


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

PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR
DO PARNAÍBA

SUBPROJETO HIDROGEOLOGIA
RELATÓRIO FINAL—FOLHA 17—RIO SÃO FRANCISCO—NO
VOLUME I
TEXTO

CLODIONOR CARVALHO DE ARAÚJO
JORGE LUIZ FORTUNATO DE MIRANDA

I96

	SUREMI
CPRM	
	AQUILO TÉCNICO
Relatório n.º	913
N.º do volume	2 v. 1-5

PHL
013027
2007



COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE RECIFE

PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA

SUBPROJETO HIDROGEOLOGIA

RELATÓRIO FINAL—FOLHA 17—RIO SÃO FRANCISCO—NO

VOLUME I

TEXTO

Chefia do Subprojeto : Francisco Aurélio Caetano da Silva

Equipe Executora : Antonio Reinaldo Soares Filho
Carlos Fernando Pinto Teixeira
Clodionor Carvalho de Aroujo
Fernando Antonio do Rêgo Barros
Francisco Aurélio Caetano da Silva
Jorge Luiz Fortunato Miranda

Equipe Auxiliar : Armando Arruda Câmara Filho
João Militão Martins Neto
José Ludjero Neto
Ney Gonzaga de Sousa

Colaboração Especial : Albert Mente
Mário Dias Pessoa

PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS MINERAIS DA
BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA

SUBPROJETO HIDROGEOLOGIA

RELATÓRIO FINAL

ÍNDICE DE VOLUMES

VOLUME I - Folha 17 - Rio São Francisco-NO
(T E X T O)

VOLUME II - Anexos - Nota explicativa, fichas de sondagens, catálogo de inventário hidrogeológico, base geológica, base hidrogeológica, base planimétrica, base de pontos de água, base hidroquímica, base piezométrica e base de potencial explorável.

APRESENTAÇÃO

O presente relatório dá continuidade ao programa de "Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste", em consequência de convênio celebrado entre o Departamento Nacional da Produção Mineral-DNPM e a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM, através da Superintendência Regional de Recife, constituindo o Subprojeto Hidrogeologia dentro do Projeto Estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba, desenvolvido pela CPRM.

Para a confecção do presente relatório procedeu-se inicialmente ao levantamento da documentação dos trabalhos anteriormente efetuados na área, tais como: mapas, relatórios técnicos, dados estatísticos, climatológicos, hidrológicos, perfuração de poços, etc. De posse destes dados foram programados trabalhos de campo com a finalidade de inventariar e catalogar os pontos de água existentes, efetuando-se medições de níveis, determinações de pH, condutividade elétrica, temperatura e coleta de amostra para realização de análises químicas. Posteriormente efetuou-se o levantamento barométrico para a determinação quando possível, da piezometria dos aquíferos identificados, a partir das medições de nível de água efetuadas.

Os levantamentos de campo realizados em bases planimétricas na escala de 1:250.000, com sua apresentação final em escala de 1:500.000 tendo-se por objetivo a obtenção de informações sobre a geologia local e suas relações com as condições de ocorrência e acumulação de águas subterrâneas, sobre as características hidrogeológicas das diferentes unidades litológicas e estratigráficas, bem como a definição da adequabilidade das águas subterrâneas para o consumo humano, pecuário e para fins de irrigação.

SUMÁRIO

RESUMO	
ABSTRACT	
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	
LISTA DE QUADROS	<u>Pág.</u>
1 - <u>INTRODUÇÃO</u>	1
1.1 - Histórico.....	1
1.2 - Objetivo.....	2
1.3 - Localização e Acesso.....	3
1.4 - Aspectos Sócio-Econômicos.....	3
1.5 - População.....	7
1.6 - Métodos de Trabalho.....	8
1.7 - Dados Físicos de Produção.....	10
1.8 - Trabalhos Anteriores.....	11
2 - <u>ASPECTOS GERAIS</u>	13
2.1 - Elementos Climáticos.....	13
2.1.1 - Clima.....	13
2.1.2 - Pluviometria.....	13
2.1.3 - Temperatura.....	14
2.1.4 - Zoneamento Árido.....	22
2.1.5 - Elementos do Balanço Hidrológico...	25
2.2 - Hidrologia de Superfície.....	31
2.2.1 - Bacia Hidrográfica do Tocantins....	31
2.2.2 - Bacia Hidrográfica do Atlântico Norte-Nordeste.....	31
2.2.3 - Dados Hidrológicos.....	33
2.2.4 - Recessão em Porto Real.....	34
2.3 - Morfologia.....	40
2.4 - Vegetação.....	41
3 - <u>GEOLOGIA</u>	43

	<u>Pág.</u>
3.1 - Generalidades.....	43
3.2 - Rochas Sedimentares.....	43
3.3 - Estratigrafia.....	44
3.4 - Paleozóico.....	44
3.4.1 - Formação Pimenteiras.....	44
3.4.2 - Formação Cabeças.....	46
3.4.3 - Formação Longá.....	48
3.4.4 - Formação Poti.....	49
3.4.5 - Formação Piauí.....	50
3.4.6 - Formação Pedra de Fogo.....	51
3.5 - Mesozóico.....	53
3.5.1 - Formação Sambaiba.....	53
3.5.2 - Formação Mosquito.....	54
3.5.3 - Formação Areado.....	55
3.5.4 - Formação Urucuia.....	56
3.6 - Sequência Cenozóica.....	57
3.6.1 - Coberturas.....	58
3.6.2 - Aluviões.....	58
3.7 - Estrutura.....	58
3.8 - História Geológica.....	59
4 - <u>HIDROGEOLOGIA</u>	62
4.1 - Generalidades.....	62
4.2 - Geologia e Águas Subterrâneas.....	63
4.2.1 - Formação Serra Grande.....	66
4.2.2 - Formação Pimenteiras.....	66
4.2.3 - Formação Cabeças.....	69
4.2.4 - Formação Longá.....	70
4.2.5 - Formação Poti.....	70
4.2.6 - Formação Piauí.....	71
4.2.7 - Formação Pedra de Fogo.....	72
4.2.8 - Formação Urucuia.....	73
4.3 - Reservas de Água Subterrânea.....	73

	<u>Pág.</u>
4.3.1 - Vazão de Escoamento Natural.....	74
4.3.1.1 - Aquitardo Pimenteiras....	75
4.3.1.2 - Aquífero Cabeças.....	75
4.3.1.3 - Aquitardo Longá.....	76
4.3.1.4 - Aquífero Poti.....	76
4.3.1.5 - Aquífero Piauí.....	80
4.3.1.6 - Aquitardo Pedra de Fogo..	82
4.3.1.7 - Aquífero Urucuia.....	82
4.3.2 - Reservas Permanentes.....	83
4.3.2.1 - Aquífero Serra Grande....	84
4.3.2.2 - Aquitardo Pimenteiras....	86
4.3.2.3 - Aquífero Cabeças.....	87
4.3.2.4 - Aquitardo Longá.....	88
4.3.2.5 - Aquífero Poti.....	88
4.3.2.6 - Aquífero Piauí.....	89
4.3.2.7 - Aquitardo Pedra de Fogo..	90
4.3.2.8 - Aquífero Urucuia.....	90
4.3.3 - Reservas Exploráveis.....	91
5 - <u>HIDROQUÍMICA</u>	97
5.1 - Introdução.....	97
5.2 - Características Químicas das Águas.....	98
5.3 - Classificação Química das Águas.....	101
5.3.1 - Principais Classes de Água.....	102
5.3.1.1 - Águas Cloretadas.....	102
5.3.1.2 - Águas Cloretadas Carbo natadas.....	119
5.3.1.3 - Águas Mistas.....	120
5.3.1.4 - Águas Carbonatadas.....	121
5.3.1.5 - Águas Sulfatadas Clore tadas.....	121
5.4 - Qualidade das Águas para Consumo Humano....	122
5.4.1 - Águas Cloretadas.....	139
5.4.2 - Águas Cloretadas Carbonatadas.....	139

	<u>Pág.</u>
5.4.3 - Águas Mistas.....	139
5.4.4 - Águas Carbonatadas.....	140
5.4.5 - Águas Sulfatadas Carbonatadas.....	140
5.5 - Qualidade das Águas para Irrigação.....	142
5.6 - Qualidade das Águas para Consumo Animal....	147
6 - <u>CONCLUSÃO</u>	148
7 - <u>BIBLIOGRAFIA</u>	152

ANEXOS (Volume II)

- Nota Explicativa.....	157
- Catálogo de Observações Pluviométricas	
- Catálogos de Pontos de Água	
- Fichas de Sondagem	
- Base Geológica	
- Base Planimétrica	
- Base Hidrológica	
- Base de Pontos de Água	
- Base Piezométrica	
- Base Hidroquímica	
- Base de Potencial Explorável	

R E S U M O

A área da Folha 17, com uma superfície de aproximadamente 72.000 km^2 , insere-se totalmente na bacia sedimentar paleo-mesozóica e cenozóica do Parnaíba.

Apresenta, segundo a classificação de Koppen, o tipo de clima Aw, com temperaturas médias anuais em torno dos 26°C e índices pluviométricos médios que aumentam de leste para oeste. O sistema de drenagem é representado pelas bacias hidrográficas dos rios Tocantins e Parnaíba, tendo como divisor natural a Serra das Mangabeiras. A morfologia mostra-se caracterizada por extensos chapadões paleo-mesozóicos, com vales dissecados formando escarpas dando lugar ao aparecimento de mesetas e morros testemunhos.

As condições hidrogeológicas apresentam, de um modo geral, perspectivas favoráveis em vista da ocorrência de espessos pacotes sedimentares, com boas aptidões de armazenamento e liberação de água subterrânea.

Os principais sistemas aquíferos são representados pelas formações Serra Grande e Cabeças em condições de confinamento, e pelas formações Poti, Piauí e Urucuia como aquíferos do tipo livre. O sistema conjunto Poti-Piauí destaca-se como o principal manancial subterrâneo da Folha, em virtude da sua extensa área de recarga, grandes espessuras, e das características litológicas dominantes, que conferem condições razoáveis de permeabilidade.

As reservas permanentes totais armazenadas no pacote sedimentar foram estimadas em 600.10^9 m^3 , enquanto que as reservas exploráveis nos sistemas aquíferos identificados foram quantificadas, predominantemente, em $1.180.10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, a maior parte correspondendo ao siste

ma Poti-Piauí.

Do ponto de vista qualitativo, as águas analisadas são, principalmente, cloretadas sódicas com resíduo seco em geral muito baixo, não apresentando maiores restrições quanto a adequabilidade para o consumo humano e para a irrigação.

A B S T R A C T

The sheet 17 has an area of approximately 72.000 square kilometer and is situated within paleomezozoic and cenozoic Parnaiba Sedimentary Basin.

According to Koppen classification presents Aw climatic type, with 26°C for average temperatures increasing from East to West.

Drainage system is represented by hidrographic basin of Tocantins and São Francisco Rivers being Serra da Mangabeiras its natural divide.

The morphology is characterized by paleomezozoic plateau with scarped valleys giving origin to mesetas.

Hidrogeologic conditions present good perspectives due to thick sedimentary packs with good situation for ground water storage and circulation.

The best aquifer systems are Serra Grande and Cabeças Formation with confining conditions, and Poti, Piauí and Urucua as free aquifers.

The Poti/Piauí system arise as the better aquifer by its large recharge area, great thickness, and lithologic characters dominants that shows good condition of permeability.

The total reserves stored in sediments are estimated in 600×10^9 cubic meter although the exploitation reserves were quantified in 1.180×10^6 cubic meter/year most of it due do Poti-Piauí system.

Ground water in this area under chemical point of view are classified, fundamentally, as chloride-sodium water with dissolved solid contents very low, and with almost no restriction for human uses and irrigation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<u>ITEM</u>		<u>Pág.</u>
1.3.1	Mapa de situação da Folha.....	4
1.5.1	Mapa de divisão municipal micro-regiões homogêneas e densidade demográfica.....	9
2.1.2.2	Mapa de isoietas médias.....	16
2.1.2.3	Precipitações médias mensais.....	17
2.1.2.4	Precipitações médias mensais.....	18
2.1.2.5	Precipitações médias mensais.....	19
2.1.2.6	Precipitações médias mensais.....	20
2.1.2.7	Precipitações médias mensais.....	21
2.2.4.2	Mapa de zoneamento árido.....	23
2.1.5.3	Balanço hidrológico da estação de Porto Real.....	29
2.1.5.4	Balanço hidrológico da estação de Alto Parnaíba.....	30
2.2.5	Mapa de Bacias hidrográficas e rede fluviométrica.....	32
2.2.3.3	Gráfico comparativo precipitação-descar ga mensal da estação de Porto Real.....	36
2.2.3.4	Gráfico comparativo precipitação-descar ga mensal da estação de Alto Parnaíba....	37
2.2.4.1	Curva de recessão do rio do Sono em Porto Real.....	39
4.2.11	Mapa de isópacas da Formação Serra Grande.....	68
5.3.4	Diagrama de Piper-Hill-Langelier para águas da Formação Areado.....	103

<u>ITEM</u>		<u>Pág.</u>
5.3.5	Diagrama de Piper-Hill-Langelier para águas da Formação Urucuia.....	104
5.3.6	Diagrama de Piper-Hill-Langelier para águas da Formação Mosquito.....	105
5.3.7	Diagrama de Piper-Hill-Langelier para águas da Formação Sambaiba.....	106
5.3.8	Diagrama de Piper-Hill-Langelier para águas da Formação Pedra de Fogo.....	107
5.3.9/12	Diagramas de Piper-Hill-Langelier para águas das Formações Poti-Piauí.....	108/111
5.3.13	Diagrama de Piper-Hill-Langelier para águas da Formação Longá.....	112
5.3.14	Diagramas de Piper-Hill-Langelier para águas da Formação Cabeças.....	113
5.3.15	Diagrama de Piper-Hill-Langelier para águas da Formação Pimenteiras.....	114
5.3.16	Mapa de Classificação de Águas.....	115
5.4.8/13	Diagramas de potabilidade das águas cloretadas.....	123/128
5.4.14/17	Diagramas de potabilidade das águas cloretadas carbonatadas.....	129/132
5.4.18/19	Diagramas de potabilidade das águas mistas.....	133/134
5.4.20/21	Diagramas de potabilidade das águas carbonatadas.....	135/136
5.4.22/23	Diagramas de potabilidade das águas sulfatadas cloretadas.....	137/138
5.5.1	Diagrama de classificação das águas para irrigação.....	143
5.5.4	Mapa de classificação de águas para irrigação.....	145

LISTA DE QUADROS

<u>ITEM</u>		<u>Pág.</u>
1.4.1	Quadro demonstrativo de culturas e rebanhos por micro-regiões homogêneas e totais.....	6
1.5.2	Quadro estimativo da população da Folha 17 de acordo com as micro-regiões....	8
2.1.2.1	Precipitações totais e anuais das estações pluviométricas.....	15
2.1.4.1	Correspondência dos índices de De Martone com tipos de aridez.....	24
2.1.5.1	Elementos do balanço hidrológico mensal da estação de Porto Real.....	27
2.1.5.2	Elementos do balanço hidrológico mensal da estação de Alto Parnaíba.....	28
2.2.3.2	Catálogo de observações fluviométricas...	35
3.3.1	Coluna estratigráfica da Folha 17.....	45
4.2.9	Características litológicas e hidrogeológicas das formações da Folha 17 - Rio São Francisco-NO.....	65
4.2.10	Profundidades do topo e espessura das formações em poços da Petrobrás perfurados na Folha 17.....	67
4.3.2.9	Reservas permanentes da Folha 17 - Rio São Francisco-NO.....	85
4.3.3.1	Reservas permanentes exploráveis da Folha 17 - Rio São Francisco-NO.....	93

<u>ITEM</u>		<u>Pág.</u>
4.3.3:2	Recursos totais exploráveis da F _o lha 17 - Rio São Francisco-NO.....	94
5.2.1	Valores médios dos resíduos secos por formações.....	99
5.2.2	Distribuição de frequência dos resí- duos secos.....	100
5.3.2	Distribuição de frequência dos fá- cies químicos.....	116/118
5.3.3	Valores médios de pH, resíduos secos e dureza.....	119
5.4.7	Distribuição de frequência de potabi- lidade.....	142
5.4.6	Limites de potabilidade da água se- gundo o ponto de vista químico.....	141
5.5.3	Frequência dos tipos de água para irrigação.....	146
5.5.2	Classificação das águas para irrigação.	144
5.6.1	Qualidade de águas para uso animal.....	147

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - HISTÓRICO

Com o início do Projeto Estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba, em 01/04/75, foi possível a criação de um Subprojeto, "Hidrogeologia", dentro do "Projeto Global", para a realização de seis Folhas do "Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste", cujo programa, inicialmente desenvolvido pela SUDENE, acha-se agora sequenciado através de convênios entre o DNPM e a CPRM.

