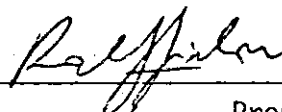


1. Classificação INPE-COM.1/TPT C.D.U.: 621.38SR:551.7(817.3)		2. Período	4. Critério de Distribuição:  interna <input type="checkbox"/>  externa <input checked="" type="checkbox"/>
3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor)  SENSORIAMENTO REMOTO ANOMALIA GEOTERMAL			
5. Relatório nº INPE-1129-TPT/070	6. Data Outubro 1977	7. Revisado por <i>Gilberto Amaral</i>	
8. Título e Sub-Título  APLICAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DE ANOMALIA GEOTERMAL NO MUNICÍPIO DE CAL DAS NOVAS - GOIÁS		9. Autorizado por <i>Nelson de Jesus Parada</i> Diretor	
10. Setor DSR	Código	11. Nº de cópias 24	
12. Autoria Célio Eustáquio dos Anjos Paulo Veneziani		14. Nº de páginas 129	
13. Assinatura Responsável <i>Paulo Veneziani</i>		15. Preço	
16. Sumário/Notas A área do Projeto Caldas Novas, situa-se sobre metamorfismos dos grupos Araxá e Canastra, na região do município de Caldas Novas, Estado de Goiás. Com o objetivo de delimitar a anomalia geotermal naquela região, foi realizada uma pesquisa sistemática da mesma, com coletas de dados de temperatura de superfície e subsuperfície, enquanto que paralelamente desenvolveu-se um mapeamento geológico. Interpretações de imagens do LANDSAT-1, compreendendo parte do sudeste do estado de Goiás e do Triângulo Mineiro, permitiram situar a área dentro do contexto geológico regional e tecer considerações sobre a origem e evolução dessa anomalia geotermal. Mapeamento geológico na escala 1:60.000 foi realizado, utilizando-se fotografias aéreas da USAF, e trabalho de campo. Submetidos os dados de temperatura às técnicas de "Análise de Superfície de Tendência", obtiveram-se mapas de comportamento regional, da temperatura da área. Analisados e interpretados esses dados, ficaram caracterizadas quatro áreas anômalas, das quais foram coletados dados termométricos e geológicos detalhados que depois de correlacionados, delimitaram áreas potencialmente favoráveis, à prospecção de águas quentes.			
17. Observações Em cumprimento parcial dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Sensores Remotos e Aplicações			




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

Dr. Gilberto Amaral



Orientador

Dr. Yociteru Hasui



Membro da Banca  
-convidado-

Dr. João Batista Moreschi



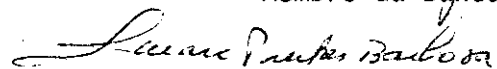
Membro da Banca  
-convidado-

Geo. Liu Chan Chiang, MSc.



Membro da Banca

Geo. Marx Prestes Barbosa, MSc.



Membro da Banca

Eng. Agro. Mario Valério Filho, MSc.



Membro da Banca

Eco. Renê Antonio Novaes, MSc.



Membro da Banca

Dr. Claudio Roland Sonnenburg



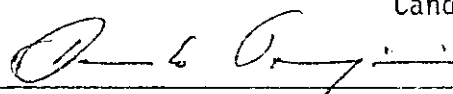
"ex-officio"

Célio Eustáquio dos Anjos



Candidato

Paulo Veneziani



Candidato

São José dos Campos, 06 de maio de 1977





## INDICE

	Pag.
ABSTRACT .....	v
LISTA DE FIGURAS' .....	vi
LISTA DE TABELAS .....	vii
LISTA DE MAPAS .....	viii
 CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO .....	 1
1.1 - APRESENTAÇÃO E OBJETIVOS .....	1
1.2 - JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DA ÁREA .....	1
1.3 - CUSTOS .....	2
1.4 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS .....	2
 CAPÍTULO II - MATERIAIS E MÉTODOS .....	 5
2.1 - MATERIAIS .....	5
2.1.1 - IMAGENS DO LANDSAT-1 .....	5
2.1.2 - FOTOGRAFIAS AÉREAS .....	6
2.1.3 - TERMÔMETRO RADIOMÉTRICO PRT-5 .....	7
2.1.4 - TERMÔMETRO DE SOLO .....	7
2.2 - METODOLOGIA .....	7
2.2.1 - INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS DO LANDSAT-1 PARA MAPEAMENTO GEOLÓGICO REGIONAL .....	7
2.2.2 - INTERPRETAÇÃO DE FOTOGRAFIAS AÉREAS PARA MAPEAMENTO GEOLÓGICO LOCAL .....	9
2.2.3 - MEDIDAS DE TEMPERATURA .....	10
2.2.4 - ANÁLISE DE SUPERFÍCIE DE TENDÊNCIA .....	12
 CAPÍTULO III - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	 14
3.1 - GEOLOGIA REGIONAL .....	14
3.1.1 - ESTRATIGRAFIA .....	14
3.1.1.1 - PRÉ-CAMBRIANO INFERIOR .....	14
3.1.1.2 - PRÉ-CAMBRIANO SUPERIOR .....	15

	Pag.
3.1.1.3 - MESOZÓICO .....	18
3.1.1.4 - CENOZÓICO .....	22
3.1.2 - TECTÔNICA E ESTRUTURAL .....	22
3.1.3 - IMAGENS DO LANDSAT-1 .....	28
3.2 - GEOLOGIA LOCAL .....	30
3.2.1 - ESTRATIGRAFIA .....	30
3.2.2 - PETROGRAFIA .....	34
3.2.2.1 - ROCHAS DO GRUPO ARAXÃ .....	34
3.2.2.2 - ROCHAS DO GRUPO CANASTRA .....	36
3.2.2.3 - LATERITA FERRUGINOSA .....	37
3.2.3 - ESTRUTURA .....	38
3.3 - HIDROGEOLOGIA .....	43
3.3.1 - ASPECTOS GERAIS .....	43
3.3.2 - FONTES TERMAIS .....	45
3.3.3 - PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS .....	49
3.3.4 - CLASSIFICAÇÃO DAS FONTES .....	56
3.4 - GEOLOGIA ECONÔMICA .....	56
3.4.1 - ÁGUAS TERMOMINERAIS .....	56
3.4.2 - MANGANÊS .....	57
3.4.3 - CALCÁRIO .....	57
3.5 - GEOTERMOMETRIA .....	57
3.5.1 - MEDIDAS COM TERMÔMETRO DE SOLO .....	65
3.5.2 - MEDIDAS DO PRT-5 .....	65
3.5.3 - ANÁLISE DE SUPERFÍCIE DE TENDÊNCIA .....	66
CAPÍTULO IV - CONCLUSÕES .....	68
CAPÍTULO V - RECOMENDAÇÕES .....	70
FOTOGRAFIAS .....	71
AGRADECIMENTOS .....	113
BIBLIOGRAFIA .....	114

### ABSTRACT

The purpose of this work is to map the geothermal anomaly of the Caldas Novas county in the state of Goias. The area of interest is placed over the metamorphics of the groups of Araxa and Canastra. A systematic research was carried out combining geological mapping with surface and subsurface temperature measurements.

Landsat-1 images of the region were studied allowing the placement of the area of study in the regional geological context. Some considerations about the origin and evolution of the geothermal anomaly were also possible.

A geological mapping in the 1:60.000 scale was done using USAF aerial photographs, in addition to field work.

Regional temperature mapping was done using the trend surface analysis program.

Through the correlation of all these data, four different areas were localized which have a high potential for hot water prospection.



## LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Fig. II.1 - Gráfico de medidas de Temperatura da região de Mono Lake .....	13.
Fig. III.1 - Diagrama de Schmidt para medidas de xistosidade .....	41.
Fig. III.2 - Diagrama de Schmidt para medidas de fraturas .....	42
Fig. III.3 - Análise de Superfície de Tendência para a área do Projeto Caldas Novas - Medidas com termômetros de solo .....	59
Fig. III.4 - Análise de Superfície de Tendência para a área do Projeto Caldas Novas - Medidas com o PRT-5 .....	60
Fig. III.5 - Análise de Superfície de Tendência para a área da Pousada do Rio Quente .....	61
Fig. III.6 - Análise de Superfície de Tendência para a área da Cidade de Caldas Novas .....	62
Fig. III.7 - Análise de Superfície de Tendência para a área da Lagoa Pirapetinga .....	63
Fig. III.8 - Análise de Superfície de Tendência para a área do Córrego Tucum .....	64



### LISTA DE TABELAS

	Pag.
TABELA III.1 - Quadro Comparativo de Mineralização das Águas do Rio Quente .....	50
TABELA III.2 - Quadro Comparativo das Constantes Físico-Químicas prováveis realizadas pelo L.P.M. nas Águas do Rio Quente .....	51
TABELA III.3 - Análise de uma Amostra de Água .....	52
TABELA III.4 - Quadro Comparativo das Constantes Físico-Químicas realizadas pelo L.P.M. nas Águas do Rio Quente .....	54
TABELA III.4 - Resultados da Análise Química das Águas Quentes, efetuados no Departamento de Águas e Esgotos - CAESB .....	55

### LISTA DE MAPAS

MAPA 1 - Mapa do Arco da Canastra na Região Sul de Goiás e Oeste de Minas Gerais .....	79
MAPA 2 - Mapa Geológico da Região compreendida entre os Rios Corumbã e Piracanjuba, Município de Caldas Novas - GO .....	81
MAPA 3 - Mapa Geológico da Área de Pousada do Rio Quente .....	83
MAPA 4 - Mapa Geológico da Área da cidade de Caldas Novas .....	85
MAPA 5 - Mapa Geológico da Área da Lagoa Pirapetinga .....	87
MAPA 6 - Mapa Geológico da Área do Córrego Tucum ....	89
MAPA 7 - Mapa de Anomalias Residuais da Área do Projeto Caldas Novas - Medidas com Termômetros de	



	Pag.
Solo .....	91
MAPA 8 - Mapa de Pontos da Área da Pousada do Rio <u>Quen</u> te .....	93
MAPA 9 - Mapa de Pontos da Área da Cidade de Caldas Novas .....	95
MAPA 10 - Mapa de Pontos da Área da Lagoa Pirapetinga .....	97
MAPA 11 - Mapa de Pontos da Área do Córrego Tucum .....	99
MAPA 12 - Mapa de Pontos da Área do Projeto Caldas <u>No</u> vas .....	101
MAPA 13 - Mapa de Anomalias Residuais da Área da Pousa <u>a</u> da do Rio Quente .....	103
MAPA 14 - Mapa de Anomalias Residuais da Área da Cida <u>a</u> de de Caldas Novas .....	105
MAPA 15 - Mapa de Anomalias Residuais da Área da Lagoa Pirapetinga .....	107
MAPA 16 - Mapa de Anomalias Residuais da Área do Córre <u>g</u> o Tucum .....	109
MAPA 17 - Mapa de Anomalias Residuais da Área do Proje <u>t</u> o Caldas Novas - Medidas do PRT-5 .....	111

## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO

#### 1.1 - APRESENTAÇÃO E OBJETIVOS

A utilização de sensoriamento remoto para a prospecção de recursos naturais, integrada a métodos convencionais ou não, tem se mostrado de grande importância, principalmente quando se considera a redução dos fatores tempo e custo.

Os objetivos deste projeto foram a prospecção de áreas com anomalias termais, onde é maior a probabilidade de ocorrência de águas termominerais, um breve estudo da viabilidade de aplicação, no caso específico, de um Imageador Termal, além de possibilitar tecer considerações sobre a origem da estrutura de Caldas Novas.

#### 1.2 - JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DA ÁREA

Em meados do ano de 1955, foi firmado o contrato INPE-GOIASTUR, com o objetivo de execução, pelo INPE, de pesquisas visando a prospecção de águas termominerais, no município de Caldas Novas, no Estado de Goiás.

A importância da região, por suas águas termais, conhecidas desde o final do século XVI e sua posição sobre uma feição tectônica, como o arco da Canastra, proporcionou a oportunidade para se testar métodos de sensoriamento remoto na pesquisa de anomalias desta natureza. Assim, espera-se contribuir com novas informações, para esta área, de indiscutível importância dentro do panorama geológico nacional, e prover de ferramenta útil, a prospecção de novas

fontes de energia..

### 1.3 - CUSTOS

A execução do projeto teve um tempo de duração de 12 meses, envolvendo dois geólogos em tempo integral.

Os gastos, computando salários, aquisição de imagens e fotografias, material de consumo e permanente, serviço de terceiros e trabalho de campo, perfazem um custo médio aproximado de Cr\$ 243,45 por Km<sup>2</sup>, correspondendo a US\$ 21.35 no câmbio atual (Dez. 1976).

### 1.4 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

A área do Projeto Caldas Novas, situado no município do mesmo nome, é de aproximadamente 1000 Km<sup>2</sup>. Os limites são a W e E pelos rios Piracanjuba e Corumbã respectivamente e latitudes 17°58'08" e 17°41'40" Sul.

Das estradas da região, a única asfaltada é a que liga a cidade de Morrinhos a Caldas Novas, com uma extensão que leva a Pousada do Rio Quente. Entretanto, a maioria das estradas indicadas no mapa planimétrico (mapa 12) podem ser trafegadas em qualquer época do ano.

Nesta região, os verões são quentes, com temperaturas máximas de 32°C e os invernos temperados, com temperaturas mínimas de 9,8°C (Ministério da Agricultura, 1969).

A estação chuvosa começa em setembro com pesadas chuvas e se prolonga até março. A longa estação seca é a principal razão da existência de poucas matas, à exceção de matas galerias nos vales dos rios..

Duas unidades de relevo se destacam. A primeira, situa-se a uma altitude média de 550 metros, determinada por formas de relevo convexas, que se estendem até os talvegues dos rios e córregos. Segundo Almeida (1959), este relevo pouco acentuado com declives modestos e vales pouco profundos, mas no geral jovens, abriga cursos de rios fortemente acomodados a estruturas antigas.

Tais condições, são claramente observáveis nos trabalhos de fotointerpretações da área e observações de campo.

Outra unidade de relevo, dominando uma cota de 820 metros de altitude, forma um tabuleiro, plano no topo, de forma elíptica, localizado no centro da área, com aproximadamente 15 km de extensão e 9 km de largura, constituindo a Serra de Caldas. Seu eixo maior alinha-se aproximadamente na direção NS.

Segundo Almeida (op. cit.), é ela o único testemunho da superfície Pratinha, isolada dentro da Depressão Periférica Goiana.

No nível inferior são também observados interflúvios de superfície achatada, lembrando a possibilidade de outra superfície de erosão pós-Pratinha, ainda não definida em literatura conhecida.

A vegetação constitui-se quase inteiramente de cerrados. Cerradões e matas galerias são comuns ao longo dos cursos dos rios e, mais raramente, pela presença de um solo mais fértil e rico em água.

Os cerradões ocorrem geralmente onde a espessura do solo é grande, e o mesmo se constitui de material

argilo arenoso. As matas ocorrem em pequenas manchas, dentro dos cerrados, nas cabeceiras dos córregos, como ilhas dentro dos mesmos.

Almeida (op. cit.), descreveu a rede de drenagem da Depressão Periférica Goiana.

"A drenagem da Depressão Periférica Goiana guarda resquícios claros de sua origem mesozoica, quando sobre a Superfície Pratinha, e mais tarde sobre a cobertura senoniana, fluía independentemente da estrutura, das regiões cristalinas do escudo para a bacia sedimentar. As retomadas da erosão cenozoica originaram acentuada adaptação estrutural, de todos os coletores que desde então se formaram. Contudo os rios principais, herdeiros da drenagem cretácea, denunciam, em seus traçados transversais às estruturas Prê Cambrianas, em sua origem por superimposição".

Não pode ser outra a explicação dos traçados de NE para NW, aproximadamente normais às estruturas dos rios Verde, São Marcos, Corumbã e Piracanjuba. Todos têm suas nascentes situadas entre os festões marginais dos planaltos, nivelados pela superfície Pratinha e traçados que não refletem injunções estruturais senão em menores detalhes.

A rede de drenagem, da região de Caldas Novas, não poderia ser melhor descrita em sua evolução e estágio atual, do que o fez Almeida. Seus rios, apresentando um padrão de treliça a retangular, encontram-se quase inteiramente encaixados em estruturas do Grupo Araxã e Canastra.

No geral, a área do projeto é drenada principalmente por ribeirões e córregos que tem suas nascentes na Serra de Caldas, que por sua forma elíptica, nos proporciona um belo exemplo de drenagem radial.

## CAPÍTULO II

### MATERIAIS E MÉTODOS

#### 2.1 - MATERIAIS

##### 2.1.1 - IMAGENS DO LANDSAT-1

O satélite LANDSAT-1 (Ex ERTS-1), tem como principal sistema sensor, um imageador multispectral de 4 canais, operando na região do espectro de 0.5 a 1.1 micrômetros, subdividida da seguinte maneira.

Canal 4 - de 0.5 a 0.6 micrômetros	
Canal 5 - de 0.6 a 0.7	"
Canal 6 - de 0.7 a 0.8	"
Canal 7 - de 0.8 a 1.1	"

A resolução geométrica do imageador corresponde a um quadrilátero com cerca de 80 metros de lado, na superfície do terreno. As cópias das imagens utilizadas no presente trabalho, foram em papel fotográfico, podendo ter até 16 tons de cinza em uma graduação do branco ao preto.

Evitou-se, aqui, entrar em maiores detalhes sobre o sistema sensor, tendo em vista que este tópico já foi exaustivamente discutido em trabalhos anteriores, podendo ser encontrado no LANDSAT DATA USERS HANDBOOK (1976).

As imagens do LANDSAT-1, utilizadas na interpretação fotogeológica do Arco da Canastra, são listadas a seguir.

<u>ESCALA</u>	<u>DATA</u>	<u>COORDENADAS DE CENTRO</u>	<u>CANAIS</u>
1:250.000	26.06.73	S17-17/W 048-15	5 e 7
	26.06.73	S18-44/W 048-36	5 e 7
	19.06.73	S17-14/W 048-15	5 e 7
1:1.000.000	18.08.73	S20-08/W 047-30	5 e 7
	09.09.72	S20-15/W 045-47	5 e 7
	09.09.72	S18-48/W 045-36	4-5 e 6
	18.08.73	S18-40/W 047-49	5 e 7
	19.08.73	S18-41/W 048-36	5 e 7
	26.06.73	S17-10/W 048-15	5 e 7

## 2.1.2 - FOTOGRAFIAS AÉREAS

O recobrimento fotográfico da área do projeto, provêm de fotografias aéreas em papel mate, branco e preto, na escala 1:60.000, obtidas com câmaras métricas pela USAF, em meados do ano de 1964, e adquiridas através do órgão oficial encarregado da distribuição; o Serviço Cartográfico do Exército.

