

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA
DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL
CONVÊNIO DNPM-CPRM

PROJETO HIDROGEOLOGIA DO CENTRO DE
MINAS GERAIS E NORTE DO ESPÍRITO SANTO

RELATÓRIO FINAL

VOLUME II: FOLHA BELO HORIZONTE-SO

PARTE I: TEXTO

Sérgio Murillo Achão

196

PHL
013146
2007



01	SUMÁRIO
02	ÍNDICE
03	INTRODUÇÃO
04	1. OBJETIVO
05	2. METODOLOGIA
06	3. RESULTADOS
07	4. CONCLUSÃO
08	5. REFERÊNCIAS
09	6. ANEXOS
10	7. BIBLIOGRAFIA
11	8. FOLHAS
12	9. PLANOS
13	10. FOTOGRAFIAS
14	11. MAPAS
15	12. OUTROS

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

DIRETORIA DA ÁREA DE PESQUISA

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE BELO HORIZONTE

1980

PROJETO HIDROGEOLOGIA DO CENTRO DE MINAS GERAIS E NORTE DO ESPÍRITO SANTO

RELATÓRIO FINAL

Chefe do Projeto	Antonio de Souza Leal
Equipe Executora	Floriano Garcia Costa Franklin de Moraes José do Espírito Santo Lima Sérgio Murillo Achão
Auxiliares	Almir Gomes Freire Cícero de Souza Barbosa Dâmaso Parreiras Dornelas Hélio Carvalho de Miranda Júlio de Freitas F. Vasques
Colaboração Especial	José M. da Motta Marques

PROJETO HIDROGEOLOGIA DO CENTRO DE MINAS GERAIS E NORTE DO ESPÍRITO SANTO

RELATÓRIO FINAL

ÍNDICE DOS VOLUMES

VOL. I : FOLHA BELO HORIZONTE-NO

Parte I: TEXTO

Parte II: ANEXOS

VOL. II : FOLHA BELO HORIZONTE-SO

Parte I: TEXTO

Parte II: ANEXOS

VOL. III : FOLHA BELO HORIZONTE-SE

Parte I: TEXTO

Parte II: ANEXOS

VOL. IV : FOLHA RIO DOCE-SO

Parte I: TEXTO

Parte II: ANEXOS

APRESENTAÇÃO

Expõe o presente os resultados obtidos pelo Projeto Hidrogeologia do Centro de Minas Gerais e Norte do Espírito Santo, executado pela Superintendência Regional de Belo Horizonte, da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, para o Departamento Nacional da Produção Mineral. Objetivou, fundamentalmente, o estudo hidrogeológico a nível de pré-via bilidade de uma área de aproximadamente 262.500 km², compreendendo uma porção do noroeste e toda faixa central leste-oeste de Minas Gerais, a metade norte do Espírito Santo e porções do sudoeste de Goiás e do extremo sul da Bahia.

O relatório é apresentado em quatro volumes, por folha de 2° x 3° segundo a divisão do IBGE para as Cartas do Brasil na escala 1:500.000. Cada volume compreende duas partes, uma dedicada ao texto e outra aos anexos.

No capítulo 4 de cada volume é feita uma síntese dos principais aspectos fisiográficos, climáticos e sócio-econômicos da área correspondente, e no capítulo 5 são expostas sumariamente as principais feições geológicas, com especial ênfase aos aspectos importantes à hidrogeologia.

Os capítulos 6, 7 e 8 são dedicados ao estudo das águas subterrâneas, orientado no sentido de uma avaliação dos sistemas aquíferos, determinação, quando possível, das reservas permanentes e das vazões do escoamento natural e qualificação dos diversos tipos de água para os seus vários usos.

Na 2ª parte de cada volume, estão relacionados, como anexos, os catálogos fluviométrico, pluviométrico e de pontos d'água, bem como perfis de poços, relatório de testes de bombeamento e os vários mapas na escala de 1:500.000.

S U M Á R I O

1.	RESUMO	01
2.	ABSTRACT	02
3.	INTRODUÇÃO	03
4.	ASPECTOS GERAIS	06
4.1	Localização e Acesso	06
4.2	Elementos do Clima	06
4.2.1	Precipitação	07
4.2.2	Temperatura	09
4.2.3	Ventos, Pressões, Umidade Relativa e Inso lação.	10
4.2.4	Evaporação e Evapotranspiração	10
4.2.5	Caracterização Climática	13
4.3	Hidrografia	14
4.3.1	Rio Paranaíba	15
4.3.2	Rio São Francisco	16
4.3.3	Rio Grande	17
4.4	Vegetação e Solos	18
4.4.1	Vegetação	18
4.4.2	Solos	19
4.5	Geomorfologia	21
4.6	Aspectos Sócio-Econômicos	22
5.	GEOLOGIA	25
5.1	Generalidades	25

5.2	Associação Barbacena/Paraíba do Sul.....	25
5.2.1	Complexo - A (p ϵ ba _A)	26
5.2.2	Complexo - B (p ϵ ba _B)	27
5.2.3	Complexo - C (p ϵ ba _C)	28
5.2.4	Complexo - D (p ϵ ba _D)	30
5.3	Grupo Bambuí	30
5.3.1	Formação Paranoá (p ϵ bpa)	31
5.3.2	Formação Paraopeba (p ϵ bp)	31
5.3.2.1	Rochas Carbonáticas (c)	33
5.3.3	Formação Três Marias (p ϵ bt)	33
5.4	Domos Básicos - Alcalinos	34
5.5	O Cretáceo	35
5.5.1	O Cretáceo na Bacia do Paraná	36
5.5.1.1	Grupo São Bento	36
5.5.1.1.1	Formação Botucatu	37
5.5.1.1.2	Formação Serra Geral (Ksb)	37
5.5.1.2	Formação Bauru (Kbar)	38
5.5.1.2.1	Facies Uberaba	39
5.5.1.2.2	Facies Ponte Alta	40
5.5.2	O Cretáceo na Bacia Sanfranciscana	40
5.5.2.1	Formação Areado (Ka)	41
5.5.2.1.1	Facies Três Barras	41
5.5.2.1.2	Facies Quiricó	42
5.5.2.1.3	Facies Conglomerado Abaeté	43
5.5.2.2	Formação Mata da Corda (Kmc)	44
5.5.2.2.1	Facies Capacete	44

5.5.2.2.2	Facies Patos	45
5.5.2.2.3	Facies Arenítica	45
5.6	Coberturas Indiferenciadas	46
5.6.1	Terciário/Quaternário Indiferenciado (TQi)	46
5.6.2	Quaternário: Pleistoceno-Holoceno (Qphi).	47
5.6.3	Depósitos Recentes (Qha)	48
5.7	Tectônica	49
6.	HIDROGEOLOGIA	51
6.1	Relação entre Geologia e Água Subterrânea..	52
6.2	Água Subterrânea em Rochas Fraturadas.....	54
6.2.1	Rochas do Grupo Bambuí - Características Litológicas e Estruturais	55
6.2.1.1	Condições de Alimentação	56
6.2.1.2	Exutórios	57
6.2.1.3	Escoamento	57
6.2.1.4	Características Dimensionais	58
6.2.1.5	Características Hidrodinâmicas	60
6.2.2	Rochas Cristalinas e Cristalofilianas da <u>Associação Barbacena/Paraíba do Sul</u> - Ca racterísticas Litológicas e Estruturais .	62
6.2.2.1	Condições de Alimentação, Escoamento e Exutórios	62
6.2.2.2	Características Dimensionais - Capacida de de Produção dos Poços	63
6.2.3	Rochas da Formação <u>Serra Geral</u> -Caracterís ticas Litológicas e Estruturais	66

6.2.3.1	Condições de Alimentação, Escoamento e Exutórios	66
6.2.3.2	Características Dimensionais e Hidrodinâmicas - Capacidade de Produção dos Poços	67
6.2.4	Aqüíferos de outras Litologias	70
6.3	Estudo Estatístico - Probabilístico dos Aqüíferos Fraturados	71
6.4	Água Subterrânea em Rochas <u>Cársticas</u>	72
6.5	Água Subterrânea em Rochas <u>Granulares</u>	74
6.5.1	Aqüíferos em Sedimentos Consolidados	75
6.5.1.1	<u>Aqüífero Botucatu</u> - Características Litológicas e Dimensionais	76
6.5.1.2	<u>Aqüífero Bauru</u> - Características Litológicas e Estruturais	79
6.5.1.2.1	Alimentação e Exutórios	80
6.5.1.2.2	Escoamento	81
6.5.1.3	<u>Sistema Mata da Corda/Areado</u> -Características Litológicas e Estruturais	82
6.5.1.3.1	Condições de Alimentação e Exutórios.	82
6.5.1.3.2	Escoamento	84
6.5.1.3.3	Características Dimensionais	84
6.5.1.3.4	Características Hidrodinâmicas	86
6.5.2	Aqüíferos em Sedimentos Inconsolidados...	87
6.5.2.1	Depósitos Indiferenciados do <u>Terciário-Quaternário</u>	88
6.5.2.2	Depósito do <u>Quaternário</u>	89
6.5.2.2.1	Depósitos <u>Elúvio-Coluvionares</u>	89

6.5.2.2.2	Depósitos <u>Aluvionares</u>	90
6.5.2.3	Água Subterrânea no Manto de Intemperis <u>mo</u>	92
6.6	Estimativa das Reservas das Águas Subter <u>râneas</u>	93
6.6.1	Sistema Aquífero Bauru/Serra Geral	93
6.6.1.1	Vazão do Escoamento Natural	94
6.6.1.2	Recursos de Águas Subterrâneas	96
6.6.2	Aquífero Bambuí	96
6.6.2.1	Reservas Permanentes	96
6.6.2.2	Recursos de Águas Subterrâneas	97
6.6.3	Sistema Aquífero Mata da Corda/Areado....	97
6.6.3.1	Recursos de Águas Subterrâneas	97
7.	HIDROQUÍMICA	99
7.1	Composição Química das Águas Subterrâneas .	100
7.1.1	Aquíferos Fraturados	102
7.1.2	Aquíferos Granulares	106
7.2	Qualidade das Águas para Consumo Humano e de Animais	107
7.3	Qualidade das Águas para Irrigação	108
8.	CONDIÇÕES DE EXPLORAÇÃO E DEMANDA	111
8.1	Possibilidades de Exploração	111
8.1.1	Profundidade de Captação	111
8.1.2	Profundidade dos Níveis D'água	113
8.1.3	Capacidade de Produção dos Poços	114

8.1.4	Qualidade Química das Águas	115
8.2	Zonas mais Favoráveis para Exploração.....	115
8.2.1	Aquíferos Fraturados	116
8.2.2	Aquíferos Granulares	117
8.3	Demanda e Uso Atual	118
9.	CONCLUSÕES	120
10.	BIBLIOGRAFIA	123

ANEXOS

Anexo	I	- Catálogo de observações pluviométricas
Anexo	II	- Catálogo de observações fluviométricas
Anexo	III	- Catálogo de pontos d'água
Anexo	IV	- Perfís de Poços
Anexo	V	- Ensaio de Bombeamento
Anexo	VI	- Mapas
		- Geológico
		- Hidrológico
		- De Poços
		- Piezométrico
		- Potencial Explorável
		- De Hidroquímica

1. RESUMO

A folha Belo Horizonte-SO está compreendida entre os paralelos 18° e 20° S e os meridianos 45° e 48° W de Gr. A análise do comportamento hidrogeológico foi feita a partir de 541 pontos d'água, sendo 214 poços tubulares, 203 poços manuais e 124 fontes, e dos dados de 10 ensaios de bombeamento, executados pela CPRM (4) e COPASA (6). No aquífero Bambuí, o mais importante, as transmissibilidades determinadas variaram de $3,81 \cdot 10^{-5}$ a $3,43 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Predominam as águas bicarbonatadas (83,6%), sobressaindo-se os subtipos bicarbonatadas cálcicas, mistas e calco-magnesianas. Do ponto de vista químico, as águas podem ser consideradas boas para todos os usos. As maiores reservas hídricas subterâneas concentram-se nas rochas fissuradas, entre as quais se destacam em importância e potencialidade os aquíferos Bambuí e Serra Geral.

2. ABSTRACT

The Belo Horizonte-SW Sheet is confined within the 18° and 20° parallels and 45° and 48° Gr. W meridians. A study on the hidrogeologic region compartment has been made on basis of 541 water points (214 driven wells, 203 handy wells and 124 water sources) and data from 10 pumping tests, conducted by CPRM (4) and COPASA (6). Transmissivity ranging for the most significant aquifer, Bambui, is from $3.81.10^{-5}$ to $3.43.10^{-3}$ m²/s. The predominant group of waters is the bicarbonated one with a major incidence of calcic-bicarbonated, mixed and calcic-magnesian subtypes. From the chemical point of view these water may be considered as satisfactory waters for general uses. The major groundwater resources are concentrated in the fissured rocks and the Bambui and Serra Geral aquifers are those presenting the highest potentiality.

3. INTRODUÇÃO

Este estudo é parte do Inventário Hidrogeológico do Brasil preconizado no Plano Mestre Decenal do DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral. Este, fundamentado no convênio celebrado com a CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, em 21 de maio de 1975, solicitou a esta última a elaboração e execução do PROJETO HIDROGEOLOGIA DO CENTRO DE MINAS GERAIS E NORTE DO ESPÍRITO SANTO.

Com uma área de cerca de 280.000 km², o projeto teve início em Janeiro de 1978 e foi executado em 24 meses, conforme o cronograma físico estabelecido.

O objetivo principal foi realizar um inventário sistemático geral das possibilidades em água subterrânea da área em questão, visando dotá-la de elementos hidrogeológicos básicos, indispensáveis como suporte a qualquer programa integrado de desenvolvimento.

O presente volume trata da folha Belo Horizonte-SO, cujos trabalhos nas diversas fases, obedeceram metodologicamente à seqüência que se expõe resumidamente a seguir.

Foi realizada uma exaustiva coleta de dados e informações existentes sobre os vários aspectos a estudar, onde os elementos de maior importância foram compilados, ordenados e reproduzidos em capítulos específicos compreendendo as partes de geologia, hidrologia, hidrogeologia, clima, vegetação e sócio-economia.

A base planimétrica da folha foi confeccionada a partir da Carta do Brasil, elaborada pelo IBGE, na escala de 1:500.000. A base geológica resultou da compilação e uni

formização dos mapas geológicos apresentados pelos projetos Três Marias e Chaminés Alcalinas na escala 1:250.000, executados, respectivamente pela CPRM e PROSPEC S.A.

Após esta primeira fase, obtida uma visão geral do conhecimento existente sobre a região da folha e definidos os pontos de partida para o aprofundamento dos estudos, realizaram-se os trabalhos de campo, referentes ao cadastramento e nivelamento de pontos d'água, amostragem de água, testes de aquífero e medições periódicas de níveis d'água.

Em síntese, foram inventariados 541 pontos d'água (dos quais 214 são poços tubulares, 203 poços manuais e 124 são fontes), nivelados 143, coletadas 75 amostras para análise e realizados 4 ensaios de aquífero.

As análises desses dados de campo em conjunto com os elementos geológicos, morfo-climatalógicos e hidrológicos disponíveis, são expostos nesse relatório.

Além das bases geológica, de poços, rede hidrológica, hidroquímica, piezométrica e de potencial, na escala de 1:500.000, este relatório contém os catálogos dos pontos d'água inventariados e períodos de observações pluvio-fluviométricas, fichas de poços com perfil geológico e relatório dos ensaios de bombeamento, sob forma de anexo.

Para se chegar a uma avaliação da parcela de água que se infiltra e realmente vai constituir ou suprir aquíferos (nosso objetivo final), torna-se necessário, de início, realizar um estudo sistemático de certos fatores naturais - climáticos, hidrológicos, biológicos e geológicos que direta ou indiretamente atuam em seu regime, exercendo influências as mais diversas.

Nos capítulos 4 e 5 são apresentados os dados disponíveis sobre os elementos que constituem esses fatores, e que influenciam de forma conjugada o ciclo hidrológico, ou mais especificamente, a distribuição das parcelas da água de chuva.

Registramos nossos agradecimentos aos diferentes órgãos oficiais e firmas particulares, tais como COPASA, HIDRORIZONTE LTDA, HIDROPOÇOS LTDA, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, DNAEE, pelo acervo de dados e informações fornecidos que em muito facilitou a execução deste trabalho.

4. ASPECTOS GERAIS

4.1 Localização e Acesso

A folha em estudo situa-se entre os meridianos 45° e 48° WGr e os paralelos 18° e 20° (vide fig. 4.1). Ocupa uma superfície de aproximadamente 70.000 km^2 , compreendida quase que totalmente no Estado de Minas Gerais, cobrindo pequenas porções dos Estados de Goiás e São Paulo, respectivamente, nos extremos noroeste e sudoeste da folha.

O acesso à área pode ser realizado, principalmente, através de rodovias. Articula-se com os principais centros populacionais através de quatro importantes eixos rodoviários, quais sejam: BR-040, BR-050, BR-262 e BR-365 (vide fig. 4.2).

A rede ferroviária dentro da área se resume num anel ligando as cidades de Ibiá, Catalão, Araguari (fora da área) e Uberaba, com raras ramificações. De Ibiá e Uberaba partem duas ferrovias que ligam o anel mencionado à orla marítima, mais precisamente com os portos de Angra dos Reis e de Santos.

Quanto às aerovias, somente as cidades de Uberaba, Araxá e Uberlândia possuem linhas regulares de voos de aviação comercial. Atualmente, tanto São Paulo como Belo Horizonte e Rio de Janeiro mantêm fluxos de passageiros para o Triângulo Mineiro.

4.2 Elementos do Clima

O estudo a seguir, foi realizado com base nos dados normais das estações climatológicas do Serviço de Me

SITUAÇÃO DA FOLHA

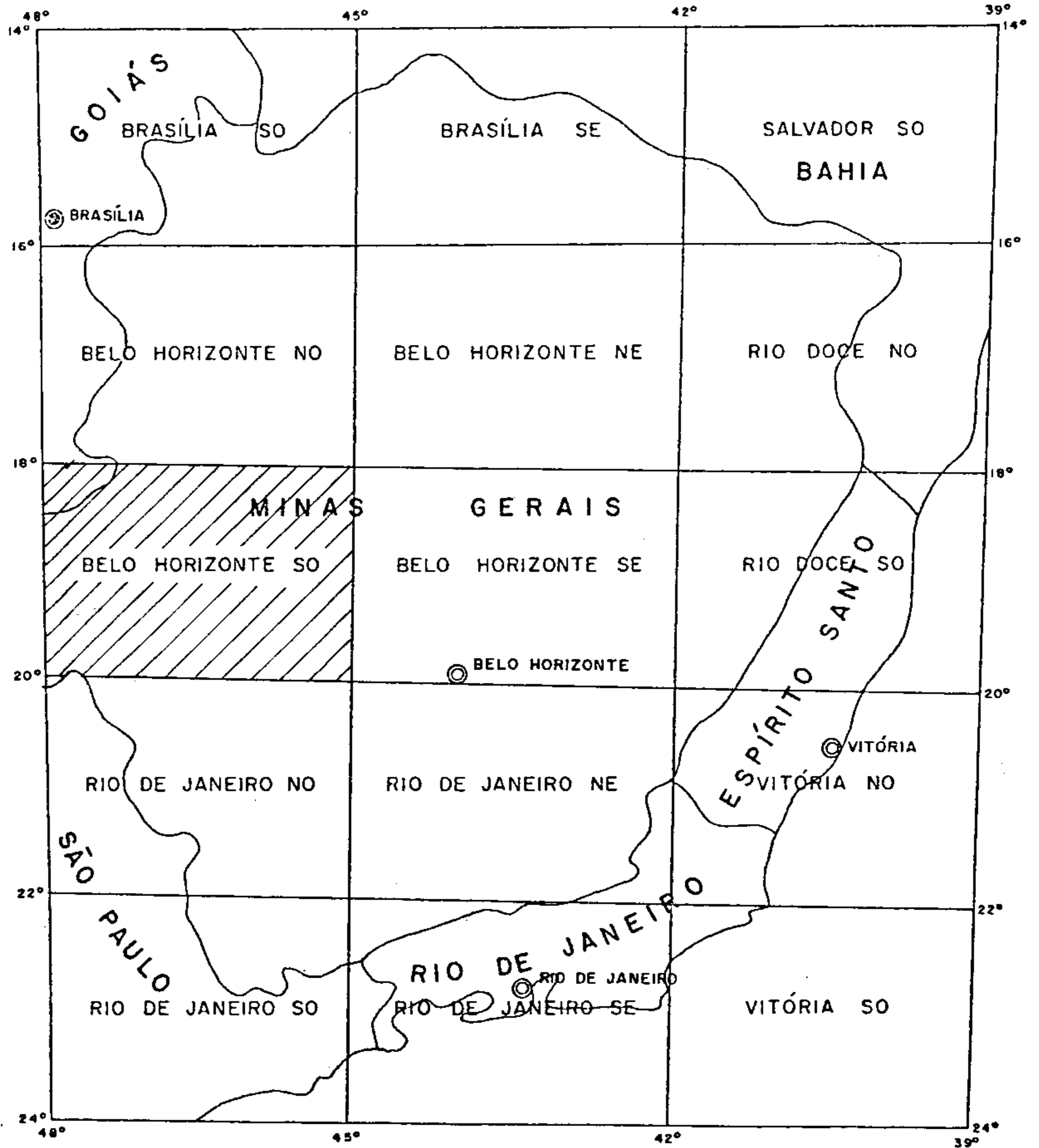
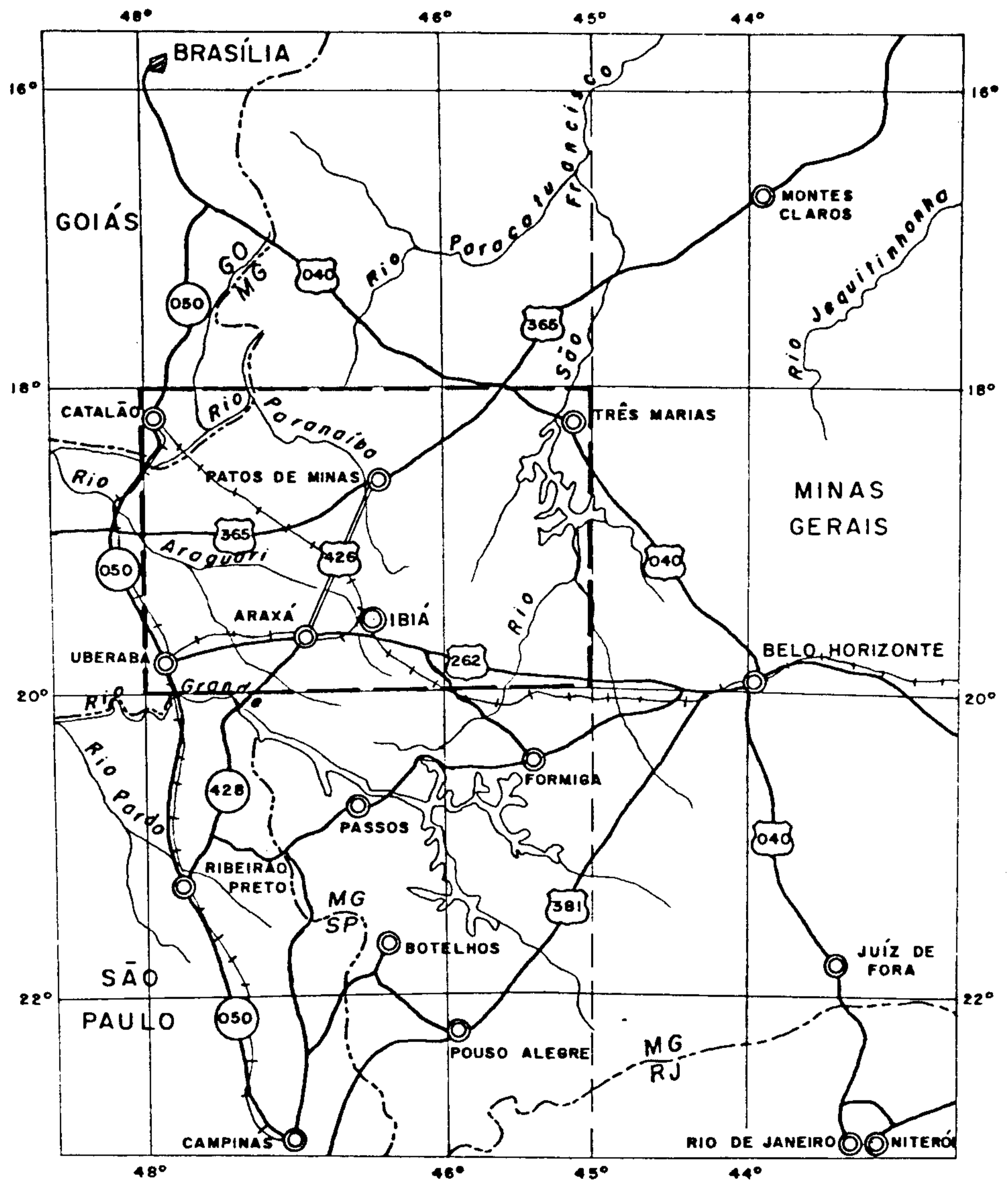


Fig. 4-1

MAPA DE VIAS DE ACESSO



ESCALA 1:5.000.000

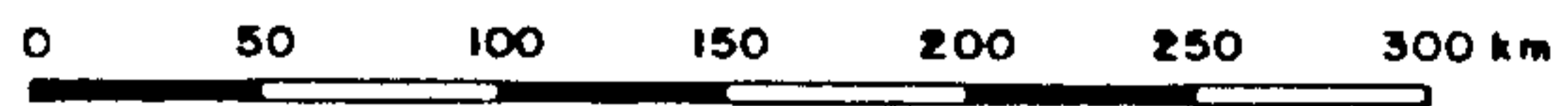


FIG. 4.2

teorologia (M.A.) existentes na área, e nas medições efetuadas pela CPRM para o DNAEE, cobrindo, no conjunto, o período de 1914 e 1977.

A área de estudo dispõe de uma rede de postos climatológicos com distribuição regular em certos trechos e, escassez e mesmo ausência em outros, como é o caso da área da bacia do rio São Francisco. A esse problema alia-se o fato de que a maioria dos postos apresenta um número não conveniente de anos de observação ao longo dos períodos, variando de 2 a 35 anos.

Dos 37 postos existentes, 6 são completos* e 31 são simples estações pluviométricas (Anexos I).

Além de um rápido estudo dos fenômenos climáticos (temperaturas, umidade relativa, precipitação, evaporação, insolação, evapotranspiração, ventos e pressões) em seus valores médios, extremos e/ou totais, realizou-se uma síntese dos mesmos nas classificações de Koeppen e Gaussen, visando uma melhor caracterização do clima da área.

4.2.1 Precipitação

O mapa de isoietas médias anuais (Fig. 4.3) foi elaborado a partir do mapa de Isoietas Anuais do DNOCS-Departamento Nacional de Obras Contra as Secas e completado e atualizado com dados fornecidos pelo Departamento Nacional de Meteorologia-MA.

* Considera-se como tais os que dispõem de aparelhos para coleta dos dados de: pluviometria, temperatura, vento, umidade relativa, evaporação, insolação e pressão atmosférica.

Para uma representação mais significativa do fenômeno pluviométrico na área, foram utilizados períodos de observações superiores a 10 anos.

No quadro 4.1 e na figura 4.4 estão representados os valores médios mensais e anuais obtidos nas principais estações climatológicas da área. As demais estações presentes e os correspondentes períodos de observação encontram-se no Anexo I.

Nas figuras 4.5, 4.6 e 4.7 estão indicados os desvios anuais de precipitação e os desvios cumulativos correspondentes para algumas estações, tomando como base a média anual registrada em cada uma delas.

A observação de todos esses elementos apresentados, nos permite estabelecer as seguintes conclusões sobre o comportamento pluviométrico da área.

As isoietas normais anuais mostram que o núcleo mais chuvoso situa-se entre Araxá, Uberaba e Santa Juliana, com um máximo (1.733,8 mm) nesta última cidade. Há um decréscimo gradativo dos valores anuais no sentido ENE.

A média anual dos números de dias de chuvas oscila entre 77 e 147 dias.

Nas 18 (dezoito) estações principais da área, as médias anuais se mantêm acima de 1.190 mm, apresentando variações entre 1.193,1 e 1.733,8 mm. A precipitação média anual calculada pelo método de Thiessen é de cerca de 1.450 mm.

A distribuição pluviométrica no decorrer do ano mostra a existência de duas estações bem nítidas, uma seca e outra chuvosa; esse regime é relativamente uniforme

PRECIPITAÇÕES MÉDIAS MENSAIS E ANUAIS (mm)

ESTAÇÃO	PERÍODO	M E S E S												TOTAL
		JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	
ABADIA DOS DOURADOS	1947-1966	292,7	236,2	183,2	70,8	32,5	9,3	5,2	4,7	23,5	120,1	176,9	307,2	1.462,3
ARAXÁ	1953-1976	292,8	251,4	188,3	89,7	57,1	17,8	12,6	9,7	51,8	151,7	214,1	290,2	1.627,2
FAMBUÍ	1972-1976	181,1	160,8	147,7	116,4	45,4	14,2	24,5	18,0	63,0	156,7	250,1	270,3	1.448,2
CARMO DO PARANAÍBA	1950-1976	255,1	189,5	167,7	62,2	39,4	12,6	12,0	9,2	40,3	141,3	200,8	287,2	1.417,3
CATALÃO	1931-1960	314,7	234,1	229,0	82,0	27,6	8,7	5,0	3,8	36,5	142,5	239,7	341,1	1.664,7
DOURADOQUARA	1968-1976	184,7	164,1	184,8	69,0	17,2	6,0	13,5	7,7	41,0	141,3	206,5	216,8	1.252,6
ESTRELA DO SUL	1945-1976	277,1	227,2	216,0	75,1	34,3	10,9	12,0	6,9	37,3	142,4	217,8	290,8	1.547,8
IBIÁ	1947-1976	240,8	183,4	156,0	72,9	37,8	12,4	10,3	9,5	40,8	128,0	187,0	268,3	1.347,2
INDIANÓPOLIS	1968-1973	185,5	213,4	140,3	101,1	12,6	19,9	14,5	6,3	57,9	162,6	243,3	207,0	1.364,4
IRAÍ DE MINAS	1967-1976	151,3	144,3	156,6	86,1	29,7	9,7	11,2	8,1	40,7	135,6	207,9	211,9	1.193,1
MAJOR PORTO	1969-1975	197,1	138,3	159,1	71,8	13,3	14,2	10,5	11,6	24,5	172,6	177,3	233,4	1.223,7
MONTE CARMELO	1942-1947	323,3	222,4	200,2	133,2	9,2	8,4	2,5	6,0	26,7	121,5	210,3	322,9	1.586,6
PATOS DE MINAS	1967-1976	185,2	182,6	150,9	78,7	17,6	10,5	18,0	10,2	49,8	179,9	222,4	294,7	1.400,5
PATROCÍNIO	1942-1946	335,0	237,8	211,2	75,7	8,2	11,4	3,2	5,7	31,0	121,2	169,9	237,0	1.447,4
SANTA JULIANA	1942-1976	331,8	261,3	218,4	95,4	51,5	14,6	9,3	9,7	42,1	161,8	221,8	316,1	1.733,8
SANTANA DE PATOS	1967-1976	220,9	206,8	136,5	85,7	18,0	13,0	14,5	11,0	47,9	121,8	244,4	259,1	1.379,6
SERRA DO SALITRE	1975-1976	213,4	155,5	121,6	106,2	51,6	8,8	59,4	2,9	70,7	110,4	306,4	316,6	1.523,5
UBERABA	1914-1928	286,2	231,1	234,9	113,1	32,2	32,0	15,6	13,5	62,0	138,2	226,2	290,7	1.680,7

FOITE: M.A.

QUADRO : 4.1

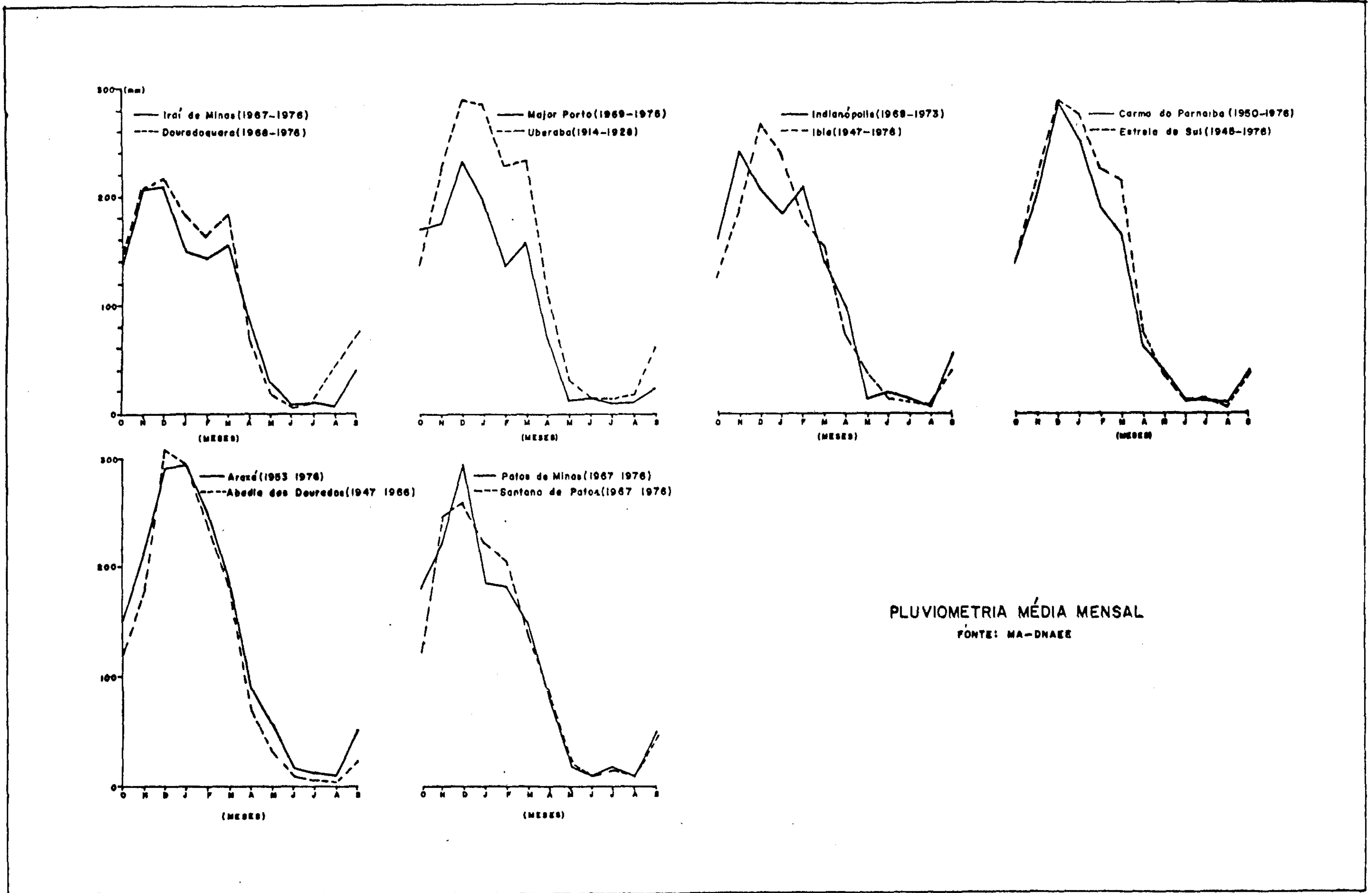
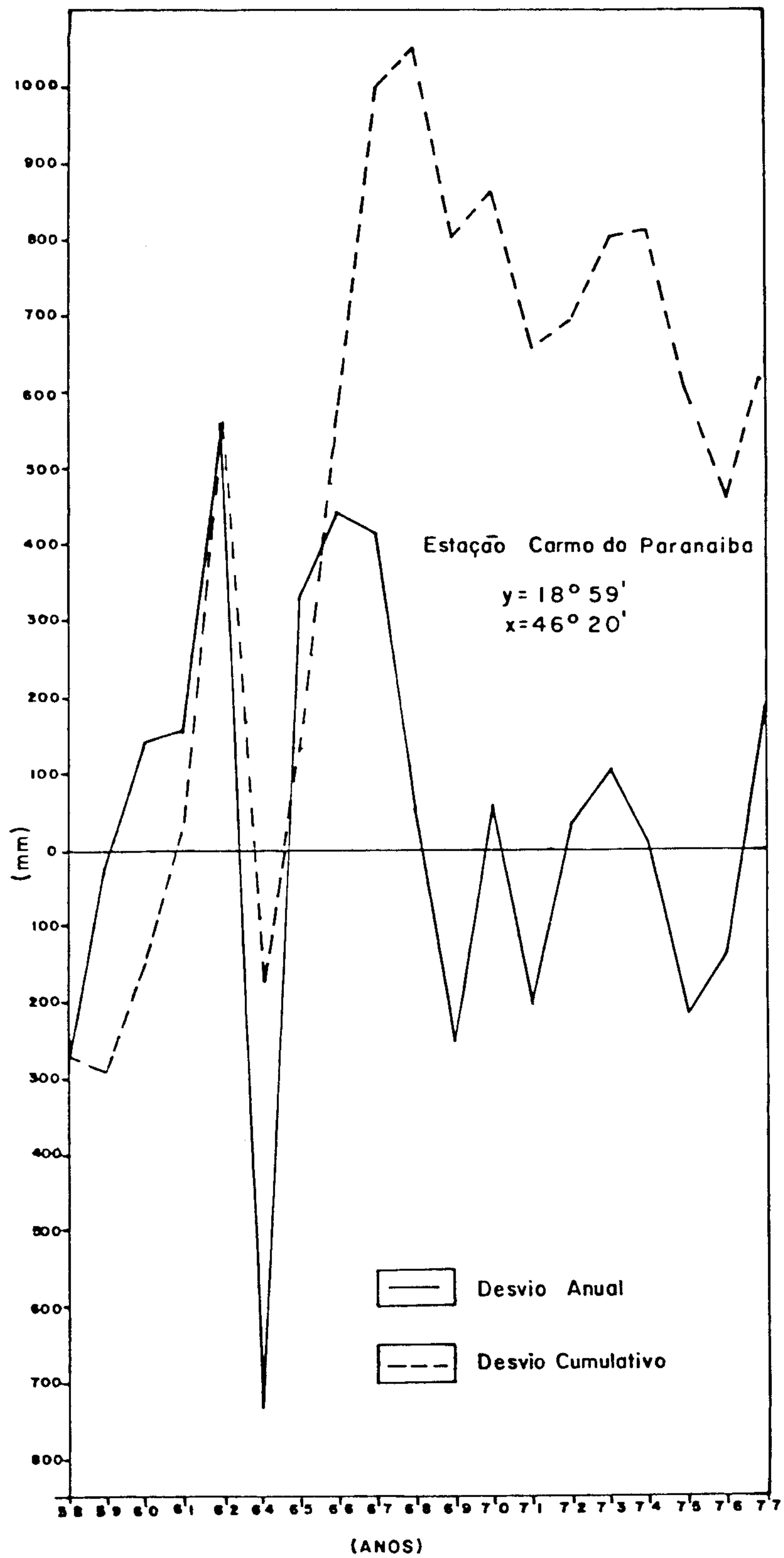
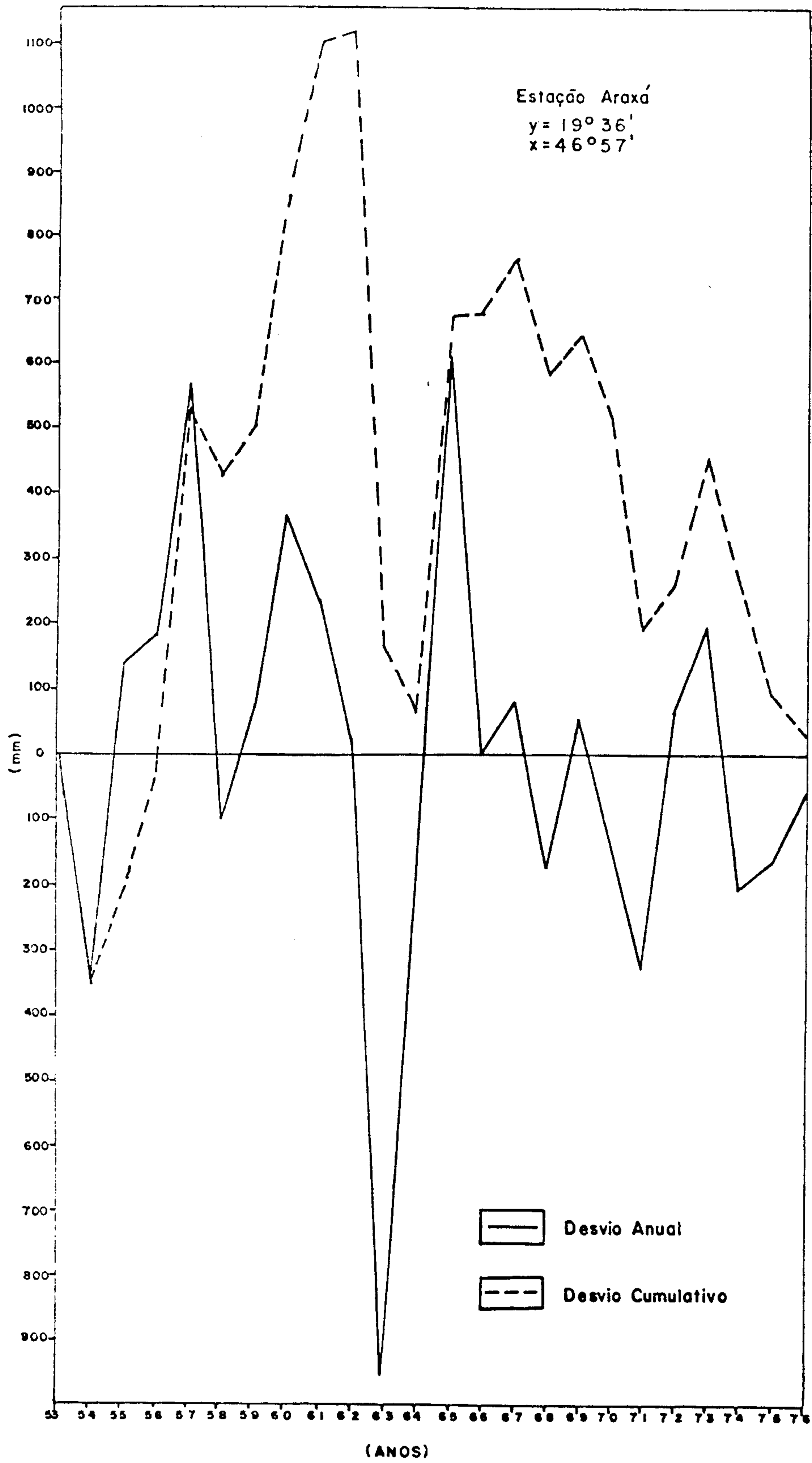


Fig. 4.4



DESVIO ANUAL DE PRECIPITAÇÃO - DESVIO CUMULATIVO



DESvio ANUAL DE PRECIPITAÇÃO-DESvio CUMULATIVO

Fig. 4.6

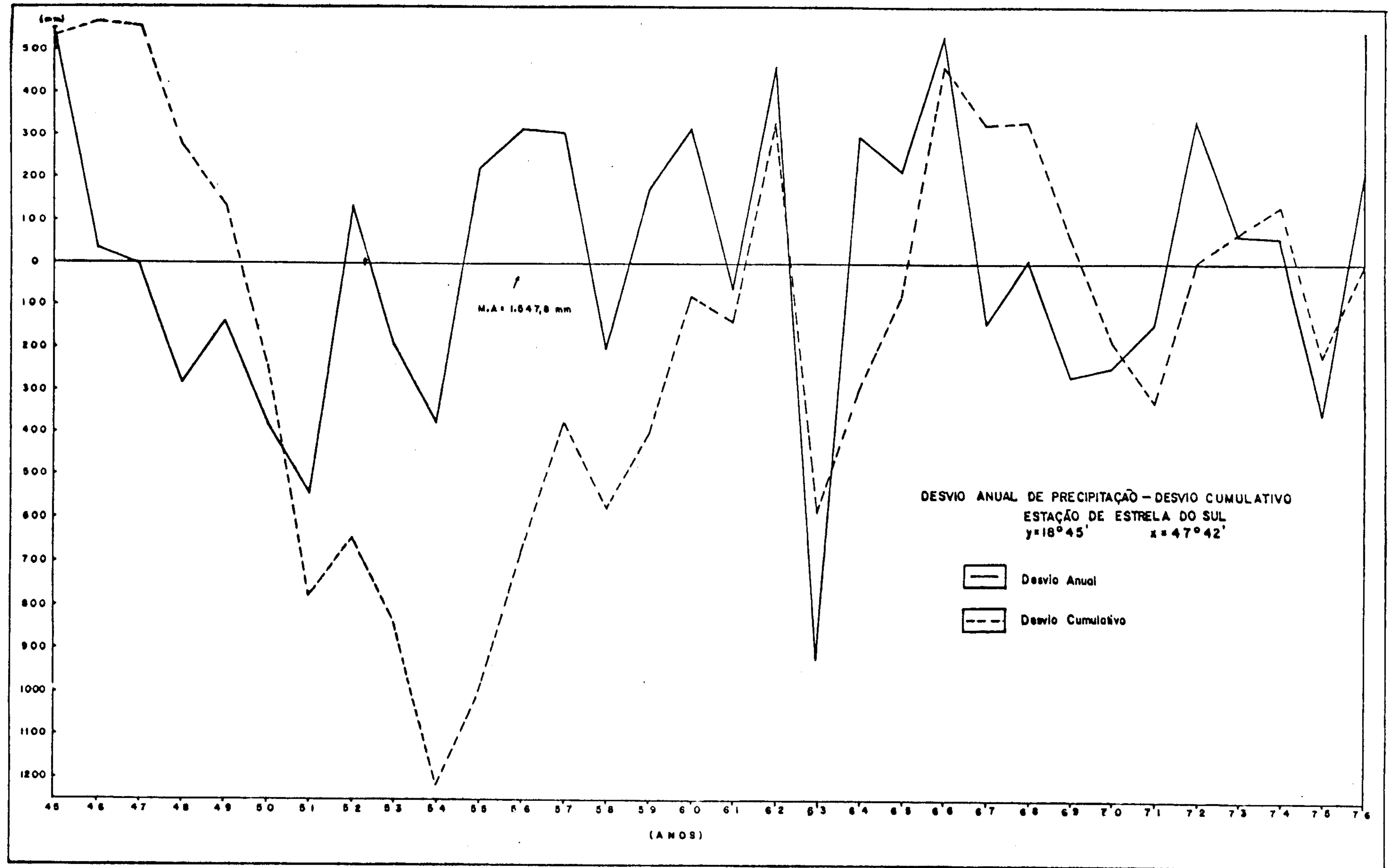


Fig. 4.7

para toda área, variando apenas a duração e intensidade das estações.

O período de chuvas corresponde a setembro/ outubro - abril/maio, sendo novembro, dezembro e janeiro os meses de maiores precipitações. Os três meses consecutivos mais secos da área são junho, julho e agosto.

Os desvios cumulativos nas regiões de Carmo do Paranaíba e Araxá (figs. 4.5 e 4.6) se mantiveram positivos durante um longo período de tempo, apresentando ótima regularidade e oferecendo boas condições de infiltração por um longo período. Entretanto, na região de Estrela do Sul (fig. 4.7), as condições de infiltração são muito irregulares com tendência a permanecer longo período de tempo abaixo da média.

Em 6 estações com períodos de observação superiores a 20 anos (fig. 4.8), os valores anuais se mantiveram em mais de 90% dos períodos acima de 1.000 mm.

4.2.2 Temperatura

A distribuição das temperaturas médias anuais registradas nas estações termométricas da área, parece indicar que as isoterms se dispõem, a grosso modo, no sentido dos meridianos, indicando um aumento térmico de W para E, em direção à bacia do São Francisco, onde o clima se torna mais árido.

Os valores médios mensais e anuais estão representados no quadro 4.2. Nas curvas obtidas (fig. 4.9), verificamos um interessante paralelismo, sendo os meses de maio a junho, em geral, os mais frios, contrastando com janeiro.

