no Campo do Agostinho (Figura II.7) e no indício A do Setor C/09 (Figura II.8), constituindo-se nas maiores jazidas de urânio até agora conhecidas no Brasil (Tabela II.2).



Fig. II.7 - Campo do Agostinho. Jazida de Urânio associado a Molibdênio.

Em geral, o urânio se apresenta associado a fluorita, minerais de molibdênio, pirita, vanádio e zircônio. A mineralização pode atingir até 200 m de profundidade, tendo sido observado um enriquecimento de minério no intervalo de 30-80 m (Útsumi, 1971).

Enquanto no Campo do Agostinho a mineralização é tipo filoneana, com orientações variáveis entre N50W e N15E, e mergulhos próximos a vertical, no Setor C/09 ela forma corpos lenticulares, em ambos os casos, muito alterados. A alteração dificulta o reconhecimento dos

TABELA II.2

## RESERVAS BRASILEIRAS DE URÂNIO

Situação em Maio/1973

CUSTO INFERIOR A 10 dol/libra U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>

OCORRÊNCIA	Data da Estimativa	Minério (t)	Recursos razoavelmente assegurados			Recursos adicionais estimados			
			Teor médio %	t U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	t U	Minério (t)	Teor médio %	t U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	t U
P. de Caldas - MG - C-09	1973	1.825.000	0,157	2.840	2.420	2.000.000	0,15	3.000	2.550

Obs. - 1 t U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> = 850 kg U% recuperação no processo de tratamento - 75% = 2.150 t U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> em RRA

Fonte - Estudo de viabilidade de lavra do depósito C-09 - Promon - 1973

3

CUSTO ENTRE 10 e 15 dol/libra U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>

OCORRÊNCIA	Data da Estimativa	Minério (t)	Recursos razoavelmente assegurados			Recursos adicionais estimados			
			Teor médio %	t U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	t U	Minério (t)	Teor médio %	t U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	t U
P. de Caldas - MG - Agostinho	1972	740.000	0,15	1.110	935	1.400.000	0,15	2.100	1.785

Obs. - % recuperação no processo de tratamento - 95% = 1.045 t U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> em RRA

Fonte - Agostinho C-03 Preliminary Ore Reserve Study - A. Mc Kee &amp; Co. - 1972

OBS: Reservas razoavelmente asseguradas e adicionais estimadas para o Setor C-09 e Campo do Agostinho. Estas duas áreas constituem as únicas reservas de urânio economicamente exploráveis do Brasil, segundo o conceito da Agência Internacional de Energia Nuclear-IAEA (Fonte: MACIEL et. al., 1973).

minerais de urânio, tendo sido reconhecidos autunitas, torbernitas, sen  
cundários, e coffinita e uranotorianita (Oliveira, 1974).

A mineralização apresenta como rochas encaixantes, tin  
guaítos hidrotermalizados e silicificados, disposta em zonas de esmaga  
mento (Oliveira, 1973).



Fig. II.8 - Setor C/09. Grande jazida de Urânio  
associado a Molibdênio.

A análise de mosaico de fotografias aéreas e dos mapas  
geológico e cintilométrico do Planalto, permitiu a Oliveira (1974) re  
conhecer novas características estruturais condicionantes das minerali  
zações. Estas, estariam dispostas nos limites de estruturas anelares,  
com as melhores concentrações do minério ocorrendo nas zonas de maior  
esmagamento tectônico, e nos contatos da rocha potássica e foiaítos hi  
drotermalizados com os tinguaítos e fonólitos. Atualmente aquele autor  
não mais atribui importância às estruturas anelares, como fator condi

cionante (Inform. Verbal, 1976), Aquelas feições seriam produtos de processos erosivos diferenciais, favorecidos pelo grande número de falhamentos.

A presença de estruturas secundárias circulares no interior do maciço de Poços de Caldas, já fora observada por Barbosa (1936), que reconheceu, entre o Morro do Ferro e a área Cercado, uma feição topográfica na forma de "uma cratera de vulcão extinto" (p. 31). O autor recomenda ainda um melhor estudo da lava ali encontrada, sempre composta e de cor branca, para interpretação da origem do minério.

Maciel e Cruz (1973) admitem pelo menos duas fases tectônicas distintas reconhecidas no interior da Chaminé Alcalina, acompanhadas de hidrotermalismo, onde pelo menos uma dessas fases seria responsável pela mineralização do tipo Campo do Arosinho e Indício A do Setor C/09. Os autores reconhecem duas grandes falhas de direções gerais N30W e N50E, que se cruzam próximo ao centro geográfico do Maciço, delimitando duas áreas distintas quanto ao relevo. Ao contrário da topografia observada em grande parte do Planalto, geralmente suave, a área delimitada por aqueles dois falhamentos, mostra acidentes topográficos marcantes. Observa-se intensa alteração hidrotermal, faixas de silificação, esmagamentos e perturbações tectônicas, com cerca de 80 % das mineralizações, conhecidas no Planalto, situando-se no interior desta região.

A Tabela II.3 sumaria as principais ocorrências de urânio e tório no interior do Planalto de Poços de Caldas, de acordo com o tipo da mineralização.

TABELA II.3

PRINCIPAIS OCORRÊNCIAS DE MINÉRIO RADIOATIVO NO PLANALTO DE POÇOS DE CALDAS

(Os números entre parêntesis correspondem aos do mapa da Fig. II.1)

NOME DA OCORRÊNCIA	TIPO DA OCORRÊNCIA	NOME DA OCORRÊNCIA	TIPO DA OCORRÊNCIA
Secção SA, setor N-02 (01)	Veios zircônio-uraníferos em arenitos	M. Custódio (24)	
Cocal (02)	Minério aluvionar (favas)	Zotinho (25)	Semelhante a (29)
Serrote (03)	Eluvião e aluvião, Caldasito em veios N10W.	Dona Rita (26)	Veios de caldasito N70E, 70NW
Rodrigues (04)	Veios de caldasito, N10E - 35NW	S. Ribeiro (27)	Veios de caldasito em tinguitos alterados.
Quirinos (05)	Veios de Caldasito. (20W) e mat. aluvial.	Dona Irene (28)	Elúvio e veios verticais para N15E
Brigidas (06)	Veios de caldasito, N50E - 10NW	Taquari (29)	Veios de Caldasito (N20-30E, 55NW), al. e elúvios.
Gigante (07)	Minério e eluvial e veios de caldasito N45W-55SW	João Luizinho (30)	Veios E-W, 50N
Anomalia SW de Águas da Prata (08)		Chapada (31)	
Indício E, C/05 (09)	Semelhante (38) porém de baixo teor.	Indício A, C/09 (32)	Semelhante (38)
Vilela (10)	Semelhante (13)	Varginha (33)	
Moiões (11)	Veios de caldasito com alto teor em urânio	Cercado (34)	Semelhante (44) porém de baixo teor
Ch. Sul (12)		Tres Barras (35)	Veios para NW e elúvio
Taaandua (13)	Veios de caldasito	Itororô (36)	Veios de caldasito
Indício A, C/04 (14)		Indício F, C/04 (37)	
Lagoa Dourada (15)	Caldasito dissimulado e veios N10E, 30NW	Agostinho (38)	Urânio-Molibdênio
Espingarda (16)	Caldasito em veios (N70W, 70SW), alúvios e elúvios.	Indício 70 (39)	
Dona Elisa (17)	Veios de caldasito em foiaitos alterados.	Indício U, C/03 (40)	
Pires (18)		Indício B, C/03 (41)	Filão semelhante a (38)
Cascalho (19)	Veio de caldasito	Indício K, C/03 (42)	Filão semelhante a (38)
Ch. Norte (20)	Pequenos veios de caldasito.	Indício P, C/03 (43)	Semelhante a (38)
Tororô (21)		Morro de Ferro (44)	Tório e Terras raras em veios N50-60W, 70NE
Ch. Grande (22)		Indício B/C, C/08 (45)	Filões semelhantes a (32)
Estiva (23)		Cupim Vermelho (46)	
		Feira Balão (47)	Veios de Caldasito

## CAPÍTULO III

### MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 - MATERIAIS

Foram utilizados os seguintes materiais neste trabalho:

- Mapa Geológico do Maciço Alcalino de Poços de Caldas, escala 1:75.000 (Ellert et. al., 1959).
- Mapa Geológico do Planalto de Poços de Caldas, com ocorrências minerais radioativas, escala 1:50.000 (CNEN, 1974).
- Mapa Cintilométrico do Planalto de Poços de Caldas, com ocorrências minerais radioativas, escala 1:50.000 (CNEN, 1974).
- Mapa de Isoanomalias de Intensidade Magnética Total, escala 1:100.000, Convênio Geofísica-Brasil-Alemanha (CPRM, 1972).
- Cartas Topográficas da região, escala 1:50.000 (IBGE, 1971).
- Cópias em papel dos quatro canais, em escala 1:1.000.000, da imagens E-1048 - 12330 do imageador multiespectral do satélite LANDSAT-1.
- Cópias em papel dos canais 5 e 7, em escala 1:200.000, da imagem E-1048 - 12330, do imageador multiespectral do satélite LANDSAT-1.
- Fitas Compatíveis com Computador (CCT) dos quatro canais da imagem E-1048 - 12330, do imageador multiespectral do satélite LANDSAT-1.

As imagens e fitas compatíveis com computador foram recebidas na Estação de Rastreamento do Alaska, correspondendo à órbita do LANDSAT-1 (ex-ERTS-1), com as seguintes características:

Data de Passagem	- 9 de set. de 1972
Hora da Passagem	- 12 h. e 33 min.
Coordenadas do Centro	- S21 <sup>0</sup> 41' / W46 <sup>0</sup> 19'
Elevação Solar	- 44 <sup>0</sup>

Para melhor efeito comparativo entre o mapa obtido de interpretações visuais das imagens LANDSAT e aqueles já existentes (mapas geológicos, cintilométrico, aeromagnetométrico e altimétrico), estes foram reduzidos a uma escala compatível aproximada de 1:200.000. O ajuste entre os diferentes produtos não foi perfeito, devido aos diferentes sistemas de projeção empregados e às distorções decorrentes dos processos de redução. Tais distorções, no entanto, podem ser negligenciadas para os propósitos deste trabalho.

Os resultados de interpretações automáticas, efetuadas no Analisador Multiespectral "Image-100", são apresentadas a partir de cópias de "slides", correspondentes às classificações e realce de cenas.

### 3.2 - MÉTODOS

As atividades desenvolvidas neste trabalho estão sumariadas na Figura III.1.

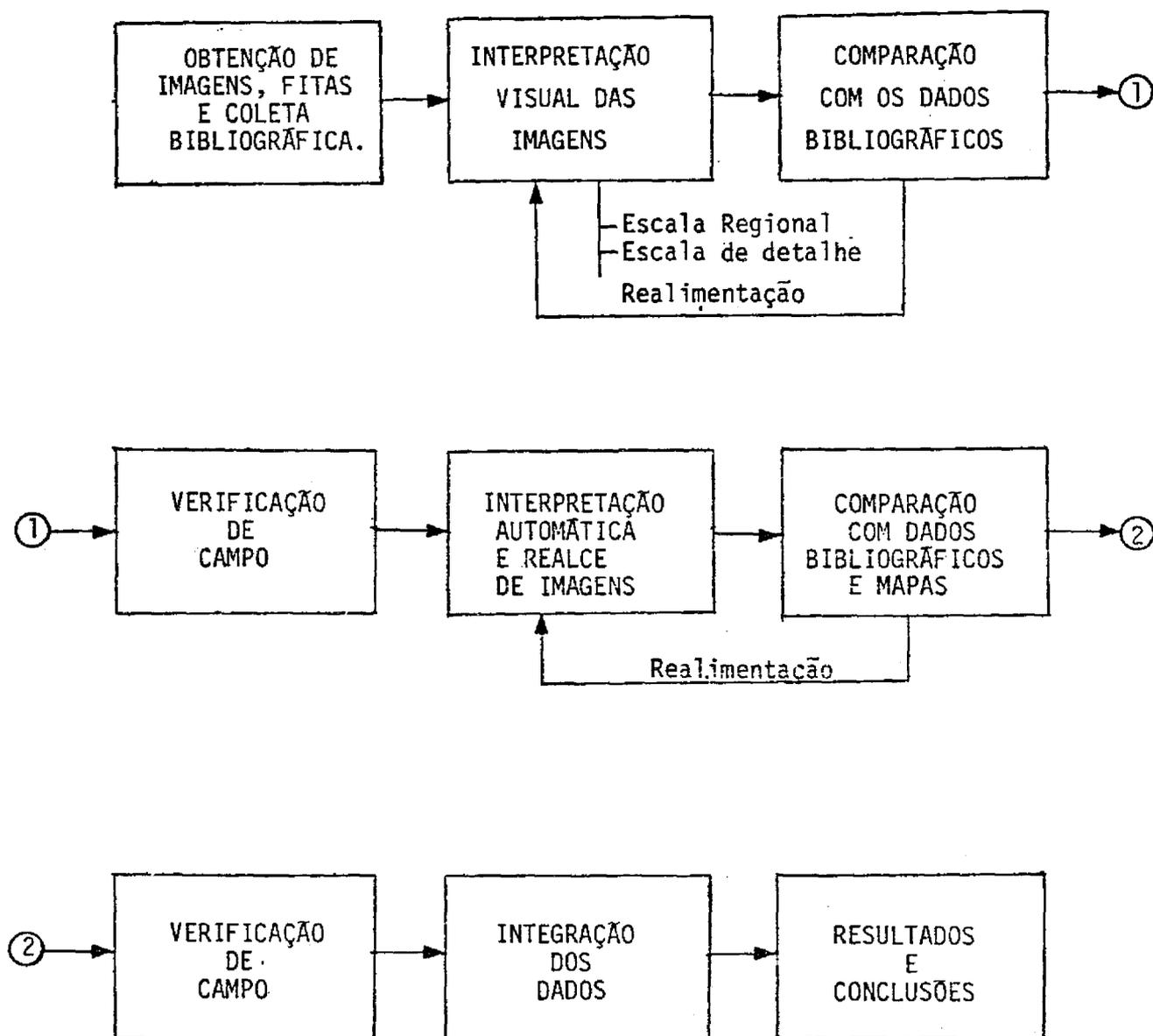


Fig. III.1 - Etapas no desenvolvimento do trabalho

Após a obtenção das imagens, fitas compatíveis, coleta e leitura bibliográfica, realizou-se a interpretação visual das imagens, inicialmente em escala regional e depois em escala 1:200.000. Os dados obtidos foram analisados e comparados à luz de informações bibliográficas existentes, seguindo-se uma etapa de campo, para averiguação dos resultados. De posse dos dados da etapa anterior e de informações colhidas no campo, iniciou-se a fase de interpretação automática, no I-100, procurando-se um melhor refinamento e caracterização de feições geológicas da área. A esta etapa, seguiu-se nova comparação com os dados bibliográficos, acompanhada de posterior verificação de campo. A integração de todos esses dados, levou aos resultados e conclusões finais.

### 3.2.1 - SENSORIAMENTO REMOTO

O uso de interpretação visual e automática de dados de sensoriamento remoto é uma técnica relativamente nova, sendo raros os trabalhos que empregam tais métodos.

A maioria dos trabalhos com imagens LANDSAT está contida nos anais dos simpósios, patrocinados pela NASA, sobre os resultados do Programa.

São discutidas a seguir as metodologias de interpretações visual e automática, utilizadas no trabalho.

### 3.2.1.1 - INTERPRETAÇÃO VISUAL

A metodologia de interpretação visual das imagens LANDSAT-1 foi descrita por Liu et. al. (1973) e Amaral (1974). De modo geral, ela se assemelha aos moldes clássicos de fotointerpretação, principalmente na caracterização dos elementos texturais e seus rearranjos em padrões diversos. No entanto, a propriedade fundamental em que se baseia o sensoriamento remoto, de que materiais diferentes mostram características espectrais distintas nas diferentes bandas do espectro, faz com que os métodos de interpretação de imagens multiespectrais se diferenciem, em muitos aspectos, da interpretação fotogeológica convencional.

Na interpretação visual, foram utilizadas as imagens das bandas 5 (0.6 - 0.7  $\mu$ ) e 7 (0.8 - 1.1  $\mu$ ). A boa reflectância de solos e rochas expostos na faixa do canal 5, faz com que esta banda seja a mais utilizada no mapeamento de unidades fotogeológicas. Por outro lado, a uniformidade dos tons de cinza, devido a alta reflectância apresentada pela vegetação no infravermelho, ressalta muito bem a morfologia do terreno na banda do canal 7, facilitando a caracterização do padrão estrutural. A Figura III.2 mostra as assinaturas espectrais ideais da água, solo e vegetação, na porção do visível e infravermelho próximo do espectro, assim como as faixas correspondentes aos canais do LANDSAT-1.

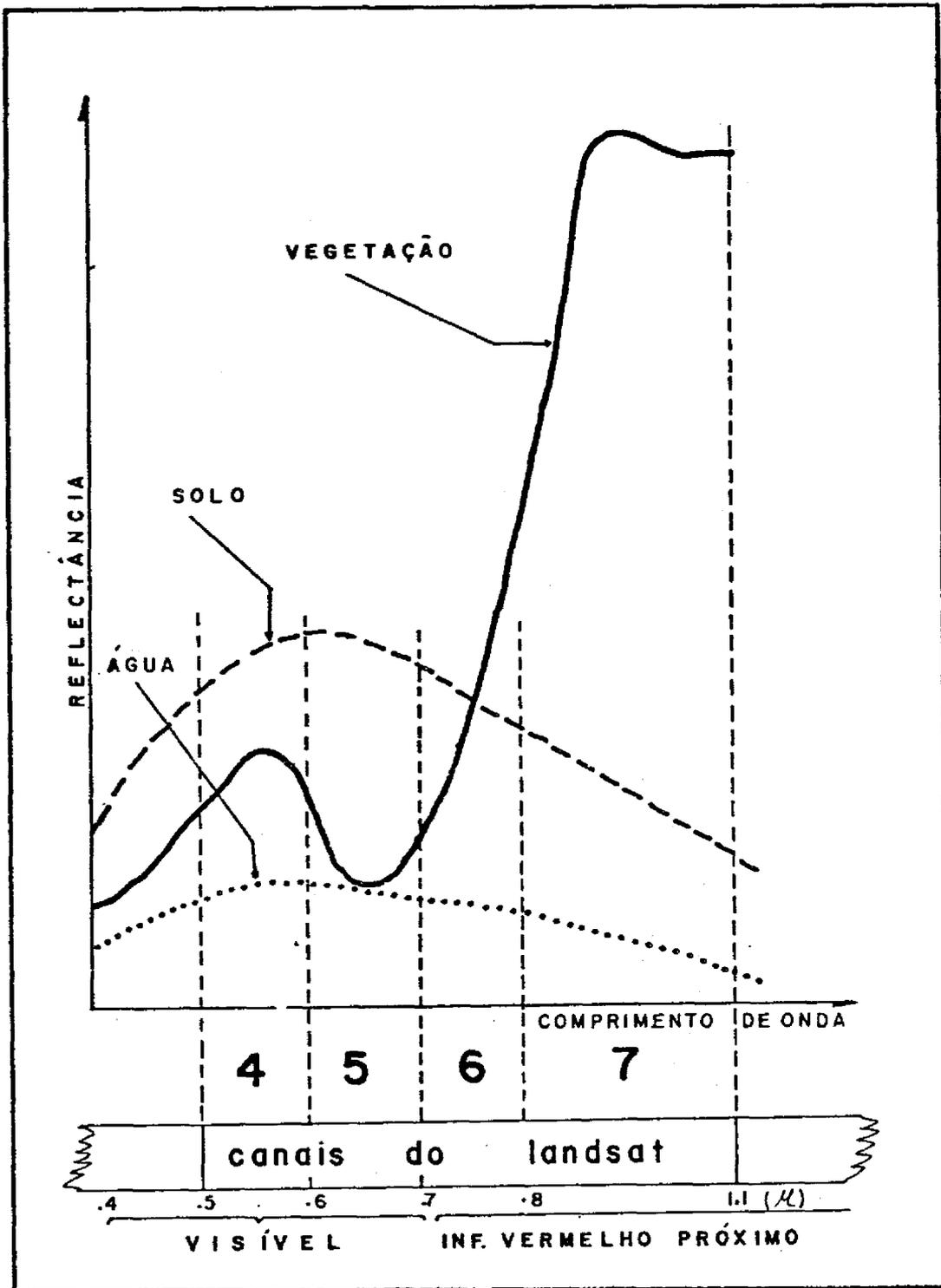


Fig. III.2 - Assinaturas espectrais (caso ideal) da água, do solo e da vegetação. Notar que as imagens LANDSAT-1 abrangem uma parte do visível (verde e vermelho) e do infravermelho próximo.

### 3.2.1.2 - INTERPRETAÇÃO AUTOMÁTICA E REALCE DE IMAGENS

Dados de sensoriamento remoto em geral e, em particular, as imagens e fotografias multiespectrais obtidas de aeronave, satélites ou plataformas espaciais, reúnem uma quantidade tal de informações, que seria impossível absorvê-la em tempo hábil, pelos métodos convencionais de interpretação. Da necessidade de um monitoramento rápido e a baixo custo dos recursos naturais, estão surgindo sofisticadas técnicas de interpretação automática e realce de imagens, com o crescente uso dos computadores. Tais técnicas, no entanto, encontram-se em fase de desenvolvimento, não podendo ainda ser consideradas operacionais, uma vez que pesquisas relativas ao comportamento espectral de minerais, rochas e solos e as metodologias empregadas, não são ainda fatos estabelecidos.

Nos últimos anos, com a advento dos analisadores multiespectrais, as análises automáticas receberam grande impulso. Métodos e técnicas de extração automática de dados, a partir de imagens multiespectrais, são descritos por Erickson (1975). Funções de pré-processamento permitiram a Blaget et. al. (1975) distinguirem vários tipos de rochas ígneas e metamórficas. Classificações automáticas, baseadas em áreas de treinamento, a partir de imagens enriquecidas por filtragens, foram usadas por Fontanel et. al (1975), no mapeamento de diferentes unidades geológicas e grande número de lineamentos. Lovegreen et. al. (1975), utilizando interpretações automáticas e funções de pré-processamento tipo "ratioing" entre os canais 4 e 5 do LANDSAT, identifica

ram afloramentos em área de densa cobertura vegetal. Funções de pré-processamento tipo "ratioing", foram utilizadas por Short et. al. (1975) entre os canais 4, 5 e 7 do LANDSAT-1, no estudo de estruturas anômalas, observadas nos campos petrolíferos da bacia do Wind River (Wyoming). Ótimos resultados foram conseguidos por Schmidt et. al. (1975), utilizando interpretação automática, com base em áreas de treinamento, para a delimitação de regiões favoráveis a prospecção de cobre. As áreas ocupadas com café e trigo de parte dos Estados de São Paulo e Paraná, atingidas pela geada de julho de 1975, foram levantadas por Tardin et. al. (1976), utilizando interpretação automática. Amaral (Inédito) através de métodos supervisionados de treinamento e classificação, mapeou as jazidas de ferro da Serra dos Carajás, a bauxita do rio Trombetas e os granitos estaníferos do rio Fresco, no Estado do Pará. Almeida Filho e Paradella (Inédito) mapearam áreas favoráveis à ocorrência de argilas nas cabeceiras do rio Claro, no Triângulo Mineiro e na região de Poços de Caldas, utilizando técnicas de treinamento e classificação.