Foram utilizadas 45 fotografias, de oito faixas consecutivas, que são especificadas a seguir.

<u>NUMERO DO ROLO</u>	<u>NUMERO DA FAIXA</u>	<u>NUMERO DAS FOTOS</u>	<u>TOTAL</u>
39	117-A	5560 a 5567	8
377	123-H	47336 a 47342	7
16	119-A	2225 a 2232	8
16	118-A	2197 a 2204	8
26	116-A	3571 a 3577	7
26	120-B	3733 a 3739	7



### 2.1.3 - TERMÔMETRO RADIOMÉTRICO: -PRT - 5

Para medir-se temperaturas superficiais, foi utilizado um termômetro radiométrico PRT-5 (Precision Radiation Thermometer), que forneceu leituras diretas em graus Celsius, em um intervalo de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $+75^{\circ}\text{C}$ , e com uma precisão de  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Este termômetro, foi calibrado e operado no campo, por um técnico do INPE.

Funcionou a maior parte do tempo com o auxílio de um gerador Honda portátil.

### 2.1.4 - TERMÔMETRO DE SOLO

Para obter-se medidas de subsuperfície, foi utilizado um conjunto de termômetros de solo R-FUESS, de 30 e 50 centímetros. Esses termômetros fornecem medidas em graus Celsius, num intervalo de  $-15$  a  $+50^{\circ}\text{C}$ , com uma precisão de  $0,2^{\circ}\text{C}$ .

## 2.2 - METODOLOGIA

### 2.2.1 - INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS DO LANDSAT-1, PARA MAPEAMENTO GEOLÓGICO REGIONAL

Foram utilizadas as imagens do LANDSAT-1, já especificadas no item 2.1.1, deste capítulo, tendo sido dada preferência aos canais 5 e 7, por apresentarem comprovadamente a melhor performance, na obtenção de dados geológicos, como pode ser verificado em vários trabalhos, dos quais cita-se Amaral, G. (1975) e Liu, C.C. et alii (1974).

Utilizaram-se cópias fotográficas preto e branco, na escala 1:1.000.000 e, para obtenção de informações

complementares, ampliações na escala 1:250.000:

A interpretação das imagens multiespectrais, foi conduzida através do exame visual, baseando-se nas técnicas desenvolvidas para fotointerpretação convencional. Foram identificadas feições, pela observação e análise de elementos tais como, rede de drenagem, feições geomórficas, tonalidades de cinza, vegetação e uso da terra, sendo as três primeiras as mais importantes.

Iniciou-se pelo traçado detalhado da rede de drenagem, cujo padrão iria fornecer indicações, sobre o tipo de solo e ou rocha, além de comportar-se como um elemento favorável à identificação de estruturas geológicas. Ao mesmo tempo, localizaram-se pontos geográficos de interesse como, por exemplo, as principais cidades da região em estudo. Este trabalho, foi desenvolvido para as imagens a oeste do meridiano 48<sup>0</sup>W, principalmente, pois para o resto da região, já havia a base planimétrica elaborada por Amaral et alii (1976).

A seguir, passou-se ao estudo, imagem por imagem, das feições geomórficas e tonalidades de cinza. As primeiras constituem os aspectos superficiais da crosta terrestre. As tonalidades de cinza são produzidas pelas diversas cores acromáticas que variam desde o branco até o preto. O arranjo ordenado dos tons de cinza define a textura e, a combinação dos elementos texturais, a estrutura. Estes conceitos fornecem a base para a delimitação de unidades de fotointerpretação. No caso de se ter por objetivo o traçado de contatos geológicos, entre os diferentes tipos litológicos e ou litoestratigráficos e estruturas, tais como falhas, dobras, etc..., procura-se atingi-lo aplicando os conceitos acima expostos. Posteriormente, o estudo dos padrões de drenagem e feições superficiais, complementado pelas observações

a respeito da vegetação e uso da terra, proporcionam ao fotointérprete a elaboração de um esboço geológico. Informações mais detalhadas podem ser encontradas em Petri e Ricci (1965).

Assim, se conseguiu transferir para a base planimétrica, unidades fotogeológicas e as principais feições lineares; e após consultas a mapas e bibliografias pré-existent, tornou-se possível a confecção do mapa geológico final. As ampliações 1:250.000, já especificadas no item 2.1.1 deste capítulo, foram utilizadas como complementação, na elaboração deste mapa.

#### 2.2.2 - INTERPRETAÇÃO DE FOTOGRAFIAS AÉREAS PARA MAPEAMENTO GEOLÓGICO LOCAL

A metodologia empregada na interpretação de fotografias aéreas foi praticamente a mesma utilizada para as imagens do satélite, pois os métodos desenvolvidos para estas últimas, baseiam-se na fotointerpretação convencional, no referente a estudos geológicos. O item 2.1.1 descreve as técnicas empregadas, portanto pretende-se agora, apenas ressaltar as principais diferenças.

Trabalhou-se com as fotografias aos pares, para obter-se as informações necessárias à confecção dos mapas planimétrico e geológico. Desta maneira, empregou-se o recurso da estereoscopia, que possibilita a visão tridimensional das cenas que representavam a área de ação do projeto.

Após conseguir-se um nível de detalhes com relação às informações geológicas, montou-se um mosaico não controlado (devido a inexistência de cartas na mesma escala), sobre o qual foram lançados e reunidos sequencialmente, to

dos os dados obtidos nas fases anteriores.

Complementando-se com os trabalhos de campo e os dados da consulta bibliográfica, obtiveram-se então, os mapas finais (vide mapas 2 e 12) na escala 1:60.000.

Como serão vistos em capítulos posteriores, mapas de quatro (4) áreas de interesse (vide mapas 3, 4, 5 e 6), foram obtidos a partir da ampliação da escala 1:60.000, para 1:15.000.

### 2.2.3 - MEDIDAS DE TEMPERATURA

Após verificar-se que para certas áreas, onde foi constatada surgência de águas termominerais, existia uma zona em que a temperatura, de subsuperfície, apresentava-se mais elevada, quando comparada com áreas onde não havia surgência, passou-se ao desenvolvimento de uma metodologia que fosse satisfatória para detectar áreas anômalas em temperatura. Visou-se, assim, compatibilizar o material disponível para registrar temperaturas, com as condições apresentadas pela área em estudo, afim de que não surgissem pontos duvidosos, quanto aos futuros resultados.

Partindo-se do princípio, que o solo onde seriam feitas as medidas podia ser considerado homogêneo, pois é constituído de material areno-argiloso, originário da alteração dos xistos que predominam na região, restava determinar-se um horário e uma profundidade, em que os efeitos do aquecimento por insolação, fossem mínimos.

Hase (1971) concluiu, que um fluxo de calor da subsuperfície para a superfície, a uma profundidade de 80 cm, não sofre influência das variações diurnas do aquecimento por insolação e que no horário entre 5:00 hs e 6:30 hs, ha

veria uma maior probabilidade que a energia radiante, medida na superfície, fosse devida a um fluxo geotermal, no caso da existência deste. Com base nas pesquisas deste autor, optou-se pelo uso de termômetros de solo, para a obtenção de temperaturas de subsuperfície e do radiômetro PRT-5, para superfície.

O uso de termômetros de solo, especificados no item 2.1.4 foi feito após verificar-se que no intervalo de 30 a 50 cm a temperatura permaneceu praticamente a mesma. Não houve possibilidade de efetuar-se medidas a 80 cm, porém examinando-se o gráfico (vide fig. II.1) pode-se observar que já a 30 cm de profundidade, não há mais influência perceptível das variações diurnas de temperatura.

Foram realizadas 2 etapas de trabalhos de campo. Na primeira, procurou-se fazer um levantamento regional e na segunda, detalhar-se as áreas que apresentaram anomalias termiais.

A distribuição de pontos para a primeira etapa, foi estabelecida em função do tempo disponível, das vias de acesso e procurando-se na medida do possível, fazer perfis radiais a Serra de Caldas. Estes perfis foram feitos ao longo das estradas, guardando-se uma distância de aproximadamente 3 km, entre pontos consecutivos. É evidente, que em virtude dos fatores acima expostos não se pode realizar uma malha regular (vide mapa 12).

Para segunda etapa de campo, quando já haviam sido determinadas 4 áreas anômalas (e então passou-se a estudá-las), estabeleceu-se uma distribuição regular de pontos, dentro de quadriláteros que englobavam cada uma destas áreas. A distância máxima, entre pontos foi de cerca de 600 m e a mínima em torno de 300 m. Os mapas 8, 9, 10 e 11 mostram

a localização destes pontos.

#### 2.2.4 - ANÁLISE DE SUPERFÍCIES DE TENDÊNCIA

De posse dos dados de temperatura, decidiu-se por um tratamento estatístico-matemático, utilizando-se um programa de Análise de Superfícies de Tendência. Este, é um método de análise regressiva múltipla, tridimensional, que permite construir, analiticamente, uma série de superfícies teóricas, ajustadas através do método dos mínimos quadrados, e que tem por objetivo, caracterizar a tendência regional dos valores observados. Informações detalhadas podem ser encontradas em Merriam e Harbaugh (1968).

A partir de um sistema de coordenadas de origem arbitrária, que forneceu a localização geográfica dos pontos, na área do projeto, e das medidas de temperatura obtidas em cada um desses pontos, foram calculados os coeficientes de ajustamento das superfícies, de graus 1 a 6, escolhidos para este trabalho. Deste modo, tornou-se possível a obtenção de valores computados, que representavam a tendência geral da distribuição da temperatura. As diferenças entre os valores computados de temperatura, e os valores reais, fornecem os valores residuais. Estes valores por sua vez, quando lançados sobre mapas, permitiram o traçado de curvas que delimitaram áreas de resíduos positivos e negativos, as quais definem as anomalias (vide mapas 7, 13, 14, 15, 16 e 17).

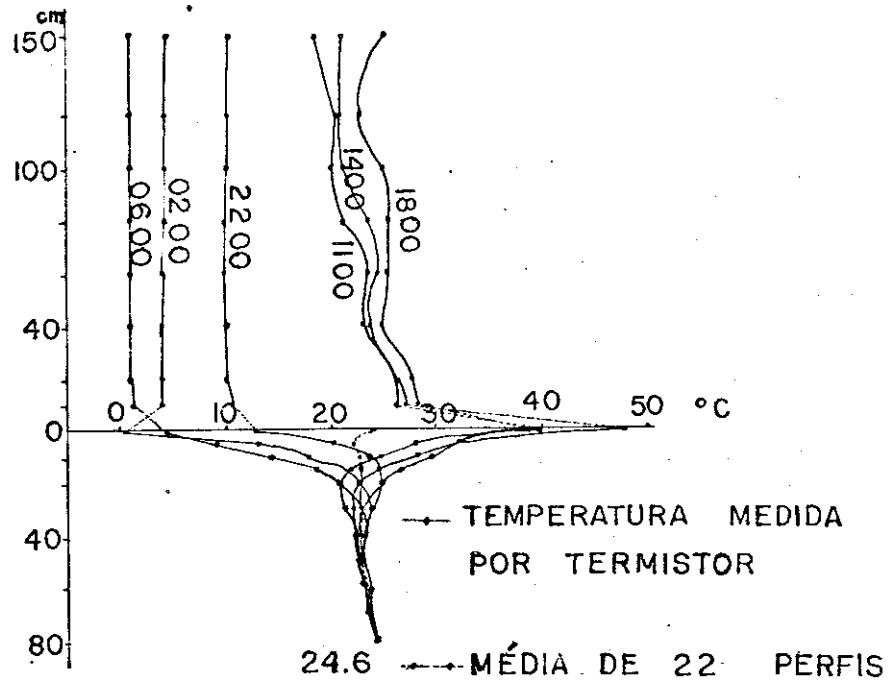


Fig. I7.1 - Gráfico de medidas de temperatura em solo constituído de areia de granulação média a fina. Essas medidas foram tomadas durante os dias 27 e 28 de Maio de 1969, sob condições de tempo claro, no horário entre 5:41 hs e 19:46 hs na região de Mono Lake, Califórnia (Hase, 1971).

Como pode ser observado no gráfico, a variação de temperatura abaixo de 30 cm de profundidade não sofre influências consideráveis do aquecimento por insolação.





## CAPÍTULO III

### DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

#### 3.1 - GEOLOGIA REGIONAL

O mapa geológico do Arco da Canastra, na escala 1:1.000.000, foi elaborado com o objetivo de ressaltar os alinhamentos estruturais da faixa compreendida entre as bacias do Paraná e São Francisco. Portanto, em virtude deste fato aliado às dificuldades encontradas na individualização de certas unidades geológicas nas imagens do LANDSAT-1, observa-se, neste mapa, que a bacia do Paraná tem apenas sua borda delimitada e que os Grupos Araxá e Canastra estão englobados em uma única unidade.

A bacia do São Francisco, encontra-se dividida de acordo com Amaral et alii (1976).

##### 3.1.1 - ESTRATIGRAFIA

A geologia da região, encontra-se representada, da base para o topo, por um complexo granítico gnáissico do Prê-Cambriano inferior, metassedimentos do Prê-Cambriano superior dos grupos Araxá, Canastra e rochas do Grupo Bambuí, sedimentos mesozóicos da Bacia do Paraná e São Francisco, intrusões ultrabásicas e alcalinas de idade cretácica e cobertura detritico laterítica, de idade provavelmente Cenozóica.

##### 3.1.1.1 - PRÊ-CAMBRIANO INFERIOR

Barbosa et alii (1970), consideram o complexo

de granitos e gnáisses, essencialmente de composição grandoiorítica, com intercalações de anfibolitos, como sendo o conjunto de rochas mais antigas da área mapeada, sotopostos aos xistos do Grupo Araxã. Citam os autores que embora não tenham encontrado nenhuma discordância de vulto no trabalho de campo, nas aerofotos conseguiram notar, em diversos lugares, discordância entre os lineamentos estruturais das rochas do Grupo Araxã e das rochas granito gnáissicas, do Prê-Cambriano indiviso.

### 3.1.1.2 - PRÊ-CAMBRIANO SUPERIOR

#### a) GRUPO ARAXÃ

O Grupo Araxã foi definido por Barbosa (1955), durante estudos realizados na região do Triângulo Mineiro, nos arredores de Araxã, como uma sequência de metamorfitos do fácies epidoto anfibolito, constituído essencialmente de micaxistos e quartzitos com intercalações de anfibolito.

Os xistos desse Grupo, encontrados em torno da Cidade de Araxã, são constituídos a duas micas, comumente com predominância da muscovita. Em geral apresentam, como acessórios, a granada, que pode se constituir num mineral importante, rutilo, zircão, turmalina e estauroлита. É comum encontrar faixas de xisto com grandes palhetas de muscovita ou concentrações pegmatóides.

Essa noção, aplicada ao Grupo, foi estendida às vastas áreas de micaxistos e quartzitos semelhantes, encontrados no Planalto Central, nas áreas dos "Projeto Araguaia" (Barbosa, et alii 1966), e "Geologia Econômica e Aplicada a uma Parte do Planalto Central

Brasileiro" (Barbosa, 1958), in DNPM - Projeto Brasília (1969).

Novos estudos foram executados posteriormente na região do Triângulo Mineiro (Barbosa et alii, 1970), sem que todavia, se conseguisse estabelecer a estratigrafia do Grupo. Entretanto, seus limites, inferior e superior, sofreram modificações. Os micaxistos, embora dobrados em conjunto com as rochas granito-gnáissicas, que parecem intercaladas com os mesmos, acham-se sobrepostos àquelas rochas.

Concordam aqueles autores que rochas de composição granodiorítica (granulito de Estrela do Sul), cortando estruturas do grupo, podem ter sido produzidas por diferenciação metamórfica. No seu limite superior foram excluídas camadas de xistos calcíferos, até então incluídas nele.

Barbosa et alii op. cit., notificam que Dyer, durante os trabalhos de campo do Projeto Goiana, observou a existência de metaconglomerados, no contato basal destes sericita-clorita calcoxistos, sobre as rochas do grupo Canastra.

Almeida (1967) reúne soma de conhecimentos sobre a área de ocorrência e assim define: "O Grupo Araxá recobre discordantemente o Complexo Basal, iniciando-se por quartzitos pouco espessos. Corresponde a uma sequência metassedimentar de fácies xisto verde a anfibolitos, acumulados em ambiente eugeossinclinal. Suas rochas são biotita xistos e quartzitos com ocorrências subordinadas de paragnáisses, mármore e anfibolitos, magmatismo básico e ultrabásico numa faixa de gabros serpentinizados, cuja idade parece próxima a 1100 m.a.".

Datação recente com isócrona Rb/Sr, confirma 1000 m.a. para o metamorfismo do Araxã (Hasui e Almeida 1976, in Almeida et alii, 1976).

#### b) GRUPO CANASTRA

O Grupo Canastra, proposto por Barbosa (1955), tem como área de ocorrência o oeste mineiro (Alto Rio das Velhas e Quebra Anzol), estendendo-se pelo leste de Goiás até o município de Natividade. Segundo Almeida (1967), encontra-se sobre rochas do Grupo Araxã ou Complexo Basal, em discordância angular e erosiva.

Barbosa et alii (1970), descreveram-no na região do Triângulo Mineiro e sudeste do Estado de Goiás, como sendo constituído principalmente de quartzitos e filitos e, subordinadamente, quartzo-sericita-xisto. Camadas mais espessas de quartzitos são raras, predominando os xistos sobre estes. Os quartzitos variam de puros a micáceos. Seus acessórios clásticos originais são o zircão e a turmalina.

Os filitos são na maioria quartzo-filitos, isto é, lâminas de filitos intercaladas por lâminas delgadas de quartzitos de granulação fina, até siltica. Predominam os filitos prateados puramente sericíticos, porém são comuns os filitos grafitosos.

Segundo estes autores, o intenso dobramento, e a constante inversão das camadas, não permitiram estabelecer uma sequência estratigráfica satisfatória.