As folhas do Inventário Hidrogeológico que fazem parte do Subprojeto Hidrogeologia são as de número: 1, 3, 7, 12, 17 e 22 (Fig. 1.3.1), situadas entre os meridianos $45^{\circ}00'W$ e $48^{\circ}00'W$ e os paralelos $0^{\circ}00'$ e $12^{\circ}00'S$.

O Subprojeto Hidrogeologia, durante a sua execução, da mesma maneira que o Projeto Global, ficou dividido em três fases sucessivas.

Durante a primeira fase, procedeu-se a uma coleta de todos os trabalhos anteriormente realizados na área, tais como, dados de perfurações de poços, bases cartográficas, inventários hidrogeológicos em áreas vizinhas ou sobrepostas, e dados plúvio-fluviométricos, documentos estes, anexados aos demais coletados pelo Projeto Global na organização de uma biblioteca.

Na segunda fase foram executados os trabalhos de campo, consistindo no inventário de pontos de água existentes, coleta de amostras para análise química e levantamento barométrico.

A terceira fase, compreendeu a análise e processamento dos dados obtidos nas fases anteriores, tendo em

vista, a elaboração do relatório final.

As análises para a determinação dos principais constituintes iônicos e os testes qualitativos de nitratos, nitratos e ferro, visando a determinação das principais características hidroquímicas das diversas amostras de água coletadas em campo, foram executadas pelo Laboratório de Análises da Universidade Católica de Pernambuco.

A coordenação dos trabalhos do Subprojeto Hidrogeologia esteve a cargo do geólogo Alfeu Levy da Silva Caldasso - chefe da DIVPEM - da Superintendência Regional de Recife - SUREG/RE.

1.2 - OBJETIVO

O objetivo deste trabalho, como continuidade do programa "Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste", foi o cadastramento dos pontos de água existentes na área, tais como, poços, fontes e cacimbas, com amostragem sistemática de águas para análises químicas, o levantamento barométrico de pontos selecionados, a determinação das principais características hidroquímicas e hidrodinâmicas dos diversos sistemas aquíferos, assim como a determinação dos parâmetros climáticos plúvio-fluviométricos dominantes, além de procurar obter o conhecimento das características geológicas das diferentes formações existentes, e estabelecer, a nível preliminar, suas relações com as condições de ocorrência de água subterrânea.

1.3 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A Folha Rio São Francisco-NO, nº 17, está situada entre os meridianos 45°00' e 48°00' de longitude oeste de Greenwich e entre os paralelos 8°00' e 10°00' de latitude sul (Fig. 1.3.1), compreendendo uma área de aproximadamente 72.000 km² abrangendo a porção sul dos estados do Maranhão e Piauí e parte do norte de Goiás.

O acesso à área em estudo é feito a partir de Teresina, pela BR-342 até a cidade de Floriano, 70% da qual atualmente asfaltada. Daí, toma-se a BR-230 (Transamazônica) até atingir a cidade de Balsas, para em seguida através da MA-006 rumo sul, ter acesso a cidade de Alto Parnaíba, já dentro dos limites da Folha.

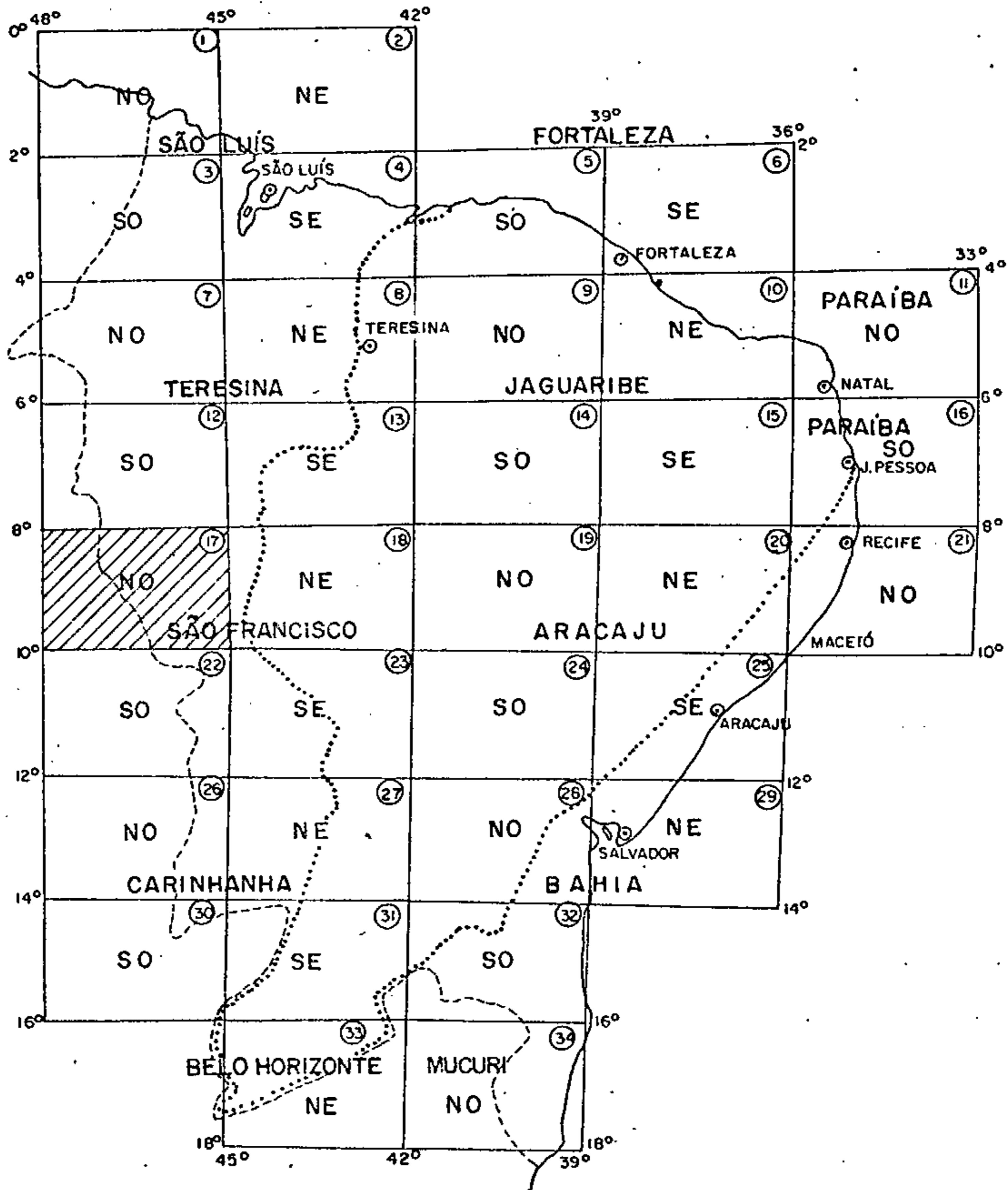
O deslocamento na região estudada é feito através de estradas carroçáveis de condições precárias durante o verão, e quase que intransitáveis durante o inverno.

1.4 - ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS

Do ponto de vista social, a situação na área é precária, não havendo cidades com condições satisfatórias de atendimento à população quanto a saúde, educação, saneamento básico, comunicação e energia.

O atendimento médico hospitalar é feito através de postos de saúde nos centros urbanos com visitas periódicas de médicos. Apenas nas cidades de Gilbués e Alto Parnaíba existem médicos residentes, enquanto, nos demais centros, o atendimento é feito por enfermeiras.

SITUAÇÃO DA FOLHA



Legenda

- Área do SUDENE
- Polígono das Secas
- ▨ Situação da folha

No tocante a educação, a situação não é das melhores, havendo apenas o primeiro grau em grupos escolares distribuídos no interior e ginásios nos centros urbanos.

Estão, atualmente, em fase de implantação os serviços de saneamento básico para as cidades piauienses, à exceção de Santa Filomena; no lado maranhense, a cidade de Alto Parnaíba satisfaz, em parte, sua população pela existência de um poço jorrante explorado pela CAEMA, para o abastecimento da cidade. Em Goiás, a situação é ainda precária, não existindo centro urbano beneficiado pelo sistema de água encanada.

As comunicações são feitas pelas agências da Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos existentes nas principais cidades, não havendo serviços de comunicação telefônica com os outros centros.

No setor de energia, o Piauí encontra-se em condições satisfatórias, com quase todos os municípios beneficiados pela energia da CEPISA (CHESF); apenas Santa Filomena não está com o sistema implantado, prevendo-se sua conclusão ainda em 1979. No restante da área, no Maranhão e Goiás, o fornecimento de energia, é muito precário sendo realizado por gerador acionado por motor a combustível, com exceção de Novo Acordo, onde existe uma pequena hidroelétrica para fornecimento local.

Do ponto de vista econômico, a área apresenta atividades agrícolas e pecuárias praticadas de forma um tanto rudimentar.

O Quadro 1.4.1 representa os diversos tipos e espécies mais frequentes de culturas e rebanhos existentes por micro-regiões e para o total da área.

A agricultura é condicionada às necessidades de subsistência da população, tendo como suas principais culturas, a mandioca, cana-de-açúcar, arroz e milho e em

QUADRO 1.4.1

QUADRO DEMONSTRATIVO DE CULTURAS E REBANHOS
POR MICRO-REGIÕES HOMOGÊNEAS

CULTURAS E REBANHOS		GOIAS	MARANHÃO	PIAUI			T O T A I S	
		MR 347	MR 42	MR 52	MR 53	MR 55		
C U L T U R A S	Temporárias em toneladas	Algodão	55	336	16	55	-	462
		Arroz	4.064	1.750	500	100	280	6.694
		Cana-de-açúcar	4.375	2.210	2.500	600	210	9.895
		Fava	32	171	60	1	10	274
		Feijão	130	162	150	40	40	522
		Fumo	20	17	7	1	10	55
		Mandioca	13.512	4.550	8.700	2.000	4.100	32.862
	Permanente em 1000 u	Abacate	41	91	61	10	-	203
		Banana	117	27	20	8	19	191
		Laranja	321	640	1.600	320	380	3.261
R E B A N H O S	Bovino	13.800	3.480	21.870	2.000	17.000	58.150	
	Assínios	3.001	1.700	1.330	100	1.300	7.431	
	Muare	2.574	850	600	40	580	4.644	
	Equinos	20.496	1.450	1.200	80	1.380	24.606	
	Suinos	33.057	12.500	11.000	500	7.000	64.057	
	Caprinos	1.973	1.700	2.700	300	4.200	10.873	
	Ovinos	1.321	860	1.500	200	5.100	8.981	
	Aves	113.284	41.000	32.200	1.200	9.800	197.484	

Fonte: FUNDAÇÃO IBGE - 1974

proporções menores, o feijão, o algodão e a fava. Atualmente, existem alguns projetos agro-pecuários recém-implantados, que estão começando a desenvolver novas culturas e aproveitando extensas áreas do cerrado, trazendo boas perspectivas de desenvolvimento para os municípios da região, mas por outro lado criando um problema social, com posseiros que antes já habitavam estes locais.

A pecuária desenvolve-se de forma primitiva, tendo seu suporte nos animais de abate para o consumo local como aves e suínos que são criados nos arredores das casas, já que os bovinos se destinam mais a exportação para os grandes centros de consumo. Durante o inverno o gado é mantido nas soltas que são pastos naturais dos cerrados, enquanto no verão, devido a queima do pasto, são levados para os "gerais" ou "refrigérios", que são os pastos localizados nas chapadas, pouco explorados pelo homem.

O setor comercial ocupa restrita faixa populacional, sendo apenas para suprir as necessidades mais prementes da população.

As vias de acesso apresentam-se em condições precárias e, em sua maior parte, são quase todas carroçáveis, com exceção da rodovia pavimentada Transpiauí que corta a Folha na porção sudeste, região de Gilbués e Monte Alegre. Existem ainda duas vias piçarradas que são os trechos da MA-447, que liga Alto Parnaíba a Balsas, e o trecho da GO-071, que liga Itacajá à Belém-Brasília; as demais vias de acesso são carroçáveis municipais, em estado precário, sem conservação e, quase todas, transitáveis apenas no verão.

1.5 - POPULAÇÃO

Com base no Anuário Estatístico Brasileiro de

1976 foi possível o cálculo estimado para a população da Folha 17, a qual se concentra nos principais aglomerados urbanos constituídos pelas sedes municipais e ao longo dos cursos de água, sendo mais escassa nos chapadões, onde se observa grandes vazios demográficos.

A área compreende cinco micro-regiões homogêneas, com dezoito municípios, nos estados de Goiás, Maranhão e Piauí (Fig. 1.5.1). Como pode ser observado, os limites da Folha não englobam totalmente todos os municípios e micro-regiões, alguns apenas parcialmente.

A população total, estimada para a área, atinge cerca de 94.200 habitantes. O Quadro 1.5.2, mostra a distribuição estimada e acumulada da população nos diversos estados e micro-regiões homogêneas, em relação à área terrestre ocupada.