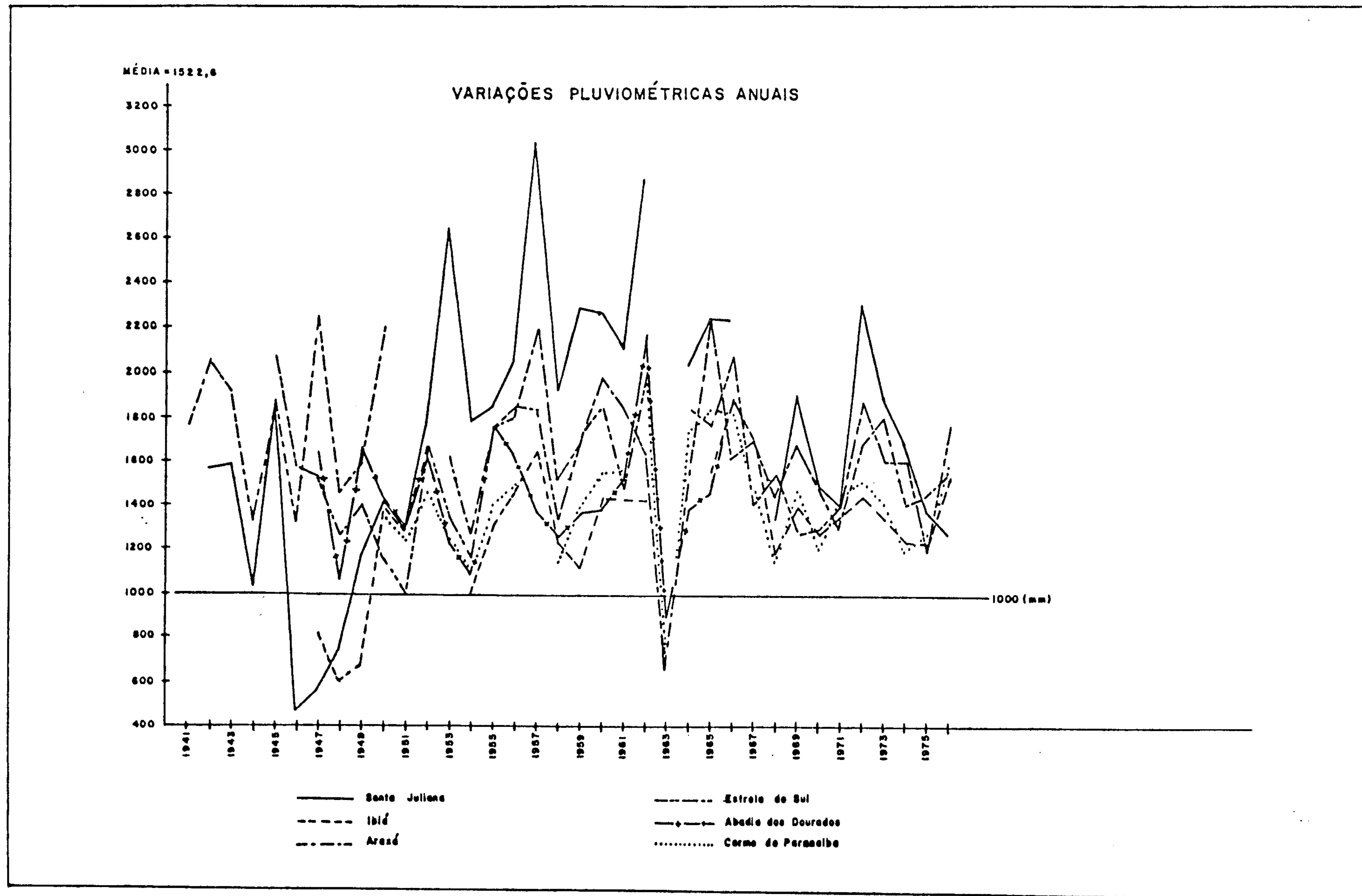


Fig. 4.8

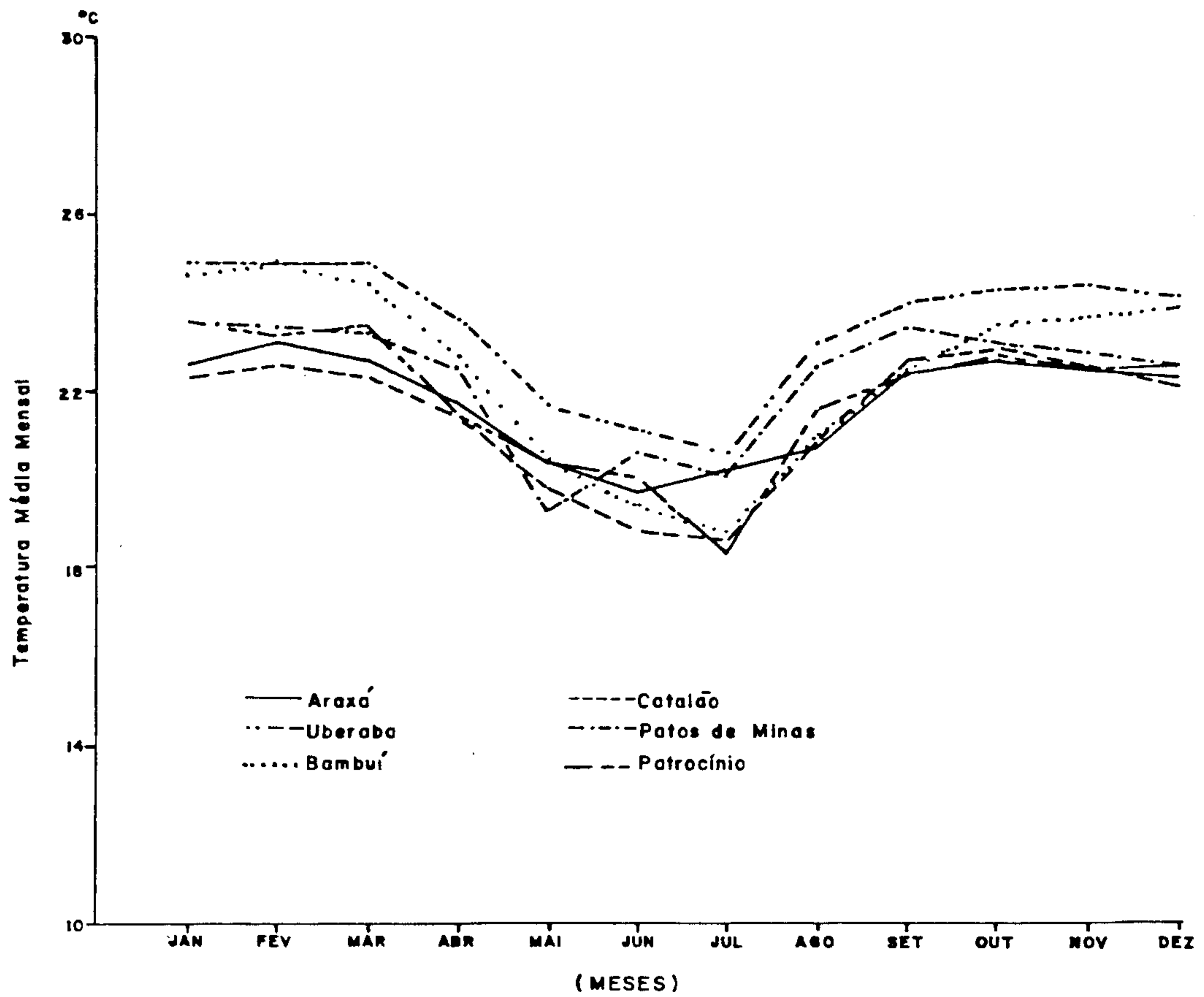
TEMPERATURAS MÁXIMAS, MÉDIAS E MÍNIMAS (°C)

ESTAÇÃO	PERÍODO	TEMP.	M E S E S												ANUAL
			JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	
ARAXÁ	1944 - 1950	MAX.	27,2	27,2	27,3	26,7	25,8	25,2	25,4	26,9	28,1	27,3	26,5	26,4	26,7
		MED.	22,6	23,1	22,7	21,7	20,4	19,7	20,2	20,7	22,4	22,7	22,5	22,3	21,8
		MIN.	17,5	17,8	17,4	15,0	12,7	11,8	11,8	12,8	14,3	16,3	16,9	13,1	15,1
BAMBUÍ	1972 - 1976	MAX.	30,2	30,7	30,0	28,3	26,7	26,6	25,8	28,1	28,2	29,2	28,8	28,5	26,2
		MED.	24,6	24,9	24,4	22,8	20,4	19,4	18,8	21,0	22,5	23,5	23,6	23,9	22,5
		MIN.	18,7	19,1	18,5	15,6	11,7	8,9	7,9	9,8	12,8	16,2	17,8	18,1	14,6
CATALÃO	1931 - 1960	MAX.	27,4	27,8	27,7	27,2	26,2	25,6	25,7	28,0	29,4	28,9	27,7	26,9	27,4
		MED.	22,3	22,6	22,3	21,4	19,8	18,8	18,7	20,9	22,7	23,0	22,6	22,1	21,4
		MIN.	18,6	18,7	18,4	17,0	14,9	13,5	13,2	14,9	17,0	18,3	18,5	18,6	16,8
PATOS DE MINAS	1967 - 1976	MAX.	28,6	28,2	28,4	27,6	26,6	26,3	25,7	28,0	28,8	28,0	27,4	27,1	27,6
		MED.	23,6	23,5	23,3	22,5	19,3	20,6	20,1	22,6	23,5	23,1	22,9	22,6	22,3
		MIN.	18,0	18,2	18,0	16,2	13,8	12,9	12,2	14,1	16,1	17,3	17,9	17,9	16,0
PATROCÍNIO	1975 - 1976	MAX.	28,9	28,0	28,3	27,7	25,8	26,1	24,4	27,7	27,8	28,1	27,3	27,6	27,3
		MED.	23,6	23,3	23,5	21,4	20,3	20,0	18,3	21,6	22,3	22,8	22,5	22,6	21,8
		MIN.	17,5	18,0	17,2	15,3	13,0	10,7	10,4	13,0	15,3	16,1	17,6	17,7	15,2
UBERABA	1967 - 1976	MAX.	30,3	30,1	30,5	29,3	27,8	27,6	26,7	29,8	30,3	29,8	29,4	29,0	29,2
		MED.	24,9	24,8	24,9	23,7	21,7	21,1	20,6	23,1	24,0	24,3	24,4	24,1	23,5
		MIN.	19,0	19,0	18,7	16,7	13,8	13,0	12,2	14,3	16,4	17,7	18,1	18,8	16,5

FONTE: M.A.

QUADRO : 4.2

TEMPERATURAS MÉDIAS MÊNSAIS



TEMPERATURAS MÉDIAS ANUAIS (°C)

ESTAÇÃO	PERÍODO	MAX.	MED.	MIN.
ARAXÁ	1944 - 1950	26,7	21,8	15,1
BAMBUÍ	1972 - 1976	26,2	22,5	14,6
CATALÃO	1931 - 1960	27,4	21,4	16,8
PATOS DE MINAS	1967 - 1976	27,6	22,3	16,0
PATROCÍNIO	1975 - 1976	27,3	21,8	15,2
UBERABA	1967 - 1976	29,2	23,5	16,5

FONTE: MA

Fig. 4.9

neiro e fevereiro, os mais quentes. A temperatura média durante a época de chuvas (setembro-março) oscila entre 22°C e 25°C, permanecendo entre 18°C e 20°C no período estival. As médias anuais variam entre 21°C e 24°C.

4.2.3 Ventos, Pressões, Umidade Relativa e Insolação

Nas zonas oeste e norte da área, os ventos são predominantemente nas direções nordeste e norte, com menor tendência para esta última. Nas partes sul e leste estão dirigidos para sudoeste. A velocidade média anual oscila em torno de 1,7 m/s.

A pressão média anual oscila em torno de 919,4 milibares, com uma amplitude anual de 38,7. A pressão é máxima no inverno, sendo que a média e a amplitude anual variam com altitude.

A umidade relativa média anual da área varia de 65,5%, registrada em Uberaba, a 74,8% em Bambuí, com média da ordem de 70,1%. No período seco as médias mensais diminuem em todas as estações, atingindo um mínimo de 48,6% em Patos de Minas.

A média anual de insolação é da ordem de 2.550 horas. O período estival apresenta as mais altas insolações, sendo agosto o mês mais ensolarado.

Nos gráficos comparativos da fig. 4.10, estão representados os valores médios mensais do número de horas de insolação e da umidade relativa para quatro estações.

4.2.4 Evaporação e Evapotranspiração

No quadro 4.3 estão representados os valores .10.

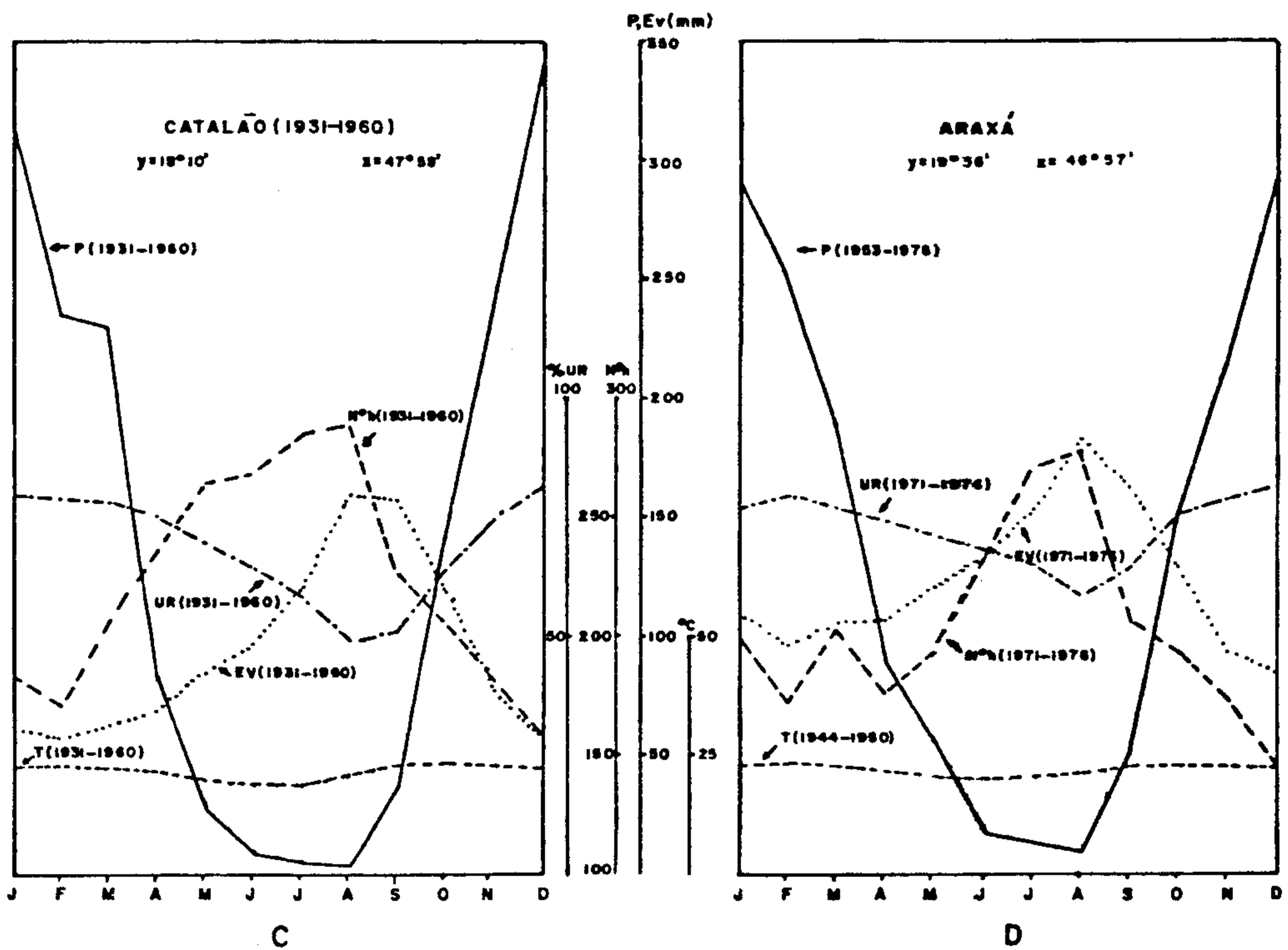
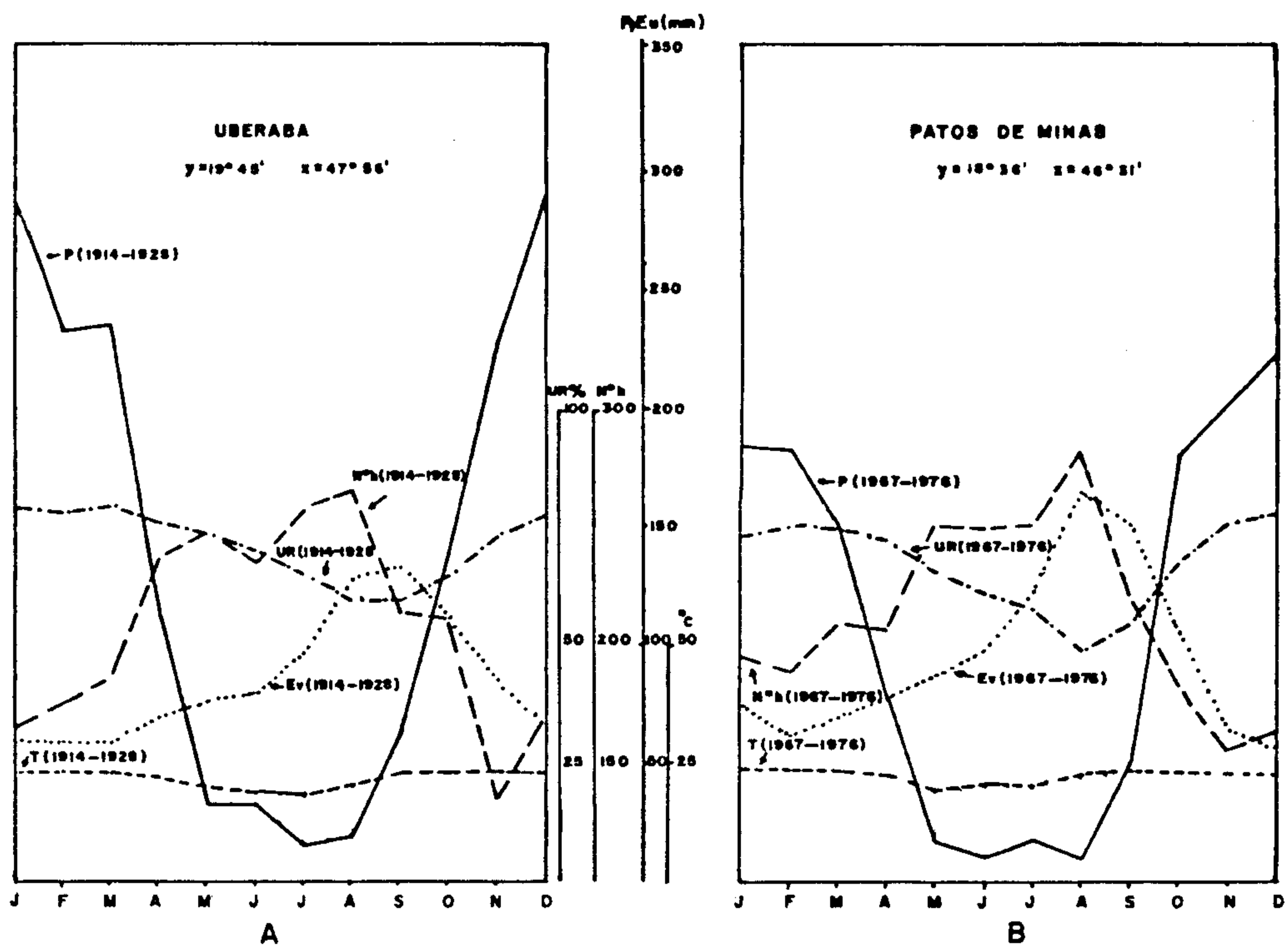


GRÁFICO COMPARATIVO DE PARÂMETROS CLIMÁTICOS

— PLUVIOMETRIA
 - - - UNIDADE RELATIVA
 - · - · - · NÚMERO DE HORAS DE INSOLAÇÃO
 ······ EVAPORAÇÃO

MÉDIAS MENSAIS E ANUAIS DE EVAPORAÇÃO EM EVAPORÍMETRO PICHE (mm)

ESTAÇÃO	PERÍODO	M E S E S												MÉDIA ANUAL
		JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	
ARAXÁ	1971 - 1976	110,1	96,1	105,8	106,8	120,9	134,2	153,4	183,4	163,3	128,5	93,9	84,6	1.481,0
BAMBUÍ	1972 - 1976	86,9	82,0	86,5	79,0	78,9	89,9	101,1	119,0	148,3	117,2	84,4	78,2	1.151,4
CATALÃO	1931 - 1960	61,5	57,4	63,3	69,0	85,0	96,4	120,1	159,4	157,8	119,3	76,8	57,0	1.123,0
PATOS DE MINAS	1967 - 1976	75,6	61,8	69,3	76,9	87,4	97,9	122,4	164,4	150,3	105,0	63,8	56,3	1.131,1
UBERABA	1967 - 1976	89,2	71,5	83,8	84,5	97,4	106,6	138,8	190,9	176,1	129,4	93,7	82,2	1.344,1

FONTE: M.A

QUADRO : 4.3

da evaporação média mensal e anual da área, fornecidos por cinco estações evaporimétricas e obtidos em evaporímetro Piché.

Em síntese, temos as seguintes características evaporimétricas no quadro geral da área:

- a) Médias anuais oscilando entre 1.123 mm e 1.481 mm.
- b) Os valores médios mensais são mais elevados no período estival, apresentando média máxima em agosto e mínima em dezembro.
- c) Acompanha sensivelmente a marcha anual da umidade relativa, mostrando uma dependência quase exclusiva desta última. Este fenômeno pode ser observado nos gráficos A, B, C e D da fig. 4.10.

No que tange a evapotranspiração, sabemos que representa um importante parâmetro climático para a hidrogeologia. Existem diversas fórmulas para a sua avaliação. Dentre essas fórmulas de caráter empírico, umas visam obter a evapotranspiração potencial (ETP), isto é, aquela que ocorreria se existisse água suficiente. A partir dos dados mensais de ETP pode-se estabelecer um balanço chuva-ET-armazenamento no solo, com fins de obter a fração de ET que efetivamente ocorre, chamada evapotranspiração real (ETR). Este é o caso das fórmulas de Thornwait, Blanney-Criddle, etc. A fórmula abaixo atribuída a TURC, é uma das mais empregadas e está baseada na temperatura e na precipitação médias anuais.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

onde:

ETR = Evapotranspiração real em mm/ano

L = $300 + 25 t + 0,05 t^3$

P = pluviometria média anual em mm

t = Temperatura média anual em °C

No quadro abaixo estão representados os valores de ETR calculados por esta fórmula, para diversas estações da área:

ESTAÇÃO	PERÍODO	ETR (mm)	P (mm)
Catalão	1931 - 1960	1.040,4	1.664,7
Patos de Minas	1967 - 1976	1.000,3	1.400,5
Uberaba	1914 - 1928	1.120,5	1.680,7
Araxá	1953 - 1976	1.084,8	1.627,2
Bambuí	1972 - 1976	1.034,4	1.448,2

Esses valores evidenciam que a fórmula é aplicável para a região da folha, pois são sempre menores que a precipitação. Seu percentual em relação à precipitação média anual em cada estação, varia de 62,5% a 71,4%, aqui apresentando u'a média de 67,7%.

Os valores de evapotranspiração potencial representados no quadro 4.4 foram determinados a partir da fórmula de TURC simplificada, ou seja:

$$ETP = 0,40 t (t + 15)^{-1} (I_g + 50)$$

onde:

ETP = evapotranspiração potencial em mm/mês

t = temperatura média mensal em °C

I_g = valor médio da radiação solar, expresso em cal/m²/dia, extraído do mapa de Black.

EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL MÉDIA MENSAL E ANUAL (mm)

ESTAÇÃO	M E S E S												MÉDIA ANUAL
	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	
ARAXÁ	87,5	98,7	108,4	118,3	93,6	90,8	89,5	106,7	122,2	107,4	101,3	77,7	1.202,1
BAMBUÍ	91,9	103,9	109,0	120,6	93,1	89,8	85,4	105,0	119,8	109,9	103,9	79,9	1.212,2
CATALÃO	83,7	95,6	107,6	113,3	95,8	89,0	93,2	110,6	130,1	109,9	106,3	73,9	1.209,0
PATOS DE MINAS	91,7	100,5	107,1	122,4	92,3	94,0	91,2	112,0	134,3	111,6	103,4	81,7	1.242,2
UBERABA	96,7	97,8	106,5	118,2	94,0	83,4	87,9	106,0	121,1	107,7	109,1	79,9	1.208,3

QUADRO : 4.4

Avalia-se em 10% o erro relativo sobre os valores assim determinados.

O reduzido número de dados de temperatura não permite uma visualização detalhada do comportamento da ETP na área. Os valores obtidos para as estações de Araxá, Bambuí, Catalão, Patos de Minas e Uberaba, mostram que a ETP média anual é praticamente constante e igual a 1.200 mm.

Na fig. 4.10 estão representados os gráficos comparativos (A, B, C e D) dos principais parâmetros climáticos nas estações de Catalão, Araxá, Uberaba e Patos de Minas.

4.2.5 Caracterização Climática

A fim de se chegar a uma melhor compreensão das condições climáticas reinantes na área, lançamos mão dos dois métodos que melhor se amoldavam aos dados disponíveis, ou seja, a classificação climática de Koeppen e a classificação bioclimática de Gaussen.

Segundo a classificação de Koeppen, registram-se na área os tipos climáticos Aw, Cwa e Cwb. Os tipos mesotérmicos úmidos (Cwa e Cwb), predominantes, correspondem à aproximadamente 73% da mesma (fig. 11). Observa-se uma perfeita transição destes tipos climáticos em função das diferentes altitudes de relevo. O clima tropical úmido (Aw) ocorre nas regiões mais baixas junto ao paralelo 18°S, tendo maior presença nos cantos nordeste e sudoeste da área. Apresenta verões quentes e úmidos com estação seca bem acentuada no inverno (4-5 meses). Esse clima vigora provavelmente até uma altitude aproximada de 750 m, onde cede lugar a um clima mais amenizado que corresponde ao tipo Cwa. A

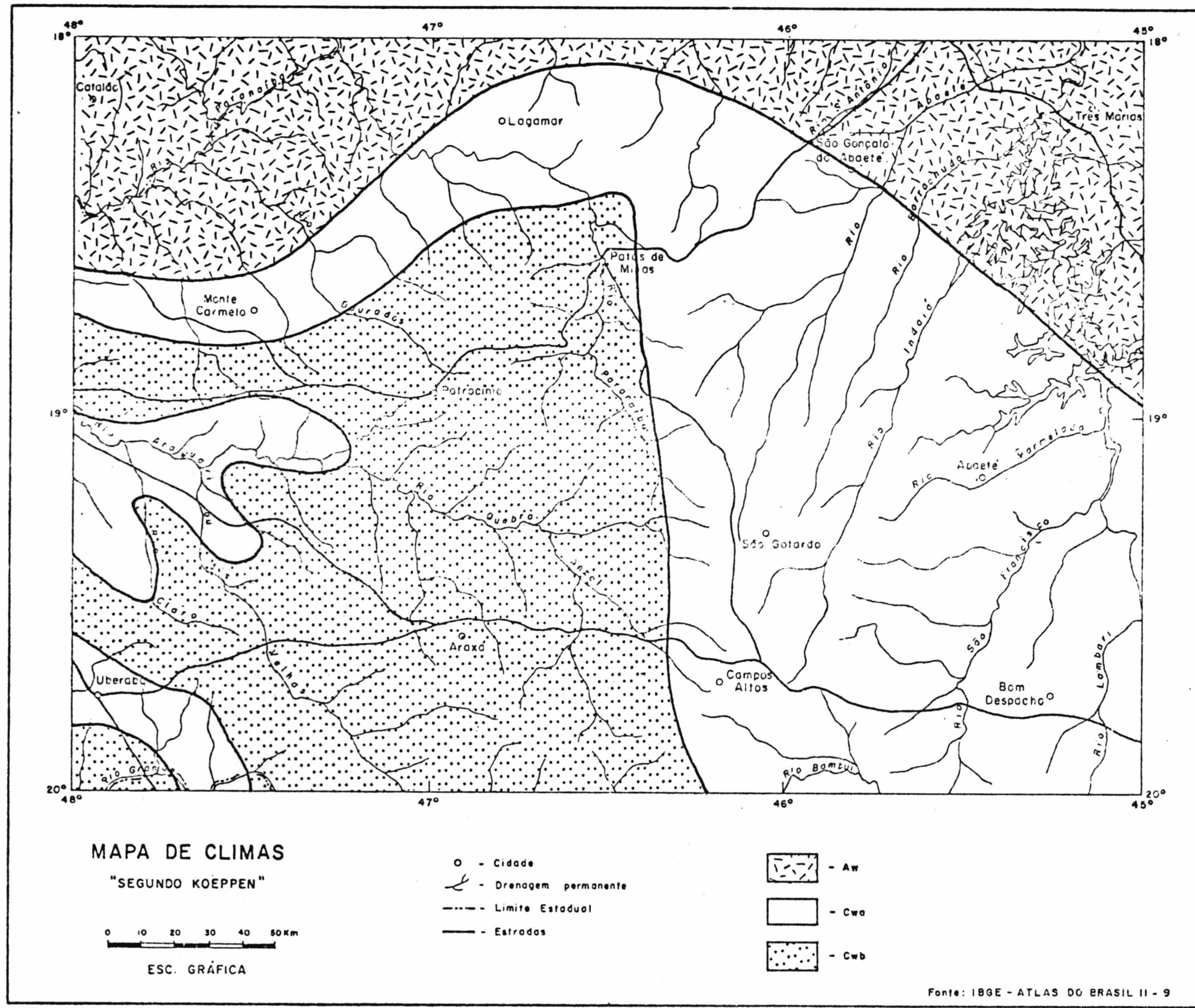


FIG. 4.II'

diferença existente entre este clima tropical de altitude e o tropical quente e úmido (Aw), reside apenas na diminuição de temperatura como efeito da altitude. O regime pluviométrico é o mesmo, registrando-se apenas uma temperatura média mais baixa no mês mais frio, tendendo mais para o clima Cwa. Dentro desta área de clima mesotérmico existem setores mais altos (parte central e oeste) nos quais ocorre o tipo climático Cwb, onde os verões tornam-se brandos e o período da estação seca é mais curto (3 meses).

Aplicando-se a classificação bioclimática de Gaussen verifica-se que a área em apreço está introduzida na região climática xeroquimênica, ocorrendo sob o tipo termoxeroquimênico atenuado (4cTH), com índice xerotérmico entre 40-100 e estação seca com período de 3 a 4 meses consecutivos.

Pelo que foi exposto, com exceção de pequenas variações, há uma perfeita correlação entre as duas classificações, sobretudo em termos de duração e intensidade do período seco.

4.3 Hidrografia

A rede hidrográfica da área é bastante densa, com predominância na zona do Pré-Cambriano, devido a impermeabilidade do terreno em relação à zona sedimentar. Os rios Paranaíba e São Francisco formam os dois principais sistemas dessa rede, drenando em conjunto, cerca de 95% da área. As serras que compõem o Arco do Alto Paranaíba repartem as águas desses dois sistemas para sentidos diametralmente opostos: para oeste as águas correm para o rio Paranaíba e seus afluentes e para leste elas se distri-

buem por diversos coletores que desembocam no rio São Francisco.

As outras drenagens constituem tributários do rio Grande que ocupam pequeno setor no extremo sudoeste da área.

Dispõem-se de poucos dados a respeito do regime hidrológico desses rios, dados esses que seriam importantes para se determinar o seu comportamento com relação às possibilidades de alimentação e drenagem das águas subterâneas. Entretanto, para se ter uma idéia geral das bacias dos rios, define-se, abaixo, uma série de deflúvios específicos mínimos calculados com base em dados obtidos junto ao DNAEE e elaborados pela Serete S.A. O único período longo de observação foi registrado no posto de Três Marias (rio São Francisco), cujos dados foram obtidos junto a Hidroservice.

4.3.1 Rio Paranaíba

O rio Paranaíba nasce na zona sedimentar, região do Planalto da Mata da Corda a 1.148 metros de altitude, e corre para a zona do cristalino onde em alguns trechos forma profundos boqueirões. Seu sentido de escoamento é inicialmente sul-norte, passando para noroeste até a foz do rio Verde, onde se desvia para sudoeste, mantendo esta direção até a confluência com o rio Grande, já fora da área

A área da bacia hidrográfica do rio Paranaíba, no âmbito da folha, equivale a 34.470 km² correspondentes ao seu alto e médio curso. Essa superfície foi subdividida pela Serete (1975) em 05 áreas segundo os deflúvios específicos mínimos ponderados em l/s.km² das bacias dos 29

municípios pertencentes a esse setor. Conforme podemos observar na figura 4.12 os deflúvios variam de $0,76 \text{ l/s.km}^2$ nas regiões de Patos de Minas, Monte Carmelo e Catalão a $3,17 \text{ l/s.km}^2$ ao norte de Uberaba.

Os deflúvios específicos mínimos em $1/\text{s.km}^2$ obtidos a partir das vazões determinadas em posto fluviométrico de algumas sub-bacias do Paranaíba estão relacionados no quadro 4.5.

4.3.2 Rio São Francisco

O rio São Francisco drena uma área de cerca de 640.000 km^2 . De suas nascentes na serra da Canastra ele escoar percorrendo os estados de Minas Gerais e Bahia com direções sul-norte e nordeste, respectivamente, indo desembocar nos limites entre os Estados de Alagoas e Sergipe. Dentro da área em estudo, as águas de seus afluentes têm origem na zona sedimentar do planalto da Mata da Corda, escoando daí para a zona das rochas do Grupo Bambuí.

A porção da bacia do rio São Francisco inserida na área, corresponde a uma parte do seu alto curso e equivale a 32.200 km^2 , aproximadamente. A Serete subdividiu esta superfície em seis áreas de acordo com os deflúvios específicos mínimos calculados. Como podemos observar na fig. 4.12, os deflúvios variam de $2,71 \text{ l/s.km}^2$ (nas regiões de Bom Despacho e Abaeté) a $1,63 \text{ l/s.km}^2$ (em São Gotardo, Tiros e São Gonçalo do Abaeté), diminuindo gradativamente para o norte da bacia do São Francisco, onde o clima se torna mais árido.

No quadro 4.6 estão representados os deflúvios específicos mínimos obtidos a partir das vazões deter

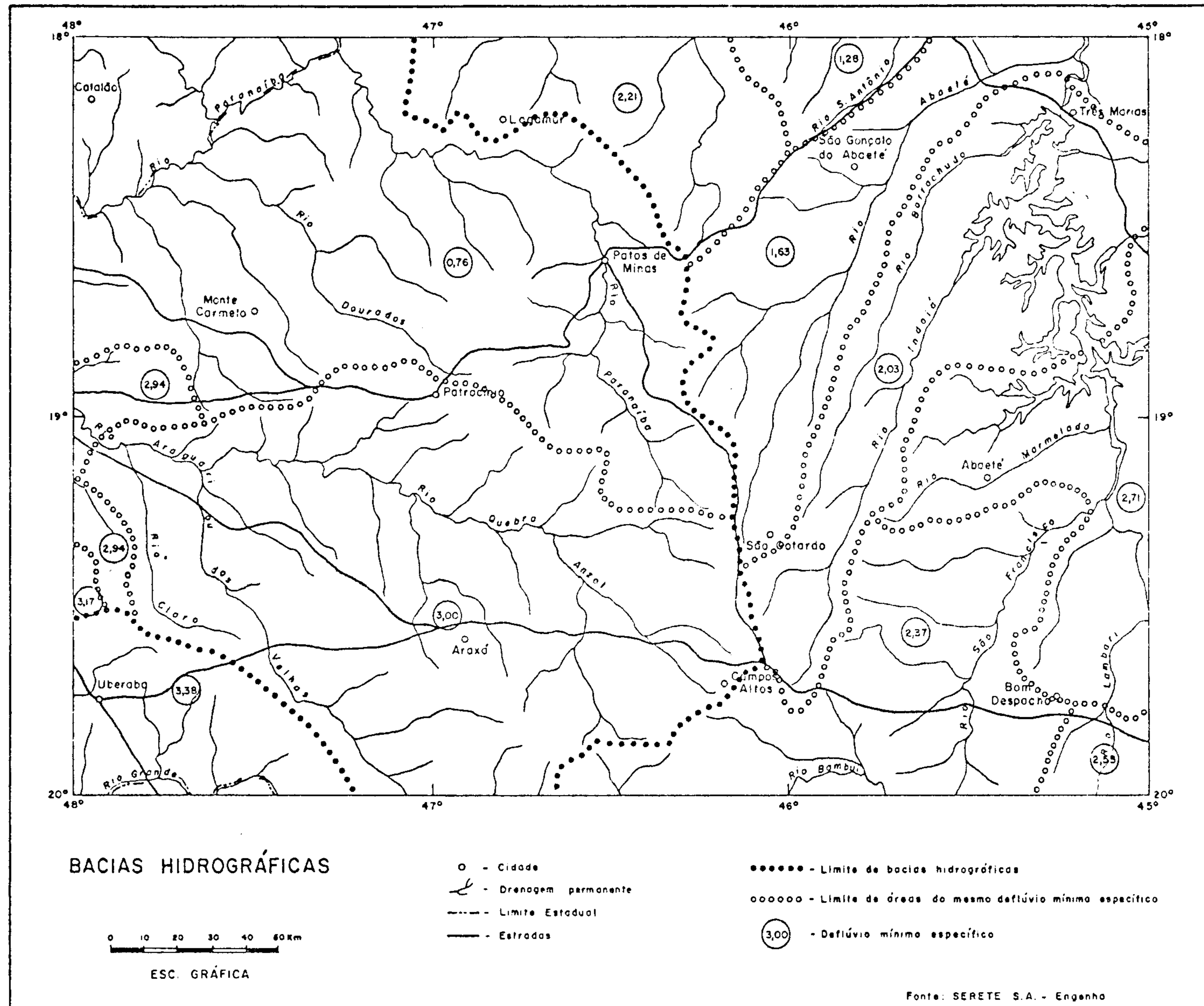


FIG. 4.12

BACIA DO RIO PARANAÍBA : DEFLÚVIOS ESPECÍFICOS MÍNIMOS

SUB-BACIA	POSTO FLUVIOMÉTRICO	LOCAÇÃO		ÁREA DA BACIA ATÉ O POSTO Km ²	DESCARGA MÍNIMA DIÁRIA OBSERVADA		DEFLÚVIO ESPECÍFICO MÍNIMO l/s.Km ²
		LAT.	LONG.		m ³ /s	Ano	
ARAGUARI	Posto Monjolinho	19°04'	47°56'	17.200	40,2	1955/56	2,34
PARANAÍBA	Ponte Vicente Goulart	18°25'	47°07'	7.640	15,5	1961	2,03
QUEBRA ANZOL	Posto Mandioca	19°11'	47°06'	7.460	28,8	1956	-
PERDIZES	Est. Douradoquara	18°27'	47°38'	1.140	1,1	1955	0,96
DOURADOS	Abadia dos Dourados	18°29'	47°24'	1.830	4,0	1955	2,19
ARAGUARI	Pai Joaquim	19°29'	47°32'	3.620	15,8	1955	4,36

QUADRO : 4.5

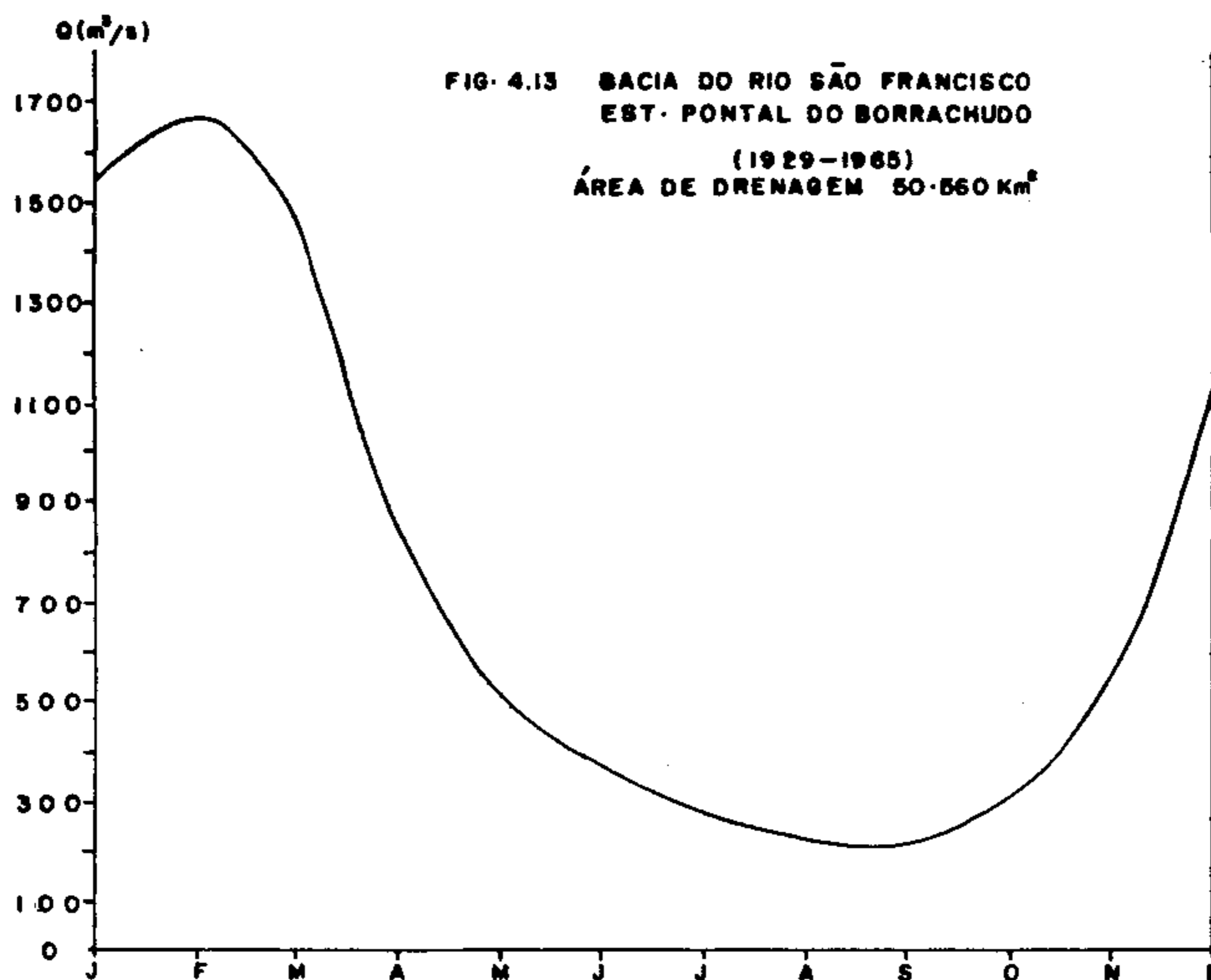
BACIA DO SÃO FRANCISCO : DEFLÚVIOS ESPECÍFICOS MÍNIMOS

SUB-BACIA	POSTO FLUVIOMÉTRICO	LOCAÇÃO		ÁREAS DA BACIA ATÉ O POSTO Km ²	DESCARGA MÍNIMA DIÁRIA OBSERVADA		DEFLÚVIO ESPECÍFICO MÍNIMO l/s.Km ²
		LAT.	LONG.		m ³ /s	Ano	
LAMBARI	Álvaro da Silveira	19°45'	45°07'	1.850	3,9	1955/59	2,11
PARÁ DE MINAS	Posto Pará	19°18'	45°05'	12.200	26,6	1959	2,18
SÃO FRANCISCO	Ponte Olegário Maciel	19°57'	45°35'	8.490	23,6	1955/56	2,78
SÃO FRANCISCO	Posto da Barra	19°14'	45°11'	13.600	24,4	1956	1,79
SÃO FRANCISCO	Pontal do Borrachudo	18°10'	45°18'	50.600	100,0	1955	1,99
ABAETÉ	Posto do Passarinho	18°24'	45°44'	4.250	6,4	1959	1,51
PERDIGÃO	Tapiraí	19°57'	46°00'	580	2,3	1950	3,97
SÃO FRANCISCO	Barra do Paraopeba	18°48'	45°12'	42.500	135,0	1940	3,18
INDAIAÍ	Barra do Funchal	19°23'	45°53'	910	1,8	1941/52	1,98
INDAIAÍ	Faz. Bom Jardim	19°00'	45°42'	1.730	3,9	1960/61	2,25
INDAIAÍ	Posto do Indaiá	18°28'	45°45'	2.780	2,3	1959	0,83

QUADRO : 4,6

minadas em posto fluviométrico de algumas sub-bacias do São Francisco.

No hidrograma do posto do rio São Francisco, figura 4.13, situado em Pontal do Borrachudo (Três Marias) pode-se observar a existência de uma época de águas altas e outra de águas baixas. A descarga média mais fraca registra-se em setembro ($220,4 \text{ m}^3/\text{s}$) e a mais elevada cabe a fevereiro ($1.684,6 \text{ m}^3/\text{s}$).



Uma característica notável desse rio é o relativo alto nível da descarga e a ausência de grandes variações no seu escoamento anual. No curso principal do rio, as descargas anuais máxima e mínima (fig. 4.14) variam entre 186 e 44% da média ($764 \text{ m}^3/\text{s}$).

4.3.3 Rio Grande

VARIAÇÃO ANUAL DE DESCARGA
(Rio São Francisco em Três Marias)

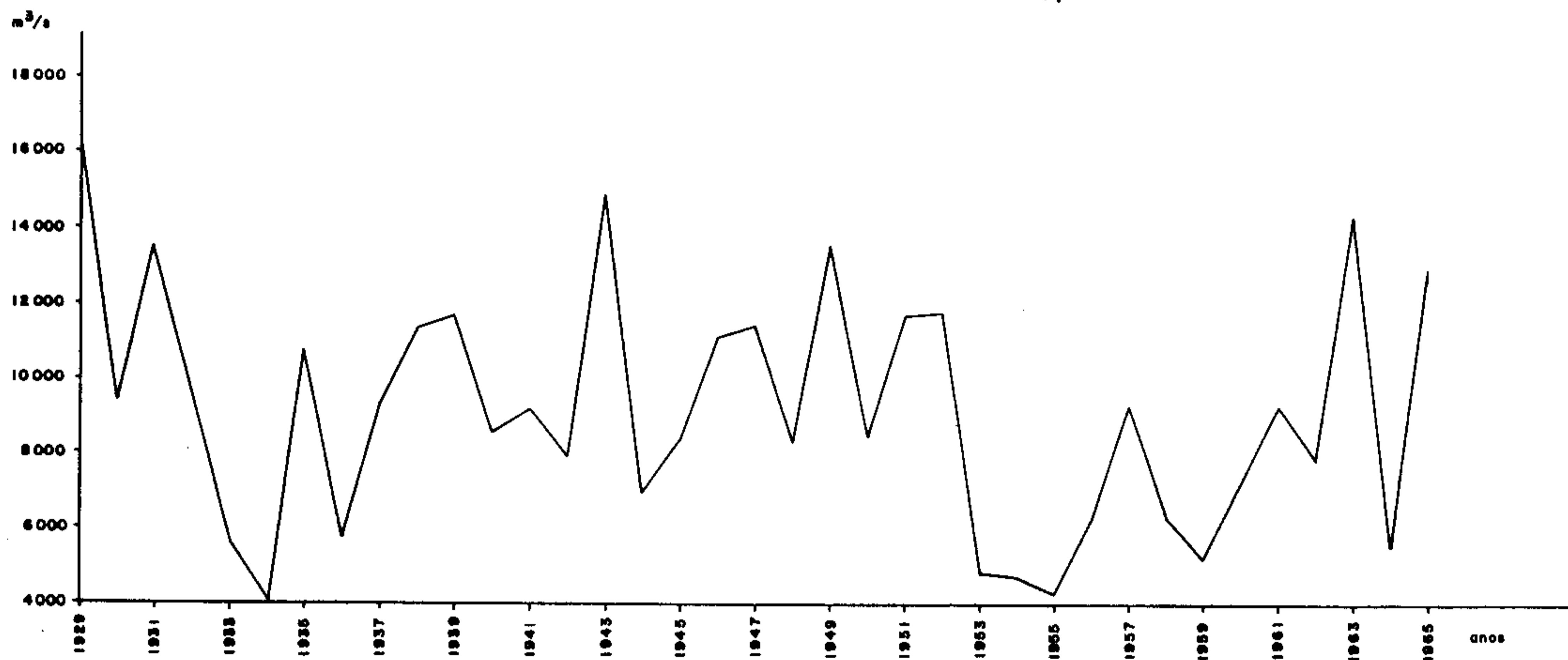


FIG. 4.14

Esse rio nasce na serra da Mantiqueira, em altitude de 1.900 metros. Depois de um curso de cerca de 1.306 km junta-se com o rio Paranaíba, defronte da ilha dos Três Estados, formando o rio Paraná. A parte incluída na área equivale a 3.330 km², correspondendo a margem direita do curso médio um pouco acima do ponto onde começa a servir de limites entre os Estados de Minas Gerais e São Paulo. As águas de seus afluentes, têm origem nos arenitos da Formação Bauru, daí escoando para a zona dos basaltos da Formação Serra Geral.

Este setor é o que apresenta maior deflúvio específico mínimo em toda área, ou seja, 3,38 l/s.km².

4.4 Vegetação e Solos

As referências a respeito dos tipos de vegetação e solos existentes na área foram obtidas a partir dos mapas do IBGE, Atlas do Brasil II.

4.4.1 Vegetação

A nível de grandes grupos destacam-se apenas dois tipos de vegetação, classificados como floresta subcaducifólia tropical e cerrados, conforme podemos observar na figura 4.15.

A Floresta Subcaducifólia Tropical constitui uma formação intermediária entre as formações florestais perenes da encosta e as formações não florestais do interior. Na área em questão ela é encontrada sob a forma de manchas dentro do cerrado. A sua presença pode estar ligada

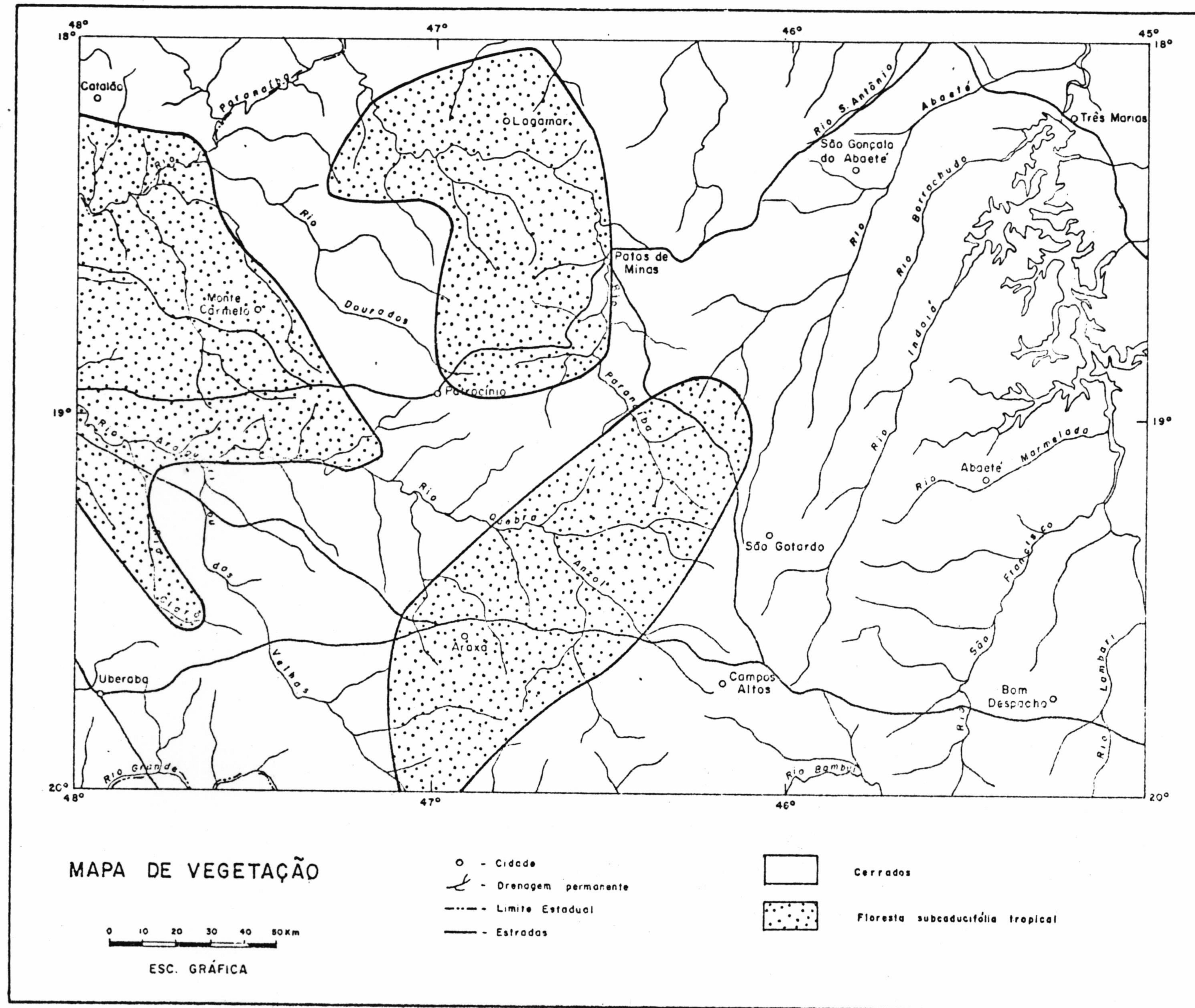


Fig. 4.15

as melhores condições do solo (mais úmido). Ocorre principalmente nas proximidades do vale do Araguari ou das Velhas, e nas regiões de Araxá, Tiros e Lagamar. É uma floresta mais aberta do que a Floresta Perenifólia Higrófila Costeira, e nela a fácil penetração da luz solar favorece o aparecimento de estratos inferiores. O estrato superior é constituído por árvores que atingem até cerca de 25 metros, abaixo do qual um segundo estrato, ainda arbóreo, apresenta elementos que alcançam de 12 a 15 metros.