#### c) GRUPO BAMBUÍ

Segundo Amaral et alii (1976), as sequências predo

minantemente pelíticas com intercalações de calcários finos, quartzitos arcóseos e conglomerados que ocorrem caracteristicamente na bacia do rio São Francisco, tem sido tradicionalmente denominadas de Bambuí, com hierarquias estratigráficas variáveis entre Série e fácies.

Recentemente, ficou estabelecida uma hierarquia correspondente a Grupo. Sua idade de mais confiança está situada no intervalo de 800 a 600 m.a., marcada por duas isócronas. A primeira inédita, para filitos da região de Vazante e a segunda publicada por Amaral e Kawashita (1967), in Amaral et alii (1976).

Diversas divisões estratigráficas tem sido propostas para esta unidade sendo as principais, aquelas de Costa e Branco (1961) para a região entre Sete Lagoas e Paracatu e a de Braun (1968), in Amaral op cit, para a região da Faixa de Dobramentos Brasília.

Amaral et alii (1976) estabelecem um denominador comum, e propõem sua divisão em Formação Paranoá, Sub Grupo Paraopeba, que se divide em Formação Sete Lagoas, Formação Serra de Santa Helena, Formação Lagoa do Jacaré e, sobre este Sub Grupo com discordância, a Formação Três Marias.

### 3.1.1.3 - MESOZOICO

A nordeste e sudeste do Triângulo Mineiro, afloram os Grupos Araxá e Canastra. Sobre essas unidades em discordância angular, repousam as rochas da Formação Serra Geral.

A Formação Uberaba, nas regiões de Sacramento

e de Estrêla do Sul, sobrepõe-se a todas as unidades anteriores acima citadas. Por sua vez a Formação Bauru cobre-a entre Sacramento e Uberaba e aparece de modo quase contínuo no Triângulo Mineiro.

No Alto Paranaíba, sobre os Grupos Araxã, Canastra, e principalmente Bambuí, aparecem as formações mesozóicas tabulares, em flagrante discordância angular. A Formação Areado, mais antiga, aflora descontinuamente no flanco ocidental da Serra da Mata de Corda e tem grande expressão na vertente voltada para o rio São Francisco. Sobrepõe-lhe derrames básicos com intercalações piroclásticas na região de Patos de Minas e a Formação Uberaba, aparece coroando a Serra da Mata da Corda, a sul do morro das Broas. Os sedimentos cenozóicos são muito menos expressivos. Ainda no Alto Paranaíba várias chaminés vulcânicas são conhecidas.

#### a) FORMAÇÃO SERRA GERAL

Os basaltos da Formação Serra Geral possuem idade do Jurássico Superior a Cretáceo Inferior (segundo resultados de determinação radioativa, 130 m.a. pelo método K/Ar, Amaral et alii (1966), nos quais encontram-se intercalados os arenitos da Formação Botucatu, assim como transgridem sobre os Grupos Canastra e Araxã.

#### b) FORMAÇÃO BOTUCATU

Segundo Hasui (1969), a Formação Botucatu compõe-se de arenitos finos a médios, essencialmente quartzosos, com baixa porcentagem de feldspatos potássicos e plagioclásio sódico-calcico. O grau de seleção é de médio a alto, bem como o arredondamento. Silicificação foi observada junto ao contato com basaltos



e consiste numa simples deposição intersticial de sílica, sem recristalização dos grãos (Hasui op. cit.).

Estratificação cruzada do tipo complexa, como o descrito por Almeida (1954), não foi observada, mas não está ausente a estratificação plano paralela (Hasui op. cit.).

### c) FORMAÇÃO AREADO

Assenta em discordância angular sobre rochas do grupo Bambuí, e é capeada pelos derrames da região de Patos de Minas e pela Formação Uberaba, a sul do Morro das Broas.

Compõem-na predominantemente quartzo, arenitos e arenitos feldspáticos com granulação média a grossa e bastante argilosos. Frequentemente aparece cimento silicoso ou carbonático. Os arenitos feldspáticos parecem predominar para o topo. Siltitos e folhelhos aparecem na base, ora dominando localmente em relação a termos mais grosseiros, ora constituindo intercalações mais restritas.

O pacote de rochas tem espessura variável entre 0 e 10 metros, no flanco ocidental da serra da Mata da Corda. Na região de São Gonçalo do Abaeté atinge 200 m.

Em toda ela observa-se estratificação e laminação cruzada (Hasui, 1969).

A idade cretácea da Formação é indicada pelos peixes fósseis (Santos, 1955 in Hasui, 1969). Sendo coberta pela Formação Uberaba é seguramente mais antiga que a Formação Bauru.

d) FORMAÇÃO UBERABA

Rochas vulcânicas de filiação ultrabásica e suas derivadas piroclásticas e sedimentos, que ocorrem no planalto da Mata da Corda e, em manchas menores, nas regiões de Patos de Minas, Coromandel e Uberaba, foram reunidas sob a designação de Formação Uberaba por Amaral et alii (1976).

Nas regiões do mesmo nome essa Formação assenta-se discordantemente sobre basaltos da Formação Serra Geral e é capeada pelas rochas da Formação Bauru.

Nas demais áreas, recobre discordantemente rochas dos Grupos Bambuí e Araxá e Formação Areado (Amaral et alii, 1976).

As rochas desta Formação estão intimamente ligadas ao magmatismo alcalino-ultrabásico que deu origem a importantes intrusões existentes nesta região, além de focos menores e inclusive corpos kimberlíticos.

e) CHAMINÊS VULCÂNICAS

Cinco chaminês vulcânicas são conhecidas desde longa data no oeste mineiro: Tapira, Araxá, Serra do Salitre, Serra Negra, Coromandel, e que foram objeto de vários estudos. Uma outra chaminê parece existir na região de São Gotardo (Hasui e Hassano, 1968; Elert e Hasui, 1969). Também a descoberta de basalto em Pântano, feita pela equipe da Prospec, parece relacionar-se com uma chaminê (Hasui, 1969).

Além dessa, merecem citação, a chaminê de Catalão I, estudada por Hasui et alii (1967) e Hasui e Cordani (1968), in Hasui op. cit., tendo-se obtido valores próximo a 80 m.a. e a de Catalão II.

#### 3.1.1.4 - CENOZÓICO

Sedimentos cenozóicos inconsistentes, embora de pequena espessura, tem ampla distribuição principalmente no Triângulo Mineiro, sendo de maior expressão os depósitos aluviais e coluviais, encontrando-se ainda em menor escala, cascalheiras, sedimentos de lagoas de chapadões, cangas limoníticas já em erosão e sedimentos aluviais.

Entre os sedimentos aluviais, existem aqueles associados as planícies atuais e aqueles mais elevados (terraços). No processo sedimentar foram envolvidos, notadamente, a Formação Bauru e, em parte, a Formação Serra Geral, esta atuando no sentido de constituir níveis de base locais. As espessuras dos depósitos não ultrapassam duas dezenas de metros (Hasui, 1969).

#### 3.1.2 - TECTÔNICA E ESTRUTURAL

Durante o Pré-Cambriano superior, ocorreram episódios tecto-orogênicos, acompanhados de metamorfismo regional, na região Centro Oeste brasileira, em amplas faixas de regeneração de estruturas muito antigas, que separa as plataformas do Guaporê e de São Francisco. De dois desses episódios de maior intensidade, resultaram as estruturas denominadas Araxaídes e Brasilides (Ebert, 1956 e Keidel, 1921, respectivamente, in Almeida, 1968). As primeiras, pertencentes ao Ciclo Uruaçuano de Almeida, op. cit., são mais antigas. As estruturas do Grupo Canastra são provavelmente mais novas e pertinentes às Brasilides.

As estruturas da região mapeada caracterizam-se pelo predomínio de direções NW-SE e mergulho de feições planares para SW. O seu desenvolvimento, segundo Almeida

(1968), teria transcorrido nos 700 ou 800 m.a. que precederam o advento do Cambriano, e cujas derradeiras manifestações processaram-se, possivelmente, já no Paleozoico, observando claramente o autor ter havido um progressivo decréscimo na intensidade dos fenômenos termo-tectônicos.

A área compreende partes da Faixa de Dobramentos Brasília, Faixa de Dobramentos Uruaçu, Bacias do Paraná e São Francisco e, ainda, de outra feição tectônica conhecida como Arco da Canastra

Segundo Almeida et alii (1976), A Faixa de Dobramentos Uruaçu desenvolveu-se entre os cratons do São Francisco e Amazônico. É formada por metassedimentos e metabasitos de fácies xisto verde a anfibolito, de metamorfismo de alta pressão. Essas rochas são incluídas no Grupo Araxá, com espessura excedendo a 1500 metros. O dobramento é do tipo linear, tendendo paralelamente ao eixo da faixa. A vergência é voltada para o craton do São Francisco.

Ocorrem vários corpos básicos - ultrabásicos, oriundos do magmatismo pré-tectônico. O magmatismo ácido sintectônico é bastante discreto, formando pequenos corpos ao longo da zona interna da faixa.

Datações de Hasui e Almeida (1970), dão uma idade entre 1000 e 1300 m.a. para esta faixa, o que corresponderia à idade mínima do metamorfismo.

O ciclo Uruaçuano é transgressivo sobre o Craton do São Francisco. Este ciclo poderia representar uma variação lateral de fácies metamórfico dos sedimentos das sequências Brasileiras, segundo Amaral et alii (1976).

A Faixa de Dobramentos Brasília, segundo Almei

da et alii (1976), foi formada a W e S, da borda do Craton do São Francisco, no ciclo Brasileiro.

Em condições miogeossinclinais, foram sedimentados materiais detríticos (Grupos Canastra e Araí), seguidos pela acumulação do Grupo Bambuí.

Estas unidades com mais de 3000 metros de espessura, mostram dobramentos do tipo linear e falhas de empurrão. A vergência é voltada para o Craton de São Francisco. O metamorfismo não excede o fácies xisto verde, e não há nenhuma evidência de magmatismo conhecido que possa ser relacionada a evolução desta faixa.

O Grupo Bambuí é transgressivo sobre o Craton do São Francisco.

A sinéclise do Paraná representa um típico exemplo de bacia intracratônica, de forma elipsoidal, com eixo maior de direção NNE-SSW. Abrange parte dos estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Uruguai, Paraguai e Argentina.

Sua complexidade tectônica é devida a estruturas da plataforma, como arcos, grandes estruturas tipo domo e depressões, das quais destacam-se os arcos da Canastra, Ponta Grossa, Martim Garcia, Pampeano e de Assunção, o escudo Uruguaio - Sul Riograndense e o Sinclinal de Torres.

Apresenta uma espessura de sedimentos de cerca de 5000 metros, sendo os mais antigos, Silurianos e os mais novos, Cretáceos.

A grande reativação iniciada no fim do Jurássico, e que se processou em quase toda a extensão da Plata

forma Brasileira, produziu, entre as suas principais manifestações, um intenso magmatismo de plataforma, representado pelos grandes derrames de platô nas regiões das sinéclises do Paraná e Parnaíba; pelos numerosos diques e sills de basalto e diabásio intrudidos nas formações sedimentares, das mais distantes regiões e nas sequências metamórficas do embasamento aflorante em quase toda parte; pelas numerosas ocorrências de alcalinas de diversos tipos, especialmente na região centro sul.

O máximo de intensidade do fenômeno, todavia, parece ter ocorrido no Cretáceo médio-inferior, há cerca de 120 m.a. (Amaral et alii, 1966).

Essas ocorrências de rochas alcalinas, distribuídas por várias regiões da Plataforma Brasileira, originaram-se nas diversas fases de reativação. Tem-se um primeiro grupo, um pouco mais antigo (120-130 m.a.), como por exemplo as de Jacupiranga, Anitápolis, Lajes, Itapirapuã, Serrote, Ipanema, Axá, etc. Um segundo grupo, pouco mais recente (60-80 m.a.), engloba uma série de ocorrências bem conhecidas, como por exemplo, as de Poços de Caldas, Itatiaia, Tinguã, Gericinô e outras.

Muitas dessas ocorrências, encontram-se dispostas na orla da Bacia do Paraná, por vezes na zona de arqueamento que a separa da bacia do São Francisco.

O conceito do alto paleogeográfico conhecido como Arco da Canastra, evoluiu paulatinamente desde que Andrade Jr (1925) verificou que a distribuição das principais ocorrências de águas minerais no oeste mineiro, relacionavam-se aos complexos alcalinos conhecidos na época, orientados segundo NNW-SSE.

Foi entretanto Costa (1963), in Ladeira et

alii (1971), quem pela primeira vez reconheceu a importância paleogeográfica da faixa citada, como um alto estrutural e morfológico, delimitador das bacias do Paraná e São Francisco.

Northfleet et alii (1969) introduziram o termo Arco da Canastra para designar o referido alto estrutural.

A esta faixa associam-se, vários complexos alcalinos como por exemplo as de Araxá, Tapira, Serra do Salitre, Serra Negra, Catalão I, Catalão II, Pantano e Coromandel.

Segundo Barbosa et alii (1970), como consequência da lenta subsidência que sofria a Bacia do Paraná, abriram-se geoclases em seu embasamento e nas suas bordas, permitindo o extravasamento de lavas toleíticas. A direção predominante dessas geoclases é 48 NW, nos Arcos da Canastra e Ponta Grossa. Os diques de diabásio se abriram desde o Alto Parnaíba, a sudeste, até próximo a Catalão.

O vulcanismo Paraná está datado em média a 120 m.a.. Entretanto, segundo o autor, nem todos os magmas basálticos derivados do Manto nessa época, ganharam a superfície da crosta. Alguns deles, em progressão lenta no seu caminho para a crosta superior, sofreram modificações de que resultaram rochas alcalinas e ultrabásicas.

Curiosamente, na ascensão para superfície da crosta, às vezes o magma encontrou teto resistente, maiormente quartzítico. Então produziu colossais deformações em forma de domo, como em Catalão I, Catalão II, Serra Negra, Serra do Salitre, Araxá e Tapira.

No que diz respeito à estrutura da Serra de

Caldas, não está afastada a hipótese de sua origem estar ligada às intrusões ocorridas durante a reativação mesozóica.

Ladeira et alii (1971) reconheceram a importância paleogeográfica do Arco da Canastra, assim como seu caráter ascensional durante a constituição das unidades sedimentares do Cretáceo, como atestam as espessuras dessas unidades, e o vulcanismo alcalino do tipo central, que reflete o regime de tensão experimentado por esta feição.

As feições de maior destaque são grandes falhamentos que ocupam a faixa compreendida entre os sedimentos das bacias do Paraná e São Francisco. Foram facilmente identificadas nas imagens do LANDSAT-1, onde se pode observar sua continuidade por algumas centenas de quilômetros. Possuem a direção preferencial NW-SE, havendo sistemas secundários para NE-SW e NNE-SSW.

Estes sistemas de falhamentos, constituindo uma zona de fraqueza, prolongam-se para SE, além dos limites da área mostrada no mapa 1, e para NE, pouco além da região de Caldas Novas. Nada se pode afirmar com relação ao movimento dos blocos. Segundo Barbosa et alii (1970), existem rasgamentos e empurrões nas áreas de Araxá, Coromandel, maciço da Canastra e outras regiões que, no entanto, não puderam ser identificados nas imagens do LANDSAT-1, sendo assim mapeados como falhas indiscriminadas.

Os sistemas de falhas de idade Pré-Cambriana, foram reativados no Mesozóico, podendo ter sofrido movimentos verticais, não apenas nos locais onde se encontram corpos alcalinos-ultrabásicos. Estes, por sua vez formam belos exemplos de estruturas circulares, perfeitamente distintas nas imagens.

Com relação aos dobramentos, foi possível iden



tificar-se apenas um grande sinclinal na região sudeste da área em estudo, cujo eixo apresenta-se orientado na direção NW-SE. Parece perder-se sob os sedimentos da Bacia do Paraná a NW e transcende os limites do mapa, a SE.

### 3.1.3 - IMAGENS DO LANDSAT-1

A interpretação das imagens do LANDSAT-1, na escala 1:1.000.000, na região do Triângulo Mineiro e sudeste do Estado de Goiás, e posterior confecção do mapa geológico do Arco da Canastra, teve, como objetivo principal, situar a área do município de Caldas Novas dentro do panorama geológico regional, permitir a observação do alinhamento dos maciços alcalinos intrusivos, nesta área, e sua possível correlação com os grandes falhamentos NNW da borda de Bacia do Paraná.

Estes falhamentos estendem-se até o domo da Serra de Caldas oferecendo, desta maneira, parâmetro de indiscutível importância a considerações sobre a sua origem, e de suas fontes de águas termominerais.

A área mapeada pode ser dividida em grandes unidades morfo estruturais devido às diferentes características espectrais de cada uma dessas unidades. A SW é representada pelo mesozóico da bacia do Paraná; a NNE, pelos sedimentos Cretáceos da Bacia de São Francisco e rochas Pré-cambrianas do Grupo Bambuí; e uma faixa central de direção NNW-SSE, de idade Pré-cambriana, representada por metassedimentos dos Grupos Araxá e Canastra.

No mapa geológico anexo (mapa 1), pode-se observar que os corpos intrusivos de Tapira, Araxá, Serra do Salitre, Serra Negra, e Catalão I e II, alinham-se com a Serra de Caldas, segundo a direção dos grandes falhamentos

que cortam as rochas desta faixa, sugerindo haver uma estreita relação entre os falhamentos e a origem destas estruturas.

Lamego (1923), in Ladeira et alii (1971), já correlacionava as águas minerais do Barreiro de Araxá, às fontes da Serra do Patrocínio, baseado na continuidade dos falhamentos.

Investigando as águas minerais do oeste de Minas Gerais, Andrade Jr (1925) verificou que a distribuição das principais ocorrências conhecidas na época, era segundo NNW.

O domo da Serra de Caldas também se caracteriza pela presença, em seus flancos e imediações, de numerosas fontes de águas termominerais, à semelhança de intrusões alcalinas ocorrentes nesta faixa estrutural. Tal fato vem reforçar o argumento de que a Serra de Caldas poderia tratar-se de uma estrutura, ocasionada pelo esforço de um corpo intrusivo, não aflorante, que poderia ser classificada como uma estrutura cripto-vulcânica.