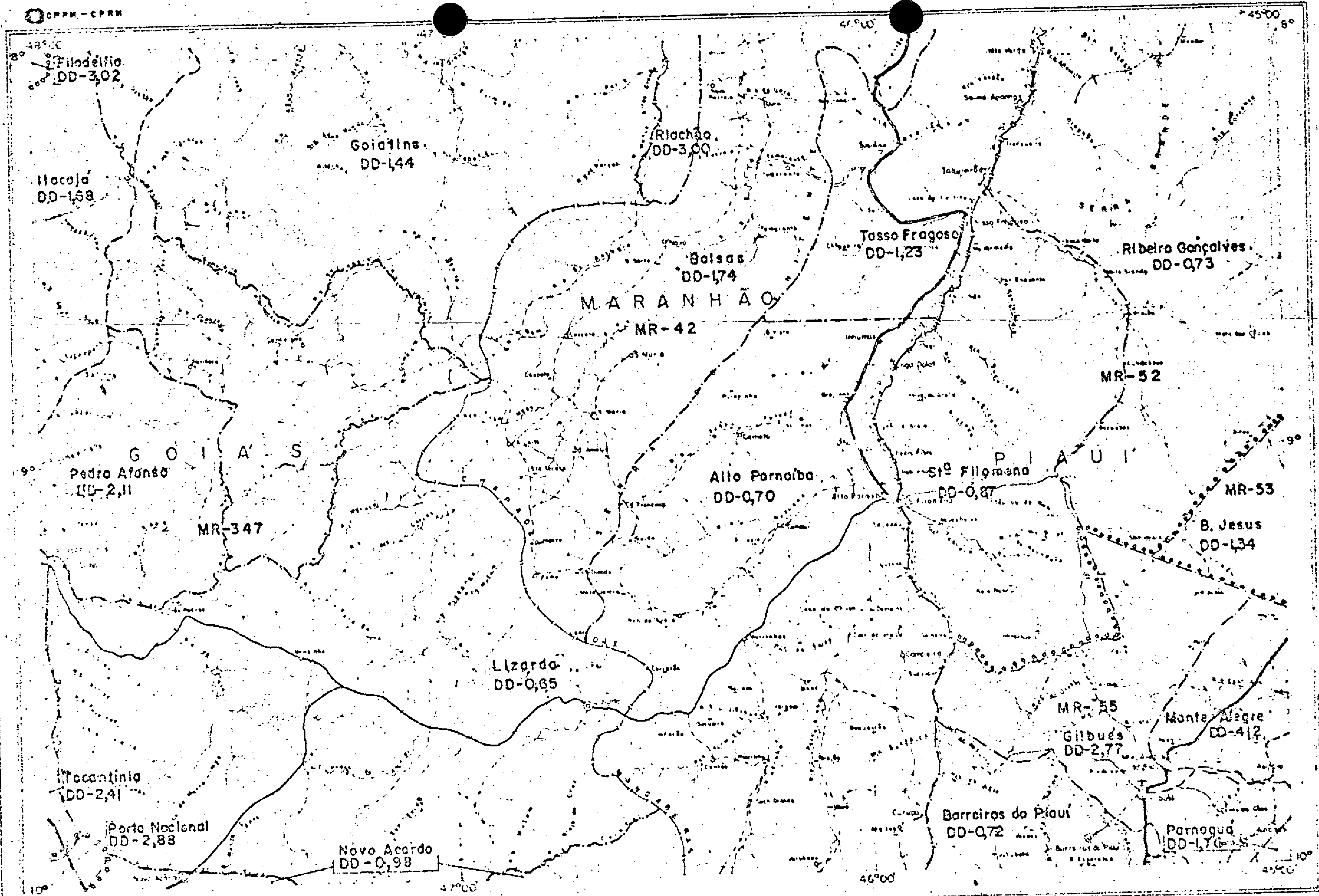
QUADRO 1.5.2

QUADRO ESTIMATIVO DA POPULAÇÃO DA FOLHA 17 DE ACORDO COM AS MICRO-REGIÕES

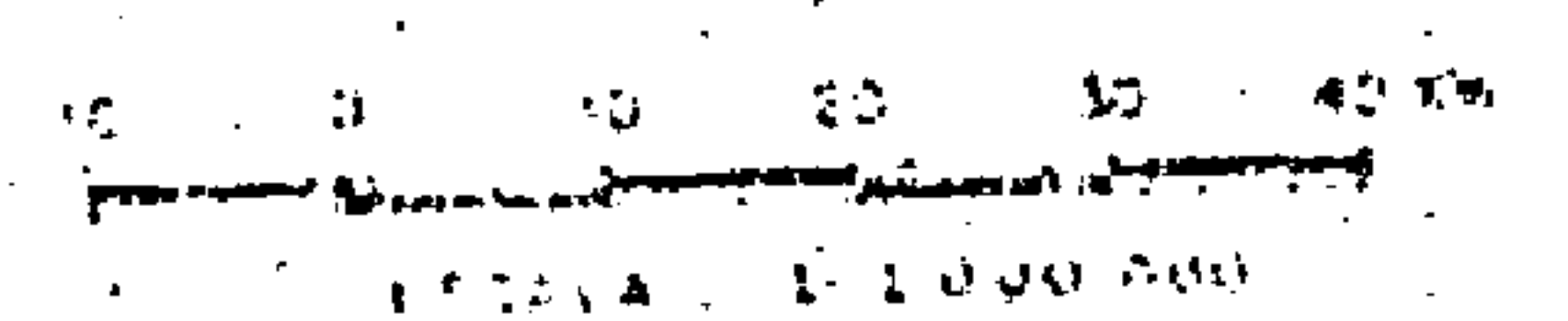
ESTADO	MICRO-REGIÃO HOMOGÊNEA	ÁREA (km ²)		POPULAÇÃO (hab.)	
		ESTIMADA	ACUMULADA	ESTIMADA	ACUMULADA
Goiás	347	30.000	30.000	40.000	40.000
Maranhão	42	23.000	53.000	20.000	60.000
Piauí	52	13.000	66.000	8.000	68.000
	53	1.000	67.000	1.200	69.200
	55	6.000	73.000	25.000	94.200

1.6 - MÉTODOS DE TRABALHO

Para a execução dos trabalhos usou-se a seguinte



DIVISÃO MUNICIPAL
MICRO-REGIÃO HOMOGÊNEA
DENSIDADE DEMOGRÁFICA



CONVENÇÕES

- ⊙ - Cidades
- - Povoados
- - Fazendas
- - Limite interestadual
- - Estrada pavimentada
- - Estrada principal
- - Estrada secundária
- - Caminhos
- - Rios
- - Limite Municipal
- - Limite de Micro-Região
- MR-42 - Micro-Região
- DD-0,55 - Densidade Demográfica (hab./Km²)

Fig. 3.5.1

te metodologia.

Durante a primeira fase procedeu-se a uma coleta bibliográfica com organização e processamento de dados existentes, fase esta, realizada em conjunto pelos compo nentes da equipe.

Posteriormente, quando das etapas de campo, constituíram-se duas equipes, compostas, cada uma delas, de um geólogo e um técnico de nível médio. Cada equipe ficou responsável pela execução dos trabalhos de inventário hidrogeológico de duas folhas, na escala de 1:250.000, da Carta Internacional ao Milionésimo com dimensões de 1°00' x 1°30'.

No período de atividades de campo, cada equipe dispunha de duas etapas de 25 a 30 dias para a realização do inventário de cada folha.

Com o fim do inventário hidrogeológico, constituíram-se duas equipes compostas, cada uma, de dois técnicos de nível médio para realização do levantamento barométrico de pontos de água selecionados.

No final das etapas de campo, teve início, em escritório, a confecção do relatório final pelos compo nentes da equipe, compreendendo três fases distintas: a) organização dos catálogos de pontos de água; b) confecção das sete bases que irão compor o mapa hidrogeológico da Folha; c) redação do texto do relatório final.

1.7 - DADOS FÍSICOS DE PRODUÇÃO

Durante os trabalhos de execução do Inventá

rio Hidrogeológico da Folha 17, foram verificados os seguintes dados físicos de produção:

- Consulta bibliográfica de 38 relatórios e publicações;

- Cadastramento de 408 pontos de água, sendo 5 poços tubulares, 88 poços manuais e 315 fontes;

- Coleta de 125 amostras de água, distribuídas nas diferentes formações geológicas;

- Realização de 76 análises químicas de amostras selecionadas em função da distribuição geológica e de condutividade elétrica e pH determinados em campo.

1.8 - TRABALHOS ANTERIORES

Com relação a trabalhos hidrogeológicos anteriormente realizados na área, pode-se citar o capítulo de Hidrogeologia do Levantamento Básico dos Recursos Naturais da Bacia do Parnaíba, executado por SERETE S.A. - Engenharia, para a SUDENE, em 1974, além do estudo de Reconhecimento do Vale do Gurguéia, realizado pelo consórcio OESA-TECNOSOLO-OTI-EPTISA, para o DNOCS, em 1973, que sobrepõem a parte leste e o canto sudeste da Folha respectivamente.

Nos trabalhos acima citados foram realizados cadastramento de pontos de água, coleta de amostras para análises químicas e levantamento barométrico, nos mesmos moldes e finalidades dos inventários hidrogeológicos.

Mesmo não apresentando cunho hidrogeológico, podem ser citados:

- O recente Projeto Estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba, realizado pela CPRM para o DNPM em 1978. Este projeto de pesquisas geológicas veio permitir estabelecimento de conceitos inéditos, concernentes à estratigrafia, estrutura, parâmetros geoquímicos, metalogênese, geo-economia e outros aspectos técnico-geológicos da extensa área pesquisada.

- Projeto Carvão da Bacia do Parnaíba, executado pela CPRM, para o DNPM, em 1975.

- Projeto RADAM, com a finalidade de executar o levantamento dos recursos naturais das regiões Norte e Nordeste do país, a partir de imagens de radar e outros sensores remotos, realizado pelo RADAM para o DNPM em 1973.

- LETOS - Projeto Leste do Tocantins oeste do Rio São Francisco, com um programa de mapeamento geológico, cadastramento de ocorrências minerais e avaliação de recursos minerais realizado pela CPRM para o DNPM, em 1976.

- Relatórios de investigações geológicas realizados pela Petrobrás, em partes da área da Folha, tais como: Semi-detálhe da Região SW de Balsas (Rel. 218), Semi-detálhe da Região SW de Alto Parnaíba-MA (Rel. 259), Mapeamento Geológico em Semi-detálhe do SW de Riachão - MA (Rel. 260) e Geologia do SW de Carolina (Rel. 270).

2 - ASPECTOS GERAIS

2.1 - ELEMENTOS CLIMÁTICOS

2.1.1 - Clima

Segundo a classificação de Koppen, a área estudada é caracterizada, unicamente, pelo tipo de clima Aw, razão pela qual não acompanha este trabalho o mapa de diferenciações climáticas.

O tipo Aw (Savanas Tropicais) caracteriza-se por apresentar um clima quente e úmido, com uma estação seca bem acentuada denominada verão, que se estende de maio a outubro, com temperaturas elevadas durante o dia e noites frias, principalmente nos meses de junho e julho e um período chuvoso, o inverno, de novembro a abril, com mais de 80% da precipitação anual.

A umidade relativa do ar é sempre inferior a 80% o que confere ao clima tropical desta área uma característica pela repercussão que este valor tem no calor sensível, tornando a estação seca desta região muito saudável.

2.1.2 - Pluviometria

Os postos pluviométricos existentes apresentam diferentes períodos de tempo de observação para as áreas

estaduais abrangidas pela Folha. Assim é que os dados fornecidos pelas estações no Estado de Goiás (CPRM) assinalam períodos de 2 a 5 anos, enquanto os dados das estações nos estados do Maranhão e Piauí (SUDENE), referem-se a períodos de 7 a 12 anos, o que pode ser considerado muito precário para as observações pluviométricas de uma determinada região (Vide catálogo de observações pluviométricas anexo).

No Quadro 2.1.2.1, estão representadas as precipitações totais anuais e médias das estações pluviométricas.

Conforme a Fig. 2.1.2.2, mapa de isoietas médias anuais (Edmon Nimer, 1977), os índices pluviométricos aumentam no sentido de leste para oeste.

Nas Figs. 2.1.2.3 a 2.1.2.7, estão representadas as distribuições médias mensais das chuvas nas diversas estações existentes na área. Observa-se que as maiores precipitações ocorrem nos meses de janeiro a março, enquanto de junho a agosto é mínima a nula.

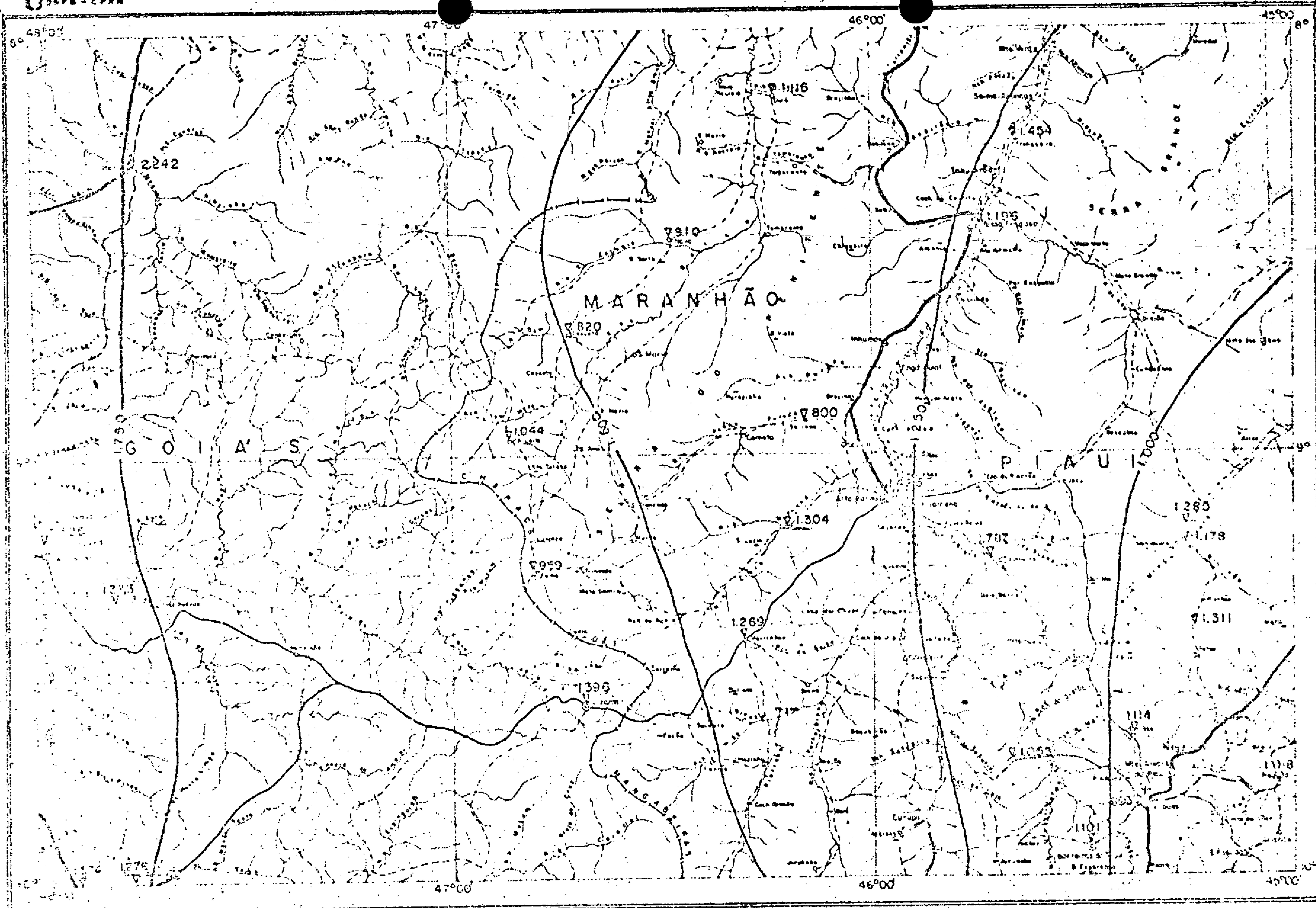
Apesar de tratar-se de uma área com apenas um tipo de clima (Aw), a mesma apresenta zonas bem diversas quanto à precipitação. Este comportamento é evidenciado observando-se as alturas pluviométricas indicadas nos gráficos de frequências médias mensais, onde a precipitação média anual registrada na estação de Itacajá (Fig. 2.1.2.3) no Estado de Goiás é cerca de 2.242 mm, enquanto que a registrada na estação de Gilbués (Fig. 2.1.2.7) no Estado do Piauí é de 993 mm.