A vegetação com fisionomia clássica de cerrado ocorre de maneira predominante ocupando principalmente os solos sedimentares da área. É a cobertura vegetal característica das áreas de clima semi-úmido, com duas estações bem marcadas, uma chuvosa e outra seca, ocorrendo esta última de maio a setembro. Ela só é interrompida por florestas galerias ao longo dos cursos d'água, e por áreas de Floresta Subcaducifólia Tropical e, nas superfícies mais elevadas, por campos limpos.

O cerrado típico apresenta dois estratos, o superior, formado por arbustos e árvores de pequeno porte (3 a 5 metros), distanciados entre si e o inferior, herbáceo, disposto de forma mais ou menos contínua ou em tufos, sendo mais densos nas clareiras e em volta da vegetação mais alta.

4.4.2 Solos

Conforme o mapa do IBGE, Atlas do Brasil II-5, registram-se três tipos principais de associação de solos, cujos relacionamentos com as formações litológicas, vege

tação e relevo, são tratados a seguir:

- a) Associação de solos relacionados com os cerrados do Brasil Central e Sudeste. Esta associação representa cerca de 75% dos solos da área, sendo composta predominantemente de Latossolos Vermelho Escuro e Vermelho-Amarelo, ambos com textura argilosa e granulometria média. São solos bastante profundos, bem desenvolvidos, sendo desmembrado em solos com mais de 35% de argila (fase argilosa) e com menos de 35% de argila (fase textura média). Combinados com as Áreas Ácidas Vermelhas e Amarelas compõem a feição pedológica monotonamente marcante das superfícies das chapadas e das áreas de relevo suave.
- b) Associação de solos correlacionados com rochas resistentes nas altas superfícies do Espinhaço, Canastra e Pacaraimã. É representada na área por uma faixa de direção NW-SE que corresponde as rochas da Associação Barbacena, tendo por integrantes principais Latossolos e afloramentos de rocha. Por ser uma unidade típica de áreas de topografia acidentada, abrangendo cristas e vertentes bastante íngremes, os solos são inexistentes ou se apresentam muito rasos, muito pouco desenvolvidos, sendo constituídos de horizonte superficial formado quase que somente por incorporação de matéria orgânica, ao qual se segue rocha pouco alterada.
- c) Associação de solos relacionados com rochas básicas. Esta unidade tem sua distribuição restrita aos derrames de basalto dos arredores de Uberaba, no extremo sudoeste da área. Seu solo típico é o

Latossolo Roxo, apresentando o cerrado como vegetação primitiva.

4.5 Geomorfologia

A topografia da área é constituída por uma sucessão de "superfícies" esculpidas durante os diversos eventos geomorfológicos ocorridos na região. Com base na classificação de King (1956) elas são identificadas e conceituadas a seguir.

A superfície correlacionada ao ciclo Sul-Americano ocorre em altitudes variadas dependendo das condições lito-estruturais locais. No planalto divisor (arco do alto Paranaíba) encontram-se restos dessa superfície de aplainamento que varia de 1.400 (na serra da Canastra) a 1.000 metros (em Sacramento ou em Coromandel). Essa superfície tem um pendor de cerca de três metros por quilômetro, tanto na direção norte como para sudoeste. Ela secciona os maciços quartzíticos da região e rochas do Cretáceo superior. A superfície de nível 1.100 metros na área do Barreiro, e 1.200 metros na área de Tapira, também pertence ao ciclo Sul-Americano. Na parte central da área encontramos a mesma superfície variando dos 1.300 metros, em Pratinha, a 1.200 metros em São Gotardo.

O ciclo Velhas, de atuação pleistocênica, foi responsável pelos dois níveis presentes na depressão do São Francisco e pelas superfícies situadas na região ondulada entre a serra do Araxá e o rio Paranaíba, e na parte alta da bacia deste mesmo rio. Esta última corresponde a superfície "araxá" de Barbosa (1955), variando de 1.000 a 850 metros de Araxá para norte; essa superfície é muito bem carac

terizada na bacia do alto rio Paranaíba, onde ela secciona rochas argilosas do Grupo Bambuí. Os aplainados da depressão do São Francisco se apresentam com cotas de 600 a 900 metros, estando escalonados de sul para norte em relação ao eixo do rio.

Ao ciclo Paraguaçu, de estágios erosivos mais jovens, correspondem as coberturas indiferenciadas que se encontram nas áreas condicionadas ao nível de base do rio São Francisco. Desenvolve-se sobre superfícies com altitudes médias de 500 a 600 metros.

Morfologicamente, a região da folha Belo Horizonte-SO apresenta duas zonas bem distintas: o planalto central brasileiro e a bacia do rio São Francisco. Desta bacia sobe-se para o planalto a oeste, pela encosta da serra da Mata da Corda. A borda oriental desse planalto é o divisor de águas Paraná-São Francisco. A faixa mais acidentada da região é a zona de transição entre as bacias do São Francisco e o bordo alto do planalto da Mata da Corda. Nessa faixa as rochas do Bambuí são muito dobradas e foram profundamente dissecadas.

Embora em áreas restritas, a paisagem cárstica de dolinas é observável ao oriente de Coromandel na bacia do Santo Inácio.

A paisagem tabular se faz notar especialmente na região coberta pela formação Areado. Ali se notam verdadeiros canalões de paredes verticais escalonadas, notadamente na bacia do rio da Prata.

4.6 Aspectos Sócio-Econômicos

A área compreende 80 municípios. (dos quais 19 parcialmente), distribuídos por 13 diferentes micro-regiões homogêneas, conforme mapa de divisão municipal (fig. 416).

Tomando-se por base a estimativa da população por municípios, feita pelo IBGE para os anos de 1970 e 1975, e efetuando-se a projeção para 1978, e os ajustes necessários para os municípios de área parcial, teríamos para a área da folha uma população total de aproximadamente 967.450 habitantes. Uberaba e Patos de Minas são os municípios que apresentam maiores índices demográficos, respectivamente $54,6 \text{ h/km}^2$ e $24,3 \text{ h/km}^2$. A nível de micro-regiões verifica-se que a população, com exceção da micro-região de Uberaba, tem uma distribuição relativamente regular, não se notando áreas de grande concentração humana.

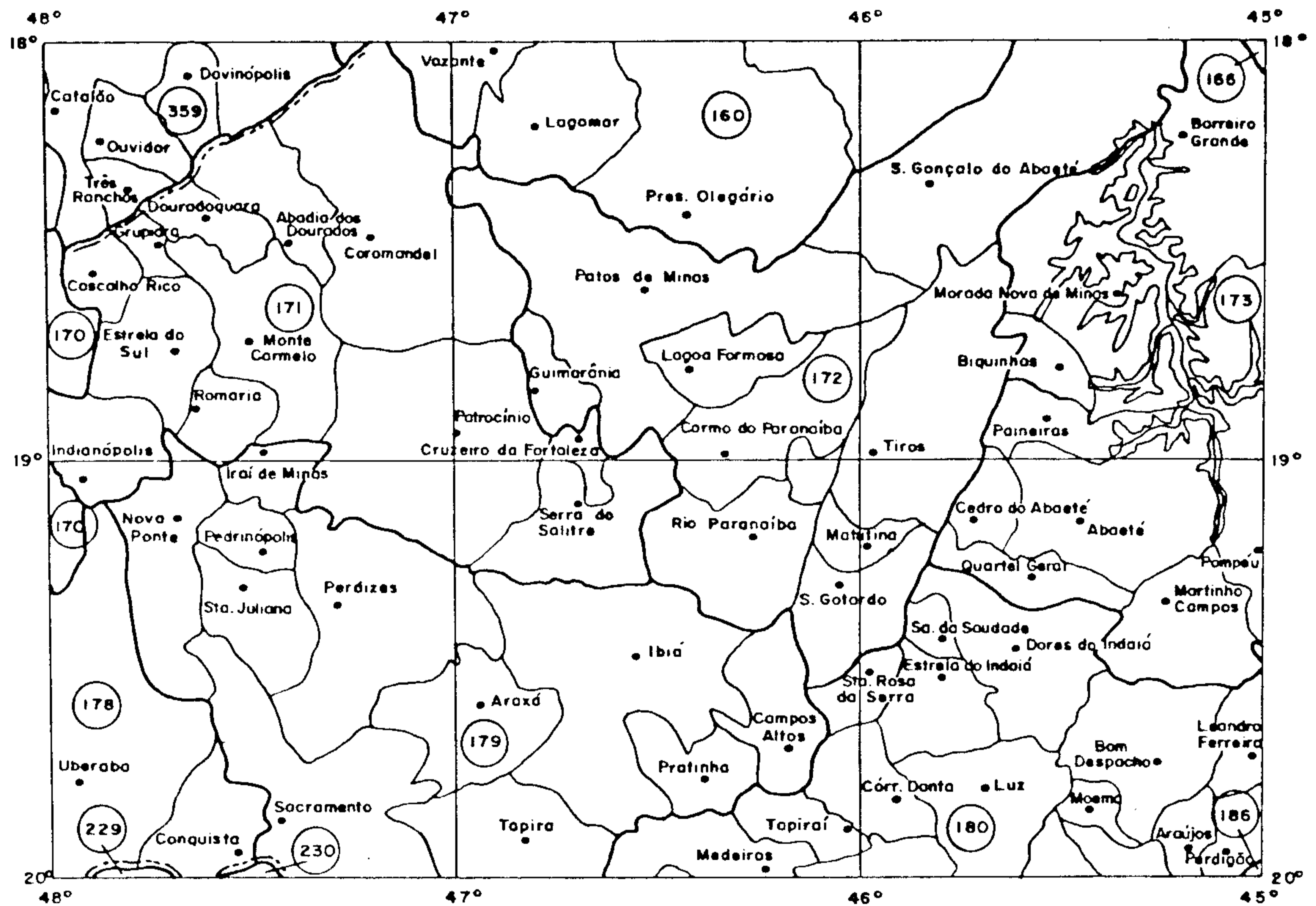
Quanto a pecuária, a região é tradicionalmente conhecida como um dos principais centros de criação de gado de corte do país, constituindo-se no seu principal setor no contexto econômico. Com seu rebanho uniformemente distribuído na área, apresentava até 1978, uma densidade de cerca de 41 cabeças por km^2 .

Além dessa atividade, os outros setores econômicos de maior importância são:

- Produção de milho e feijão nas regiões do Alto Paranaíba e Mata da Corda.
- Cana de açúcar, mandioca e arroz no alto São Francisco e na região de Uberaba.
- Produção de energia elétrica pela Usina Hidrelétrica de Bernardo Mascarenhas (em Três Marias).
- Extração de diamante (Alto Paranaíba); apatita, piro

DIVISÃO MUNICIPAL

MICRO - REGIÕES HOMOGÊNEAS



MICRO-REGIÕES

- (160) - CHAPADÕES DO PARACATU
- (166) - MÉDIO RIO DAS VELHAS
- (170) - UBERLÂNDIA
- (171) - ALTO PARANAÍBA
- (172) - MATA DA CORDA
- (173) - TRÊS MARIAS
- (178) - UBERABA
- (179) - PLANALTO DE ARAXÁ
- (180) - ALTO SÃO FRANCISCO
- (186) - DIVINÓPOLIS
- (359) - SUDESTE GOIANO
- (229) - ALTA MOGIANA
- (230) - PLANALTO DE FRANCA

LEGENDA

- - LIMITE INTERMUNICIPAL
- - - - - LIMITE DAS MICRO-REGIÕES
- · - · - LIMITE INTERESTADUAL
- - CIDADE
- ⚡ - REPRESA

FONTE: IBGE - 1970

FIG. 4.16

cloro, nióbio e titânio (planalto de Araxá) e fosfato em Patos de Minas.

- Aproveitamento das fontes hidrominerais de Araxá (Dona Beija), Patrocínio (Serra Negra) e Uberaba (Fazenda Taquaral).

Pelo que foi exposto, conclui-se que a economia da área tem por base o setor primário, traduzida em pecuária extensiva, pequenas e grandes lavouras comerciais e atividade extrativa mineral.

5. GEOLOGIA

5.1 Generalidades

Os dados geológicos transcritos neste capítulo foram obtidos a partir da uniformização das informações advindas dos projetos Três Marias e Chaminés Alcalinas, executados, respectivamente, pela CPRM e PROSPEC S/A. Foram analisados detalhadamente, destacando-se os aspectos de maior interesse para os objetivos do estudo.

Regionalmente, a área estudada tem mais de 64% de sua superfície ocupada por rochas Pré-Cambrianas pertencentes a Associação Barbacena/Paraíba do Sul e ao Grupo Bambuí. O restante, corresponde a sedimentos cretácicos e jurássicos das Bacias do Paraná e Sanfranciscana, e sedimentos terciários e quaternários diversos.

Com base nos conhecimentos geológicos atuais, podemos dar o seguinte cunho lito-estratigráfico às rochas presentes na área.

5.2 Associação Barbacena/Paraíba do Sul

São agrupadas nessa associação as rochas pertencentes ao complexo granito-gnáissico, Grupo Araxá, Grupo Canastra e Formação Ibiá, anteriormente estudadas por Barbosa (1955) e Barbosa et alii (1970). A designação de Associação para essas rochas Pré-Cambrianas e a divisão litotrutural das mesmas em complexos resultaram de acordos mantidos durante o "Programa de Reunião para Integração Regional" realizado em Caxambú (1976).

No perfil esquemático da fig. 5.1, correspondem

.25.

SEÇÃO GEOLÓGICA RIO ARAGUARI - RIO STO. INÁCIO (GH)

ESCALA HORIZONTAL 1:250.000

ESCALA VERTICAL 1:25.000

Robert C. Dyer - 1967

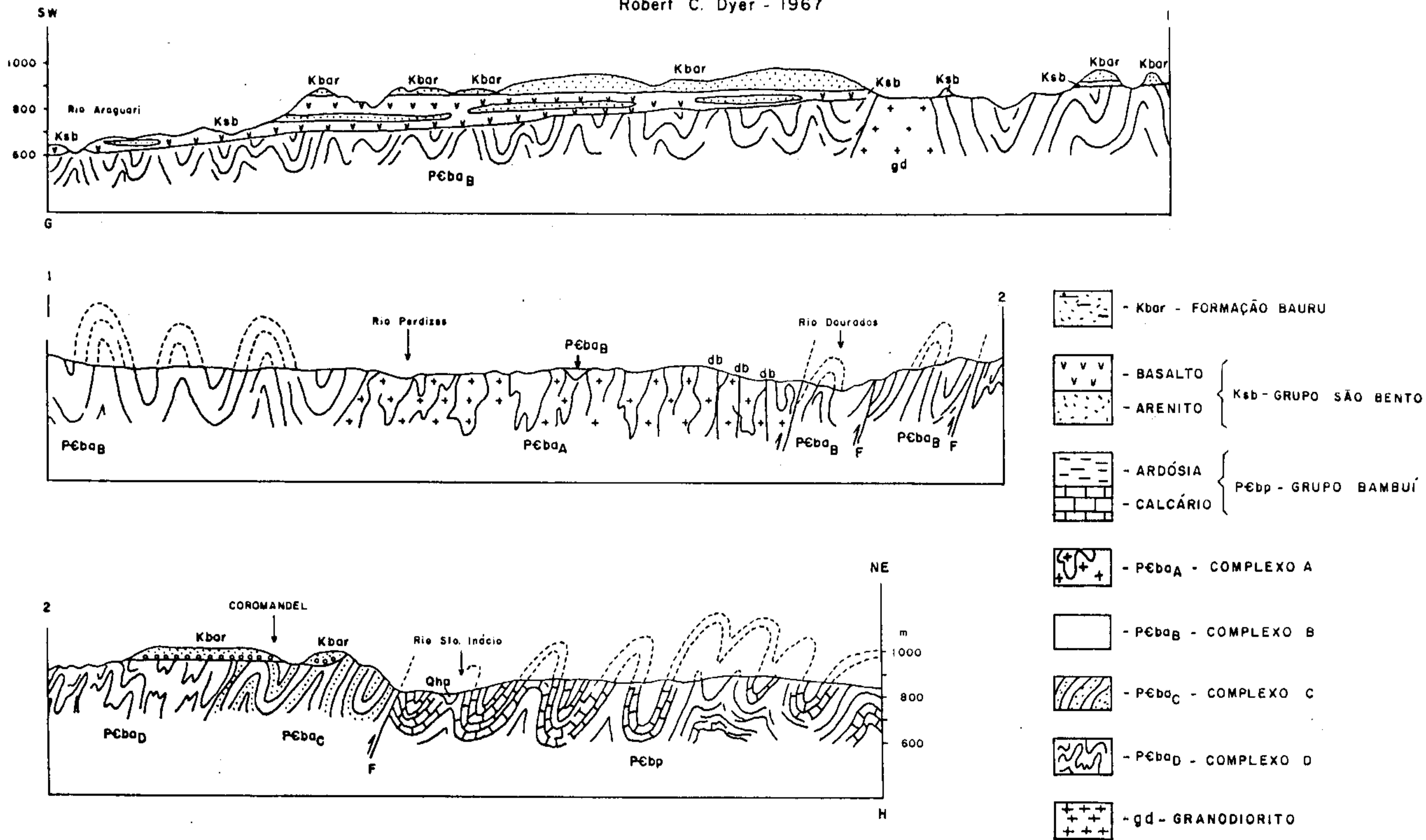


FIG. 5.1

RELAÇÃO ESTRUTURAL ENTRE OS XISTOS ARAXÁ
E O COMPLEXO GRANITO-GNAISSICO
O. Braun — 1967

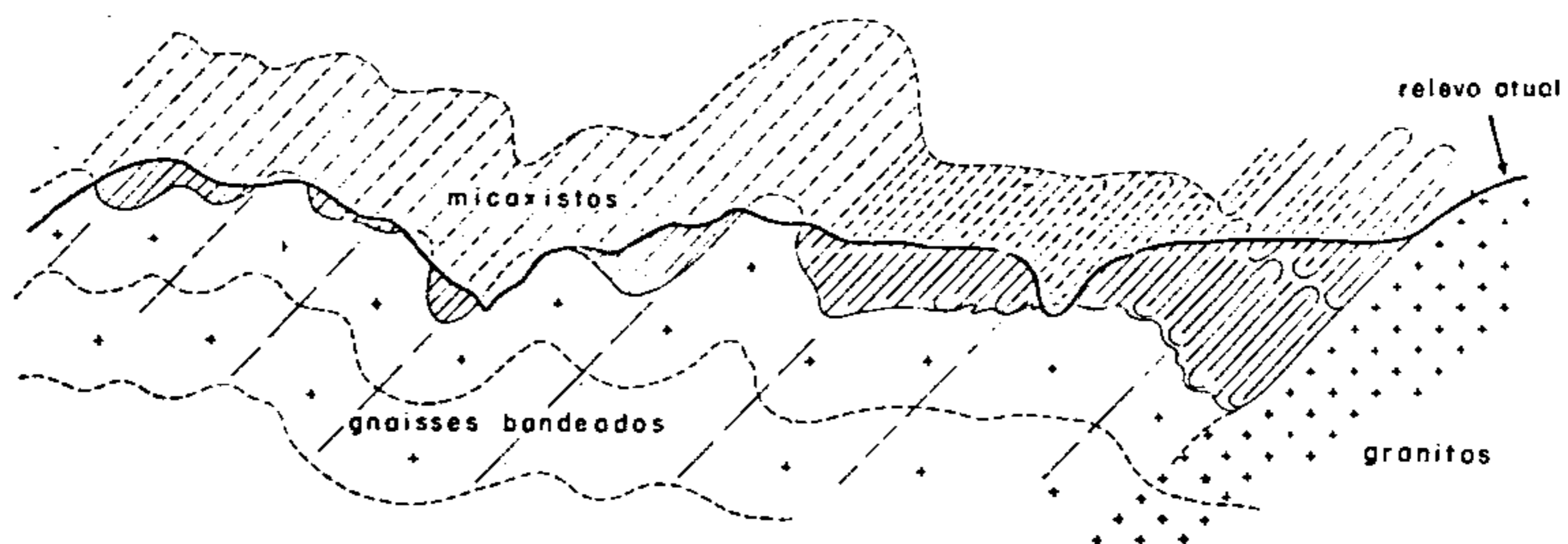


FIG. 5. 2

mente, uma zona de transição com xistos feldspáticos ou bandeados.

Os afloramentos desse complexo se estendem es pa rs ame nte na direção NW-SE, sempre associados ao Com ple xo-B, com exceção da ocorrência no extremo sudeste da área, região de Moema e Bom Despacho. Os afloramentos mais cons ta ntes estão, porém, nas proximidades de Monte Carmelo, entre esta cidade e Abadia dos Dourados. Percorrendo a es tra da que liga estas cidades encontramos continuamente rochas gra ni to-gn á is s i c a s. A sudeste de Catalão, atravessando o ri o Paranaíba até próximo a Estrela do Sul, temos outra gra nde extensão aflorante de rochas do Complexo-A, com muitas in ter ca la ç õ es de anfibolitos. Na região de Araxá, de um modo geral, não é fácil se fazer a delimitação dessas ro chas, pois a profunda decomposição das mesmas encobre os con ta tos. Em São João da Antinha e nas margens do rio Que bra-An zol ocorrem gnaisses claros, com fraca orientação. Estes, estão ali limitados por uma falha de rasgamento de di re ç ã o NW-SE. Logo a norte de Araxá afloram gnaisses ban de ad os que, quando decompostos, são facilmente confundidos com mi ca x is tos. Os anfibolitos parecem ocorrer sempre no con ta to dos gnaisses com os xistos.

5.2.2 Complexo B (pEb_B)

Representa um conjunto de metamorfitos de fa ci es epidoto-anfibolitos que consiste, essencialmente, de micaxistos com intercalações de quartzitos e an fi bo li tos. A situação desse conjunto de rochas é imprecisa, sendo des co nh ec id os seu topo e sua base. Entretanto, é possível dis tin gu ir duas unidades lito-estratigráficas na sequência.

A sequência basal, constituída mormente de quartzitos moscovíticos e ortoquartzitos intercalados por delgados leitos de quartzo-biotita-moscovita xisto, onde na base, são encontrados também xistos a duas micas e que pasam a gnaisses; a outra, superior, constitui-se de calcoxistos, xistos verdes e mármores lentiformes.

Embora dobrado em conjunto com as rochas granito-gnáissicas, as observações de campo fornecem evidências de que o Complexo-B acha-se sobreposto a essas rochas.

Esse complexo tem grande expressão em área, estendendo-se desde o extremo noroeste da área até Argenta, em forma de uma faixa com largura média de mais de 50 quilômetros, e direção NW-SE.

Suas rochas típicas são micaxistos a duas micas e encontram-se em torno da cidade de Araxá. Ao sul desta mesma cidade, em torno do domo do Barreiro, ocorrem quartzitos, em delgados leitos, onde se acham parcialmente fenitizados pelas intrusivas. Encontram-se quartzitos, também paralelamente à serra de Pirapetinga, em leitos decimétricos, com efeitos de cataclase, e no rio Quebra-Anzol em leitos completamente milonitizados.

Próximo à cidade de Estrela do Sul, na rodovia para Araguari, existem altos cortes onde se observam "intrusões" de rochas de composição granodiorítica nos xistos finos do Complexo-B. Outros corpos de rochas ácidas, como aquele ao norte da confluência dos rios São Marcos e Paranaíba, também poderiam ser intrusivos nesse complexo (fig. 5.1).

5.2.3 Complexo-C (p_Cba_C)

Este complexo corresponde a um conjunto de metamorfitos de baixo grau, representado por variedades de filitos, micaxistos, quartzitos e rochas carbonáticas. Os quartzitos puros, sericíticos e moscovíticos, constituem intercalações pouco espessas nas rochas filíticas e nos mica xistos. Estes apresentam-se com notável laminação tectônica que imprimiu um perfeito bandeamento à rocha. As rochas carbonáticas (dolomitos) ocorrem tanto como finos corpos lenticulares associados aos micaxistos carbonáticos, como formando megalentes intercaladas nas rochas filíticas com quartzito associado. Encontram-se bastante tectonizadas e percoladas por quartzito de origem hidrotermal.

Seu relacionamento com o Complexo-B é ainda assunto de discussão.

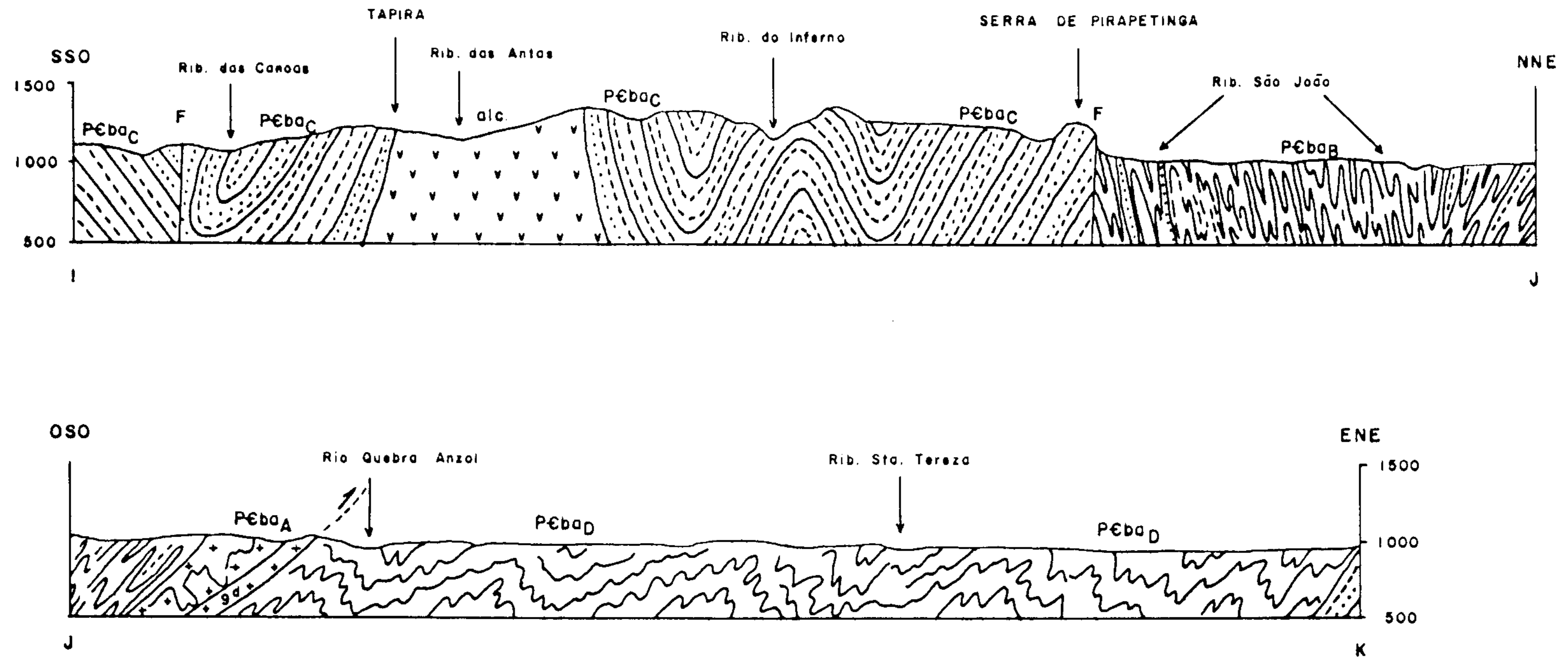
Na seção geológica da fig. 5.3, correspondente ao corte IJK no mapa geológico, é mostrado o relacionamento estrutural desse conjunto de metamorfitos com o Complexo-B e a intrusiva alcalina de Tapira.

Ocorre na área margeando as bordas sul e leste do Complexo-B, com exceção de um trecho entre o Morro das Pedras e a localidade de Pileu, onde se prolonga no sentido NNE. Ao sul da grande falha das serras de Pirapetinga e de Sacramento, ocupa uma grande área sendo que os filitos predominam amplamente sobre os quartzitos. Quartzitos ferruginosos e mesmo itabiríticos são encontrados na vertente sul da serra de Catiara e próximo a Pratinha. Nas zonas de falha, como nas serras de Monte Alto, Pirapetinga e Pratinha, os quartzitos são milonitizados e se tornam fibrosos ou, então, sofrem intensa silicificação perdendo o aspecto granular.

Galgando-se a serra da Canastra pelo vão do



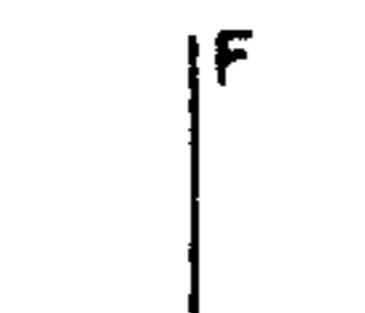
SEÇÃO GEOLÓGICA TAPIRA - TRÊS CAPÕES (IJK)

Oscar Braun - 1967



CONVENÇÕES

-  - COMPLEXO - A
-  - GRANODIORITOS
-  - COMPLEXO - B
-  - COMPLEXO - C
-  - COMPLEXO - D

-  - ALCALINAS EM GERAL (alc)
-  - FALHA DE EMPURRÃO
-  - FALHA DE RASGAMENTO

ESCALA HORIZONTAL - 1:250.000
 ESCALA VERTICAL - 1:25.000

FIG. 5.3

Quebra-Anzol e indo-se em direção a Tapira, depois de se atravessar os quartzitos que se intercalam nos quartzo-filitos limitados por falha com os xistos de Complexo-D, atravessa-se o bordo de um amplo sinclinal cujo eixo bordeja o domo de Tapira pelo norte. Este bordo é formado por uma sequência de filitos com algumas intercalações de quartzitos finos.

Ao norte e noroeste de Coromandel, embora aparentemente haja muito quartzito na região, há também muito filito intercalado.

5.2.4 Complexo-D (p_éba_D)

O Complexo-D é representado predominantemente por micaxistos carbonáticos. Localmente são encontrados finos leitões de quartzito e de filito intercalados, similares aos do Complexo-C. Os dois complexos (C e D) mostram intensa associação litológica, evidenciando que ambos fazem parte de um único conjunto geológico, cuja separação, no mapa, indica somente as áreas de predominâncias litológicas.

Ocorrem em forma de faixa com direção NW-SE, apresentando contatos por falhas de empurrão com o Complexo-B. O trecho de maior expressão em área situa-se entre Pratinha, Catiara e São José da Antinha. Seus melhores afloramentos se encontram ao longo do curso superior do rio Quebra-Anzol e sua melhor exposição se encontra na pedreira Ibiá.

5.3 Grupo Bambuí

Este grupo corresponde a uma sequência de rochas pelíticas e carbonáticas pertencentes ao Pré-Cambriano

Superior e que ocorrem em grande extensão na parte leste da área.

Em coluna estratigráfica válida para toda área de ocorrência desse grupo, referente aos bordos meridional e ocidental da bacia, o mesmo foi dividido nas formações Paranoá, Paraopeba e Três Marias.

5.3.1 Formação Paranoá (pCbpa)

Constitui a unidade basal do Grupo Bambuí, que apresenta como únicas ocorrências de dimensões razoáveis na área aquelas que se encontram nos domos de Salitre e serra Negra, onde expõem grandes espessuras de arenitos ortoquartzíticos (cerca de 600-700 metros - espessura real da camada). Intercalados nessas rochas ocorrem, principalmente, siltitos e ardósias.

Na figura 5.4, observamos o perfil litológico da serra Negra, onde estão representadas as principais características das unidades litológicas.

5.3.2 Formação Paraopeba (pCbpb)

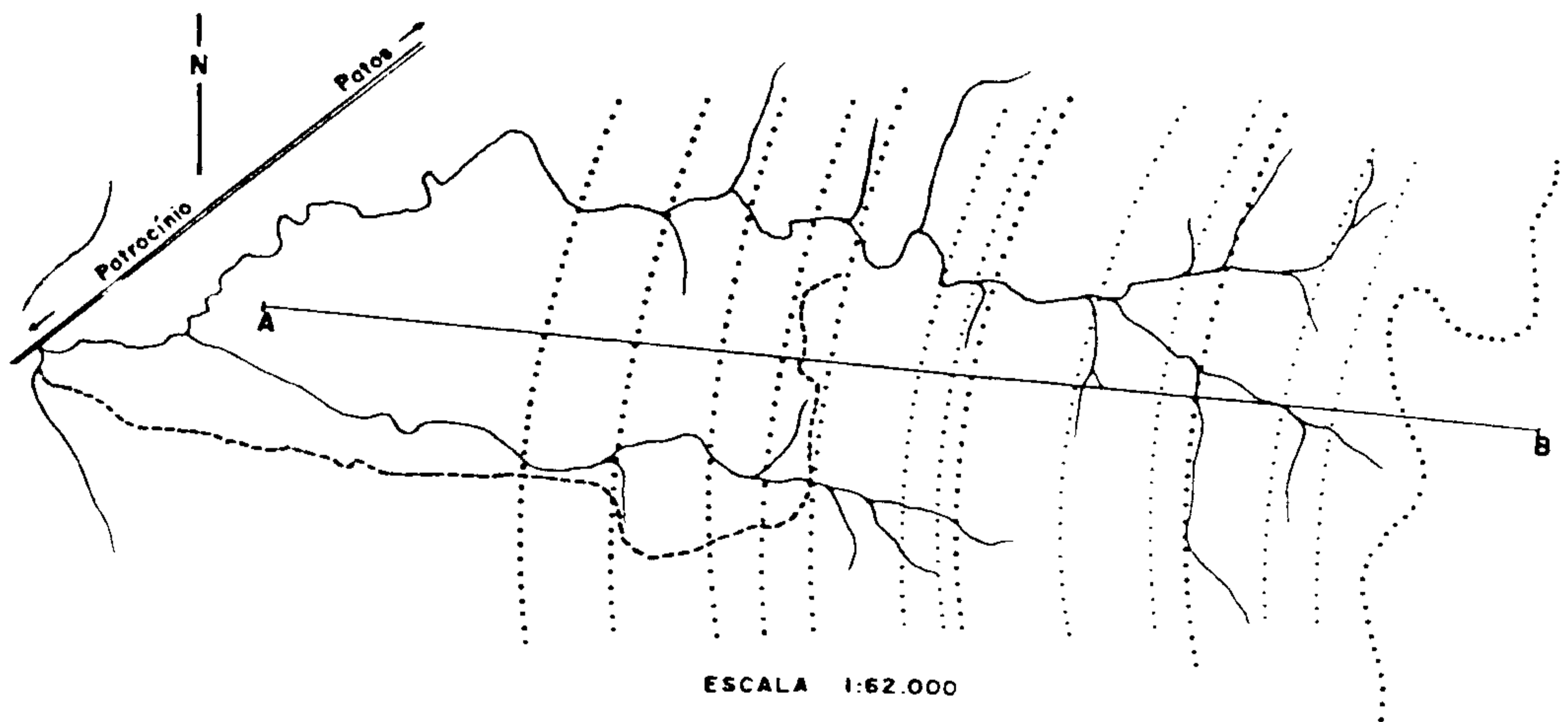
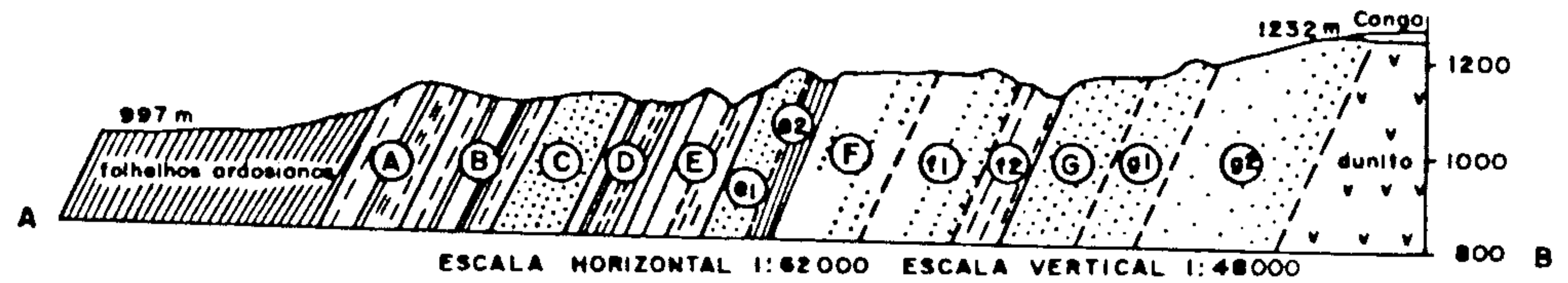
A Formação Paraopeba é a unidade do Grupo Bambuí que apresenta maior extensão, ocupando quase toda porção leste da área.

Recobre indistintamente as litologias pré-cambrianas. O contato dá-se sempre por uma superfície erosiva, constituindo uma discordância angular regional.

Distribuindo-se pela porção marginal da bacia, predomina uma unidade constituída essencialmente de rochas pelíticas e carbonáticas agrupando argilitos calcíferos,

PERFIL LITOLÓGICO EM SERRA NEGRA (PSAMITOS DO GRUPO BAMBUÍ)

O. Braun — 1967



CONVENÇÕES

- | | |
|--|---|
| Ⓐ ARCÓSIOS E ARENITOS ARCOSIANOS FINOS, SILTITOS E ARDÓSIAS. | Ⓕ ARENITOS MÉDIOS A GROSSOS. |
| Ⓑ ARDÓSIAS, ARENITOS FINOS, SILTITOS. | Ⓖ OS MESMOS, MAIS ARGILOSOS (estr. cruz) |
| Ⓒ ARENITOS FINOS A MÉDIOS, SACARÓIDES. | Ⓗ ARENITOS FINOS, C/ INTERCALAÇÕES DE SILTITOS. |
| Ⓓ ARDÓSIAS E SILTITOS (margas ?) | Ⓖ ARENITOS FINOS A MÉDIOS. |
| Ⓔ ARENITOS FINOS, SILTITOS, ARDÓSIAS E MARGAS. | Ⓖ ARENITOS MÉDIOS A GROSSEIROS. |
| Ⓖ ARENITOS MÉDIOS, COMPACTOS, SILICIFICADOS. | Ⓖ ARENITOS GROSSEIROS. |
| Ⓖ SILTITOS E ARDÓSIAS. | |

FIG. 5.4

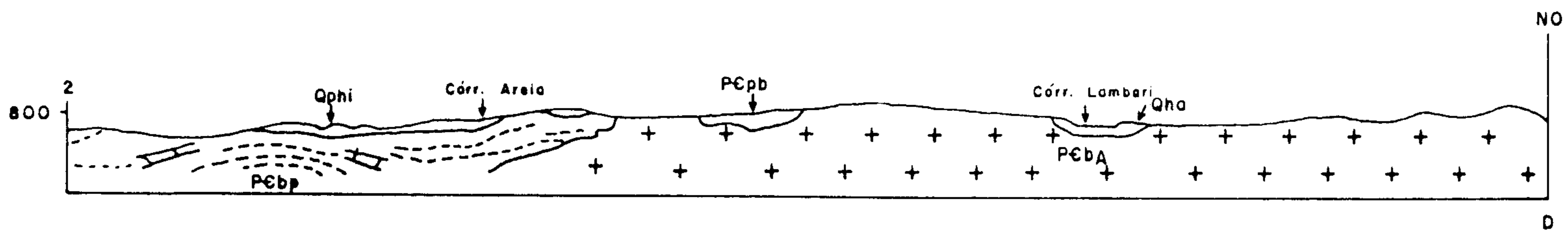
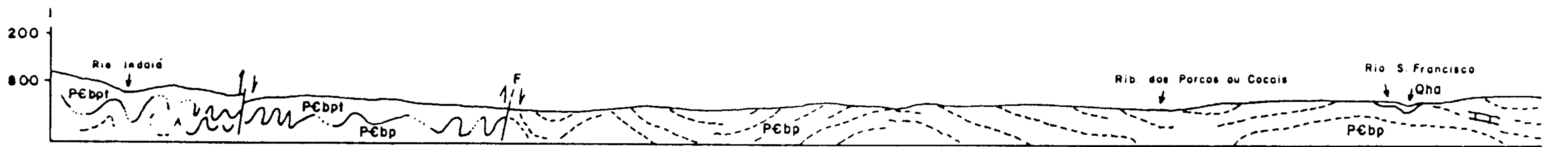
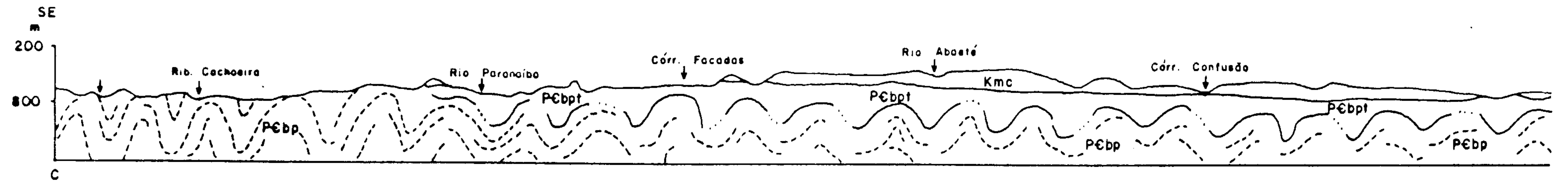
ardósias sílticas, margas e calcarenitos. As ardósias es tão subordinadas às áreas de maior instabilidade tectônica, sendo originadas de margas ou argilitos por dobramentos que promoveram o surgimento de um sistema de clivagem, geralmen te paralelo ao eixo das dobras. Nessas rochas a contribui ção síltica alterna-se lateralmente com leitos arenosos de granulação fina, localmente dispostos segundo a estratifica ção.

As facies pelíticas de transição (pCbpt) para a Formação Três Marias é composta por intercalações de es tratos médios e espessos de siltitos grosseiros e arenitos finos a médios. Na parte basal desta facies, o arenito o corre subordinado ao siltito. No topo, esta relação acha -se invertida, predominando arenitos de granulometria mé dia, feldspático, que constitui a unidade de transição para a Formação Três Marias. A espessura máxima inferida foi de 166 metros na serra do Saco da Vaca.

A figura 5.5 mostra um perfil geológico es quemático da formação Paraopeba, correspondente ao corte CD no mapa geológico.

O limite de ocorrência desta unidade acompa nha a configuração geométrica da bacia do São Francisco. No bordo ocidental e extremo sudeste delimita-se, contínua e irregularmente com as rochas da Associação Barbacena/Paraíba do Sul, sendo que nas porções setentrional e oriental a Formação Paraopeba ultrapassa os limites da área de estu do.

No extremo leste da região, assim como a nor deste e sudeste, esta unidade encontra-se capeada indistin tamente pela Formação Três Marias e pelas formações cretáci cas e coberturas arenosas indiferenciadas.



CONVENÇÕES

- Qha - QUATERNÁRIO HOLOCENO
- Qphi - QUATERNÁRIO PLEISTOCENO/
HOLOCENO
- Kmc - FORMAÇÃO MATA DA CORDA
- PEbpt - FACIES PELÍTICA BAMBUÍ
- PEbp - FORMAÇÃO PARAÓPEBA BAMBUÍ

PERFIL GEOLÓGICO ESQUEMÁTICO (CD)

ESCALA HORIZONTAL - 1:250.000

EXAGERO VERTICAL - 5x

PROJETO TRÊS MARIAS - (CPRM / DNPM)

FIG. 5.5

5.3.2.1 Rochas Carbonáticas (c)

Essas rochas ocorrem principalmente na base da Formação Paraopeba, mas podem aparecer intercaladas nos pelitos ou em posição superior a eles. Constituem ocorrências descontínuas que passam lateral e superiormente a rochas argilosas. São, de uma maneira geral, silicosas e dolomíticas, apresentando baixa porosidade.

Por vezes formam maciços volumosos que ocupam extensões consideráveis, como nas regiões de Lagamar-Vazante e leste-nordeste de Coromandel.

5.3.3 Formação Três Marias (pÉbt)

Esta formação compõe-se, predominantemente, de arenitos feldspáticos, localmente calcíferos. Apresenta relativa persistência litológica sendo que o seu contato basal dá-se sempre com a Formação Paraopeba.

Sua seção tipo mais característica dentro da área ocorre na região da Barragem de Três Marias, apresentando um empilhamento litológico de 180 metros de espessura, ou seja, do topo para a base: 20 metros de rocha de grã média a síltica; 40 metros de argilito síltico; 40 metros de arenito de grã fina a média, com matriz sílto-argilosa, regularmente selecionado e com aspecto homogêneo e bem litificado quando fresco; 35 metros de uma sequência rítmica de argilitos e arenitos e arenito síltico com ótima fissilidade; 30 metros de argilito síltico, com níveis laminares descontínuos centimétricos de arenito fino e 15 metros de arenito fino, feldspático, com cimento calcífero e aspecto aparente homogêneo bastante litificado.

A área de ocorrência constitui uma faixa ex tensa na porção nordeste, que se inicia ao sul, nas proximi dades de Abaeté, prolongando-se para norte. Em grande parte de sua ocorrência está coberta por sedimentos cretácicos ou coberturas indiferenciadas (TQi e Qphi), responsáveis por uma descontinuidade em sua exposição.

5.4 Domos Básicos - Alcalinos

No mapa estão assinaladas as ocorrências de cinco estruturas dômicas, provavelmente de idades contempo râneas, cujos núcleos são presumivelmente de rochas alcali nas ou básico-alcalinas.

A ENE de Patrocínio encontram-se unidos um ao outro e em continuação para norte da serra Salitre, os domos de Salitre e serra Negra. Nesta última o domo quartz zítico circunda completamente um maciço dunítico (du) e com põe-se de várias faixas de quartzito com intercalações de xistos e metassiltitos. A espessura total do complexo quartzito-xisto é da ordem de 4.500 m (fig. 5.4) e o mergu lho é sempre superior a 45° . O anel quartzítico que circun da a chaminé de Salitre tem espessura da ordem de 600 - 700 metros, sendo seccionado por uma extensa falha de rumo ENE. No interior do domo existem, sem dúvida, rochas alcalinas (alc), mas não se conhece a sua morfologia de jazimento.

O domo de Tapira tem forma aproximadamente oval e a sua rocha geral é um jacupiranguito verde escuro (Alc) (fig. 5.3). Externamente ao domo, a noroeste e sudes te, são conhecidos diques em anel de rochas sub-alcalinas. O quartzito que circunscreve o material do domo é branco e

grosseiro, semelhante a certos termos da serra dos Araxás.

O domo de Barreiro é circunscrito por um anel de quartzitos que limita a chaminé. Tanto nesse domo como naqueles encontrados na região de Catalão ocorrem, também, rochas alcalinas.

5.5 O Cretáceo

As formações cretácicas ocorrem em áreas consideráveis, tendo sido cartografadas na parte ocidental do Alto Paranaíba e na bacia do São Francisco. O acúmulo de dados dos diversos estudos efetuados nos últimos dez anos na região, trouxe relevantes informações a respeito dessas unidades.

Por ocasião do XXV Congresso Brasileiro de Geologia (1971), realizou-se u'a Mesa Redonda com o objetivo de integrar essas informações e reduzir os conflitantes.

Dada a importância hidrogeológica que apresentam essas formações cretácicas, procurar-se-á definir com o detalhe que cabe no presente trabalho, as suas principais características geológicas.

O primeiro conceito a ser entendido, refere-se ao que os membros da Mesa Redonda, acima mencionada, definiram como Arco do Alto Paranaíba. Trata-se de um alto estrutural e morfológico delimitador das bacias cretácicas do Paraná e Sanfranciscana, e que apresenta direção aproximada SSE-NNW. Seu caráter ascensional teve início durante a deposição das unidades sedimentares do Jurássico e Cretáceo, como atestam as espessuras dessas unidades, assim como

o vulcanismo alcalino do tipo central, que reflete o regime de tensão experimentado por essa feição tectônica.

5.5.1 O Cretáceo na Bacia do Paraná

A seguinte coluna geológica é atualmente aceita para as sequências juro-cretácicas da Bacia do Paraná.

Formação Bauru	{	Facies Ponte Alta (Cretáceo Superior)
	{	Facies Uberaba (Cretáceo Inferior)
Grupo São Bento	{	Formação Serra Geral (Cretáceo Inferior)
	{	Formação Botucatu (Jurássico Superior)

O Grupo São Bento, em discordância angular, repousa sobre as rochas do Complexo-B e, mais restritamente, do Complexo-C. Por sua vez, a Formação Bauru sobrepõe-se a esses conjuntos de rochas desde a região de Sacramento-Uberaba até as bordas norte e nordeste da Bacia.

5.5.1.1 Grupo São Bento

O Grupo São Bento compreende o conjunto de rochas basálticas da Formação Serra Geral e arenitos da Formação Botucatu que apresentam posição subhorizontal na Bacia.

Esse conjunto de rochas depositou-se, na zona de Sacramento e Rio Grande, em bacia de fundo muito irregular pelo que se pode deduzir da discrepância entre os valores das cotas de sua base. Assim, na margem esquerda do Rio Grande temos a base em cota de 585 m, enquanto que próximo à estação de Sacramento temos a base em cota de 600 a 615 m. De Sacramento para leste diminui a espessura do Grupo São Bento. No morro do Chapéu temos sua base em cota de

630 m. A superfície de deposição do Grupo São Bento sobe consideravelmente em direção ao chapadão do Bugre. Aí, no seu flanco oriental, a base está em cota de 1.050 m. Portanto, numa distância de 35 km houve uma queda aproximada de 465 m, ou seja, 13 m/km, que é um valor bastante elevado.

Na quadrícula Belo Horizonte-SO, esse Grupo é representado pelos afloramentos extensos da Formação Serra Geral. A área de exposição dos sedimentos da Formação Botucatu é insignificante, não podendo ser cartografada na escala desse trabalho.