Podemos ainda supor, pelo fato de a Serra de Caldas encontrar-se na extremidade do arqueamento, que nesta região o tectonismo de caráter ascensional foi de menor intensidade, dificultando a ascensão do magma a níveis atingidos em outras estruturas desta faixa.

Apoiando esta hipótese, podemos observar no mapa geológico do arco, obtido a partir das imagens, a menor densidade de falhamentos na região da Serra de Caldas, e ainda a continuação destes falhamentos apenas a poucos quilômetros a NW da Serra. Isto permite supor que, nesta área, estes falhamentos tenham sofrido um processo de reativação

de menor intensidade do que, por exemplo, na região de Araxá, Serra Negra, etc.

É importante ressaltar que o trabalho desenvolvido, tendeu principalmente para o estabelecimento de uma correlação estrutural entre a região de Caldas e áreas adjacentes, cujas origens já haviam sido determinadas. A visão regional, somada ao realce de estruturas fornecidas pelo canal 7, foram muito valiosos e demonstraram a imensa potencialidade deste produto de sensoriamento remoto, para estudos desta natureza.

Resta dizer que a utilização de imagens, na escala 1:250.000, possibilitou um refinamento das interpretações e que, para isto, utilizou-se, também o traçado de contatos geológicos de trabalhos prē existentes, dos quais o principal é de Amaral et alii (1976).

### 3.2 - GEOLOGIA LOCAL

#### 3.2.1 - ESTRATIGRAFIA

##### a) GRUPO ARAXÁ

Na área do projeto, são encontrados xistos e quartzitos correlacionáveis a este grupo. Suas rochas são as de maior distribuição em toda a área, estendendo-se desde o rio Piracanjuba até o rio Corumbá, e de norte a sul. Sobre esta sequência, assentam-se rochas do Grupo Canastra, representadas por intercalações de quartzo-xistos e quartzitos distribuídas, principalmente, no canto NE e limites E da área. Encontra-se ainda coberta por extenso depósito detrítico laterítico, de idade provavelmente Terciário

Quaternário, na região da Serra de Caldas.

Seu contato inferior com o Pré-Cambriano Indiferenciado, definido por Almeida (1967), como sendo discordante, não foi observado em nenhum lugar da área mapeada, mesmo porque, nesta região, não ocorrem afloramentos em que se possa observar as relações de contato entre as duas unidades.

O Grupo Araxá, na área do projeto Caldas Novas, foi litologicamente dividido em duas sequências; uma quartzítica no nível inferior e uma superior constituída principalmente por micaxistos.

A sequência quartzítica, constitui-se predominantemente por quartzitos micáceos (sericita), com intercalações de muscovita-biotita-xistos. Esse quartzito contém níveis de granulação grosseira e fina, chegando mesmo, a se observar a presença de um nível de metassilitito compacto, de cor avermelhada com alguns metros de espessura. Esse quartzito encontra-se melhor representado na Serra de Caldas, elevando-se a um nível topográfico superior, e sustentando a estrutura da Serra (foto 3).

Encontra-se de um modo geral bastante fraturado e exibindo nos níveis superiores, onde faz contato com a sequência que se lhe sobrepõe, uma estrutura xistosa, deixando dúvidas quanto a localização exata do contato entre as duas sequências.

A sequência superior, que se sobrepõe aos quartzitos, consiste de um pacote de muscovita-quartzo-xistos feldspáticos. Localmente, próximo à ponte sobre o rio Piracanjuba, na estrada que liga Morrinhos a Mazargão, pelo lado sul da Serra de Caldas, e nas imediações da Lagoa Pirapetinga, encontraram-se afloramentos

ramentos de xistos granatíferos. Esta sequência de muscovita quartzo-xisto feldspáticos corresponderia àquela definida por Braun (1968), como unidade C do Grupo Araxá, na qual ele reconheceu a predominância de Calco-plagioclásio-quartzo-muscovita-biotita-xistos, sendo característica a presença de micro dobramentos em todo o pacote, e a existência, em sua base, de um nível de delgados leitos quartzíticos muscovíticos.

Não foi constatada nestes xistos, a presença de carbonato, seja em testes de campo com ácido clorídrico, ou na análise petrográfica das seções delgadas.

Esta unidade encontra-se distribuída em torno da Serra de Caldas, estendendo-se até os limites da área em quase todas as direções. A NE e E, perde-se sob os micaxistos do Grupo Canastra. Raras lentes de anfibolito foram encontradas, e verificou-se a presença de pequena lente de calcário, no extremo SE da área. Este calcário tem uma cor cinza médio, e encontra-se intensamente dobrado e fraturado, bem estratificado, com veios de calcita, de dimensões milimétricas e centimétricas, com níveis xistosos, microdobrados, paralelos a estratificação, onde é comum a presença de micas e sulfetos de mineral metálico. Na base desta unidade, sobre a sequência quartzítica, no extremo sul da Serra de Caldas, ocorre um conglomerado arcóxico.

É comum às duas unidades, a presença de veios de quartzo leitoso de espessura milimétrica a centimétrica, ora concordantes com a xistosidade, ora preenchendo fraturas. Não foram encontrados corpos pegmatíticos como os descritos por Barbosa et alii (1970).

b) GRUPO CANASTRA

Este grupo de metamorfitos ocupa o quadrante NE e o limite E da área, estendendo-se em estreita faixa em direção a oeste, desviando-se para sul no lado oeste da Serra de Caldas, como que circundando-a.

Essa unidade é constituída predominantemente de quartzo-clorita-muscovita-xistos, intercalados com quartzitos micáceos a sericíticos, de granulação fina a média.

A despeito da definição de Almeida (1967), observações de campo, do contato deste Grupo com o Grupo Araxá, na área do projeto, não indicaram a existência de uma discordância como descrito por aquele autor. Ao contrário, as rochas do Grupo Canastra parecem assentar-se, naturalmente, sobre a unidade superior do Grupo Araxá, com indícios de passagem gradual de uma unidade para outra.

A oeste, entre a Serra de Caldas e o rio Piracanjuba, o contato entre as duas unidades é por falha de empurrão.

Segundo Braun (1969, in Barbosa et alii, 1970), o baixo grau metamórfico dessas rochas parece estar condicionado à diafotese e ao domínio de rochas quartzíticas.

c) COBERTURA DETRÍTICO-LATERÍTICA

Tem sua maior expressão sobre a Serra de Caldas, onde o solo parece ser bastante espesso. Nesta região não ocorre nenhum afloramento de rochas da unidade subjacente.

O solo, de coloração avermelhada, argilo arenoso, é essencialmente laterítico, com elevada concentração de concreções ferruginosas de diâmetros milimétricos.

Esta cobertura teria uma idade provavelmente Terciária-Quaternária.

Os vales dos rios de toda a região, são quase totalmente desprovidos de depósitos aluvionares significantes.

### 3.2.2 - PETROGRAFIA

#### 3.2.2.1 - ROCHAS DO GRUPO ARAXÁ

##### a) MUSCOVITA-QUARTZO-XISTO-FELDSPÁTICO

É a rocha mais extensamente distribuída na área. Apresenta uma cor primária cinza claro. Quando alterada assume uma coloração de rosa a vermelho, e às vezes amarelo esbranquiçado.

Compõe-se de quartzo, feldspatos (até 70%), muscovita-sericita (até 30%). Os grãos de quartzo tem uma granulometria variada, desde 0.05 mm a >2.0 mm, são imbricados, localmente alongados e orientados, exibindo extinção ondulante.

O feldspato é predominantemente microclínio. Apresenta cristais de granulometria semelhante à do quartzo. A muscovita-sericita, com cristais alongados, orientados e encurvados, forma faixas englobando cristais de quartzo e feldspato. Associada a muscovita-sericita, aparece a biotita.

Os acessórios mais comuns são: apatita, titanita, turmalina, zircão, epidoto, opacos, granada e carbonatos.

#### b) QUARTZITOS

Apresentam uma cor primária cinza-rôsea até avermelhada, geralmente compactos e micáceos, são friáveis quando intemperizados.

Seus constituintes principais são o quartzo e a muscovita-sericita, ocorrendo associada a biotita.

O quartzo, numa percentagem de 95-100%, tem granulometria média (0,2 - 0,3 mm), exibindo fraca extinção ondulante, tem seus cristais imbricados e impregnados por óxido de ferro secundário. A muscovita-sericita é intergranular ou em forma de plaquetas menores que 0,1 mm, alongadas e orientadas, dispersas entre os cristais de quartzo. Os acessórios mais comuns são: turmalina e opacos, que podem chegar a constituir 5% da rocha.

#### c) CALCÁRIO

Pouco expressivo, ocorre em pequena lente no quadrante sudeste na área do projeto. Sua cor primária é cinza-médio e tem textura grano-lepidoblástica.

Sua estrutura é, em alguns pontos, xistosa, podendo ser classificada como calco-xisto. É composto de carbonato (calcita 50%), clorita e quartzo. O carbonato, de granulometria variada, forma massas irregulares, localmente alongadas e parcialmente orientadas.

A clorita, em cristais alongados, parcialmente orientados.



tada, encontra-se dispersa entre os cristais de carbonato e quartzo, o qual apresenta extinção ondulante. Associados, ocorrem os opacos, disseminados entre os demais minerais. Os acessórios mais comuns são a biotita e o rutilo.

#### d) ANFIBOLITO

Rocha compacta, apresenta cor cinza médio, é escura quando alterada. Constitue-se principalmente de anfíbólio (Hornblenda) (70 a 80%), com cristais de granulometria entre 0,5 e 3,0 mm. Associados encontram-se quartzo, feldspatos (plagioclásio predominante), que se encontram parcialmente sericitizados e opacos.

Como acessórios ocorrem a clinozoisita e a apatita.

### 3.2.2.2 - ROCHAS DO GRUPO CANASTRA

São representadas na área, por intercalações de xistos e quartzitos.

#### a) BIOTITA-MUSCOVITA-QUARTZO-XISTO

A cor primária da rocha é cinza médio, quando fracamente alterada, chegando a cinza róseo, quando muito alterada. Constitue-se predominantemente de quartzo e feldspatos (+70%), muscovita-sericita e biotita.

O quartzo é, predominante, com cristais de granulometria em torno de 0,3 mm; imbricados exibem extinção ondulante. Seus cristais intercalam-se com as palhetas de muscovita.

Com uma granulometria semelhante a do quartzo, o feldspato (plagioclásio) encontra-se parcialmente fraturado e sericitizado.

A muscovita-sericita e biotita, com cristais alongados orientados e encurvados, formam faixas que englobam cristais de quartzo e feldspato.

As vezes ocorre um quartzo-clorita-muscovita-xisto, de coloração cinza médio, composto essencialmente por muscovita-sericita e clorita (até 50%), quartzo e cloritóide.

As micas predominantes apresentam-se em cristais a longados e fraturados, faixas orientadas e intensa mente dobradas, englobando cristais de quartzo.

O quartzo, com alguns cristais de até 0,3 mm, exibe forte extinção ondulante. Associados, os cloritóides possuem cristais alongados, de granulometria entre 0,05 mm e 0,2 mm, parcialmente orientados com pórfi ros de até 0,9 mm.

Os acessórios mais comuns são opacos e turmalina.

#### b) QUARTZITOS

Intercalados com o xisto, são pacotes de pequena es pessura. Estes quartzitos são de cor cinza claro e róseo, de granulação fina e bastante friáveis. Cons tituem-se, essencialmente, de quartzo, e associados aparecem muscovita e biotita.

#### 3.2.2.3 - LATERITA FERRUGINOSA

Rocha de cor marrom, pouco consolidada, forma concreções milimétricas, às vezes centimétricas.

É constituída essencialmente por material argilo-arenoso, cimentado por ôxido de ferro (limonita).

Encontra-se sobre o solo conferindo-lhe uma cor marrom avermelhada; é supostamente terciária.

### 3.2.3 - ESTRUTURA

Ao considerar-se a área específica do Projeto Caldas Novas, puderam ser distinguidas diversas feições estruturais, que podem evidenciar a existência de, pelo menos duas fases de movimentação, já discutidas anteriormente, sendo uma pré-cambriana e outra Mesozóica.

O estilo de dobramentos pode ser classificado como assimétrico, de um modo geral, com os planos axiais mergulhando para ENE. Foram mapeados anticlinais e sinclinais de grandes dimensões, que transcendem a área do projeto. De um modo geral, seus eixos possuem direção aproximada NNW-SSE. A feição de maior destaque é, sem dúvida nenhuma, a Serra de Caldas, que não segue o mesmo estilo, pois apresenta características de uma estrutura dômica, se adotarmos a definição do Dicionário Geológico de Paffengolhts (1973), onde uma estrutura dômica pode ser considerada, um caso parti-cicular de braquianticlinal, cujo eixo maior não excede duas vezes o menor.

Observaram-se os xistos das unidades B e C (vide mapa 2), intensamente dobrados assimetricamente e em dobras isoclinais. Não foi possível determinar-se uma direção preferencial, para a xistosidade e acamamento.

Foi feito um diagrama com 121 medidas (fig. III.1) que, após ter sido analisado, permitiu as seguintes

observações:

- A região de maior densidade de medidas ocupa, principalmente, o quadrante NW, mostrando um certo predomínio de direções para NE-SW, e mergulhos para NW, que, com certa segurança, são o reflexo de lineamentos mais antigos.
- O fato de que estes tipos de feições planares, possuem direções e mergulhos que se distribuem pelos quatro quadrantes e, ainda, que os ângulos de mergulho são maiores quanto mais se aproximam da Serra de Caldas, constitui-se mais uma evidência para sugerir a origem desta estrutura.

Destacam-se dois sistemas de falhamentos na área, com direções para NW-SE e NE-SW, em torno de  $60^{\circ}$ .

O mergulho e movimento relativo de blocos não pode ser determinado, na maioria das vezes, ficando a identificação, deste tipo de estrutura, para ser feita através da interpretação das imagens do LANDSAT-1, fotografias aéreas, e reconhecimento de brechas, filonitos e grandes veios de quartzo no campo. Mesmo assim, com o auxílio inclusive da bibliografia pré existente e apoio nos argumentos acima expostos, conseguiu-se identificar algumas feições. É o caso do falhamento de empurrão que coloca em contato os grupos Canastra e Araxá, nas regiões sudoeste e noroeste da área mapeada. Citam-se, ainda, os grandes falhamentos NW-SE, como possíveis transcorrências dextrais. Não está afastada a hipótese que, durante a reativação Mesozóica, estes falhamentos tenham sofrido movimentos verticais, com o soerguimento da estrutura de Caldas.

Foram realizadas cerca de 330 medidas de fra

turas, as quais, foram lançadas sobre o diagrama de igual área de Schmidt (fig. III.2). Verificou-se o comportamento e distribuição destas fraturas que sugerem as seguintes observações:

- De um modo geral, distribuem-se em todas as direções e a maioria é vertical a subvertical.
- Na medida em que se afastam da Serra de Caldas, os ângulos de mergulho tornam-se mais suaves. Aqui se deve fazer uma ressalva, conquanto não foram feitos perfis muito distantes da Serra.
- Podem ser distinguidos dois polos de maior concentração. Um entre N 20 - 30 E, e outro N 30 - 40 W, verticais a subverticais. Estas duas direções representaram o reflexo dos sistemas desenvolvidos a 30° dos principais falhamentos da área.

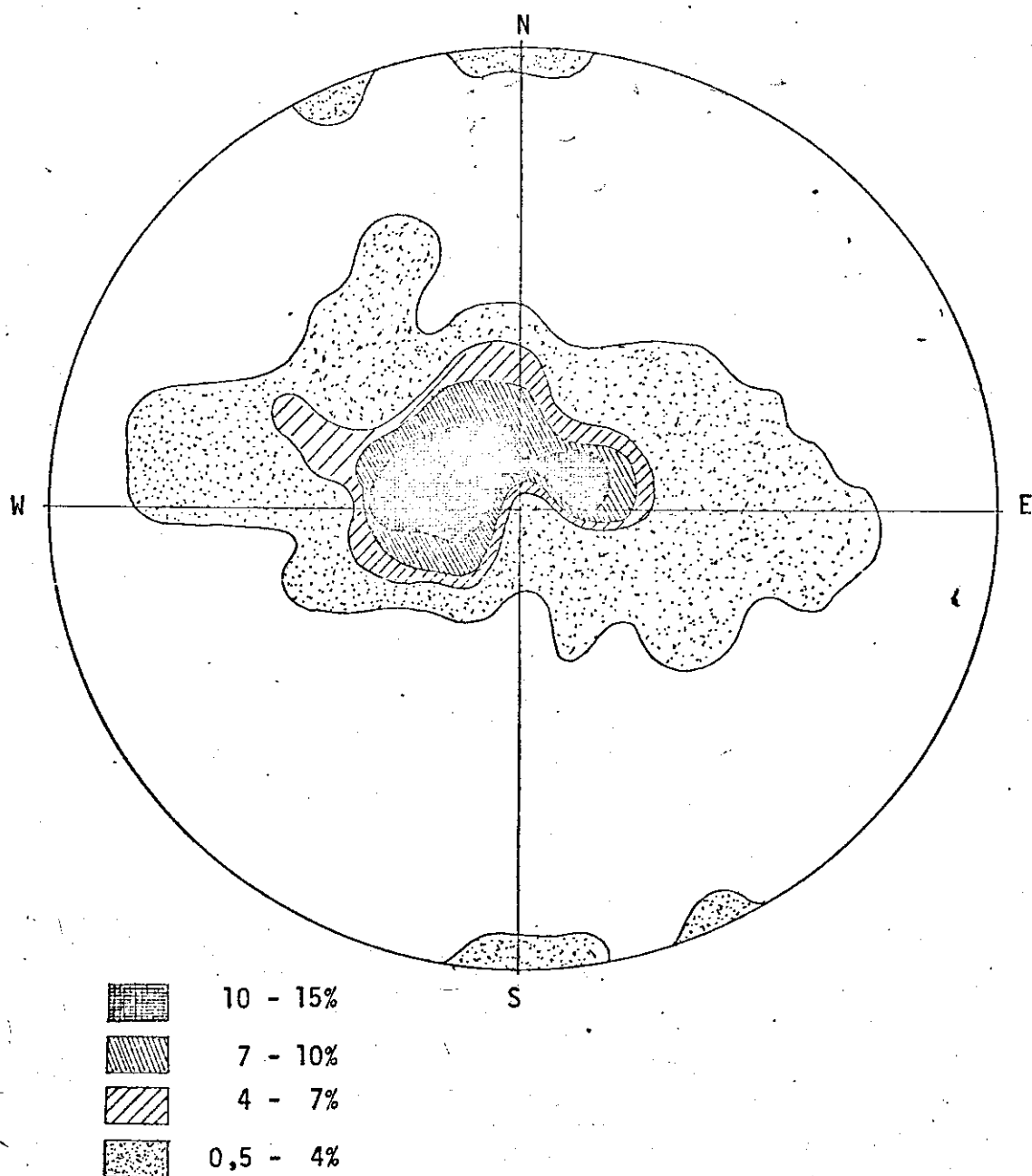


Fig. III.1 - Diagrama de Schmidt para medidas de xistosidade.