2.1.3 - Temperatura

A área em estudo é totalmente desprovida de es

PRECIPITAÇÕES TOTAIS ANUAIS DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS

ESTAÇÕES		PRECIPITAÇÕES (mm.)														MÉ- DIA (mm.)	
CÓDIGO	NOME	1.962	1.963	1.964	1.965	1.966	1.967	1.968	1.969	1.970	1.971	1.972	1.973	1.974	1.975		1.976
08-09-47-01	Dois Irmãos	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	844	1.876	1.349	1.263	1.333
08-08-46-02	Itacoaja	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	716	3.330	2.609	1.313	2.242
08-09-46-01	Lizarda	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	724	1.964	1.343	1.551	1.396
08-09-47-02	Novo Acordo	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.219	951	1.159	1.654	1.397	1.276
08-09-48-01	Porto Real	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.099	1.737	1.410	1.227	1.153	—	1.325
08-09-47-04	Rio das Balsas	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.043	2.105	1.574
36-88-21	Alto Parnaíba	—	1.876	747	2.079	1.148	1.596	1.509	2.338	1.344	1.043	1.422	1.419	585	—	—	1.425
36-76-92	Amaro Leite	—	—	—	—	1.299	1.144	1.447	1.074	1.267	1.766	884	733	784	—	—	1.044
36-86-66	Cabeceiras	—	—	—	—	—	1.173	1.008	1.026	976	797	597	1.136	—	—	—	959
36-87-36	Cambuí	—	—	—	—	1.276	1.441	1.675	1.488	1.071	1.492	825	1.166	—	—	—	1.304
36-67-90	Coroatá	—	—	—	—	898	1.184	1.366	680	1.013	1.132	724	1.025	164	—	—	910
36-77-86	Faz. Salinas	—	—	—	—	—	—	957	479	1.120	1.148	623	1.004	269	—	—	800
36-87-83	Morrinhos	—	—	—	—	1.345	1.553	1.316	1.147	1.126	877	1.117	1.674	—	—	—	1.269
36-67-35	Ouro	—	—	—	—	1.055	1.163	1.651	238	1.260	1.000	1.403	1.247	1.027	—	—	1.116
36-76-45	Rio Verde	—	—	—	—	—	—	925	1.259	803	1.108	295	800	548	—	—	820
36-68-84	Tasso Fragoso	—	1.141	1.246	970	1.395	1.102	1.906	1.055	1.330	1.092	813	1.115	—	—	—	1.196
36-99-80	Barreiras do Piauí	—	—	—	—	—	1.341	1.052	935	1.192	1.195	837	1.159	—	—	—	1.101
36-98-46	Boqueirão do Felipe	—	1.293	1.365	1.308	1.246	1.320	1.216	774	612	434	965	1.049	—	—	—	1.053
36-99-45	Brejo	—	—	—	—	—	1.505	1.245	1.441	1.165	1.932	904	974	—	—	—	1.311
36-78-42	Cachoeira	—	1.521	1.146	1.300	2.253	1.603	1.452	1.379	1.361	2.154	1.700	2.423	—	—	—	1.787
34-99-32	Faz. Bela Vista	—	864	1.250	725	1.377	1.223	1.871	1.114	970	987	1.218	1.653	—	—	—	1.114
36-89-44	Faz. Santa Maria	—	950	1.197	1.938	1.474	1.026	1.526	724	1.169	1.602	—	—	—	—	—	1.178
36-99-62	Gilbués	885	1.143	1.226	873	1.166	1.315	993	1.156	925	902	567	767	—	—	—	993
36-89-34	Melância	804	1.579	1.680	815	1.333	1.563	1.222	—	—	—	—	—	—	—	—	1.285
36-99-59	Regalo	—	1.012	1.246	868	1.039	1.239	813	906	973	955	837	1.310	—	—	—	1.018
36-68-56	Tranqueira	—	1.472	1.395	1.529	1.444	1.784	1.581	—	1.265	1.165	—	—	—	—	—	1.454



ISOIETAS MÉDIAS ANUAIS
SEGUNDO: EDMON NIMER

10 20 30 40 Km
 Escala 1:1.000.000

CONVENÇÕES

- - Cidades
- - Povoados
- - - - - Fazendas
- - - - - Limite Interestadual
- - - - - Estrada Parlamentar
- - - - - Estrada Principal
- - - - - Estradas Secundárias
- Caminhos
- ~ Rios
- - - - - Limite Municipal
- - - - - Cursos de Isoietas
- ▽ - Estação Pluviométrica
- 1.574 - Pluviometria Média Anual no Estação

PRECIPITAÇÃO MÉDIAS MENSAIS

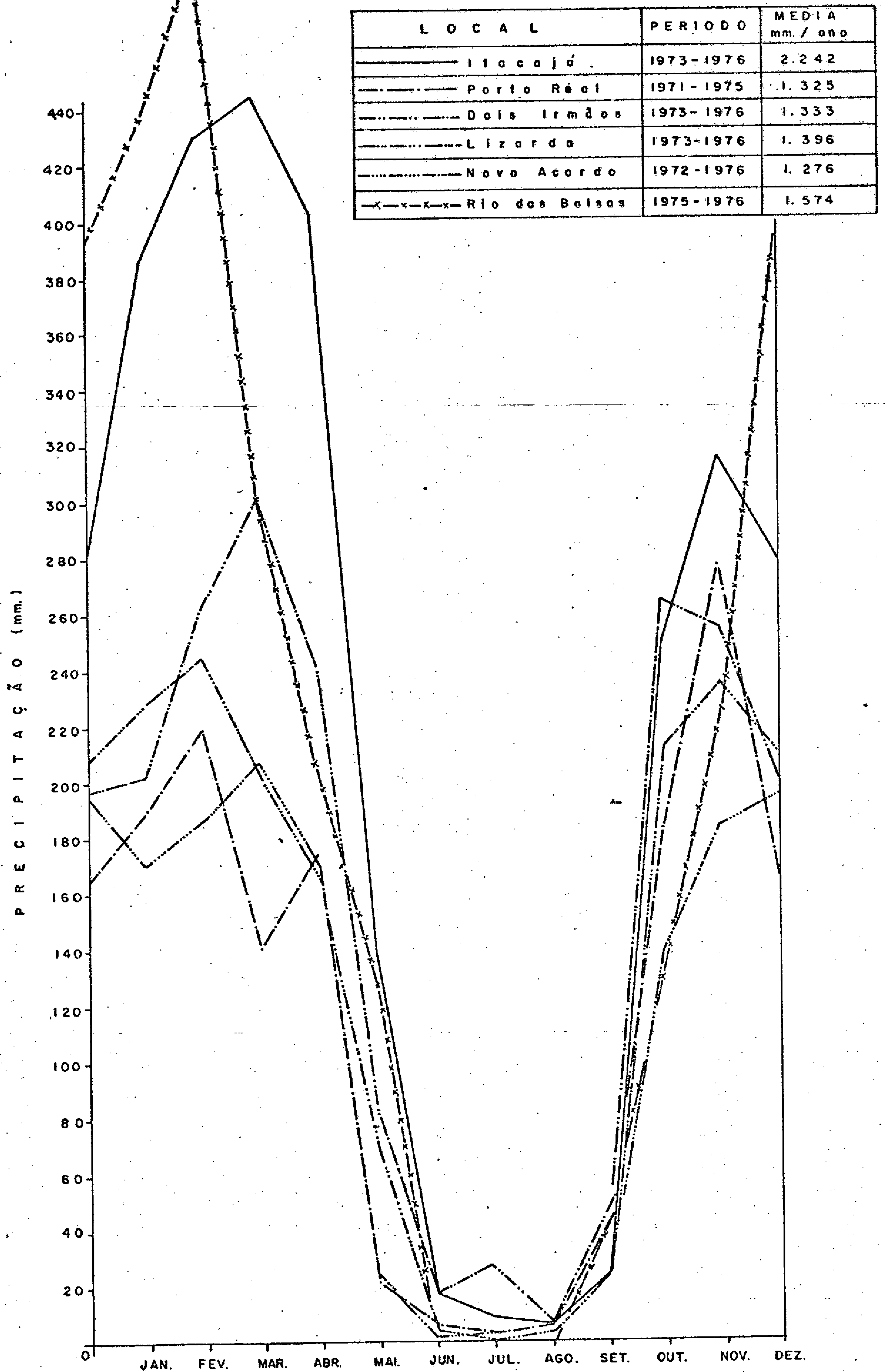
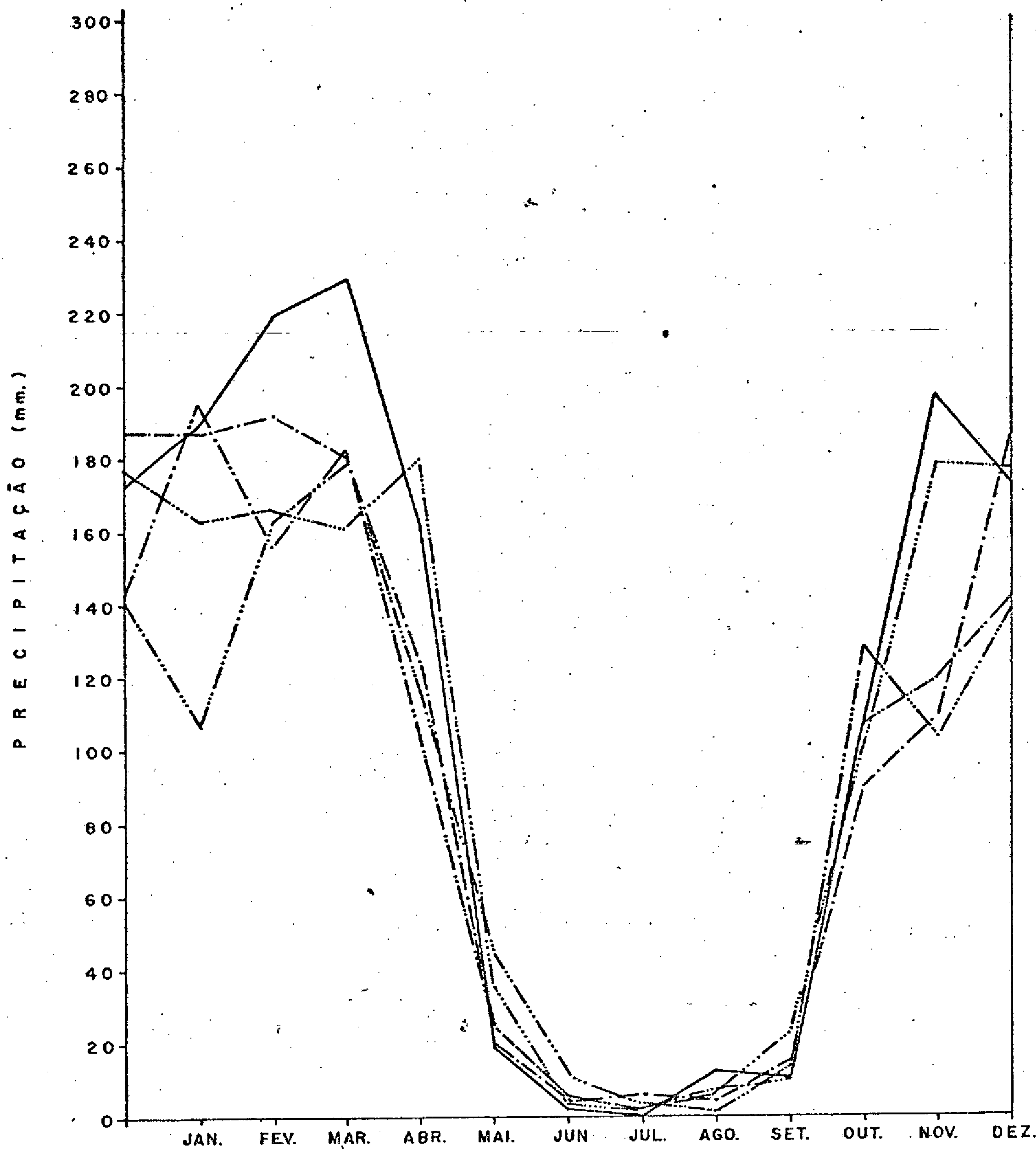