No presente trabalho, com exceção de uma única cena obtida no Density Color Slicer do EROS DATA CENTER, todas as classificações automáticas e os realces de cenas, foram efetuadas no Analizador Multiespectral Image-100, do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE).

A seguir, são discutidas rapidamente as características dos aparelhos utilizados.

a - Analizador Multiespectral Image-100 (I-100)

O Image-100, da General Electric, é o mais moderno sistema de interpretação automática de dados hoje existente. Sua função básica é a extração de informações, a partir de dados multiespectrais, aplicáveis a uma variedade de disciplinas.

Operando com base no princípio de que todos os objetos ou materiais possuem assinatura espectral própria (Figura III.2), o aparelho utiliza esta propriedade básica para identificar feições similares, através de análise simultânea das assinaturas espectrais dos alvos, em diferentes bandas do espectro. Para isso é necessário, no entanto, que o usuário informe ao sistema, quais os objetos ou feições (água, solo, vegetação, tons, etc.) de seu interesse. Isto é feito por meio de um cursor que, assumindo diferentes formas e tamanhos, é posicionado sobre o tema a analisar, permitindo ao aparelho extrair as propriedades espectrais do mesmo. Ao processo de informação do tema a analisar e à identificação das propriedades espectrais do mesmo, denomina-se "treinamento". Ao final desta etapa, o sistema analisa toda a imagem, ou determinada área de interesse, em escala apropriada, pixel\* a pixel, e determina se as propriedades espectrais de cada pixel correspondem àquelas do objeto investigado. A esse processo dá-se o nome de "classificação".

---

\* Menor elemento de informação contido na imagem.

O produto final da classificação é um mapa temático, no qual estão assinaladas as áreas que mostram características espectrais semelhantes às aquelas escolhidas, na fase de treinamento. Tais temas são mostrados em um vídeo de TV, podendo ser gravados em fitas, filmes, "printouts", ou documentados através de fotografias comuns.

Neste aspecto, como se vê, a interpretação automática é supervisionada, pois cabe ao usuário definir as áreas de treinamento, assim como julgar, com base em conhecimentos prévios, se a classificação corresponde a um dado, ou conjunto de dados de verdade terrestre.

As composições coloridas falsa cor, obtidas através de combinações de diferentes filtros e variações de intensidade luminosa, e as classificações baseadas em áreas de treinamento, são apenas algumas das mais simples funções desempenhadas pelo I-100. Um conjunto de programas (software) adaptados ao Sistema, permite tratamento bem mais sofisticado a partir de dados de entrada, possibilitando realce de cenas.

Para um melhor entendimento do I-100, são descritos resumidamente, seus componentes básicos (Figura III.3):

. Console de Análise de Imagens - "Image Analyzer Console" - Esta unidade consiste do vídeo de TV e dos painéis de controle para operação do sistema. No Painel Frontal estão os principais comandos do aparelho. Através do Painel de Vídeo, controlam-se os temas mostrados no

"display", por meio dos botões reguladores de brilho e contraste das cenas, uso dos filtros, além do manejoamento do cursos.

. Controlador do Processamento - "Process Controller" - O Controladador do Processamento é constituído de um mini-computador PDP/45 e dos seus periféricos: Unidade de Fita Magnética ("Magnetic Tape Drives"), Discos de Impressora de Linhas ("Line Printer"). A função básica do mini-computador é o controle do processo de extração de informações, nos moldes requeridos pelo usuário. Os periféricos são empregados nos processos de entrada e saída de dados. O "Line Printer" imprime 132 caracteres por linha, num total de 1200 linhas por minuto.

. Terminal Gráfico - "Graphics Display Terminal" - É a unidade pela qual o usuário, através de um teclado e um "display", interage diretamente com o aparelho, para iniciar certas funções de processamento (algumas são iniciadas diretamente no Console de Análise de Imagem). No "display" são mostrados os resultados quantitativos das análises em forma gráfica (histograma), que podem ser copiadas em papel, através de "Hard Copy Unit", incorporado ao sistema.

. Unidade de Armazenamento de Imagens - "Image Memory Unit" - Este conjunto serve ao armazenamento de até cinco imagens (carregadas a partir da "Input Scanner Unit" ou através de fitas compatíveis) ou 4 imagens e 8 temas. Normalmente, apenas 4 imagens são armazenadas de uma vez (os 4 canais do LANDSAT, por exemplo). O quinto canal é usado para guardar uma imagem corrigida ou até 8 temas resultantes de classificações.

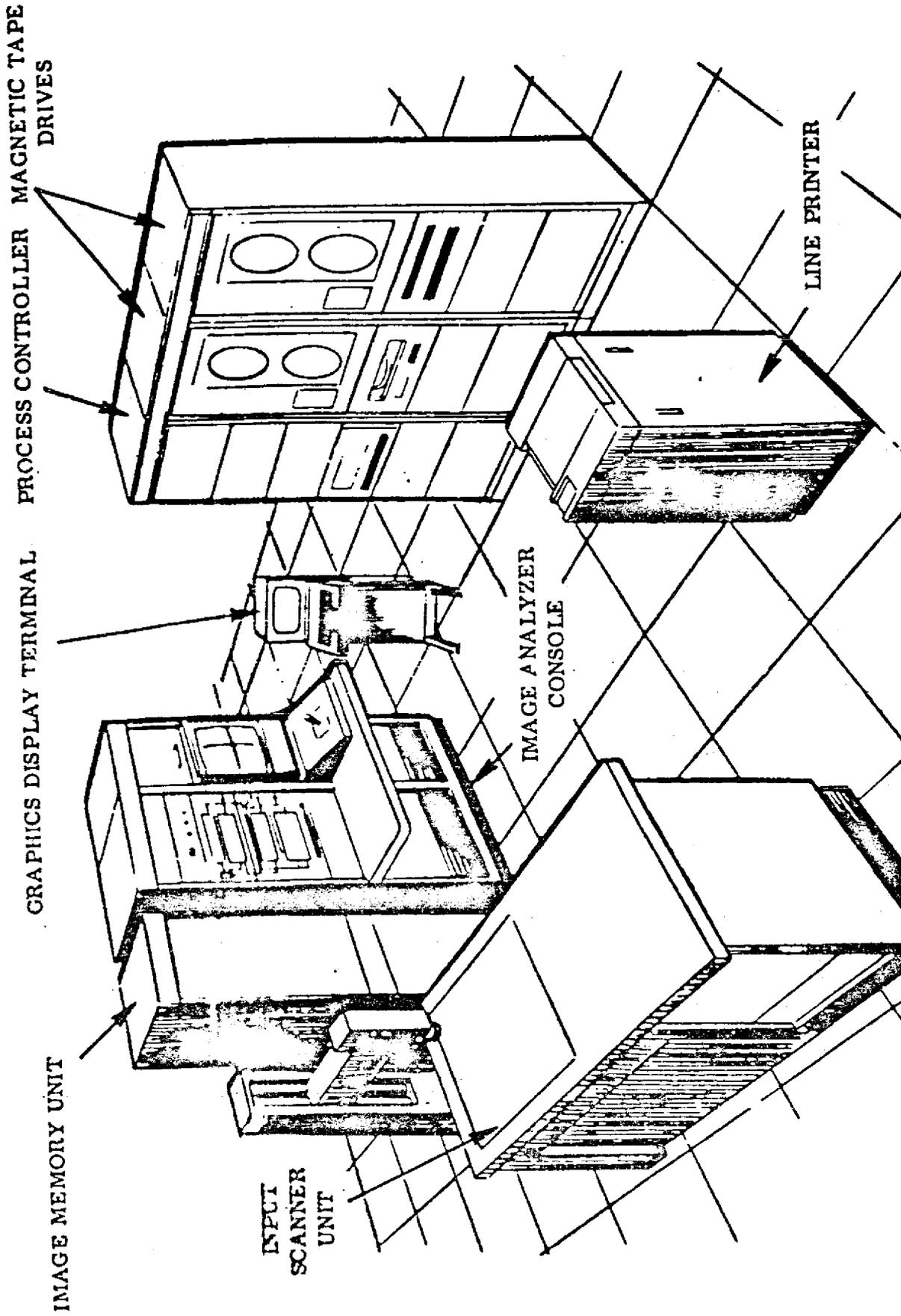


Fig. III.3 - Configuração básica do I-100, não incluindo o conjunto Dicomed

. Unidade Digitalizadora de Entrada - "Input Scanner Unit" - Uma câmara de TV, um conjunto de lentes e filtros e um conversor analógico-digital, são os principais componentes desta unidade, através da qual entram os dados, na forma de transparências positivas (imagens e fotografias aéreas), posteriormente digitalizados, antes de serem enviados à Unidade de Armazenamento de Imagem.

. "Dicomed" - O conjunto Dicomed é constituído de um mini-computador PDP/05 e seus periféricos, uma Unidade de Fita ("Dec Magtape") e um Gravador de Imagem ("Image Record"), todos incorporados ao sistema I-100. Esta unidade permite a gravação, em filmes branco e preto e colorido convencionais, de imagens ou temas.

A Figura III.4 mostra o fluxograma básico de utilização do I-100, neste trabalho.

b - "Density Color Slicer"

A cena do "Density Color Slicer" mostrada neste trabalho, foi obtida no modelo DATACOLOR 704. Este aparelho permite a análise de até 8 escalas de tons de cinza, a partir de transparências de fotografias e imagens, em branco e preto.

Os componentes básicos do sistema são:

- . Uma caixa de luz, para iluminação das transparências.
- . Uma câmara de TV, para converter a luz transmitida em sinal de vídeo elétrico.
- . Um Analisador de Cores, que separa as gradações dos tons de cinza em 8 níveis e atribui a cada nível uma cor.
- . Um "display", para reproduzir tanto o produto do "slicer" quanto as transparências branco e preto originais.
- . Um Planímetro Eletrônico, que mede a porcentagem de área correspondente a cada cor.
- . Um Painel Frontal, para controle dos níveis de cor do analisador, do número de cores mostradas no "display" e no Planímetro Eletrônico.

Aos 8 intervalos de tons de cinza são atribuídas as seguintes cores de controle: branco, azul escuro, azul claro, verde, amarelo, marrom, vermelho e magenta.

Cada banda de cor corresponde a uma densidade do filme. A densidade (D) está relacionada com a transmitância do filme, pela relação:  $D = \log 1/T$ . Assim a transmitância de 1/100 corresponderia a densidade 2. Esta transmitância, vista pela câmara de TV, é convertida em densidade através de um Amplificador Logarítmico especial, o qual atribui uma cor correspondente ao Analisador de Cores.

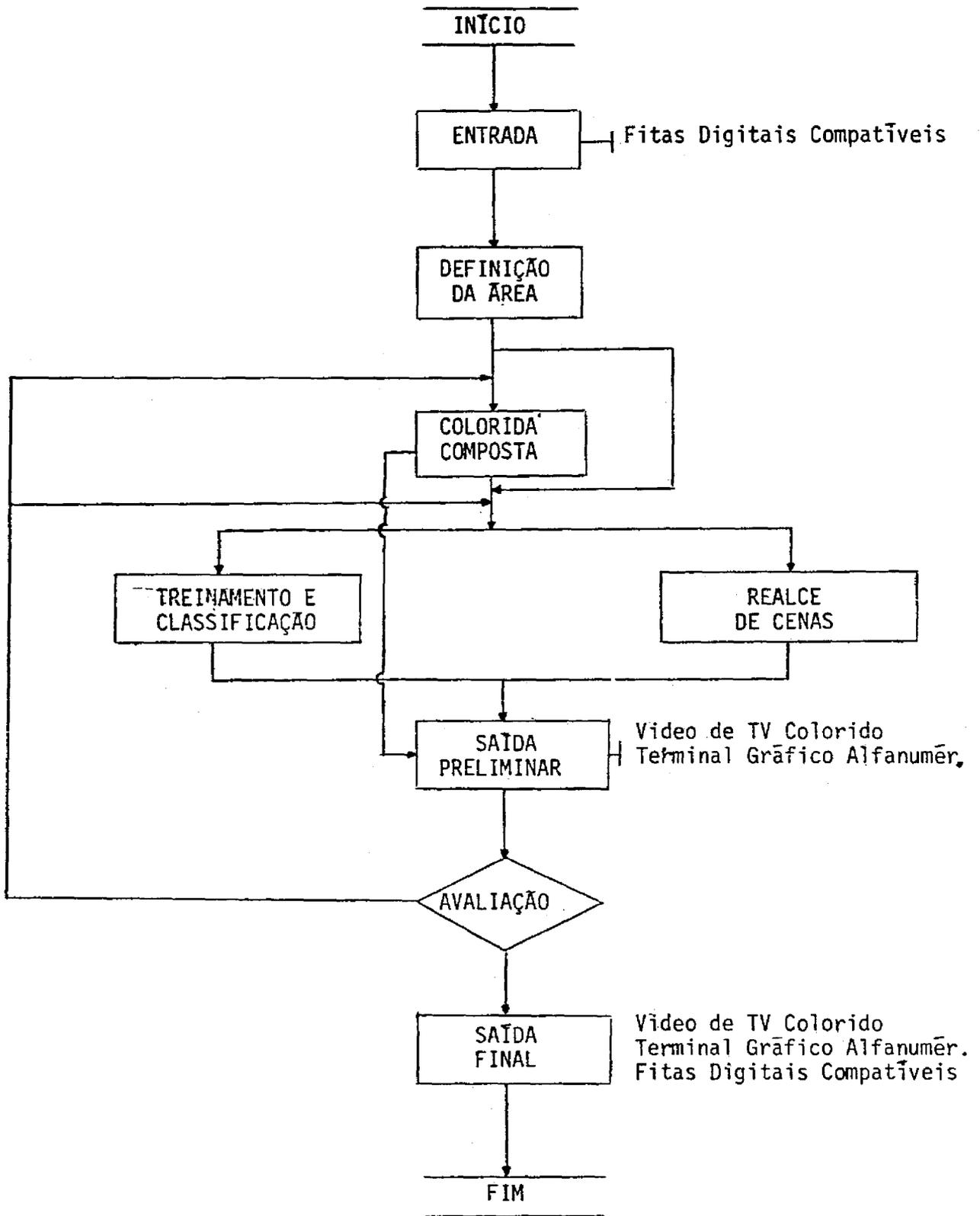


Fig. III.4 - Fluxograma Básico da Utilização do I-100 neste Trabalho



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 4.1 - INTERPRETAÇÃO VISUAL

##### 4.1.1 - ESCALA REGIONAL

A interpretação visual das imagens multiespectrais LANDSAT em escala regional (Figura IV.1) permitiu delimitar o complexo alcalino de Poços de Caldas, caracterizado por grandes diques anelares, que conferem à estrutura a forma de uma cratera ligeiramente circular. Estes diques, através de quebras topográficas bruscas, estabelecem os limites do Maciço, exceto em sua porção E-SE, onde estão ausentes.

O aspecto mais importante de caráter regional observado nesta etapa, diz respeito à presença de grandes falhamentos, com várias orientações, cortando indistintamente o embasamento cristalino, os sedimentos da bacia do Paraná e o Maciço Alcalino. Seus efeitos podem ser notados por longas distâncias, quer condicionando o curso do Rio Pardo, a represa de Graminha ou a cobertura sedimentar da sinéclise do Paraná, a Oeste.

Embora seja marcante a presença de grandes falhamentos com várias orientações, nota-se que aqueles orientados para N70-80E, alguns com mais de 100 Km de extensão, foram os que desempenharam papel mais importante no modelamento dos grandes traços do relevo regio

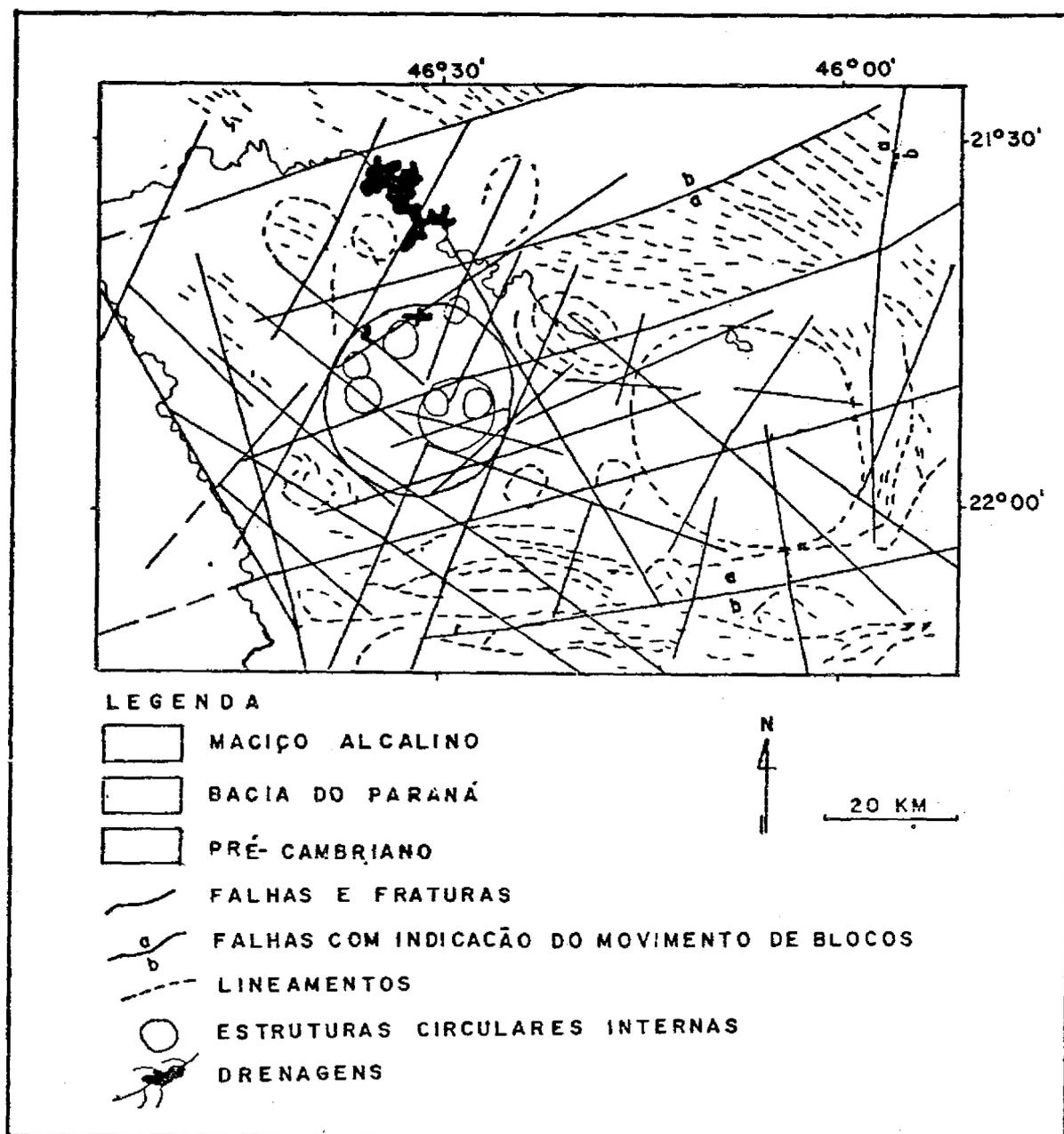


Fig. IV.1 - Esboço Geológico-Estrutural da região de Poços de Caldas, baseado em Interpretações Visuais de Imagens LANDSAT-1

nal. Deste modo, ao sul da área, as serras do Pau d'Alho, Paiol e Cervo, divisores de águas dos rios Pardo e Cervo, são escarpas de falhas (Figura IV.2), subordinadas àquela orientação.



Fig. IV.2 - Aspecto dos gnaisses falhados que constituem a Serra do Cervo, próximo a Ipuiuna-MG, a Sudeste da região:

Mais ao norte, grandes falhamentos com orientações ENE, cortam o Maciço Alcalino e prolongam-se além da área em estudo. A SW, eles desaparecem sob os sedimentos da bacia do Paranã, mostrando, no entanto, reflexos na cobertura sedimentar. Dois destes grandes falhamentos truncam, a nordeste da área, lineamentos estruturais orientados para NW. O rompimento brusco e a quebra topográfica marcante, sugerem movimentos verticais de grandes blocos, constituindo uma estrutura em forma de "graben".

Os dados acima sugerem a existência de uma zona de fraqueza na região de Poços de Caldas, com orientação preferencial dos falhamentos para ENE.



Fig. IV.3 - Aspecto regional da área, mostrada pela banda 5 do satélite LANDSAT. Escala 1:1.000.000

A análise do padrão estrutural, observado no sítio do Complexo Alcalino, mostra com clareza a posição do Maciço, situado no encontro de grandes falhamentos, que o cortam e o tangenciam.

Além dos falhamentos regionais, fato da maior importância diz respeito à presença, no interior do Maciço Alcalino, de estruturas circulares, à semelhança de corpos intrusivos subordinados, dispostos numa sequência de segunda e terceira ordens. Estas estruturas

circulares internas estão assinaladas pelas letras A, B, C, D, E, e F na Figura IV.4.



Fig. IV.4 - Visão regional da área, obtida pela banda do canal 7. As letras indicam as estruturas circulares observadas no interior do Maciço Alcalino. Escala 1:1.000.000

#### 4.1.2 - MACIÇO ALCALINO

##### 4.1.2.1 - REDE DE DRENAGEM

O traçado da rede de drenagem, através das imagens LANDSAT (Figura IV.5), caracterizou dois tipos principais de padrões: um de caráter semi-anelar e outro radial centrífugo.

Ocupando a faixa S-SW do Maciço, o padrão semi-anelar se impõe, com pequenas áreas esparsas, em seu interior, sem definição. Mais para o centro do Planalto, perde-se o padrão semi-anelar, quando a drenagem se adapta ao condicionamento estrutural, passando então a apresentar aspecto retilíneo quebrado.

O segundo tipo, radial centrífugo, ocorre predominantemente na região centro-este do Maciço, em sua extremidade Oeste e a Sul da cidade de Poços de Caldas. Pela dificuldade em extraí-lo das imagens, este padrão não está representado na Figura IV.5.