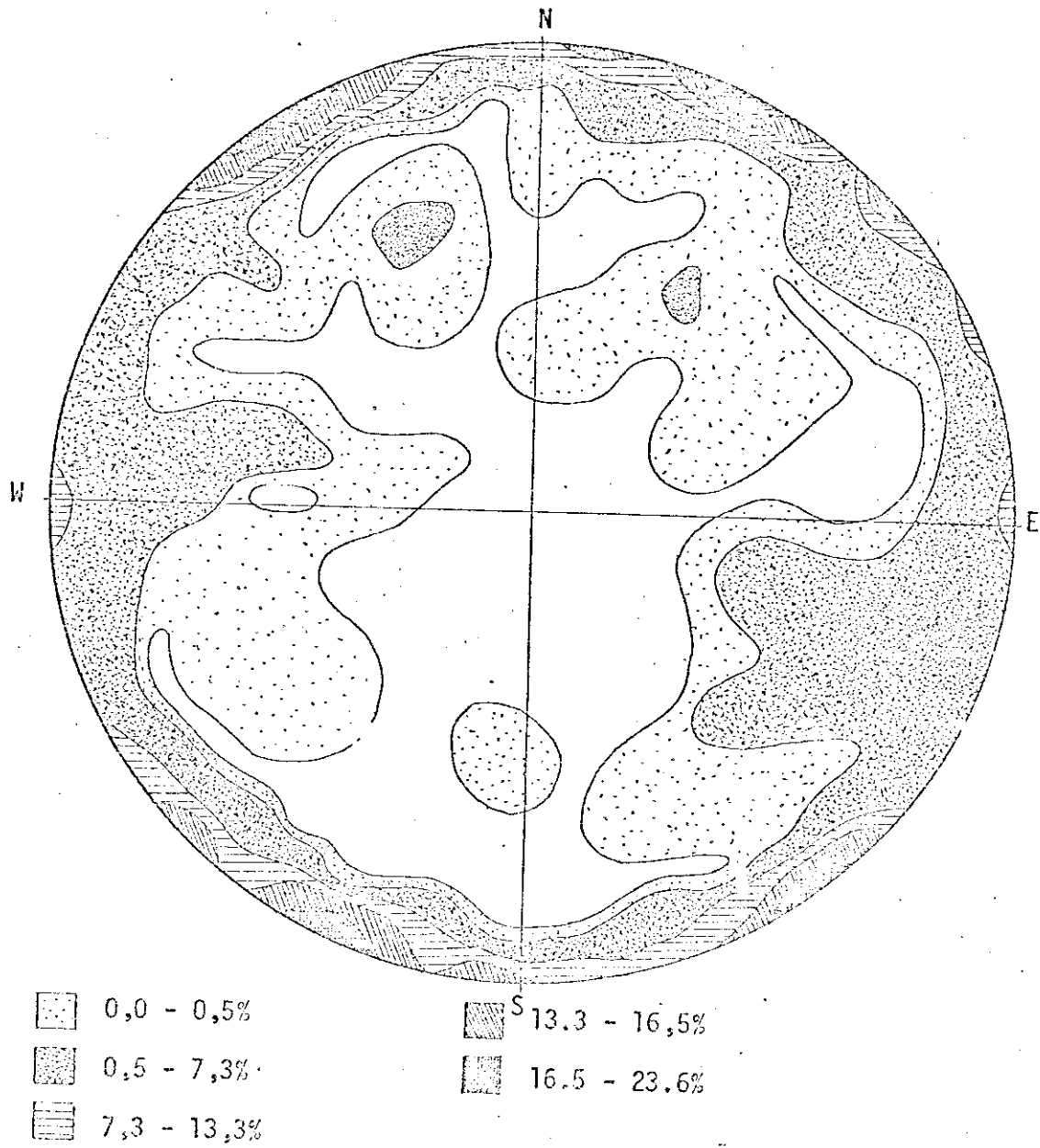


Fig. III.2 - Diagrama de Schmidt para medidas de fraturas.

### 3.3 - HIDROGEOLOGIA

#### 3.3.1 - ASPECTOS GERAIS

De um modo geral, a pesquisa de água subterrânea, em rochas cristalinas, limita-se à localização de areias granulares ou rochas fissuradas ou, por outro lado, à localização de estruturas, dando-se enfoque especial ao estudo de falhas e ou fraturas.

Em se tratando de pesquisa de águas termominerais, neste tipo de rochas, empregou-se o método da termometria, integrado à interpretação geológico-estrutural, para a prospecção de áreas anômalas, onde provavelmente localizam-se as redes aquíferas termais. Entretanto, friza-se que outros métodos de prospecção geofísica podem ser empregados, visando um refinamento dos resultados. A ausência quase total de dados de subsuperfície (exceto perfis de quatro poços na área da cidade de Caldas Novas), bem como de poços de teste e observação, necessários à obtenção dos parâmetros, que caracterizam os aquíferos (coeficientes de transmissividade e armazenamento, a condutividade hidráulica e a capacidade específica), não permitiu que as pesquisas fossem além da fase de prospecção.

As redes aquíferas da região foram formadas pelo desenvolvimento dos sistemas de fraturas, associados aos falhamentos e dobramentos já descritos no item 3.2.3. Além disso pode-se ter a água armazenada nos níveis de quartzito (unidade 1 do mapa geológico 2), como sugerem 2 dos perfis analisados (T. Janer - 1973 - cidade de Caldas Novas). Naturalmente na área em questão o quartzito é mais "permeável" que o xisto (unidade B).

Com exceção dos locais em que a água aflora à



superfície espontaneamente, através de fendas nas rochas (Pousada, Ribeirão Caldas Novas e Lagoa Pirapetinga), esta foi encontrada através da perfuração de poços, todos com mais de 100 m de profundidade (Caldas Novas e Lagoa). Este fato é explicado pela baixa permeabilidade das rochas, principalmente do xisto, e por estarem as redes aquíferas em profundidade, provavelmente nos quartzitos.

De um modo geral, este é o comportamento regional para toda a área do projeto.

Analisando cada área em particular, destacam-se suas características individuais mais significativas. Desse modo nota-se que as nascentes do Ribeirão Água Quente estão diretamente ligadas ao cruzamento de diversos sistemas de falhamentos e fraturas no quartzito (mapas 2 e 3). Para a área da cidade de Caldas, verifica-se o afloramento espontâneo, ao longo do Ribeirão Caldas Novas, por fraturas de direção aproximadamente perpendicular à xistosidade e a existência de poços artesianos de águas termais, que atingiram regiões de intenso fraturamento no xisto ou então os quartzitos da unidade A. Com referência à Lagoa Pirapetinga, o afloramento se dá por fraturas no xisto, enquanto que para os dois poços artesianos pode-se afirmar apenas, encontrarem-se alinhados na direção aproximada N-S, o que coincide com o fato da existência de um anticlinal na área, com a mesma direção.

É importante ressaltar-se a existência de um grande sinclinal de eixo com direção aproximada N-S, sobre o qual se localiza a cidade de Caldas e que se estende para o sul, onde está situada a área do córrego Tucum (vide mapas 2, 4 e 6).

Sobre a área, acima citada, não se tem notícia

da existência de água quente e, portanto, a única informação possível de se fornecer é o estreito relacionamento das estruturas com as anomalias termais (vide mapas 2 e 7).

Para se explicar o artesianismo de todos os poços perfurados até o presente momento, que fornecem águas termominerais, supõe-se que a rede aquífera seja confinada pelo sistema estruturas e xistos pouco permeáveis, apesar de que, para satisfazer-se a estas condições hipotéticas há a necessidade de caracterização dos parâmetros hidrogeológicos. Por outro lado, a alta temperatura e consequente alta pressão constituem-se em outro fator elucidativo para este fato.

Supõe-se que a alimentação das redes aquíferas esteja ligada não somente às precipitações pluviométricas, mas, também, à infiltração pelos sistemas de fraturas e falhas, sobre os quais estão encaixados os rios perenes da região. Informações obtidas no local, sobre a não variação da vazão dos poços de Caldas Novas e do Ribeirão Água Quente, evidenciam que estas redes constituem grandes reservatórios.

### 3.3.2 - FONTES TERMAIS

As fontes termais do Município de Caldas Novas ocorrem em três localidades já bem conhecidas: cidade de Caldas Novas, Lagoa Pirapetinga e Pousada do Rio Quente.

Quanto à cidade, as fontes ocorrem sobre o leito do ribeirão homônimo, de água fria, em uma extensão aproximada de 500 m, onde este se encaixa sobre fraturas (vide mapas 2 e 3). Seu número não pode ser determinado. Entretanto considerou-se que estas ocorrências são de pouco interesse no estágio atual, já que toda exploração se faz por intermédio de perfurações. Informações verbais e dados colhidos

durante os trabalhos de campo permitiram que fossem listados alguns parâmetros sobre os poços existentes, mais a título elucidativo, pois não foram efetuadas medidas pelos autores, já que, além de fugir-se dos objetivos propostos, não se possuía equipamento adequado.

Constatou-se a existência de 16 poços sendo que 3 de água fria e 13 com água variando entre 30 a 47°C. Todos os poços de águas termominerais apresentam artesianismo.

As vazões aproximadas, profundidades e temperaturas são listadas a seguir:

- 1 - Próximo à ponte da BR-490 sobre o Ribeirão Caldas Novas  
Temperatura: 42°C  
Vazão: 6200 l/h\*  
Profundidade: 114 m
- 2 - Hotel Nacional - Chacrinha  
Água fria, poço fechado não artesianano  
Profundidade: 114 m
- 3 - Hotel Nacional  
Temperatura: 45°C  
Vazão: 35.000 l/h (bombeado)  
Profundidade: 310 m
- 4 - Hotel Nacional  
Temperatura: 45°C  
Vazão: 25.000 l/h (bombeado)  
Profundidade: 220 m

---

\* l/h - litros por hora

- 5 - Poço de André Ostapuik, próximo ao Hotel Nacional  
Temperatura: 47°C (informações de terceiros)

Obs.: Não foram fornecidos dados, nem tampouco permitida a entrada para medidas termométricas.

- 6 - Balneário Municipal  
Temperatura: 45°C  
Vazão: 12.000 l/h  
Profundidade: 80 m

- 7 - Hotel Águas Calientes  
Temperatura: 45°C  
Vazão: 45.000 l/h  
Profundidade: 142 m

- 8 - Caldas Termas Clube - CTC  
Temperatura: 44°C  
Vazão: inicialmente: 35.000 l/h; atualmente bem me  
nos, pois o poço não tem revestimento e es  
tá fechando.

- 9 - Prefeitura - Saneago - Abastecimento da cidade  
Temperatura: 44°C  
Vazão: 40.000 l/h; bombeado: 80.000 l/h  
Profundidade: 80 m

- 10 - CTC - Sauna  
Temperatura: 45°C  
Vazão: 100.000 l/h  
Profundidade: 60 m

- 11 - Hotel Novo de José Onofre  
Temperatura: 44°C  
Vazão: 12.000 l/h (bombeado)  
Profundidade: 220 m

12- Poço de João Ala (às margens do Rib. Caldas Novas)

Temperatura: 33°C

Vazão: 8.000 ℓ/h

Profundidade: 220 m

13- Hotel Turismo

Temperatura: 29°C

Obs.: Não se tem dados

14- Pousadinha (ao lado do CTC)

Temperatura: 44°C

Vazão: 12.000 ℓ/h (bombeado)

Profundidade: 100 m

15- Pousadinha

Água Fria

Profundidade: 60 m

16- Nova Vila

Água Fria (poço fechado)

Profundidade: 172 m

Próximo à cidade, existe uma Chácara, junto ao asfalto da BR-490, do lado esquerdo no sentido Morrinhos-Caldas, onde existe um poço perfurado, um em perfuração e uma cisterna (maio/76). Todos fornecem água fria. O poço já perfurado apresenta uma vazão de 3000 ℓ/h, profundidade de 100 m e temperatura de 26°C.

Para a área da Pousada do Rio Quente existem inúmeras nascentes nas fraturas do quartzito, o que é bem exemplificado nas piscinas do Hotel. Foi estimada por Oriente T. (1975), uma vazão aproximada de 104 milhões de litros por 24 horas para os formadores do Ribeirão Água Quen

te. A temperatura para as diversas nascentes varia de 35.0°C a 39.0°C. Não existem poços perfurados.

Na Lagoa Pirapetinga, as nascentes das águas termominerais estão localizadas dentro da própria, não tendo sido efetuadas medidas de vazão. Ocupa uma área aproximada de 300 m<sup>2</sup>, não sendo visível em fotografias aéreas na escala 1:60.000, por suas reduzidas dimensões e cobertura vegetal. Existe mais uma nascente, à margem direita do Pirapetinga, onde se constatou a mais alta temperatura de toda a região: 57°C. Na margem esquerda há um poço artesiano que não está sendo utilizado.

Quanto à área do Córrego Tucum, não há qualquer ocorrência natural ou poços de águas termominerais.

### 3.3.3 - PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Os estudos físico-químicos das águas termais da região de Caldas Novas, aqui apresentados, foram efetuados pelo Laboratório da Produção Mineral do Departamento Nacional da Produção Mineral e pelo Serviço de Laboratório da CAESB (in Oriente T., 1975)

TABELA III.1

QUADRO COMPARATIVO DE MINERALIZAÇÃO DAS ÁGUAS DO RIO QUENTE  
REALIZADA POR L.P.M.

ELEMENTOS DE MINERALIZAÇÃO	LPM 1938	LPM 1969
Resíduos evaporação a 180°C	0.0390	9.0370
Nitritos	0.0000	0.0000
Nitratos	0.0009	0.0000
Sílica	0.0078	0.0120
Cálcio	0.0064	0.0034
Magnésio	0.0030	0.0025
Sódio	0.0066	0.0004
Potássio	0.0015	0.0008
Cloretos	0.0020	0.0014
Sulfatos	0.0000	0.0005
Fosfatos	0.0000	0.0007
Bicarbonatos	0.0502	0.0213
Carbonatos	0.0000	0.0000

TABELA III.2

QUADRO COMPARATIVO DAS CONSTANTES FÍSICO-QUÍMICAS PROVÁVEIS  
REALIZADAS PELO L.P.M. NAS ÁGUAS DO RIO QUENTE

COMPOSIÇÃO QUÍMICA PROVÁVEL	LPM 1938	LPM 1969
Sulfato de Cálcio	-	0.0007
Cloreto de Sódio	0.0032	0.0010
Cloreto de Magnésio	0.0180	0.0144
Bicarbonato de Sódio	0.0197	-
Fosfato de Potássio	-	0.0012
Nitrato de Potássio	0.0014	-
Silica	0.0078	0.0120



TABELA III.3

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA - DEPARTAMENTO NACIONAL DA  
PRODUÇÃO MINERAL - LABORATÓRIO DA PRODUÇÃO MINERAL

ANÁLISE DE UMA AMOSTRA DE ÁGUA

Boletim nº 25.700

em 30 de dezembro de 1968

ANÁLISE QUÍMICA COMPLETA PARA ESTUDO "IN LOCO" Data da colheita: 15.11.68	
DISCRIMINAÇÃO	RESULTADO
Aspecto ao natural	Clara e límpida
Sólidos em suspensão	Desprezíveis
Odor a frio	Nenhum
RESULTADOS SOBRE A AMOSTRA AO NATURAL	
Aspectos após fervura	Clara e límpida
Odor a quente	Nenhum
Cor	Zero
Turbidez	Zero
pH	6.15
Condutividade a 25°C em ohms x cm	3,5 x 10
Pressão osmótica em mm Hg a 25°C	11,7
Abaixamento crioscópico	0,00011°C
Resíduo de evaporação a 110°C	0,45 g/l
Resíduo de evaporação a 180°C	0,037 g/l
Resíduo fixo ao rubro sombrio	0,029 g/l
Oxigênio consumido em meio ácido	0,0008 g/l
Oxigênio consumido em meio alcalino	0,000' g/l
Nitrogênio amoniacal em NH <sub>3</sub>	0,00000 g/l
Nitrogênio albuminoide em NH <sub>3</sub>	0,00000 g/l
Nitritos em NO	ausência
Nitratos em NO	0,000 g/l
Dureza total em graus franceses	2

CONTINUAÇÃO DA TABELA III.3

DISCRIMINAÇÃO	RESULTADO
Dureza permanente em graus franceses	1,5
Dureza temporária em graus franceses	0,5
Sílica em SiO	0,0120 g/l
Ferro em Fe	Ausência
Alumínio em Al	Ausência
Manganês em Mn	Ausência
Cálcio em Ca	0,0034 g/l
Magnésio em Mg	0,0025 g/l
Sódio em Na	0,0004 g/l
Potássio em K	0,0008 g/l
Lítio em Li	0,0000 g/l
Amônio em NH	0,0000 g/l
Cloreto em Cl	0,0014 g/l
Brometos em Br	0,0000 g/l
Iodetos e: I	0,0000 g/l
Gás sulfídrico e sulfetos em S	0,000 g/l
Sulfatos em SO	0,0005 g/l
Fosfatos em HPO	0,0007 g/l
Titânio em Ti	Ausência
Gás Carbônico livre em CO	0,381 g/l
Bicarbonatos em HCO	0,0213 g/l
Carbonatos em CO	0,0000 g/l

TABELA III.4

QUADRO COMPARATIVO DAS CONSTANTES FÍSICO-QUÍMICAS  
REALIZADAS PELO L.P.M. NAS ÁGUAS DO RIO QUENTE

CONSTANTES FÍSICO-QUÍMICAS	LPM 1938	LPM 1969
PH	6.5	6.15
Temperatura da água	38°C	38°C
Temperatura ambiente	28°C	26°C
Condutividade a 25°C ohms <sup>-1</sup> x cm <sup>-1</sup>	5.9 x 10 <sup>-5</sup>	3.5 x 10 <sup>-5</sup>
Radioatividade da água	0.30	5.10
Radioatividade dos gases	-	15.20
Vazão, litro/24 horas	20.000.000	104.000.000

TABELA III.5

RESULTADOS DA ANÁLISE QUÍMICA DAS ÁGUAS QUENTES EFETUADOS NO  
DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ESGOTOS - CAESB - SERVIÇO DE LABORATÓRIO

CARACTERES FÍSICO-QUÍMICOS	mg/ℓ	CARACTERES FÍSICO-QUÍMICOS	mg/ℓ
Cor em escala Pt-Co		Cálcio em $\text{Ca}^{++}$	
Turbidez em $\text{SiO}_2$		Magnésio em $\text{Mg}^{++}$	
Odor		Ferro em Fe	0.079
Sólidos em Suspensão		Manganês em Mn	
Sólidos Dissolvidos		Alumínio em $\text{Al}^{+++}$	
Sólidos Totais	101.6	Cloretos em $\text{Cl}^-$	0.000
Condutância Específica em micromohs /cm		Fluoretos em $\text{F}^-$	
pH	7.4	Sulfatos em $\text{SO}_4^{-4}$	
Alcalin. de $\text{HCO}_3^-$		Fosfatos em $\text{PO}_4$	
Alcalin. de $\text{CO}_3^{=3}$		Silica em $\text{SiO}_2$	
Alcalin. de $\text{OH}^-$		N/Albuminoide	
$\text{C}^2$ livre		N/ $\text{NH}_3$	
Dureza total em $\text{CaCO}_3$	65.0	N/ $\text{NO}_2$	
D.Q.O.		N/ $\text{NO}_3$	0.006
D.B.O.			
O.D.			