5.5.1.1.1 Formação Botucatu

Compreende uma unidade genética de ambiente desértico. É constituída de arenitos de granulometria fina a média. O teor de silte e argila é inferior a 10%, geralmente inferior a 5%. Os grãos tem bom arredondamento e boa esfericidade nas frações média e fina. Nos contatos com os basaltos da formação Serra Geral, os arenitos encontram-se geralmente silicificados.

A espessura da Formação Botucatu pode apresentar variações consideráveis, tendo em vista que o seu contato superior não é uma superfície regular e frequentemente não é um limite físico por causa do interdigitamento com os basaltos. Na área em estudo aparece descontinuamente nas regiões de Tupaciguara, Araguari, Estrela do Sul, Romaria e Sacramento, apresentando fraca espessura (cerca de 10 metros) e pequena expressão geográfica.

5.5.1.1.2 Formação Serra Geral (Ksb)

Incluem-se nesta formação os derrames basálticos com intercalações de arenitos eólicos idênticos ao arenito Botucatu.

Recobre a Formação Botucatu, assim como transgride sobre os complexos de Associação Barbacena/Paraíba do Sul e está recoberta, em sua maior parte, pelos sedimentos cretácicos da Formação Bauru, ou cenozóicos das calhas dos rios.

A superfície dos basaltos é irregular, variando a altitude desde 880 m em Indianópolis, 860 m em Araguari, 800 m em Sacramento, até 370 m no Canal de São Simão (já fora da área).

Atualmente observa-se que os basaltos constituem um nível de base local para a drenagem. As formações superiores foram profundamente erodidas até exumar-se a soleira basáltica, à qual relacionam a quase totalidade das cachoeiras e corredeiras do Triângulo Mineiro.

Os derrames basálticos se apresentam na área, numa zona compreendida pelo canto sudoeste da folha, Chapadão do Bugre, e pelas cidades de Perdizes, Monte Carmelo e Cascalho Rico. A espessura da formação, incluindo as intercalações de arenitos idênticos aos da formação Botucatu, varia muito (Sacramento, 40 m; Santa Juliana, 50 m; Araguari, 20 m) e parece aumentar em direção à calha do rio Grande como em Delta e Uberaba, onde se registrou uma espessura mínima de 230 m (Hassuí, 1968).

5.5.1.2 Formação Bauru (Kbar)

Esta unidade constitui-se de arenitos quartzosos com ou sem cimentação carbonática, contendo níveis de

granulometria grosseira, bem como de siltitos e argilitos.

Uma peculiaridade dessa formação são os diversos níveis de silicificação encontrados na sua parte superior.

Ocorre na área no lado WSW do Arco do Alto Paranaíba, sendo caracterizada pelas facies Uberaba e Ponte Alta, conforme veremos a seguir.

A fig. 5.6 mostra um perfil litológico na rodovia Coromandel-Patrocínio.

5.5.1.2.1 Facies Uberaba

Apresenta como principal característica a contribuição vulcânica, consistindo de rochas epiclásticas (Fisher, 1961) tais como: conglomerado basal com fragmentos de basalto, arenitos (que são os termos predominantes na sequência, especialmente em direção ao topo), siltitos e argilitos em leitos centimétricos e de extensão lateral restrita. As cores são avermelhada, creme e verde, esta, face à presença de matriz argilosa vulcânica.

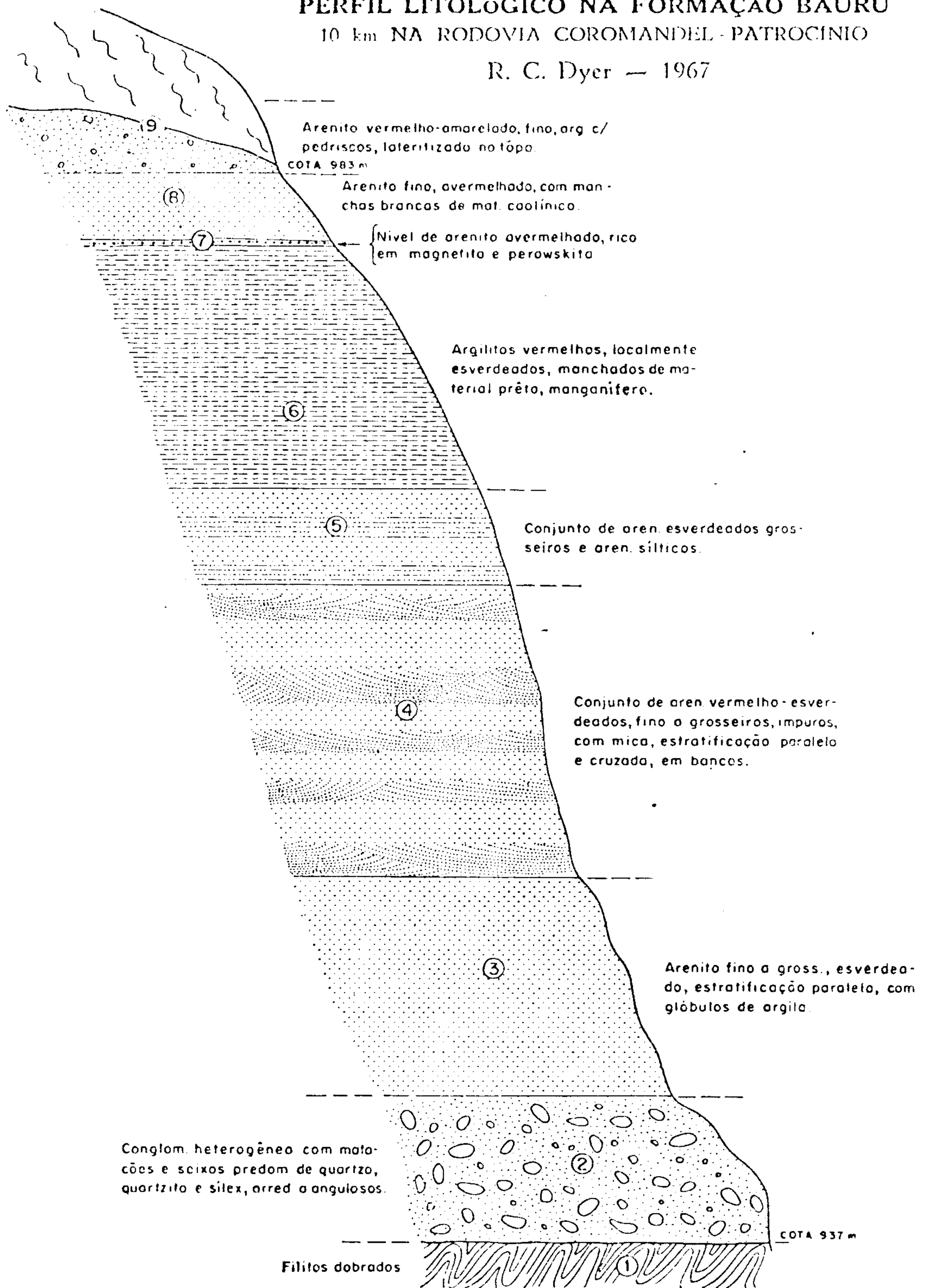
Barbosa et alii (1970) situaram seu limite superior pouco abaixo do calcário conglomerático, apresentando uma espessura média de 80 metros.

Sua exposição mais nítida se encontra na região da cidade de Uberaba, onde acha-se sobreposta discordantemente sobre o basalto da Formação Serra Geral.

Em duas outras regiões encontramos rochas tufaceas. A primeira é na região de Romaria onde temos espessa sequência desses sedimentos, desde conglomerados muito heterogêneos até argilitos cineríticos.

PERFIL LITOLÓGICO NA FORMAÇÃO BAURU
 10 km NA RODOVIA COROMANDEL - PATROCÍNIO

R. C. Dyer — 1967



ESCALA VERT. 1:250

FIG. 5.6

A segunda região é a de Coromandel, onde a parte basal da Formação Bauru é quase que invariavelmente constituída por sedimentos tufáceos que se biselam para norte, desaparecendo de encontro aos quartzitos.

5.5.1.2.2 Facies Ponte Alta

Trata-se de um conjunto de arenitos muito calcíferos e calcários conglomeráticos que ocorre geralmente sobreposto à facies Uberaba.

Superiormente os sedimentos calcíferos vão passando aos arenitos argilosos, com níveis de pedriscos, muito conhecidos em outras regiões de ocorrência da Formação Bauru. Esses arenitos superiores constituem a maior parte dos extensos chapadões do Triângulo Mineiro. Para o norte eles transgridem todas as formações anteriores e vão depositar-se diretamente sobre o complexo pré-cambriano.

5.5.2 O Cretáceo na Bacia Sanfranciscana

A coluna abaixo é atualmente aceita para a sequência cretácica da Bacia Sanfranciscana (Projeto Três Marias - Convênio DNPM-CPRM).

Formação Mata da Corda	{ Facies Arenítica Facies Patos Facies Capacete	Cretáceo Superior
Formação Areado	{ Facies Congl. Abaeté Facies Quiricó Facies Três Barras	Cretáceo Inferior

Os sedimentos cretácicos das Formações Areado e Mata da Corda ocorrem na região do Planalto da Mata da Corda, recobrando, em discordância angular, as rochas do

Complexo-C e do Grupo Bambuí. O conjunto apresenta atitude horizontal a subhorizontal.

5.5.2.1 Formação Areado (Ka)

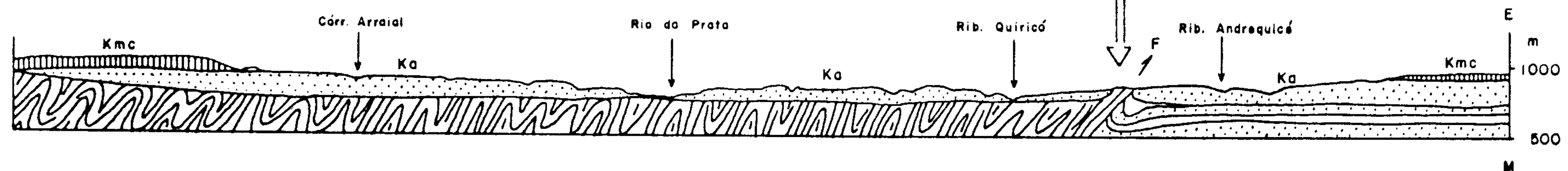
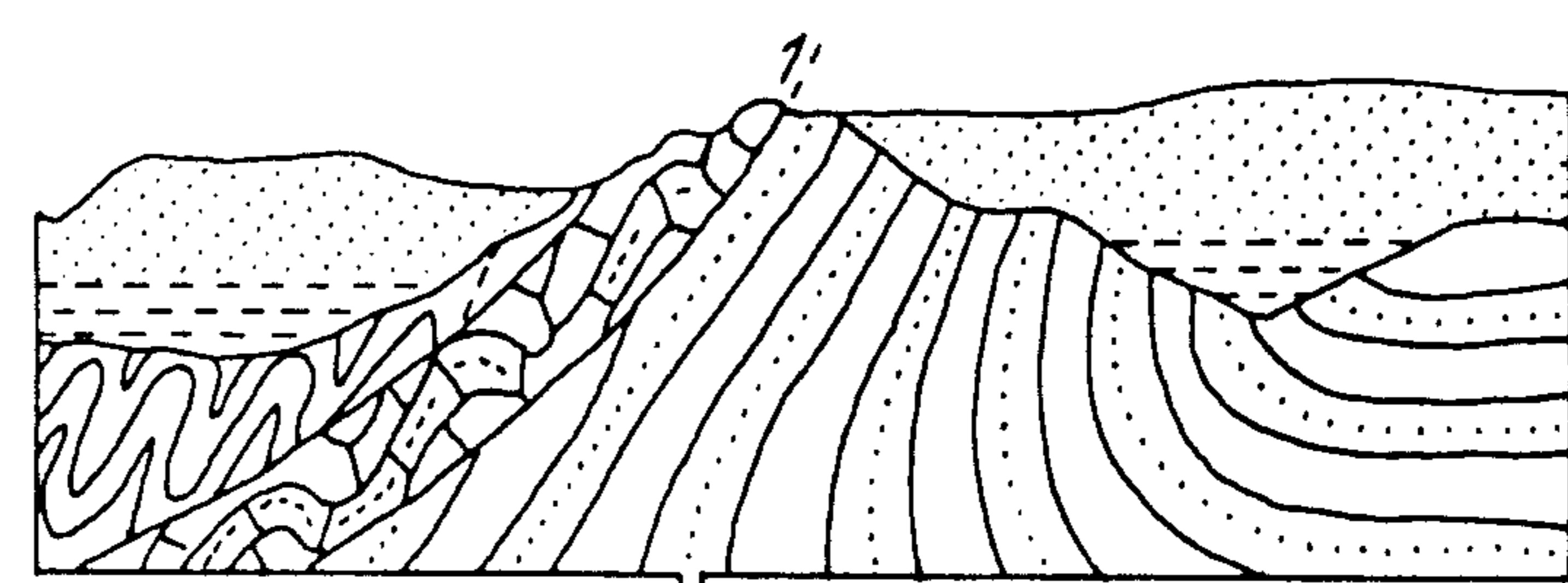
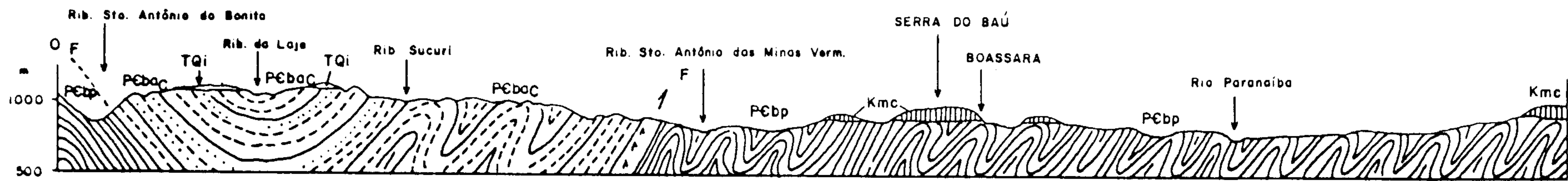
Esta formação representa uma sedimentação flúvio-lacustre de "uedes" e planície de expansão de um deserto mesozóico. O máximo desenvolvimento dessa sedimentação o corre nas cabeceiras do rio da Prata, afluente do Paracatu (fig. 5.7). Nessa área ela atinge 200 metros de espessura. Daí para qualquer rumo adelgaça-se rapidamente.

Estratigraficamente compreende três facies, faltando às vezes em certas secções a inferior ou a superior, sendo a ausência desta última ocasionada por erosão terciário-quaternária.

5.5.2.1.1 Facies Três Barras

Esta unidade compõe-se de diversos tipos litológicos, formando um conjunto predominantemente arenoso. A litologia predominante é um arenito com matriz síltico-argi losa, localmente com cimento calcífero ou silicoso, de granulometria média a grosseira. Sua maturidade mineralógica é baixa em termos de percentual de feldspato, o que o coloca na categoria de arenito feldspático a arcosiano. Os grãos de quartzo são arredondados com esfericidade baixa a média. Em geral, o arenito Três Barras é mal selecionado, por vezes conglomerático ou seixoso.

O cimento calcífero tem sua existência, principalmente, condicionada à proximidade de áreas onde predominam rochas carbonáticas da Formação Paraopeba.



CONVENÇÕES

- TQi - COBERTURA INDIFERENCIADA
- FORMAÇÃO MATA DA CORDA
- FORMAÇÃO AREADO
- GRUPO BAMBUÍ

SEÇÃO GEOLÓGICA

RIB. STO. ANTÔNIO DO BONITO — RIB. ANDREQUICÉ

ESCALA HORIZONTAL - 1:250.000

ESCALA VERTICAL - 1:25.000

Oscar Braun - 1967

FIG. 5.7

Sua maior espessura aflorante medida foi num dos "canyons" do rio da Prata, na fazenda Macacos, com aproximadamente 130 metros.

O seu contato com a facies Conglomerado Abaeté é transicional, não se observando uma superfície nítida de contato.

Sua área de ocorrência, a grosso modo, situa-se a oeste da margem esquerda do rio São Francisco. Sua distribuição geográfica é, atualmente, muito irregular na própria área de predominância.

5.5.2.1.2 Facies Quiricó

Predominam clásticos finos constituindo estratos médios e finos de argilitos, folhelhos e siltitos, sendo que no topo da sequência passa a predominar um arenito fino. O cimento comumente é calcífero. Os folhelhos têm a fissilidade bem desenvolvida, enquanto os siltitos e argilitos alternam-se em faixas fracamente laminadas ou, por vezes, constituem estratos médios de lamitos.

A máxima espessura medida da facies Quiricó foi de cerca de 30 m próximo à vila de Andrequicé.

Em todos afloramentos visitados, constatou-se que a facies Quiricó está assentada sobre as litologias do Grupo Bambuí, por uma superfície erosiva, irregular, constituindo discordância angular.

A sua principal área de distribuição situa-se na região dos formadores da bacia do rio da Prata em seu curso superior. Outra área de expressão é a compreendida entre a margem esquerda do rio Abaeté e a drenada pelos

principais afluentes da margem esquerda do rio São Bento, na parte sul do chapadão que serve de divisor entre as ba cias desse rio e da Prata.

Suas áreas de exposição são relativamente re duzidas, uma vez que normalmente está recoberta pelos areni tos da facies Três Barras.

5.5.2.1.3 Facies Conglomerado Abaeté

É uma unidade pséfítica por excelência, predo minando conglomerados arenosos, arenitos líticos e arenitos seixosos. A matriz é um arenito grosseiro, mal selecionado, com grânulos de quartzo subarredondados e de esfericidade média. Em alguns locais, o mesmo contém cimento que pode ser calcífero ou silicoso. A matriz também pode se consti tuir de uma mesóstase síltico-arenosa, proveniente em gran de parte da desagregação dos psamitos do Grupo Bambuí.

Até hoje sua espessura máxima documentada foi de 8 m, numa faixa irregular entre São Gonçalo do Abaeté e Abaeté. Entretanto, na fazenda Lajinha e a leste da margem direita do rio Sono, uma espessura aproximada de 10 metros tem sido referida para esta unidade.

Sobrepõe-se à sequência do Grupo Bambuí em discordância angular do tipo não conformidade. Normalmente, está preenchendo paleodepressões esculpidas nesta sequência basal.

Aflora de forma quase contínua na base da cha pada da serra das Almas, que serve de divisor entre as baci as dos rios Santo Antônio e Abaeté.

Na área ao norte da BR-365 (Patos de Minas a BR-040) é delimitada a leste pela falha de Traçadal.

5.5.2.2 Formação Mata da Corda (kmc)

Esta formação é essencialmente constituída por vulcanitos e vulcanoclásticos, com lavas, tufos, conglomerados, arenitos e arenitos cineríticos. Esses piroclastos estão sobrepostos às rochas do Grupo Bambuí, Complexo-C e ao arenito Três Barras, mantendo com o último um contato de interdigitamento. A fig. 5.7 apresenta um perfil esquemático de seu comportamento estrutural.

Sua área de ocorrência está limitada a leste pelo rio São Francisco e a oeste, pelo Arco do Alto Paranaíba, constituindo uma extensa faixa que se inicia nas proximidades da vila de Cachoeira e se prolonga para o norte da área até seus limites.

Estratigraficamente é constituída por três facies apresentadas a seguir.

5.5.2.2.1 Facies Capacete

Esta facies compreende arenitos e conglomerados cineríticos com aspecto homogêneo aparente e acamamento original pouco perceptível. O arenito apresenta granulometria fina a média, matriz argilosa, e má seleção granulométrica. É constituído essencialmente por grânulos de minerais pesados e, secundariamente, por grânulos de quartzo, minerais micáceos e feldspatos caulinizados. Distalmente dos centros vulcânicos passam a predominar os grânulos de quartzo sobre os demais minerais. Intercalam-se estratos

finos e lâminas descontínuas repetidas de material argiloso.

Preferencialmente, na base desta facies localiza-se um conglomerado intraformacional, com matriz arenosa-argilosa micácea.

Na rodovia que liga Patos de Minas a Sertãozinho, esta sequência vulcanoclástica tem sua espessura máxima aflorante em torno de 150 metros.

5.5.2.2.2 Facies Patos

Predominam tufo caóticos e soldados, e cineritos associados. Normalmente se apresentam como massas argilosas, ricas em argilo-minerais e micas hidratadas.

Localmente, adquire aspecto conglomerático devido à presença de ejectólitos em forma de bombas, blocos, lapilís e cinza vulcânica. Os tufo e tufo de lapilís parcialmente intemperizados constituem a matriz, na qual se encontram disseminados os blocos e bombas vulcânicas. Essa estrutura constitui aglomerados e/ou brechas vulcânicas. Os seixos vulcânicos, localmente, são subarredondados evidenciando pequeno transporte. Os ejectólitos estão intimamente relacionados com sedimentos sílticos e argilosos, sendo, portanto, geneticamente classificados como rochas vulcanoclásticas.

Intensa silicificação e efeitos de hidrotermalismo de baixa temperatura são evidenciados pelo preenchimento de fraturas com barita e calcita, como foi observado na vila Morro do Sabão, ao norte de Arapuá.

5.5.2.2.3 Facies Arenítica

Esta unidade apresenta-se normalmente em es
tágio avançado de intemperismo, constituída de solo verme
lho-bordô. Sua unidade basal consta de um conglomerado epi
clástico extraformacional (ortoconglomerado) polimítico, cu
jos megaclastos alcançam dimensões máximas de 8 cm x 5 cm.

A maior contribuição de fenoclastos, com apro
ximadamente 60% de participação, proveio dos metamorfitos
do Complexo-C. São de quartzitos micáceos, quartzitos cata
clasados e ortoquartzitos. A matriz é um arenito médio a
grosseiro, mal selecionado, argiloso, feldspático.

No km-315 da BR-354 estimou-se uma espessura
de 30 metros para esta unidade, sendo que neste ponto o con
glomerado apresenta-se descontínuo em sua exposição verti
cal, constituído de camadas lenticulares de 2 a 3 metros de
espessura, que se alternam com o arenito grosseiro que com
põe a matriz. Em idênticas condições, verificou-se existir
outro afloramento na vila de Guarda dos Ferreiros com espes
sura máxima aproximada de 35 metros.

Um fato que chama atenção é a presença cons
tante desta facies psefítica que, em direção ao norte, vai
paulatinamente diminuindo a espessura. Em direção ao topo
esta facies grada a um arenito normalmente bastante intem
perizado, de granulometria média a fina, mal classificada e
com matriz argilosa, embora, por vezes, escassa. Com fre
quência apresenta cimento silicoso ou ferruginoso.

5.6 Coberturas Indiferenciadas

5.6.1 Terciário/Quaternário Indiferenciado (TQi)

Sobre os remanescentes mais elevados das anti

gas superfícies de erosão (Ciclo Sul-Americano), distribuem-se areia, cascalhos e material siltico-argiloso inconsistentes ou parcialmente lateritizados, que podem alcançar dezenas de metros de espessura. Os teores de areias e argilas apresentam-se em proporções variáveis, sendo frequente o desenvolvimento de horizontes de cascalheiras provenientes de conglomerados detríticos, por vezes cimentados por limonita, e blocos de canga ferruginosa. Sob essa cobertura desenvolveram-se saprólitos profundos nas rochas subjacentes, que, no caso dos sedimentos detríticos lateríticos do Grupo Bambuí, podem apresentar aspectos de estratos mais jovens (p.ex., margas arenosas passam a arenitos argilosos por lixiviação do carbonato de cálcio). Dentro dos limites dessa unidade podem ocorrer afloramentos esparsos das unidades inferiores.

Esses sedimentos terciário/quaternários desenvolveram-se nos extensos chapadões da área, com cotas variando de 900 a 1.150 metros. Tem suas maiores ocorrências, principalmente, a norte-nordeste da área, onde seus remanescentes persistem sobre os sedimentos cretácicos e do Bambuí, e na parte central da área onde se apresentam sobre as superfícies do Complexo-C e no topo dos domos das serras Negra e Salitre.

Os altos aplainados da área são praticamente revestidos por lateritos, que localmente formam uma capa contínua ou espessas concreções de goetita. O assoalhamento de extensas regiões por este material detrítico-laterítico, propicia a preservação dessas áreas contra os agentes intempéricos.

5.6.2 Quaternário: Pleistoceno-Holoceno (Qphi)

Sobre as chapadas peneplanizadas, exibidas pela antiga planície de inundação dos principais rios, acumulam-se espessas coberturas de sedimentos elúvio-coluvionares.

Esses sedimentos são constituídos, essencialmente, por um solo eluvionar siltico-argiloso, e seixos arredondados ou pouco arredondados de quartzitos, quartzo, arenitos, siltitos arcossianos e sedimentos siltico-arenosos. A espessura média desse conjunto é de cerca de 4 metros.

Essas coberturas detríticas não lateritizadas desenvolvem-se sobre superfícies de altitudes médias de 500 a 600 metros, condicionadas aos níveis de base dos principais cursos d'água.

Distribuem-se ao longo das margens do rio São Francisco, cobrindo descontinuamente solos pouco profundos, preferencialmente desenvolvidos sobre as unidades litológicas da Formação Paraopeba.

5.6.3 Depósitos Recentes (Qha)

Compreende os sedimentos fluviais caracterizados por material arenoso e areno-argiloso, depositados no leito e nas planícies de inundação e terraços dos principais rios. Num aspecto geral, compõem-se de sedimentos predominantemente quartzosos, de granulometria variada entre areia grossa e fina.

Embora exista uma boa densidade de drenagem na área, esses depósitos tornam-se mais frequentes, em termos de continuidade, na parte alta do rio São Francisco. Essa disposição dá-se ao longo das faixas marginais do rio e área de captação de alguns de seus afluentes. Outras ocor

rências de menor monta são observadas ao longo dos rios Pa
ranaíba e Grande.

5.7 Tectônica

Grande parte da área exibe os efeitos dos e
ventos relacionados ao Ciclo Brasileiro que provocaram sis
temas de dobramentos e ruturas, além dos grandes falhamen
tos de empurrão.

O estilo geral das deformações dos metamorfi
tos do Complexo-B consiste de uma sucessão de anticlinais e
sinclinais de rumo médio SE-NW e com terminações pericli
nais. Na região de Três Ranchos as dobras são mais aperta
das e o seu plano axial inclinado, o que deve ser atribuído
à outra tectônica posterior. A deformação do Complexo-C
apresenta anticlinais e sinclinais (com terminação pericli
nal) muito mais abertos que os homônimos do Complexo-B e
com eixo geral E-W. Sinclinais fechados, em forma de canoa,
mostram-se logo a Noroeste de Tapira. No resto da área em
estudo os xistos do Complexo-C (e também do Complexo-D) fo
ram muito deformados por tectônica posterior, a qual deu
origem a um lineamento NNW quase meridiano, entre Campos Al
tos e Coromandel.

A fase tectônica mais importante da região
foi a que culminou em uma combinação de empurrões e rasga
mentos. Uma das consequências marcantes dessa fase é o do
bramento das camadas do Grupo Bambuí, muito intenso na mar
gem ocidental da Bacia e bastante atenuado no centro da
mesma. Nas áreas dos Complexos-B e C os empurrões se apre
sentam com direções médias NNW-SSE. Nos paralelos de Araxá
e Coromandel eles são em número de dois e cinco, respective
va

mente. Os maiores rasgamentos associados a empurrões são os da Canastra e Pirapetinga, aquele com cerca de 100 quilômetros de traço e este com cerca de 70. Na área do Grupo Bambuí, um outro empurrão constitui o seu limite com o Complexo-C.

Durante o Cretáceo, quando já estava formada aproximadamente a terça parte do "erg" Botucatu, houve o extravasamento das lavas toleíticas do vulcanismo Paraná. Daí, por muito tempo ainda, derrames e depósitos de areias eólicas se sucederam, alternadamente. Entretanto, nem todos os magmas basálticos derivados no manto nessa época, ganharam a superfície. Alguns deles, na ascensão para a superfície da crosta encontraram teto muito resistente, momentaneamente quartzítico. Então produziram colossais deformações em forma de domo, como em Catalão, Salitre, Barreiro, Tapira e serra Negra, este último representado na fig. 5.4.

6. HIDROGEOLOGIA

As primeiras referências hidrogeológicas sobre a área foram feitas na década de 30, quando o abastecimento precário de água de algumas cidades, como Uberaba, São Gotardo, Luz etc, resultou na mobilização de diversos técnicos (entre eles o Dr. J. Carvalho Lopes, fundador da Escola de Sondadores de Minas Gerais) para a região, onde realizaram estudos geológicos de detalhe e de viabilidade de aproveitamento de água subterrânea.

Os trabalhos mais recentes a nível regional, que abrangem parcialmente a área, são "Hidrogeologia da Bacia do Paranaíba" elaborado por Serete para a Copasa e "Projeto Planoroeste-2" realizado pelo CETEC. Ambos tiveram como objetivo fazer uma avaliação preliminar dos recursos hídricos subterrâneos de vastas regiões.

Novos dados têm sido acrescentados ao acervo de conhecimento hidrogeológico da região, por uma série de poços tubulares que foram e vêm sendo perfurados pela Copasa, Hidrorizonte, Waldemar Jorge e Cia. Ltda, T. Janer etc.

No inventário hidrogeológico ora realizado foram catalogados 541 pontos d'água, dos quais 214 são poços tubulares, 203 poços manuais e 124 são fontes. Apesar da distribuição irregular dos pontos inventariados, motivada tanto por problemas sócio-econômicos como por preferências dadas a certos aquíferos, a densidade média obtida foi a razão de um ponto d'água para cada 130 km². A maioria dos poços tubulares encontram-se nas sedes dos municípios, onde representam, quase sempre, a principal fonte de abastecimento. Na distribuição dos mesmos por unidade geológica, a predominância recai sobre as rochas do Grupo Bambuí, onde foram

inventariados 101 poços, cerca de 47,2% do total. Em ordem decrescente seguem as rochas da Associação Barbacena/Paraiba do Sul (25,7%), Formação Bauru/Serra Geral (8,9%), Formação Serra Geral (6,1%), Formação Mata da Corda/Areado (8,4%) e outras (3,7%). No que tange aos poços manuais, a sua distribuição na área é geral, constituindo, com as nascentes, a fonte mais frequente de suprimento hídrico das populações, principalmente no meio rural.

Uma análise e avaliação crítica dos dados existentes sobre os poços tubulares, nos leva a constatação de que muitas informações necessárias ao estudo hidrogeológico, não foram registradas, principalmente no que se refere às profundidades dos níveis de contribuição de água, aos dados de testes de bombeamento (muitas vezes realizados de forma não satisfatória) e aos perfís litológicos dos poços. Esta lacuna que se repete na construção dos poços atuais, nos induz a uma determinação insegura da capacidade de produção dos poços e das propriedades dimensionais e hidrodinâmicas dos aquíferos.

Os dados referentes aos pontos cadastrados estão representados no catálogo de pontos d'água (anexo III). No anexo IV, encontram-se os perfís litológicos de alguns poços tubulares representativos.

6.1 Relação entre Geologia e Água Subterrânea

Os critérios utilizados na identificação das unidades hidrogeológicas mais importantes se baseiam principalmente nas relações entre as características geoestruturais e feições morfológicas da região, que de um modo geral controlam as condições de ocorrência, movimento e qualidade

das águas subterrâneas.

Em relação ao meio físico podemos distinguir aquíferos constituídos pelas rochas fissuradas, granulares e cársticas. Nos primeiros, representados principalmente pelas rochas da Associação Barbacena/Paraíba do Sul e sequência alternada de rochas pelíticas e carbonáticas do Grupo Bambuí, a água acumula-se nas aberturas resultantes de esforços tectônicos. De acordo com o estágio de conhecimento hidrogeológico atual, esses tipos de aquíferos destacam-se como os mais importantes e conhecidos da região em termos de reservas hídricas; não só pela sua grande extensão em área como pelas boas possibilidades litoestruturais e morfo-climáticas que oferecem.

Os aquíferos granulares, onde a água subterrânea está contida nos poros ou interstícios das rochas, são constituídos essencialmente pelos arenitos cretácicos das Formações Mata da Corda/Areado da bacia sedimentar Sanfranciscana e Formação Bauru da bacia sedimentar do Paraná. Como aquíferos, os sedimentos cretácicos não apresentam boa potencialidade, pois, sua permeabilidade e posição topográfica permitem um rápido escoamento das águas de chuvas infiltradas que retornam à superfície em forma de fontes ou vão alimentar as rochas subjacentes.

Os aquíferos cársticos da área são constituídos pelas rochas carbonáticas do Grupo Bambuí, onde as águas circulam principalmente pelas cavidades de dissolução. Como veremos mais adiante, para que ocorram essas cavidades é necessária a existência de uma série de circunstâncias favoráveis concernentes a composição e estrutura das rochas. Na área em estudo esses aquíferos cársticos não têm importância regional devido a diminuta área de ocorrência.

Quanto às rochas cristalinas e cristalofilianas, num simples exame do mapa geológico, podemos sentir a sua importância no contexto geral. Embora estas rochas sejam, por definição, de fracas possibilidades hidrogeológicas, a sua grande área de distribuição, a concentração urbana existente e os longos períodos da estação de estiagem, as tornam de interesse relativamente crítico.

As características hidrogeológicas dos sedimentos inconsolidados de idades terciária e quaternária serão consideradas, principalmente, em termos teóricos.

6.2 Água Subterrânea em Rochas Fraturadas

De acordo com os estudos e observações realizados nesses tipos de rochas, as possibilidades de armazenamento de água subterrânea dependem da ocorrência de juntas e fraturas, bem como das características dimensionais do manto de intemperismo que as recobre.

Textualmente, no que se refere a exploração de águas subterrâneas nesses meios aquíferos, a importância do tipo litológico se restringe ao grau de desenvolvimento do manto de intemperismo e/ou a competência das rochas ao fraturamento.

Na área as rochas que constituem este tipo de aquífero, ou seja, as rochas pelíticas do Grupo Bambuí, as rochas cristalinas e cristalofilianas da Associação Barbacena/Paraíba do Sul e os basaltos da Formação Serra Geral, apresentam grande interesse hidrogeológico. Este fato é justificado por sua grande extensão, pela carência de água em grande parte de sua área de ocorrência e pela possibilidade de obtenção de boas vazões em poços bem localizados. Embora

localmente possam evidenciar uma circulação de água em condições de confinamento, o sistema ou os sistemas aquíferos formados podem ser considerados livres como um todo.

A distribuição destes grupos de rochas pode ser observada no mapa da fig. 6.1, onde as áreas de afloramento dos mesmos apresentam um total de 48.440 km² de extensão, o que corresponde aproximadamente a 69,2% do total da área. A seguir, será analisado o comportamento hidrogeológico desses grupos de rochas com base nos dados cadastrados e nos estudos hidrogeológicos realizados em áreas de características litoestruturais semelhantes e adjacentes, tendo em vista a continuidade física das formações geológicas.

Daqui em diante, quando se falar em rochas do Grupo Bambuí ou aquífero Bambuí, sem maiores especificações, estaremos nos referindo às rochas pelíticas do grupo (sem os cársticos).

6.2.1 Rochas do Grupo Bambuí - Características Litológicas e Estruturais

O Grupo Bambuí na área, com exceção dos corpos maciços e compactos de calcários, é constituído, principalmente, de siltitos, ardósias e margas, calcários e calcarenitos. Estas rochas, apresentam-se estruturalmente com dobramentos intensos na faixa ocidental da bacia e bastante atenuados no centro da mesma. Os eixos das dobras apresentam direção preferencial N-S, com plunge para norte. Evidências de extensos falhamentos e fraturas nas direções SW-NE e SE-NW podem ser observadas a partir do meridiano 45°30' para oeste. As atitudes das camadas exibem variações entre 5° e 40° tanto para NW como NE com mergulhos de 7° a

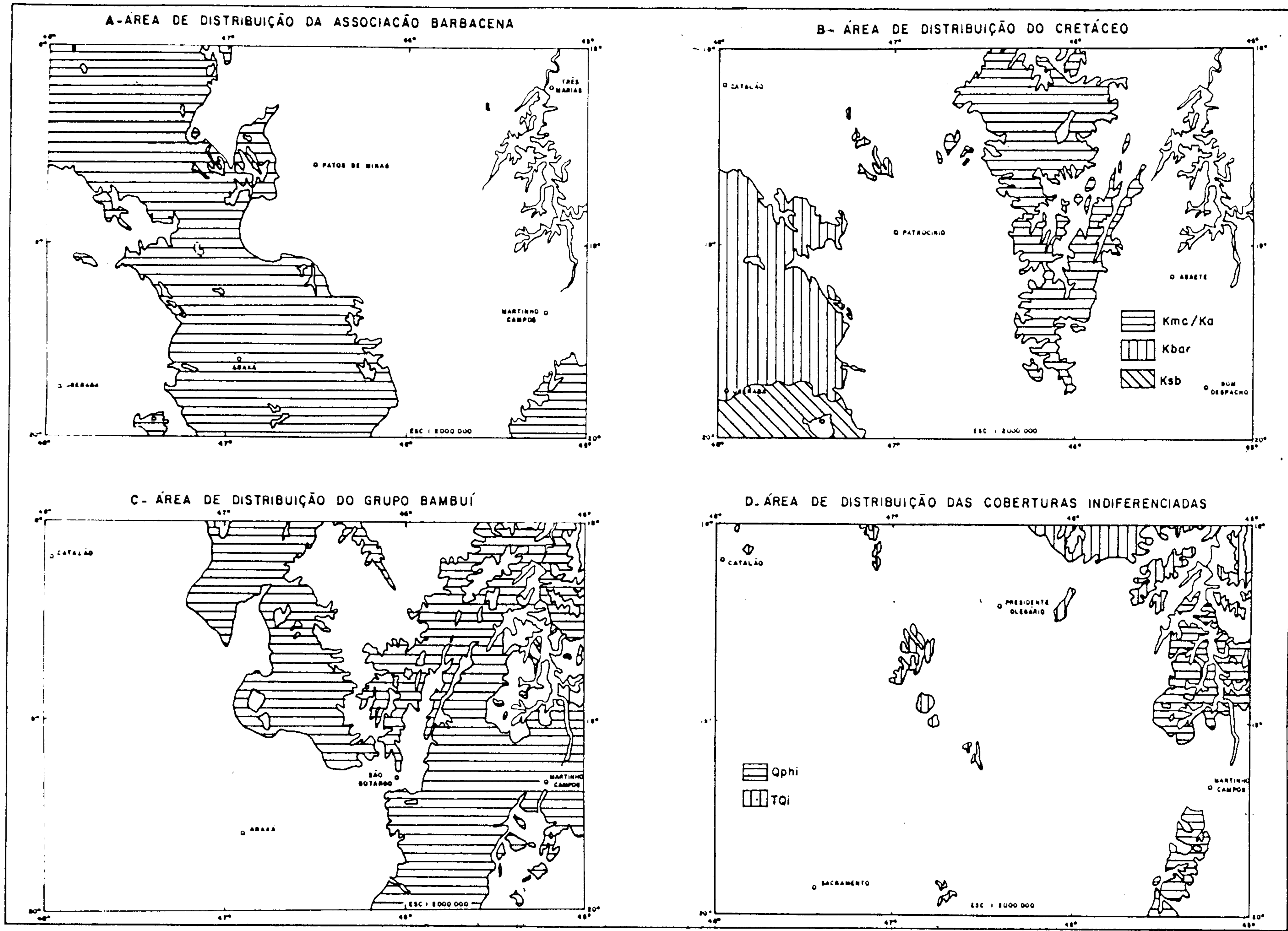


Fig. 6.1

8°. Mergulhos subverticais e verticais são observados em fraturas locais que apresentam atitudes nas mesmas direções que as das camadas rochosas.

6.2.1.1 Condições de Alimentação

Qualquer que seja o tipo de fenda ou estrutura com capacidade de acumular água, para que venha constituir um aquífero necessita ser abastecida regularmente. A quantificação dessa recarga nos depósitos de água subterrânea nos aquíferos fraturados em geral, sempre se apresenta como um problema de difícil solução, recorrendo-se muitas vezes apenas a descrições qualitativas a respeito. Mesmo constituindo um aquífero livre em sua porção superior as possibilidades de infiltração direta de água nestes reservatórios subterrâneos a partir das precipitações pluviométricas, são muito reduzidas. A alimentação dos aquíferos, portanto, verifica-se principalmente por filtração descendentes a partir das coberturas do Terciário-Quaternário e das formações cretácicas ou através dos leitos dos cursos de água nos pontos de coincidência destes com as linhas de fraturas. Estas duas modalidades de alimentação permitem que ocorra em certas áreas uma recarga constante dos aquíferos fraturados, mesmo por ocasião das mais fracas precipitações pluviométricas.

O volume de água precipitado anualmente nesses terrenos é da ordem de $37,6 \cdot 10^9 \text{ m}^3$, para uma área de aproximadamente 26.850 km^2 e pluviometria média anual de 1.400 mm. A maior parte deste volume de água é consumida pela evapotranspiração que atinge um valor médio de 1.220 mm.

Como não há medidas diretas de infiltração das águas de chuvas nesses terrenos, e nem dados que possibilitem

tem uma estimativa a partir da vazão anual de escoamento subterrâneo, resolveu-se extrapolar valores médios encontrados para as rochas do Grupo Bambuí em áreas vizinhas de características litológicas, morfológicas e estruturais semelhantes. Embora a variação climática de uma região para outra não tenha sido levada em conta, o valor médio $I = 0,68\%$ adotado, parece representar uma boa aproximação.

Admitindo-se a taxa de infiltração acima, a contribuição da pluviometria na alimentação do aquífero seria da ordem de $9.500 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{ano}$.

6.2.1.2 Exutórios

As descargas naturais estão representadas pela evapotranspiração, pelas fontes existentes principalmente nas áreas de predominância dos calcários e através de conexão hidráulica com a rede de drenagem superficial.

No caso da evapotranspiração a liberação natural de água ocorre sobretudo nas áreas onde os níveis de água apresentam-se mais rasos, tendo-se calculado pela fórmula de Turc uma evapotranspiração média de 1.220 mm/ano , ou seja 87% da pluviometria.

Inúmeras fontes de vazões as mais variadas (de $0,1$ a mais de $12 \text{ m}^3/\text{h}$) são encontradas em vossorocas ao longo do contato do manto de intemperismo.

6.2.1.3 Escoamento

Devido ao reduzido número e má distribuição dos poços tubulares existentes não nos foi possível traçar as isopiezas do aquífero Bambuí como um todo. Entretanto,

numa pequena área abrangida pelos municípios de Luz, Moema e Bom Despacho, onde um maior número de poços foi perfurado nesse sistema, foi possível esboçar de forma aproximada a configuração piezométrica. Nesta região, as curvas indicam um escoamento geral na direção do vale do rio São Francisco, com a divisória das águas subterrâneas coincidindo com o limite das bordas da bacia. Os gradientes hidráulicos mostram-se inferiores a 7 m/km.

Devido à heterogeneidade do meio aquífero, com grandes variações da permeabilidade, é de esperar grandes irregularidades no sentido de escoamento das águas subterrâneas. De um modo geral, a comparação dos níveis d'água nos poços indicam uma relação entre o escoamento e a topografia do terreno, dando-se aquele, em linhas gerais, em direção aos vales, notadamente dos principais rios.

6.2.1.4 Características Dimensionais

A extensão em área dos afloramentos das rochas do Grupo Bambuí, considerando as partes recobertas pelas formações mais recentes, atinge um valor da ordem de 26.850 km². A sua distribuição acompanha a configuração geométrica da bacia do São Francisco, delimitando-se contínua e irregularmente, no bordo ocidental e meridional, com rochas dos Complexos C e A, sendo que para leste ultrapassa os limites da área. A espessura da camada saturada dessas rochas, está relacionada ao comportamento em profundidade da rede de fraturas, diáclases e cavidades que provocam a permeabilidade das mesmas (Item 8.1.1). Para se conhecer a distribuição dessas zonas fraturadas em profundidade, seria necessária a posse de muitos dados de subsuperfície. Entretanto esses dados praticamente inexistem, pois, dos 101 poços profundos inventaria

dos nesses aquíferos, mais de 82% não contém informações sobre o número e profundidade dos níveis de contribuição d'água; e até mesmo um estudo estatístico das fraturas, no que diz respeito a sua densidade e abertura, se torna muito difícil devido às condições climáticas reinantes que favorecem a formação de mantos de intemperismo de espessuras consideráveis.

Para efeito de avaliação do volume total de rocha saturada foi considerada uma espessura médio de 80 metros, delimitada a partir das variações de profundidade das entradas d'água (item 8.1.1) e dos níveis piezométricos. Determinou-se então, um volume de rochas saturada da ordem de:

$$V_{Rs} = 2,15 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$$

Nesse aquífero foram inventariados 218 pontos d'água, sendo 101 poços tubulares, 85 manuais e 32 fontes. Os valores médios e extremos das características dos poços tubulares estão indicados no quadro 6.1.

CARACTERÍSTICAS DOS POÇOS TUBULARES

DESCRIÇÃO	UNIDADE	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIO	Nº POÇOS
Profundidade	m	161	40	88	83
Nível Estático	m	85	Jorrante	** 13,3	56
Nível Dinâmico	m	108	10,7	40,1	43
Prof. Útil	m	146	32	76,2	53
Vazão	m ³ /h	137,9	0,13	14,0	88
Rebaixamento	m	97	0,6	27,3	43
Vazão Específica	m ³ /h/m	74,5	0,012	2,84	43

QUADRO:6.1

** Neste valor inclui-se um pequeno erro, pois não se dispõe de dados piezométricos exatos relativos a três níveis jorrantes.

Conforme observamos no quadro acima, os valores extremos encontrados, de certa forma, refletem o carácter anisotrópico e heterogêneo do meio aquífero, resultando numa grande irregularidade dos depósitos de água.

A distribuição percentual das profundidades dos poços (fig. 6.2A), indica que 74% apresentam profundidades inferiores a 100 m, enquanto que cerca de 7% têm profundidades superiores a 120 m.

O nível estático é raso, em média da ordem de 13 metros. Na distribuição percentual de seus valores (fig. 6.2C) verifica-se que mais de 57% dos poços estão com os níveis abaixo da média, enquanto 92,8% estão a menos de 30 m. Foram inventariados 03 poços jorrantes com vazão natural insignificante.

Os valores da profundidade útil dos poços, indicados no quadro 6.1, provavelmente estão superestimados, uma vez que nos seus cálculos foi utilizada a diferença entre o nível estático e a profundidade do poço, pelo fato de na maioria dos casos não serem conhecidas as últimas entradas d'água captadas.

6.2.1.5 Características Hidrodinâmicas

As características hidrodinâmicas do sistema aquífero foram determinadas através da interpretação dos da dos obtidos em 04 testes de bombeamento, realizados nos poços BHSO-247 e 253 (município de Luz), BHSO-437 (Quartel Geral) e BHSO-014 (Abaeté). Foram aplicados os métodos de Jacob e Theis, obtendo-se os resultados médios constantes do quadro 6.2.

**DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DE ALGUMAS CARACTERÍSTICAS
DOS POÇOS TUBULARES NO GRUPO BAMBUÍ**

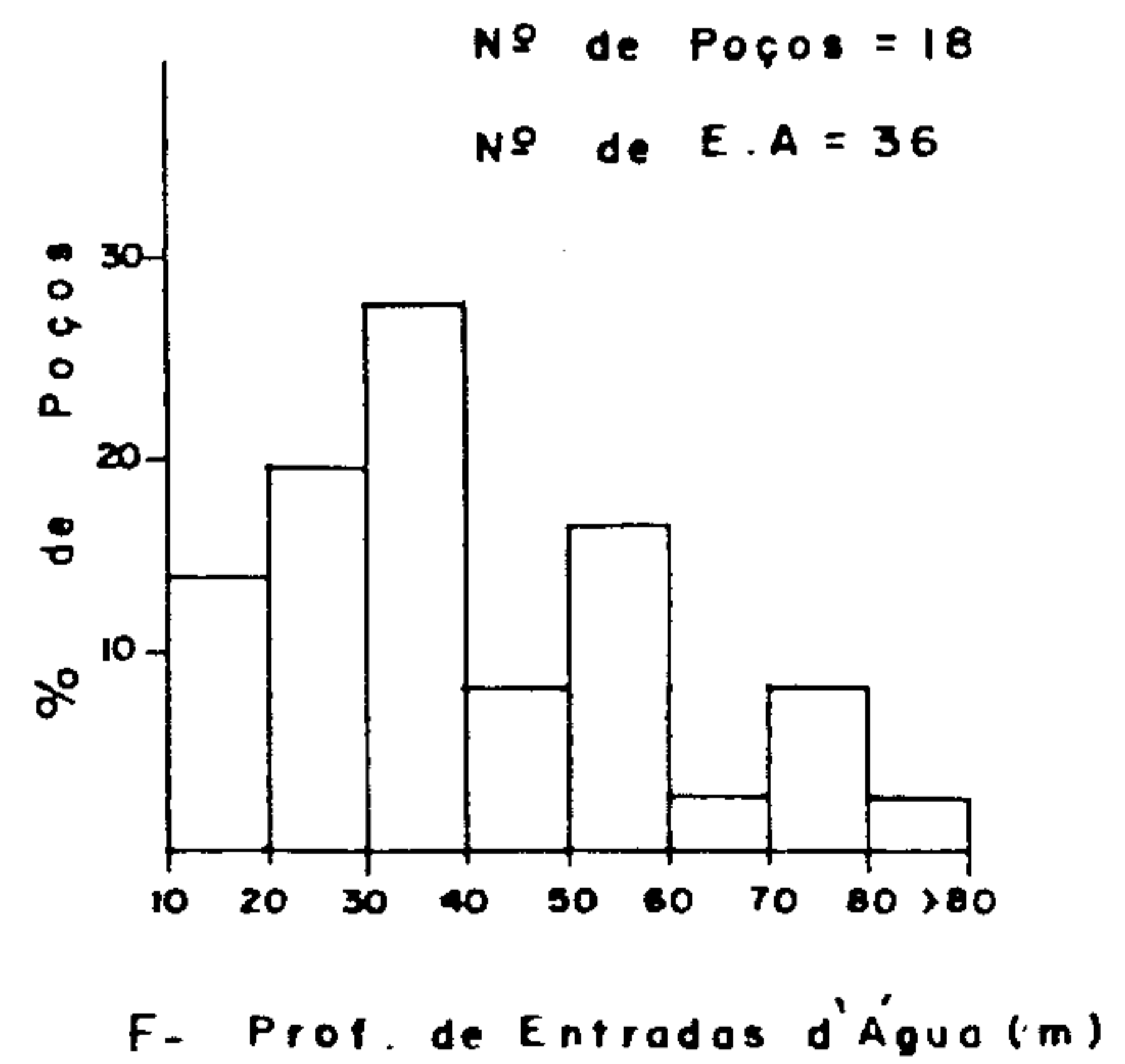
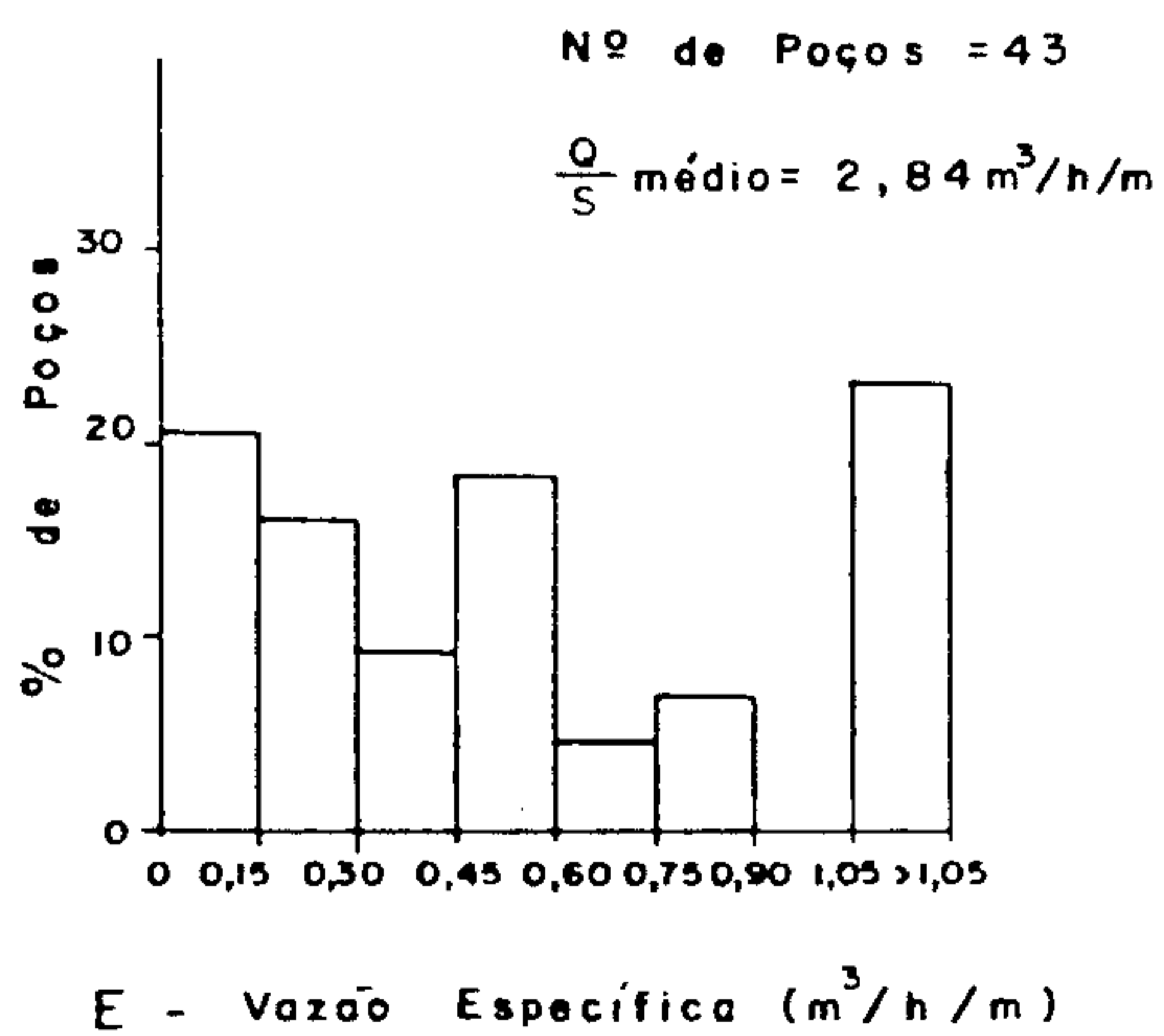
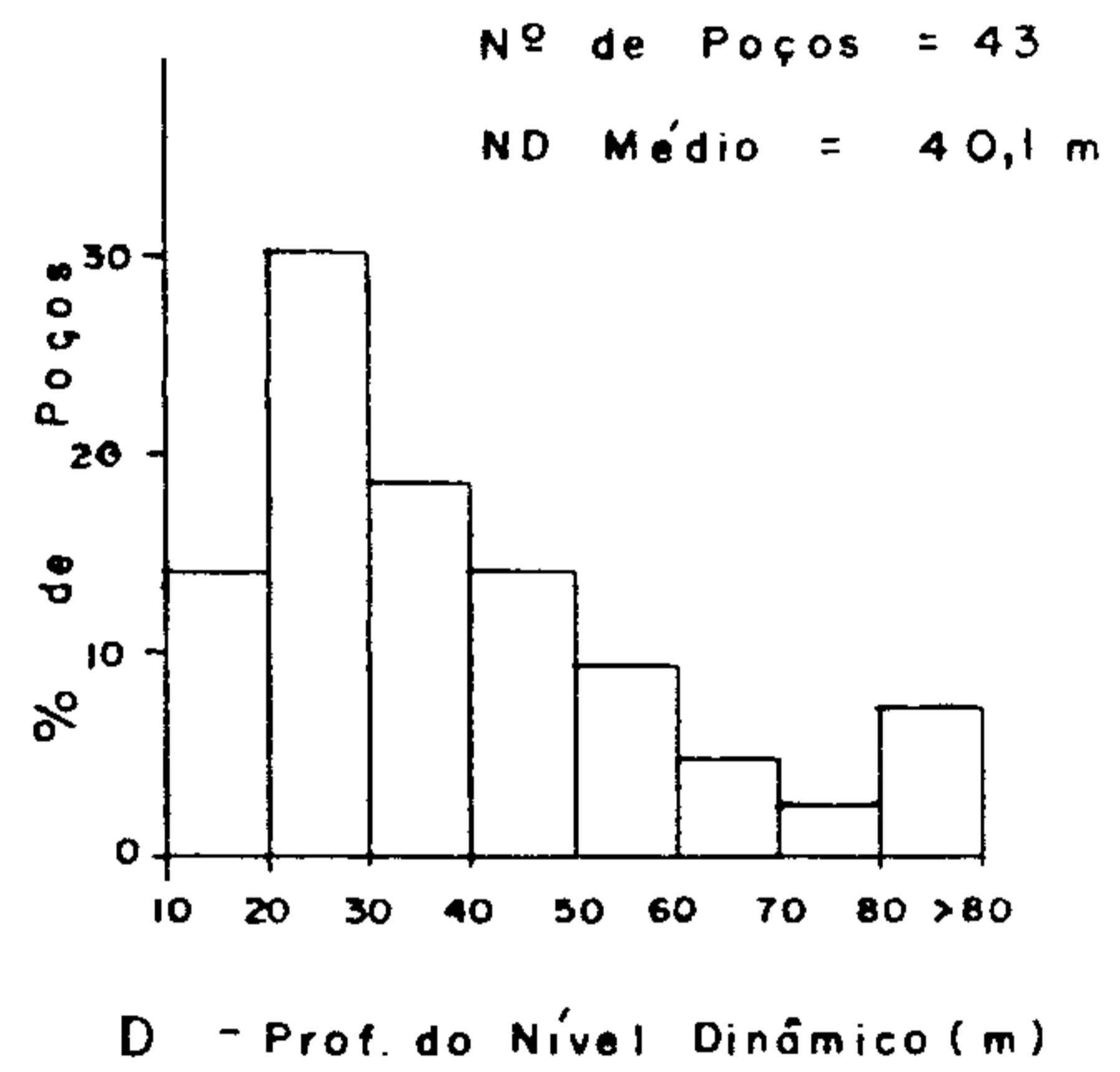
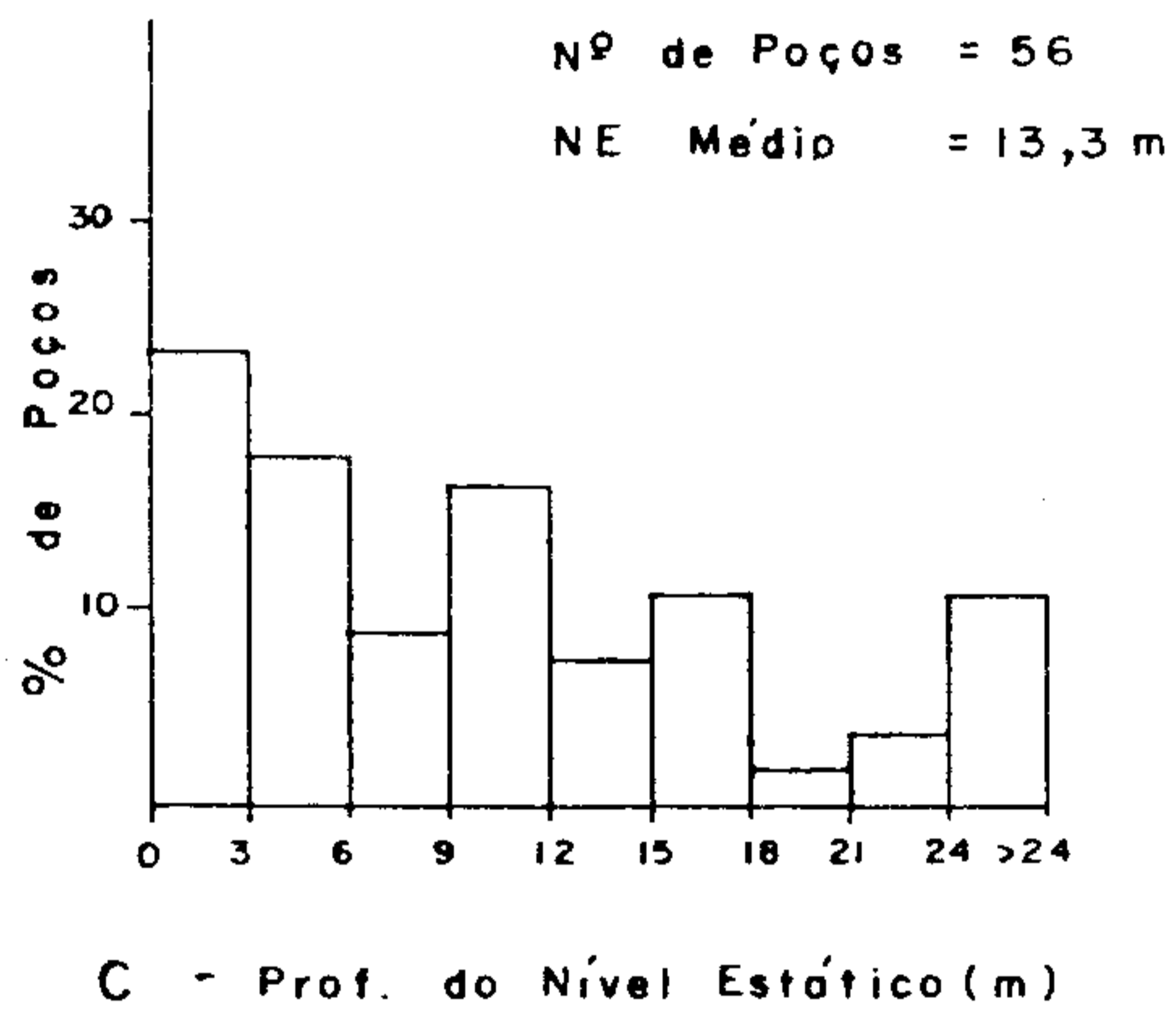
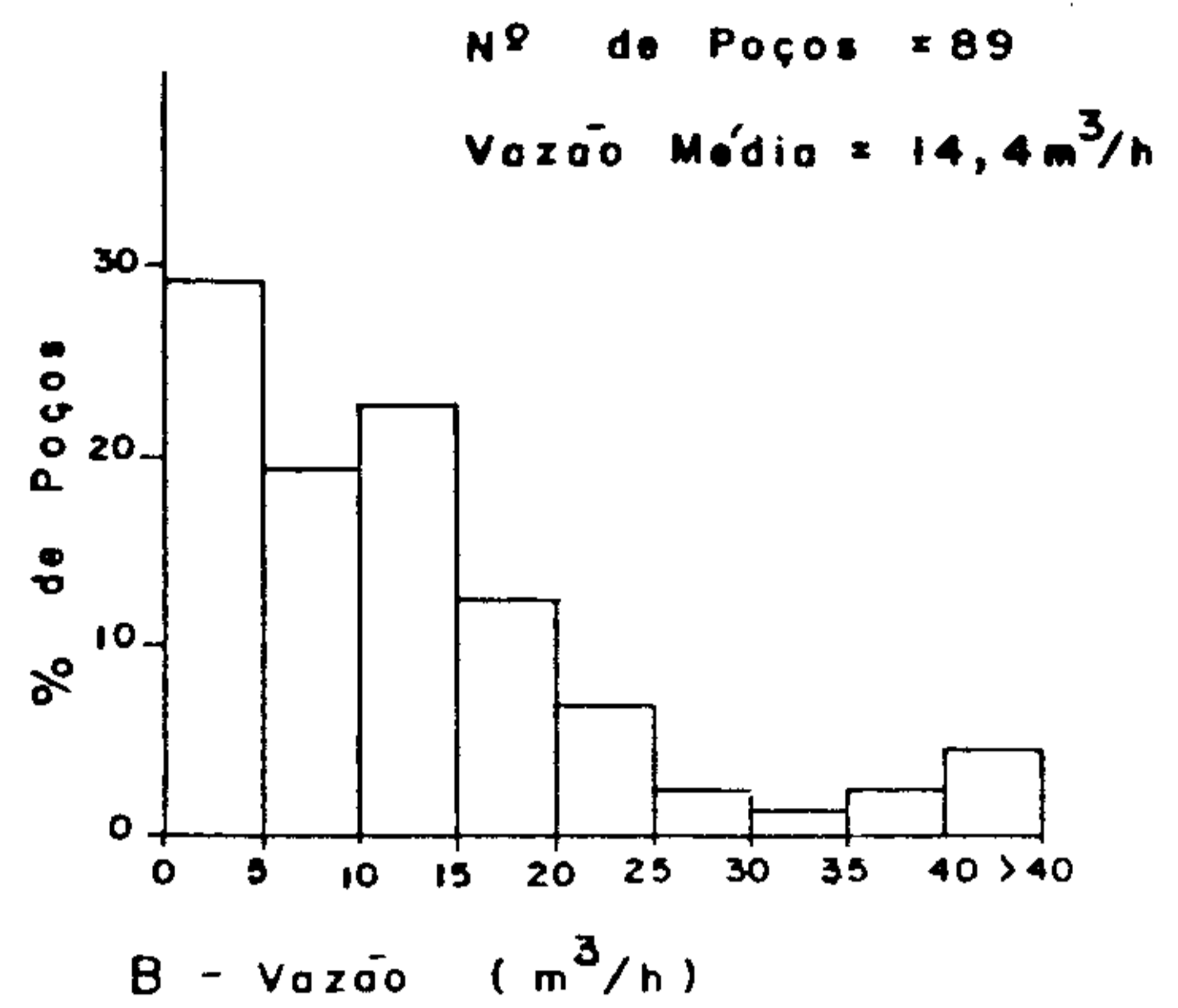
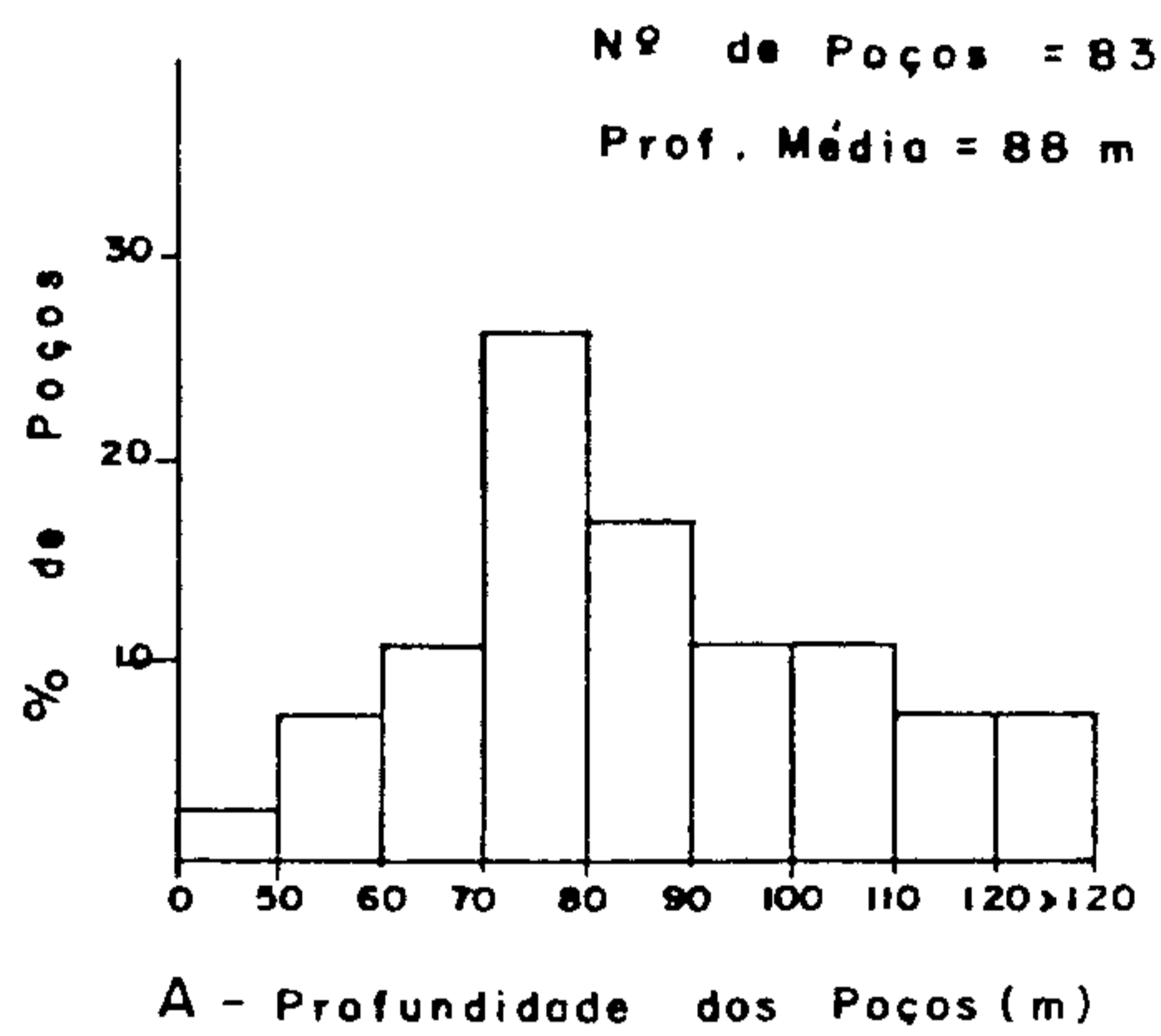


Fig. 6.2

VALORES DE T e S DO SISTEMA BAMBUÍ

POÇO BOMBEADO	PIEZÔMETRO	T MÉDIO	S MÉDIO
BHSO-247	-	$3,81.10^{-5}$	-
BHSO-253	-	$3,43.10^{-3}$	-
BHSO-437	-	$8,00.10^{-4}$	-
BHSO-437	436	$7,77.10^{-4}$	$2,68.10^{-6}$
BHSO-014	-	$6,53.10^{-4}$	-

QUADRO: 6.2

Os valores de T determinados estão em perfeita consonância com os valores conhecidos em outras áreas do Bambuí, todavia o único valor do coeficiente de armazenamento calculado está muito aquém da média conhecida, que é da ordem de $1,9.10^{-4}$.

Nos poços restantes, sem testes de bombeamento, foi realizada uma análise estatística dos dados dos níveis dinâmicos e vazões, útil para ter uma idéia das características médias e do grau de heterogeneidade do aquífero.

Os níveis dinâmicos são geralmente rasos, apresentando valores médios da ordem de 40 m para uma extração média de $14 \text{ m}^3/\text{h}$. Cerca de 76,6% dos níveis têm valores menores de 50 m, enquanto 62,7% não chegam aos 30m (fig.6.2 D).

Como em todos os aquíferos de meio fraturado, as vazões obtidas são muito variáveis. Dos 89 poços com dados de vazão, cerca de 70% apresentam valores menores que $15 \text{ m}^3/\text{h}$; destes, cerca de 22% tem valores inferiores a $4 \text{ m}^3/\text{h}$. Por outro lado, somente 8% dos poços tem vazões maiores que $30 \text{ m}^3/\text{h}$ (fig. 6.2 B).

As vazões específicas apresentam cerca de 76,8%

dos valores abaixo de $0,9 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. Uma parte bem representativa dos poços (23,2%) mostra valores acima de $1,05 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, com valores extremamente altos nos poços BHSO-091 ($20,45 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$) e BHSO-015 ($74,53 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$). O valor médio da vazão específica, sem esses valores anômalos, oscila em torno de $0,66 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ para um rebaixamento médio de 27,3 m.

No item 6.3 são tecidas considerações mais completas a respeito do grau de heterogeneidade do aquífero.

6.2.2 Rochas Cristalinas e Cristalofílicas da Associação Barbacena/Paraíba do Sul - Características Litológicas e Estruturais

Este complexo de rochas é constituído principalmente por granitos e gnaisses, micaxistos, filitos e quartzitos intercalados. Estas rochas exibem efeitos de esforços tectônicos que provocaram sistemas de dobramentos e rupturas, além dos grandes falhamentos de empurrão. O alinhamento geral dessas estruturas apresenta direção dominante SE-NW.

6.2.2.1 Condições de Alimentação, Escoamento e Exutórios

Como no item 6.2.1.1 a alimentação desse sistema se processa sobretudo a partir de infiltrações indiretas da pluviometria e possivelmente também através dos rios e riachos-fendas. A alimentação indireta é bastante favorecida pela presença marcante de um manto de intemperismo espesso e generalizado por toda região.

Quanto ao escoamento, não foi observado nenhum elemento que permita comprovar a existência de uma efetiva

circulação das águas subterrâneas nesses terrenos. As fontes observadas representam as águas que se infiltram no manto de intemperismo, por onde são drenadas, e emergem no contato com a rocha fresca. No entanto, há possibilidades de restituições ocultas, sobremaneira na rede hidrográfica, que fogem as observações diretas.

Exutórios em forma de nascentes são citados na literatura geológica da área, onde alguns geólogos estudaram as ocorrências de fontes de águas minerais e radioativas. A maioria deles foi unânime em admitir para sua origem a influência decisiva de fraturas de falha. Entretanto, Barbosa et alii (1970), constataram que "realmente não há qualquer indício positivo da falha, tanto local como regional, associada com as águas minerais de Tapira, Barreiro, Salitre e Serra Negra". Para eles, essas fontes estariam ligadas a depósitos quaternários, não se confirmando, portanto, uma restituição localizada de água subterrânea por fraturas.

A evapotranspiração na área dessa unidade hidrogeológica é muito elevada (cerca de 84% da precipitação pluviométrica) podendo, com isto, ser apresentada como o mais importante exutório.

O volume de águas de chuvas que se precipita anualmente sobre esse sistema corresponde aproximadamente a 34.10^9 m^3 .

6.2.2.2 Características Dimensionais - Capacidade de Produção dos Poços

Essas rochas ocorrem em uma superfície da ordem de 23.540 km^2 , o que equivale a 33,6% do total da área. Estendem-se desde o extremo noroeste até Tapira e Medeiros,

ocorrendo em forma de uma faixa com largura média de mais de 90 quilômetros, com direção NW-SE. Como nas rochas do Grupo Bambuí, a espessura da camada saturada está ligada diretamente à rede de fraturas (Item 8.1.1).

Foram inventariados 134 pontos d'água nesse aquífero, estando assim distribuídos: 55 poços tubulares, 57 poços manuais e 22 fontes. No quadro 6.3, estão indicadas as características médias e extremas dos poços tubulares.

CARACTERÍSTICAS DO POÇOS TUBULARES

DICRIMINAÇÃO	UNIDADE	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIO	Nº POÇOS
Profundidade	m	170	24	80,9	50
Nível Estático	m	22	0	7,9	42
Nível Dinâmico	m	115	10,4	41,4	33
Prof. Útil	m	151	25	75,1	40
Vazão	m ³ /h	55,36	0,3	13,1	49
Rebaixamento	m	102	6,9	34,5	33
Vazão Específica	m ³ /h/m	5,3	0,004	0,77	33

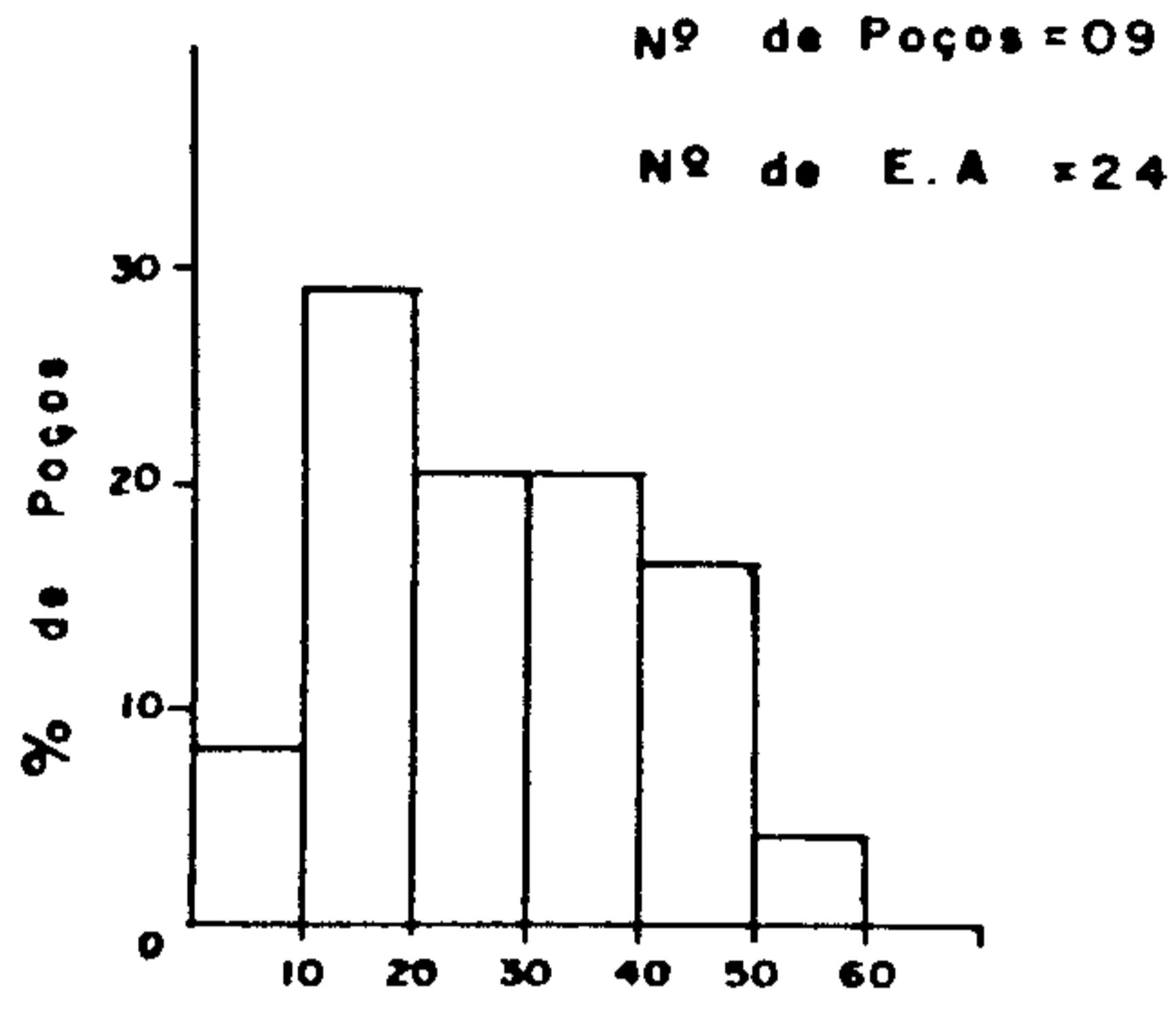
QUADRO 6.3

Nos histogramas da fig. 6.3 estão representadas as distribuições percentuais de algumas das características constantes do quadro 6.3.

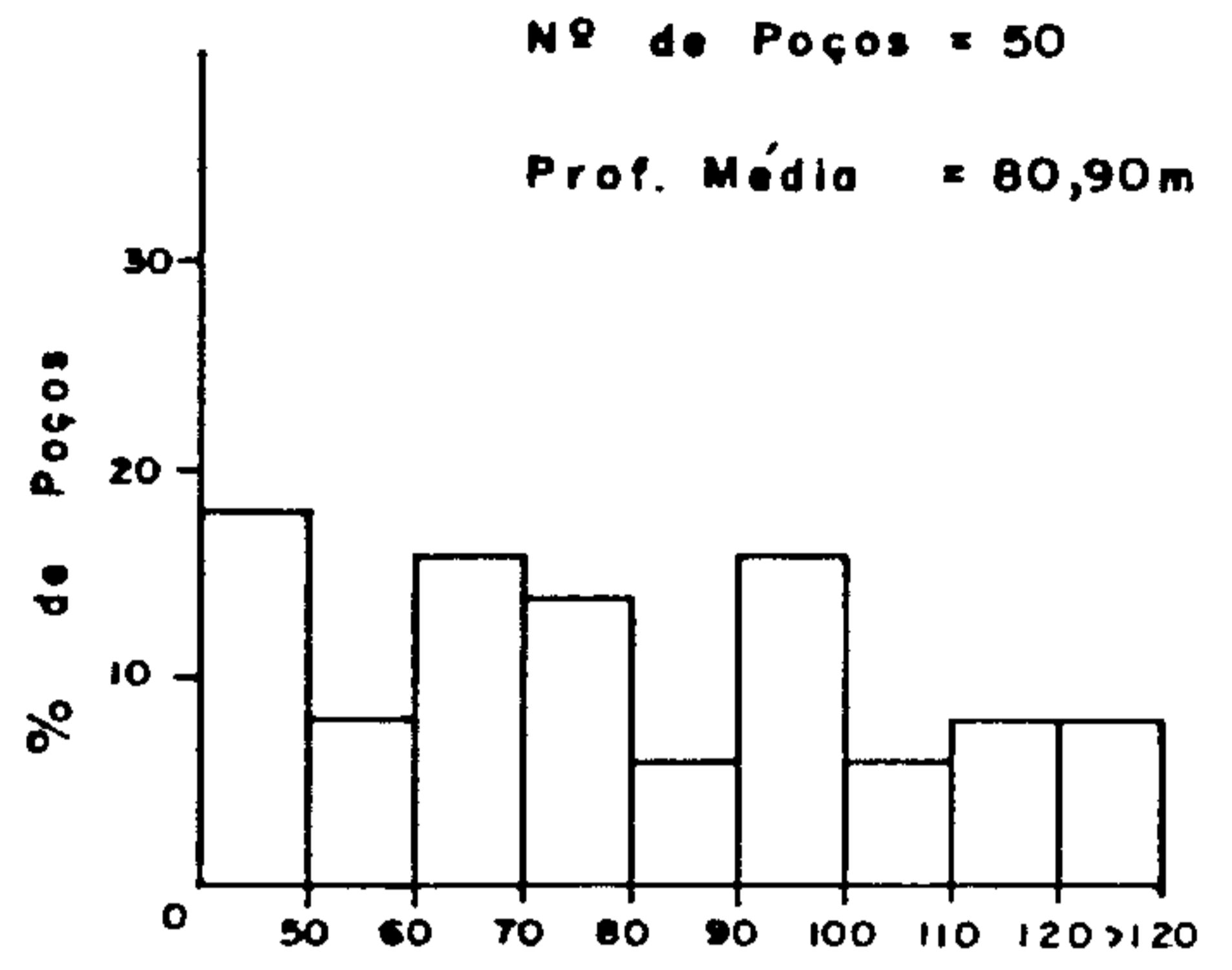
As possibilidades hidrogeológicas dessa faixa de rocha, pelos valores apresentados, parecem ser favorecidas pelas características climáticas especiais da área, que permitem a formação de um espesso manto de intemperismo o qual facilita à infiltração.

Dos 47 poços tubulares cadastrados, cerca de

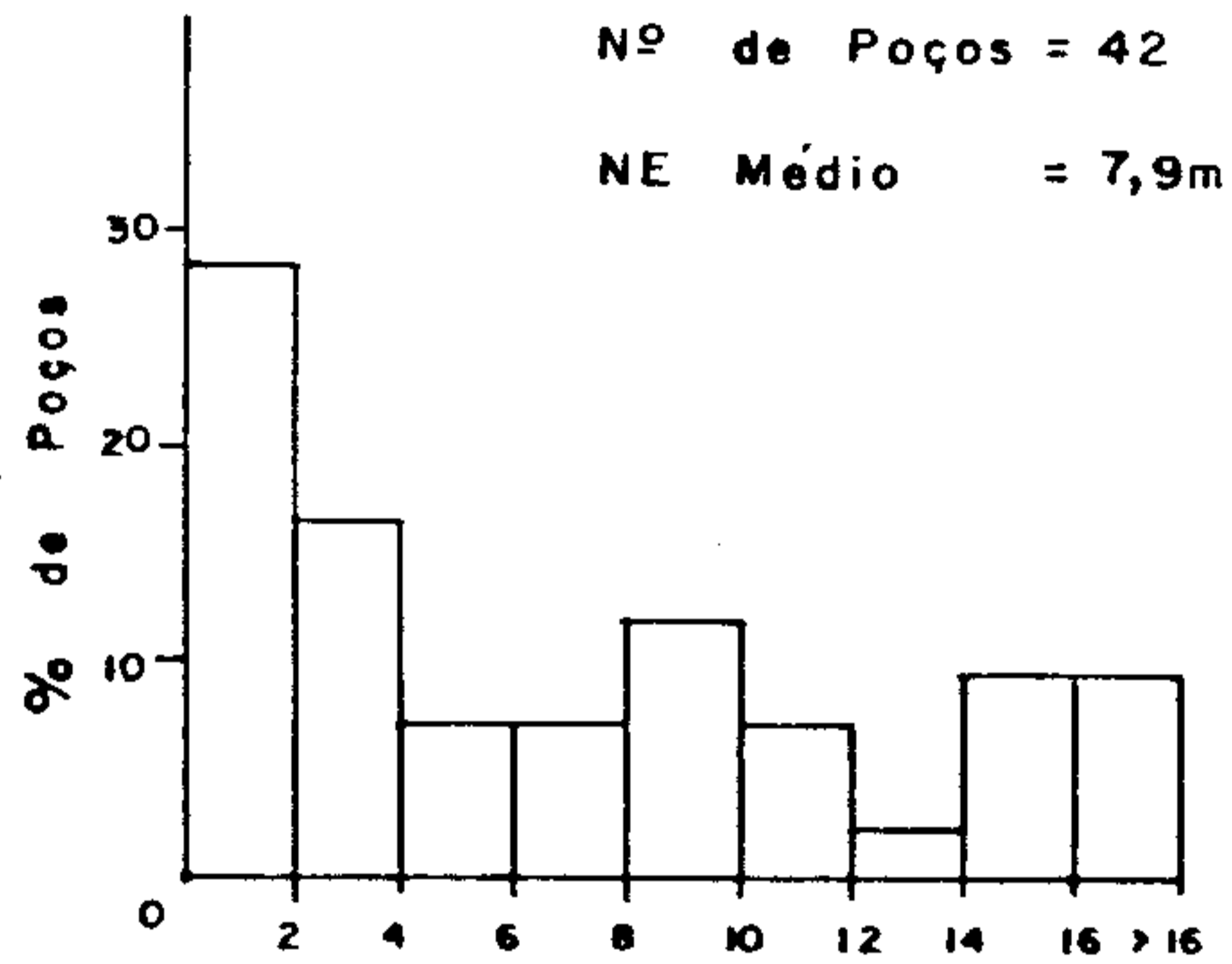
DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DE ALGUMAS CARACTERÍSTICAS DOS
POÇOS TUBULARES NA ASSOCIAÇÃO BARBACENA/PARAÍBA DO SUL



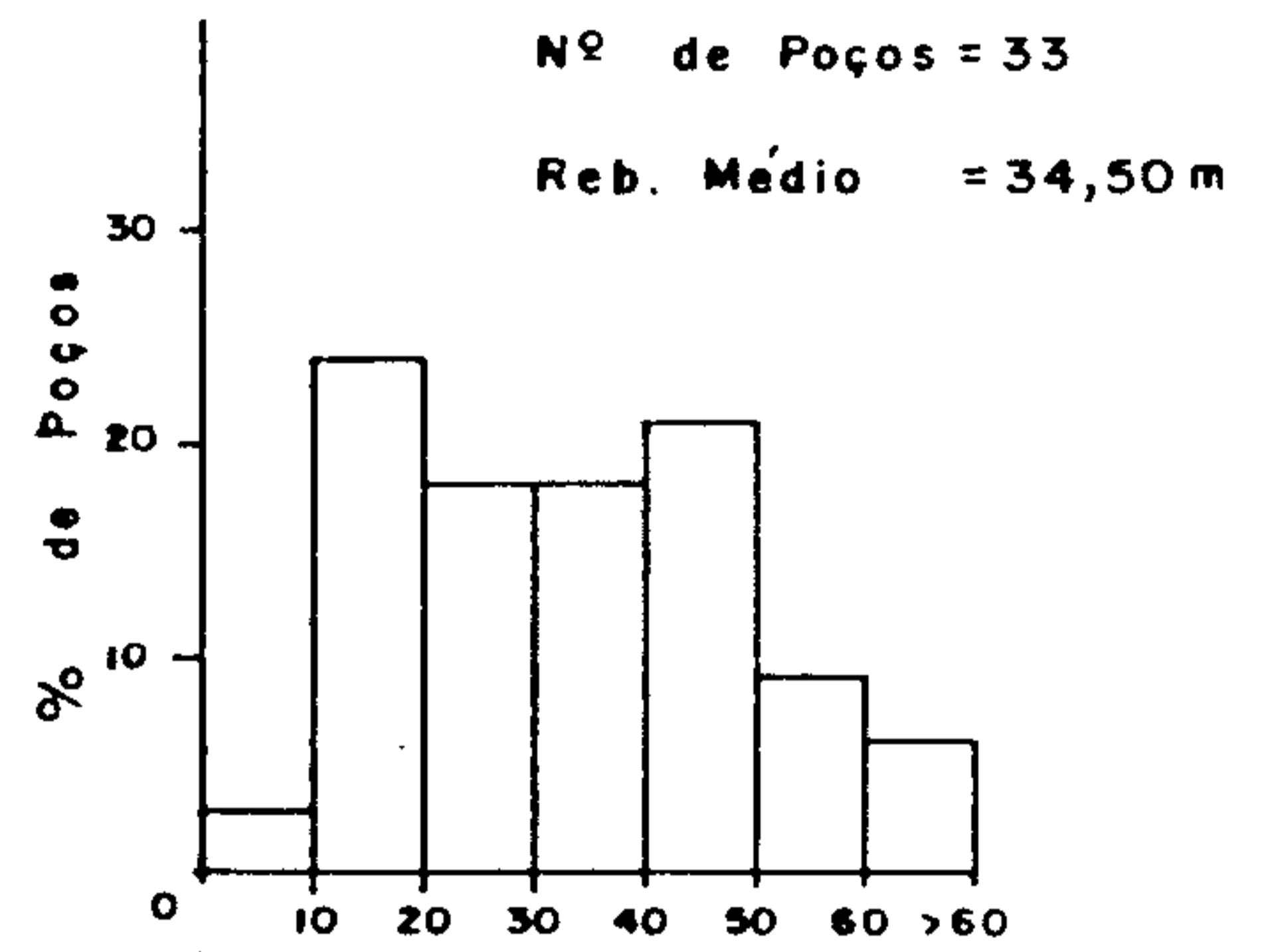
A- Prof. de Entradas d'água(m)



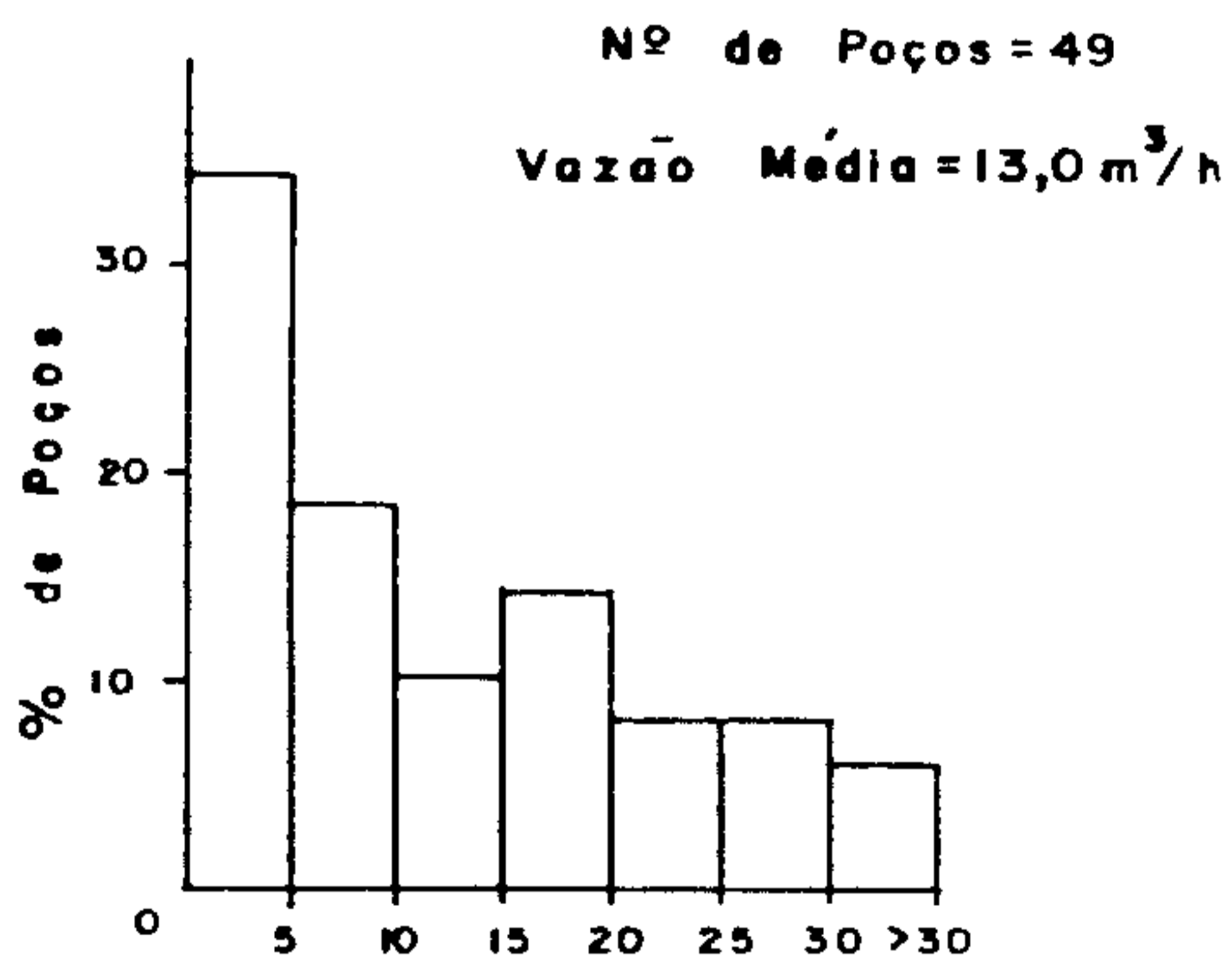
B- Prof. dos Poços (m)



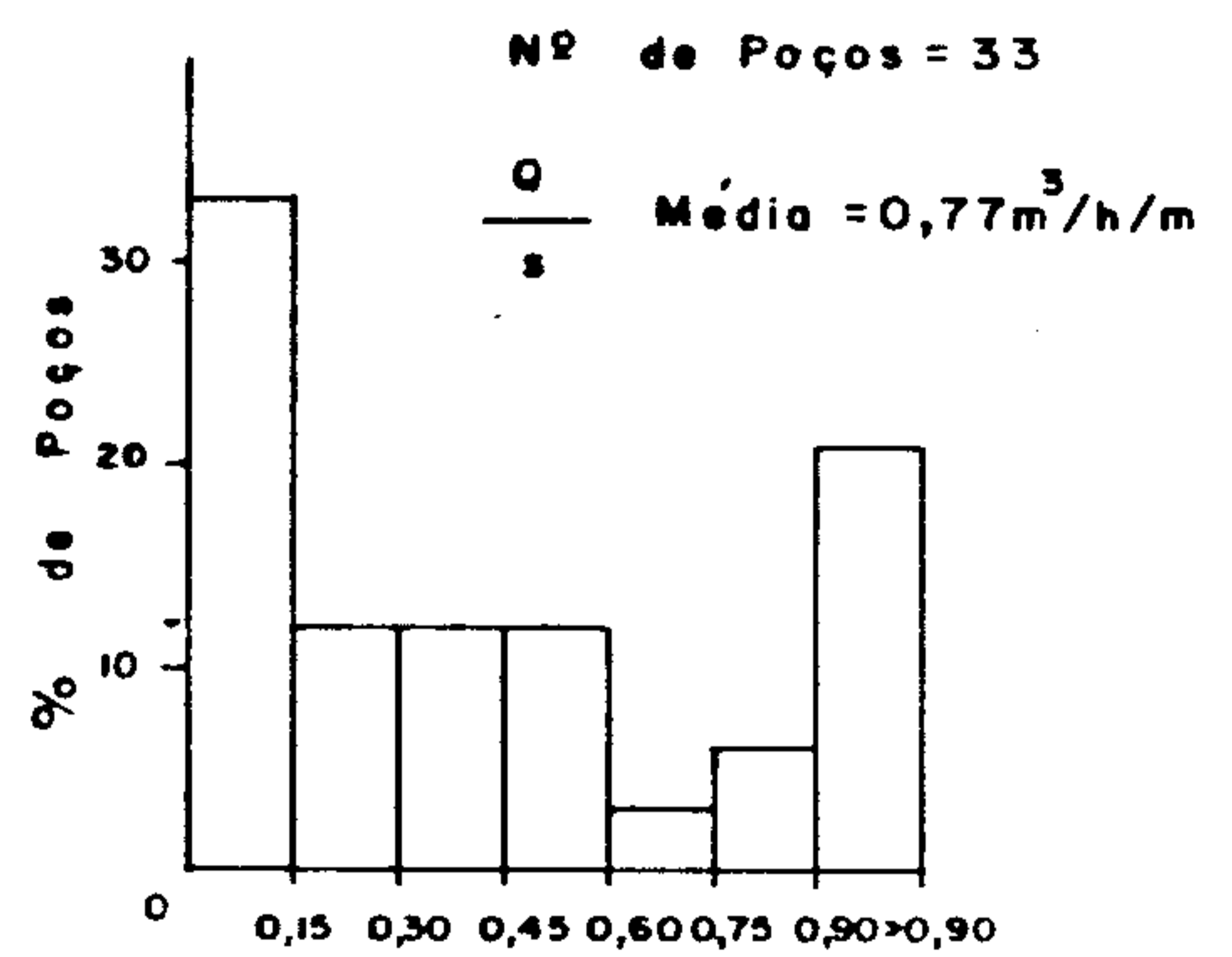
C- Prof. do Nível Estático (m)



D- Prof. do Rebaixamento (m)



E- Vazão (m³/h)



F- Vazão Específica (m³/h/m)

Fig. 6.3

48,9% apresentam vazões superiores a $10,8 \text{ m}^3/\text{h}$, e 68% acima de $5,4 \text{ m}^3/\text{h}$. As vazões obtidas, como sempre, são muito variáveis, com média da ordem de $13 \text{ m}^3/\text{h}$. Na região onde ocorrem as rochas granito-gnáissicas a vazão varia de $0,3$ a $30 \text{ m}^3/\text{h}$, com rebaixamento de $10,7$ a 102 m , e vazões específicas que variam de $0,003$ a $0,86 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. Como podemos observar no quadro 6.4 a seqüência de rochas dos Complexos-B e C fornecem valores médios de vazão ($17,2$ e $14 \text{ m}^3/\text{h}$) superiores ao das rochas granito-gnáissicas. Sendo principalmente constituídos por micaxistos e filitos esses dois complexos somente se apresentam como aquíferos em situações geoestruturais favoráveis e localizadas. Na região ocupada pelo Complexo-C é certamente grande a contribuição dos quartzitos no bom desempenho dos aquíferos, apesar da predominância de rochas xistosas nas quais os quartzitos estão intercalados. Os valores de vazão obtidos em 10 poços perfurados nessa seqüência podem ser considerados regulares a bons, variando entre $6 \text{ m}^3/\text{h}$ e $30 \text{ m}^3/\text{h}$, para rebaixamento de $6,9$ a $46,5 \text{ m}$ e vazões específicas de $0,13$ a $2,32 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. O Complexo-B, embora constituído predominantemente por micaxistos, apresenta vazões excelentes, fornecendo valores médios em torno de $17,2 \text{ m}^3/\text{h}$. Talvez o bom comportamento aquífero desses micaxistos esteja ligado as suas características texturais (mais granulares e quartzosos) que os tornam mais competentes aos esforços tectônicos, e/ou às camadas secundárias de quartzitos associadas. Em Araxá, 03 poços (BHSO-050, 051 e 052) com profundidades de 49 a 97 m fornecem vazão média em torno de $43,2 \text{ m}^3/\text{h}$, com rebaixamento máximo de $48,3 \text{ m}$. Nesse complexo, mais de 73% dos poços produzem de 5 a mais de $54 \text{ m}^3/\text{h}$, com vazão específica variando de $0,07$ a $5,4 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ e profundidades médias de 35 a 115 m .

VALORES MÉDIOS DE ALGUMAS CARACTERÍSTICAS DE POÇOS
PERFURADOS NOS COMPLEXOS-A, B e C

DISCRIMINAÇÃO	Prof. (m)	NE (m)	HD (m)	Reb. (m)	Q m ³ /h	$\frac{Q}{H}$ (m ³ /h/m)	Tipos de Rochas
Complexo-A	83,2	7,6	50	44,7	9,5	0,25	Granitos e Gnaissos
Complexo-B	70,9	5,5	33,2	29,3	17,2	1,3	Micaxisto, quartzitos granodiorito, gabro, etc.
Complexo-C	105,1	12,65	40,5	27,8	14	0,75	Filitos e quartzitos

QUADRO 6.4

Maiores considerações a respeito da vazão dos poços são tecidas no item 6.3.

6.2.3 Rochas da Formação Serra Geral - Características
Litológicas e Estruturais

Estão representadas por uma sucessão de derrames basálticos do Cretáceo Inferior, de espessura média da ordem de algumas dezenas de metros. Em cada derrame de "Trapp" pode-se diferenciar os basaltos vesiculares ou amigdalóides que ocorrem preferencialmente no topo e na base, e os basaltos compactos microcristalinos que constituem o corpo central.

Este conjunto de derrames apresenta mergulho suave para WSW na direção do eixo central da bacia sedimentar.