#### 4.1.2.2 - ESTRUTURA

A interpretação visual nesta etapa, permitiu caracterizar com precisão os falhamentos que cortam e delimitam o Complexo Alcalino, bem como aumentar sobremaneira a quantidade anteriormente identificada no estudo regional.

Como se pode observar pela Figura IV.5, o Maciço é cortado por grande número de falhas, com várias orientações. De modo geral esses falhamentos cortam todo o Complexo, prolongando-se pelas encaixantes. Em certos locais eles quebram o grande dique anelar externo, como a Este da cidade de Poços de Caldas, onde uma falha rompeu a borda do Maciço, deslocando-o por quase dois quilômetros.

A presença de um número elevado de falhas na área e a pe

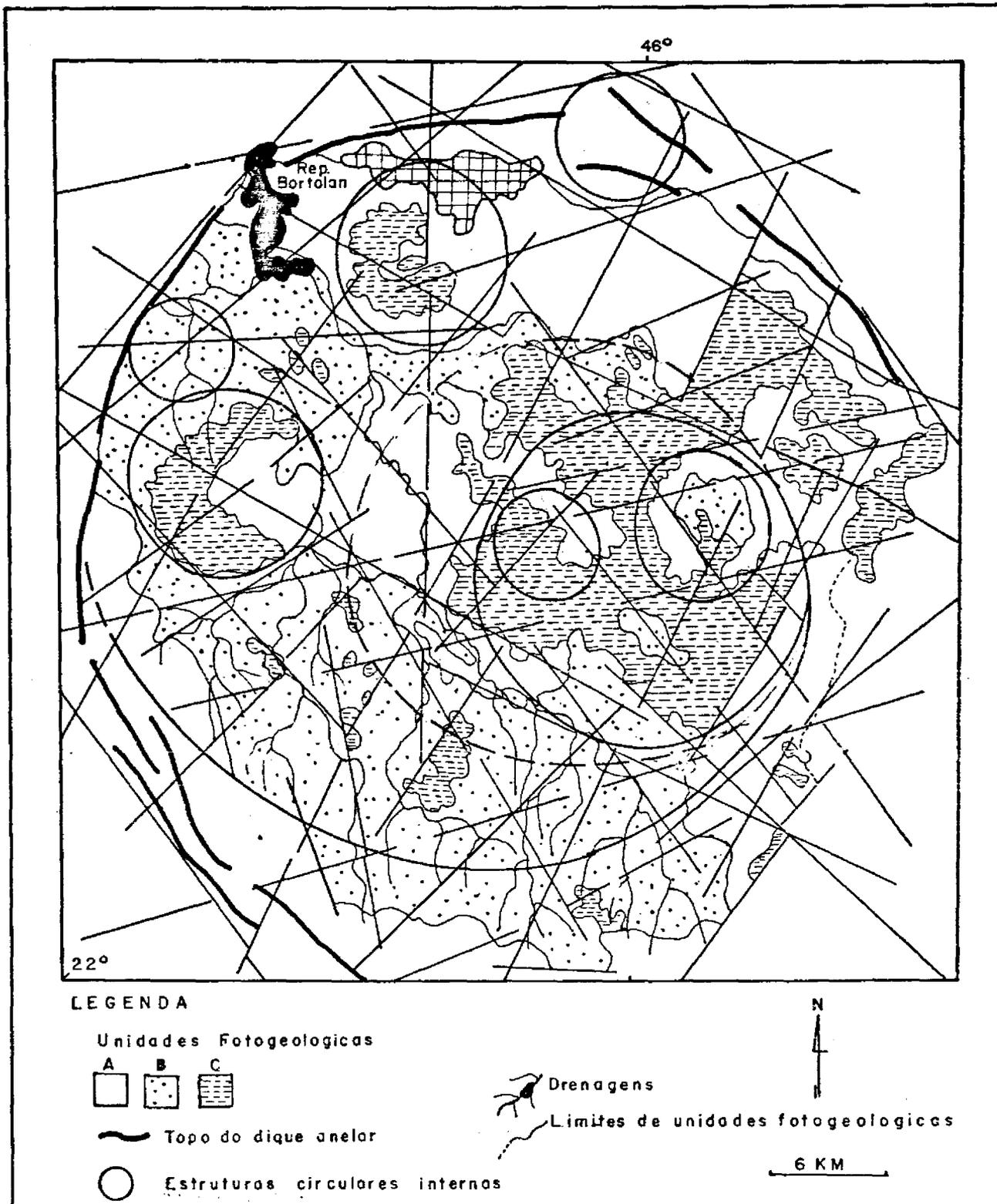


Fig. IV.5 - Esboço fotogeológico do Maciço Alcalino, obtido a partir de interpretações visuais de Imagens LANDSAT

quena escala de trabalho, dificultam as tentativas de estabelecer se quências cronológicas relativas entre possíveis diferentes fases de falhamentos, desenvolvidas no interior do Maciço.

Além da melhor caracterização das estruturas anelares, identificadas a partir da análise regional, o estudo de detalhe possibilitou o reconhecimento de novas feições circulares no interior do Planalto.

A maior destas estruturas anelares somente se encontra bem representada junto à borda E-S-W do Complexo, na forma de um semi-círculo. Nesta região, é evidente o controle que ela exerce na drenagem e no relevo, manifestado por quebras topográficas sucessivas (Figura IV.4, Letra A).

Com base nos seus limites remanescentes, é possível inferir uma magnitude de 24 km para seu diâmetro, dentro da qual estaria localizada a maioria das estruturas identificadas para o Maciço.

Uma das mais expressivas estruturas circulares internas ocorre na porção centro-este do Planalto, com 12 km de diâmetro, assinalada pela letra B, na Figura IV.4. Ela se caracteriza por uma forma circular-dômica, bem ressaltada pela topografia e pelos afluentes dos rios das Antas e Taquari, aos quais imprime, naquela área, um padrão radial-centrífugo. Esta estrutura circular é cortada por um grande número de falhamentos com várias orientações, que se prolongam por todo o Maciço, atingindo as encaixantes. Alguns desses falhamentos se dispõem em suas bordas e parecem estabelecer seus limites (Figura IV.6).

Um detalhe importante se refere à presença de duas outras estruturas menores, situadas no interior da anteriormente citada, dispondo-se nas suas extremidades NE e NW, com aproximadamente 5 e 4 Km de diâmetro, respectivamente (Figura IV.6).

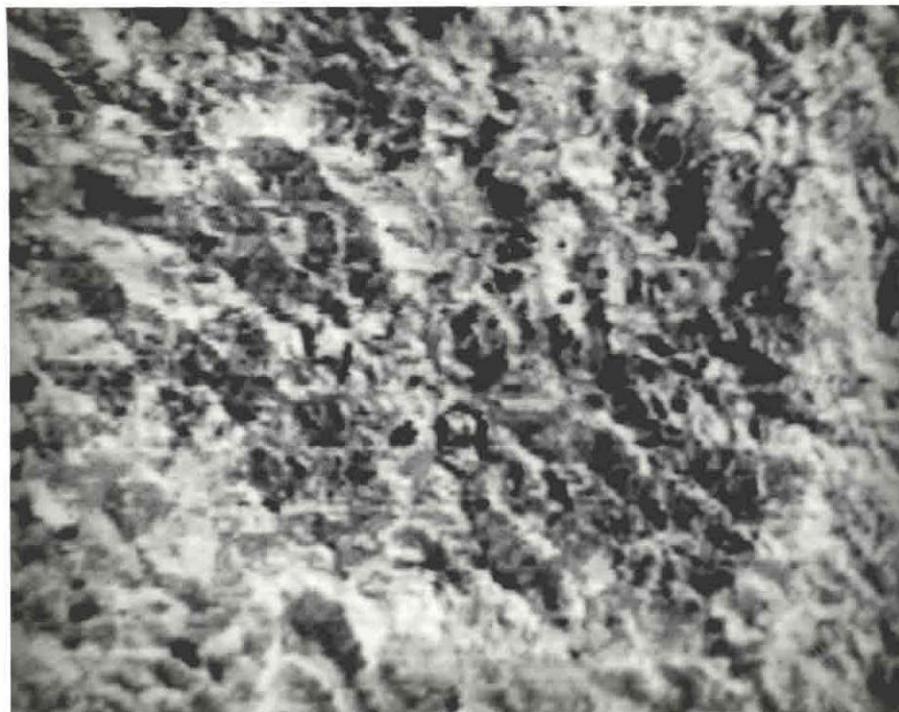


Fig. IV.6 - Detalhe da estrutura circular-dômica, da área Centro-Este do Maciço, ampliada no I-100. Escala 1:1.000.000

Na região Oeste do Maciço, nas áreas Quirinos e Serrote, uma outra estrutura, com 6 Km de diâmetro, pode ser observada (Figura IV.4, Letra C). Embora não mostre caráter dômico aparente, como as anteriores, sua forma circular é muito evidente, e bem ressaltada pela drenagem (Figura IV.7), principalmente pelo córrego do Chapadão, que contorna suas bordas sul e sudeste. Muitos falhamentos seccionaram a estru

tura e parecem definir seus limites NE e SE.

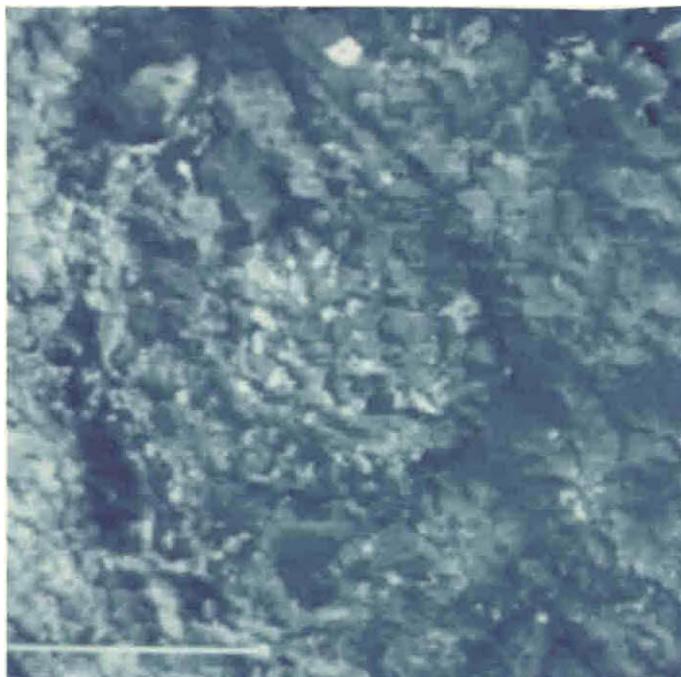


Fig. IV.7 - Aspecto da estrutura circular na extremidade Oeste do Maciço, englobando os campos de Quirinos e Serrote, ampliada no I-100. Escala aproximada 1:150.000

A norte da área Quirinos/Serrote, nas proximidades de Cascata, ocorre a segunda estrutura circular, observada na porção oeste do Maciço, indicada pela letra E, na Figura IV.4, apresentando diâmetro em torno de 4 Km. Diferentemente de sua vizinhança, seu caráter dômico é bastante evidente.

Uma topografia bastante acidentada e o aspecto dômico, caracterizam a estrutura circular, observada ao Sul da cidade de Poços de Caldas, com aproximadamente 7 Km de diâmetro (letra D, na Figura IV.4).

O Rio das Antas e o Ribeirão das Vargens, contornam seus limites SW-S-SE, ressaltando o caráter circular-dômico (Figura IV.8). Como as anteriores, é grande o número de falhamentos que a cortam. No interior da estrutura, já dentro da cidade de Poços de Caldas, alguns desses falhamentos parecem responsáveis pelas fontes termais ali encontradas.

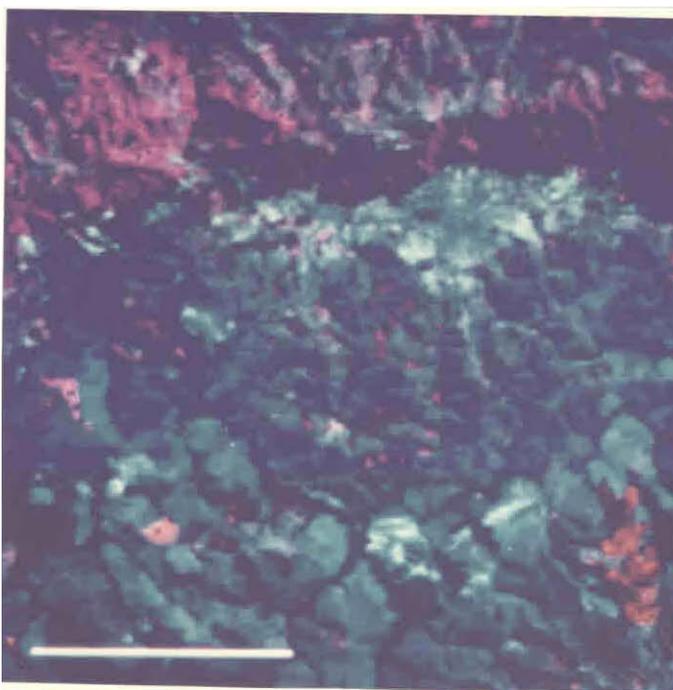


Fig. IV.8 - Feição circular-dômica ao Sul da cidade de Poços de Caldas. Notar que o crescimento da cidade para Sw, foi condicionado pela topografia acidentada do interior da estrutura, ampliada no analisador I-100. Escala aproximada 1:150.000

Diferente em muitos aspectos das estruturas circulares mencionadas, principalmente em virtude de sua posição, uma estrutura circular, com 5 Km de diâmetro, ocorre a Este da cidade de Poços de Caldas (Figura IV.4, Letra F). Tal feição emergiu em parte sobre o grande

dique anelar externo do Maciço, provocando seu rompimento (Figura IV.9). A porção norte daquela estrutura é limitada por dois grandes falhamentos, que também condicionam o próprio Maciço Alcalino, a NE e NW. Para o sul, no interior do Complexo, seus limites são também estabelecidos por duas grandes falhas, uma das quais, com direção N70E, desloca o dique anelar externo..



Fig. IV.9 - Detalhe da estrutura circular ao Norte do Maciço, sobre o grande dique anelar. Notar o rompimento do mesmo. Escala aproximada 1:150.000

A ausência do grande dique anelar externo, na porção E-SE do Maciço, sugere que o mesmo possa ter sido rompido por manifestações semelhantes. No entanto, estruturas circulares naquele setor particular do Complexo não foram notadas.

#### 4.1.2.3 - LITOLOGIA

A análise fotogeológica das imagens demonstra com clareza três unidades distintas, aqui denominadas genericamente de Unidades A, B e C (Figura IV.5).

A unidade fotogeológica A apresenta a maior distribuição em área, espalhando-se pelas regiões Central, Norte, Este e Sudeste do Maciço Alcalino, ocupando preferencialmente as cotas mais baixas. Nas imagens, ela é caracterizada por uma textura fina, mostrando relevo com aspecto ligeiramente dissecado. Sua drenagem, quase sempre retilínea quebrada, em virtude do condicionamento estrutural, é muito difícil de ser extraída das imagens, exceto na porção Centro-Norte do Maciço.

A Unidade B distribuiu-se preferencialmente na porção NW e SW do Maciço, além de uma faixa alongada E-W mais ao Norte e pequena mancha a Este. Nas imagens, ela é caracterizada por um tom de cinza bastante uniforme e um relevo suave, ao qual adaptou-se o padrão de drenagem semi-anelar.

A Unidade Fotogeológica C, predomina na porção Centro-Este do Maciço, espalhando-se ainda em manchas esparsas menores ao Sul, Oeste e Norte. Nas imagens, ela se apresenta com um relevo fortemente dissecado, sustentando preferencialmente as cotas mais altas do interior do Complexo e, não raro, servindo como divisor local de águas. A esta Unidade acha-se associado um padrão de drenagem

radial centrífugo, difícil de ser extraído pela falta de continuidade e, portanto, não representado no mapa da Figura IV.5. Parte de seus contatos com as demais unidades é feito por falhamentos.

Fato interessante notado, refere-se à estreita associação entre as áreas de ocorrência da Unidade Fotogeológica C e as estruturas circulares, observadas no interior do Maciço Alcalino de Poços de Caldas.

#### 4.2 - INTERPRETAÇÃO AUTOMÁTICA E REALCE DE CENAS

Os produtos de realce de cenas e interpretações automáticas usadas no trabalho, são mostrados e discutidos a seguir.

A Figura V.10 foi obtida no Density Color Slicer do EROS DATA CENTER, em Sioux Falls, Dakota do Sul, USA, pelo Dr. Gilberto Amaral, em junho de 1973.

Após sucessivas combinações no aparelho, a imagem ficou representada por duas cores predominantes: marrom e amarelo. Para conseguir maior contraste na cena, foi desligado o nível de cor correspondente ao marrom, tornando-se, assim, pretas as áreas representadas por aquela cor.

A Figura IV.10 mostra a região de Poços de Caldas, na escala aproximada de 1:600.000. Um dos aspectos mais marcantes nela ob

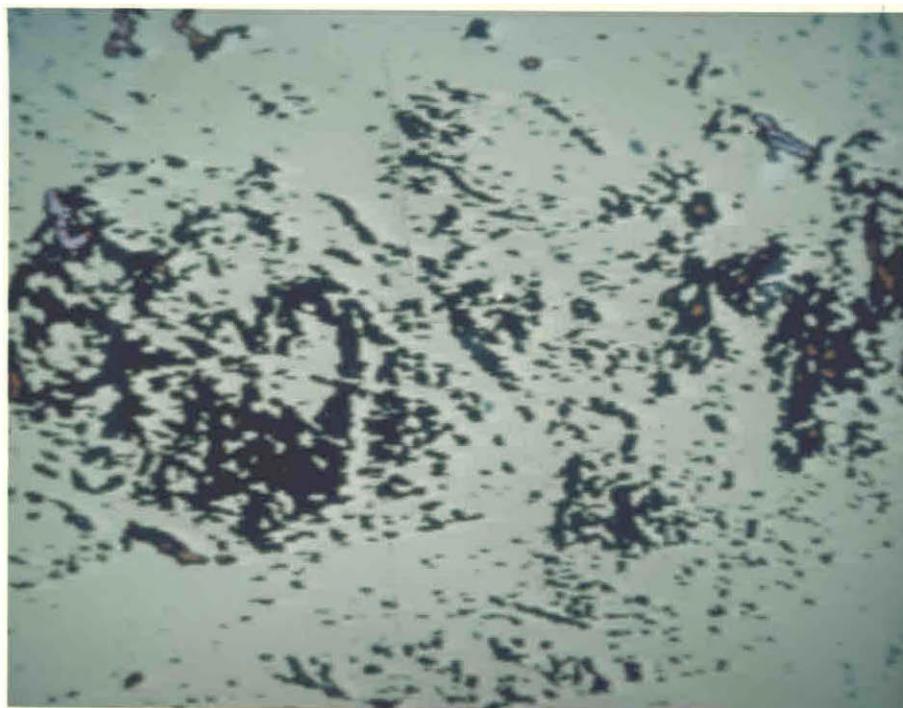


Fig. IV.10 - Região de Poços de Caldas, como vista no Density Color Slicer do EROS DATA CENTER.

servado é a presença de grandes falhamentos regionais, que delimitam e cortam o Maciço, prolongando-se, indistintamente, pelas rochas encaixantes. Pode-se observar também a forma circular do Complexo, caracterizado pela disposição dos diques anelares. As estruturas circulares internas das regiões Sul de Poços de Caldas e Este do Maciço são perfeitamente identificadas na cena, representadas pela cor amarela do interior do Planalto. A SW do Maciço, a análise da fotografia sugere a existência de uma estrutura circular não reconhecida nas etapas de interpretação visual. Seus limites norte parecem ser estabelecidos por um grande falhamento, que também secciona parte da estrutura da região centro-este, prolongando-se além do Maciço, com direção NE-E.

As represas de Bortolan, Graminha e Poço Fundo são mostradas em cor tendendo para magenta.

As fotografias a seguir mostram os resultados de realce de cenas e classificações automáticas, obtidas no I-100, a partir de fitas CCT, no INPE.

A Figura IV.11 mostra parte da imagem do canal 7 do LANDSAT-1, para a região de Poços de Caldas, na escala aproximada de 1:600.000. Ela foi obtida pela multiplicação dos níveis de cinza daquele canal por um fator 4 ( $2^2$ ), objetivando um maior contraste da cena.

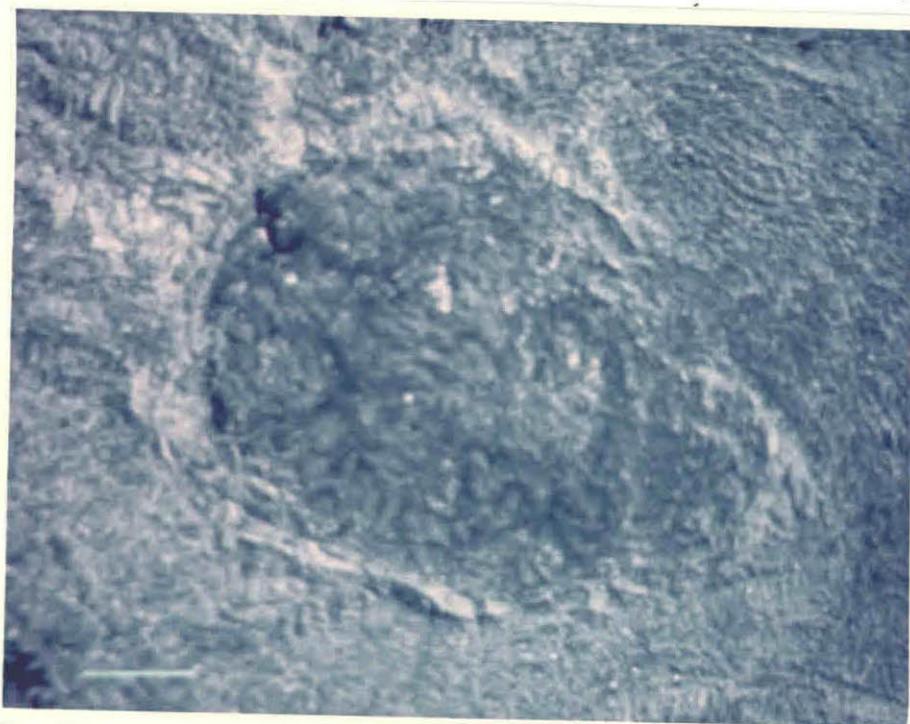


Fig. IV.11 - Canal 7 realçado, mostrando aspectos regionais da área.