Pelos resultados obtidos nas análises e sob o ponto de vista químico, trata-se de água potável, sem indício de contaminação.

### 3.3.4 - CLASSIFICAÇÃO DAS FONTES

De acordo com a legislação em vigor (Apêndice I), as águas termominerais da região de Caldas Novas, podem ser classificadas como sendo oligominerais - carbogasosas - radioativas (quanto aos gases) - hipertermiais.

### 3.4 - GEOLOGIA ECONÔMICA

O aproveitamento de recursos minerais na área é pouco desenvolvido. A grande quantidade de fontes de águas termominerais é aproveitada exclusivamente para exploração turística por grandes hotéis, entre os quais destacam-se a Pousada do Rio Quente, Hotel Águas Calientes, e outros, além de abastecimento parcial da cidade.

#### 3.4.1 - ÁGUAS TERMOMINERAIS

Devido à inexistência de dados de subsuperfície incluindo medidas do grau geotérmico a diferentes profundidades, quaisquer considerações a respeito da origem das águas termominerais de Caldas Novas são hipotéticas.

O problema pode ser encarado sob dois enfoques:

- 1) Pode-se considerar que a água, infiltrada por gravidade através de fraturas ou mesmo porosidade das rochas, poderia ser aquecida em virtude do aumento do grau geotérmico em profundidade.
- 2) Os estudos desenvolvidos no sentido de desvendar-se a origem da estrutura de Caldas, sugerem a possibilidade da existência de uma intrusão em profundida

de. Deste modo as águas termominerais poderiam ser juvenis e, no caso mais provável de serem meteóricas infiltradas, seriam aquecidas por fenômenos termais cuja origem estaria ligada a existência desta intrusão.

#### 3.4.2 - MANGANÊS

Durante o reconhecimento geológico regional, visitou-se uma ocorrência de manganês no extremo sul da Serra de Caldas (vide mapa 2). Com característica de um depósito residual, esta ocorrência estende-se por uma área de aproximadamente 500 m de diâmetro. Não foi possível estabelecer contato com a Companhia que a está pesquisando. Observações de duas "trincheiras" mostram que o manganês estende-se até a uma profundidade de 1,5 metros aproximadamente. A observação macroscópica sugere tratar-se de óxido de manganês.

#### 3.4.3 - CALCÁRIO

Uma pequena lente de calcário, existente no extremo sudeste da área, é explorada e utilizada como corretivo de solo.

#### 3.5 - GEOTERMOMETRIA

Para a definição de anomalias termais, existem diversos procedimentos, que são determinados essencialmente, pela origem das mesmas e pelas especificações dos problemas a serem resolvidos.

Para a região de Caldas Novas, a existência de áreas anômalas em temperatura, está ligada ao calor transferido das águas termominerais e difundido pelo conjunto ro

cha-solo de alteração, não estando afastada a hipótese de estar relacionada a uma anomalia geotermal.

Afim de se determinar o comportamento da temperatura e, deste modo, delimitar-se áreas anômalas, coletaram-se dados termométricos que foram tratados por métodos de computação, utilizando-se do programa de Análise de Superfície de Tendência (vide figs. III.3 e III.4). A partir dos mapas de resíduos (vide mapas 7 e 17), chegou-se a definição de 4 áreas anômalas, denominadas Pousada do Rio Quente (PRQ), Caldas Novas (CN), Lagoa Pirapetinga (LP) e Córrego Tucum (CT) delimitadas no mapa 2.

Posteriormente, cada uma destas áreas foi detalhada usando-se os mesmos procedimentos (vide figs. III.5, III.6, III.7 e III.8), chegando-se a uma definição mais precisa sobre as anomalias (vide mapas 13, 14, 15 e 16).

Ao mesmo tempo estudou-se a viabilidade de se fazer esta prospecção, utilizando-se um Imageador Termal Aeroportado, levando-se em consideração as medidas de temperatura superficiais, e baseando-se no trabalho de Hase (1971).

É importante ressaltar que todo trabalho desenvolvido está, intrinsecamente, ligado aos resultados obtidos a partir das investigações geológicas feitas na área.

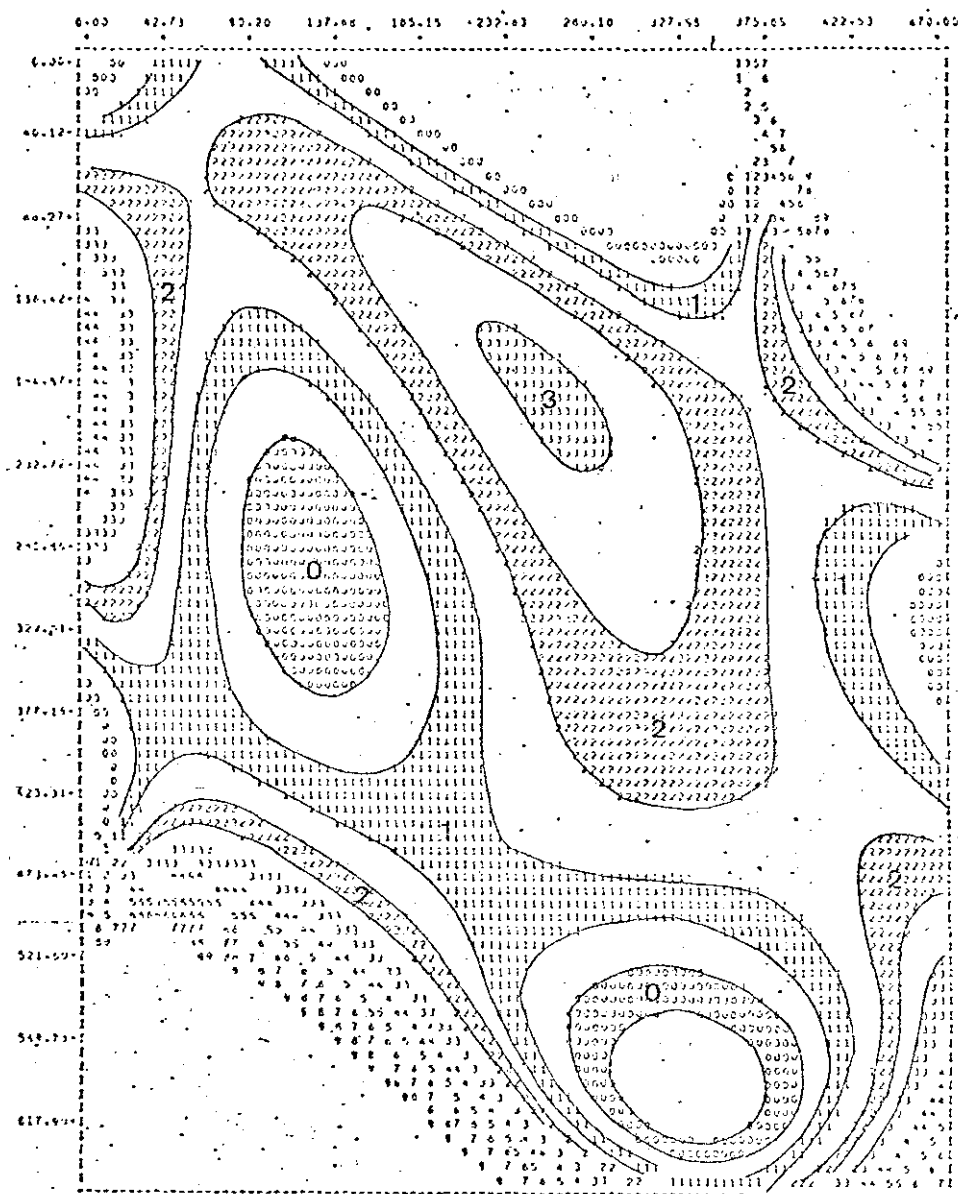


Fig. III.3 - Análise de Superfície de Tendência  
 Área do Projeto Caldas Novas  
 Medidas com Termômetro de Solo  
 Superfície de Grau-6

LEGENDA DO MAPA

SÍMBOLO	TEMP °C	SÍMBOLO	TEMP °C	SÍMBOLO	TEMP °C
0 .....	22.7	.....	26.3	.....	29.2
.....	23.2	4 .....	26.7	7 .....	29.7
1 .....	23.7	.....	27.2	.....	30.2
.....	24.2	5 .....	27.7	8 .....	30.7
2 .....	24.7	.....	28.2	.....	31.2
.....	25.2	6 .....	28.7	9 .....	31.7
3 .....	25.7				ALEM



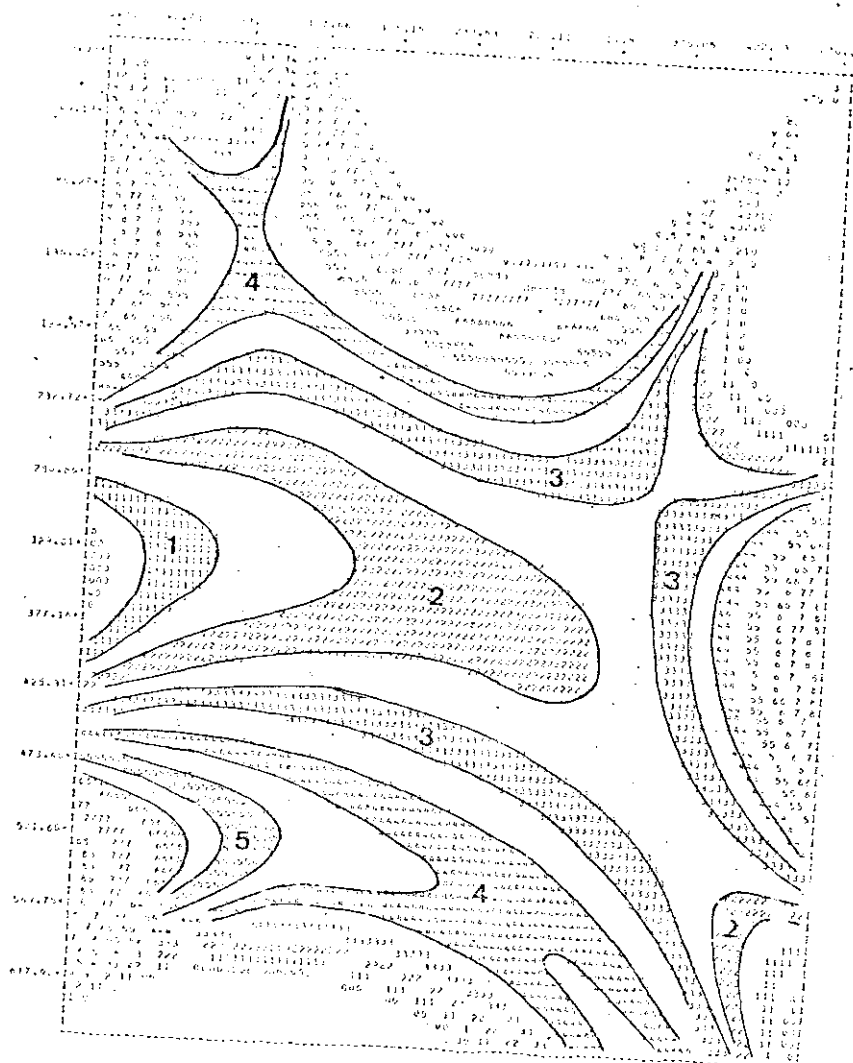
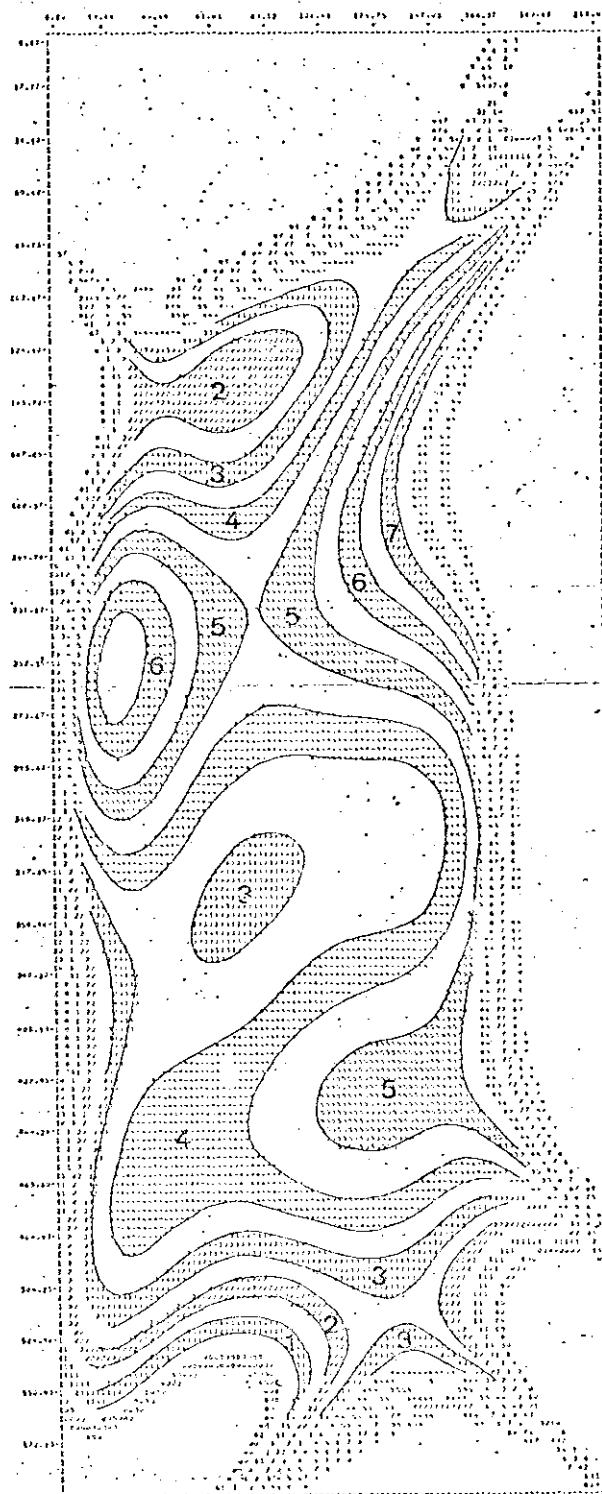


Fig. III.4 - Análise de Superfície de Tendência  
Área do Projeto Caldas Novas  
Medidas com PRT-5  
Superfície de Grau-5

LEGENDA

SIMBOLO	TEMP °C	SIMBOLO	TEMP °C	SIMBOLO	TEMP °C
0 .....	17.4	4 .....	20.2	7 .....	23.0
1 .....	18.8	.....	20.6	.....	23.4
.....	18.2	5 .....	21.0	8 .....	23.8
.....	18.6	.....	21.4	.....	24.2
2 .....	19.0	.....	21.8	9 .....	24.6
.....	19.4	6 .....	22.2		ALEM
3 .....	19.8	.....	22.6		



# LEGENDA

SIMBOLO	TEMP °C
0 .....	21.6
.....	21.9
1 .....	22.1
.....	22.4
2 .....	22.6
.....	22.9
3 .....	23.1
.....	23.4
4 .....	23.6
.....	23.9
5 .....	24.1
.....	24.4
6 .....	24.6
.....	24.9
7 .....	25.1
.....	25.4
8 .....	25.6
.....	25.9
9 .....	26.1
	ALEM

Fig. III.5 - Análise de Superfície de Tendência  
 Área da Pousada do Rio Quente  
 Superfície de Grau-6