6.2.3.1 Condições de Alimentação, escoamento e Exutórios

A alimentação é realizada pelas chuvas e rios, diretamente, através do fraturamento exposto e, indiretamente, através da cobertura dos sedimentos da Formação Baurú, ou do manto de intemperismo ou das aluviões.

O volume de água precipitado anualmente nesses terrenos é da ordem de $5,1 \cdot 10^9 \text{ m}^3$.

Por falta de dados não foi possível determinar a taxa de infiltração efetiva e tampouco esboçar a superfície piezométrica desse aquífero. Entretanto, podemos adiantar que o escoamento das águas subterrâneas deve seguir caminhos preferenciais de elevada permeabilidade e é, genericamente, dirigido em direção ao centro da bacia, coincidindo, pois, com o sentido geral das águas superficiais.

Conforme item 6.2.3.2, na área onde os basal^{tos} estão recobertos pelos sedimentos da Formação Baurú; os dois aquíferos apresentam perfeita comunicação hidráulica, não havendo separação de zonas aquíferas. Como no momento os dados disponíveis não permitem qualquer tentativa de diferenciação, eles serão tratados como um único sistema. Desse modo, a superfície piezométrica estudada no item 6.5.1.2.2 se refere a esse conjunto.

Os exutórios principais são representados pelos rios, para os quais as águas do aquífero são drenadas. Exutórios em forma de fontes que possam confirmar uma restituição localizada da água subterrânea não foram constatados.

6.2.3.2 Características Dimensionais e Hidrodinâmicas - Capacidade de Produção dos Poços

Considerando sua área de afloramento e as zonas onde aparecem recobertas por sedimentos da Formação Baurú, as rochas basálticas ocupam cerca de 9.570 km^2 . (A superfície de afloramento é de 3.070 km^2). Estendem-se por uma zona compreendida pelo canto sudoeste da área, chapadão do Bugre, e pelas cidades de Perdizes, Monte Carmelo e Cascalho

Rico.

Nos derrames de "Trapp" o armazenamento de água subterrânea é limitado às zonas intensamente fraturadas, contatos intertrapps e ocorrências de sedimentos inter ou intratrapianos. Na área, o comportamento hidrogeológico está inteiramente relacionado aos dois primeiros fatores, sendo desconhecida a interferência de sedimentos intercalados.

Os dados disponíveis até o momento não permitem definir a extensão e localização das zonas armazenadoras de água subterrânea do aquífero (Item 8.1.1).

No quadro 6.5 constam os valores extremos e médios das características dos 13 poços cadastrados na área.

CARACTERÍSTICAS DOS POÇOS TUBULARES

DISCRIMINAÇÃO	UNIDADE	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIO	Nº DE POÇOS
Profundidade	m	202,0	46,0	96,40	12
Nível Estático	m	82,0	0,0	29,20	05
Nível Dinâmico	m	112,0	14,6	63,60	04
Vazão	m ³ /h	230,0	2,6	39,30	11
Rebaixamento	m	70,0	14,6	37,40	04
Vazão Específica	m ³ /h/m	2,8	0,08	0,76	04

QUADRO: 6.5

Para efeito meramente ilustrativo foram analisados os dados obtidos de um ensaio de aquífero realizado no poço BHSO-394 pela COPASA, em Pedrinópolis (Anexo V). O valor médio da transmissibilidade deduzido das curvas de recuperação e depressão residual foi de $9,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Valor idêntico foi encontrado aplicando-se a fórmula de Logan $(1,22 \cdot \frac{\dot{Q}}{S})$, ou seja $9,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. O perfil litológico desse poço pode ser visto no anexo IV.

As melhores vazões nos basaltos são enoon

tradas na localidade de Delta ou áreas próximas às margens do rio Grande, onde existem inclusive condições de artesianismo surgente. Os poços perfurados nessa região apresentam vazões jorrantés acima de $12 \text{ m}^3/\text{h}$, alcançando um máximo de $230 \text{ m}^3/\text{h}$ no poço BHSO-536 com profundidade de 95 metros. A média geral nessa região, contando com as vazões bombeadas, oscila em torno de $84 \text{ m}^3/\text{h}$ para uma profundidade média de 99 metros. Daí, em direção as bordas da bacia sedimentar a vazão dos poços torna-se bem menor, atingindo valores da ordem de $13,7 \text{ m}^3/\text{h}$, para um rebaixamento médio de 37,4 metros. As vazões específicas variam de 0,08 a $2,8 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$.

Na área ao norte, onde os basaltos estão recobertos pelos sedimentos da Formação Bauru, os poços que os atravessam captam direta ou indiretamente água desse último aquífero. Por esse motivo, a zona aquífera dos basaltos na da mais é do que um prolongamento em profundidade do aquífero Bauru. Como não existem dados a respeito das profundidades de entradas d'água nos poços perfurados nesse sistema, torna-se impraticável qualquer tentativa de diferenciação.

Os valores médios e extremos encontrados para o sistema Bauru/Serra Geral, em 19 poços, estão indicados no quadro 6.6.

CARACTERÍSTICAS DOS POÇOS TUBULARES

DISCRIMINAÇÃO	UNIDADE	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIO	Nº POÇOS
Profundidade	m	171,00	33,00	99,5	17
Nível Estático	m	114,50	1,00	20,7	13
Nível Dinâmico	m	92,00	23,50	44,8	12
Rebaixamento	m	83,00	3,50	31,9	12
Profundidade	m	113,00	37,00	72,9	13
Vazão	m^3/h	29,50	2,50	10,6	17
Vazão Específica	$\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$	2,83	0,07	0,8	12

QUADRO: 6.6

A análise dos dados revela que o nível estático médio é de 20,7m, sendo que cerca de 77% apresentam valores iguais ou inferiores a 15m. As profundidades dos poços variam de 33 a 171 metros, com média de 99,5 metros (Item 8.1.1).

As características hidrodinâmicas desse sistema foram determinadas pela equipe do projeto, através do teste de bombeamento no poço BHSO-524 (Anexo V). Os resultados obtidos pelos métodos de Jacob e Theis são da ordem de $T = 3,91 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Valores maiores de transmissibilidade foram obtidos a partir dos dados registrados no poço manual BHSO-525, utilizado como piezômetro e situado a uma distância de 23,3 m do poço bombeado. Com penetração somente na Formação Baurú, o piezômetro reagiu ao ensaio com os seguintes valores médios (Anexo V):

$$T = 2,94 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S = 6,55 \cdot 10^{-2}$$

Em 76% dos poços as vazões foram iguais ou inferiores a $12 \text{ m}^3/\text{h}$, baixando para 29% os que apresentam valores inferiores a $6 \text{ m}^3/\text{h}$. A vazão específica média é de $0,8 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, sendo que 66,7% dos poços indicam valores inferiores a média. Por outro lado, em mais de 58% foram obtidos rebaixamentos inferiores a 32 metros.

6.2.4 Aquíferos de outras Litologias

O esboço geológico da área inclui vários outros tipos litológicos que merecem ser relacionados. Entre eles destacam-se as rochas básico-alcalinas e alcalinas dos domos de Tapira, Barreiro, Salitre e Serra Negra, as quais são portadoras de águas altamente mineralizadas. Dentre es

As águas as mais exploradas são as de Barreiro (Araxá) e Serra Negra (Patrocínio), onde foram instaladas estações balneárias e indústrias de engarrafamento.

No balneário de Serra Negra, temos, só para as fontes conhecidas, uma vazão total de 24 l/s.

6.3 Estudo Estatístico-Probabilístico dos Aquíferos Fraturados

Em hidrogeologia, o conhecimento da distribuição das vazões específicas apresenta grande interesse de ordem técnica no planejamento de obras de captação de água subterrânea em regiões na qual não é previsível a produtividade de um poço a construir. Desta maneira, há que se conhecer a grandeza das vazões que adviriam e com que frequência ocorreriam em determinado sistema aquífero. Assim, ao dispor de uma quantidade satisfatória de dados de vazões específicas, resolvemos realizar, de maneira superficial, uma análise estatística, segundo o método de Galton, que supõe que a distribuição das vazões específicas ou vazões específicas por metro de penetração, segue uma lei probabilística normal. Esta distribuição apresenta a vantagem do ponto de vista do manejo de dados, os quais se alinham segundo uma reta em papel probabilístico-logarítmico.

Como não se conhece com exatidão a espessura saturada dos aquíferos atravessados, tomou-se como variável a vazão específica por metro de penetração.

Na fig. 6.4 estão representados os pares de valores de vazão específica por metro de penetração e probabilidade acumulada para os aquíferos constituídos pelas rochas do Grupo Bambuí e Associação Barbacena/Paraíba do Sul.

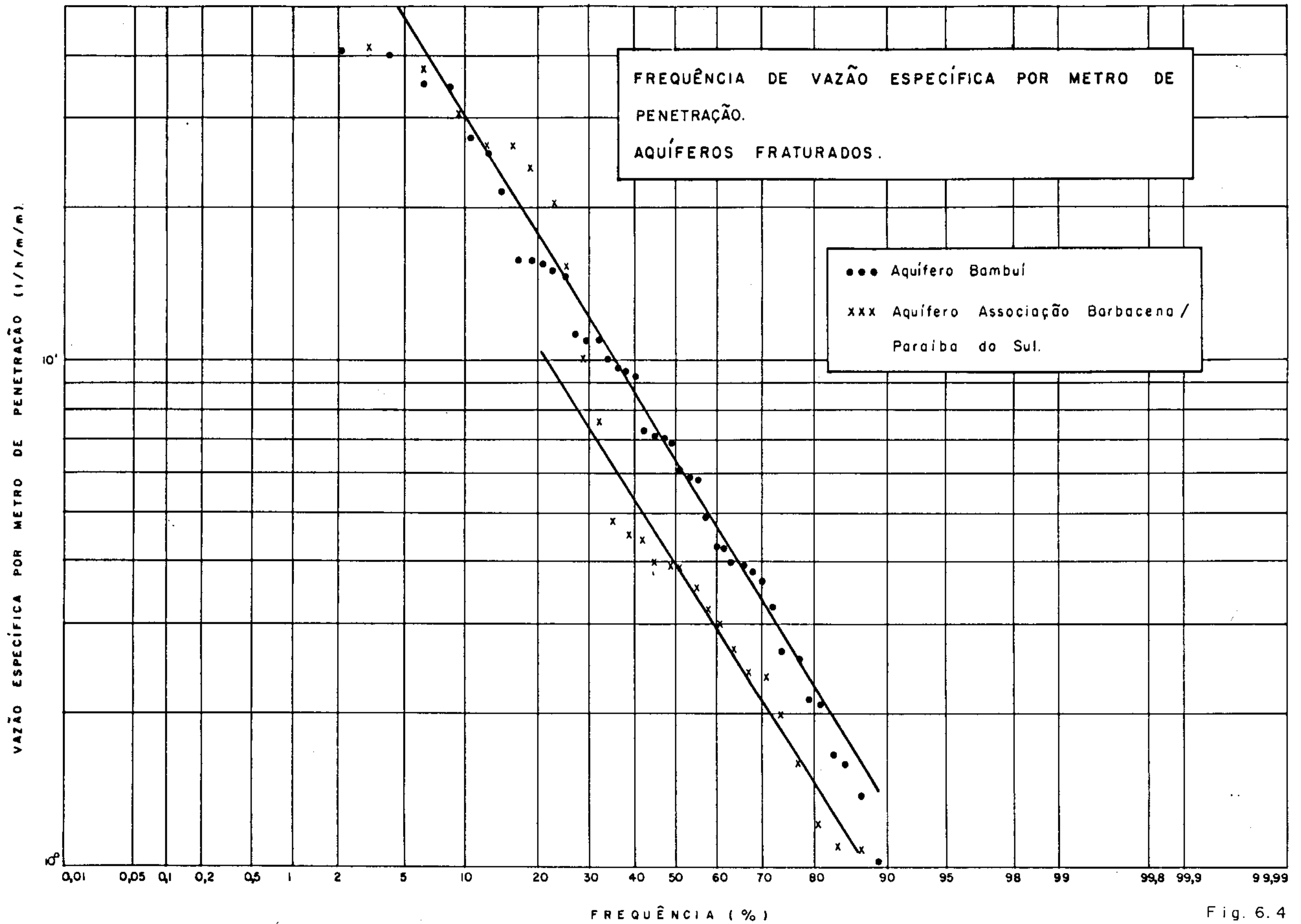


Fig. 6.4

Nela podemos observar que as retas de ajustes dos pontos a apresentam aproximadamente a mesma inclinação, indicando a mesma heterogeneidade para os dois aquíferos.

No aquífero Bambuí, a probabilidade de se obter uma vazão específica igual ou maior que 2,66 l/h/m por metro de penetração é de 75%, ou seja, cerca de 03 em 04 poços poderiam alcançar um valor igual ou superior ao indicado. Para valores iguais ou superiores a 14,7 l/h/m/m a probabilidade é de 01 para cada 04 poços.

O valor médio de vazão específica por metro de penetração no aquífero é de 10,2 l/h/m/m, e a mediana é igual a 6,52 l/h/m/m, o que reflete uma série assimétrica com desvio para os valores baixos.

O desvio padrão da série de dados é da ordem de 10,8 l/h/m/m e o coeficiente de variação é igual a 1, de onde se conclui que há uma grande dispersão dos valores.

Nos aquíferos constituídos pelas rochas ígneas e metamórficas a probabilidade de não alcançar valores iguais ou superiores a 1,70 l/h/m/m é de 01 para cada 04 poços. Para se obter valores iguais ou superiores a 15 l/h/m/m a probabilidade é de 25%. Com exceção da mediana (3,9 l/h/m/m), os valores de desvio padrão (11,9 l/h/m/m), média (9,7 l/h/m/m) e coeficiente de variação (1,2) são bem próximos daqueles calculados para o aquífero Bambuí.

6.4 Água Subterrânea em Rochas Cársticas

Nesses tipos de rochas o armazenamento de água subterrânea é comandado pelos fenômenos de dissolução (cárstificação) associados aos sistemas de fraturas e diá

clases. Essas rochas estão representadas pelos calcários dolomíticos da Formação Paraopeba (Grupo Bambuí), que ocorrem nas regiões de Vazante e Coromandel formando maciços de certa forma volumosos. São rochas compactas, que de uma maneira geral, se apresentam silicósas e de baixa porosidade.

Estruturalmente aparecem na base da Formação Paraopeba, podendo ocorrer intercaladas nos pelitos ou em posição superior a eles. Sua área total de afloramento é de cerca de 440 km^2 , estando dividida em vários corpos de dimensões que variam de 20 a 280 km^2 . Localmente, podem atingir espessura superior a 300 metros.

A alimentação do sistema é feita a partir da precipitação pluviométrica direta sobre a área de ocorrências cársticas e/ou pelas perdas ou infiltração, dispersas ou localizadas, dos rios, lagos, etc, que podem estar hidráulicamente conectados com o aquífero. Entretanto, nas zonas onde está recoberto por capeamentos detríticos e aluviões, pode ocorrer recarga por filtração vertical descendente.

Os principais exutórios do sistema são o rio Paranaíba e o ribeirão Santa Catarina. Secundariamente as perdas por evapotranspiração podem desempenhar papel importante nas zonas baixas, onde os níveis d'água apresentam-se próximos à superfície.

Os testes de bombeamento realizados em Vazante pelo Planoroeste-2 nos poços BHSO-541 e 542 (Anexo V) não permitiram a determinação do coeficiente de armazenamento. Entretanto, devido a anisotropia do meio cárstico, este coeficiente deve variar muito, alcançando valores da ordem de $S = 5 \cdot 10^{-3}$ (SUDENE, CONESP, OESA, 1975). O valor médio do

coeficiente de transmissibilidade calculado é de $5,45 \cdot 10^{-3}$, m^2/s , o que indica tratar-se de um aquífero com cárstificação bem desenvolvida.

Os únicos poços tubulares perfurados nesse aquífero são aqueles construídos em Vazante, e testado pelo Planoroeste-2. Para maiores detalhes a respeito do comportamento hidrogeológico desses cársticos, recomendamos os relatórios das folhas Belo Horizonte-NO e SE, onde foram tecidas considerações mais completas sobre os mesmos.

6.5 Água Subterrânea em Rochas Granulares

Nesses tipos de rochas as águas subterrâneas encontram-se armazenadas nos poros ou interstícios originais constituídos pelas partículas. Por sua vez, a porosidade e a permeabilidade dos aquíferos dependem essencialmente das características litológicas e genéticas dos sedimentos.

Na área em estudo, as rochas que constituem estes tipos de aquíferos estão representadas principalmente pelos arenitos cretácicos das Formações Areado, Mata da Corda e Bauru. Secundariamente se apresentam os sedimentos inconsolidados (aluviões e coberturas indiferenciadas - Qphi e TQi), e o arenito jurássico da Formação Botucatu. Este último, que constitui o principal aquífero da bacia do Paraná, embora aflore em alguns pontos da área (borda de Bacia), ainda é desconhecido em suas características dimensionais e hidrogeológicas.

A distribuição destas rochas pode ser observada nos mapas da fig. 6.1, onde as áreas de afloramento das mesmas apresentam um total aproximado de 19.740 km^2 de extensão, o que corresponde a 28,2% do total da área.

As suas propriedades hidrogeológicas serão es
tudadas com base na análise dos dados existentes e/ou em ex
periências adquiridas em áreas de mesmas características li
tológicas. As unidades serão descritas de acordo com a se
guinte classificação:

- Aquíferos em Sedimentos Consolidados
- Aquíferos em Sedimentos Inconsolidados

6.5.1 Aquíferos em Sedimentos Consolidados

Estes aquíferos apresentam uma ampla distribuiç
ção na parte central e sudoeste da área, ocupando cerca de
21,4% da área total (fig. 6.1.B). São representados pelos aren
itos das Formações Mata da Corda e Areado, da bacia Sanfranç
ciscana, e pelos arenitos das Formações Bauru e Botucatu, da
bacia do Paraná.

Os estudos hidrogeológicos desses aquíferos
dentro da área, arrolados na bibliografia, são de caráter lo
cal e carentes de maiores informações. O comportamento hidrog
eológico é tratado quase que exclusivamente sob os aspectos
litológicos e geomorfológicos, com exceção de estudos mais
detalhados do Planoroeste-2 na região de Presidente Olegári
o, onde procurou-se caracterizar a unidade hidrogeológica,
mais precisamente o aquífero Areado.

A serete (1974) fez restrições as camadas da
Formação Mata da Corda, onde as condições de permeabilidade
são prejudicadas pelo cimento argiloso e silicificação pre
sente. Para as demais camadas teceu comentários positivos
quanto a textura e espessura, bastante favoráveis ao arma

zenamento de água subterrânea. Entretanto, Barbosa (1940), estudando o mesmo sistema no perímetro urbano da cidade de São Gotardo, indicava o contato Areado-Bambuí como única possibilidade de se obter sucesso. Descreveu uma sondagem, que na época estava em andamento e com 96 metros de profundidade, "onde foram atravessados 46 metros da Formação Mata da Corda e 50 metros da formação Areado sem encontrar água que valha". Registrou ainda o endurecimento e mesmo silicificação parcial dos arenitos Areado, ligando esse fato a atividade vulcânica cretácica.

Em termos hidrogeológicos, o comportamento dos sedimentos da Formação Baurú só era conhecido fora dos limites da área, mais precisamente no Estado de São Paulo, onde os mesmos atingem espessuras razoáveis.

Em síntese, os arenitos das Formações Mata da Corda/Areado e Baurú, apesar da extensão em área, não tem grande expressão como aquíferos. Este fato pode ser justificado tanto pelo exposto anteriormente como pela própria atitude e posição topográfica e estrutural das camadas (suborizantal e/ou horizontal com terminação em escarpas) que não encontram barreiras laterais que possam retardar ou impedir o escoamento das águas. Os arenitos da formação Botucatu, caso apresentem espessura suficiente, poderão ser alcançados em boas condições de produção, principalmente por se encontrar o aquífero confinado pela Formação Serra Geral.

6.5.1.1 Aquífero Botucatu - Características Litológicas e Dimensionais

Os arenitos da Formação Botucatu são de origem eólica, com granulometria bem selecionada e grãos arredonda

dos, geralmente com pouco ou nenhum cimento e diagênese fraca. Nos contatos com os derrames basálticos da Formação Serra Geral encontram-se silicificados.

Na área em estudo esses sedimentos aparecem descontinuamente nas regiões de Tupaciguara, Araguari, Estrela do Sul, Romaria e Sacramento, em afloramentos não mapeáveis na escala do trabalho. De um modo geral, os arenitos formam simples intercalações com um máximo de uma dezena de metros, no basalto trapiano. Algumas ocorrências apresentam maiores expressões, como a que deu lugar à Formação da gruta dos Palhares, em Sacramento. Nesta impressionante escavação encontram-se diversas fontes com vazões superiores a $12 \text{ m}^3/\text{h}$, numa altitude de 711,8 m.

A realimentação desse sistema pode ser realizada através de dois mecanismos principais: infiltração direta das chuvas que caem nos domínios aflorantes e, indiretamente, através das formações sobrepostas. No primeiro caso a realimentação é inexpressiva, pois é prejudicada pela posição topográfica em escarpa abrupta e pela faixa estreita e descontínua dos afloramentos areníticos. No segundo mecanismo, as Formações Serra Geral e Bauru podem funcionar como reservatórios intermediários, os quais permitem que parte de suas reservas, assim mantidas, migrem continuamente até o aquífero Botucatu, principalmente através de fraturas mais profundas. Conforme ocorre em áreas vizinhas, a circulação da água infiltrada no sistema é dirigida para o centro da bacia, no sentido do mergulho das unidades geológicas, estando sujeita a pressões crescentes de confinamento proporcionadas pelo peso das camadas subjacentes.

Não existem dados informativos a respeito das condições hidrogeológicas desse aquífero na área, a não.

ser referências superficiais emitidas pela Serete (1974) e observações locais de Otávio Barbosa (1940).

Os afloramentos do arenito Botucatu na área, não apresentam condições aquíferas ideais, devido a fraca espessura e a pequena expressão geográfica. Todavia, poços profundos poderão alcançá-lo em profundidade em boas condições de produção. Otávio Barbosa (1940) estudando as condições hidrogeológicas da área urbana de Uberaba afirma que "quem pretendesse construir poços tubulares na cidade deveria esperar espessuras basálticas da ordem de 200 metros".

Numa análise geral, no domínio brasileiro da bacia do Paraná (Rebouças, 1976), o sistema Botucatu apresenta as seguintes características:

- Os níveis de águas mais elevados do sistema aquífero encontram-se no centro da faixa oriental de afloramento (altitudes de 800 a 1.000 metros, no trecho Bambuí - Santa Catarina). Para o norte as altitudes baixam para 800-500 metros e para sul chegam a atingir 200 metros.
- Uma dezena de testes interpretados, principalmente no Estado de São Paulo, indica valores de permeabilidade da ordem de 10^{-4} m/s para a Formação Botucatu. Os coeficientes de armazenamento variam de $20 \cdot 10^{-1}$ a 10^{-1} nos seus domínios em condições de aquífero livre e de 10^{-3} a 10^{-6} dependendo do grau de confinamento.
- A vazão média do aquífero é de $54 \text{ m}^3/\text{h}$, sendo que onde há melhor penetração dos poços, às vazões costumam variar entre $100\text{-}200 \text{ m}^3/\text{h}$.

Tendo em vista o condicionamento geral, litológico e estrutural do sistema Botucatu, que muito se aproxima dos aquíferos ideais, urge que se intensifiquem pesqui

sas mais detalhadas, principalmente na região do Triângulo Mineiro, de modo que se possa testar o potencial hidrogeológico dessa parte da bacia sedimentar do Paraná.

6.5.1.2 Aquífero Baurú - Características Litológicas e Estruturais

A Formação Baurú apresenta-se predominantemente composta de arenitos quartzosos, com ou sem cimentação carbonática e argilosa, contendo níveis de granulometria grosseira, bem como de siltitos e argilitos. Esse pacote sedimentar assenta-se, quase que exclusivamente, sobre os derrames basálticos da Formação Serra Geral.

A área de afloramento da formação é de 6.500 km², desenvolvendo-se no lado WSW ao Arco do Alto Paranaíba numa faixa que se estende de forma descontínua desde Uberaba e Sacramento até Cascalho Rico e Monte Carmelo, apresentando uma largura máxima de 55 km. A espessura média aceita para esse pacote sedimentar é de cerca de 80 m, muito embora os registros de sondagem indiquem uma espessura média da ordem de 50 metros.

Para efeito de avaliação do volume total de rocha saturada foi considerada uma espessura média saturada de 40 metros. O volume então determinado é de 260.10^9 m³.

Foram inventariados 80 pontos d'água nessa área, estando assim distribuídos: 19 poços tubulares, 26 poços manuais e 35 nascentes.

Dos 19 poços perfurados nessa área, 18 captam direta ou indiretamente o sistema Baurú / Serra Geral e, são estudados no item 6.2.3.2. O poço BHSO-535, com 70 m

de profundidade e perfurado somente no arenito Baurú, fornece uma vazão de $18 \text{ m}^3/\text{h}$, não se conhecendo maiores detalhes a respeito deste poço. Por ocupar extensão considerável (cerca de 9,3% do total), o aquífero Baurú merece uma atenção especial nos estudos hidrogeológicos, principalmente quando se sabe da importância de suas águas para o abastecimento de pequenas cidades e comunidades rurais, tanto por poços tubulares como poços manuais e fontes.

6.5.1.2.1 Alimentação e Exutórios

O retalhamento do planalto arenítico nas proximidades da bacia do rio Araguari, ocasionou o seccionamento do domínio de acumulação de água. Observando as linhas da rede de drenagem verifica-se que os interflúvios, estreitos e alongados, típicos desses terrenos, favorecem à saída das águas infiltradas como escoamento de base dos rios. Desta maneira, os reservatórios formados são muito limitados, chegando a sofrer de forma marcante e imediata, os efeitos das variações pluviométricas, isto porque a alimentação do aquífero se processa essencialmente através da infiltração direta das águas das chuvas. A recarga desses aquíferos é facilitada pela forma tabular do relevo, capacidade de infiltração relativamente grande dos solos e pelos valores elevados da precipitação.

Do ponto de vista hidrogeológico, o sistema formado comporta-se como aquífero livre, com os níveis d'água ligados às linhas de drenagem da região. A superfície freática acompanha o relevo, com profundidade média em torno de 9 metros.

O volume de água precipitado por ano sobre

a Formação Baurú é da ordem de 9,7 bilhões de metros cúbicos, para uma área de 6.500 km² e pluviometria média anual de 1.500 mm. Cerca de 80% desse volume é consumido pela evapotranspiração que atinge na região um valor médio em torno de 1.200 mm.

A taxa média de infiltração calculada com base na vazão do escoamento natural das águas subterrâneas, definida a partir das curvas piezométricas, mostra um valor muito baixo, da ordem de 0,75% (item 6.6.1.1).

Os exutórios principais do sistema são a evapotranspiração, os leitos dos rios e a infiltração vertical descendente para o substrato basáltico. Em muitos pontos do planalto sedimentar aparecem fontes com vazões muito elevadas, da ordem de 40 m³/h, que contribuem de forma relevante na alimentação da drenagem superficial.

6.5.1.2.2 Escoamento

O mapa piezométrico elaborado a partir dos dados de poços manuais e fontes possibilitou, em linhas gerais, a identificação das principais direções de fluxo das águas subterrâneas. Na realidade, tendo em vista que a Formação Baurú constituiu com a Serra Geral um sistema aquífero único (Item 6.2.3.1), e que os dados disponíveis não permitem separá-los, os valores abaixo determinados, se referem especificamente ao conjunto.

Na região de Nova Ponte-Indianópolis o comportamento das curvas piezométricas indica a influência da topografia na direção do fluxo subterrâneo, estando as direções de escoamento orientadas para o rio Araguari. Aí os divisores das águas subterrâneas coincidem aproximadamente

com os das águas superficiais. Foi estimado para um pequeno setor dessa área um volume de escoamento anual de $8,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, ao longo de uma frente de escoamento contínua de 60 km com gradiente médio de cerca de 11,35 m/km.

A sul, na região de Uberaba, em estimativa realizada para uma frente de escoamento de 65 km e gradiente médio de 11,15 m/km, determinou-se um volume de escoamento anual de $8,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. As linhas equipotenciais nessa região, mostram que o escoamento das águas subterrâneas obedecem ao comando estrutural das camadas, seguindo em direção ao eixo do rio Grande.

No quadro geral obteve-se para o volume de escoamento subterrâneo no sistema aquífero um valor de $72,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ (Item 6.6.1.1).

6.5.1.3 Sistema Mata da Corda/Areado - Características Litológicas e Estruturais.

Este pacote sedimentar da bacia Sanfranciscana é constituído principalmente por uma sucessão de arenitos cineríticos calcíferos e argilosos, com níveis pelíticos e conglomeráticos intercalados. O conjunto apresenta atitude horizontal a subhorizontal.

Por apresentarem um comportamento hidráulico semelhante, os sedimentos que compõem esse pacote sedimentar serão considerados como um único sistema aquífero.

6.5.1.3.1 Condições de Alimentação e Exutórios

Pelas características litológicas e geomorfológicas semelhantes às da Formação Baurú, este sistema apre

sentas as mesmas condições quanto ao modo de alimentação e armazenamento das águas subterrâneas. Assim, a alimentação se faz a partir das infiltrações das águas de chuvas caídas nas chapadas constituídas pelas Formações Mata da Corda/Área do.

A pluviometria média anual na área de recarga sendo de 1.300 mm, o volume precipitado anualmente nos 8.460 km² de afloramento das duas formações é de 11 bilhões de metros cúbicos, sendo que a maior parte desse volume, cerca de 80%, é consumido pela evapotranspiração.

Em trabalhos realizados na área, o Plano roeste-2 (1976) calculou para os sedimentos cretácicos das bacias dos rios da Prata e Santo Antônio, um valor médio da infiltração eficaz da ordem de 8,8%.

Devido ao modo de ocorrência dos sedimentos, a maior parte das águas infiltradas que chega ao aquífero como recarga, volta à superfície como escoamento de base dos rios ou pelas encostas das chapadas em forma de fontes com vazões médias em torno de 6 m³/h. "Neste ponto, convém chamar a atenção para o fato de que os níveis de descarga, neste aquífero, situam-se normalmente à base do aquífero, o que parece indicar que não há boas condições de armazenamento. Em outras palavras, não há água acumulada por debaixo dos níveis de exutórios naturais, devendo ser bastante reduzidas ou praticamente inexistentes, as reservas seculares ou passivas" (Planoroeste-2). Em tais condições costumam explorar esses tipos de aquíferos em locais de grande expressão geográfica ou onde a bacia de deposição apresenta paleodepressões. Neste último caso seria aconselhável uma investigação geofísica no sentido de determinar o páleo-relevo.

6.5.1.3.2 Escoamento

As observações sobre a configuração geral da superfície piezométrica do sistema aquífero só foi possível graças ao mapa piezométrico elaborado pelo Planoroeste-2 (1976) para a bacia do rio Santo Antônio (fig. 6.5).

A superfície do lençol, como era de se esperar, obedece a um acentuado controle topográfico, com linhas de fluxo convergentes em direção aos drenos superficiais, indicando que os cursos d'água principais têm caráter efluente, ou seja, recebem contribuições das águas subterrâneas. Na bacia do rio Santo Antônio o escoamento das águas subterrâneas se faz com um gradiente médio de 38 m/km. Os gradientes fortes podem ser atribuídos a ocorrência de arenitos cineríticos, argilosos da Formação Mata da Corda. Como no caso da Formação Baurú, o gradiente pode estar localmente relacionado à aquíferos suspensos o que daria um valor muito menor ao gradiente geral da bacia.

Com base na taxa de infiltração referida no item 6.5.1.3.1, o volume total aproximado de água que se infiltra anualmente nesses sedimentos é de 0,96 bilhões de metros cúbicos, (Item 6.6.1), o que equivale a uma lâmina d'água de 114 mm.

6.5.1.3.3 Características Dimensionais

As Formações Mata da Corda e Areado cobrem uma superfície de 8.460 km². Ocorrem na região do planalto da Mata da Corda, ocupando mais ou menos a parte central da área, desde Campos Altos até o paralelo 18°S. Nas regiões de São Gotardo, Tiros e Carmo do Paranaíba o planalto are

PIEZOMETRIA DA BACIA DO RIO STO ANTONIO (PLANOROESTE - 2)



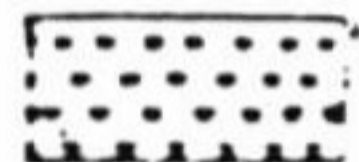

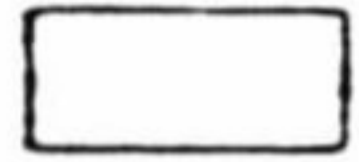

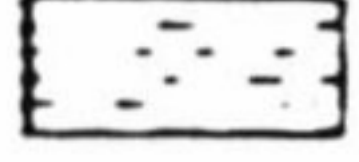

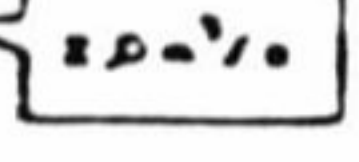
- | | | | |
|---|---|---|-------------------------------|
|  | Arenite Formação Mata do Corde |  | Contato geológico |
|  | Arenite Formação Areão |  | Curva Piezométrica aproximada |
|  | Grupo Bambuí |  | Divisor de água |
|  | Vazão do Rio Sto Antonio em outubro de 1976 | | Nível Freático aproximado |

Fig. 6.5

nítico encontra-se retalhado pela erosão, estando representado por faixas de larguras que variam deste 5 até 20 km. No extremo norte, região de Presidente Olegário e São Gonçalo do Abaeté, o sistema apresenta sua maior representatividade, com uma largura da ordem de 90 km.

Estimativas efetuadas a partir dos levantamentos geológicos em vários pontos da área, indicam grandes variações de espessura para o conjunto. No ribeirão Três Barras tem aproximadamente 140 m e nas proximidades das cidades de Presidente Olegário e Patos de Minas, apresenta, respectivamente, cerca de 100 e 150 m. Calcula-se em cerca de 120 m a espessura média do pacote sedimentar. Com base em dados de poços tubulares e manuais, foi estimada uma espessura saturada média da ordem de 90 m, o que dá um volume de rocha saturada da ordem de $761 \cdot 10^9 \text{ m}^3$.

Foram inventariados 54 pontos d'água, dos quais 18 são poços tubulares, 13 poços manuais e 23 fontes. Os valores médios e extremos das principais características dos poços tubulares que captam o sistema Mata da Corda / Area do estão indicadas no quadro 6.7.

CARACTERÍSTICAS DOS POÇOS NAS ROCHAS CRETÁCIAS

DISCRIMINAÇÃO	UNIDADE	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIO	Nº POÇOS
Profundidade	m	156	30	77	14
NE	m	43,3	0,3	12,2	18
ND	m	51,8	4,3	28,1	13
Vazão	m^3/h	60,0	0,8	18,6	15
Rebaixamento	m	48,1	0,63	17,3	13
Vazão Específica	$\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$	16,6	0,06	4,2	12

QUADRO : 6.7

Dos dados avaliáveis conclui-se que cerca de 78,6% dos poços têm profundidades inferiores a 80m. O nível estático é raso, com valor médio de 12,2m. Na distribuição percentual dos valores de 18 poços tubulares verifica-se que mais de 66% apresentam níveis abaixo da média, enquanto 88,9% estão a menos de 30m. O valor médio geral, incluindo os níveis estáticos dos poços manuais, é da ordem de 15 m.

6.5.1.3.4 Características Hidrodinâmicas

As características hidrodinâmicas do sistema foram determinadas através da interpretação dos dados obtidos em 04 testes de bombeamento realizados pela COPASA nos poços BHSO-475 e 477 (no município de São Gotardo) e BHSO-102 e 103 (no município de Carmo do Paranaíba). Foram aplicados os métodos de Jacob e Theis, obtendo-se os resultados relacionados no quadro 6.8.

VALORES DE T E S DO SISTEMA CRETÁCICO

POÇO BOMBEADO	PIEZOMETRO	TRANSMISSIBILIDADE (m ² /s)				ARMAZENAMENTO	PERMEABILIDADE
		REBAIXAMENTO	RECUPERAÇÃO	RESÍDUAL	MÉDIA		
BHSO-475	-	-	2,54.10 ⁻⁴	2,47.10 ⁻⁴	2,50.10 ⁻⁴	-	3,18.10 ⁻⁶
BHSO-477	-	-	3,81.10 ⁻⁴	3,55.10 ⁻⁴	3,67.10 ⁻⁴	-	5,0 .10 ⁻⁶
BHSO-102	-	-	1,85.10 ⁻³	3,46.10 ⁻³	2,15.10 ⁻³	-	-
BHSO-425	-	-	-	-	2,10.10 ⁻³ **	-	-
BHSO-103	104	7,26.10 ⁻³	7,97.10 ⁻³	-	7,5 .10 ⁻³	1,1 .10 ⁻⁷	-

** Valor médio determinado pelo Planoroeste-2 no poço BHSO-425

QUADRO: 6.8

Por estimativas baseadas na equação de Darcy, aplicada para a bacia do rio Santo Antônio (tomando em conta a vazão de estiagem), o Planoroeste-2 determinou valores

médios de $T = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Uma vez que as descargas utilizadas para os cálculos foram as mínimas do período, com eliminadas as prováveis influências dos sedimentos Terciário-Quaternário (TQi) que recobrem grande parte da bacia do rio.

Assim sendo, levando em conta somente os valores determinados, em ensaios (Quadro 6.8), podemos, numa primeira aproximação, estabelecer para esses sedimentos, uma transmissibilidade média de $2,47 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

O valor médio da permeabilidade calculado a partir dos dados obtidos junto aos poços tubulares BHSO-475 e 477 foi de $4,1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$. Para a bacia do rio Santo Antônio o valor determinado corresponde a $1,4 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ (Plano noroeste-2).

Nos demais poços, sem testes de bombeamento, os resultados indicam que os níveis dinâmicos são rasos, apresentando valores médios da ordem de 28,1 metros para uma extração média de $18,6 \text{ m}^3/\text{h}$ (quadro 6.7). Cerca de 75% dos poços apresentam vazões específicas inferiores à média ($4,2 \text{ m}^3/\text{h/m}$), sendo que mais de 58% tem valores superiores a $1,5 \text{ m}^3/\text{h/m}$.

6.5.2 Aquíferos em Sedimentos Inconsolidados

São aquíferos representados pelos depósitos não consolidados, originados por diferentes processos de sedimentação. Ocorrem principalmente em todo extremo leste da área, de forma descontínua, constituindo corpos, em sua maioria, de dimensões inferiores a 300 km^2 (fig. 6.1).

A seguir, uma síntese das principais caracte

rísticas litológicas e hidrogeológicas desses aquíferos..

6.5.2.1 Depósitos Indiferenciados do Terciário - Quaternário

Estes depósitos detríticos repousam sobre as rochas das Formações Mata da Corda e Três Marias, no extremo nordeste da área. Constituem-se fundamentalmente de areias, cascalhos e material siltico-argiloso inconsistentes ou parcialmente laterizados, que devido ao próprio processo de formação apresentam grande variação granulométrica.

De um modo geral, as espessuras destes depósitos são reduzidas, variando deste uma delgada capa que não excede os 20 cm., até um máximo provável de 50 metros. Ocupam uma área total da ordem de 2.000 km².

A alimentação se processa diretamente pela infiltração das águas de chuvas nas áreas de afloramento. Embora seja facilitada pela superfície topográfica, ela se apresenta bastante variável, depende das diversificações faciológicas dos depósitos; as condições de escoamento também estão condicionadas a essas diversificações.

Para uma pluviometria média anual de 1.240 mm, o total de chuvas precipitado sobre os tabuleiros é de cerca de 2,5 bilhões de metros cúbicos.

A pouca água acumulada nesses aquíferos normalmente flui para os rios, alimentando o seu escoamento de base, enquanto apenas uma pequena parcela infiltra-se nas rochas subjacentes (caso encontre condições favoráveis) ou aparecem em forma de fontes localizadas nos contatos com estas rochas. A característica mais importante desses sedimentos, parece ser a de transmissor de água para os exutó

rios acima mencionados. A evapotranspiração, porém, pode ser apontada como um exutório muito eficiente.

Dentro dos limites da área, os depósitos terciário-quaternários constituem sistemas de possibilidades hidrogeológicas muito fracas, tendo em vista a baixa permeabilidade é, principalmente, às dimensões muito reduzidas.

Em Três Marias, os poços tubulares BHSO-500 e 501, com profundidade de 54m, indicaram a presença de um meio aquífero de baixa permeabilidade, com captação de vazões da ordem de $0,8 \text{ m}^3/\text{h}$.

No mesmo local, um poço de 210 metros não encontrou água.

6.5.2.2 Depósitos do Quaternário

Para fins expositivos estes depósitos serão aqui considerados como uma única unidade hidrogeológica, embora apresentem, na verdade, algumas características semelhantes e outras bem diferentes. Dentro dos limites da área eles são, em geral, pouco conhecidos em termos de potencialidade hídrica.

6.5.2.2.1 Depósitos Elúvio-Coluvionares

São constituídos principalmente de sedimentos síltico-arenosos, tendo na base seixos arredondados de quartzo, arenito e quartzo. Distribuem-se ao longo das margens do Rio São Francisco e nas margens da represa de Três Marias, cobrindo uma área total de cerca de 2.780 km^2 , dividida em superfícies que variam de 20 a 1.000 km^2 . Embora não estejam bem individualizados, acredita-se que apresentem

tam uma espessura variável desde poucos metros até mais de 20 metros. O poço BHSO-203 com 101 m de profundidade, perfurado próximo a BR-040, indicou uma espessura de 21 metros para esses depósitos.

Em termos hidrogeológicos têm importância puramente local. A sua pequena espessura saturada e baixa permeabilidade aliadas às formas reduzidas e descontínuas, são fatores limitantes a um melhor comportamento desses depósitos como aquífero. A esses fatores pode-se acrescentar uma evapotranspiração facilitada pela pouca profundidade do nível estático e o próprio escoamento das águas para a rede hidrográfica, que podem levar estes depósitos ao escoamento total.

Os quatro poços tubulares que atravessam esses sedimentos foram perfurados objetivando as rochas subjacentes, tendo em vista a sua reduzida espessura e sua fraca potencialidade. Localmente são explorados através de poços manuais.

6.5.2.2.2 Depósitos Aluvionares

Litologicamente são caracterizados por uma sedimentação detrítica, areno-argilosa, com intercalações de leitos de cascalho.

Embora exista uma boa densidade de drenagem na área, a maioria das zonas aluviais não merece destaque na escala do presente estudo. Em importância, ressaltam-se apenas os depósitos que constituem as planícies da parte alta do rio São Francisco, que se estendem de forma contínua numa faixa de mais de 240 km². Aí, as aluviões podem constituir importante aquífero do tipo livre, embora seja desconhecido

devido à falta de poços que permitam uma melhor verificação da litologia e espessura. No município de Bom Despacho, as aluviões do rio Pição e do ribeirão do Machado são predominantemente arenosos, com espessuras superiores a 30 metros.

A alimentação das aluviões, de um modo geral, se processa a partir da infiltração direta das águas de chuvas e dos rios. Entretanto, por ocuparem zonas topograficamente baixas podem receber uma efetiva contribuição de outros sistemas aquíferos com os quais estejam em comunicação. Nos períodos de enchente, pode ocorrer infiltrações laterais provenientes dos cursos d'água, com os quais as aluviões mantêm comunicação hidráulica. O escoamento das águas se processa para o leito dos rios com gradiente hidráulico normalmente baixo. A evapotranspiração e a rede de drenagem representam os principais exutórios, sendo que a primeira consome importante volume de água devido à pequena profundidade dos níveis freáticos.

A Hidrorizonte perfurou dois poços tubulares no município de Bom Despacho, captando somente água de aluviões. O poço BHSO-064 perfurado nas cabeceiras do ribeirão dos Machados visando ao abastecimento da Siderúrgica União, atravessa cerca de 30 metros de areia grossa com boa produção de água. Para um rebaixamento de 28 m a vazão obtida foi de 50 m³/h. Na fazenda da Barra, às margens do rio Pição, o poço BHSO-074 atravessa cerca de 64 m de material detrítico, estando os últimos 34 m constituído por areia grossa e níveis de cascalho. Este poço, após um bombeamento de 24 horas com vazão média de 30 m³/h, apresentou um rebaixamento de 4 metros.

Em Perdigoão, captando um aluvião areno-argiloso, mal classificado, o poço BHSO-399 forneceu uma vazão específica de $0,55 \text{ m}^3/\text{h/m}$.

6.5.2.3 Água Subterrânea no Manto de Intemperismo

O manto de alteração é outra possibilidade de armazenamento de água na área. Embora de capacidade de armazenamento limitada, pode ser mais um recurso empregado em pequenas comunidades urbanas ou fazendas carentes de recursos, impossibilitadas de possuírem um sistema de abastecimento d'água tanto por poços tubulares como por represas. Na área em estudo essas águas se encontram em condições tão favoráveis de captação, que são exploradas em larga escala, através de poços manuais, tanto nas cidades como na zona rural. Mesmo nas localidades onde existe captação de grandes volumes d'água superficiais e subterrâneos (poços tubulares) o método de exploração através de poços escavados é muito utilizado.

Nos trabalhos de geologia realizados na área, a ocorrência de extensas coberturas eluviais foi um obstáculo constante nas delimitações de contatos. Em observações hidrogeológicas no Centro-Sul do País, Otávio Barbosa (1964) citou as condições favoráveis da região quanto a precipitação pluviométrica e ao manto de alteração. Segundo o mesmo, é comum a decomposição profunda das rochas, atingindo valores da ordem de 30 a 80 metros, alcançando em Araxá 110 metros. Recentemente em poços tubulares na cidade de Luz foram atravessados mais de 70 metros de elúvio. Em Serra Negra (município de Patrocínio), em furos realizados para o DNPM, a GEOSOL encontrou valores superiores a 200 metros.

Sendo constituído predominantemente de material argiloso, as águas das chuvas não podem se infiltrar em grandes quantidades, mesmo assim, conseguem criar uma zona de aeração e uma de saturação bem distintas, esta última de fácil aproveitamento através de poços.

As condições de aquífero livre apresentadas acarreta, também, em grandes perdas por evapotranspiração, principalmente em áreas que possuem uma estação seca pronunciada, e onde os níveis d'água estejam mais próximos da superfície.

6.6 Estimativa das Reservas das Águas Subterrâneas

As taxas de infiltração adotadas, a rede de fluxo e as características dimensionais e hidrodinâmicas dos aquíferos mostrados nos itens precedentes, permitiram somente uma estimativa preliminar das vazões de escoamento natural e das reservas permanentes e exploráveis para os sistemas Baurú/Serra Geral, Bambuí e Mata da Corda/Areado.

Neste trabalho consideramos como reservas exploráveis os valores do escoamento natural de cada aquífero. Para tanto, admite-se que, estando o sistema aquífero em equilíbrio dinâmico, o volume de água infiltrado seria equivalente ao volume anual do escoamento subterrâneo.

A estimativa das reservas permanentes só será feita para o aquífero Bambuí, devido a inexistência de informações necessárias para os demais aquíferos.

6.6.1 Sistema Aquífero Bauru/Serra Geral

Embora os aquíferos Serra Geral e Bauru te

tenham sido tratados separadamente (itens 6.2.3 e 6.5.1.2, respectivamente), nas áreas onde ocorrem em conjunto apresentam perfeita conexão hidráulica. Desta maneira, para efeito de cálculo de reservas serão considerados como um só sistema aquífero.

6.6.1.1 Vazão do Escoamento Natural

Os cálculos foram realizados para duas seções de controle escolhidas, uma na região de Nova Ponte - Indaiatuba e outra, ao sul, na região de Uberaba.

A estimativa da vazão de escoamento das águas subterrâneas foi realizada aplicando-se a equação de Darcy ($Q = TIL$), onde Q (vazão do escoamento natural - m^3/s), T (transmissibilidade - m^2/s), I (gradiente hidráulico - %) e L (comprimento da frente de escoamento subterrâneo - m).

Foi adotado um valor de transmissibilidade de $3,91 \cdot 10^{-4} m^2/s$, obtido no teste de bombeamento realizado em Uberaba, no poço nº 524 (anexo V), por ser o que mais se aproxima dos valores obtidos em outras áreas de ocorrência do sistema.

Assim sendo, para a primeira seção, tomando-se os dados constantes do item 6.5.1.2.2, temos o seguinte volume do escoamento natural:

$$Q = TIL$$

$$Q = 3,91 \cdot 10^{-4} \cdot 11,35 \cdot 10^{-3} \cdot 60 \cdot 10^3 m^3/s$$

$$Q = 8,4 \cdot 10^6 m^3/ano$$

Considerando a área de $794 km^2$ e uma pluviometria média de $1.500 mm$, tem-se um volume precipitado anualmente de:

$$V_p = 794 \cdot 10^6 \cdot 1,5$$

$$V_p = 1.191 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

Relacionando-se Q e V_p obtém-se uma taxa de infiltração eficaz de 0,71 %.

Na segunda seção, com base nos dados do item 6.5.1.2.2, o volume de água que passa pela linha de frente é de:

$$Q = 3,91 \cdot 10^{-4} \cdot 11,15 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \cdot 65 \cdot 10^3$$

$$Q = 8,9 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}.$$

O volume precipitado anualmente é de:

$$V_p = 742 \cdot 10^6 \cdot 1,5$$

$$V_p = 1.113 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

Os valores de Q e V_p permitem determinar uma taxa de infiltração, para a seção, de 0,80% da pluviometria.

Os volumes da vazão do escoamento natural calçados dizem respeito apenas às seções descritas. Entretanto, o volume de água anualmente renovável para todo o sistema, pode ser determinado com base na taxa média de infiltração obtida a partir dos valores encontrados nas duas seções, e no volume precipitado no ano, pela fórmula:

$$V_r = \frac{V_p \cdot I}{100}$$

sendo: $V_p = 9.700 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (item 6.5.1.2.1)

$$I = 0,75 \%$$

onde: $V_r = 72,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$

Este volume representa a quantidade de água que se infiltraria anualmente e que corresponde a vazão do escoamento natural.

6.6.1.2 Recursos de Águas Subterrâneas

O volume de água determinado no item anterior corresponde à contribuição efetiva das águas de chuvas ao sistema Bauru/Serra Geral e equivale ao recurso anual que se poderia utilizar sem prejuízos para o aquífero.

Nesse sistema aquífero devido as características limitadas dos reservatórios, grande parte do volume d'água infiltrado se descarrega num período curto (item 6.5.1.2.1).