A figura acima mostra o Maciço Alcalino e suas encaixantes. Aspectos estruturais regionais são bem evidenciados, principalmente os grandes falhamentos. Observa-se também a disposição dos diques anulares externos e as estruturas internas já descritas.

A Figura IV.12 é uma composição colorida obtida pela combinação de filtros azul, verde e vermelho nas bandas dos canais 4,5 e 7, respectivamente, em escala aproximada 1:600.000. Como na anterior, o canal 7 foi multiplicado pelo fator 4, para melhor contraste.

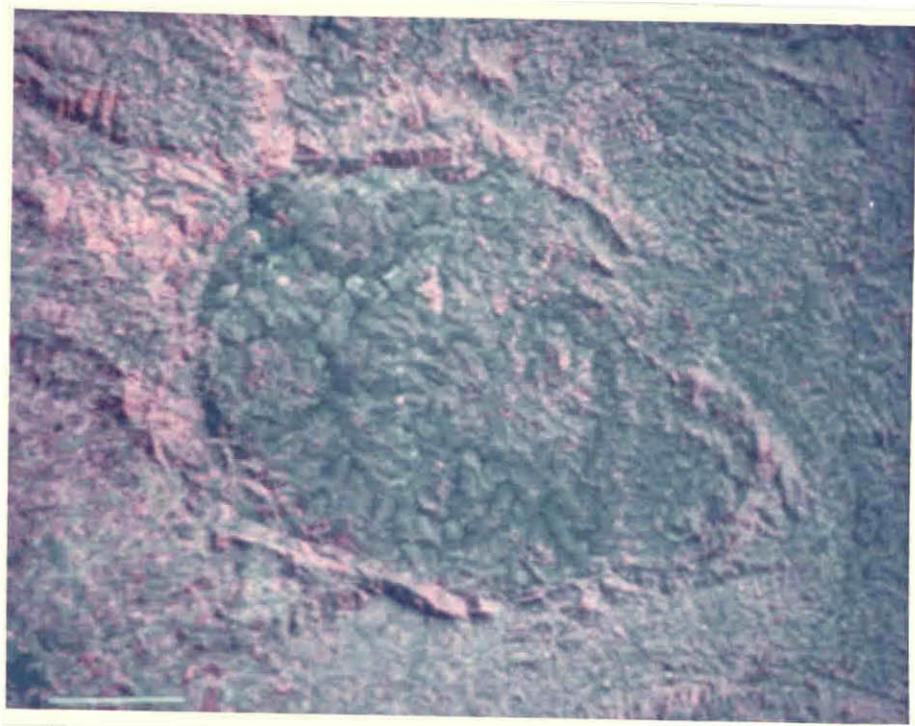


Fig. IV.12 - Composição colorida mostrando o Maciço Alcalino e suas encaixantes.

A composição colorida possibilita analisar as relações estruturais existentes entre o Maciço Alcalino e as encaixantes granito-

gnáissicas que o envolvem. Com riqueza de detalhe, é caracterizado o grande dique anelar, que confere ao Maciço o aspecto de uma grande cratera. Detalhe significativo, refere-se à ausência da continuidade deste dique no extremo SE do Complexo. São também facilmente identificadas as estruturas circulares internas. A Este da cidade de Poços de Caldas, pode-se observar a estrutura que rompeu o dique anelar naquele setor do Maciço.

Nos cantos superiores da fotografia, são observadas, fora do Maciço Alcalino, duas estruturas circulares-elípticas.

A Figura IV.13 é também uma composição colorida da região, na escala aproximada de 1:460.000. Ela foi obtida pela combinação de filtros azul, vermelho e verde, respectivamente nas bandas dos canais 4, 5 e 7.

Como nas cenas anteriores, esta combinação realça aspectos regionais da área, como falhas e lineamentos, podendo-se notar também, com detalhe, a configuração circular do Maciço Alcalino. Nesta composição, procurou-se combinar as características dos canais 5 e 7 do LANDSAT-1. Pode-se notar que, enquanto os grandes traços regionais são apresentados como vistos no canal 7 (Figura IV.15), o interior do Maciço conserva a morfologia, como vista na banda do canal 5 (Figura IV.14).

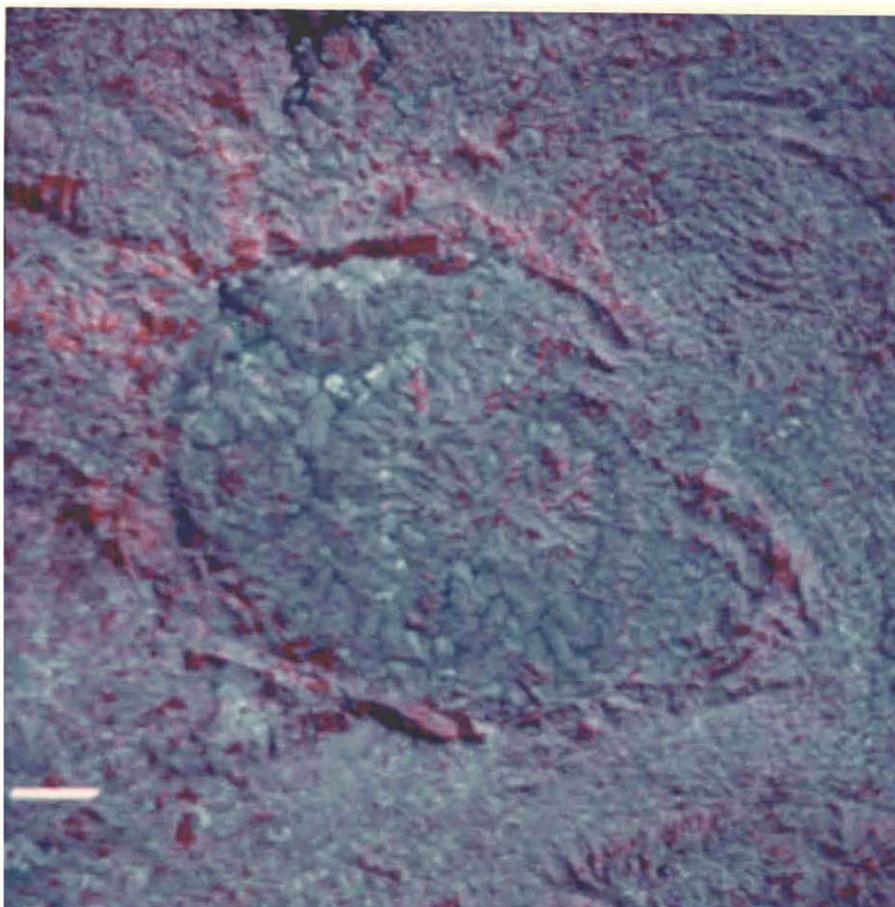


Fig. IV.13 - Composição colorida da Região de Poços de Caldas ressaltada pelos canais 5 e 7 do LANDSAT

A Figura IV.14 mostra o canal 5 do Scanner Multispectral do satélite LANDSAT-1, como visto no "video" do I-100, a partir das fitas CCT, na escala aproximada de 1:240.000.

Esta banda é a mais usada para o mapeamento de unidades fotogeológicas e reconhecimento dos traços de ocupação humana.

A fotografia mostra com bastante detalhe o traçado da rede de drenagem, como discutida no item 4.1.2.1 e mostrada na Figura IV.5,

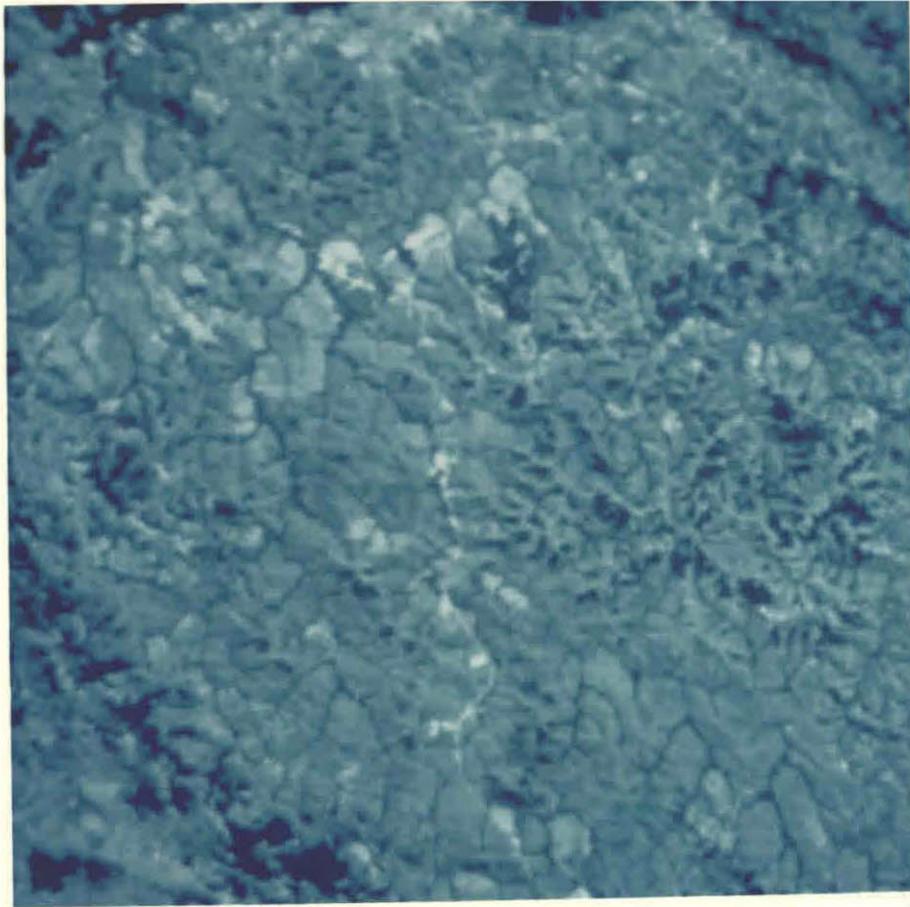


Fig. IV.14 - Canal 5 do LANDSAT,mostrado no "video" do I-100, a partir de fitas CCT.

assim como as unidades fotogeológicas já mencionadas. Nas regiões Sul da cidade de Poços de Caldas, Centro-Este e Oeste do Planalto, merece destaque especial o padrão característico da Unidade Fotogeológica C, mostrando seu relevo fortemente dissecado, destacando-se das demais áreas do Maciço. Parte do grande dique anelar é também identificada, mostrando as diferentes respostas espectrais entre a litologia do Complexo e a das encaixantes. A Norte da área, nota-se a cidade de Poços de Caldas e, partindo dela para o Sul, a estrada que a liga a Andradas (MG).

O canal 7 do scanner multiespectral do satélite LANDSAT-1, como visto no I-100, é apresentado na Figura IV.15, em escala aproximada de 1:240.000.

Enquanto o canal 5, na faixa do visível compreendida do laranja ao vermelho, mostra melhor as respostas espectrais de solos e rochas, o canal 7, no infravermelho próximo, pelo seu tom de cinza uniforme (alta reflectância da vegetação), aliado a efeito de sombreamento,

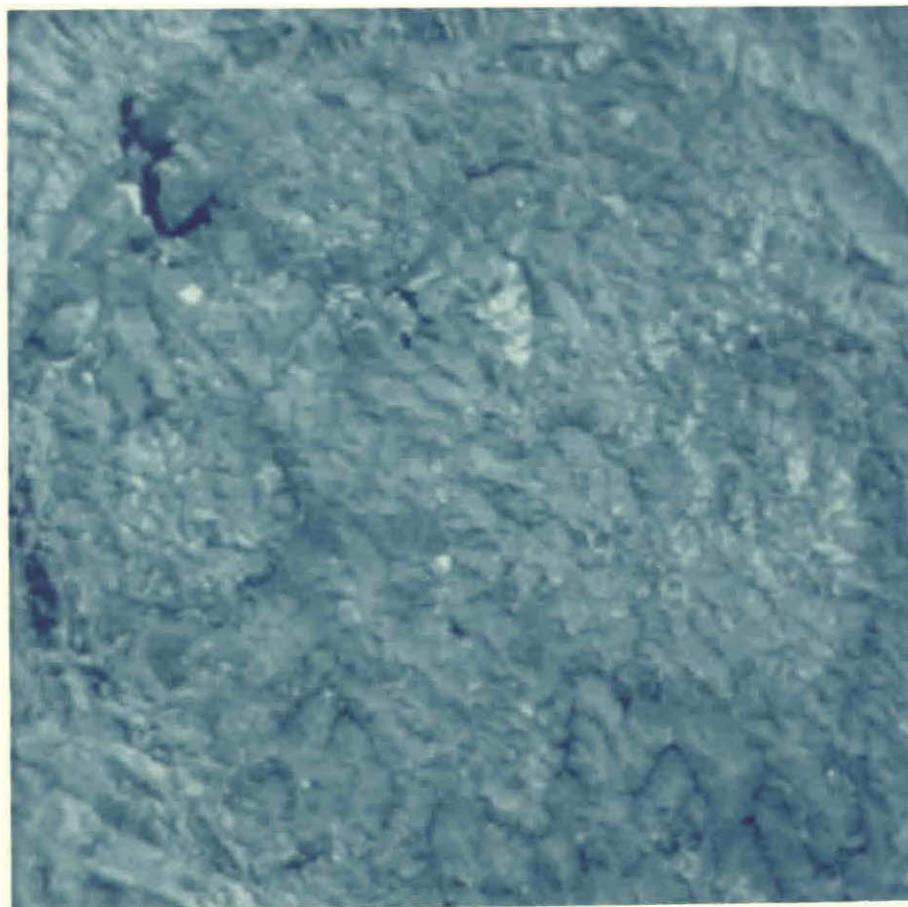


Fig. IV.15 - Canal 7 do Scanner multiespectral do satélite LANDSAT-1.

ressalta a morfologia do terreno. A fotografia acima mostra feições morfológicas internas do Maciço Alcalino, podendo-se observar com detalhe as estruturas circulares internas, já descritas. Comparando-se as Figuras IV.14 e IV.15, pode-se constatar que a Unidade Fotogeológica C distribui-se preferencialmente nos domínios das citadas estruturas circulares.

A Figura IV.16 corresponde a uma composição colorida do Maciço Alcalino, obtida com filtro vermelho no canal 7, verde no canal 5 e azul no 4. Ela mostra com riqueza de detalhes o Maciço Alcalino. No

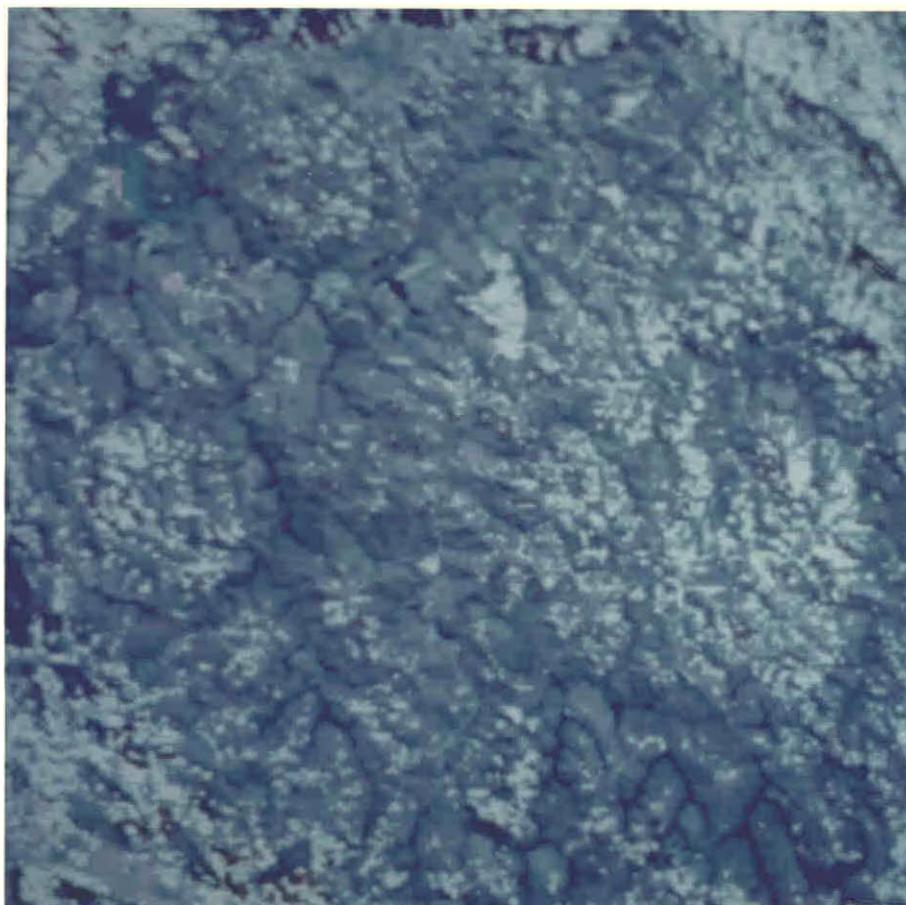


Fig. IV.16 - Aspecto local do Maciço Alcalino, mostrado numa fotografia colorida composta. Escala aproximada 1:240.000

tar a disposição do grande dique anelar e as estruturas circulares internas, caracterizadas por um tom amarelo forte, mostrando as respostas espectrais da vegetação que ocupa as cotas mais altas do interior do Planalto.

A Figura IV.17 apresenta os resultados obtidos pelo método de mapeamento automático supervisionado, usando-se como áreas de treinamento, regiões de forte cobertura vegetal.

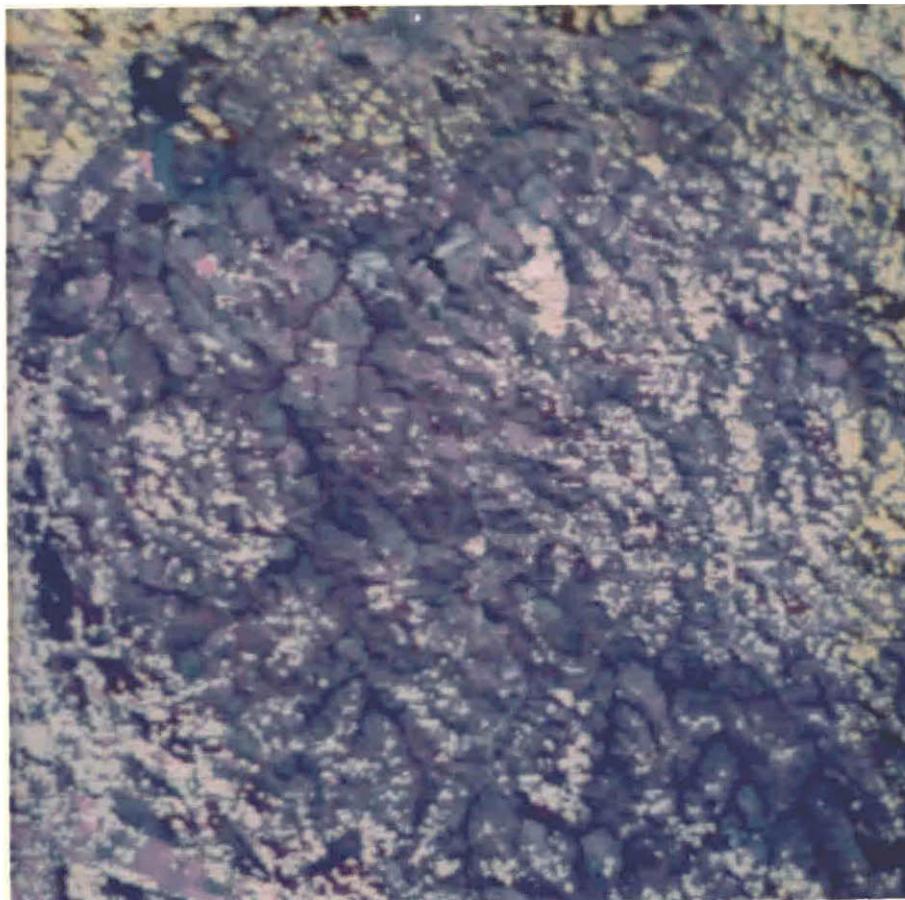


Fig. IV.17 - Aspecto do Maciço Alcalino, mostrando em destaque as estruturas circulares internas, ressaltadas pelo método de treinamento e classificação.  
Escala aproximada 1:240.000.

Pode-se notar que o tema mostrado em amarelo, classificado como vegetação, coincide em linhas gerais com áreas de ocorrências das estruturas circulares internas do Maciço. Comparando-se esta fotografia com a Figura IV.5, obtida de interpretações visuais, constata-se que as áreas de ocorrência da Unidade Fotogeológica C aproximam-se às do tema mostrado acima, em amarelo. Verificações de campo, no entanto, indicaram que tanto o citado tema quanto a Unidade Fotogeológica C, são, na realidade, respostas espectrais de alvos topograficamente mais elevados, ocorrendo em regiões de relevo acidentado. Assim, a associação entre aquela unidade fotogeológica e as estruturas circulares internas, existe pelo fato dessas estruturas, devido ao caráter dômico que apresentam, sustentarem as cotas topográficas mais elevadas do interior do Maciço Alcalino, em geral com relevo bastante acidentado.

A Figura IV.18 apresenta o resultado de mapeamento automático supervisionado, utilizando-se drenagens como áreas de treinamento. O tema mapeado foi sobreposto à colorida composta da Figura IV.16.

As evidências de que as estruturas circulares internas exerciam controle no comportamento e disposição dos padrões de drenagens no Planalto, puderam ser comprovadas, usando-se, como áreas de treinamento, pontos sobre trechos dos principais cursos d'água. Os resultados alcançados são mostrados na fotografia da Figura IV.18 em amarelo, comprovando que os cursos d'água são diretamente influenciados pela presença das estruturas circulares internas. Em geral, tais cursos situam-se nas bordas dessas feições, definindo parte de seus próprios contatos.