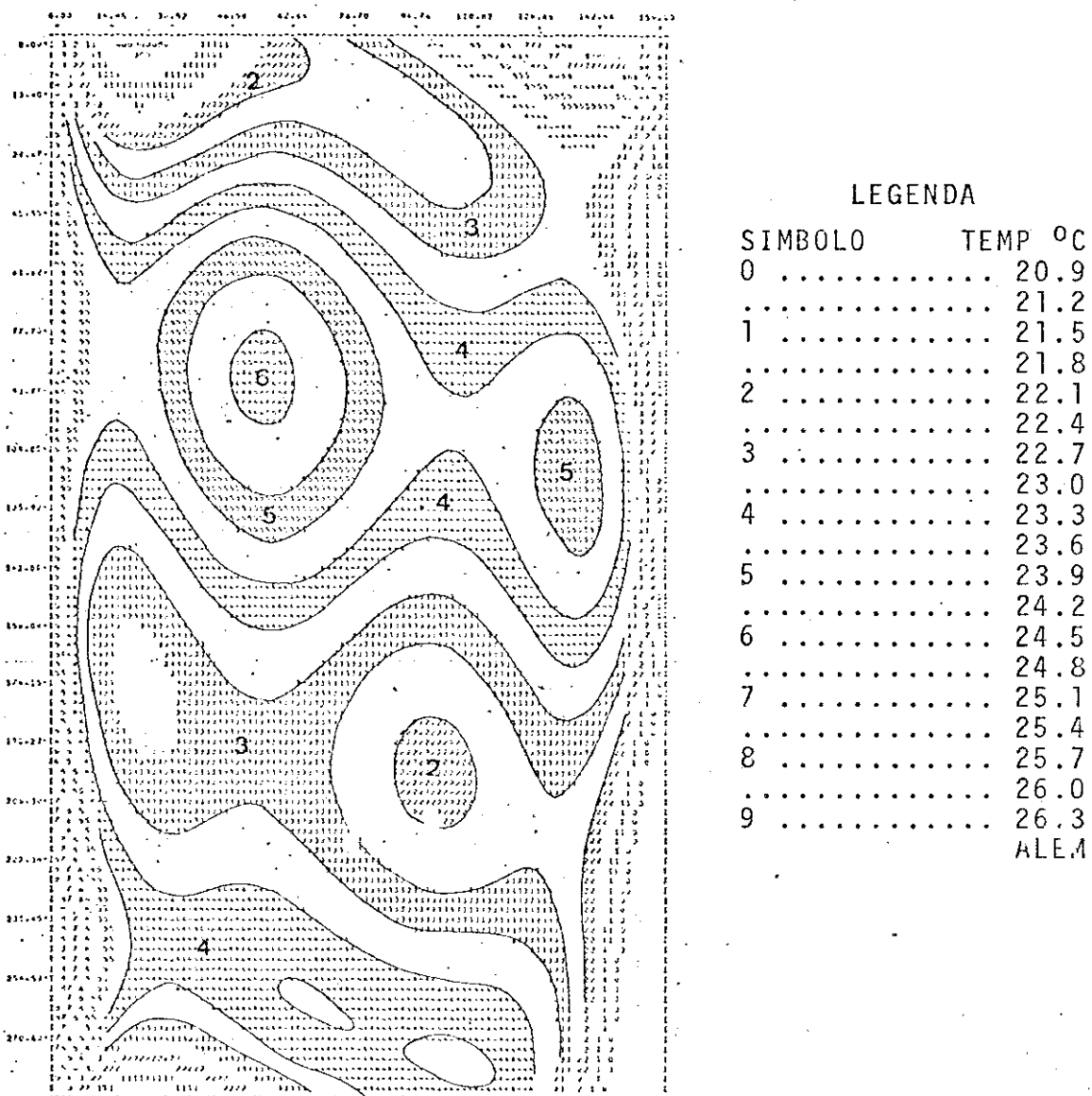
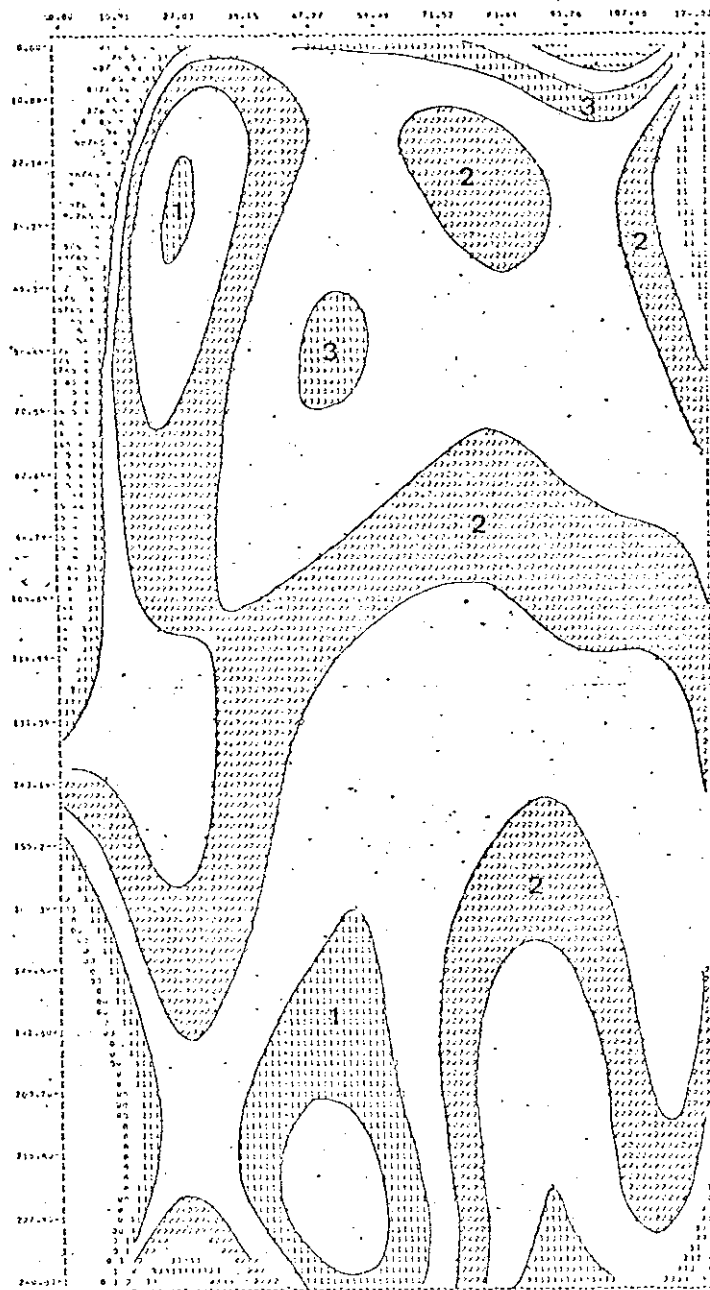


Fig. III.6 - Análise de Superfície de Tendência  
 Área da Cidade de Caldas Novas  
 Superfície de Grau 5



# LEGENDA

SIMBOLO	TEMP °C
0 .....	20.6
.....	21.3
1 .....	21.9
.....	22.5
2 .....	23.2
.....	23.6
3 .....	24.5
.....	25.2
4 .....	25.8
.....	26.5
5 .....	27.1
.....	27.8
6 .....	28.4
.....	29.1
7 .....	29.7
.....	30.4
8 .....	31.0
.....	31.7
.....	32.3
ALEM	

Fig. III.7 - Análise de Superfície de Tendência  
 Área da Lagoa Pirapetinga  
 Superfície de Grau 6

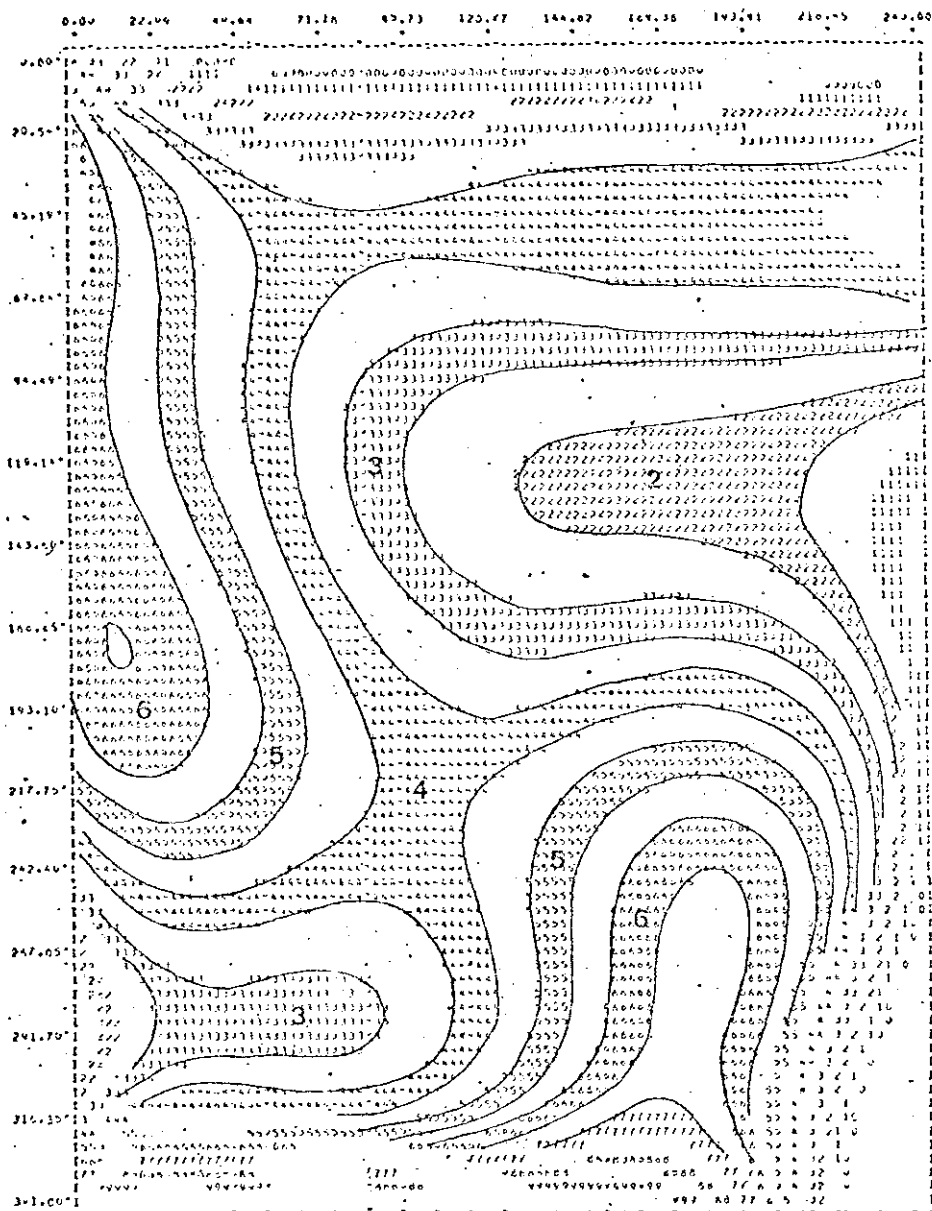


Fig. III.8 - Análise de Superfície de Tendência  
Área do Córrego Tucum  
Superfície de Grau 5

LEGENDA DO MAPA

SIMBOLO	TEMP °C	SIMBOLO	TEMP °C	SIMBOLO	TEMP °C
0	20.2		22.1		23.7
	20.5	4	22.4	7	24.0
1	20.8		22.7		24.3
	21.0	5	22.9	8	24.5
2	21.3		23.2		24.8
	21.6	6	23.5	9	25.1
3	21.8				ALEM

### 3.5.1 - MEDIDAS COM TERMÔMETRO DE SOLO

Como já ficou descrito no capítulo da metodologia, as medidas de temperatura, tomadas com termômetros de solo, obedeceram a uma distribuição ao longo das estradas, guardando entre si uma equidistância de 3 quilômetros, aproximadamente, quando do levantamento regional. Para as áreas anômalas detectadas na primeira etapa, as medidas foram tomadas obedecendo a malhas regulares, com uma distância mínima de 300 metros e máxima de 600 metros, para as diversas áreas, como mostram os mapas n<sup>os</sup>. 8, 9, 10, 11 e 12 e a profundidades de 50 cm.

As temperaturas máximas, obtidas durante este trabalho, foram de 33°C na área de Lagoa Pirapetinga e 35°C na área da Pousada do Rio Quente. As temperaturas mínimas medidas ficaram por volta de 18°C, oferecendo desta maneira um intervalo de cerca de 15 a 17°C entre a máxima e a mínima. Entretanto vale a pena dizer que, de maneira geral, os valores de temperatura variavam entre 21°C e 27°C, para a maioria dos pontos onde foram feitas as medidas.

### 3.5.2 - MEDIDAS DO PRT-5

Os valores de temperatura, obtidos com o Termômetro Radiométrico - PRT-5, mantiveram-se entre 17°C e 25°C, embora a maioria das medidas forneceu valores entre 18 e 22°C.

A diferença, entre as temperaturas máxima e mínima, vêm mostrar que, com um sobrevôo na área, utilizando-se um Imageador Termal aeroportado, poder-se-ia identificar as mesmas anomalias já detectadas anteriormente e, possivelmente, algumas outras, de menor expressão areal, que

tenham passado despercebidas, por se encontrarem nas áreas entre dois pontos amostrados.

### 3.5.3 - ANÁLISE DE SUPERFÍCIE DE TENDÊNCIA

O programa de Análise de Superfície de Tendência, aplicado aos dados geotermométricos, forneceu o comportamento regional das temperaturas, tanto de superfície quanto de subsuperfície (vide figs. III.3 e III.4). Logo a primeira vista, notou-se que havia uma tendência de aumento das temperaturas, em relação a Serra de Caldas. Entretanto, somente a partir da construção dos mapas residuais tornou-se possível visualizar as áreas anômalas termalmente, definidas pelos resíduos positivos.

Os problemas encontrados com a distribuição de pontos, para a primeira etapa do projeto, quando se obteve o comportamento regional das temperaturas, não poderiam ser resolvidos (mapa 12). Do mesmo modo, o menor número de pontos amostrados com o PRT-5, devido ao mal funcionamento deste, deixou a desejar. No entanto a coincidência de áreas termalmente anômalas, determinadas a partir dos resíduos, com as já conhecidas na região, veio mostrar que, apesar das dificuldades acima expostas, o método poderia ser empregado.

Outro problema foi o da inferência no traçado das curvas residuais, para pontos próximos aos limites das áreas, que deverá ser levado em consideração, em fases posteriores a este projeto, quando se passar à prospecção das águas termominerais.

O emprego desta técnica de tratamento de dados, além de poupar precioso tempo, ofereceu uma base matemática para o estudo da distribuição das temperaturas.

Destaca-se, aqui, a semelhança de resultados para o comportamento das temperaturas de superfície (obtidas com o PRT-5), e de subsuperfície (obtidas com os termômetros de solo) mostrando, assim, que existe a probabilidade de detecção de um fluxo geotermal (vide mapas 7 e 17).





## CAPÍTULO IV

### CONCLUSÕES

- 1 - A integração dos dados geotermométricos e sua interpretação, com os parâmetros geológicos obtidos através de sensoriamento remoto e trabalhos de campo, definiu áreas com maior potencialidade de existência de águas termominerais.
- 2 - As imagens do LANDSAT-1, usadas na primeira etapa dos trabalhos de prospecção, na fase de levantamento regional, forneceram dados amplamente satisfatórios nos seguintes aspectos:
  - a) Identificação da faixa de ocorrência de importantes corpos intrusivos, com características semelhantes, alinhadas segundo uma direção determinada (NW-SE), onde se localiza a Serra de Caldas.
  - b) De acordo com o item anterior, pode-se presumir que a forma dômica desta Serra, seja originada por um corpo intrusivo hipoabissal, o que de certa forma, explicaria a origem das anomalias termais.
- 3 - Quanto às fotografias aéreas, nada de novo poder-se-ia acrescentar a respeito de sua utilização no campo da geologia. No entanto, ao analisarem-se os resultados obtidos com as imagens, no caso específico deste trabalho, no item referente ao estabelecimento de uma comparação entre a estrutura de Caldas com as demais já conhecidas, concluiu-se que haveria uma grande desvantagem, no mínimo em termos de cronograma, caso tivesse sido necessário o uso de fotos aéreas convencionais.

- 4 - Os métodos geotermométricos, e sua interpretação, mostraram resultados condizentes com o objetivo proposto, quando se considerou que das quatro áreas anômalas detectadas, três já eram conhecidas, apesar de que o relacionamento anomalia termal, águas quentes, somente será plenamente comprovado após ser encontrada água termomineral, nos locais ainda não conhecidos e sugeridos por este trabalho.
- 5 - Os resultados, alcançados através do tratamento dos dados obtidos com o Termômetro Radiométrico PRT-5, mostram-se promissores quanto à viabilidade de conseguir-se a detecção de anomalias termais, com um Imageador Termal Aeroportado, para a região de Caldas Novas.
- 6 - A interpretação dos dados estruturais, obtidos no levantamento de campo, são mais um indício de que a estrutura de Caldas tenha sua origem ligada a uma intrusão em profundidade.

## CAPÍTULO V

### RECOMENDAÇÕES

- 1 - A realização de um recobrimento aéreo da região de Caldas Novas, com a utilização de um Imageador Termal é recomendável, tomando-se por base os resultados alcançados, quando foi estudada a distribuição da temperatura superficial. Porém deve-se levar em consideração que, antes de adotar-se esta medida, seria necessário realizar-se um planejamento adequado que não foi feito aqui, por fugir aos objetivos propostos.
- 2 - A interpretação automática de fitas CCT, do LANDSAT-1, poderia ser feita visando-se a obtenção de maior detalhamento estrutural da área em questão, pois existe um estreito relacionamento entre estruturas e águas termominerais.
- 3 - Outros métodos de prospecção, tais como geofísica e sondagens, são recomendáveis para melhor definição dos parâmetros hidrogeológicos e, desta maneira, definir e caracterizar a rede aquífera termomineral.
- 4 - Medidas preventivas deveriam ser tomadas pelos usuários deste recurso natural, tais como a definição da vazão segura, o revestimento dos poços artesianos e construção de fossas higiênicas, para evitar a contaminação desta rede pelo lençol superficial, e a realização e observação de estudos feitos por entidades especializadas em prospecção e exploração de águas, para não haver perigo de tornar-se estéril ou inútil a região de interesse, em futuro próximo.



Foto 1 - Aspectos da vegetação nas faldas da Serra de Caldas. Ao fundo, ve-se as escarpas quartzíticas da unidade geológica A. Visada para S.



Foto 2 - Vale encaixado em fratura N65E nas faldas W da Serra sustentado pelos quartzitos. Visada N65E.



Foto 3 - Afloramento de quartzito da unidade A, próximo à Pousada do Rio Quente.



Foto 4 - Detalhe do quartzito da unidade A, dobrado e brechado próximo à Pousada do Rio Quente, (zona de falha).



Foto 5 - Vista do mesmo afloramento da foto 4.



Foto 6 - Aspecto do relevo e vegetação da grotta da Pousada do Rio Quente - visada E60S.