6.6.2 Aquífero Bambuí

6.6.2.1 Reservas Permanentes

As reservas permanentes correspondem a quantidade d'água armazenada no aquífero, susceptível de ser restituída por gravidade (água de saturação) e que se pode obter teoricamente, caso se pudesse esvaziar o aquífero totalmente. Tratando-se de aquíferos livres, esse volume d'água é dado pela fórmula:

$$V_R = A.e.S.$$

onde: V_R = volume d'água armazenado (m^3)

A = área do aquífero (m^2)

e = espessura da camada saturada (m)

S = coeficiente de armazenamento

Assim sendo, considerando-se uma superfície total de 26.850 km^2 , uma espessura média saturada de 80 m (Item 6.2.1.4) extensiva a toda a área do Bambuí, e um coeficiente de armazenamento de $1,9 \cdot 10^{-4}$ (Item 6.2.1.5), a reserva permanente do aquífero Bambuí é de:

$$V_R = 26.850 \cdot 10^6 \cdot 80 \cdot 1,9 \cdot 10^{-4}$$

$$V_R = 0,41 \cdot 10^9 \text{ m}^3$$

6.6.2.2 Recursos de Águas Subterrâneas

Como não foi possível a elaboração do mapa piezométrico, as reservas renováveis foram estimadas a partir de um valor médio de coeficiente de infiltração e do volume precipitado médio anual, pela fórmula:

$$I = \frac{V_r}{V_p} \cdot 100$$

sendo: $I = 0,68 \%$ (item 6.2.1.1)

$$V_p = 37,6 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{ano} \quad (\text{item 6.2.1.1})$$

$$\text{teremos: } V_r = \frac{V_p \cdot I}{100}$$

$$V_r = 0,25 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Este valor deve ser tomado com reservas, dadas as condições em que foi realizada esta estimativa.

6.6.3 Sistema Aquífero Mata da Corda/Areado

6.6.3.1 Recursos de águas Subterrâneas

Do mesmo modo que no item 6.6.2.2, consideran

do que as reservas exploráveis equivale ao volume anual in filtrado, e, sendo que o seu percentual médio em relação ao volume anual precipitado ($V_p = 11 \cdot 10^9 \text{ m}^3$) na área é de 8,8% (Item 6.5.1.3.1), teremos:

$$V_R = \frac{V_p \cdot 1}{100} = \frac{8,8 \cdot 11 \cdot 10^9}{100}$$

$$V_R = 0,96 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{ano}.$$

Este valor corresponde ao recurso de água que se poderia esperar anualmente do sistema aquífero Mata da Corda/Areado.

7. HIDROQUÍMICA

O estudo da qualidade das águas subterrâneas, aqui realizado, visa apenas a um rápido conhecimento do comportamento hidroquímico da região, bem como dar uma primeira definição da conveniência das águas para o consumo humano, agrícola e industrial.

Com este objetivo foram coletadas e analisadas 75 amostras de águas provenientes dos diversos aquíferos, número esse insuficiente quando comparado à extensão e diversificação geológica da área. Após o procedimento de verificação do grau de exatidão dos resultados das análises, as mesmas foram relacionadas no catálogo do anexo III.

Nesse trabalho deu-se preferência às águas originárias de poços tubulares com cerca de 68% do total amostrado, seguido pelas fontes (16%) e pelos poços manuais (13,3%). Foram coletadas duas amostras em diferentes pontos do rio Borrachudo. Diversos pontos, estratégicamente selecionados, não foram amostrados por se encontrarem equipados com sistema de bombeamento de difícil remoção ou abandonados, o que nos privou de importantes informações no esclarecimento de problemas locais.

A elaboração de mapas hidroquímicos representativos dos diferentes aquíferos e das variações regionais da salinidade, foi dificultada pela pequena densidade dos pontos amostrados e pelas águas algumas vezes misturadas de diversos aquíferos.

Apenas em alguns setores da área onde ocorrem as rochas do Grupo Bambuí, foi possível obter dados suficientes a um estudo mais acurado das águas, permitindo-nos dis

tinguir o tipo químico predominante.

7.1 Composição Química das Águas Subterrâneas

Para classificação dos tipos químicos das águas analisadas foi utilizado o diagrama triangular. Este método consiste em um conjunto de dois triângulos equiláteros, conforme as figuras 7.1, 7.2 e 7.3, dispostos de tal maneira que o superior expressa a percentagem em cátions e o inferior as percentagens em ânions.

Conforme essa classificação, as águas bicarbonatadas predominam numa proporção de 83,6% em relação aos outros seis (6) tipos determinados.

Consideradas em conjunto, as águas apresentam um baixo grau de salinidade, com um resíduo seco médio de 87 mg/l, sem levar em conta o valor anômalo (5.536 mg/l) encontrado para a fonte de água bicarbonatada sódica da Estância Balneária de Serra Negra (Patrocínio). As médias obtidas para as unidades geológicas principais são as seguintes:

<u>UNIDADES GEOLÓGICAS</u>	<u>R.S. MÉDIO (mg/l)</u>
Grupo Bambuí	102
Formações Mata da Corda/Areado	22
Formação Bauru	8
Formação Serra Geral	110
Formações Bauru/Serra Geral	55
Associação Barbacena/Paraíba do Sul	109

Na distribuição de frequência dos resíduos secos (quadro 7.1), cerca de 83,6% das amostras apresentam um valor igual ou inferior a 150 mg/l, enquanto que, em apenas 2,7%, este valor excede 250 mg/l.

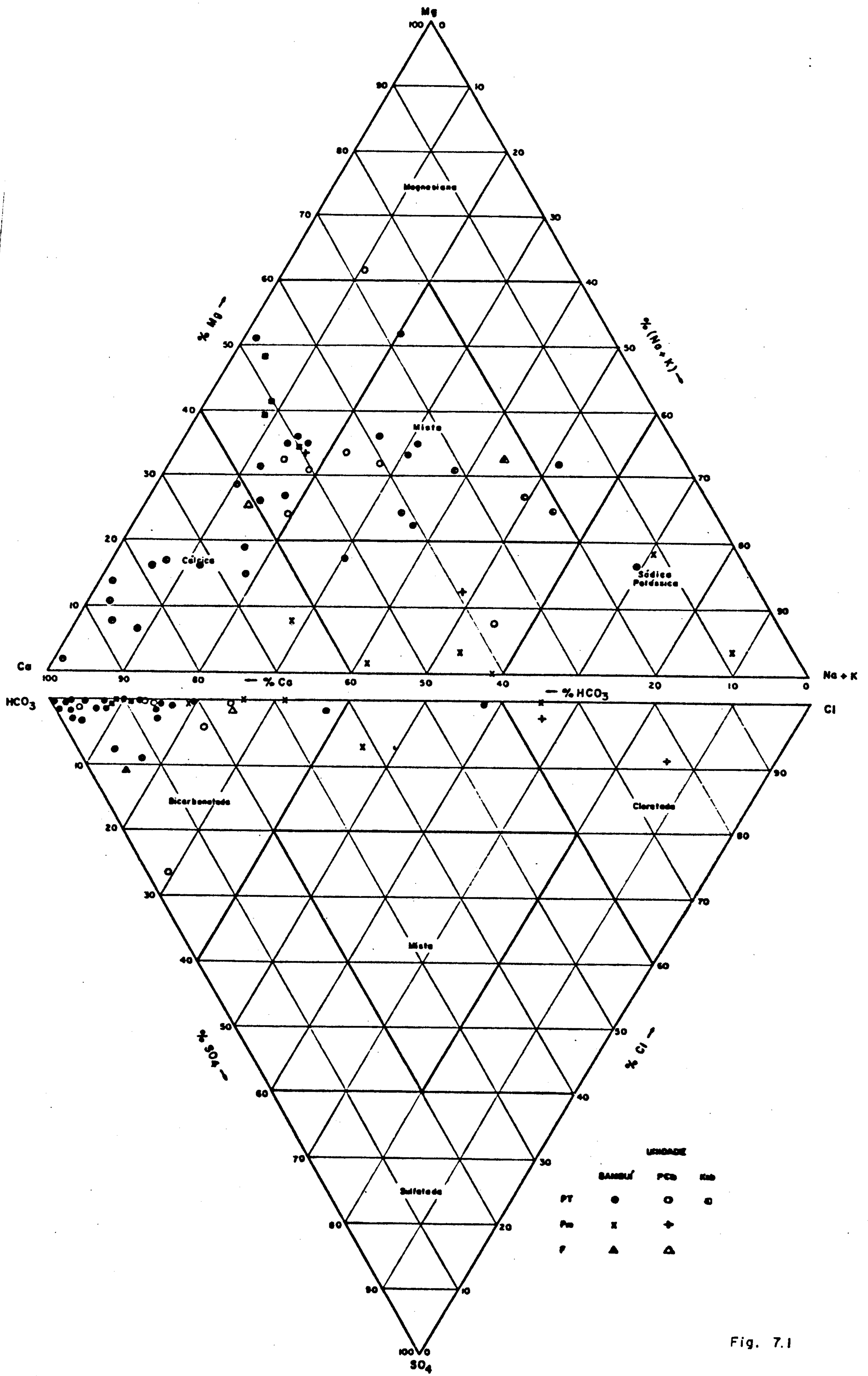


Fig. 7.1

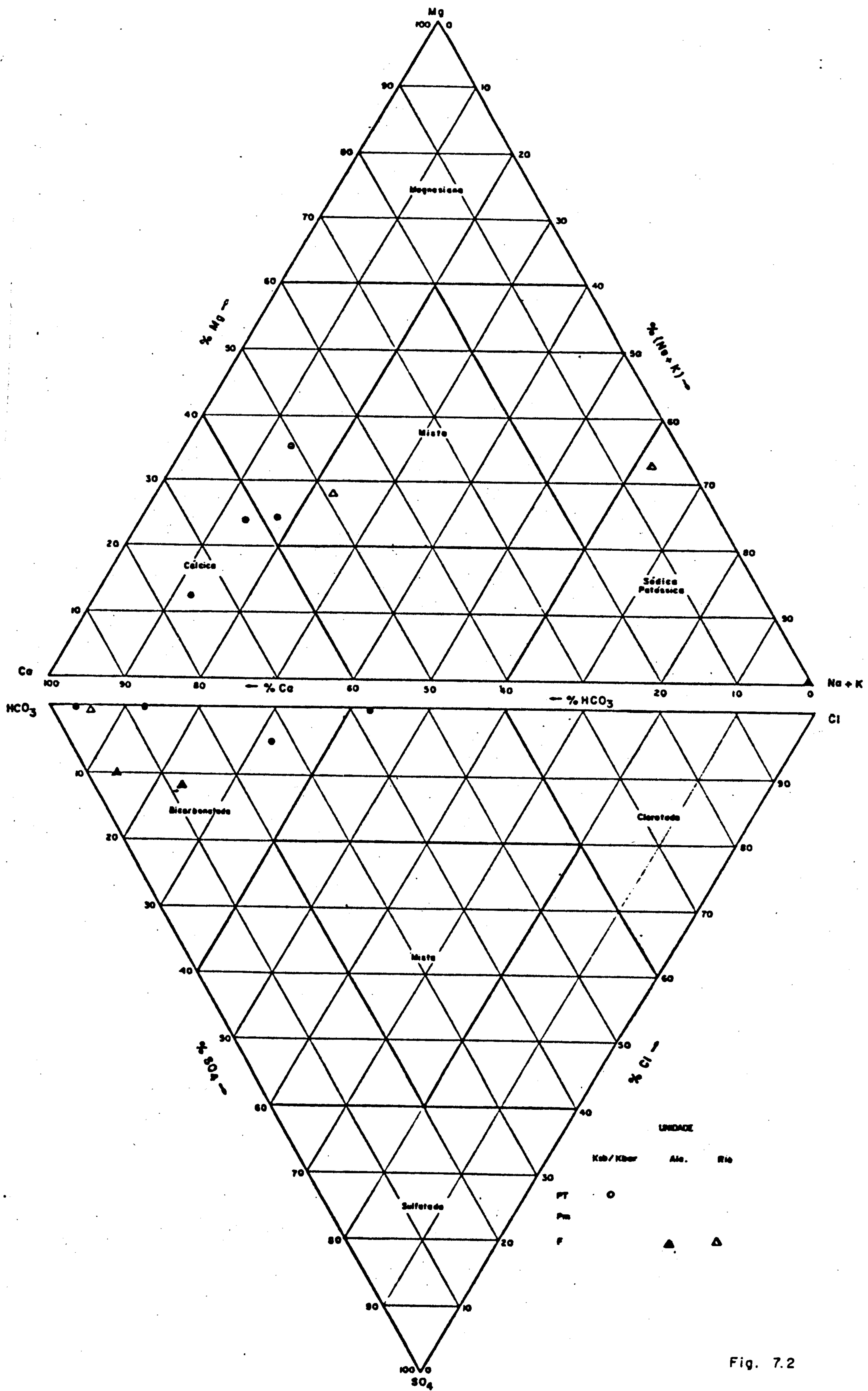


Fig. 7.2

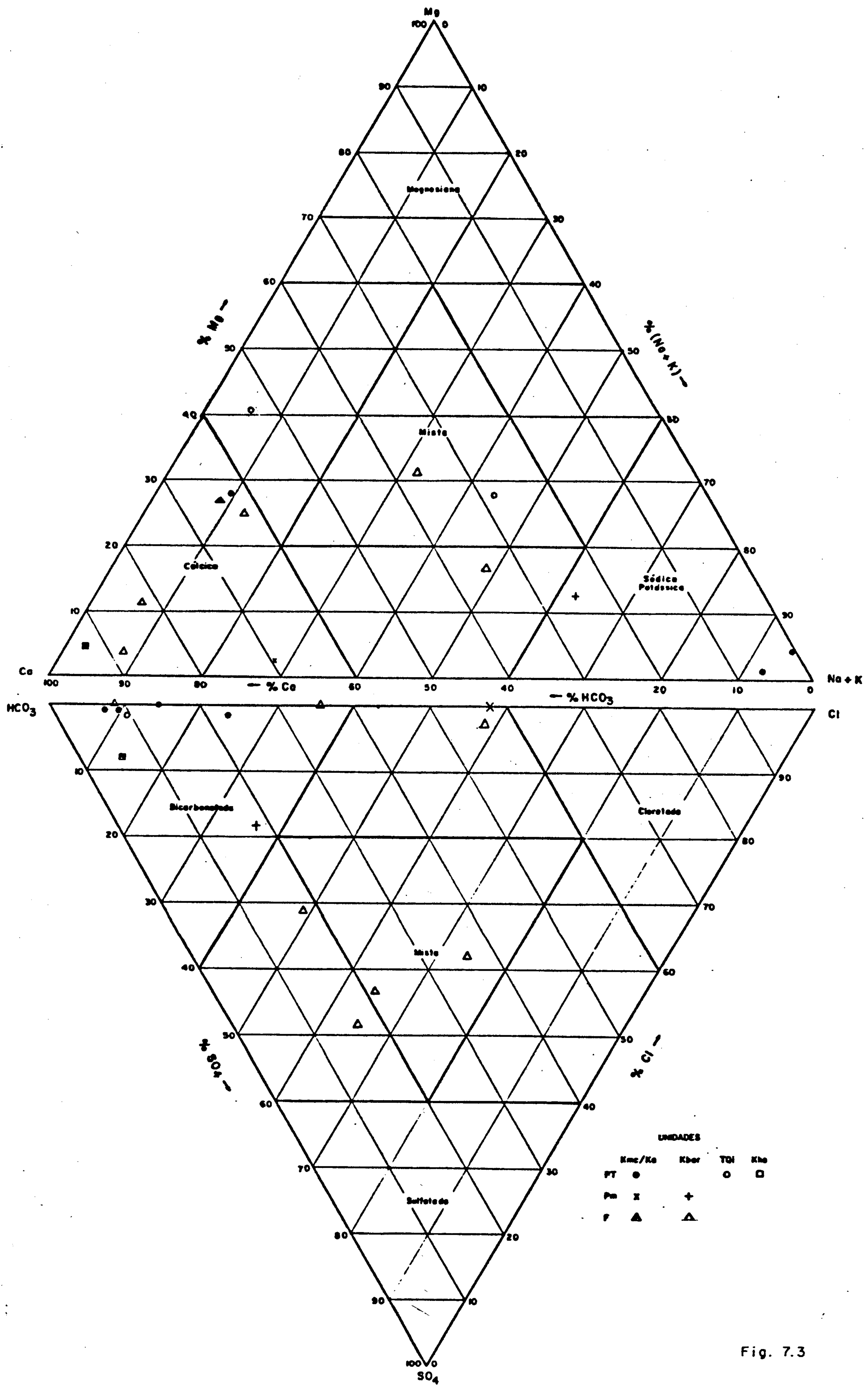


Fig. 7.3

DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DOS RESÍDUOS SECOS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA ÁREA.

Variação do Resí- duo Seco (mg/l)	Nº DE AMOSTRAS	FREQUÊNCIA	
		Relativa(%)	Acumulada(%)
0 - 50	24	32,9	32,9
50 - 100	24	32,9	65,8
100 - 150	13	17,8	83,6
150 - 200	9	12,3	95,9
200 - 250	1	1,4	97,3
> 250	2	2,7	700,0
T O T A I S	73	100,0	

QUADRO : 7.1

Quanto a dureza, esta varia normalmente entre 0,2-12^oF (cerca de 93,2%), o que as classifica como águas "muito moles" a "moles". O grau de dureza não excede a 20^oF, conforme podemos observar no quadro 7.2.

CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS QUANTO A DUREZA.

TIPOS DE ÁGUAS	DUREZA TOTAL (°F)	Nº DE AMOSTRAS	PERCEN- TAGEM	PERCENTA- GEM ACU- MULADA
Muito mole	7 ^o F	54	74	74
Mole	7-12 ^o F	14	19,2	93,2
Algo dura	12-20 ^o F	5	6,8	100
Muito dura	> 20 ^o F			

QUADRO: 7.2

A condutividade média, incluindo cerca de 300 valores determinados no campo, é da ordem de $87 \mu\text{mho/cm}$. O pH varia entre um mínimo de 4,8 e um máximo de 10,6, com cerca de 46,7 % das amostras apresentando pH inferior a 7.

Como as características químicas das águas subterrâneas dependem de uma série de fatores relacionados ao próprio aquífero, a análise dos resultados obtidos será realizada segundo as diferentes unidades hidrogeológicas.

7.1.1 Aquíferos Fraturados

No aquífero Bambuí, único com dados suficientes para um estudo sistemático, foram analisadas 36 amostras de água, sendo 29 de poços tubulares, 06 de poços manuais e 01 de fonte.

Segundo a classificação baseada no diagrama triangular (fig. 7.1), quase todas as águas analisadas enquadram-se no tipo bicarbonatada, com apenas 03 amostras apresentando tipos diferentes. Quanto aos sub-tipos químicos, em ordem decrescente, predominam as bicarbonatadas cálcicas, bicarbonatadas mistas e calco-magnesianas. Em menor proporção ocorrem as bicarbonatadas calco-sódicas, sódicas e magneso-sódicas. Na figura 7.4 estão representadas as frequências desses sub-tipos químicos.

A partir desses dados foi elaborado um mapa de distribuição dos sub-tipos de águas bicarbonatadas (fig. 7.5) para uma zona compreendida entre Córrego Danta e Bom Despacho. Nesta zona, destaca-se uma faixa de águas bicarbonatadas mistas, que evoluem no sentido do escoamento para uma fácies de águas bicarbonatadas calco-magnesianas, passando para bicarbonatadas cálcicas.

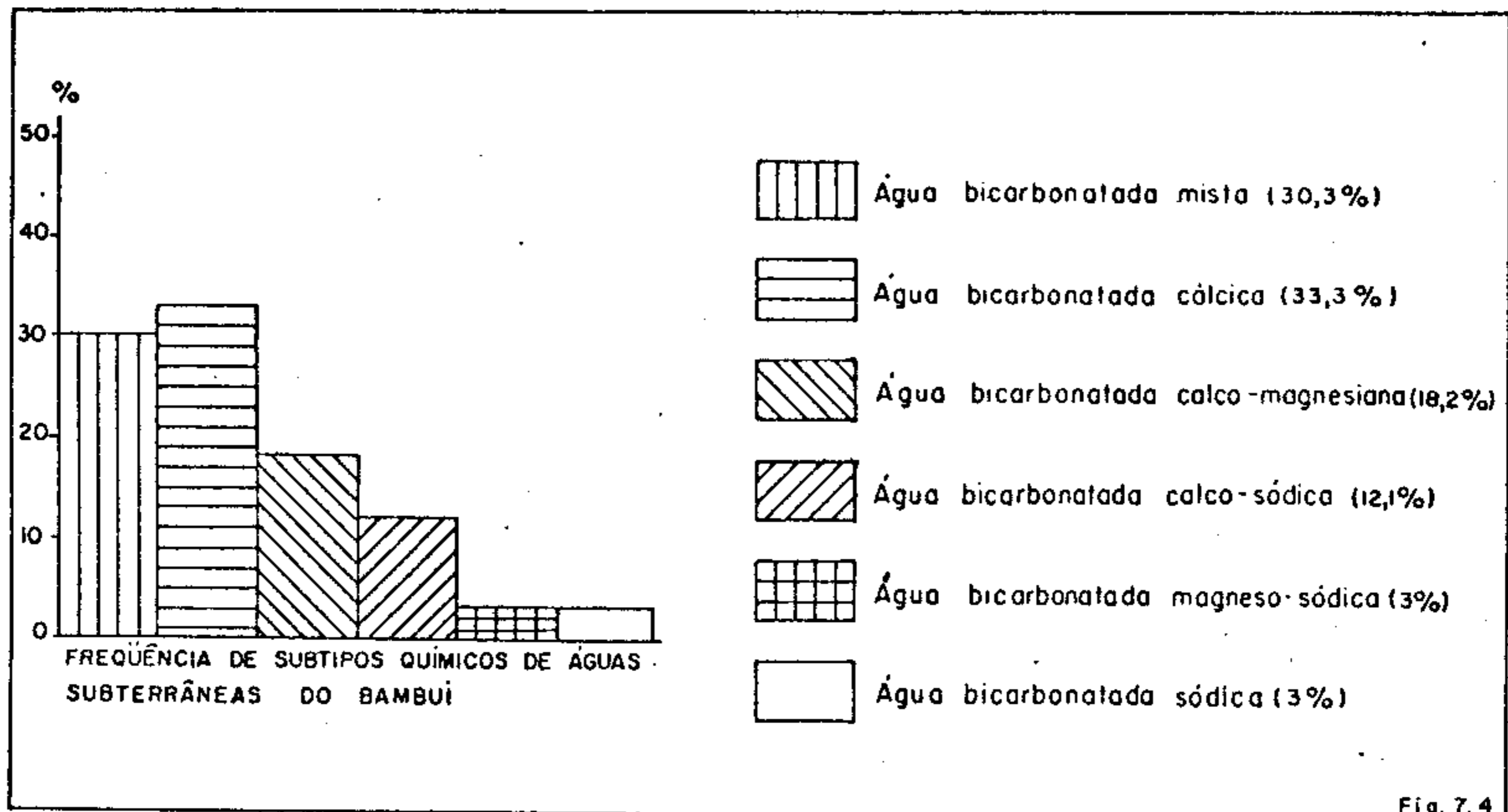


Fig. 7.4

De um modo geral, as águas do aquífero Bambuí apresentam pH muito variável, estando normalmente compreendido entre 5,1-8,4, sendo que cerca de 64% dos valores são iguais ou superiores a 7. Os valores de Cl são muito baixos, geralmente, inferiores a 7 mg/l. As concentrações de sulfato são também muito baixas, predominando valores inferiores a 3,8 mg/l. Ao contrário, os valores de HCO_3 são mais elevados, variando entre 30-200 mg/l. Pelos diagramas logarítmicos de Schoeller-Berkaloff (fig. 7.6 e 7.7) podemos observar que praticamente todas as águas do aquífero apresentam as mesmas características químicas, variando apenas a concentração.

Os resíduos secos são bastante baixos, de vez que o maior valor encontrado é de 244 mg/l, ficando a média em torno de 102 mg/l. Cerca de 80% das análises têm valores inferiores a 150 mg/l e somente 2,8% ultrapassam valores de 210 mg/l.

Embora o número de dados disponíveis seja in

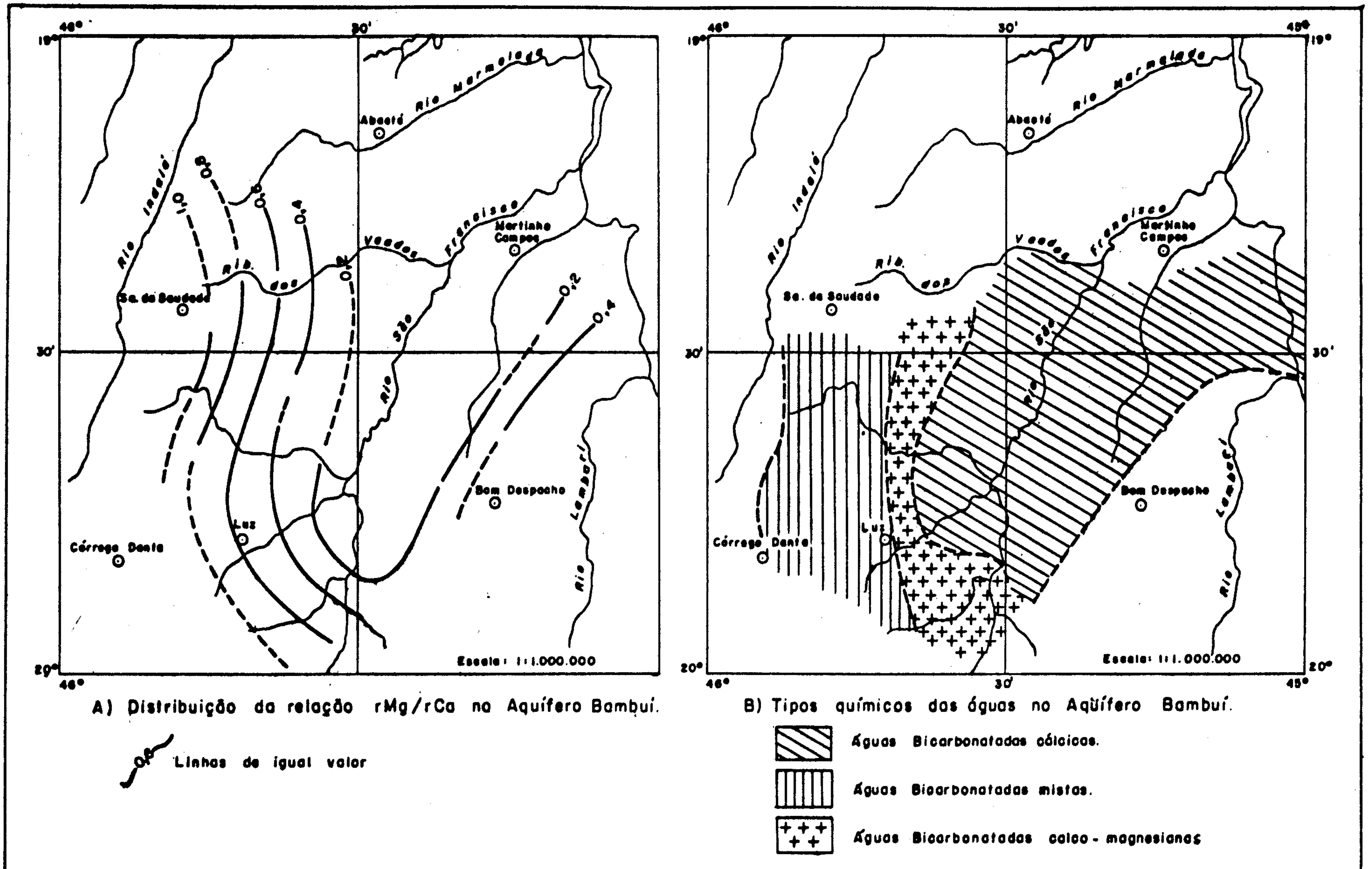
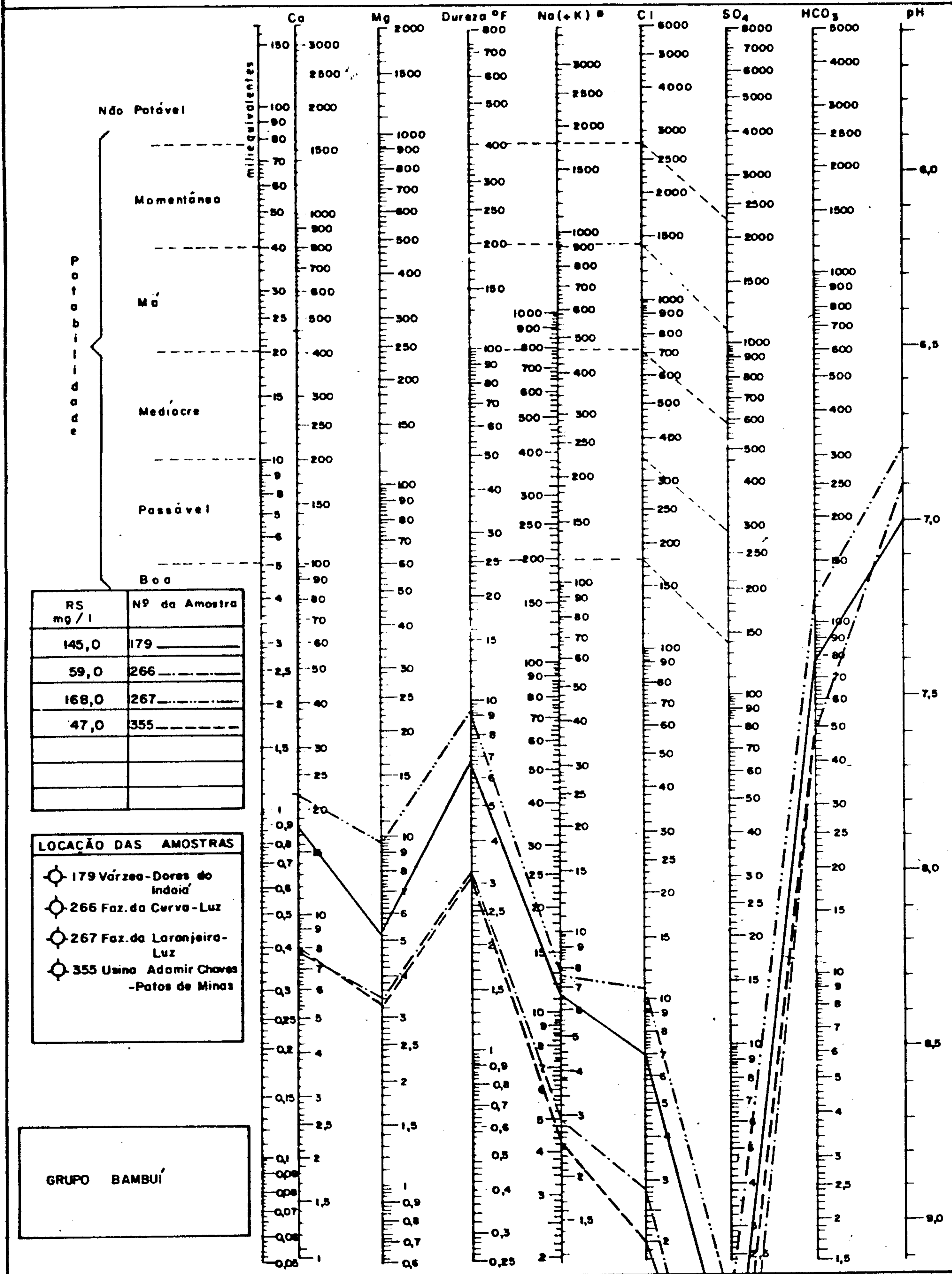


Fig. 7.5

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA

TEORES EM MILIGRAMAS POR LITRO

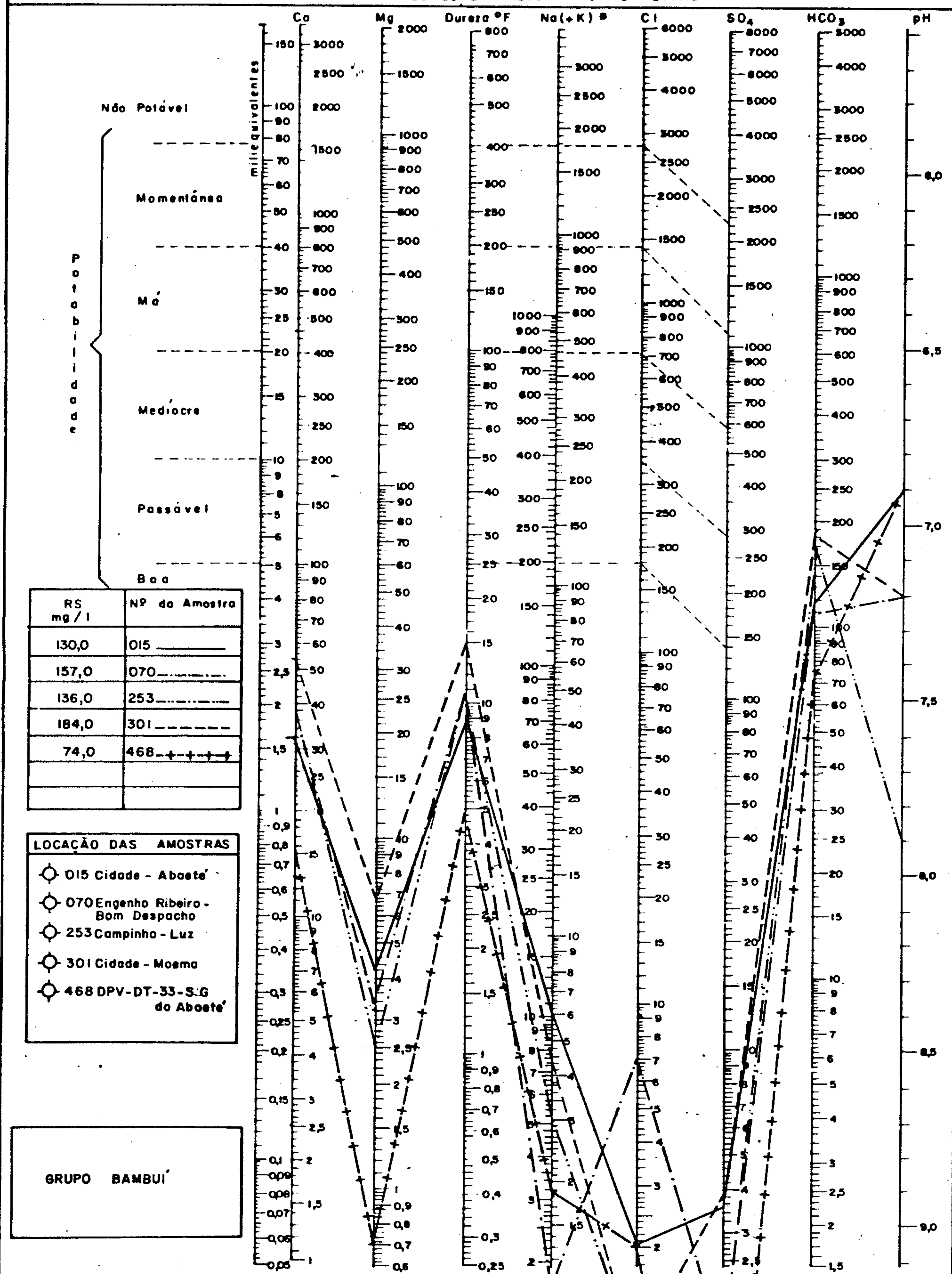


⊙ Na (+K) transformar K em equivalente Na e somar

Fig. 7.6

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA

TEORES EM MILIGRAMAS POR LITRO



Na (+K) transformar K em equivalente Na e somar

Fig. 7.7

suficiente para a elaboração do mapa de isoteores de resí
duos secos, podemos dizer, que a grosso modo, existe uma
distribuição dos seus valores consoante à circulação das á
guas, estando os menores valores nas zonas de recarga. Este
fato pode ser observado na região de Córrego Danta-Bom
Despacho, na margem esquerda da bacia do rio São Francisco.
Para essa mesma região, foi elaborado o mapa de isolinhas
das variações da relação rMg/rCa (fig. 7.5). Neste mapa
observa-se que as águas subterrâneas do aquífero Bambuí, pa
ra essa região, apresentam um aumento do Ca sobre o Mg no
sentido do escoamento das águas. Parece bem provável que a
maior parte desses valores, próximos ou inferiores a 1, es
tejam associados a uma forte influência de terrenos calcá
rios com reduzida influência de componentes dolomíticos, o
que evidencia um zoneamento químico bem marcado das águas
do aquífero Bambuí, quanto a razão rMg/rCa .

Quanto a dureza das águas, cerca de 91,7% das
amostras analisadas apresentaram valores inferiores a $12^{\circ}F$,
o que as classifica em águas de "muito moles" a "moles" se
gundo Klut Olzewski.

Os grupos menores de água subterrânea, repre
sentados pelas cloretadas, bicarbonatadas cloretadas e clo
retadas bicarbonatadas, não têm nenhuma importância numérica
no conjunto.

Na zona cárstica da área (região de Vazante-La
gamar) foi coletada uma amostra de água de poço profundo,
cujos resultados indicam água bicarbonatada magneso-cálcica.
É uma água alcalina, com pH igual a 8,8 e dureza da ordem de
 $19^{\circ}F$.

De quatro (4) amostras coletadas no aquífero

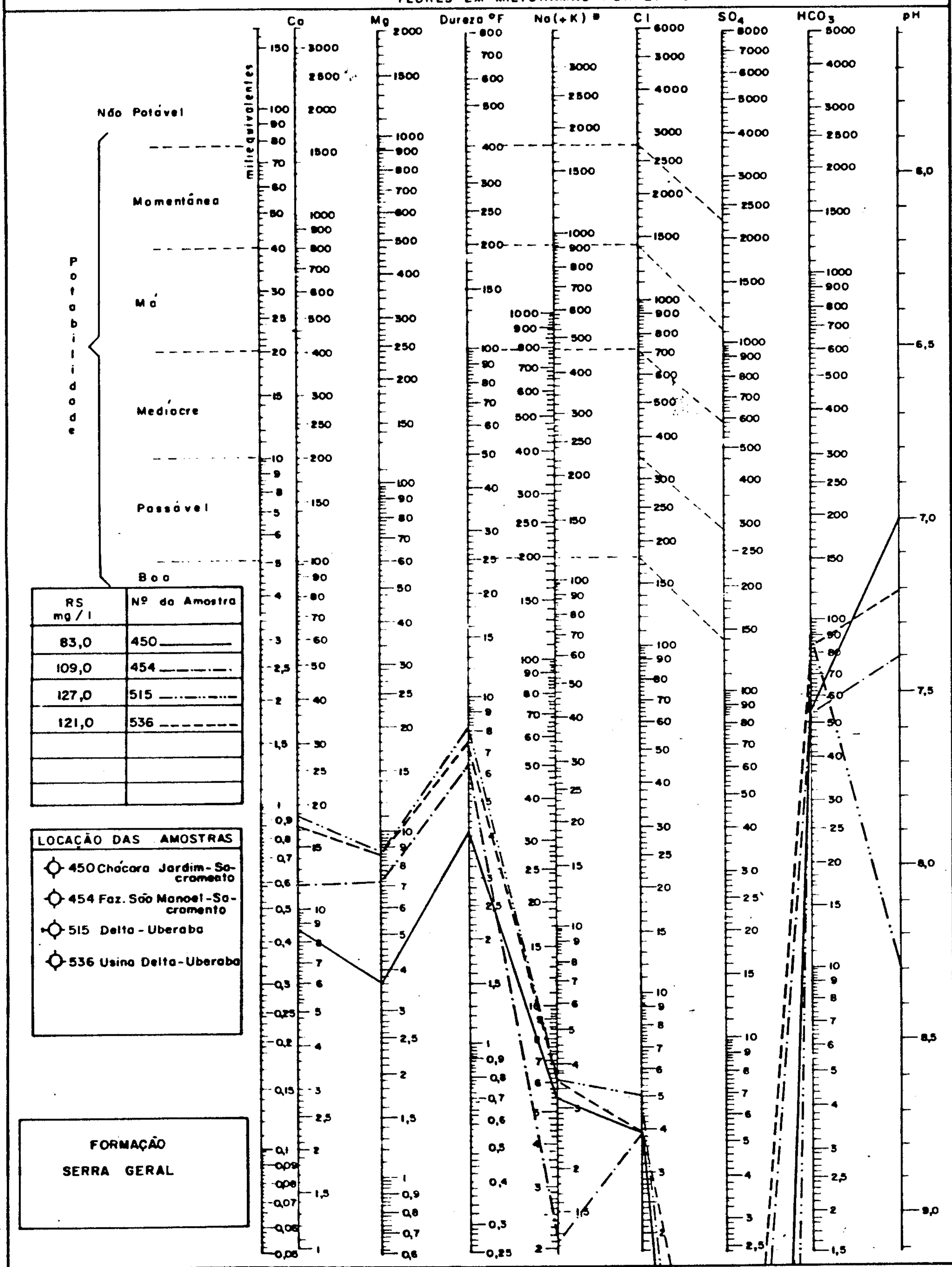
Serra Geral, foram determinadas 03 (três) águas bicarbonatadas calco-magnesianas e uma bicarbonatada magnesio-cálcica (fig. 7.1). Estes dois sub-tipos estão representados na fig. 7.8, com seus respectivos valores de resíduo seco (83 a 127 mg/l); pH de 7 a 8,3 e dureza de 4,1 a 8^oF. São, portanto, águas de boa qualidade.

Nas áreas onde os poços profundos captam água do sistema aquífero Bauru/Serra Geral foram coletadas e analisadas quatro amostras d'água. A classificação pelo diagrama triangular (fig. 7.2) indicou os 3 sub-tipos seguintes: Bicarbonatada cálcica (2), bicarbonatada calco-magnesiana e bicarbonatada cloretada calco-magnesiana. Representam águas "muito moles" com dureza inferior a 4^oF e pH normalmente superior a 6. Nesse sistema (fraturado/granular), o valor médio do resíduo seco (55 mg/l) mostra a tendência das águas a obter uma salinização intermediária entre os valores apresentados, individualmente, por cada aquífero. As quantidades de cloretos e sulfatos são inferiores a 4 mg/l. No diagrama logarítmico de Schoeller-Berkaloff da fig. 7.9 estão representadas as características químicas dessas águas.

Na Associação Barbacena/Paraíba do Sul foram coletadas 10 amostras de água entre as quais foram identificadas 08 (oito) bicarbonatadas e 02 (duas) cloretadas (fig. 7.1). A tendência desse sistema aquífero é mostrar grande variação na composição das águas, não raro em áreas relativamente próximas, devido as características do próprio sistema, onde a circulação e as condições de renovação da água são extremamente variáveis. Entretanto, na região estudada, o caráter químico geral dessas águas não diverge muito daqueles encontrados para os demais aquíferos fraturados.

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA

TEORES EM MILIGRAMAS POR LITRO



RS mg/l	Nº da Amostra
83,0	450 _____
109,0	454 _____
127,0	515 _____
121,0	536 _____

- LOCAÇÃO DAS AMOSTRAS**
- ⊙ 450 Chácara Jardim-Sacramento
 - ⊙ 454 Faz. São Manoel-Sacramento
 - ⊙ 515 Delta-Uberaba
 - ⊙ 536 Usina Delta-Uberaba

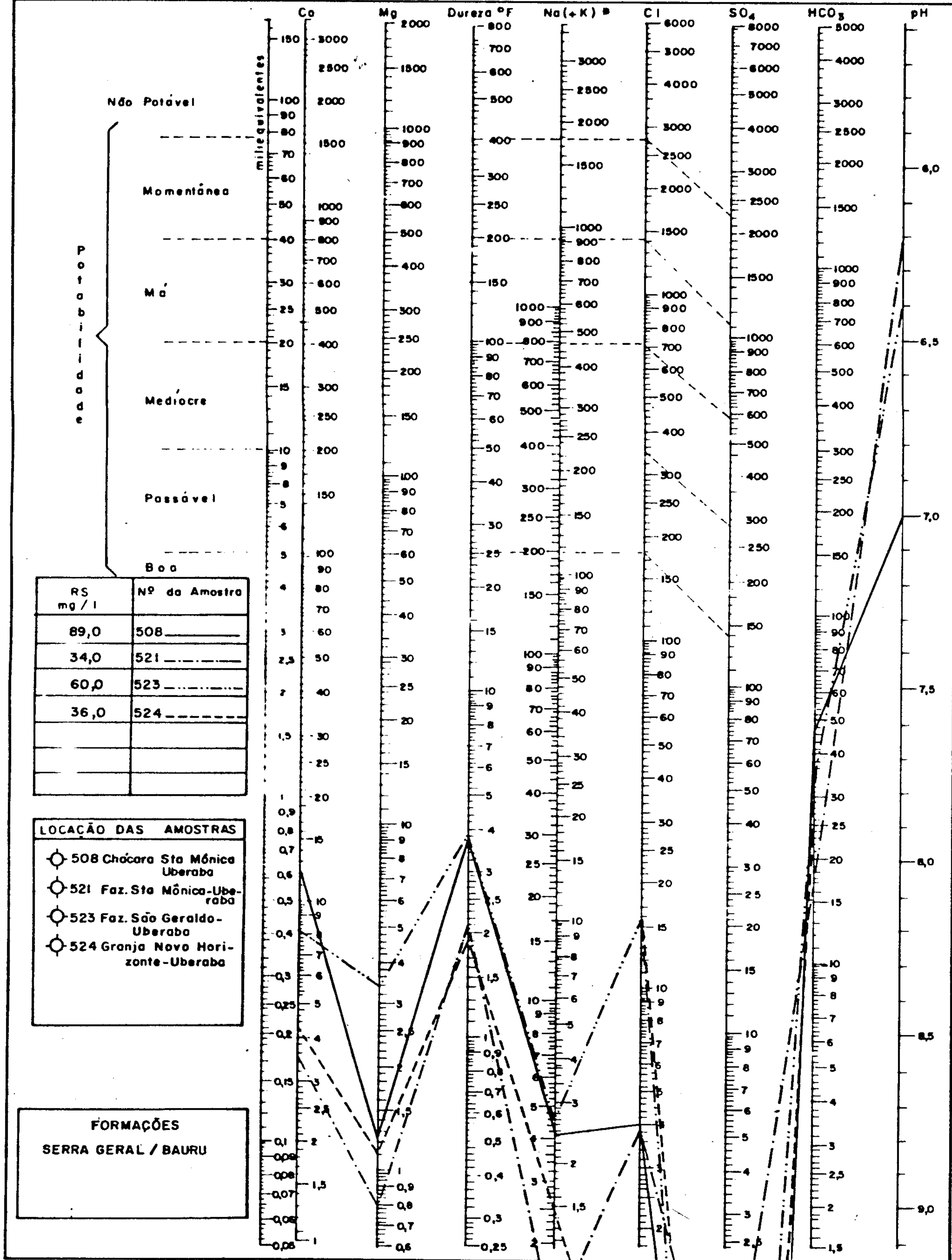
FORMAÇÃO
SERRA GERAL

⊙ Na (+K) transformar K em equivalente Na e somar

Fig. 7.8

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA

TEORES EM MILIGRAMAS POR LITRO



⊕ No (+K) transformar K em equivalente Na e somar

Fig. 7.9

Os valores de resíduo seco variam entre 33-364 mg/l, apresentando um valor médio de 109 mg/l. O pH varia de 5,9 a 8, e a dureza de 1,1-4,8^oF, sendo que o valor 17,7^oF encontrado para o poço manual BHSO-108 corresponde a água de maior quantidade de sais dissolvidos (364 mg/l). No diagrama logarítmico da fig. 7.10, onde estão representados alguns tipos dessas águas, podemos observar a boa qualidade química das mesmas.

Sem expressão regional na área, encontra-se a Chaminé Alcalina de Serra Negra, onde são conhecidas as fontes de águas minerais utilizadas no balneário de mesmo nome. São águas bicarbonatadas sódicas (fig. 7.2), alcalinas e com dureza inferior a 7,5^oF. A amostra BHSO-382 apresenta resíduo seco elevado (5.536 mg/l), com os ions Na, K e HCO₃ apresentando valores superiores a 1.690 mg/l. As quantidades de sulfatos e cloretos é de 200 mg/l e 147 mg/l, respectivamente.

7.1.2 Aquíferos Granulares

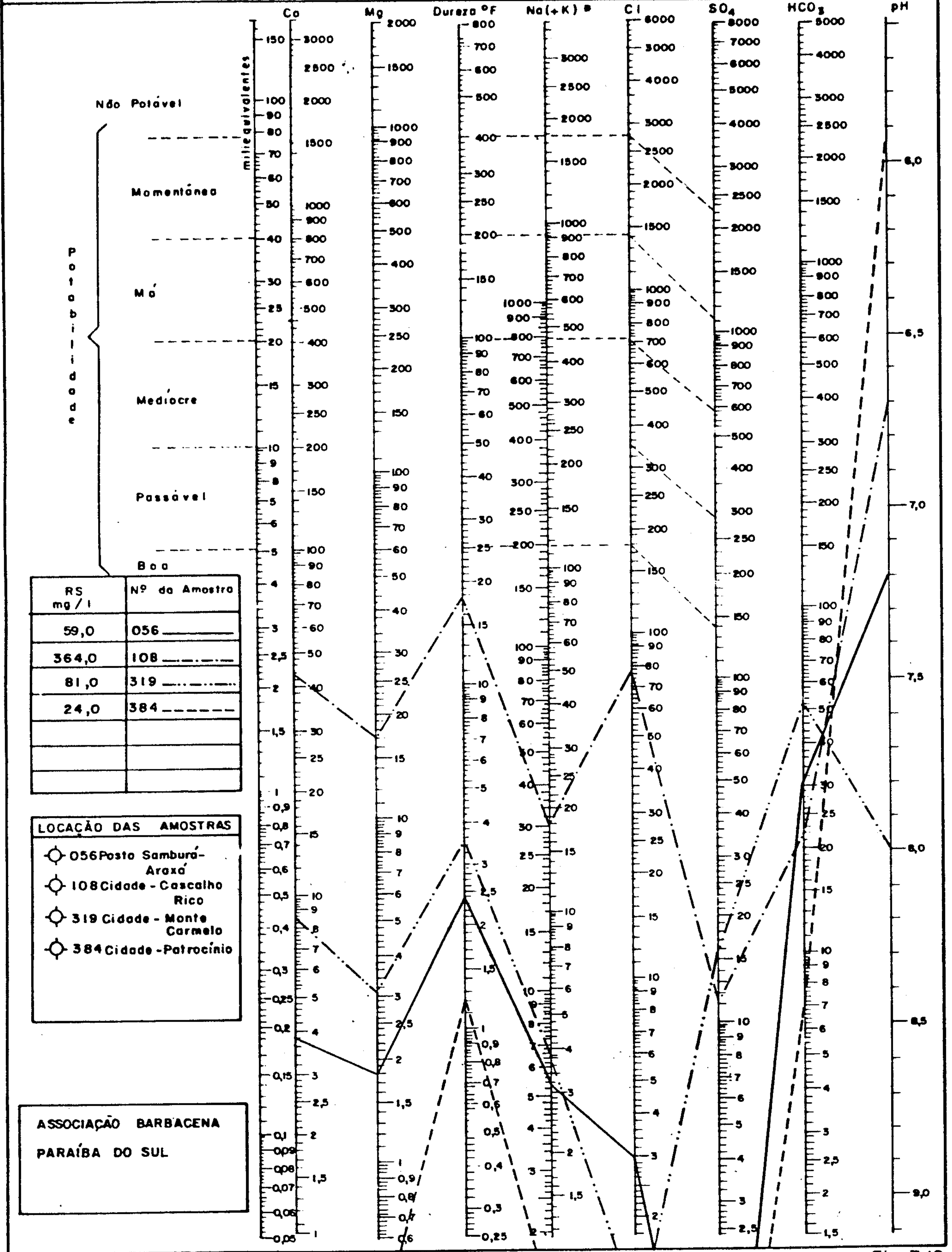
As águas contidas nos aquíferos granulares da área apresentam normalmente um caráter químico bem diferente das águas dos aquíferos fraturados.