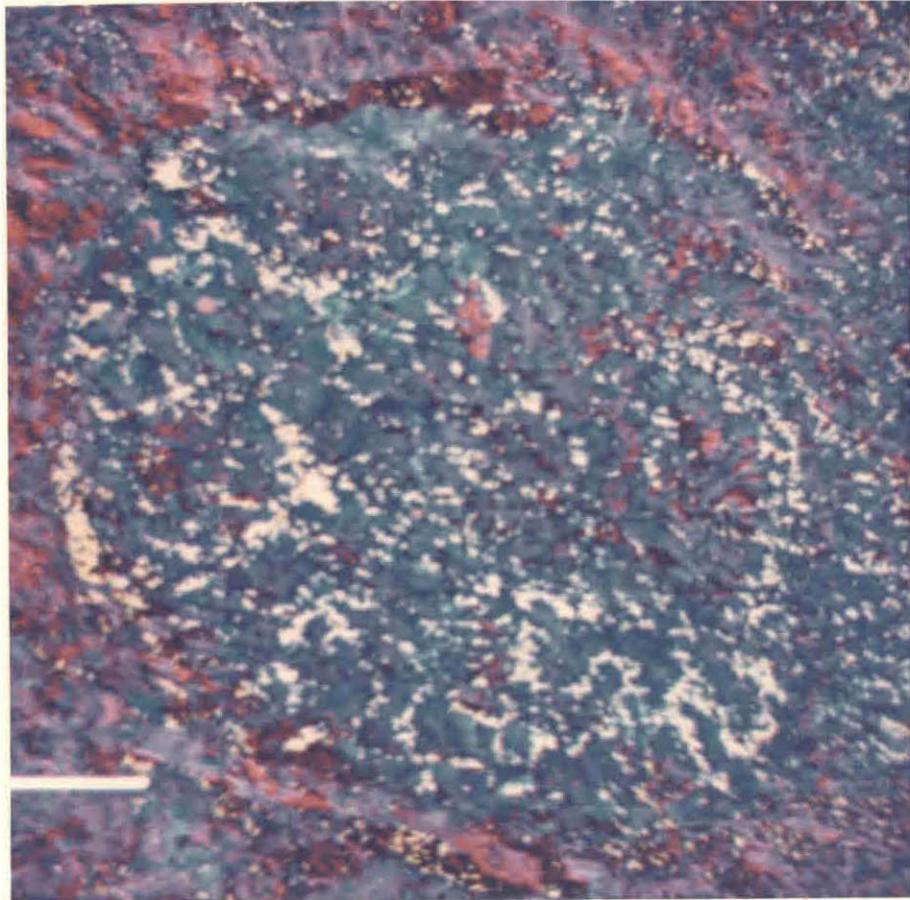


Fig. IV.18 - Aspecto do interior do Maciço, mostrando as estruturas circulares pelas drenagens, que contornam suas bordas. Escala aproximada 1:320.000

A Figura IV.19 é um tema obtido através do programa "Slicer", aplicado ao canal 7, e lançado sobre uma colorida composta, resultante da combinação de filtros azul e verde, no canal 5, e vermelho no canal 7. A aplicação desta técnica dividiu a imagem em 8 temas, um

dos quais, compreendido no intervalo de cinza 38-51, é mostrado na fotografia abaixo, em amarelo, procurando ressaltar as estruturas circulares internas. Este tema corresponde, em linhas gerais, ao da figura anterior, obtido pelo método de Treinamento e Classificação.

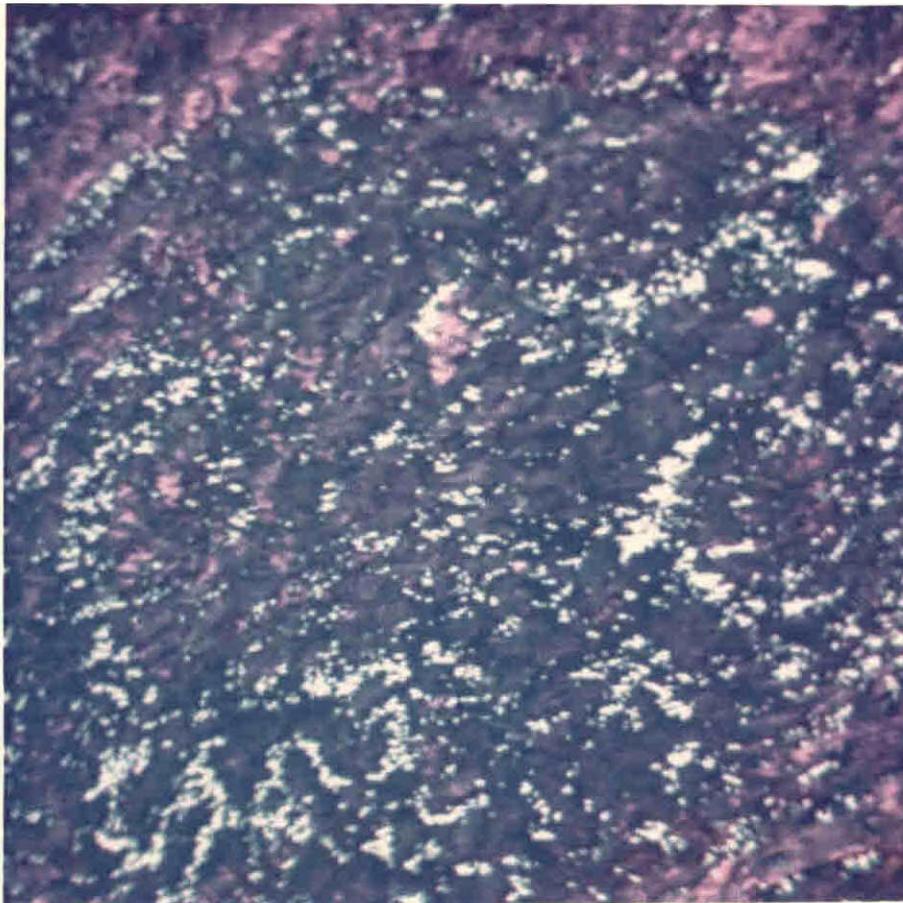


Fig. IV.19 - Tema obtido pela técnica do "slicer" (amarelo), sobreposto a uma fotografia colorida composta. Escala aproximada 1:240.000.

A Figura IV.20 mostra a região de Poços de Caldas, no canal 7 do LANDSAT-1, ressaltado pela técnica do "Contrast Stretch", no I-100. O uso desta técnica sobre determinado canal, ou parte dele, em

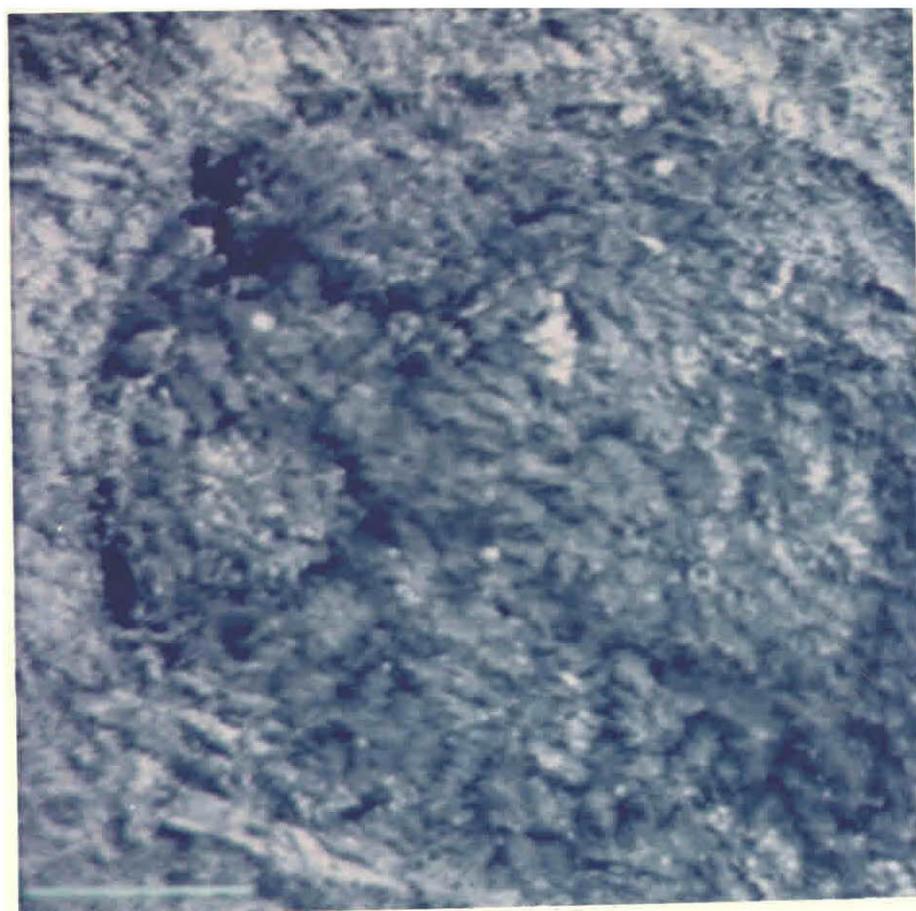


Fig. IV.20 - Canal 7, ressaltado em suas feições pela técnica do "Contrast Stretch". Escala aproximada 1:50.000

geral melhora seu contraste. Seleccionada determinada área da cena estudada, o aparelho determina os valores máximo e mínimo de cinza nela contidos. Em seguida, toda a cena é analisada novamente, sendo, então, atribuídos os valores 0 (preto) e 255 (branco), respectivamente, para todos

os pontos abaixo e acima dos limites prē-estabelecidos. Os nīveis de cinza contidos no intervalo m̄ximo e mīnimo s̄o multiplicados por um determinado fator.

Na fotografia mostrada, os valores limites para o intervalo de cinza foram estabelecidos em 40 e 104.

A Figura IV.21 mostra um produto das tēcnicas de realce de cenas, obtida utilizando-se o programa "Filtragem bi-dimensional de imagens, empregando filtros digitais recursivos de primeira ordem".



Fig. IV.21 - Regīo de Poços de Caldas mostrada atravēs de tēcnicas de filtragens.

Escala aproximada 1:250.000

rou-se mostrar o que pode ser conseguido com tais técnicas de realce, através das quais níveis de cinza podem ser eliminados de tal modo, que o produto final se apresente com maior contraste para certos temas. Diferentes tipos de filtrações podem ser efetuados e combinados entre si, de diferentes maneiras, de modo a dar ao usuário uma gama de combinações, que possam ressaltar aspectos de seu interesse. O caso acima é apenas ilustrativo, mostrando como a morfologia do Maciço Alcalino foi modificada pela filtração.

O programa anteriormente citado possui a flexibilidade de se poder acrescentar, ao produto filtrado, porcentagens variáveis da imagem original, dando, assim, ao produto, um aspecto mais real.

A Figura IV.22 apresenta o resultado de 80% de filtração, adicionado de 20% da imagem normal do canal 7, mostrando a caracterização do Maciço Alcalino e de suas estruturas circulares internas.

A Figura IV.23, obtida pela mesma técnica das duas anteriores, mostra o resultado de filtrações, adicionado de 50 % da imagem normal do canal 7.

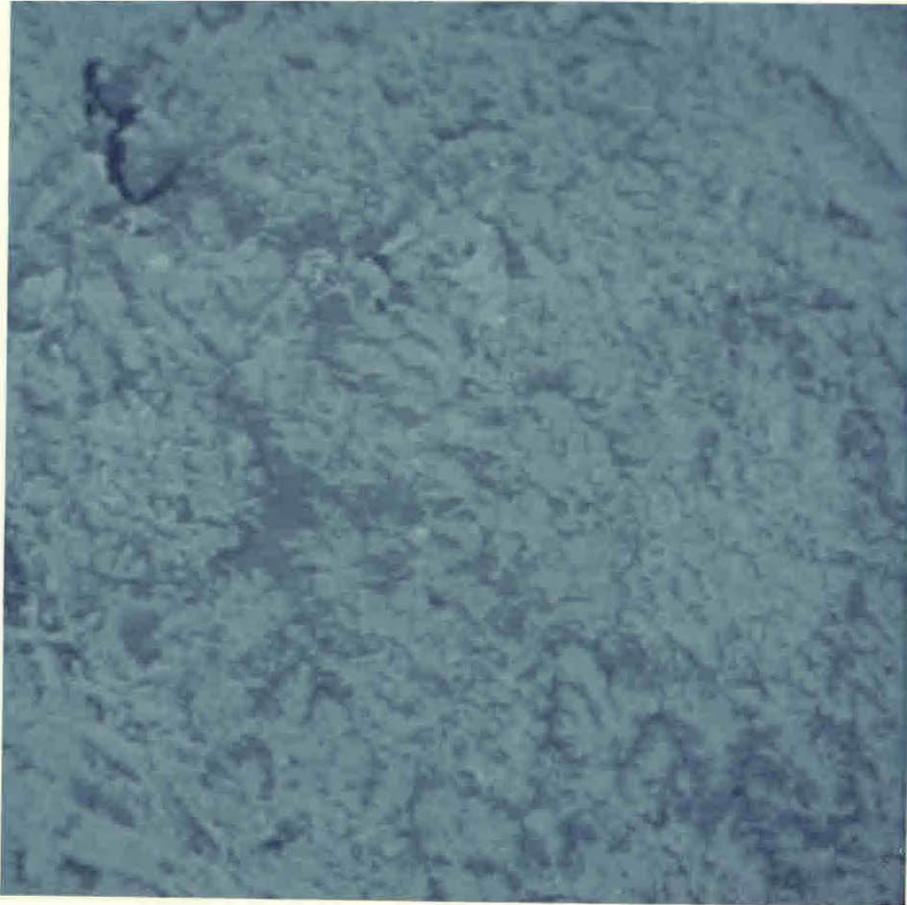


Fig. IV.22 - Aspecto do Maciço Alcalino, mostrando o resultado de combinações entre filtragens e imagens originai nais. Escala aproximada 1:250.000

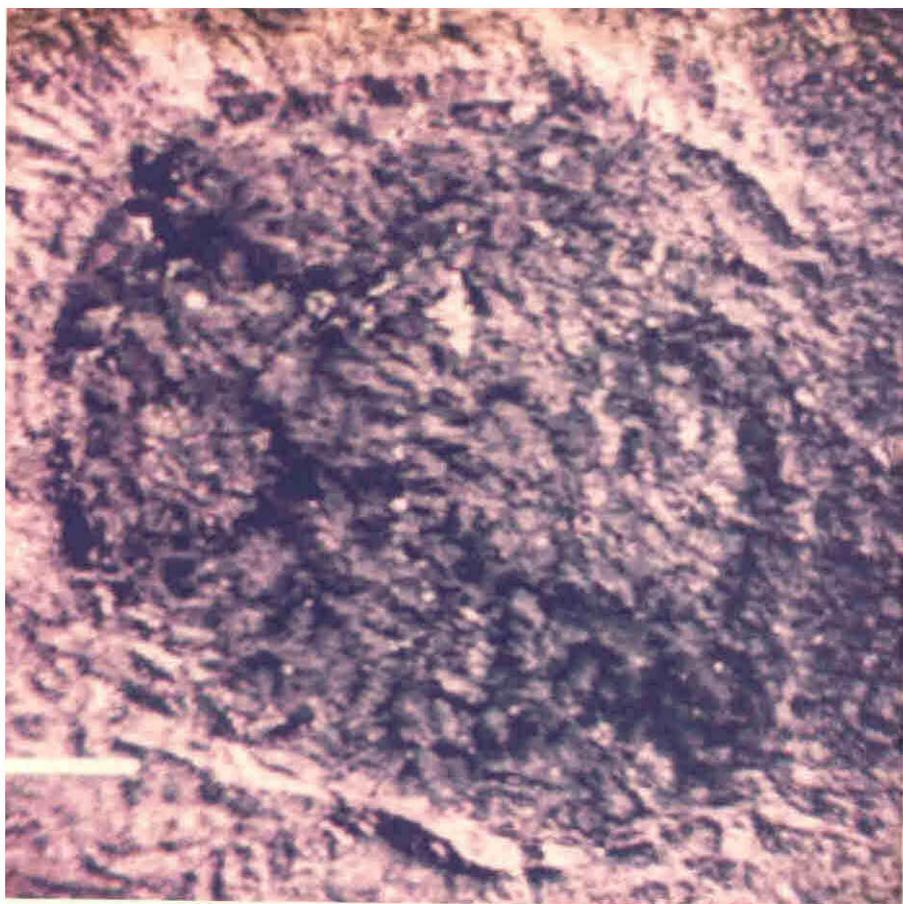


Fig. IV.23 - Produto de filtragem adicionado 50% da imagem normal do canal 7. Escala aproximada 1:300.000



## CAPÍTULO V

### COMPARAÇÕES COM OS DADOS EXISTENTES

#### 5.1 - ESTRUTURA REGIONAL

O papel dos grandes falhamentos regionais, no condicionamento dos complexos magmáticos, é um fato bem estabelecido. O magmatismo em geral ocorre em áreas tectonicamente instáveis, associado a falhamentos profundos, capazes de permitirem a ascensão e diferenciação do magma.

Diversos autores têm mencionado a presença de complexos magmáticos em zonas de grandes estruturas regionais, tais como Smith (1961), Branch (1966), Stavtsev (1968), Budanov (1969) e Maksimov (1970, 1973).

Almeida (1971) relaciona a presença do Maciço Alcalino de Poços de Caldas a uma grande flexura NW, com falhamentos profundos, que se estendem por quase 900 km, desde a região, até Catalão, em Goiás.

O esboço geológico-estrutural, obtido de interpretações visuais de imagens LANDSAT (Figura IV.1), entretanto, parece evidenciar uma zona de fraqueza, orientada predominantemente para ENE, ao longo da qual se desenvolveram movimentos verticais de grandes blocos, que atualmente constituem, entre outras, as serras do Paiol, Pau d'Alho e Cervo.

Pela proximidade e pela orientação quase paralela, tais estruturas poderiam sugerir, por falta de melhores evidências ou relações de campo, um relacionamento com os eventos estruturais, que criaram a serra da Mantiqueira e o "Rift Valley" que abriga o rio Paraíba do Sul, reconhecidos por Almeida (1971) como condicionantes das intrusivas de Itatiaia, Passa Quatro e Morro Redondo.

Entretanto, na atual fase de conhecimento, uma definição seria prematura, devendo tal hipótese ser comprovada através de estudos adicionais na área.

## 5.2 - MAPA GEOLÓGICO

Notáveis diferenças podem ser observadas entre o Mapa Fotogeológico baseado em imagens LANDAST e o Mapa Geológico do Maciço (CNEN, 1974).

Comparando as Figuras IV.5 e II.1, nota-se que as unidades fotogeológicas A, B e C, não correspondem às litologias conhecidas no Planalto. É possível, portanto, que tais unidades, estejam refletindo apenas condições de superfície, não possuindo, assim, maior significado litológico.

Apenas para certos locais, observa-se uma leve tendência em correlacionar a Unidade Fotogeológica C e a "rocha potássica", de grande interesse, por ser considerada até o momento, o principal condicionante para as mineralizações radioativas no Planalto.

No aspecto estrutural, também muitas diferenças existem entre os mapas das Figuras IV.5 e II.1. As imagens permitiram o mapea

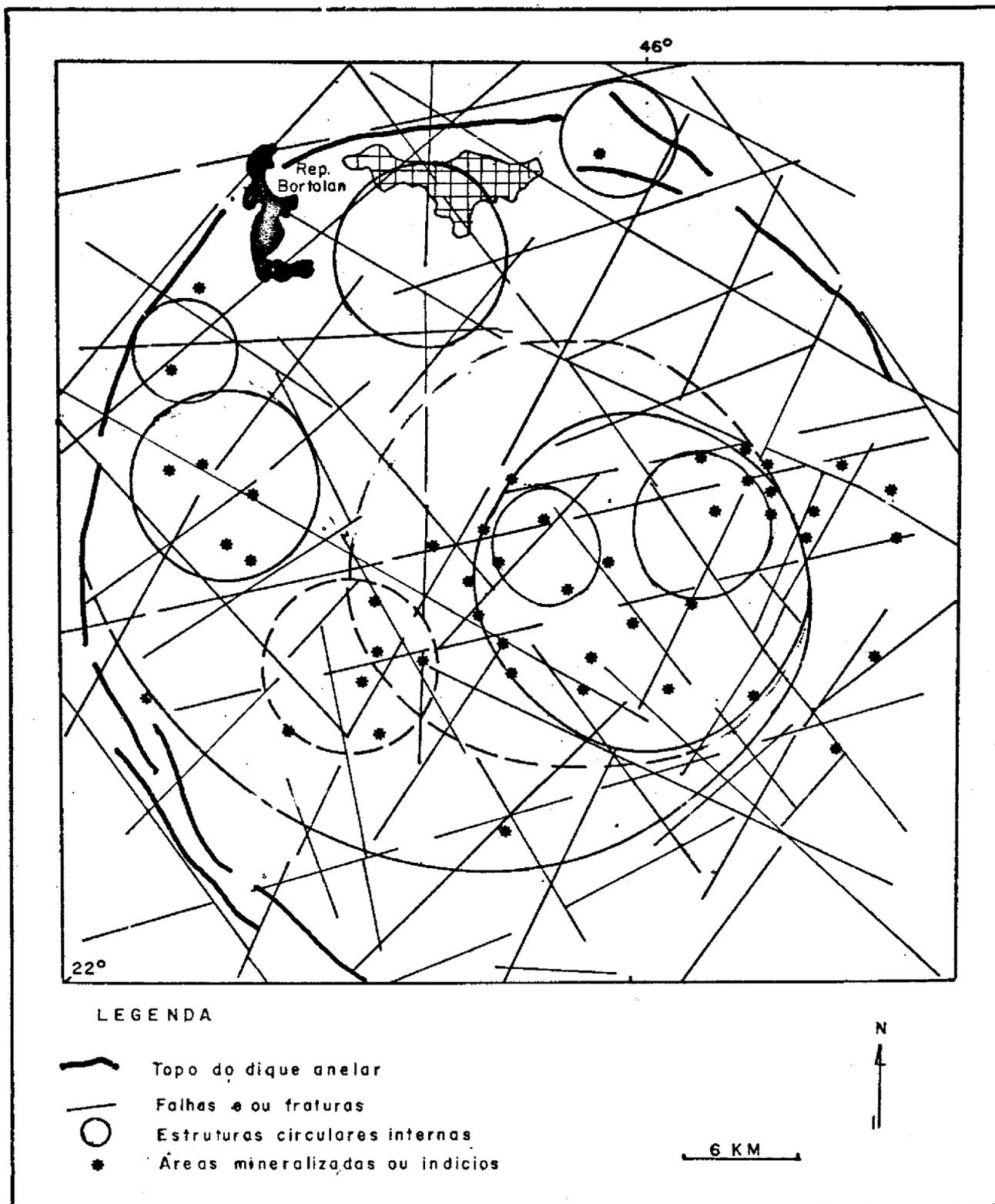


Fig. V.1 - Esboço estrutural do Maciço de Poços de Caldas, baseado em interpretações automáticas e visuais de imagens LANDSAT. Notar que a distribuição das áreas mineralizadas está fortemente condicionada às estruturas circulares internas.

mento de grande número de falhas ainda não conhecidas, mostrando os principais padrões de falhamentos vigentes no interior do Maciço. Res salte-se ainda a presença das estruturas circulares internas, não men cionadas em mapas pré-existentes do Planalto.