Foto 7 - Afloramento de quartzo-xisto. da unidade B, fraturado, em leito de drenagem. Escala: martelo. Próximo ao Patrimônio da Água Quente.



Foto 8 - Afloramento de quartzo-sericita-xisto alterado da unidade B, próximo à cidade de Caldas Novas.





Foto 9 - Vista da Serra de Caldas - visada N30S.



Foto 10 - Aspecto do quartzito esbranquiçado, intercalado em quartzo-clorita-xisto, da unidade C, próximo à Lagoa Pirapetinga.



Foto 11 - Vista local do relevo e vegetação na á  
rea do córrego Tucum.



Foto 12 - Afloramento de quartzo-clorita-xisto, da  
unidade C, com veios de quartzo, e fratur  
rado, às margens do Rio Corumbá.



Foto 13 - Nascente de água quente, na piscina da Pousada do Rio Quente, no quartzito fra  
turado da unidade A.



Foto 14 - Vista de uma das piscinas do Rio Quente,  
com fontes de água quente em seu interi  
or.



Foto 15 - Sinclinal, no quartzo-xisto do Grupo A raxã (unidade B), cortado por veios de quartzo leitoso, em corte da BR-470.



Foto 16 - Poço artesiano de água termomineral no Caldas Termas Clube. Ao fundo vê-se um termômetro de solo após ser instalado.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Dr Fernando de Mendonça, ex-Diretor do INPE e ao Dr Nelson de Jesus Parada, atual Diretor, pela autorização e suporte ao presente trabalho.

Ao Dr Gilberto Amaral, pelas sugestões, orientação e fornecimento de dados que muito contribuíram para o bom êxito do projeto.

Aos geólogos Marx Prestes Barbosa, Msc, Athos Ribeiro dos Santos e Raimundo Almeida Filho e a todas as demais pessoas que colaboraram direta ou indiretamente para o desenvolvimento desse trabalho.



## BIBLIOGRAFIA

- AMARAL, G., CORDANI, V.G., KAWASHITA, K., REYNOLDS, J.H.  
Potassium - Argon dates of Basaltic Rocks from Southern  
Brazil In: *Geoch. Cosm.*, 1966, 30: 159-189.
- AMARAL, G., KAWASHITA, K. Determinação da Idade do Grupo  
Bambui pelo Método Rubídio - Estrôncio In: *Congresso Bra  
sileiro de Geologia*, 21, Curitiba, 1967 Anais São Pau  
lo, Soc. Bras. Geol., 1967 p. 113-122.
- AMARAL, G. *Geologia Pré-Cambriana da Região Amazônica*  
Tese de Livre Docência São Paulo, USP, Instituto de Geo  
ciências, 1975.
- AMARAL, G., MATTOS, J.T., FILHO, R.A., CUNHA, R.P. da,  
PARADELLA, W.R. *Carta Geológica ao Milionésimo da Folha  
de Belo Horizonte com Base na Interpretação de Imagens  
do LANDSAT-1* São José dos Campos, INPE, 1976 No pre  
lo.
- ANDRADE, Jr.J.F. *Reconhecimento Geológico dos Arredores  
de Araxá e outros pontos de Ocorrência de Águas Minerais*  
Rio de Janeiro, Serviço de Geologia e Mineralogia, 1925  
(SGM, Boletim nº 9).
- ALMEIDA, F.F.M. de *Botucatú, um deserto Triássico da Amē  
rica do Sul* Rio de Janeiro, DGM, 1954 (DGM Notas Pre  
liminares e Estudos, nº 86).
- ALMEIDA, F.F.M. de Traços gerais da Geomorfologia do Cen  
tro-Oeste Brasileiro In: *Congresso Internacional de Geo  
grafia: Guia das Excursões*, 18, Rio de Janeiro, 1959  
Anais 1959 p. 7-65.

ALMEIDA, F.F.M. de *Origem e Evolução da Plataforma Brasileira* Rio de Janeiro, DNPM/DGM, 1967 (DNPM/DGM Boletim nº 241).

ALMEIDA, F.F.M. de *Evolução Tectônica do Centro-Oeste Brasileiro no Proterozóico Superior* In: *Anais da Academia Brasileira de Ciências* Rio de Janeiro, 1968 V. 40, (supl.), p.

ALMEIDA, F.F.M. de, HASUI, Y., NEVES, B.B.B.. *The Upper Pre-Cambrian of South America* São Paulo, USP, Instituto de Geociências, 1976 p. 45-8 (IG/USP, Boletim nº 7).

ALVES, D.P. *Distrito Nióbio-Titanífero de Tapira* Rio de Janeiro, DFPM/DNPM, 1960 (DFPM/DNPM, Boletim 108).

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY *Manual of Remote Sensing* Virginia, Falls Church, 1975 28.

ARRANJO, E.E., BUITRAGO, A., CATALDI, R., FERRARA, G.C., PANICHI, C., VILLEGAS, V.J. Preliminary study on the Ruiz Geothermal Project In: *GEOTHERMICS* Colombia, 1970 pp 43-51.

BARBOSA, O. Guia de Excursão para o IX Congresso Brasileiro de Geologia (Araxã) São Paulo, Soc. Bras. de Geologia, 1955 (Sociedade Brasileira de Geologia, Noticiário 3).

BARBOSA, O. Alkaline Pipes with Carbonatites Genetic and Structural Considerations In: *Anais da Academia Brasileira de Ciências* Rio de Janeiro, 1958 V. 29, nº 3, p. 369-372.

BARBOSA, O., RAMOS, J.R. de A., GOMES, F. de A., HELMBOLD,



- R. *Geologia Estratigráfica, Estrutural e Econômica da Área do Projeto Araguaia* Rio de Janeiro, DNPM/DGM, 1966.
- BARBOSA, O., BRAUN, O.P.G., DYER, R.C., CUNHA, C.A.B.R. da *Geologia da Região do Triângulo Mineiro* Rio de Janeiro, DNPM/DFPM, 1970. (DNPM/DFPM, Boletim nº 136).
- BILLINGS, M.P. *Structural Geology* Harvard, p.c.p., 1954.
- BRAUN, O.P.G. *Geologia da Área de Caldas Novas, Ipameri e Arredores no Estado de Goiás* In: *Congresso Brasileiro de Geologia: Resumo das Conferências e Comunicações*, 24, Brasília, 1970 São Paulo, Soc. Bras. Geol., 1970 p. 205-207.
- BURGASSI, P.D., CERON, P., FERRARA, G.C., SESTINI, G., TORO, B. *Geothermal Gradient and Heat Flow in the Radicofani Region* In: *Geothermics*, 2, Colombia, 1970 p. 443-450.
- COMPANHIA MATOGROSSENSE DE MINERAÇÃO (METAMAT) *Projeto Geral Carmiro* Cuiabá, 1975 METAMAT, Relatório inédito.
- COSTA, M.T., BRANCO, J.J.R. *Roteiro para Excursão Belo Horizonte - Brasília* Belo Horizonte, IPR, 1961 (IPR Publicação 15).
- COSTA, M.T. *Estrutura Geológica dos Cerrados* Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Departamento de Pesquisas e Experimentos Agropecuários, 1963 (DPEA/M.A. Boletim 15).
- CRUZ, W.B. *Alguns Aspectos de Circulação e Salinização de Águas Subterrâneas em Rochas Cristalinas do Nordeste do Brasil* Recife, SUDENE, 1974 (SUDENE, Hidrogeologia nº 8).

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM)      *Projeto*  
*Brasília*      Goiânia, DNPM/PROSPEC, 1969

——— *Goiânia: Geologia da Região Sul de Goiás - Folha SE*  
*22 L - escala 1:250.000*      Goiânia, DNPM/PROSPEC, 1968.

ELLERT, N., HASUI, Y.      Magnetometria Aplicada a Região de  
São Gotardo, MG      *Boletim da Sociedade Brasileira de Geo-*  
*logia*, 2:, 1969      p. 14-22.

GERT, M.      Groudwater Extraction in fussed Rocks in North  
Rhine - Westphalia (Federal Republic of Germany)      In: *Con-*  
*gresso Internacional de Hidrogeologia*, 1, Porto Alegre,  
1975      Anais      p. 103-105.

HASE, H.      Surface Heat Flow of Geothermal Resoneces      In:  
*Seventh International Symposium on Remote Sensing of En-*  
*viromment*, Proceedings, Kawesak, 1971      Geological Survey  
of Japan, 1971      V. 1, p. 237-245.

HASUI, Y., HASSANO, S.      Indício de um novo foco de rochas  
alcalinas em São Gotardo, Estado de Minas Gerais      In:  
*Anais da Academia Brasileira de Ciências*      Rio de Janeir  
ro, 1969      V. 41, nº 2, p. 149-154.

HASUI, Y.      O Cretáceo do Oeste Mineiro      São Paulo, Soc.  
Bras. Geol., 1969, V. 8, p. 31-56      (SBG, Boletim nº 1).

LADEIRA, E.A., BRAUN, O.P.G., CARDOSO, R.M., HASUI, Y.  
O Cretáceo em Minas Gerais      In: *Congresso Brasileiro de*  
*Geologia*, 25, São Paulo, 1971      Anais      São Paulo, Soc.  
Bras. Geol., 1971      V. 1, p. 15-31.

LOCZY, L. de, LADEIRA, E.A.      *Geologia Estrutural e Introdu*  
*ção a Geotectônica*      São Paulo, 1976.

LIU, C.C., CARRARO, C.C., YAMAGATA, S.K. *Interpretação Geológica da Região do Alto e Médio São Francisco Baseado nas Imagens MSS do LANDSAT-1* Tese de Mestrado São José dos Campos, INPE, 1976.

MELLO, C.R. do *Investigação Geológica-Econômica da Área de Morro Feio, Hidrolina, Goiás* Rio de Janeiro, DNPM, 1969 (DNPM, Boletim nº 132).

MERRIAN, D.E., HARBAUGH, J.W. *Computer Applications in Stratigraphic Analysis* New York, John Wiley, 1968.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA *Normais Climatológicas (Mato Grosso, Goiás)*. Rio de Janeiro, 1969, V. 5.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA  
*Landsat Data Users Handbook* Maryland, 1976.

NORTHFLEET, A.A., MEDEIROS, R.A., MUHLMANN, H. *Reavaliação dos dados Geológicos da Bacia do Paraná* Rio de Janeiro. PETROBRÁS, 1969, V. 12, p. 291-346 (PETROBRÁS, Bol. Tec. nº 3).

ORIENTE, T. *As Fabulosas Águas Quentes de Caldas Novas* Goiânia, 1975.

PAFFENGOLHTS, K.N. *Geologitchesky Slovar* R.A.S.S., Academia de Ciências, 1973.

PETRI, S., RICCI, M. *Princípios de Aerofotogrametria e Interpretação Geológica* São Paulo, 1965.

TURNER, W.M. - The Applications of Thermionics to Groundwater Exploration In: *Congresso Internacional de Hidrogeologia*, 1, Porto Alegre, 1975 Anais 1975 p. 35-39.



APÊNDICE I

LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

O artigo 1º do Código de Águas Minerais do Brasil (Decreto lei nº 7.841 de 08.08.1945) diz:

"Águas Minerais são aquelas provenientes de fontes naturais ou de fontes artificialmente captadas que possuam composição química ou propriedades físicas ou físico-químicas distintas das águas comuns, com características que lhe confirmem uma ação medicamentosa".

§ 1º - "A presente lei estabelece nos capítulos VII e VIII as características de composição e propriedades para classificação como água mineral pela imediata atribuição de ação medicamentosa".

§ 2º - "Poderão ser também classificados como minerais, águas que mesmo sem atingir os limites de classificação estabelecida nos capítulos VII e VIII, possuem incontestável e comprovada ação medicamentosa".

O capítulo VII tratando da "classificação química das águas minerais" estabelece a seguinte divisão:

Art. 35 - "As águas minerais serão classificadas, quanto à composição química, em:

I - Oligominerais, quando apesar de não atingirem os limites estabelecidos neste artigo, forem classificados como minerais pelo disposto no §§ 2º e 3º do at. 1º da presente lei.

II - Radíferas, quando contiverem substâncias

radioativas dissolvidas que lhes atribuem radioatividade permanente.

III - Alcalino bicarbonatadas, as que contiverem, por litro, uma quantidade de compostos alcalinos equivalentes, no mínimo, a 0,200 g de bicarbonato de sódio.

IV - Alcalino terrosas, as que contiverem, por litro, uma quantidade alcalino terrosos equivalentes no mínimo a 0,120 g de bicarbonatos de cálcio, distinguindo-se:

a) alcalino terrosas cálcicas, as que contiverem por litro no mínimo, 0,048 de cationte Ca, sob a forma de bicarbonato de cálcio.

b) alcalino terrosas magnesianas, as que contiverem por litro, no mínimo 0,030 g de cationte Mg, sob a forma de bicarbonato de magnésio.

V - Sulfatadas, as que contiverem, por litro, no mínimo, 0,100 de anionte  $SO_4$  combinado aos cationtes Na, K e Mg.

VI - Sulfurosas, as que contiverem, por litro, no mínimo 0,001 de anionte S.

VII - Nitratadas, as que contiverem, por litro, no mínimo 0,100 g de anionte  $NO_3$  de origem mineral.

VIII - Cloretadas, as que contiverem, por litro, no mínimo 0,500 g de  $ClNa$  (Cloreto de Sódio).

IX - Ferruginosas, as que contiverem, por litro, no mínimo 0,005 de cationte de Fe.

X - Radioativas, as que contiverem radônio em

dissolução obedecendo aos seguintes limites:

- a) fracamente radioativas, as que apresentarem, no mínimo, um teor de radônio compreendido entre 5 e 10 unidades Mache, por litro, a 20°C e 760 mm de Hg de pressão.
- b) radioativas, as que apresentarem um teor em radônio compreendido entre 10 e 50 unidades Mache por litro a 20°C e 760 mm de Hg de pressão.
- c) fortemente radioativas, as que possuírem um teor em radônio superior a 50 unidades Mache, por litro, a 20°C e 760 mm de Hg de pressão.

XI - Toriativas, as que possuírem um teor em torônio em dissolução equivalente em unidades eletrostáticas a 2 unidades Mache por litro, no mínimo.

XII - Carbogasosas, as que contiverem por litro, 200 ml de gás carbônico livre, dissolvido a 20°C e 760 mm de Hg de pressão".

Capítulo VIII dispondo sobre a "classificação das fontes de água mineral", estabelece:

"Art. 36 - As fontes de água mineral serão classificadas, além do critério químico, pelo seguinte:

1º - Quanto aos gases:

I - Fontes Radioativas:

- a) fracamente radioativas, as que apresentarem no mínimo, uma vazão gasosa de 1 litro por minuto (1 l/min) com um teor em radônio, compreendido entre 5 e 10 unidades Mache, por litro de gás espontâneo, a 20°C e 760 mm Hg de pressão.

- b) radioativas, as que apresentarem no mínimo uma vazão gasosa de 1/1 min. com um teor compreendido entre 10 e 50 unidades Mache, por litro de gás espontâneo, a 20°C e 760 mm de Hg de pressão.
- c) fortemente radioativas, as que apresentarem, no mínimo, uma vazão gasosa de 1/1 min., com um teor em radônio superior a 50 unidades Mache, por litro de gás espontâneo, a 20°C e 760 mm de Hg de pressão.

II - Fontes toriativas as que apresentarem, no mínimo, uma vazão gasosa de 1 l/min., com um teor de radônio na emergência equivalente em unidades eletrostáticas a 2 unidades Mache por litro.

III - Fontes sulfurosas as que possuírem, na emergência, desprendimento definido de gás sulfídrico.

2º - Quanto à temperatura:

I - Fontes frias, quando sua temperatura for inferior a 25°C.

II - Fontes hipotermiais, quando sua temperatura estiver compreendida entre 25 e 33°C.

III - Fontes mesotermiais, quando sua temperatura estiver compreendida entre 36 e 38°C.

IV - Fontes hipertermais, quando sua temperatura estiver superior a 38°C.



**MAPA 1 – MAPA DO ARCO DA CANASTRA NA REGIÃO SUL DE  
GOIÁS E OESTE DE MINAS GERAIS**

**MAPA 2 – MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO COMPREENDIDA  
ENTRE OS RIOS CORUMBÁ E PIRACANJUBA, MUNICÍPIO DE  
CALDAS NOVAS - GO**

**MAPA 3 – MAPA GEOLÓGICO DA ÁREA DE POUSADA DO RIO  
QUENTE**

**MAPA 4 – MAPA GEOLÓGICO DA ÁREA DA CIDADE DE  
CALDAS NOVAS**

**MAPA 5 – MAPA GEOLÓGICO DA ÁREA DA LAGOA  
PIRAPETINGA**

## **MAPA 6 – MAPA GEOLÓGICO DA ÁREA DO CÓRREGO TUCUM**

**MAPA 7 – MAPA DE ANOMALIAS RESIDUAIS DA ÁREA DO  
PROJETO CALDAS NOVAS – MEDIDAS COM TERMÔMETROS  
DE SOLO**

**MAPA 8 – MAPA DE PONTOS DA ÁREA DA POUSADA DO RIO  
QUENTE**



**MAPA 9 – MAPA DE PONTOS DA ÁREA DA CIDADE DE  
CALDAS NOVAS**

**MAPA 10 – MAPA DE PONTOS DA ÁREA DA LAGOA  
PIRAPETINGA**

**MAPA 11 – MAPA DE PONTOS DA ÁREA DO CÓRREGO  
TUCUM**

**MAPA 12 – MAPA DE PONTOS DA ÁREA DO PROJETO  
CALDAS NOVAS**

**MAPA 13 – MAPA DE ANOMALIAS RESIDUAIS DA ÁREA DA  
POUSADA DO RIO QUENTE**

**MAPA 14 – MAPA DE ANOMALIAS RESIDUAIS DA ÁREA DA  
CIDADE DE CALDAS NOVAS**

**MAPA 15 – MAPA DE ANOMALIAS RESIDUAIS DA ÁREA DA  
LAGOA PIRAPETINGA**

**MAPA 16 – MAPA DE ANOMALIAS RESIDUAIS DA ÁREA DO  
CÓRREGO TUCUM**



**MAPA 17 – MAPA DE ANOMALIAS RESIDUAIS DA ÁREA DO  
PROJETO CALDAS NOVAS – MEDIDAS DO PRT - 5**