Como veremos mais adiante, o número reduzido de dados não permitiu um estudo sistemático do comportamento hidroquímico desses aquíferos. Por este motivo, vimos aqui apenas dar uma idéia geral da qualidade dessas águas de grande importância no abastecimento rural e urbano.

No sistema aquífero Mata da Corda/Areado, foram determinados 04 sub-tipos químicos de água (fig. 7.3):

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA

TEORES EM MILIGRAMAS POR LITRO



* Na (+K) transformar K em equivalente Na e somar

Fig. 7.10

bicarbonatadas sódicas, bicarbonatadas cálcicas, bicarbonatadas calco-magnesianas e cloretadas bicarbonatadas cálcicas. De um modo geral, essas águas apresentam salinidade muito baixa, com valores entre 10 e 44 mg/l e média de 22 mg/l. São águas "muito moles", com dureza geralmente abaixo de $3,5^{\circ}\text{F}$, e pH entre 5 e 7 (fig. 7.11).

O rio Borrachudo tem sua vazão de base sustentada por fontes procedentes dos arenitos que compõem o sistema aquífero Mata da Corda/Areado. O caráter químico das águas desse rio é similar ao das águas subterrâneas dos arenitos, apenas um pouco mais concentradas em Cl.

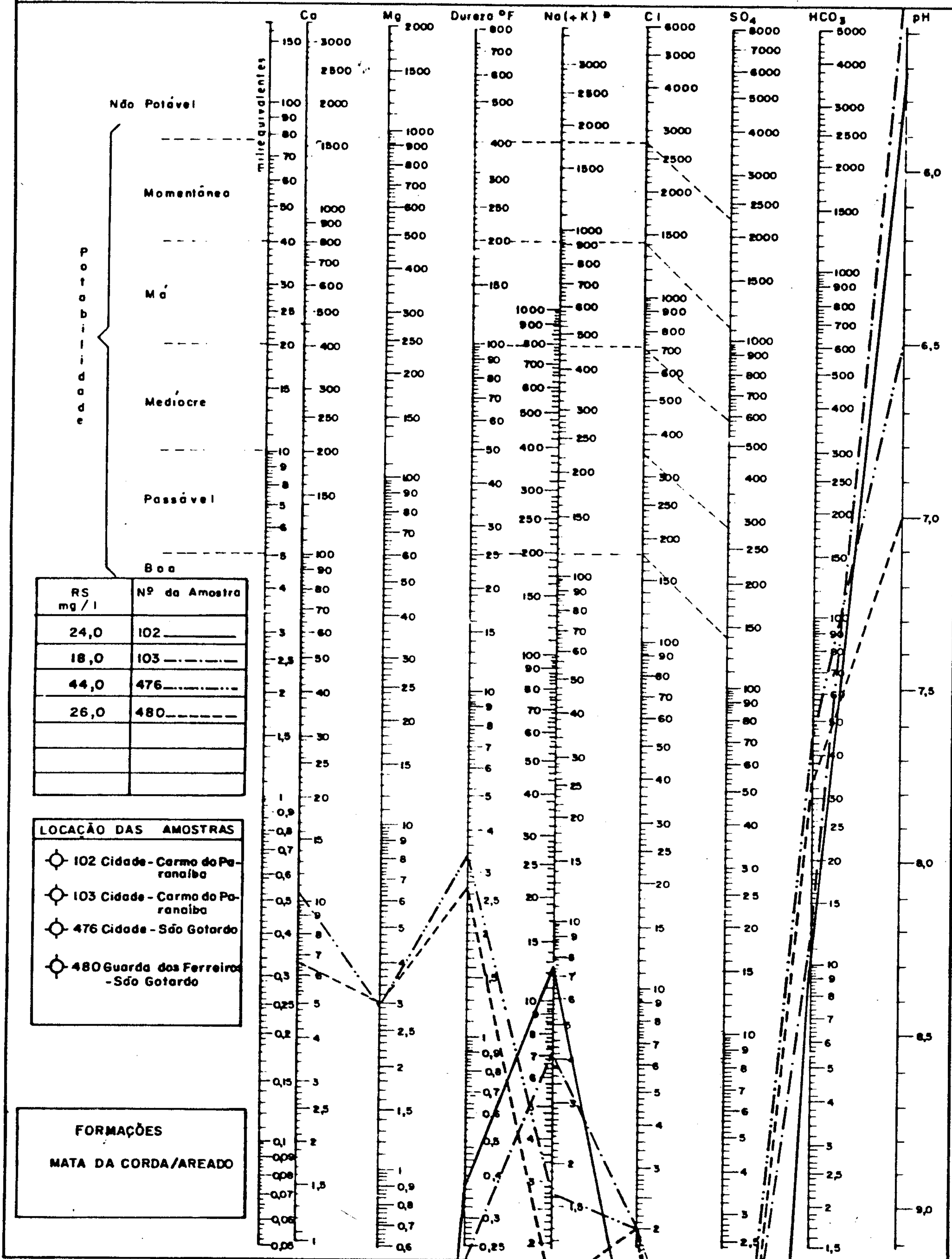
No aquífero Bauru, de seis (6) amostras d'água coletadas, foram determinados (fig. 7.3) os seguintes sub-tipos: bicarbonatada sódica, mista mista, sulfatada bicarbonatada cálcica, mista cálcica, bicarbonatada sulfatada sódio-potássica e bicarbonatada cálcica. São águas um pouco mais agressivas (pH entre 4,8 e 5,9) e menos salinizadas (média de 8 mg/l) que àquelas do sistema aquífero Mata da Corda/Areado.

As amostras BHSO-501 e 074 correspondem a dois poços tubulares perfurados, respectivamente, em sedimentos do Terciário-Quaternário da região de Três Marias e em aluviões do rio Piçã, em Bom Despacho. As águas analisadas foram classificadas como bicarbonatada mista e bicarbonatada cálcica (fig. 7.3). Como já é conhecido em áreas vizinhas, as águas desses tipos de aquíferos apresentam caráter químico muito semelhante ao dos aquíferos cretácicos.

7.2 Qualidade das Águas para Consumo Humano e de Animais

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA

TEORES EM MILIGRAMAS POR LITRO



* Na (+K) transformar K em equivalente Na e somar

Fig. 7.11

Quando se trata de exploração d'água para consumo humano, faz-se necessário determinar suas características químicas, físicas e bacteriológicas. Entretanto, no presente trabalho, levou-se em consideração apenas os resultados das análises físico-químicas, tendo em vista tratar-se de estudos de âmbito regional, em pequena escala, que servirão de base às pesquisas que surgirão posteriormente.

Baseado na composição química, principalmente nos valores de Na, Cl, SO_4 e da relação $Mg/12 + Ca/2$, em miligramas por litro, Schoeller estabeleceu uma classificação das águas para consumo humano, em: boas, passáveis, medíocres, más e momentâneas. Admitindo essa classificação, e utilizando os diagramas logarítmicos de Schoeller-Berka loff representados nas figuras de 7.6 a 7.11, para cada aquífero, pode-se fazer algumas apreciações sobre a potabilidade das águas subterrâneas da área em estudo.

Na zona dos aquíferos fraturados as águas são potáveis, estando incluídas na categoria de boas, exceção feita à amostra BHSO-382 coletada numa das fontes da chaminé alcalina de Serra Negra, cujo resíduo seco (5.536 mg/l) e teor de Na (2.202 mg/l) estão dentro e acima, respectivamente, da categoria de potabilidade momentânea; todavia, esta água representa condição muito local.

Como nos aquíferos granulares as águas estão compreendidas totalmente na categoria de boas, podemos concluir que no conjunto da área em estudo, as águas são de excelente qualidade química, podendo ser utilizadas para o consumo humano e de animais, sem qualquer restrição.

7.3 Qualidade das Águas para Irrigação

Os limites de salinidade das águas para irrigação não podem ser rigorosamente estabelecidos, isto porque, existe uma grande variação de tolerância de salinidade entre as diferentes plantas, e a adequação das águas depende da natureza do solo, do clima, das condições de drenagem e dos métodos de irrigação.

Tendo em vista que o presente estudo se dedica exclusivamente às águas subterrâneas, trataremos apenas das características químicas das águas no aspecto mais restrito, ignorando-se os demais condicionamentos.

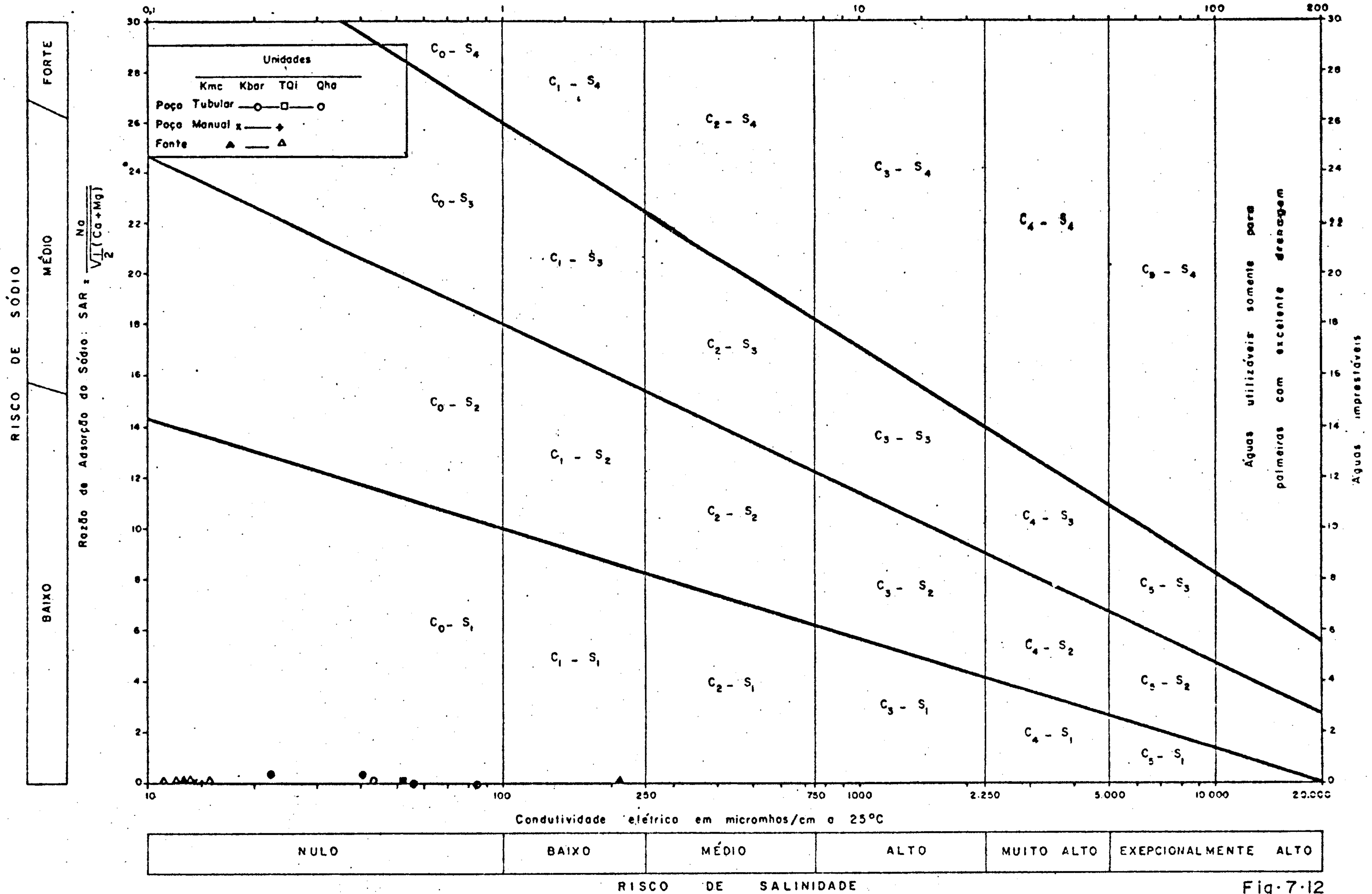
Baseados nos valores de condutividade (C), em micromhos por centímetro, e na razão de adsorção de sódio (SAR), o "U.S. Salinity Laboratory" estabeleceu uma classificação de águas para irrigação, em 5 e 4 categorias, representadas pelos símbolos C_0 , C_1 , C_2 , C_3 , C_4 e S_1 , S_2 , S_3 e S_4 , respectivamente.

Conforme essa classificação, e utilizando o gráfico da figura 7.12, constata-se que 15 das 16 amostras d'água coletadas na zona sedimentar são da categoria C_0-S_1 . São águas de salinidade fraquíssima, fracamente sódicas, podendo ser utilizadas sem restrição para irrigação. Apenas uma amostra pertence à categoria $C_1 - S_1$, representando águas de salinidade fraca, fracamente sódicas, utilizáveis para a maioria das culturas e para quase todo tipo de solo, com pequeno risco de salinização. Apesar do pequeno número de amostras, podemos afirmar que as águas da zona sedimentar são de ótima qualidade para a irrigação.

Na zona dos aquíferos fraturados, conforme se constata nos gráficos das figuras 7.13 e 7.14, 49,1% das 57 amostras de água analisadas são da categoria $C_0 - S_1$ e

CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS PARA IRRIGAÇÃO

Concentração total de cátions em miliequivalentes por litro



CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS PARA IRRIGAÇÃO

Concentração total de cátions em miliequivalentes por litro

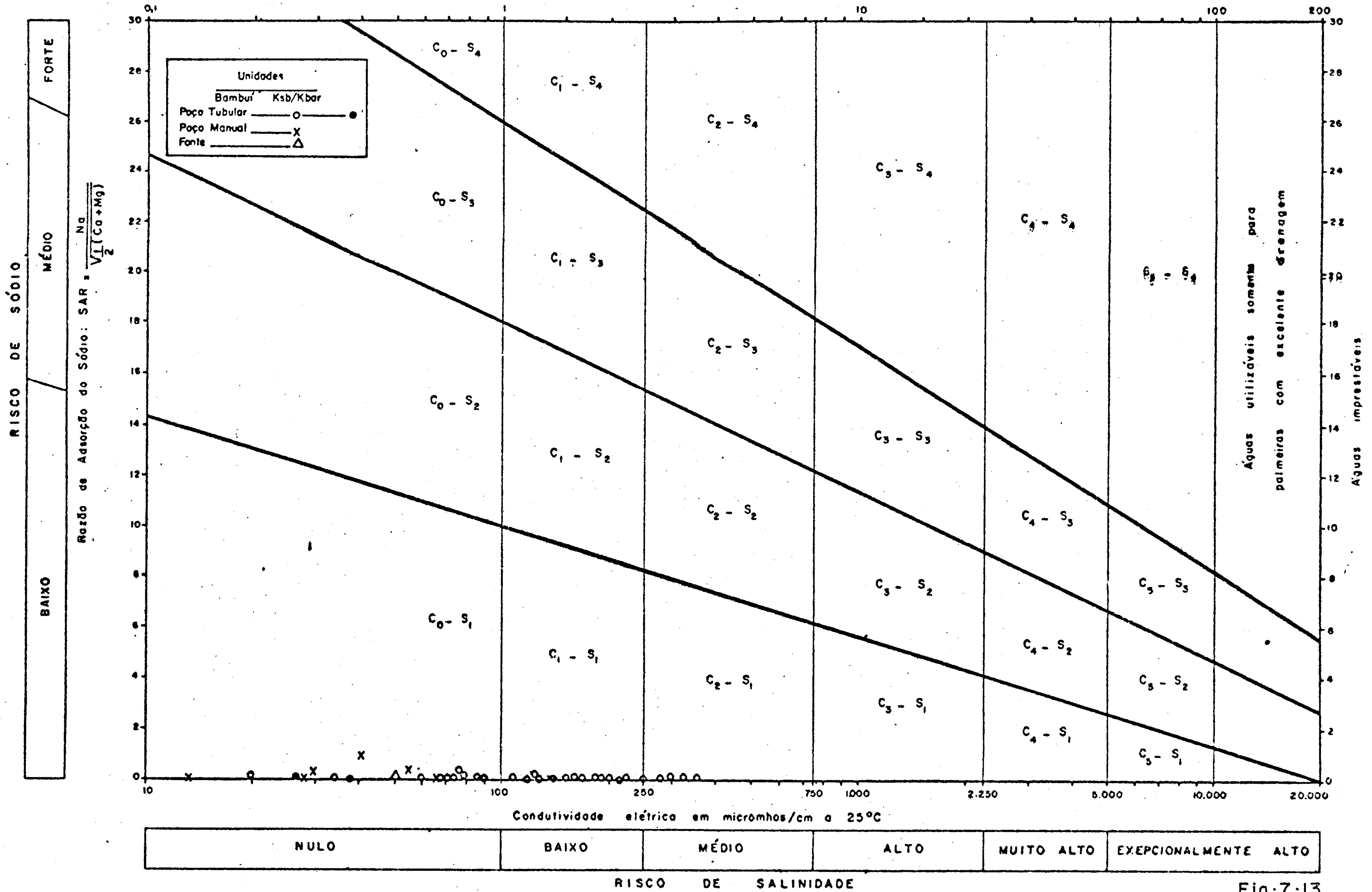


Fig. 7-13

CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS PARA IRRIGAÇÃO

Concentração total de cátions em miliequivalentes por litro

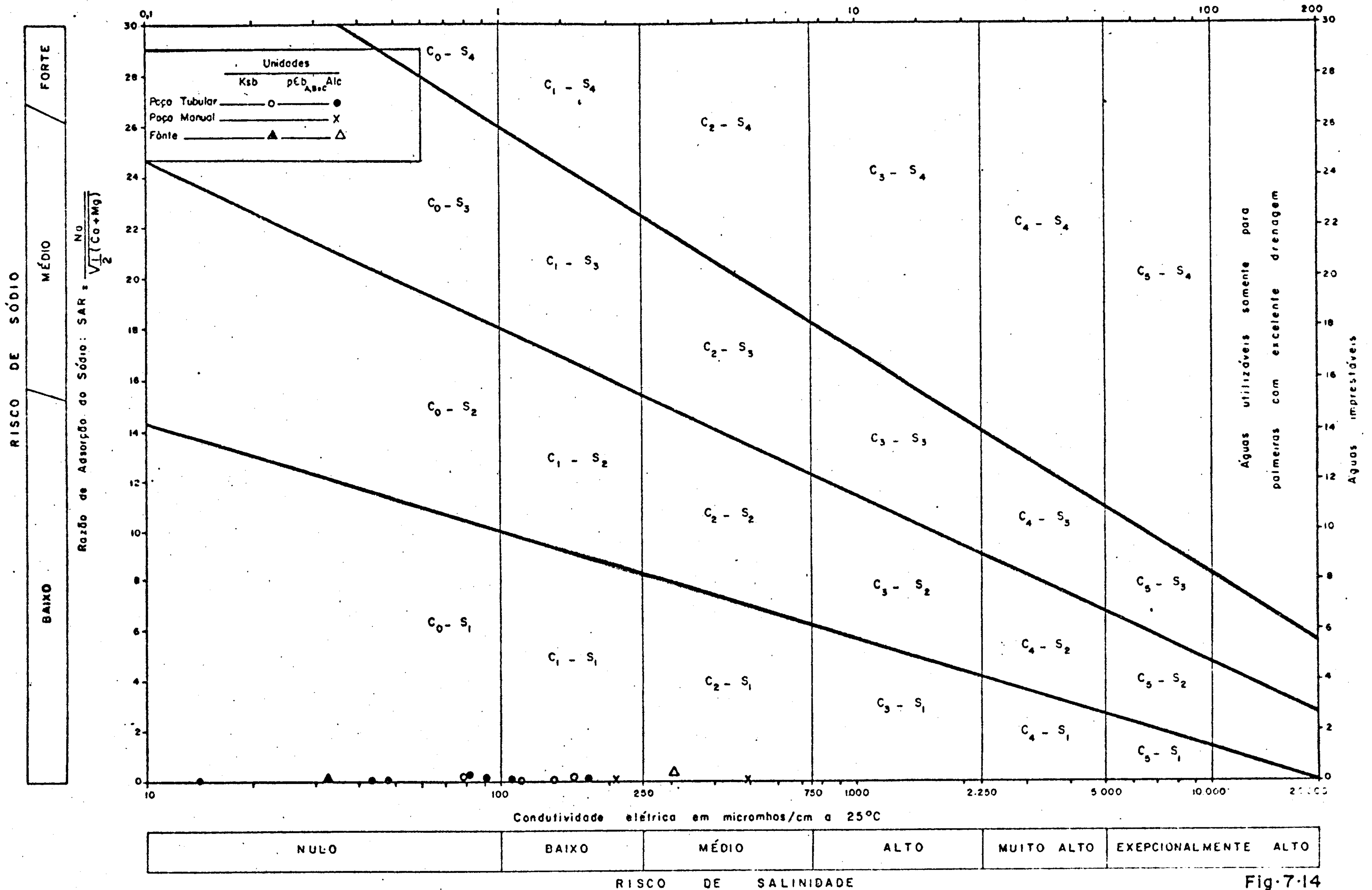


Fig. 7-14

35,1% da $C_1 - S_1$. As amostras restantes representam águas da categoria $C_2 - S_1$, de salinidade média, fracamente sódica, podendo ser utilizadas para plantas de tolerância salina moderada. A tendência das águas dos aquíferos Serra Geral e Bambuí, no caso particular da área, é concentrar-se na categoria $C_1 - S_1$.

Com exceção da Amostra BHSO-382 (veja item 7.2), não incluída na classificação, podemos observar uma predominância total de águas fracamente sódicas, que podem ser utilizadas em quase todos os solos com reduzida probabilidade do aparecimento de teores nocivos de sódio susceptível de troca.

Quanto à salinidade, entretanto, apenas 15,8% pertence à categoria $C_2 - S_1$, de risco de salinidade média.

Concluindo, podemos afirmar que, de um modo geral, as águas subterrâneas da área em estudo, são de ótima qualidade para a irrigação.

8. CONDIÇÕES DE EXPLORAÇÃO E DEMANDA

8.1 Possibilidades de Exploração

A utilização dos recursos de água subterrânea está condicionada a uma série de fatores econômicos e técnico-científicos, dentre os quais se destacam os de natureza hidrogeológica seguintes:

- profundidade de captação
- profundidade dos níveis d'água
- capacidade de produção dos poços
- qualidade química das águas

A seguir, serão analisadas as implicações de cada um desses fatores no comportamento hidrogeológico dos aquíferos existentes na área.

8.1.1 Profundidade de Captação

A profundidade de captação das águas subter_urâneas dos aquíferos fraturados por poços profundos, depen_ude, principalmente, do desenvolvimento das juntas e fraturas em profundidade.

No caso do aquífero Bambuí, os dados bibliográficos consultados (Projeto Hidrogeologia do Norte de Minas Gerais e Sul da Bahia, 1977 ; A. Braz, 1972 e Oesa, 1974) indicam que as fraturas e cavidades limitam-se geralmente a profundidades não superiores a 80-100, a partir da qual apresentam-se "regeladas", impossibilitando a circulação e o armazenamento de água subterrânea. Este fato, de certa forma, foi comprovado a partir dos registros de vazão, onde não se observa aumento de produção nos poços com profundida

des superiores a 80 metros. Por outro lado, as 36 entradas d'água registradas em 18 poços apresentam maior concentração no intervalo de 20-40 m, sendo que 86,1% das entradas d'água estão entre 10 e 60 m de profundidade e 97,2 % entre 10 e 80 m (fig. 6.2.F). Nestas condições, aconselha-se para os poços destinados a captação de água subterrânea desses aquíferos, uma profundidade máxima de 100 m. A partir desta profundidade, as probabilidades dos poços alcançarem entradas d'água são muito reduzidas, além do que as fraturas por acaso existentes a mais de 100 m apresentam pequena produção de água.

Quanto aos aquíferos constituídos pelas rochas cristalinas e cristalofilianas, a abertura e frequência das fraturas diminuem com a profundidade, sendo que a mais de 60 m as fissuras são diminutas e muito rarefeitas, salvo condições especiais relacionadas com problemas tectônicos muito localizados. No histograma da fig. 6.3A podemos observar que as 24 entradas d'água registradas em 9 poços não ultrapassam os 60 m, havendo maior predominância dos níveis de contribuição no intervalo de 10 - 40 m. No Nordeste, a possibilidade de uma perfuração captar uma fenda após os 60 m é de somente 10% (Leal, 1969 e 1971). Na área em estudo, devido às condições tectônicas e a existência de um manto de intemperismo geralmente espesso, é possível que a profundidade limite desses espaços abertos esteja por volta dos 120 m. Entretanto, com base na profundidade útil média encontrada para os poços inventariados (quadro 6.3) e nas considerações anteriores, podemos recomendar, para esses aquíferos, uma profundidade máxima de captação da ordem de 90 metros.

No aquífero Serra Geral, pelas características próprias dos derrames basálticos, os níveis de contribuição

de água podem ser encontrados em profundidades maiores que nos aquíferos anteriores, variando em função do grau de intercomunicação entre as fraturas tectônicas e as juntas de esfriamento desenvolvidas em cada derrame. Com base no conhecimento adquirido na região, e com certa cautela, podemos dizer que as condições mais favoráveis para se captar água subterrânea nesse aquífero são observadas nos primeiros 100 m de profundidade.

Nos aquíferos granulares não existem problemas de captação e as profundidades seriam determinadas pelas necessidades de água e pela espessura dos sedimentos no local.

No caso do aquífero Baurú, de um modo geral, os dados disponíveis indicam que poços com profundidades de até 80 m, podem atravessar o aquífero em toda a sua espessura, em qualquer ponto da área. O sistema Mata da Corda/ Areado pode apresentar espessura de até 150 m.

8.1.2 Profundidade dos Níveis D'água

As profundidades dos níveis estáticos da maior parte dos poços estão indicadas no catálogo de pontos d'água (anexo III).

Os aquíferos fraturados têm os seus níveis estáticos comandados pela topografia e pela configuração espacial das juntas e fraturas. Os aquíferos constituídos pelas rochas cristalinas e cristalofilianas apresentam os níveis estáticos médios mais baixos, em torno de 8 metros, (quadro 6.3). Por outro lado, o aquífero Serra Geral fornece valores de maior amplitude, variando de um nível positivo de cerca de 5 m até 82 m, para um valor médio de 29,2 m; nas

áreas cobertas pela Formação Bauru, cerca de 77% dos poços apresentam valores iguais ou inferiores a 15 metros. No aquífero Bambuí a tendência dos níveis estáticos é situar-se a baixo da média (13,3 metros), sendo raros os valores superiores a 30 m.

Nos aquíferos Bauru e Mata da Corda/Areado, a profundidade do nível d'água está relacionada às formas topográficas. Assim na superfície tabular os níveis são mais profundos (média de 30 m) que nas superfícies reelaboradas, onde os níveis estão mais próximos à superfície (média de 10 m).

8.1.3 Capacidade de Produção dos Poços

A capacidade de produção dos poços depende não somente da transmissibilidade do aquífero, mas também das características de construção dos mesmos.

Nos aquíferos Bambuí e Serra Geral os valores de transmissibilidade obtidos variam de $0,4 \cdot 10^{-4}$ a $3,43 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, apresentando um valor médio de $1,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Os aquíferos cársticos, como característica hidrodinâmica forneceram um valor de transmissibilidade igual a $5,45 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Quanto aos aquíferos granulares somente o sistema Mata da Corda/Areado apresenta dados de testes de bombeamento. Nele, os valores médios encontrados foram da ordem de $2,47 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. O teste realizado no poço nº 525, que capta água do sistema Bauru/Serra Geral, forneceu valor da ordem de $3,91 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

Nos 148 poços inventariados nos aquíferos fraturados, as vazões obtidas apresentam um valor médio da ordem de $22 \text{ m}^3/\text{h}$, sendo que as melhores vazões médias cor

respondem ao aquífero Serra Geral ($39,3 \text{ m}^3/\text{h}$). Isto se deve graças às áreas anômalas situadas à margem do rio Grande, onde os poços apresentam vazões médias da ordem de $84 \text{ m}^3/\text{h}$. Fora dessa zona os valores médios para os fraturados é da ordem de $13,6 \text{ m}^3/\text{h}$, não havendo quase diferença de um aquífero para outro. Entretanto, o rebaixamento médio ($27,3 \text{ m}$) dos níveis d'água dos poços dos aquíferos Bambuí é inferior àqueles obtidos para os aquíferos Serra Geral ($37,4 \text{ m}$) e Barbacena/Paraíba do Sul ($34,5 \text{ m}$). Os valores mais elevados da vazão específica foram fornecidos pelo aquífero Bambuí ($2,8 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$) enquanto que os outros fraturados forneceram valores da ordem de $0,8 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$.

Nos 15 poços perfurados no sistema aquífero Mata da Corda/Areado, as vazões obtidas variaram de $0,8$ a $60 \text{ m}^3/\text{h}$, com um valor médio de $18,6 \text{ m}^3/\text{h}$. Para rebaixamentos do nível d'água da ordem de 17 m obteve-se uma vazão específica média de $4,20 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, sendo que cerca de 58% dos poços apresentam vazões específicas superiores a $1,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. No sistema Baurú/Serra Geral para rebaixamentos da ordem de 32 m , obteve-se uma vazão específica média de $0,8 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$.

8.1.4 Qualidade Química das Águas

Quanto a qualidade química, até a profundidade investigada as águas são boas para todos os usos.

8.2 Zonas mais Favoráveis para Exploração

A superposição de todos os critérios supracitados, permite, de certa forma, selecionar as zonas mais favoráveis à exploração das águas subterrâneas da área. Entretanto

to, nos aquíferos fraturados, onde a ocorrência de água é restrita às aberturas provocadas por esforços tectônicos, a determinação da extensão e profundidade dos sistemas de fraturas constitui uma das maiores dificuldades que se apresentam na sua prospecção e exploração, como veremos adiante.

8.2.1 Aquíferos Fraturados

Em virtude da extensão da área e do caráter regional dos estudos, não foi possível realizar uma investigação detalhada das zonas mais favoráveis desses aquíferos para a captação de água subterrânea. A nível regional pode-se, entretanto, fazer as seguintes observações:

No que se refere as rochas do Grupo Bambuí (com exceção da região compreendida entre Bom Despacho e Três Marias), quase toda sua área de ocorrência corresponde às chamadas Zonas Marginais de Deformação, onde as rochas se apresentam, em sua maioria, bastante movimentadas tectonicamente, com dobras, falhas e sistemas de fraturas bem desenvolvidas. Nestas áreas, os poços que apresentam maiores vazões específicas estão relacionados a esses aspectos estruturais, e situados nos pontos mais baixos da topografia regional. Embora as zonas com mantos de alteração espessos apresentem importância fundamental na realimentação dos sistemas de fendas, na área em apreço, elas devem ser evitadas na perfuração dos poços. O manto quase sempre se apresenta argiloso, e conseqüentemente, com pequena transmissibilidade. Na região de Luz, por exemplo, onde os poços profundos atravessam espessuras da ordem de 70 metros (BHSO-247, 275, 278 etc) as vazões médias obtidas ($4 \text{ m}^3/\text{h}$) são muito baixas em relação ao contexto geral do aquífero ($14 \text{ m}^3/\text{h}$).

Quanto as rochas da Associação Barbacena/Paraiba do Sul, as melhores vazões estão relacionadas aos Complexos - B e C, onde é certamente grande a contribuição de camadas quartzíticas (regiões de Catalão, Patrocínio e Araxá).

Na região ocupada pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral, as zonas mais favoráveis são aquelas situadas à margem do rio Grande, onde à profundidades menores de 100 m são obtidas vazões jorrantes de até $230 \text{ m}^3/\text{h}$.

Na área de ocorrência de rochas carbonáticas (aquíferos cársticos), por falta de dados, mas com base nas observações de campo e na fotointerpretação de zonas cársticas, nos limitamos a indicar as zonas de dólinas (principalmente as bordas) como as de maiores possibilidades de água subterrânea.

8.2.2 Aquíferos Granulares

Os aquíferos Bauru e Mata da Corda/Areado, destacam-se como os melhores aquíferos granulares da área em termos regionais. Neles as zonas mais favoráveis para exploração de poços profundos são aquelas onde apresentam grande expressão em área ou onde a bacia de deposição apresenta de pressões favoráveis (neste caso seria necessário uma investigação geofísica). Todavia, as chapadas com cotas elevadas apresentam a desvantagem de um nível freático profundo.

Nesses aquíferos as melhores produtividades de poços foram obtidas nas regiões de Carmo do Paranaíba e São Gotardo, com uma vazão média da ordem de $37 \text{ m}^3/\text{h}$ e rebaixamento em torno de 17 m.

De um modo geral, esses aquíferos são pouco explorados por poços tubulares, sendo intensivo, entretanto, o aproveitamento por poços manuais e fontes de encostas.

Os demais aquíferos, além de não apresentarem disponibilidade de dados, são pouco importantes em termos regionais.

8.3 Demanda e Uso Atual

Considerando as populações humana e animal projetadas para 1978, foi feita uma estimativa de demanda d'água e seu uso atual.

Para a demanda humana total foi admitido um consumo médio diário "per capita" nos municípios da área de 200 litros, valor que pode ser considerado razoável (é evidente que o consumo nas áreas rurais é bem menor). Mas os desvios da média são muito elevados e oscilam entre 300 litros diários "per capita" ou mais, em municípios como Uberaba, Patos de Minas e Araxá, e 50 litros diários no meio rural. Dessa maneira, para uma população de 970.000 habitantes foi estimada uma demanda total em torno de 69,8 milhões de metros cúbicos ao ano.

No cálculo das estimativas das necessidades de água para os animais, foi adotado a unidade animal padrão (UAP): 50 l/UAP/dia ou 18 m³/ano. Temos, então, para um rebanho de 2.900.000 cabeças, uma demanda da ordem de 52,2.10⁶ m³/ano.

A estimativa final, computando-se os valores médios encontrados para as necessidades de água das populações humana e animal, é da ordem de 122 milhões de metros

cúbicos por ano, o que corresponde a 9,5% das reservas subterrâneas exploráveis estimadas dos aquíferos Bambuí, Bauru e Mata da Corda/Areado.

A participação dos recursos hídricos subterrâneos no consumo total anual, a partir dos poços tubulares existentes na área, equivale a 8,2%, o que representa cerca de 10 milhões de metros cúbicos.

USO ATUAL DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Discriminação	Volume $10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$	% do volume explorado
Doméstico	7,60	76,1
Pecuário	1,30	13,1
Industrial	0,90	8,9
Irrigação	0,20	1,9
T O T A L	10,00	100,0

No quadro acima está indicada a produção média anual de água subterrânea dos poços tubulares inventariados, segundo sua distribuição por categoria.

A seguir tem-se um quadro resumo dos três últimos capítulos, onde estão representados os valores médios das características dos poços e dos principais aquíferos.

CARACTERÍSTICAS DOS POÇOS - ELEMENTOS E RESERVAS DOS AQUIFEROS

DISCRIMINAÇÃO	AQUIFEROS		
	BAMBUÍ	MATA DA CORDA/AREADO	BAURU/SERRA GERAL
Nº DE POÇOS	101	18	19
Profundidade (m)	88	77	99,5
Nível Estático (m)	13,3	12,2	20,7
Rebaixamento (m)	27,3	17,3	31,9
Vazão (m ³ /h)	14	18,6	10,6
Vazão Específica (m ³ /h/m)	2,84	4,2	0,8
Área (m ²)	26,85.10 ⁹	8,46.10 ⁹	6,5.10 ⁹
Volume Precipitado anualmente (m ³)	37,6.10 ⁹	11.10 ⁹	9,7.10 ⁹
Taxa de Infiltração (%)	0,68	8,8	0,75
T (m ² /s)	11,4.10 ⁻⁴	24,7.10 ⁻⁴	3,91.10 ⁻⁴
K (m/s)	-	4,1.10 ⁻⁶	-
S	2,68.10 ⁻⁶	1,10.10 ⁻⁷	-
Gradiente Hidráulico (m/k)	-	-	11,25
Volume de rocha Saturado (m ³)	2,15.10 ¹²	7,61.10 ⁹	-
Vazão de Escoamento Natural (m ³ /ano)	0,25.10 ⁹	0,96.10 ⁹	72,7.10 ⁶
Reserva Permanente (m ³)	0,41.10 ⁹	-	-
Reserva Periódica (m ³ /ano)	0,25.10 ⁹	0,96.10 ⁹	72,7.10 ⁶
Resíduo Seco (mg/l)	102	22	55

QUADRO: 8.1

9. CONCLUSÕES

Os objetivos a que se propôs alcançar o presente trabalho, podem ser considerados como cumpridos no que se refere ao conhecimento hidrogeológico da área.

Os resultados obtidos podem ser traduzidos através dos seguintes itens:

- Nas áreas ocupadas pelas rochas fraturadas, principalmente as do Grupo Bambuí, concentram-se as maiores reservas de água subterrânea da região. As rochas cretácicas sedimentares, apesar da facilidade que oferecem a infiltração, não apresentam condições topográficas favoráveis ao armazenamento de água subterrânea, permitindo um rápido escoamento da mesma (itens: 6.5.1.2.1 e 6.5.1.3.1). Desse modo, o potencial hídrico possível de extração é muito inferior àquele determinado a partir da taxa de infiltração das águas das chuvas.

- Os coeficientes de transmissibilidade obtidos nos ensaios de bombeamento realizados, e aqueles determinados em áreas contíguas, revelam em ordem decrescente de potencialidade, os aquíferos cársticos do Grupo Bambuí ($5,45 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$), sistema Mata da Corda/Areado ($2,47 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$), Bambuí ($1,14 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$), Serra Geral ($9,46 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$) e sistema Bauru/Serra Geral ($3,86 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$). Dos poços onde não foram realizados ensaios de bombeamento o estudo comparativo das vazões específicas indica a mesma ordem supracitada.

Entretanto, em termos regionais, os aquíferos cársticos não tem grande expressão hidrogeológica, devido às suas pequenas áreas de ocorrência. O mesmo acontecendo com os sistemas aquíferos Mata da Corda/Areado e Bauru/Serra

Geral, que apresentam as limitações citadas nos itens 6.5.1.2.1 e 6.5.1.3.1.

- A vazão de escoamento natural do aquífero Bauruí foi calculada em $250.10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, correspondendo a uma taxa de infiltração de 0,68% da precipitação média na área. Para o sistema Mata da Corda/Areado, o valor do escoamento natural é de $960.10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, sendo a taxa de infiltração correspondente a 8,8 %; e para o sistema Bauruí/Serra Geral foi calculado um escoamento natural igual a $73.10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ (item 6.6.3).

- Uma estimativa das reservas de água subterrânea forneceram os seguintes valores:

Aquífero Bauruí:

Volume de rocha saturada	$2.150.10^9 \text{ m}^3$
Reserva Permanente	$0,41.10^9 \text{ m}^3$
Reserva explorável	$0,25.10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$

- Sistema Aquífero Mata da Corda/Areado:

Volume de rocha saturada	761.10^9 m^3
Reserva periódica	$0,96.10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$

- Sistema Aquífero Bauruí/Serra Geral

Reserva periódica	$0,07.10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$
-------------------	------------------------------------

- O consumo d'água atual pelas populações humana e animal corresponde a cerca de 9,5% das reservas subterrâneas exploráveis.

- O estudo comparativo das condições de exploração dos aquíferos, indica que a exploração do sistema Mata da Corda/Areado e Bauruí pode ser feita de modo mais econômico do que a dos outros aquíferos, entretanto, não se pode esperar deles volumes consideráveis de descarga.

- No que se refere a qualidade química, as águas são

todas de baixo grau de salinização, com um resíduo seco
médio da ordem de 87 mg/l. As águas bicarbonatadas predomi
nam numa proporção de 83,6%. As águas são excelentes para
o consumo humano e animal e para o uso na irrigação.

10. BIBLIOGRAFIA

ÁGUAS subterrâneas e poços tubulares. Curitiba, UFPr, 1969, 392 p.

ALMEIDA, F. F. M. & BARBOSA, O - Geologia das Quadrículas de Piracicaba e Rio Claro, Estado de São Paulo, Rio de Janeiro, DNPM, 1953. (BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Divisão de Geologia e Mineralogia, boletim, 143).

BARBOSA, O - Água subterrânea em Bambuí, Luz e Curvelo, Minas Gerais. Mineração e Metalurgia, Rio de Janeiro, 4(21): 132 - 138, set/out. 1939.

_____ - Água subterrânea em Minas Gerais. Rio de Janeiro, DNPM, 1940. 45 p. (BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Divisão de Fomento da Produção Mineral, avulso, 43).

_____ - Exploração de água subterrânea no Brasil. Sociedade de Intercâmbio Cultural e Estudos Geológicos, Ouro Preto, 5: 85 - 102, 1964.

_____ - Guia das excursões do IX Congresso da Sociedade Brasileira de Geologia, noticiário nº 3. São Paulo, SBG, 1955.

_____ - "Simpósio das formações Eo-paleozóicas do Brasil; Série Bambuí". In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 19, Rio de Janeiro, 1965. Anais do... Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Geologia, 1965. 11 p.

BARBOSA, Octavio et alii - Geologia da região do Triângulo Mineiro. Rio de Janeiro, DNPM. 1970. 140 p. (BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Divisão de Fomento da Produção Mineral, boletim, 136).

BECKER, Bertha K - Aplicação de índices climáticos ao Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, 39 (4): 3 - 22, out/dez. 1968.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Meteorologia - Normais climatológicas (Mato Grosso - Goiás). Rio de Janeiro, 1969. v.5.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Meteorologia - Normais climatológicas (MG, ES, RJ e GB). Rio de Janeiro, 1969. v.3.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - Inventário das estações fluviométricas. Brasília, 1976. 192 p.

BRASIL. Ministério do Interior. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - Estudos de reconhecimento e estudos hidrogeológicos para aproveitamento integrado; região central da Bahia. Recife, s. ed, 1974. (Relatório inédito, SUDENE/CONESP).

BRASIL. Ministério do Planejamento e Coordenação Geral. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Censo agropecuário; Goiás. Rio de Janeiro, 1973. v.3.

BRASIL. Ministério do Planejamento e Coordenação Geral. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Censo demográfico; Goiás. Rio de Janeiro, 1973. v.1.

BRASIL. Ministério do Planejamento e Coordenação Geral. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Estimativa da população no Estado de Goiás. Goiânia, s. ed, 1975. (Relatório inédito IBGE) 5 p.

BRASIL. Ministério do Planejamento e Coordenação Geral. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística -

Sinótese preliminar do censo agropecuário - Mato Grosso - Goiás - Distrito Federal; censos econômicos de 1975. Rio de Janeiro, 1977.

BRASIL. Ministério do Planejamento e Coordenação Geral. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Censo demográfico; Minas Gerais. Rio de Janeiro, 1973. v.1.

BRAUN, Oscar P. G - "Contribuição a estratigrafia do Grupo Bambuí!" In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 22, Belo Horizonte, 1968. Anais do... Belo Horizonte, Sociedade Brasileira de Geologia, 1968 p. 155 - 166.

CARVALHO, Lopes J. de - Hidrogeologia e aspectos brasileiros de sua aplicação; ensaio de captação comparada - água superficial - água subterrânea, Belo Horizonte, Optimus Studio, 1957. 127 p.

CHADA Filho, Luiz - Água subterrânea em rochas pré-cambrianas do Nordeste, Água Subterrânea, Recife, 1(3): 21 - 32, 1965. graf.

CHAVES, Adamir Gonçalves et alii - Projeto Fosfato Cedro do Abaeté. Rio de Janeiro, s. ed, 1971. (Relatório inédito DNPM/CPRM, 1490). 67 p.

COMPANHIA MINEIRA DE ÁGUAS E ESGOTOS. Recursos hídricos. In: _____ - Estudo global de viabilidade técnica, econômica e financeira do Plano Estadual de Águas (PEAG - MG); relatório final. s. 1, (Relatório inédito COMAG / SERETE) v.3, t.2.

CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, Manuel R. - Hidrología subterrânea. Barcelona, Omega, 1976.

DAKER, Alberto - A água na agricultura; irrigação e drenagem

- gem. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1970. v.3.
- DIAGNÓSTICO hidrogeológico de Montes Claros, Minas Gerais; relatório final. Belo Horizonte, s. ed, 1974. (Relatório inédito COPASA/OESA) 2 v.
- ELEMENTOS de hidrogeologia prática. Recife, SUDENE, 1967. 372 p. (BRASIL. SUDENE. Divisão de hidrogeologia, série hidrogeologia, 13).
- ESTUDO de avaliação qualitativa e quantitativa dos recursos hidrológicos da área da Jaíba, M.G. Belo Horizonte, s.ed. 1975. (Relatório inédito FJP/RURALMINAS) 130 p.
- FISCHER, R. V - Proposed classification of volcanoclastic sediments and rocks. Geological Society of America Bulletin, Boulder, 72(9): 1409 - 1414, sep. 1961.
- FREYBERG, V - Resultado das pesquisas geológicas em Minas Gerais, Brasil. Trad. José Menescal Campos. Rio de Janeiro, s. ed, 1932. (Relatório inédito DNPM, 33).
- GALVÃO, M. Veloso - Regiões bioclimáticas do Brasil. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, 29(1): 3 - 36, jan/mar. 1967.
- GUIMARÃES, Maria Rita da S. & DUARTE, Aluizio C, ed- Geografia do Brasil; grande Região Leste. Rio de Janeiro, IBGE, 1965. v.5. série A.
- GUIMARÃES, P. F - Relatório da viagem aos municípios de Tiros e Patos de Minas (ocorrência de galena argentífera de Capelinha do Chumbo). Belo Horizonte, s. ed, 1964. (Relatório inédito METAMIG).
- HASUI, Y - "A Formação Uberaba em Minas Gerais". In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 22, Belo Horizonte, 1968. Anais do... Belo Horizonte, Sociedade Brasileira de Geolo

gia, 1968

HEM, J.D - Study and interpretation of the chemical characteristic of natural water - Geological Survey Water Supply; Paper, 1473: 3 - 21, 1959.

KING, Lester - A geomorfologia do Brasil Oriental. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, 18(2): 147- 265, 1956.

LADEIRA, Eduardo A - O cretáceo em Minas Gerais; mesa redonda. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25, São Paulo, 1971. Anais do... São Paulo, Sociedade Brasileira de Geologia, 1971. p. 15 - 30.

LADEIRA, E. A. & BRITO, O. E. A. - Contribuição a geologia do planalto da Mata da Corda. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 22, Belo Horizonte, 1968. Anais do... Belo Horizonte, Sociedade Brasileira de Geologia, 1968. p. 181-199.

LEAL, Antônio de Souza - Consideração sobre a circulação da água em rochas cristalinas e salinização em região árida; área piloto de Juazeiro/Curaçá-Bahia. Recife, SUDENE, 1969. 28 p. (BRASIL. SUDENE. Divisão de Hidrogeologia, série hidrogeologia, 24).

- Inventário Hidrogeológico básico do Nordeste, folha 19 Aracajú-NO. Recife, SUDENE, 1971, 242 p. (BRASIL. SUDENE. Divisão de Hidrogeologia, série hidrogeologia, 33).

LISBOA, J. M. A - Água subterrânea em Minas Gerais. In: BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional da Produção Mineral. Divisão de Fomento da Produção Mineral. Relatório da Diretoria; 1943. Rio de Janeiro, 1945. p.23 - 31.

LOGAN, J. - The interpretation of chemical analysis of wa

- ter. Recife, s. ed, 1965. (Relatório inédito USAID).96 p.
- MENEZES Filho, Nelson R. et alii - Projeto Três Marias; relatório final. Belo Horizonte, s. ed, 1977. (Relatório inédito DNPM/CPRM).
- MORAIS, Franklin de - Projeto hidrogeologia do Norte de Minas Gerais e Sul da Bahia; relatório final - folha Belo Horizonte-NE. -Belo Horizonte, s. ed, 1977. (Relatório inédito DNPM/CPRM). v.2.
- NIMER, Edmon - Clima. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Geografia do Brasil; região Centro-Oeste. Rio de Janeiro, 1977. v.4. p. 35 - 58.
- _____ - Clima. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Geografia do Brasil; região Sudeste. Rio de Janeiro, 1977. v.3. p. 51 - 89.
- REBOUÇAS, Aldo da Cunha - Recursos hídricos subterrâneos da Bacia do Paraná; análise de pré-viabilidade. (Tese. Liv. Doc., Inst. Geoc. Univ. São Paulo) São Paulo, s. ed,1976. 143 p.
- RIMANN, E - A kimberlita no Brasil. Annaes da Escola de Minas, Ouro Preto, 15: 27 - 32, 1917.
- SAD, João Henrique Grossi et alii - Formações cretáceas em Minas Gerais; uma revisão. Revista Brasileira de Geografia, São Paulo, 1(1): 2 - 13, 1971.
- SCHOELLER, H - Les eaux souterraines. Paris. Masson, 1962. 611 p.
- SEGUNDO plano integrado de desenvolvimento do Noroeste Mineiro (Planoroeste-2); hidrologia subterrânea. Belo Horizonte, s. ed, 1978. (Relatório inédito Ruralminas/CETEC).

SEGUNDO plano integrado de desenvolvimento do Noroeste Mi
neiro (Planoroeste-2), primeiro relatório; setor econômi
co. Belo Horizonte, s. ed, 1976. (Relatório inédito FJP/
Ruralminas). v.2.

SIQUEIRA, Luiz - Contribuição da geologia à pesquisa de á
gua subterrânea no Cristalino. Recife, s. ed, 1963. (Rela
tório inédito da Sudene) 51 p.

THORNBURY, William D - Principles of geomorphology. New
York, John Wiley, 1954. 618 p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR. Bureau of Recla
mation - São Francisco basin, reconnaissance appraisal
land and water resources. s. 1, s. ed, 1967.

WALTON, Willian C - Groundwater resource evaluation. New
York, McGraw-Hill, 1970. 664 p.

YASSUDA, E. R. et alii - Poços profundos; manual técnico;
subsídio para aplicação de normas. São Paulo, Edgard Blue
cher, 1965. 180 p.