Uma análise sobre a posição das áreas de ocorrência das mineralizações radioativas, no interior do Maciço Alcalino, representadas pelos pontos de 1 a 47 sobre o mapa da Figura II.1, não permite que se estabeleça com segurança algum parâmetro condicionante para as mes mas. Elas estão distribuídas por todo o Planalto e sobre as mais dife rentes litologias, desde os tufos e piroclásticos, até a rocha potáss ca, passando pelos tinguaitos e foiaitos.

O número de falhamentos conhecidos, do mesmo modo, não su gere a existência de qualquer condicionamento desta natureza.

Se sobre o mapa da Figura V.1, obtido de interpretações visuais e automáticas de imagens, forem plotadas as áreas de mineralizações e indícios radioativos conhecidos (Tabela II.3), notar-se-á que elas não estão distribuídas aleatoriamente, como sugere o mapa da Figu ra II.1. Ao contrário, as mineralizações e indícios parecem forçosamen te condicionados a distribuírem-se ao longo das bordas, ou no interior das estruturas circulares internas.

A constatação deste fato poderia explicar a presença de áreas mineralizadas, ou com indícios de mineralizações, nas mais dife

rentes regiões do Maciço Alcalino. Assim, a grande estrutura em semi-círculo, próximo às bordas E-S-W da chaminé, parece responsável pelas anomalias 8 e 15 (Anomalia SW de Águas da Prata e Lagoa Dourada - vide Figura II.1).

A estrutura circular-dômica da porção centro-Este do Maciço e as duas menores em seu interior (Figura IV-6), parecem responsáveis pela maioria das áreas mineralizadas conhecidas no interior do Complexo, destacando-se entre elas o Morro do Ferro, o Campo do Agostinho e o Setor C/09.

A existência de uma outra estrutura circular, a SW do Maciço, foi sugerida pelos resultados obtidos através do Density Color Slicer e I-100. Se confirmada, tal estrutura seria responsável pelas anomalias de número 9 a 14 (Tabela II.3), conhecidas naquela região, correspondentes às áreas de Vilela, Moirões, Tamanduá, Ch. Sul e indícios E-C/05 e A-C/04.

As mineralizações das áreas Quirinos, Serrote e Cascata, relacionam-se às estruturas circulares observadas naquela região do Maciço (Figura V.1).

Os veios de caldasito próximos à pedra balão, totalmente afastados das áreas mineralizadas conhecidas, poderiam ser explicados pela existência da estrutura circular, sobre o grande dique anelar, na borda norte do Complexo (Figura IV.9), a Este da cidade de Poços de Cal

das, dentro da qual aqueles veios se localizam.

Para as mineralizações de números 16 a 19 (Figura II.1), correspondentes às áreas de Espingarda, D. Elisa, Pires e Cascalho, alinhadas na borda E-SE do Maciço, não foi notada a existência de estruturas que as condicionassem. No entanto, naquela região, o grande dique anelar externo do Maciço foi totalmente rompido, indicando a presença de grandes esforços na área, aos quais poderiam estar condicionadas aquelas mineralizações.

Os fatos acima expostos sugerem que os condicionamentos das mineralizações radioativas no Planalto de Poços de Caldas, não parecem ser de natureza litológica, ligados à rocha potássica. A própria distribuição daquela unidade litológica parece estar, como as mineralizações radioativas e a Unidade Fotogeológica C, diretamente relacionadas à presença das estruturas circulares internas.

### 5.3 - MAPA CINTILOMÉTRICO

A análise do mapa cintilométrico do Planalto (CNEN, 1974), Figura V.2., corrobora as idéias expostas no item anterior, referente à importância das estruturas circulares internas, no condicionamento das mineralizações radioativas. Como se pode observar, comparando-se as Figuras V.1 e V.2, as maiores anomalias radiométricas estão dispostas ao longo das bordas, ou no interior das referidas estruturas circulares. Desse modo, a estrutura em semi-círculo da borda E-S-W do Maciço parece

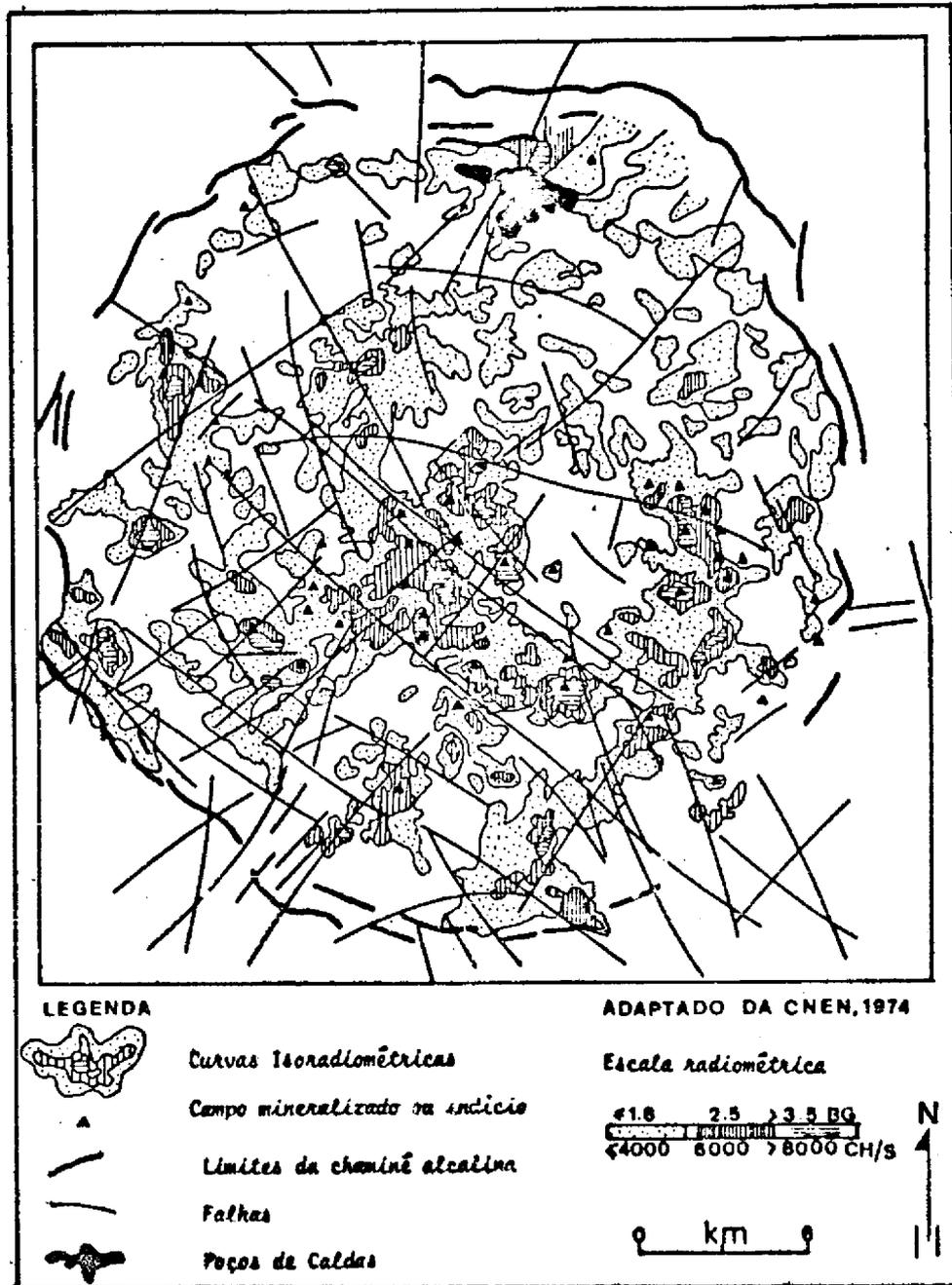


Fig. V.2 - Esboço Radiométrico do Planalto de Poços de Caldas

responsável pelas anomalias observadas ao longo de seus contatos. Na área Centro-Este do Complexo, as maiores anomalias radiométricas ajustam-se praticamente com os limites da estrutura maior, observada naquela região. Também as estruturas das regiões Quirinos, Serrote e Cascata, são acompanhadas de anomalias radiométricas, assim como aquela a Este da cidade de Poços de Caldas, sobre o grande dique anelar externo.

#### 5.4 - ESBOÇO ALTIMÉTRICO

O esboço altimétrico do Planalto (Figura V.3) mostra que as estruturas circulares exerceram, também, forte controle na topografia interna do Maciço, determinando os padrões de drenagem vigentes, como já foi visto. As cotas topográficas acima de 1.350 m aproximam-se, em linhas gerais, do traçado da Unidade Fotogeológica C, que, como vimos, ocorre predominantemente nos sítios das referidas estruturas (Figura V.1).

Este fato permite concluir que, tanto no que se refere à interpretação visual, quanto à automática, aquela unidade fotogeológica representa apenas respostas espectrais de alvos topograficamente mais elevados, não possuindo desta forma, significado litológico.

A relação entre tal unidade e as estruturas circulares é clara na medida em que estas, pelo caráter dômico que possuem, sustentam as cotas mais altas no interior do Maciço.

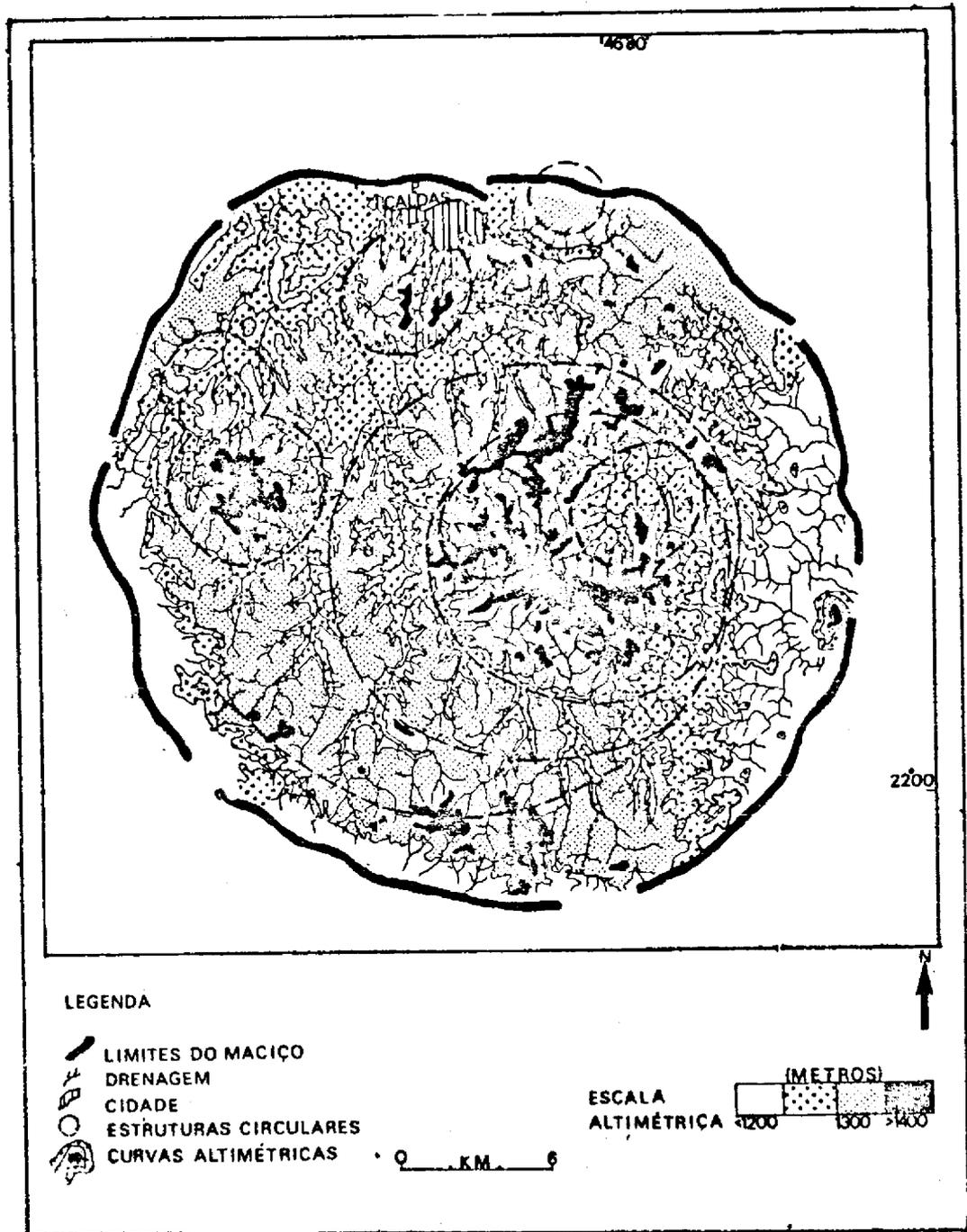


Fig. V.3 - Esboço altimétrico do Maciço. Observar que as cotas topográficas mais elevadas ocorrem, em geral, nos sítios das estruturas circulares internas.

Mesmo não envolvendo significado litológico, aquela unidade fotogeológica reveste-se de grande importância, uma vez que ela mostra características espectrais próprias, de grande importância, como novo parâmetro no reconhecimento e delimitação das estruturas circulares.

A estreita associação entre as mineralizações radioativas e a Unidade Fotogeológica C, caracterizada por um relevo acidentado, e as estruturas circulares internas, explica o porquê das áreas mineralizadas em urânio apresentarem-se sempre com relevo acidentado, onde em geral os córregos formam vales em "V". Esta associação entre áreas mineralizadas e relevo acidentado já fora constatada por A. G. Oliveira (cit. oral, 1974).

#### 5.5 - MAPA AEROMAGNETOMÉTRICO

Analisou-se também o Mapa Aeromagnetométrico do Maciço Alcalino, comparando-o com os dados extraídos das interpretações visuais e automáticas das imagens.

As curvas isomagnéticas parecem refletir mais a estrutura regional do que local, de tal modo que a própria caracterização do Maciço é dificultada (Figura V.4).

Para o interior do Complexo, o comportamento das curvas não é influenciado pela presença das estruturas circulares. Tal fato po

de ser justificado pela uniformidade de tipos litológicos envolvidos, o que em termos de suscetibilidade magnética, explicaria as respostas obtidas.

Outra dificuldade encontrada na interpretação destes dados geofísicos, reside no fato das curvas isomagnéticas estarem representando o campo magnético total, de tal modo que as anomalias apresentam-se sempre de maneira bi-polar. Para a solução deste inconveniente, foi tentado um tratamento dos dados a partir da técnica do Trend Surface Analysis, o que, entretanto, não forneceu resultados satisfatórios (Figura V.5).



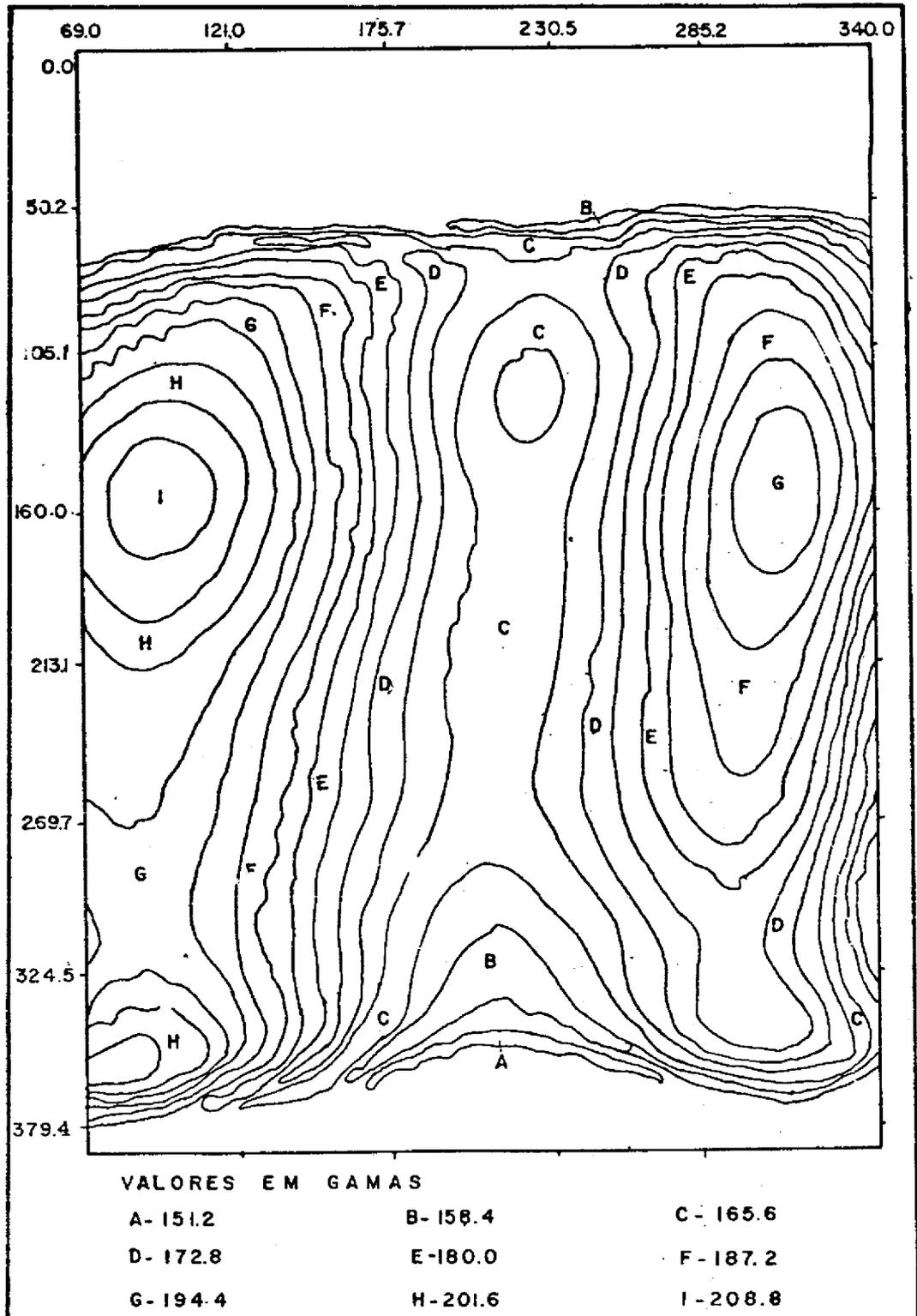


Fig. V.5 - Superfície de Tendência de Oitavo Grau, pelo Método Polinomial, a partir de Dados Aeromagnetométricos da Região do Maciço Alcalino.



## CAPÍTULO VI

### EVOLUÇÃO GEOLÓGICA DA ÁREA E MINERALIZAÇÕES RADIOATIVAS

Uma análise bibliográfica sobre processos evolutivos de maciços alcalinos no Brasil, demonstra a escassez de estudos sobre o assunto.

Embora considerando o mérito indiscutível da proposição do mecanismo evolutivo em Poços de Caldas por Ellert (1959), quando foram usadas tão somente informações geológicas, muito pouco foi desenvolvido neste sentido, por trabalhos posteriores na região, apesar de novos tipos de dados (geocronológicos, cintilométricos, magnetométricos, de sensores remotos etc.) estarem disponíveis atualmente.

A tentativa de se agrupar as relações existentes entre os diferentes dados obtidos, dentro do esquema evolutivo anteriormente proposto, apresentava alguns aspectos conflitantes, o que levou à necessidade de uma revisão bibliográfica, reportando a processos de desenvolvimento de complexos similares em várias regiões do mundo, que permitissem delinear uma tendência evolutiva mais completa, à luz dos novos conhecimentos.

As proposições aqui apresentadas, longe de servirem para uma definição final sobre um assunto tão complexo, são conotadas como uma contribuição na orientação de novos estudos sobre a área.

## 6.1 - DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO EVOLUTIVO

A observação sucinta dos traços estruturais regionais revela, com clareza, o forte condicionamento imposto por falhamentos nos limites atuais do complexo alcalino de Poços de Caldas. Um controle poligonal, resultante de intersecções de linhas de rupturas regionais, forneceu a zona de fraqueza por onde o magma ascendeu e extravasou à superfície, sendo tais falhamentos de idade provavelmente Pré-Cambriana, rejuvenescidos durante os episódios da "Reativação Wealdeniana", que atuaram na região.

Correlações semelhantes de falhas do embasamento, reativadas no início de processos de formação de maciços circulares, foram observadas por Branch (1966) na Austrália, por Budanov (1969) em complexos anelares meso-cenozóicos no deserto da Arábia (Gebel Abu Huk), como também por Maksimov (1970, 1973) na descrição evolutiva de vários maciços alcalinos circulares mesozóicos, presentes no escudo de Aldan (complexo de Tommot, principalmente). Aspecto importante também mencionado por Maksimov (1973), se relaciona à importância de tais falhamentos, no condicionamento de feições estruturais internas, de maciços alcalinos daquela região.

A atividade vulcânica em Poços de Caldas, portanto, seria precedida ou ocorreu concomitantemente com o levantamento em blocos do embasamento, ocasionado por falhas regionais reativadas. Tal fase seria caracterizada pela alternância de eventos efusivos e explosivos, com os riscos destas atividades sendo representados pelos domínios inter

calados de lavas ankaratríticas em materiais piroclásticos, aglomerados, tufos e brechas, depositados sobre sedimentos Botucatu.

Relativos a uma fase vulcânica inicial em Georgetown Inlier, Austrália, Branch (1966) sugere um levantamento da crosta, colocada em estado de tensão pela influência da câmara magmática subjacente, situada a níveis profundos (crosta inferior, provavelmente). Isto resultaria em um soerguimento, com falhas do embasamento sendo rejuvenescidas, e a atividade vulcânica ocorrendo, com a subida do magma dando-se através de descontinuidades entre os blocos afetados.

Em Poços de Caldas, a presença de vestígios de lavas e brechas, em quase todo o bordo interno do Maciço e pequenos afloramentos de tufos em regiões centrais, sugere uma atividade vulcânica abrangendo pelo menos toda a área atualmente ocupada pelo complexo. De fato, levantamentos geológicos recentes (Oliveira et. al., 1975) constataram a presença de rochas sedimentares clásticas, associadas ao vulcanismo alcalino, a aproximadamente 12 km ao norte do Maciço, indicando uma atividade que não se restringiu aos limites atualmente preservados.

Björnberg (1959), no estudo das rochas clásticas do Planalto, menciona como provável, ter havido a deposição simultânea dos arenitos e dos tufos, nas fases iniciais do vulcanismo, ou que tenha ocorrido um retrabalhamento de ambos, em épocas posteriores. Cita, também, que as brechas parecem ser posteriores aos arenitos e anteriores ao final das últimas manifestações do processo evolutivo, pois apresentam-se

cortadas por intrusões alcalinas (tinguaítos), em muitos pontos onde afloram. Menciona ainda que, em virtude da ausência de boas exposições vulcânicas e da complexidade das rochas desta fase, é quase impossível situar, na região estudada, os centros vulcânicos do passado. Aquele autor, baseando-se em observações de campo, apresenta conjecturas sobre um possível avanço da intrusão para o alto durante o seu "emplacement", referindo-se também à eventualidade da presença de uma zona de fraqueza, acompanhando o contato atual do Maciço com a encaixante, possibilitando, assim, a ascensão do magma, na fase vulcânica inicial.