Fig. 21.2.3

PRECIPITAÇÃO MÉDIAS MENSAIS

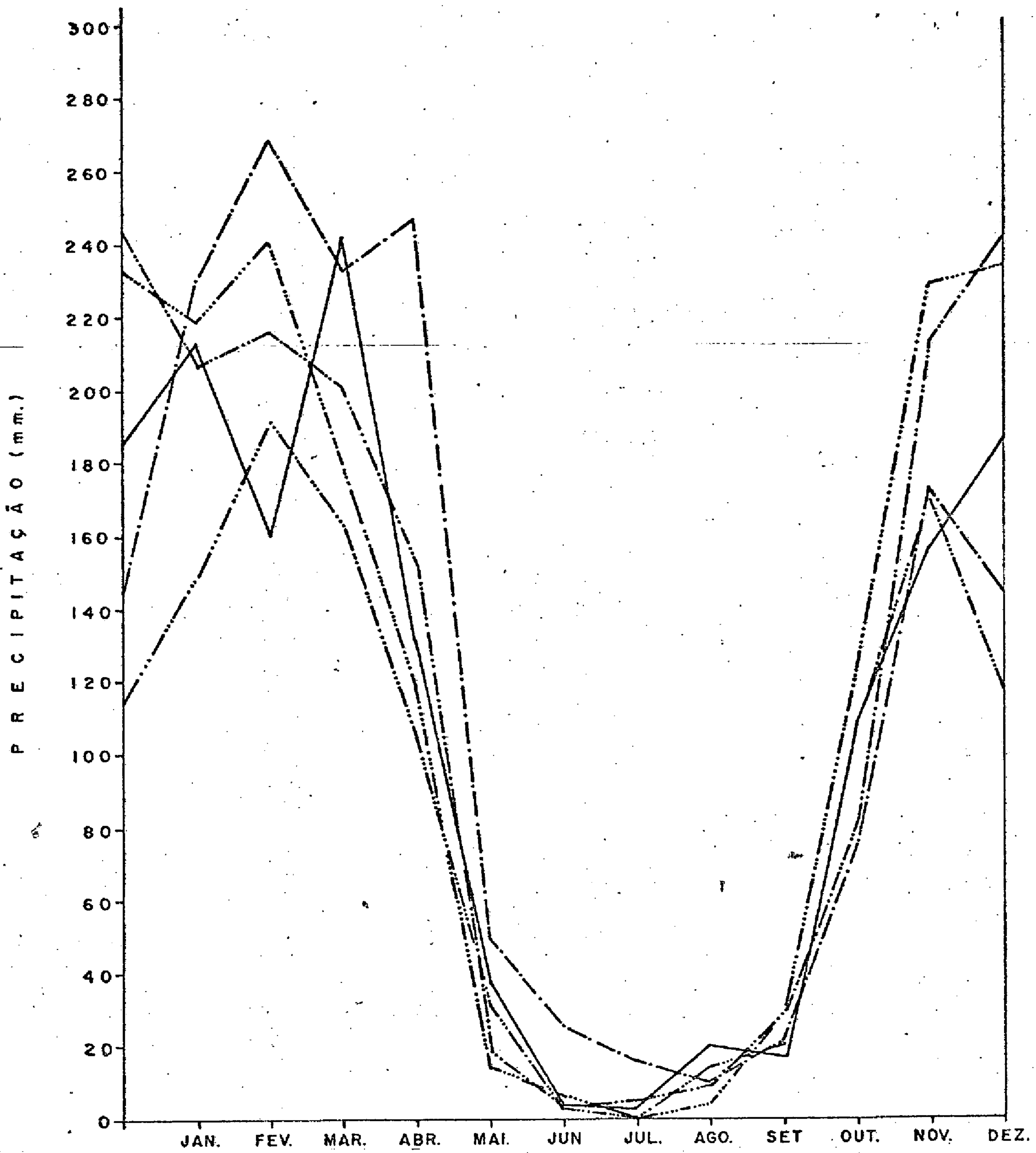


CONVENÇÕES

L O C A L	PERÍODO	MÉDIA mm. /ano
— Oro-Ma.	1966 - 1974	1.116
- - - Tasso Fragoso	1963 - 1973	1.196
..... Coroata	1966 - 1974	910
- · - · - Rio Verde	1968 - 1974	820
..... Faz. Salinas	1962 - 1974	800

Fig. 2.1.2.4

PRECIPITAÇÃO MÉDIAS MENSAIS

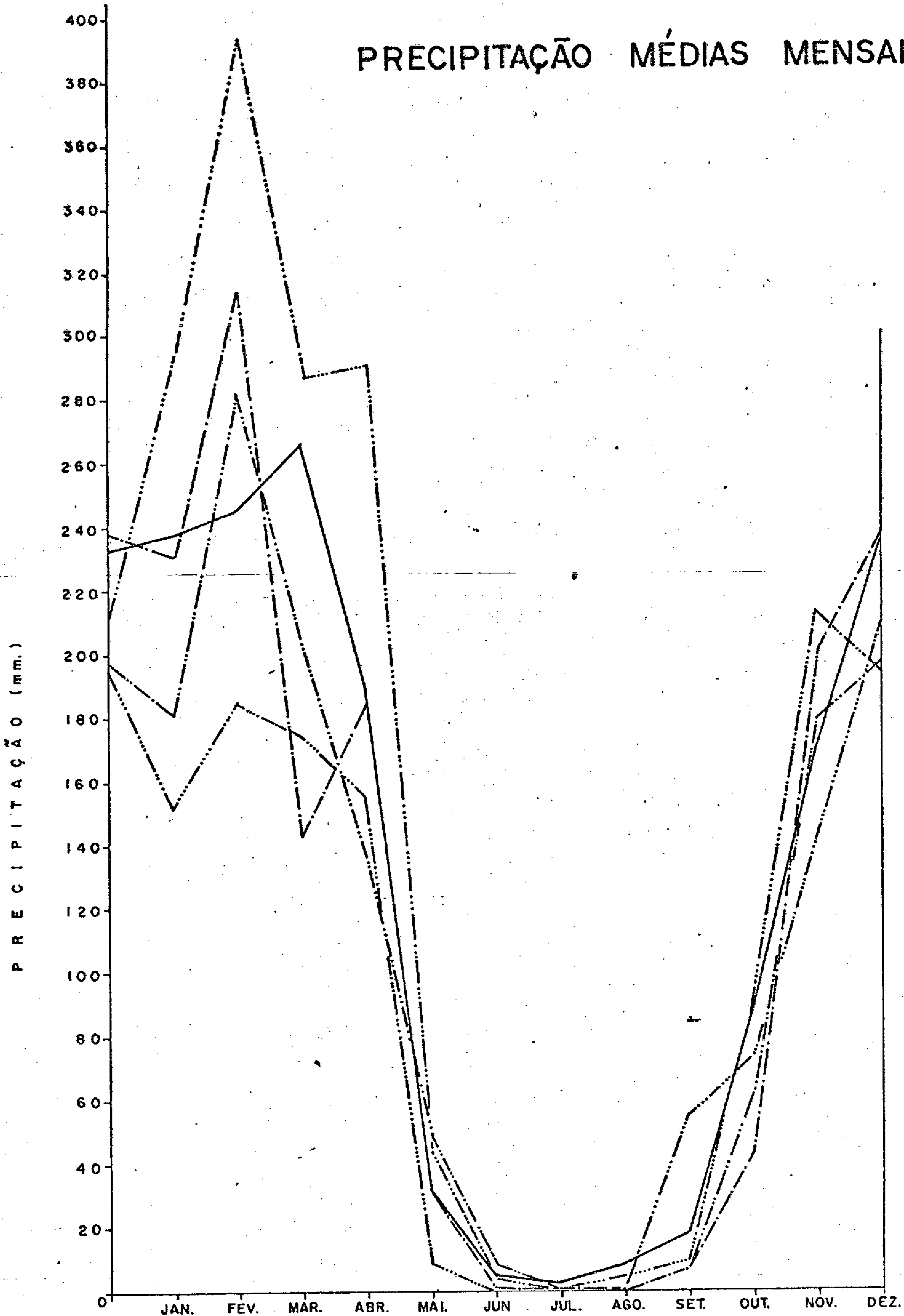


CONVENÇÕES

L O C A L	PERIODO	MEDIA mm. / ano
— Amaro Leite	1966 - 1974	1.044
- - - Alto Parnaíba	1963 - 1964	1.461
- · - Cambul	1966 - 1973	1.304
· · · Cabeceiras	1967 - 1973	959
- - - Morrinhos	1966 - 1973	1.269

Fig. 2.1.2.5

PRECIPITAÇÃO MÉDIAS MENSAIS

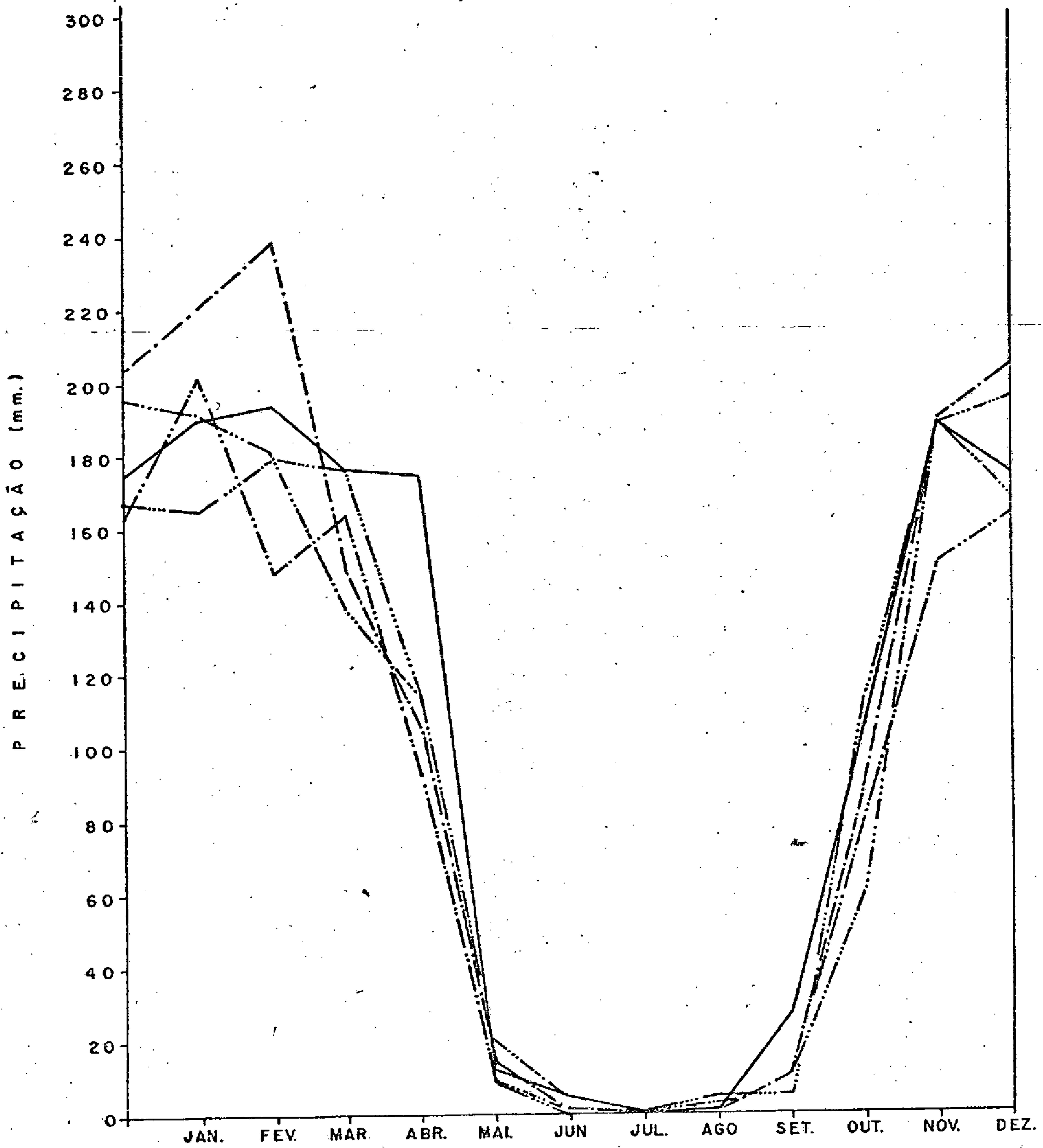


CONVENÇÕES

L O C A L	PERIODO	MEDIA mm. / ano
Tranqueiro	1963 - 1971	1.454
Melancia	1962 - 1968	1.285
Foz. Stª Maria	1963 - 1971	1.178
Cachoeira	1963 - 1973	1.787
Brejo	1967 - 1973	1.311

Fig. 2.1.2.6

PRECIPITAÇÃO MÉDIAS MENSAIS



CONVENÇÕES

L O C A L	PERÍODO	MÉDIA mm./ano
—	1963 - 1973	1.114
- - -	1963 - 1973	1.053
- · - · -	1963 - 1973	1.018
· · · · ·	1962 - 1973	993
- - - - -	1967 - 1973	1.101

Fig. 2.1.2.7

tações meteorológicas, razão pela qual, não se dispõe de dados termométricos. Foram levados em consideração trabalhos anteriores, realizados pelo IBGE, para se tecer alguns comentários a respeito de temperatura.

A região é caracterizada por um clima quente, em que todas as temperaturas médias mensais estão acima de 18°C.

As temperaturas médias mensais variam pouco em toda região, oscilando em torno de 26°C, mantendo-se, mais ou menos, constante durante todo ano. Os meses mais quentes são setembro e outubro com médias máximas de 32 a 36°C, sendo os meses mais frios junho e julho, com médias entre 22° e 24°C, mas, atingindo altos consideráveis durante o dia.