Dados geocronológicos K/Ar\*, de rochas do Maciço, fornecem idades discordantes de 87.1 e 76.6 m.a. para lavas ankaratríticas\*\*, com evidências de campo mostrando metamorfismo local por intrusões posteriores. Por esta razão, tais valores devem ser considerados como os limites mais recentes da atual idade das rochas, com as lavas possuindo deste modo uma idade mínima de 87.0 m.a. (Bushec, inédito).

No desenvolver do processo, o extravasamento do magma deve ter provocado uma diminuição de pressão na câmara magnética, levando ao início da subsidência do edifício vulcânico, principalmente em sua parte central.

---

\* . Análises efetuadas no Centro de Geocronologia da U.S.P.

.. Análises efetuadas em Berkeley, U.S.A.

\*\* Os dados geocronológicos discutidos no texto estão indicados na Figura VI.1.

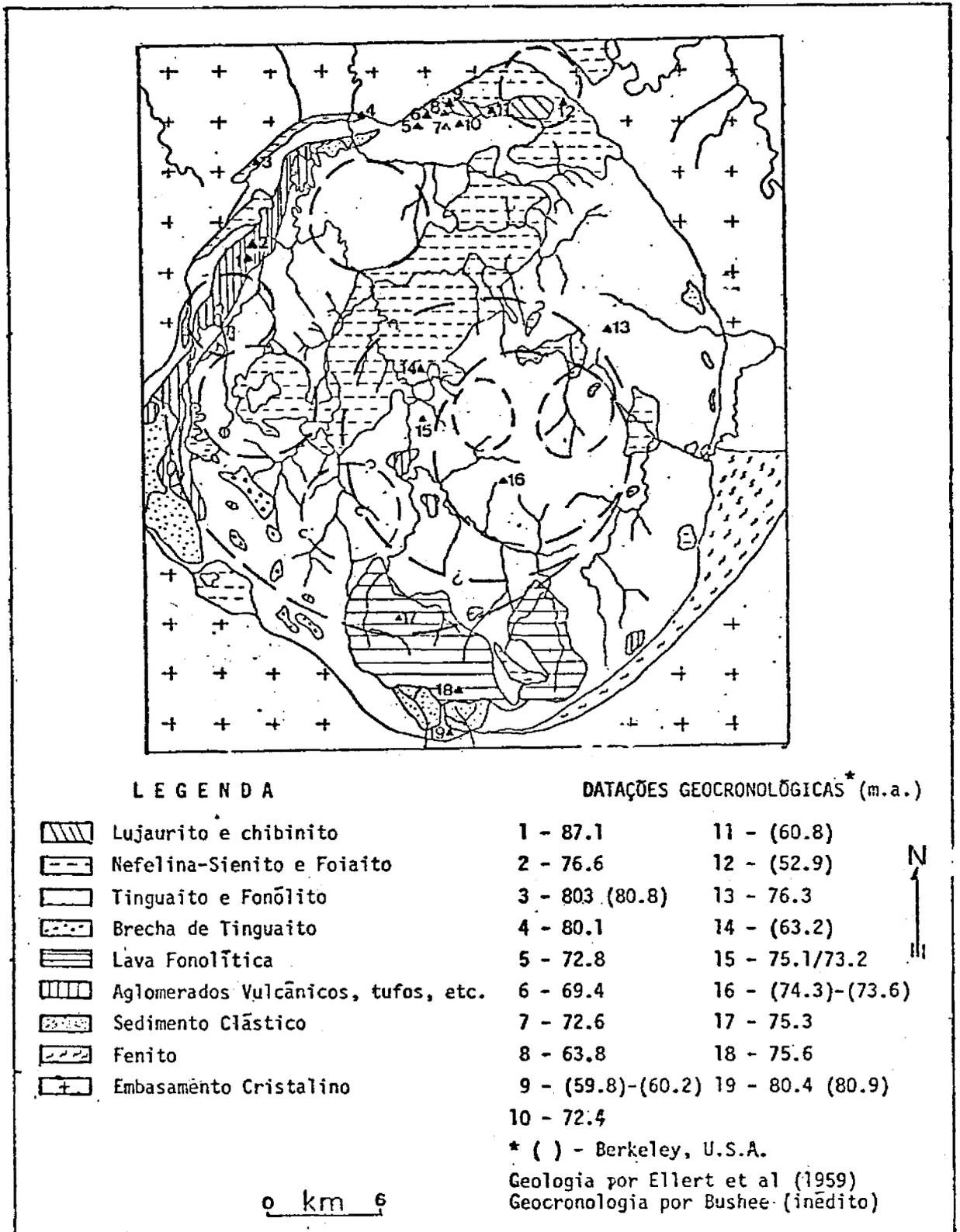


Fig. VI.1 - Localização das estruturas circulares internas e dados geocronológicos para o Maciço de Poços de Caldas.

Relativo a uma fase similar, Budanov (1969), referindo-se ao complexo de Gebel Abu Hruk, correlaciona uma subsidência a falhamentos pré-existentes, associados a etapas iniciais. Existem, entretanto, dúvidas sobre a magnitude desta subsidência em Poços de Caldas. Analisa da tão somente pelas pequenas evidências disponíveis (mergulho suave dos sedimentos para o interior do Planalto, ausência do teto primitivo de arenito e gnaisse nas regiões centrais e presença de tufos e piroclásticos na área Centro-Sul do Maciço), talvez a hipótese idealizada por Björnberg (1959) seja a mais aceitável para explicá-la. Este autor propõe um levantamento inicial (com abaulamento) dos sedimentos e embasamento pela intrusão alcalina. Tais tipos litológicos devem ter se mantido sobre o magma subjacente. Posteriormente, a ação erosiva e um abatimento em áreas centrais forneceram, ao Maciço, condições para a sua configuração atual (expondo inclusive tipos plutônicos no centro), eliminando assim o teto primitivo. A presença de afloramento de tufos e rochas piroclásticas, porém, exigiria um vulcanismo demorado no tempo, atuando após a erosão ter arrasado as regiões centrais. De qualquer modo, o abatimento deve ter ocorrido e concomitantemente com a subida do magma, formando na periferia do Complexo o grande dique anelar. Os espaços vazios, causados pela subsidência, seriam refletidos nestas áreas marginais, pela presença de fendas anelares, que constituíram os canais de comunicação da câmara magmática com a superfície, na primeira fase intrusiva (fase de "emplacement" do dique anelar).

O abatimento entre diques anelares, já foi mencionado em várias regiões, por autores diversos, tais como Smith et. al. (1961), Branch (1966), Budanov (1970) e Maksimov (1970, 1973).

Maksimov (1970, 1973), referindo-se aos complexos anelares alcalinos no escudo de Aldan, generaliza por dois tipos principais de desenvolvimento, de acordo com a disposição dos derivados de cada fase evolutiva. Em um destes tipos, os correspondentes das etapas intrusivas iniciais estão dispostos ao longo da periferia e são sucessivamente recolocados, em direção ao centro do complexo, pelos derivados das fases finais (Maciço de Dzhekonda). Em outro, ocorre o reverso da sequência de formação das rochas intrusivas, que apresentam um caráter de migração no tempo das bordas para o centro (Maciço de Tommot).

O dique anelar em Poços de Caldas é constituído de tinguaíto, semelhante aos encontrados nas outras partes do Maciço, tendo a diferenciã-lo, entretanto, a ocorrência de pequenos autólitos de microfoiaíto, bem como xenólitos, que foram levados com a ascensão do magma, principalmente na borda norte (Ellert, 1959).

Dados geocronológicos correspondentes a 3 amostras do dique anelar, fornecem idades concordantes de 80-81 m.a., sendo tais valores os mais elevados para o magma alcalino no Maciço, segundo as conclusões de Bushée (inédito).

Tal idade aparente deve indicar a época na qual o magma esfriou ao ponto de retenção significativa de argônio, correspondendo ao início da história intrusiva, com o "emplacement" do grande dique anelar.

Deve-se ressaltar, entretanto, que é muito discutível tirar-se conclusões, com base em tais dados geocronológicos. O próprio erro analítico envolvido dificulta em muito a utilização de tais determinações, que infelizmente são as únicas disponíveis.

A presença no Planalto de lavas fonolíticas, como descritas por Ellert (1959), ou englobadas como fonolitos pela CNEN (1974), com duas idades K/Ar de 75.3' e 75.6' m.a., dificulta precisar sua situação no processo evolutivo. O primeiro autor admite uma origem relacionada à fase de vulcanismo inicial em que, seguindo-se aos tipos básicos do clã alcalino (lavas ankaratríticas), ocorreria, na área sul do complexo, uma segunda atividade vulcânica, representada pelas lavas fonolíticas. Já Bushee (inédito), na discussão dos resultados geocronológicos sobre o Maciço, fornece opinião favorável a uma origem comum destas lavas com o magmatismo que produziu os correspondentes tinguaíticos "pós-dique anelar", dissociados, portanto, do vulcanismo ankaratrítico. Segundo aquele autor, nos estágios iniciais da fase intrusiva ocorreria um fracionamento do magma tinguaítico, fornecendo os derivados extrusivos, sendo, o restante do material, atuante como correspondente intrusivo do "bulk" do Maciço.

Realmente, se analisarmos os valores geocronológicos disponíveis, existe uma contemporaneidade das idades das lavas fonolíticas com os valores obtidos para as intrusões tinguaíticas, posteriores à formação do dique anelar. Entretanto, o mesmo autor não descarta a possibilidade de que tais lavas tenham sofrido suficiente aquecimento, a

ponto de expelir argônio, por intrusões tinguaiticas posteriores, podendo ser, portanto, tão velhas ou mais que 80-81 m.a., época admitida como início da atividade intrusiva.

Outro aspecto que deve ser relevado, é a possibilidade de um vulcanismo demorado no tempo, responsável pela presença de tufos e rochas piroclásticas nas regiões centrais do Maciço, após a ação erosiva, hipótese já aventada por Björnberg (1959).

A impossibilidade, no estágio atual dos conhecimentos, de uma maior definição sobre a situação destas lavas, deixa em aberto uma análise conclusiva.

Para o interior do Planalto, o processo intrusivo ocorreria, num tempo posterior à intrusão do dique anelar, se considerada a idade de 76.3 m.a., como valor máximo para correspondentes tinguaiticos das regiões centrais. Como o suporte desta afirmação é meramente geocronológico, ela deve ser considerada com reservas.

O principal problema que se evidencia no interior do Maciço é a grande similaridade entre os tipos litológicos envolvidos, com filiação a partir do mesmo magma alcalino, aliado ao fato de que as relações de contato presentes, envolvem aspectos gradacionais e em parte alterados intempericamente. Tais variáveis colaboram para a dificuldade de que, na ausência de um estudo pormenorizado de campo, se estabeleçam as identidades entre as fases do processo cuja diferenciação torna-se

quase impossível. Ellert (1959), para citar apenas um dos trabalhos em que foram considerados tais aspectos, menciona: "... nas partes centrais, em virtude da uniformidade litológica, não se notam feições estruturais e morfológicas, que permitam hipóteses quanto a forma geométrica das intrusões". (pag. 37).

As interpretações a partir de imagens orbitais, entretanto, mostram características novas, reveladas a partir da homogeneidade de tomada de cena de todo o Planalto, aspecto importante, cuja obtenção é impraticável, utilizando-se recobrimentos fotográficos convencionais.

Pe los novos dados, é razoável supor que a forma geométrica das intrusões possa se refletir pela presença das estruturas circulares internas, de tal modo que as correlações de disposição entre elas, evidenciaria um mecanismo em multifases para o magmatismo tinguaitico.

A melhor preservação das estruturas circulares internas de menores dimensões, bem como suas presenças, mascarando as continuidades das maiores, sugerem um critério de evolução em que as de maiores dimensões seriam as inicialmente formadas.

Dentro deste raciocínio, a maior estrutura circular interna, hoje parcialmente representada pela sua borda sul, em virtude de intrusões posteriores em seus limites restantes, seria, entre as presentes, a mais antiga. Se considerado tal argumento, teríamos na massa tinguaítica que a envolve, os produtos iniciais do magmatismo pós-dique

anelar. A única datação geocronológica disponível para esta região, fornece o valor de 76.3 m.a. que, apesar de corresponder à maior idade obtida para o magma tinguaítico do interior do Maciço, é ainda insuficiente para a comprovação da sugestão proposta.

Com relação a esta estrutura circular, também merece citação a presença de dois valores K/Ar (75.3 e 75.6 m.a.) de amostras distintas de lavas fonolíticas, relativas a pontos situados em regiões separadas pela continuidade da borda sul da estrutura mencionada. É bem verdade que tal diferença de idade não é significativa, pelo próprio erro ( $\pm 2\%$ ) e valor interpretativo limitado do método K/Ar, porém, coincidentemente, o valor inferior situa-se internamente ao limite desta estrutura maior e poderia, também, refletir condições de aquecimento em parte da lava afetada pelo tinguaíto intrusivo subjacente.

No desenvolvimento do magmatismo intrusivo, teríamos posteriormente novas intrusões circulares, localizadas no interior da inicialmente formada e, provavelmente, condicionadas por falhamentos anteriores, correlação já citada por Maksimov (1973), para intrusivas internas em maciços alcalinos no escudo de Aldan.

Situar as diversas etapas deste mecanismo intrusivo em Poços de Caldas, torna-se problemático, principalmente pela inexistência de dados de campo e geocronológicos, em pontos representativos, aliado ao fato de se tratarem de eventos muito próximos no tempo, o que dificulta uma melhor definição pelos métodos radiométricos de idade.

Os valores geocronológicos disponíveis para o interior da estrutura da Região Centro-Este, são também discrepantes para uma correlação conclusiva. Realmente, duas datações K/Ar para uma mesma amostra do interior desta região, fornecem valores de 74.3'' e 73.6'' m.a. Como tais valores são muito próximos, o erro envolvido nestas determinações não permite uma conclusão final.

Somente em caráter especulativo, merece menção o fato de que as datações de amostras, situadas em estruturas circulares menores, resultam em valores de idades inferiores, quando comparados com a idade de 76.3' m.a. (ponto situado no limite da maior estrutura circular interna do Planalto).

A solução definitiva destes problemas, talvez possa ser em parte obtida por um estudo geocronológico sistemático, com pontos representativos sendo amostrados, com base nessas novas evidências.

Budanov (1969), no estudo do mecanismo de formação de complexos anelares, em especial de Gebel Abu Hruk, refere-se à presença de "stocks" em fases finais do processo evolutivo. Maksimov (1970, 1973), nos complexos de Aldan, menciona que tais maciços são caracterizados pelo desenvolvimento de intrusivas centrais, usualmente "stocks" ou corpos cônicos, localizados confocalmente ou irregularmente em relação à estrutura circular geral. Em complexos constituídos de rochas pertencentes à associação alcalina ou sub-alcalina, as intrusivas centrais são relativamente relacionadas às fases finais do processo evolutivo.

Uma característica interessante, também notada em Poços de Caldas, é o caráter circular-dômico observado nas imagens de algumas das estruturas mais bem preservadas no interior do maciço: região Centro-Este, Quirinos-Serrote e próximo à represa Bortolan, feições típicas das fases intrusivas que aí se teriam desenvolvido. Para as estruturas restantes faltam tais características, principalmente as maiores, que devem ter sido afetadas por intrusões posteriores.

A fase final do processo magmático em Poços de Caldas, seria assinalada inicialmente pela presença dos tipos plutônicos (foiaítos) aflorantes nas regiões centrais, seguidas por episódios tardios, atuantes no extremo norte ocidental do Maciço.

Analisando os dados geocronológicos desta fase intrusiva final, o valor de 63.2'' m.a. corresponde ao grande "stock" de foiaíto localizado na região Centro-Norte (foiaíto Aeroporto). Apesar de seus contatos com as encaixantes tinguaíticas em muitos pontos serem inferidos, o seu caráter intrusivo é marcante e sua disposição alongada, situando-se entre estruturas circulares da fase tinguaítica precedente, insinua um mecanismo intrusivo manifestando-se ao longo da zona de fraqueza, formada por falhamentos tangentes às estruturas circulares anteriores. Em seu extremo ocidental, parte do corpo foiaítico fornece a continuidade da estrutura circular da área Quirinos-Serrote.

Em outras regiões, vários corpos de foiaíto do processo intrusivo final acompanham claramente as bordas de certas estruturas circulares, adaptando-se, deste modo, a zonas de fraquezas pré-existentes.

Os últimos eventos da fase intrusiva final teriam se desenvolvido, por algum motivo, no extremo norte do Maciço, rompendo a continuidade do grande dique anelar. Tais atividades seriam responsáveis pelos valores reduzidos de idades radiométricas, encontradas para quatro amostras de tinguaitos internos adjacentes (72.8', 72.6', 72.4' e 69.4' m.a.), relacionados a um provável aquecimento e consequentemente perda de argônio para as idades obtidas.

A atividade magmática nesta região seria marcada, inicialmente, por intrusões de lujauritos de chibinitos (60.8'' m.a.), ocorrendo concomitante ou precedendo às intrusões de "stocks" de foiaítos (59.8'' e 60.2'' m.a.). Evidências de campo mostram que a presença dos lujauritos e chibinitos ocorreu antes das intrusões dos foiaítos. (Bushee, inédito).

A presença do "stock" foiaítico do rio Pardo, a NE desta área, parece representar uma continuidade do mesmo evento para regiões externas ao Maciço de Poços de Caldas.

A petrologia similar, bem como os valores geocronológicos próximos entre os tipos envolvidos, situam-nos como contemporâneos e provavelmente produtos da mesma geração de magmatismo.

Finalmente, completando as atividades na área, teríamos a ocorrência de diques menores de fonólitos (52.9'' m.a.), cortando o grande dique anelar, os foiaítos e eudialita-nefelina-sienitos. Tais

manifestações também corresponderiam às últimas atuantes nas alcalinas do estudo de Aldan (Maksimov, 1970 e 1973) e de Gebel Abu Hruk (Budanov, 1969).

Situar, dentro do processo evolutivo, uma estrutura com característica circular, identificada no extremo NE do Planalto, é difícil pela ausência de dados ou relações de campo. A sua localização numa região onde ocorrem tipos intrusivos finais, pode sugerir um evento relacionado ao final do processo magmático do Maciço.

Assim, a atividade intrusiva total deve ter se desenvolvido no intervalo não maior que 28 m.a. (Bushee, inédito), iniciando-se no Cretáceo (81 m.a.) e com seus episódios finais atingindo o Paleoceno Superior (53 m.a.).

O processo magmático pode ser individualizado em muitas etapas evolutivas, principalmente a intrusiva, em que cada fase deve ter sido injetada sucessivamente. Os resultados obtidos também comprovam, desde que consideradas as proporções envolvidas, as existências de muitas analogias com a evolução de complexos similares e outras regiões do mundo.

## 6.2 - MINERALIZAÇÕES RADIOATIVAS

A análise dos trabalhos abordando a origem das mineralizações radioativas em Poços de Caldas, apresenta a tendência da maioria

dos autores em atribuir ao minério uma origem associada a processos de hidrotermalismo, até hoje atuantes, manifestados pela ocorrência de várias fontes termais na região.

Decorrido o processo magmático, ou concomitante com seus estágios evolutivos finais, a presença das estruturas circulares, no interior do Maciço, desempenhou papel fundamental no controle das mineralizações. O grande número de falhamentos desenvolvidos nos sítios dessas estruturas ou em suas bordas, às vezes delimitando seus contatos, criou zonas de fraqueza favoráveis, através das quais percolaram as soluções mineralizantes. Fato semelhante foi constatado por Butakova (1967), nos maciços alcalinos de Tuva, onde a mineralização pós-magmática foi controlada pelos mesmos sistemas de falhas, que serviram de conduto ao magmatismo.

Em Poços de Caldas, Tolbert (1958) reconheceu a importância de falhamentos como condicionantes dos veios zircono-uraníferos. As mineralizações da área Quirinos e Serrote, diretamente relacionadas às estruturas circulares visíveis em imagens LANDSAT (Fig. V.1), já foram motivo de menção por Ellert (1959), quando aquele autor constatou a disposição das mineralizações, nos limites de um corpo foiaítico intrusivo, com aspecto circular, encaixado em tinguaitos. Para as mineralizações molibdo-uraníferas, Oliveira (1974) reconheceu novas características condicionantes. Para aquele autor, as melhores concentrações de minério ocorrem nas zonas de maior esmagamento tectônico, nos contatos da rocha potássica e foiaitos hidrotermalizados com tinguaitos e fonólitos,

notando-se uma nítida disposição dos indícios anômalos, nos limites de uma estrutura circular ali observada. A análise das imagens LANDSAT permite uma perfeita delimitação desta estrutura, bem como possibilitou a definição de duas outras menores, dispostas no seu interior (Fig. V.1).

Os dados acima citados reforçam a idéia da correlação existente entre as estruturas circulares internas e as mineralizações radioativas no Maciço.

Convém salientar, ainda, que as análises automáticas e visuais das imagens definiram outras estruturas de características semelhantes, em que este relacionamento com anomalias radiométricas parece persistir.



## CAPÍTULO VII

### CONCLUSÕES

Com base nas discussões anteriores, os autores concluem que:

- a) As imagens multiespectrais LANDSAT, principalmente o canal 7, caracterizam com nitidez o Maciço Alcalino, bem como diversas estruturas anelares em seu interior.
- b) A metodologia empregada, incluindo interpretações visuais e refinamentos através de análises automáticas, integrada a dados bibliográficos, demonstrou ser eficiente no estudo das relações geológico-estruturais presentes no Maciço. A aplicação de técnicas de sensoriamento remoto delineou novas perspectivas no conhecimento da geologia da área, considerada a mais bem estudada das intrusões alcalinas no Brasil.
- c) A interpretação das imagens em escala 1:1.000.000 permitiu caracterizar grandes falhamentos regionais, condicionantes do Maciço Alcalino.
- d) Parecem claras as relações existentes entre as estruturas circulares internas e as mineralizações radioativas. Tais estruturas e os falhamentos a elas associados, constituiriam o principal fator condicionante das citadas mineralizações na área.