2.1.4 - Zoneamento Árido

O índice de aridez de uma determinada região, é dado pela fórmula de De Martone, dependente apenas de dois parâmetros meteorológicos, precipitação e temperatura, sendo representada pela seguinte expressão:

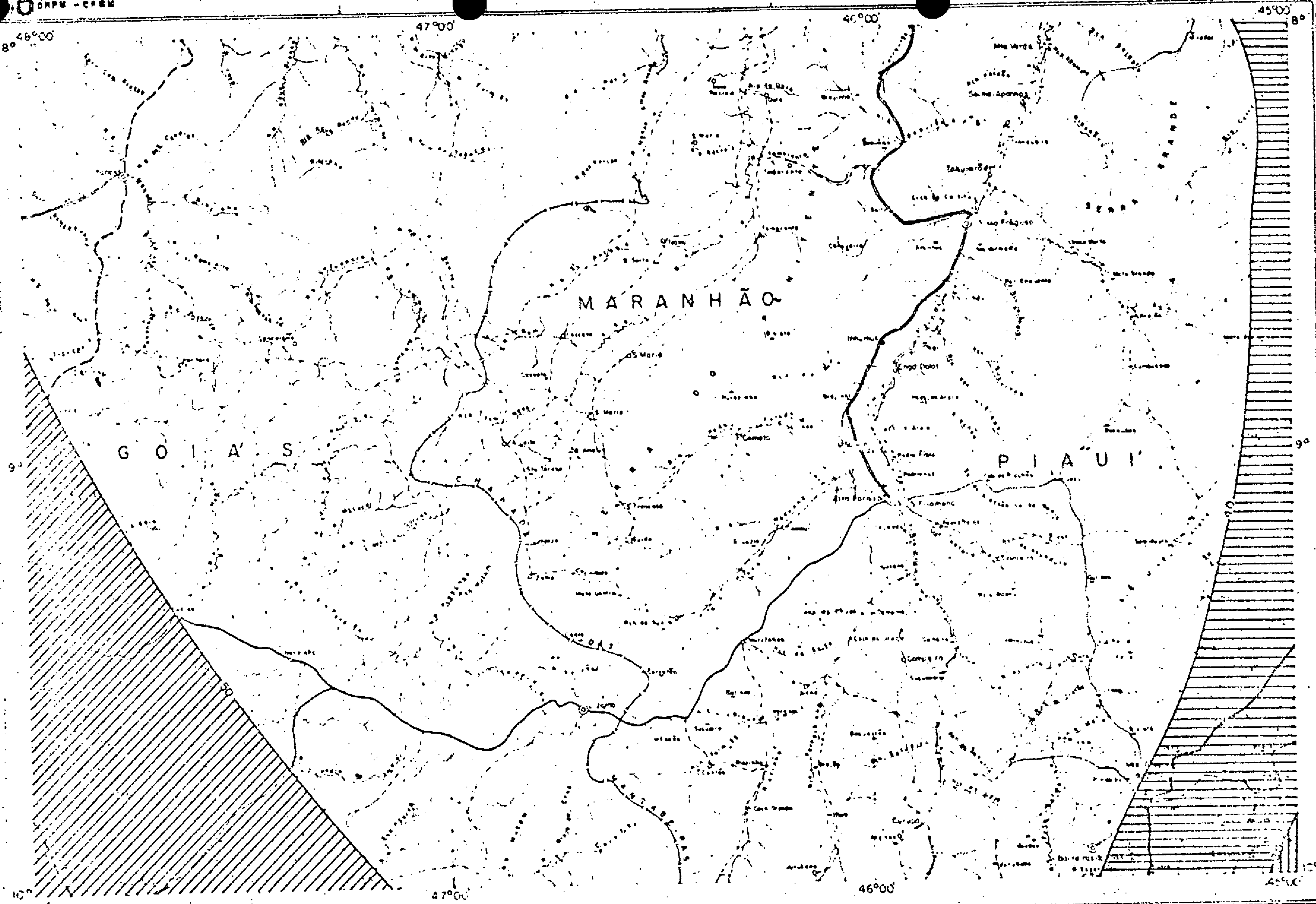
$$I = \frac{P}{t + 10}$$

onde:

I - índice de aridez

P - precipitação total do ano, em mm

t - temperatura média anual (°C)



ZONEAMENTO ÁRIDO
(SEGUNDO E. DE MARTONNE)

0 10 20 30 40 Km
ESCALA 1:1.000.000

CONVENÇÕES

- ⊙ - Cidades
- - Povoados
- - Fazendas
- — — — — Limite interestadual
- — — — — Estrada pavimentada
- — — — — Estrada principal
- — — — — Estrada secundária
- - - - - Caminhos
- — — — — Rios
- ▨ 20-30
- ▨ 30-40
- ▨ 40-50
- ▨ 50-60

O Quadro 2.1.4.1, mostra a correspondência dos índices de De Martone, com os diversos tipos de aridez.

QUADRO 2.1.4.1
CORRESPONDÊNCIA DOS ÍNDICES DE
DE MARTONE COM TIPOS DE ARIDEZ

ÍNDICES	DESCRIÇÃO	ESCOAMENTO
0 - 5	Deserto	Arreismo
5 - 10	Estepe desértica	Endorreismo
10 - 20	Transição	Temporário
20 - 30	Não precisa irrigação	Exorreismo
30 - 40	Floresta	Permanente
40 - 50	Grande floresta	Abundante

O índice de De Martone, foi utilizado pela fundação IBGE na elaboração do "Mapa do Índice de Aridez no Nordeste do Brasil" (1956). Com base neste mapa, foi confeccionado o zoneamento árido para a Folha ora em estudo (Fig. 2.1.4.2).

Observa-se que a área é cortada por três linhas de índice de aridez (30, 40 e 50). A sudeste e leste, estão as linhas de 30 e 40, que compreende a porção da área de condições climáticas mais rigorosas, registrando-se os menores índices de pluviosidade e as maiores temperaturas. Estas condições se alteram ainda mais na região do canto sudoeste da Folha, região de Gilbués e Monte Alegre, nas proximidades da linha de índice de aridez de 30. Pelo rigor destas condições climáticas, esta porção da Folha apresenta características de sertão nordestino.

A linha de 50 que corta o canto sudoeste, está

dividindo a Folha em zonas de dois tipos de aridez que são: os intervalos 40 - 50 e maior do que 50. O primeiro abrangê a maior parte da área e corresponde as regiões de Tasso Fragoso-MA, Alto Parnaíba-MA, Santa Filomena-PI, Itacajá-GO e Lizarda-GO de grande pluviosidade com um clima semi-úmido da região centro-oeste, onde se estende o cerrado, com uma estação chuvosa de verão a uma estação seca centralizado no inverno. No segundo caso aparece a zona de linha de aridez maior do que 50, que se estende em direção oeste onde é de se esperar grandes pluviosidades em direção a região tropical da Amazônia de vegetação de grandes florestas e escoamento abundante.

2.1.5 - Elementos do Balanço Hidrológico

Para se estabelecer o balanço hidrológico de uma bacia é necessário o conhecimento de seus parâmetros determinantes, que são: precipitação média, escoamento superficial, evapotranspiração real e a infiltração, expressos em mm.

De posse dos dados determinantes aplica-se a equação fundamental, que é a seguinte:

$$P = R + Er + I$$

onde:

P - precipitação média.

R - escoamento superficial

Er - evapotranspiração real média

I - infiltração

Como as estações hidrológicas da área não apresentam dados de evapotranspiração, foi realizado o balanço hídrico mensal de acordo com o método de Thornthwaite, que permite avaliar a evapotranspiração real (Er), conhecendo-se a precipitação média mensal (P) e a evapotranspiração potencial (Ep) média mensal, esta determinada através da fórmula simplificada de Turc, que é a seguinte:

$$Ep = 0,40 (I_g + 50) \frac{t}{t + 15}$$

onde:

Ep - evapotranspiração potencial

t - temperatura média mensal em °C

Ig - valor médio da radiação solar, expresso em Cal/cm² dia, obtido através do mapa de Black (Sudene, 1972).

De acordo com o método de Thornthwaite, foram elaborados os Quadros 2.1.5.1/2 das estações de Porto Real (Anajanópolis) e Alto Parnaíba para a confecção das Figs. 2.1.5.3/4 representativas do balanço hídrico médio mensal. Os valores de evapotranspiração real (Er) 917 e 957 mm respectivamente para Porto Real e Alto Parnaíba, indicam que mais de 65% dos totais precipitados evaporou enquanto os 35% restantes aproximadamente, estão divididos entre o escoamento (R) e a infiltração (I).

QUADRO 2.1.5.1
ELEMENTOS DO BALANÇO HÍDRICO MENSAL
DA ESTAÇÃO 08.09.48.01 - PORTO REAL

Latitude : 09°18'30"S

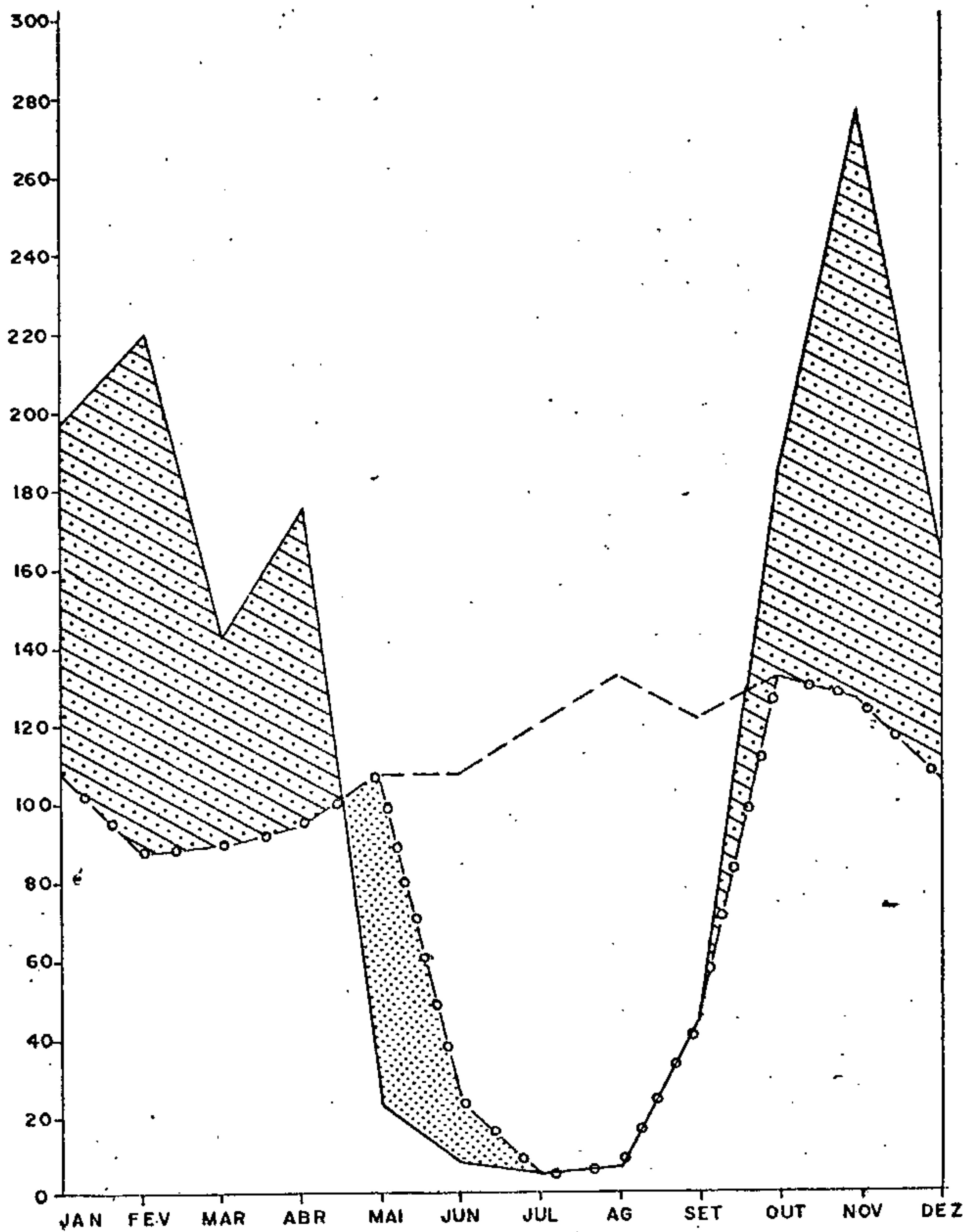
Longitude : 47°55'27"WG

Período : 1969 - 1975

ELEMENTOS DO BALANÇO	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	TOTAL
P - Precipitação	198	219	141	174	22	7	4	6	43	183	276	164	1.437
Ep - Evapotranspiração potencial	106	86	88	93	106	106	119	131	121	131	125	106	1.318
P - Ep	92	133	53	81	-84	-99	-115	-125	-78	52	151	58	119
Variação de reserva de água do solo	-	-	-	-	-84	-16	-	-	-	+52	+48	-	-
Reserva de água útil	100	100	100	100	16	0	0	0	0	52	100	100	-
Er - Evapotranspiração real	106	86	88	93	106	23	4	6	43	131	125	106	917
Déficit	-	-	-	-	-	83	115	125	78	-	-	-	401
Excesso	92	133	53	81	-	-	-	-	-	-	103	58	520

BALANÇO HIDROLÓGICO DA ESTAÇÃO 08.09.48.01 PORTO REAL (Anojanópolis)

1969-1975

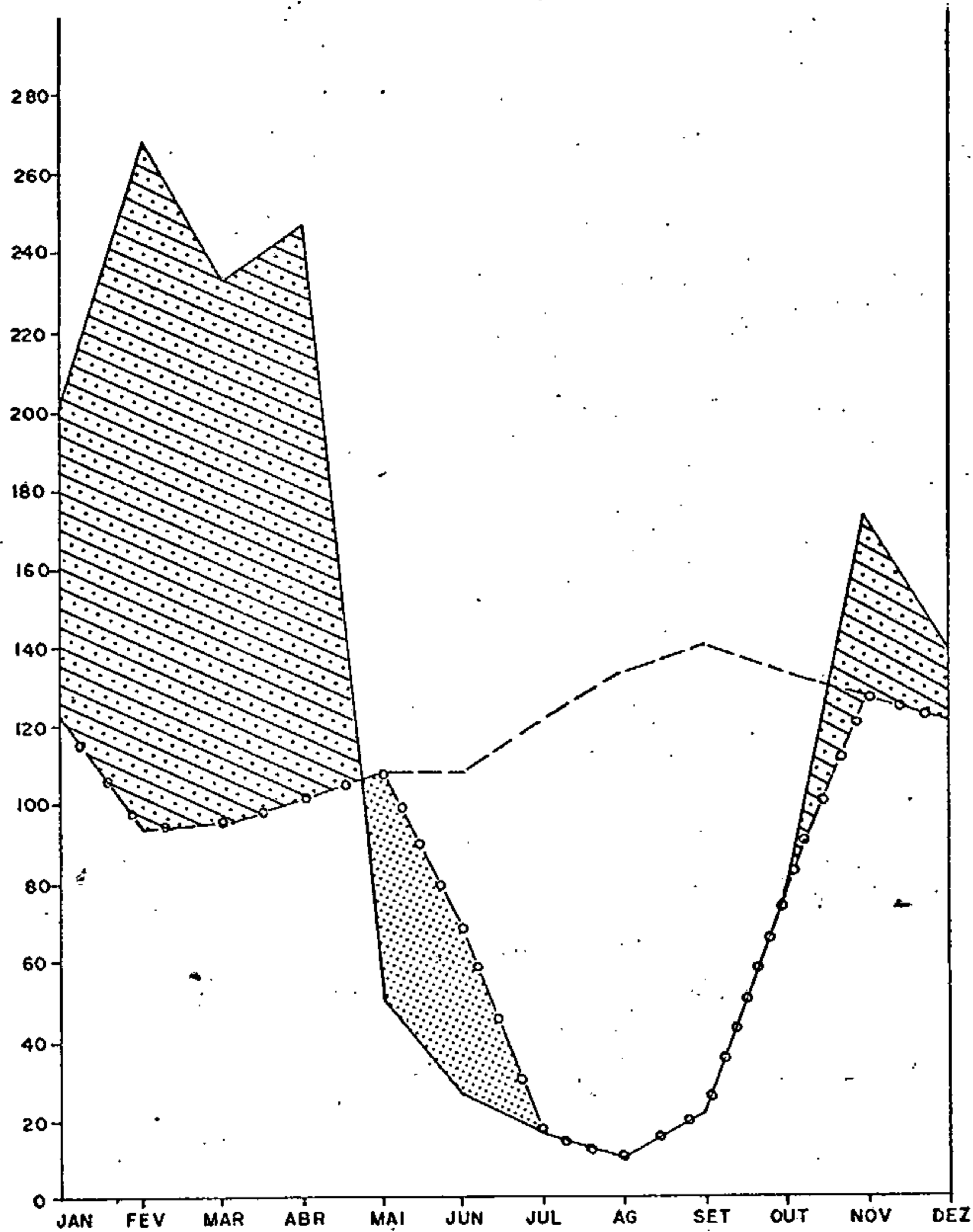


LEGENDA




- P
- - - Ep
- o - o - Er
- Excesso de água + Reconstituição das reservas
- Deficit de água
- Utilização das reservas de água do solo

BALANÇO HIDROLÓGICO DA ESTAÇÃO 36.88.21 PF ALTO PARNAÍBA

1963 - 1974



LEGENDA

- P
- - - Ep
- o - o - ER
-  Excesso de água + Reconstituição das reservas
-  Deficit de água
-  Utilização das reservas de água do solo

2.2 - HIDROLOGIA DE SUPERFÍCIE

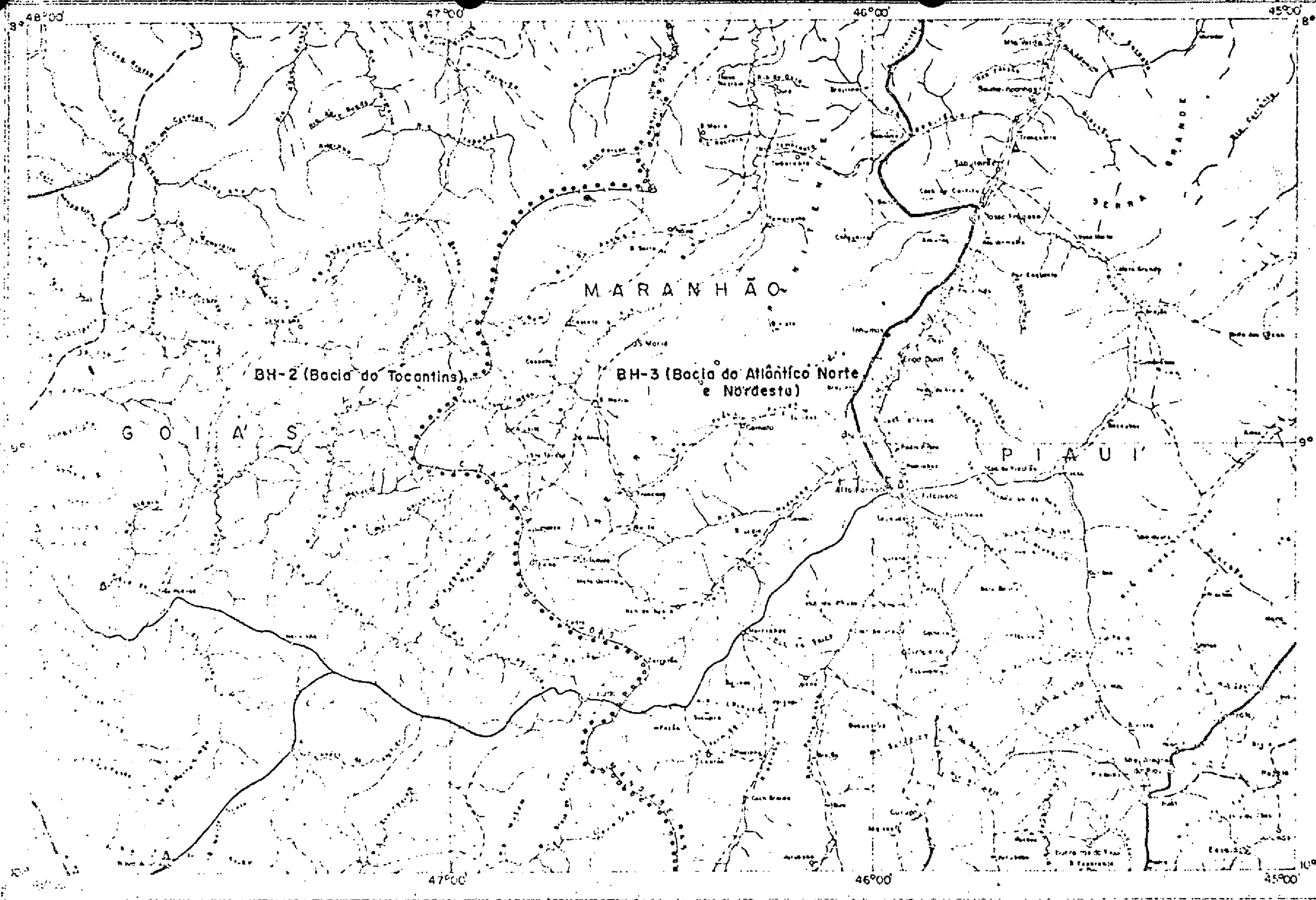
O sistema de drenagem da área é representado pelas bacias hidrográficas dos rios Tocantins (BH-2) e Parnaíba (BH-3), cujo divisor de água natural são os contrafortes da Serra das Mangabeiras, que coincide com a divisa estadual entre Maranhão e Goiás (Fig. 2.2.5).

2.2.1 - Bacia Hidrográfica do Tocantins (BH-2)

Aproximadamente 45% da área está compreendida dentro dos limites da Bacia Hidrográfica do Tocantins (BH-2) que é enquadrada no regime dos rios tropicais nitidamente retardados. Os cursos de água principais correspondem ao Rio do Sono, na porção sudoeste da Folha, Rio Perdida na região centro oeste e afluente principal do Sono, Rio Manoel Alves Pequeno, que drena a parte noroeste, nas imediações de Itacajá e o Rio Vermelho, principal afluente do Rio Manoel Alves Grande.

2.2.2 - Bacia Hidrográfica do Atlântico Norte-Nordeste (BH-3)

A Bacia Hidrográfica do Atlântico Norte-Nordeste (BH-3) abrange, aproximadamente, 55% da área em estudo ten



**SACIAS HIDROGRÁFICAS
E
REDE FLUVIOMÉTRICA**

CONVENÇÕES

- ⊙ - Cidades
- - Povoados
- — — — — Fazendas
- — — — — Limite Interestadual
- — — — — Estrada Pavimentada
- — — — — Estrada Principal
- — — — — Estrada Secundária
- - - - - Caminhos
- — — — — Rios
- ⋯⋯⋯⋯ - Limite de Bacia Hidrográfica
- Δ - Estações Fluviométricas
- BH-2 - Nº de Bacia Hidrográfica

10 20 30 40 Km
Escala 1:100.000

do no Rio Parnaíba o mais importante curso de água, drenando a área no sentido sul-norte e dividindo-a em duas zonas, a do lado maranhense, de maior pluviosidade, e o lado do Piauí, de menor pluviosidade. Em consequência deste fato, os afluentes da margem esquerda são quase todos perenes, enquanto os da margem direita apresentam, em sua grande maioria, regime temporário.

O Rio Parnaíba nasce da confluência dos rios Parnaibinha e Água Quente, nos municípios de Alto Parnaíba (MA) e Santa Filomena (PI), tendo como principais afluentes pela margem esquerda o Rio Medonho, que corre em direção nordeste desaguando pouco abaixo de Alto Parnaíba e o Rio das Balsas, com importante área de drenagem de direção norte, indo desaguar no Parnaíba fora dos limites da Folha. Pela margem direita os afluentes de maior importância são Riosinho de direção noroeste, Rio Uruçuí Vermelho de direção sul-norte, que faz parte da drenagem das cabeceiras do Parnaíba, Rio Uruçuí Preto de direção nordeste e que desagua no Parnaíba, fora dos limites da Folha, e o Rio Gurguéia no canto sudeste, rio este de grande importância no sul do Estado do Piauí, em face da existência de projetos agrícolas em seu vale.

2.2.3 - Dados Hidrológicos

Na área em estudo existem sete postos fluviométricos em operação, sendo cinco na bacia do Tocantins e dois na do Atlântico Norte-Nordeste.

Dos postos fluviométricos existentes apenas as estações de Porto Real (Rio do Sono) e Alto Parnaíba (Rio

Parnaíba) apresentam dados mais significativos, das outras estações constam apenas leituras periódicas. Os períodos de observações fluviométricas, variam de dois a onze anos, conforme Quadro 2.2.3.2 - Catálogo de Observações Fluviométricas.

O posto fluviométrico de Porto Real, apresenta uma bacia hidrográfica de 45.650 km²; no período de observação apresentou uma descarga máxima de 6.078 m³/s, em março de 1970, e a sua descarga mínima, em igual período, foi de 235 m³/s, em setembro de 1972.

Foi confeccionado um gráfico comparativo precipitação - descarga mensal, Fig. 2.2.3.3, onde se observa uma configuração, aproximadamente, paralela entre as curvas, sendo as variações pluviométricas acompanhadas, concomitantemente, pelas variações de descarga.

O posto fluviométrico de Alto Parnaíba compreende uma bacia hidrográfica de, aproximadamente, 13.600 km², com uma descarga máxima para o período de observação de 625 m³/s em março de 1966 e com uma descarga mínima para igual período de 65,2 m³/s em setembro de 1972.

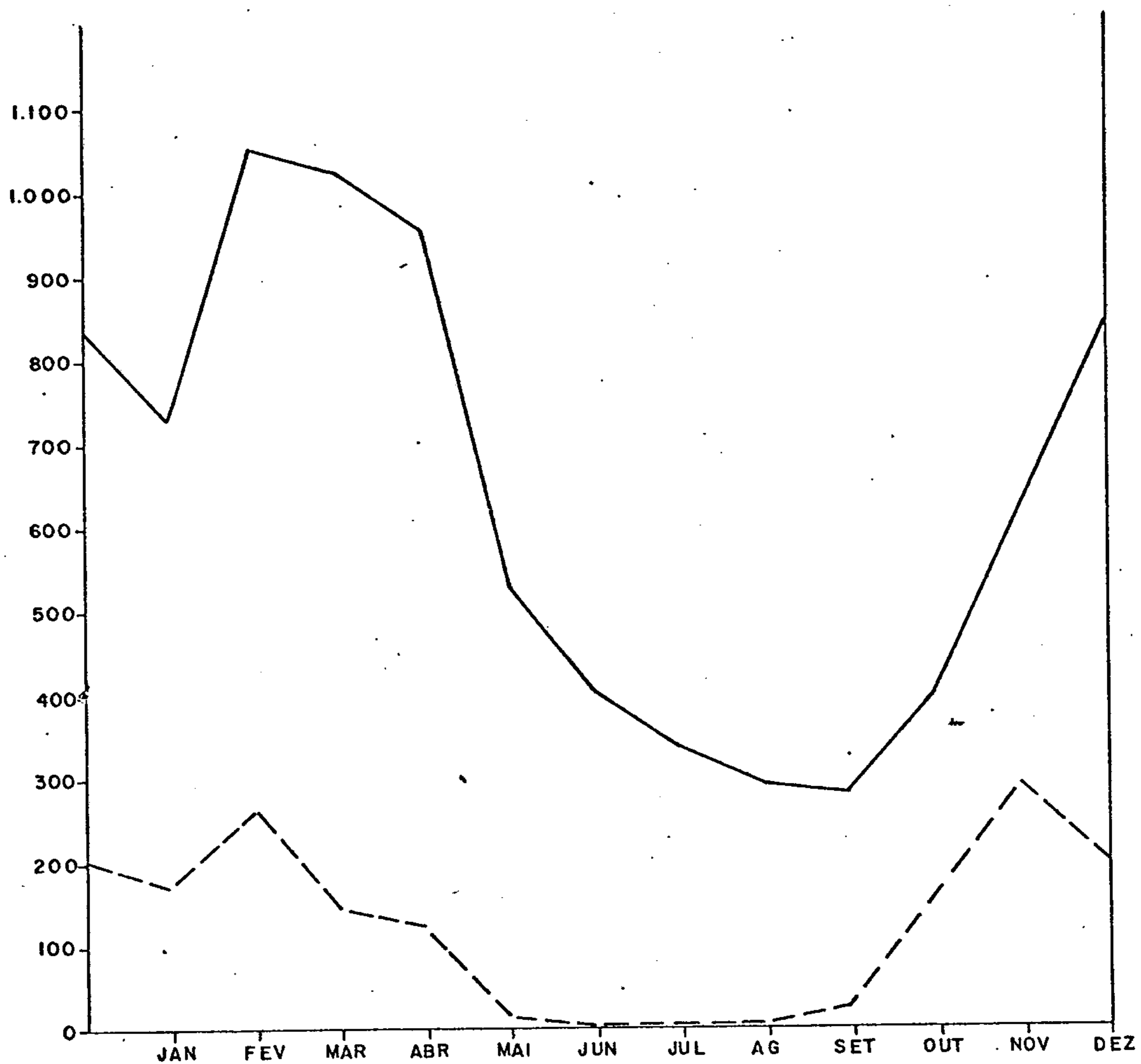
O gráfico comparativo precipitação - descarga mensal, Fig. 2.2.3.4, mostra que a descarga embora diminuindo com as precipitações menores, manteve relativamente uma pequena variação, indicando provável alimentação complementar por parte das águas subterrâneas.