- e) A Unidade Fotogeológica C, com seu relevo acidentado sustentando as cotas mais altas no interior do Maciço, coincide, em linhas gerais, com as estruturas circulares internas. Os dados obtidos permitem concluir que esta unidade representa apenas respostas espectrais de alvos topograficamente mais elevados. A relação entre ela e as estruturas anelares existe, na medida em que estas, pelo caráter dômico que apresentam, são responsáveis pelo relevo alto e acidentado em seus sítios. Este fato explica porque as mineralizações radioativas estão preferencialmente localizadas em áreas de relevo acidentado, onde os córregos, em geral, formam vales em "V".
- f) Os dados aeromagnetométricos não permitiram a definição das estruturas circulares internas, talvez em virtude da grande homogeneidade litológica dos nefelina-sienitos. A diferença de susceptibilidade magnética entre o Maciço e as encaixantes granito-gnâissicas; explica a identificação relativa dos limites do Planalto, através daquele levantamento geofísico.
- g) A rocha potássica está diretamente relacionada às estruturas circulares, por representar o produto final do hidrotermalismo nos nefelina-sienitos, explicando, assim, seu estreito relacionamento com as mineralizações radioativas.
- h) Os dados obtidos recomendam a prospecção de novos depósitos, nas áreas das estruturas circulares ainda não pesquisadas, assim como sugerem o uso da metodologia empregada no estudo de outros maciços alcalinos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores são especialmente gratos ao Prof. Dr. Gilberto Amaral, pela orientação no desenvolvimento do trabalho, e aos demais membros da Banca Examinadora, pelas observações, sugestões e críticas apresentadas.

Agradecem também às seguintes pessoas:

- Geólogo Liu C. Chiang
- Dr. Cláudio R. Sonnenburg
- Eco. Renê A. Novaes
- Analista José C. Moreira
- Geóloga Verônica S. Pequeno
- Geólogo Astúrio G. de Oliveira
- Eng. Resk Frayha

e a todos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.



## BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, F.F.M. de. *Origem e Evolução da Plataforma Brasileira*.  
Rio de Janeiro, DNPM-DGM, 1967. p.36. (Boletim 241)
- . Diferenciação Tectônica da Plataforma Brasileira. In: *ANAIS XXIII Congresso Brasileiro de Geologia*. Salvador, Soc. Bras. de Geol., 1969. p. 29-45.
- . Condicionamento Tectônico do Magmatismo Alcalino Mesozóico do Sul do Brasil e do Paraguai. *ANAIS da Academia Brasileira de Ciências*, 43 (3/4): 835-836, 1971.
- ALMEIDA FILHO, R. e PARADELLA, W.R. *Relatório Preliminar do Projeto Alumínio durante o ano de 1974*. São José dos Campos, INPE, 1975 (601-RI/286).
- . *Identificação de áreas de argila na região das cabeceiras do Rio Claro (M.G.), através de análise automática de dados do LANDSAT*. São José dos Campos, INPE, 1976. (964-NTE/073)
- . *Mapeamento Automático de Áreas Favoráveis à Ocorrência de Argilas no Planalto de Poços de Caldas*. São José dos Campos, INPE, 1976. (inédito)
- AMARAL, G. *Geologia Pré-Cambriana da Região Amazônica*. Tese de Livre Docência, São Paulo, Inst. de Geoc. da USP, 1974. p.212.
- . *Aplicabilidade da Interpretação Automática de Imagens LANDSAT para Prospecção Mineral*. São José dos Campos, INPE, 1976 (Inédito).

AMARAL, G.; BUSHEE, J.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K. e REYNOLDS, J.H.

Potassium-Argon Ages of Alkaline Rocks from Southern Brazil.

*Geoch. Cosmoch. Acta*, 31: 117-142, 1957.

ARGENTIERE, R. Minérios de Urânio e Tório no Brasil. *Mineração e Metalurgia*, 15 (90), 1959.

BARBOSA, O. Nota Sobre Algumas Rochas da Região de Poços de Caldas.

*ANAIIS da Academia Brasileira de Ciências*, 6 : 211-219, 1934.

———. *Notas Preliminares sobre o Planalto de Poços de Caldas e suas Potencialidades Econômicas*. Rio de Janeiro, DNPM-SFPM, 1936.  
p. 33. (Avulso, 8).

———. Sobre a Idade das Rochas Alcalinas e a Origem do Planalto de Poços de Caldas. *Mineração e Metalurgia*, 13 (76): 235-236, 1948.

BERGAMINI, E.W. *Filtragem bi-dimensional de imagens empregando filtros digitais recursivos de 1a. ordem*. São José do. Campos, INPE, 1976.  
(Inédito).

BJORNBERG, A.J.S. Arenitos do Bordo do Planalto de Poços de Caldas.

*ANAIIS da Academia Brasileira de Ciências*, 28 (4): 465-471, 1956.

———. Rochas Clásticas do Planalto de Poços de Caldas. *Geologia*, 18 (237): 65-122, São Paulo. USP. FFCL., 1959.

BLODGET, H.W.; BRAUN, G.F. e MOIK, J.G. Geological Mapping in

Northwestern Saudi Arabia Using LANDSAT Multispectral Techniques.

In: NASA - *EARTH RESOURCES SURVEY SYMPOSIUM (I-B)*, Texas, 1975.

p. 971-991.

- BRANCH, C.D. *Volcanic Cauldrons, Ring Complexes and Associated Granites of the Georgetown Inlier, Queensland.* Canberra, Australia Bur. Mineral Resources - Geology and Geophysics, 1966. p.158. (Bull.76).
- BRANCO, J.J.R. *Notas sobre a Geologia e Petrologia do Planalto de Poços de Caldas, M.G.* Belo Horizonte, Inst. Pesq. Radioativas, U.M.G., 1956. p.76 (Publicação 5).
- BUDANOV, V.I. Mechanism of Formation of Ring Complexes. DOKLADY of the Acad. of Science USSR. Transl. by *American Geological Institute.* 191: 59-61, 1969.
- BUSHEE, J. *A Geochronological Study of the Alkaline Massif of the Poços de Caldas, Brazil.* Geochron. Lab. Depart. of Geology, USP. São Paulo, 1970. p.25. (Inédito).
- BUTAKOVA, Ye. I. Tectonic Conditions of Origin of Alkalic Rocks in East Tuva. *International Geology Review*, 9 (1): 13-24, 1967.
- CAMPOS, M; GUIMARÃES, D. e FIGUEIREDO, D.G. *Algumas Rochas Alcalinas de Poços de Caldas Relacionadas com a Jazida de Caldasito.* Belo Horizonte, Inst. Pesq. Radioativas, U.M.G., 1953. p.38 (Publicação nº 2).
- CHRISTOFOLETTI, A. Características Fisiográficas do Planalto de Poços de Caldas (MG-Brasil). *Geomorfologia*, 32, 1972.
- . A Unidade Morfoestrutural do Planalto de Poços de Caldas. *Notícias Geomorfológicas*, 13 (26): 77-85, 1973.

- COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). *Mapa Geológico do Planalto de Poços de Caldas.* Poços de Caldas, 1974-a.
- . *Mapa Radiométrico do Planalto de Poços de Caldas.* Poços de Caldas, 1974-b.
- . *Urânio no Brasil.* Rio de Janeiro, 1974. p.18.
- DERBY, O.A. On Nepheline Rocks in Brazil with Special Reference to the Association of Phonolite and Foyaite. *Quart. Jour. Geol. Soc. of London*, 43: 457-473, 1887.
- DIRKSEN, M. Pesquisa em Minerais Zirconíferos de Poços de Caldas. *Mineração e Metalurgia* 40 (240): 253-255, 1964.
- DMITRIYEV, D.N.; SHATILOV, S.V. e BULAKH, A. G. New Data on the Geology of Alkaline Ultramafic and Carbonatite Plutons of the Turiy Peninsula (Kola Peninsula) *Doklady of the Acad. of Science, USSR.* (transl. by *American Geological Institute*. 193: 102-105, 1970.
- DOIG, R. An Alkaline Rock Province Linking Europe and North America. *Canadian Jour. Earth Sciences* 7 (1): 22-28, 1970.
- DUTRA, C.V. O Método Chumbo-Alfa e idades de Zircões do Maciço Alcalino de Poços de Caldas. *Bol. do Inst. de Geol. da Escola de Minas de Ouro Preto.* 1 (3/4): 125-135. 1966.
- ELLERT, R. Contribuição à Geologia do Maciço Alcalino de Poços de Caldas. *Geologia* 18(237): 5-63, São Paulo. USP. FFCL, 1959.
- ERICKSON, J.D. Advances in Automatic Extraction of Earth Resources Information from Multispectral Scanner Data. In: NASA - *Earth Resources Survey Symposium (I-B)*, Texas, 1975. p. 1254-1274.

- FONTANEL, A.; BLANCHET, C. e LALLEMAND, C. Enhancement of LANDSAT Imagery by Combination of Multispectral Classification and Principal Component Analysis. In: NASA - *Earth Resources Survey Symposium* (I-B): Texas, 1975. p. 991-1012.
- FRAYHA, R. *Estudo Preliminar e Prospecção das Jazidas de Rochas Potássicas de Poços de Caldas*. Rio de Janeiro, DNPM-DFPM, 1950 p.11-109 (Boletim, 37).
- . *Rochas Potássicas (Planalto de Poços de Caldas)*. Rio de Janeiro, DNPM-DFPM, 1952. p.107-116. (Boletim, 93).
- . Ocorrências Uraníferas no Arenito de Águas de Prata. *Mineração e Metalurgia* 26: 201-205, 1957.
- . *Urânio e Tório no Planalto de Poços de Caldas*. Rio de Janeiro, DNPM-DFPM, 1962. p.75. (Boletim, 116).
- FRANCO, R.R. Minerais de Zircônio na Região de Poços de Caldas. *Mineralogia* 7 (USP): 7-28, 1945a.
- . Poços de Caldas e sua Jazida de Zircônio. *Digesto Econômico* 1 (4): 34-40; 1945b.
- FRANCO, R.R. e LOEWENSTEIN, W. Zirconium from the Region of the Poços de Caldas. *American Mineralogist* 33 (3/4): 142-151, 1948.
- FREITAS, R.O. de. As estruturas fósseis do Sistema Santa Catarina no Planalto de Poços de Caldas. *Boletim [da] Associação dos Geógrafos do Brasil* 3 (3): 25-37, 1943.
- . Jazimentos das Rochas Alcalinas no Brasil Meridional. *Mineração e Metalurgia* 8 (43): 45-48, 1944.

FREITAS, R.O. de Sobre um Akerito da Serra do Mirante. *Boletim [da] Sociedade Brasileira de Geologia* 5 (2): 77-90, 1956.

GENERAL ELECTRIC COMPANY. *Image-100 User Manual*. Flórida, 1975.  
p. 119.

GORSKY, V.A. e GORSKY, E. Contribuição ao Estudo de Caldasito do Planalto de Poços de Caldas. In: *XXII Congresso Bras. Geol., Resumo Conf. e Com.*, Belo Horizonte, Sociedade Brasileira de Geologia, 1968.  
p. 9-10.

———. Diferentes tipos de Mineralizações no Planalto de Poços de Caldas. In: *XXIV Congresso Bras. Geol., Resumo Conf. e Com.* Brasília, Sociedade Brasileira de Geologia, 1970. p.135-137. (Boletim Especial, 1).

———. Contribuição ao Estudo de Diferentes tipos de Mineralizações no Planalto de Poços de Caldas. In: *XXVII Congresso Bras. Geol., Resumo Conf. e Com.*, Aracaju, Sociedade Brasileira de Geologia, 1973. p. 19-21. (Boletim, 1)

———. *Contribuição à Mineralogia e Petrografia do Planalto de Poços de Caldas*. Rio de Janeiro, MME-CNEN, 1974. p.91. (Boletim, 13)

GUIMARÃES, D. *Origem das Rochas Alcalinas*. Belo Horizonte, Inst. Tecnol. Ind., 1947. p.103. (Boletim, 5).

———. *The Zirconium ore Deposits of the Poços de Caldas Plateau and Zirconium Geochemistry*. Belo Horizonte, Inst. Tecnol. Ind., 1948. p.78. (Boletim, 6).

———. *Princípios de Metalogênese e Geologia Econômica do Brasil*. Rio de Janeiro, DNPM-DFPM, 1965. p.625. (Boletim, 121).

- GUIMARÃES, D. e ILCHENKO, W. Rochas com Pseudoleucita ou Epileucita de Poços de Caldas. *Bol. Agricultura* 3 (1/2): 11-13, 1954.
- HASUI, Y e CORDANI, U.G. Idades Potássio-Argônio de Rochas Eruptivas Alcalinas Mesozóicas do Oeste Mineiro e Sul de Goiás. In: *ANAIS XXII Congresso Brasileiro de Geologia*. Belo Horizonte, Soc. Bras. de Geologia, 1968. p. 139-144.
- HUSSAK, E. *Ueber ein Leukokrates Gemischtes Ganggestein aus dem Nephelinsyenitgebiete der Serra de Caldas, Brasilien*. Neues Jb. für Min. Geol. und Paleon. Jb, 1900. Stuttgart Band I. p.22-28.
- ILCHENKO, V. e GUIMARÃES, D. *O Processo de Decomposição das Rochas Alcalinas do Planalto de Poços de Caldas, Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte, Inst. Tecnol. Ind., 1954. (Publicação, 3).
- KALINKIN, M.M. The Mechanism that Produced Concentric Folds and Faults in the Khibiny Pluton. *Doklady of the Earth Science Sections, Transl. by American Geological Institute*, 210: 67-70, Washington, 1973.
- KOTSEN, M. Ye. e ARTAMONOV, M.A. Aeromagnetic Prospecting for Carbonatites (East Sayan). *International Geology Review* 9 (2): 220-224., 1967.
- LIU, C.C; CARRARO, C.C. e YAMAGATA, S.K. *Geology of the Areas of the Upper São Francisco Basin and Furnas Dam (Brazil) based on Interpretation of ERTS-1 Imagery*. São José dos Campos, INPE, 1973 (395-LAFE).

- LOVEGREEN, J.R.; PROSSER, W. J. e MILLET, R.A. Geology Analysis of LANDSAT-1 Multispectral Imagery of a Possible Power Plant site Employing Digital and Analog Image Processing. In: *NASA-EARTH RESOURCES SURVEY SYMPOSIUM (I-B)*, Texas, 1975. p. 1293-1308.
- MACHADO, J. Beitrag Zur Petrographie der Sudwestlichen Grenze Zwischen Minas Gerais und São Paulo. *Min. und Petrog. Mitl.*, 9; 329-360, 1888.
- MACIEL, A.C. e CRUZ, P.R. *Perfil Analítico do Urânio*. Rio de Janeiro, MME-DNPM, 1973. p. 27-70. (Boletim, 27).
- . *Perfil Analítico do Tório e Terras Raras*. Rio de Janeiro, MME-DNPM, 1973. p.71. (Boletim, 28).
- MACIEL, A.C., AZUAGA, C.H. e CRUZ, P.R. Reservas de Urânio e Tório no Brasil e no Mundo - Capacidade de Produção e Perspectivas de Demanda. In: *ANAIS XXVII Congresso Brasileiro de Geologia*. Aracaju, Soc. Bras. de Geol., 1973. p. 353-368.
- MAKSIMOV, Ye P. New Data on the Geology of Volcano - Plutonic Ring Complexes of the Central Aldan. *Doklady of the Acad. of Science USSR*. Transl. by *American Geological Institute* 190: 51-54, Washington, 1970.
- . Mesozoic Annular Magmatic Complexes in Aldan Shield. *International Geology Review*, 15(1): 46-56, 1973.
- NEVSKIY, V.A. e KOTLYAR, V.N. Structure of Endogenic Ore Deposits in Association with Annular Ruptures. *International Geology Review* 14 (10): 1114-1123, 1972.

- OLIVEIRA, A.G. de. Urânio no Planalto de Poços de Caldas. In: *XXII Congresso Brasileiro de Geologia, Resumo Conf. e Com.* Belo Horizonte, Soc. Bras. de Geol., 1968, p.30.
- . Perspectivas de Reservas e Características Gerais da Mineralização Uranífera no Setor C/09 - Poços de Caldas (Minas Gerais) In: *XXVII Congresso Brasileiro de Geologia, Resumo Conf. e Com.* Aracaju, Soc. Bras. de Geol., 1973. p. 35-36 (Boletim, 1).
- . Mineralização de Urânio e Molibdênio no Planalto de Poços de Caldas, MG. In: *1a. Reunião sobre Minérios Brasileiros de Urânio.* CNEN; Rio de Janeiro, 1974. p. 15-30.
- OLIVEIRA, A.I. de. Alguns tipos de Jazidas Uraníferas. *Mineração e Metalurgia* 21 (125). 1955.
- . Ocorrências Brasileiras de Urânio. *Mineração e Metalurgia* 24(142): 209-212, 1956.
- OLIVEIRA, M.A.F.; ALVES, F.R. e COIMBRA, A.M. Sedimentação Associada ao Vulcanismo Alcalino de Poços de Caldas (Divinolândia, SP). *Bol. Inst. Geoc. da USP*, 6: 13-19, 1975.
- OSIPOV, M.A. Process of Cooling of an Intrusive and Distribution of Ore Bodies. *International Geology Review* 16 (4): 379-383, 1974.
- PARADELLA, W.R. e ALMEIDA FILHO, R. *Condicionamento das Mineralizações Radioativas no Planalto de Poços de Caldas.* São José dos Campos, INPE, 1976, (953-PE/044).
- PARK, Jr., C.F. e MACDIARMID, R.A. *ORE DEPOSITS.* 2a. ed. San Francisco, H. Freeman, 1970.

- RAMOS, J.R.A. Situação Atual da Prospecção de Minérios Nucleares no Brasil. In: *ANAIS XXIV Congresso Brasileiro de Geologia*. Brasília, Soc. Brasileira de Geologia, 1970. p. 25-39.
- RAMOS, J.R.A. e FRAEKEL, M.O. *Principais Ocorrências de Urânio no Brasil*. Rio de Janeiro, CNEN, 1974. p.24. (Boletim, 12).
- RAMOS, J.R.A. e MACIEL, A.C. *Atividades de Prospecção de Urânio no Brasil. 1966-1970*. Rio de Janeiro, CNEN, 1974. p.85. (Boletim,3)
- . *Prospecção de Urânio no Brasil 1970-1974*. Rio de Janeiro, CNEN, 1974. p. 126. (Boletim, 4).
- RHODES, R.C. Structural Geometry of Subvolcanic of Continental Plates. *Tectonophysics* 12 (2): 111-117, 1971.
- SANTOS, L.C.S. dos. *Curso de Prospecção de Minerais Radioativos - Mineralogia do Urânio*. Nuclebras, 1976. p. 51 (Inédito)
- . *Curso de Prospecção de Minerais Radioativos - Geologia do Urânio*. Nuclebras, 1976. p. 46. (Inédito).
- SCHMIDT, R.G. e CLARK, B.B. A Search for Sulfide - Bearing areas Using LANDSAT-1 DATA and Digital Image - Processing Techniques. In: NASA - *Earth Resources Survey Symposium (I-B)*, Texas, 1975. p. 1013-1019.
- SHEVCHENKO, V.I., STANKEVICH, Ye K. e REZANOV, I.A. Pré-Cenozóic Magmatism in Caucasus and Western Turkmenia in Relation to Deep-Seated Structures. *International Geology Review* 16 (3): 301-307, 1974.

- SHORT, N.M. e MARRS, R.W. The Anatomy of an Anomaly. In: NASA - *Earth Resources Survey Symposium (I-B) Texas, 1975* p. 641-663.
- SMITH, R.L.; BAILEY, R.A. e ROSS, C.S. *Structural evolution of the Valles Caldera, New Mexico, and its bearing on the emplacement of ring dikes.* Washington, Geological Survey, 1961 (Professional paper 424-D).
- STAVTSEV, A.L. Some Relationships Between Magmatic Activity Mineralization, and Tectonics in the Eastern part of the Aldan Shield and the Southern Verkhoyansk Region. *Geotectonics* 5: 295-298, 1968.
- TARDIN, A.T.; PALESTINO, C.V.B. e SONNENBURG, C.R. *Levantamento de Áreas ocupadas por Café e Trigo no Noroeste do Paraná por Análise Automática de Dados do Satélite LANDSAT.* São José dos Campos, INPE, 1976. (375.NTE, 065).
- TEIXEIRA, D. Relevo e Padrões de Drenagem na Chaminé Vulcânica de Itatiaia, SP. *Boletim Paulista de Geografia* 37: 3-12, 1961.
- TEIXEIRA, E.A. Zircônio no Planalto de Poços de Caldas. *Mineração e Metalurgia* 1(4): 159-168, 1937.
- . *Zircônio em Poços de Caldas.* Rio de Janeiro, DNPM-DGM, 1943. p. 63. (Boletim, 65).
- TOLBERT, G.E. Preliminary Report of the Zirconium Ore Deposits of the Poços de Caldas Plateau. *Mineração e Metalurgia* 27: 161-162, 1958.
- . The Uraniferous Zirconium Deposits of the Poços de Caldas Plateau, Brazil. *Geological Survey Bulletin* 1185-C: 28, 1966.

- TOWLES, R.W. e SCHALLER, E.S. Image-100 - The Interactive Multispectral Image Processing System. In: NASA - *Earth Resources Survey Symposium* (I-B) Texas, 1975. p. 1275-1291.
- TROFIMOV, L.A.; MITRYAYEVA, N.M.; FILIMONOVA, L. Ye e SYSOMYATNIKOV, N.G. Behavior of Uranium and Thorium During Deposition of the Boshchekul Ores. *International Geology Review* 15(2): 183-186, 1973.
- TURNER, D.C. Rig-structures in the Sara-Fier Younger Granite Complex, Northern Nigeria. *Quart. Jour. Geol. Soc. London*, 119(475): 345-366, 1963.
- UTSUMI, O. Programa de Excursão a Poços de Caldas. In: *XXV Congresso Brasileiro de Geologia. Rot. de Excursões.* São Paulo, Soc. Bras. Geol., 1971. p. 7-13. (Boletim, 1).
- Mineralização 'raro-Molibdenífera no Planalto de Poços de Caldas. In: *XXV Congresso Brasileiro de Geologia, Resumo Conf. e Com.* São Paulo, Soc. Bras. de Geol., 1971. p. 40-41. (Boletim, 1).
- WEDOW Jr., H. The Morro do Ferro, Thorium and Rare-Earth Ore Deposits, Poços de Caldas District, Brazil. *Geological Survey Bull.*, 1185-D. 34p., 1967.
- WHITE, M.G. e PIERSON, C.T. *Sumário da Prospeção para Minerais Radioativos no Brasil no período de 1952 a 1960.* Rio de Janeiro, CNEN, 1974. p. 24. (Boletim, 1).
- WRUCKE, C.T. e SILBERMAN, M.L. *Cauldron Subsidence of Oligocene Age at Mount Lewis, Northern Shoshone Range, Nevada.* Washington, Geological Survey, 1975. (Professional paper).