2.2.4 - Recessão em Porto Real

O período de recessão de um rio ocorre durante a época de ausência de chuvas e a vazão do rio é fornecida

GRÁFICO COMPARATIVO PRECIPITAÇÃO - DESCARGA MENSAL
DA ESTAÇÃO 08.09.48.01 - PORTO REAL (Anajanópolis)

1969 - 1975



LEGENDA

— Descarga m³/s

- - - - - Precipitação mm

Precipitação máxima - 369 mm - fevereiro - 1972

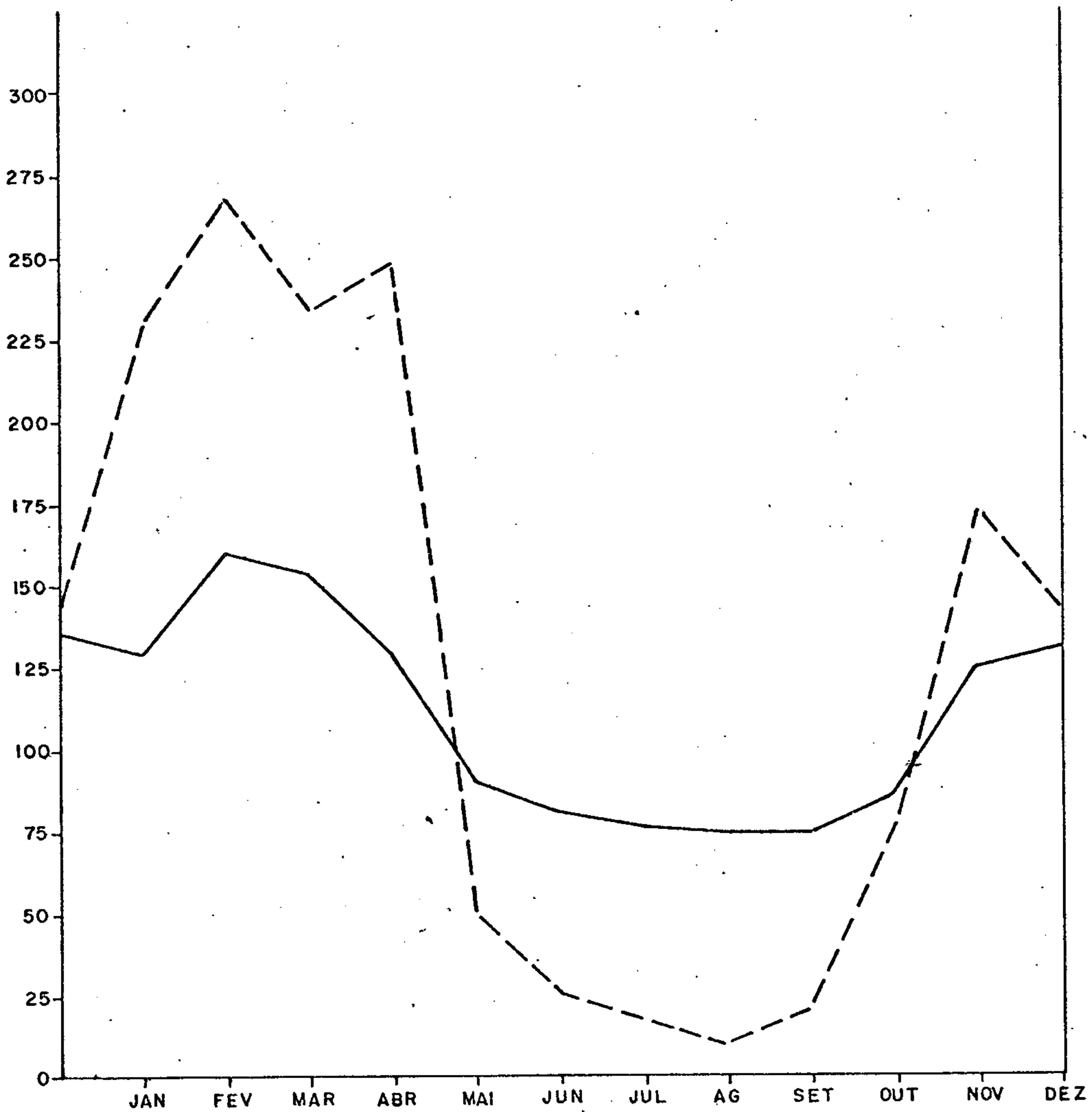
Precipitação mínima - 0,0 mm - mais frequente julho

Descarga máxima - 6.078 m³/s - março - 1970

Descarga mínima - 230 m³/s - setembro - 1972

Área de drenagem - 45.650² Km

GRÁFICO COMPARATIVO PRECIPITAÇÃO - DESCARGA MENSAL
 DA ESTAÇÃO 38.88.21 PF - ALTO PARNAÍBA
 1963 - 1974



LEGENDA

— Descarga m³/s

- - - - Precipitação mm

Precipitação máxima - 588 mm - janeiro - 1970

Precipitação mínima - 0,0 mm - mais frequente julho

Descarga máxima - 625 m³/s - março - 1966

Descarga mínima - 65,2 m³/s - setembro - 1972

Área de drenagem - 13.600 Km²

pelas reservas subterrâneas. De acordo com dados de descargas diárias do Rio do Sono em Porto Real, observa-se que o seu período de recessão ocorre, aproximadamente, de maio a outubro.

Com bases na fórmula $Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$ atribuída a Maillet, onde a descarga Q_t no instante t é fornecida em função da descarga inicial Q_0 no instante t_0 , início da recessão, foi calculado o coeficiente de recessão (α) para a estação de Porto Real, que é igual a 0,004159271.

Os valores de descargas Q_t e Q_0 são expressos em m^3/s , t em dias e α tem a dimensão do inverso de um tempo (T^{-1}).

Para o cálculo do volume da reserva (V_r) de água armazenada no aquífero no instante t_0 , responsável pela descarga do rio no período de recessão, usa-se a integração da fórmula de Maillet, onde:

$$V_r = Q_0 \int_{t_0}^{\infty} e^{-\alpha t} dt$$

O valor do volume da reserva para o período de recessão foi calculado como sendo $86 \times 10^8 m^3$.

Na figura 2.2.4.1 está representada a curva de recessão para a estação de Porto Real, que fornece os seguintes dados:

$$Q_0 = 450 m^3/s$$

$$Q_t = 236 m^3/s$$

$$\alpha = 0,004159271$$

$$V_r = 93 \times 10^8 m^3$$

$$t = 126 \text{ dias}$$

CURVA DE RECESSÃO DO RIO DO SONO EM PORTO REAL (Anajanópolis)

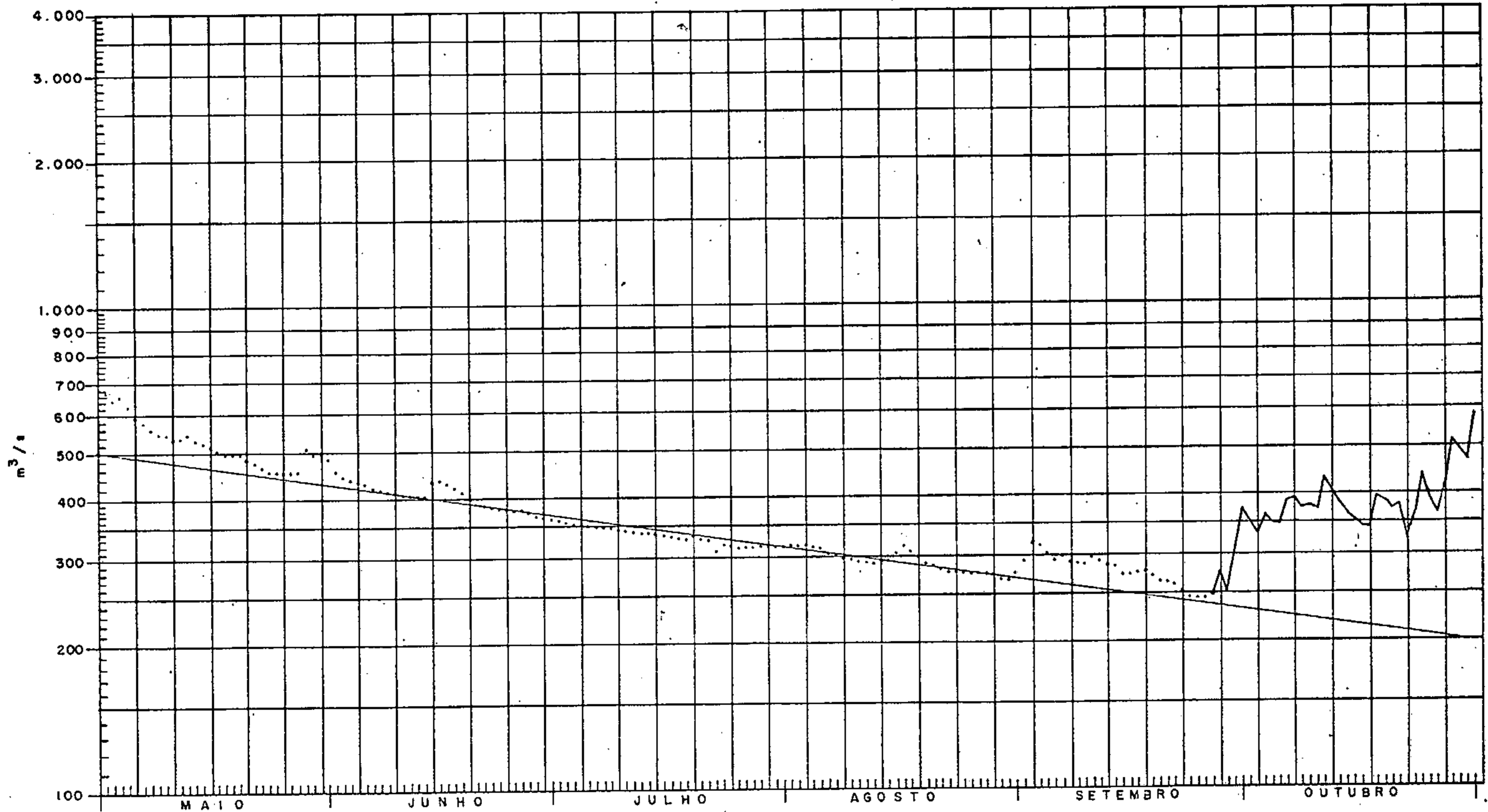


Fig. 2.2.4.1

2.3 - MORFOLOGIA

A morfologia da área é caracterizada por extensas chapadas paleo-mesozóicas da vasta região sedimentar da bacia do Parnaíba, com vales dissecados pelo sistema de drenagem, formando escarpas dando lugar ao aparecimento de mesetas e morrotes testemunhos, controlados pela erosão diferencial.

Por ordem de grandeza espacial, tem-se um conjunto de altos platôs, divisor das bacias hidrográficas do Parnaíba e Tocantins, constituído pelos sedimentos das formações Pedra de Fogo e Piauí e do Cretácio da Chapada das Mangabeiras.

Os mergulhos das camadas são no sentido do interior da bacia sedimentar, isto é, para o Rio Parnaíba. A erosão diferencial trabalhou os terrenos de forma a ocasionar um relevo assimétrico com uma vertente abrupta, voltada para leste ou sudeste e outra que desce suavemente em direção a oeste ou noroeste.

Na parte leste da área os vales dos rios são encaixados nas formações Poti, Piauí e Sambaíba, com pouca profundidade e bastante largos; os que cortam a Formação Pedra de Fogo, apresentam vales muito abertos, abruptos, encravados na Formação Piauí, sustentados pelas camadas silicificadas da Formação Pedra de Fogo.

A faixa oeste, onde as altitudes vão decrescendo em direção a borda ocidental da Bacia Sedimentar do Parnaíba, tem-se dois tipos de relevo mais comumente observáveis; um, das chapadas de pequena extensão, mais característico nas formações mais arenosas, como Poti inferior, Piauí e Pedra de Fogo, e outro plano-ondulado predominante nas formações mais pelíticas, como Pimenteiras, parte intermediária de Cabeças e Longá.

Dois padrões de drenagem ocorrem nessa faixa, ambos dendríticos, sendo o primeiro deles com maior adensamento de cursos de água nas áreas de ocorrência das formações Longá e Poti superior, enquanto o outro mostra um padrão com cursos de água esparsos, predominando nas formações Poti inferior, Piauí e Pedra de Fogo.

2.4 - VEGETAÇÃO

O quadro botânico da área é constituído pelas espécies do cerrado brasileiro, típico dos chapadões arenosos mais úmidos. Constitui-se de uma vegetação aberta, de baixo porte, árvores de tronco e galhos retorcidos, folhas grossas, coriáceas e ásperas, disseminadas em meio a arbustos, sub-arbustos e vegetação baixa, constituído pelas gramíneas passando para o cerradão, que é um tipo transicional entre o cerrado e a mata, muito semelhante aos agrestes descritos por Luetzelburg.

Há uma considerável variedade na vegetação dos cerradões, destacando-se pela ocorrência comum e fácies características, as seguintes espécies: lixeira (*Curatella americana*), pau-terra (*Qualea* sp), piqui (*Caryocar brasiliensis*), pau-de-colher-de-vaqueiro (*Salvertia convallaria dora*), pau-de-santo (*Kielmeyera caribaea*), barbatimão (*Stryphnodendron barbatimão*), quineira branca (*Strychnos pseudoquina*) e mangabeira (*Hancornia speciosa*).

Segundo Schimidt, nas chapadas do Piauí, são muito frequentes as espécies cajuí (*Anacardium humile*), faveira (*Parkia platicephala*), aroeira (*Schiuens aroeiro*), cajueiro (*Anacardium occidentale*), mandacaru (*Cereus*

jamacaru), xique-xique (*Pilocerrus gounelli*), pau d'arco (*Tecona chrysostrycha*), jatobá (*Hymenaea courbaril*), ca-pim do campo (*Panicum equinolaena*) e outros.

Nos vales úmidos, cabeceiras de brejo e ao longo dos cursos de água a vegetação se torna mais densa com a presença de palmeiras buritis (*Mauritia flexurosa*), fazendo parte da paisagem local, que são as chamadas matas de galeria.

3 - GEOLOGIA

3.1 - GENERALIDADES

A área em pauta, com seus aproximados 72.000km², é constituída por rochas sedimentares paleozóicas, mesozóicas, cenozóicas e, também, por derrames basálticos do triássico, localizados entre os arenitos Sambaíba e os arenitos Urucuia.

Estas rochas constituem uma parte da sequência estratigráfica da bacia do Parnaíba situada no Meio-Norte do Brasil compreendendo os estados do Piauí e Maranhão. Suas bordas chegam a atingir os estados de Goiás, Bahia, Pará e Ceará, abrangendo uma área aproximada de 600.000km². Sua litologia é constituída por uma sequência de conglomerados, arenitos, siltitos, folhelhos, e intercalações de derrames de basalto e de intrusões de diabásio.

3.2 - ROCHAS SEDIMENTARES

As rochas sedimentares da Bacia do Parnaíba foram estudadas inicialmente por M.A. Lisboa e H.L. Small, em 1913 e 1914, que deram todos os subsídios para que estudiosos pudessem partir de um princípio básico. Logicamente a coluna estratigráfica proposta pelos pioneiros foi sendo modificada através dos tempos, sendo objeto de polêmicas discussões até os dias de hoje. Entre o numeroso contingente de autores, deve-se destacar os trabalhos de

W.O. Kegel em 1953, O.R. Albuquerque & Dequech em 1946, Glycon de Paiva, F.B. Plummer, D.F. Campbell, R.K. Blankenagel em 1952, L.M. Moraes Rego, G. Aguiar, ressaltando-se ainda as contribuições de projetos da Petrobrás e da CPRM.

3.3 - ESTRATIGRAFIA

O Quadro 2.3.1 representa a coluna estratigráfica da Folha, compreendendo as sequências sedimentares e intrusivas, descritas a seguir.

3.4 - PALEOZÓICO

É representado nesta Folha, inicialmente pela Formação Pimenteiras, sequenciada pelas formações Cabeças, Longá, Poti, Piauí e Pedra de Fogo.

3.4.1 - Formação Pimenteiras

O termo "Pimenteiras" foi usado pela primeira vez por Small em 1913, para definir uma sequência de folhelhos e siltitos, que ocorrem próximo a cidade homônima. Kegel, em 1953, dividiu esta formação em duas unidades: inferior, como os arenitos Itaim, e superior, por

QUADRO: 3.3.1		COLUNA	ESTRATIGRÁFICA
IDADE	SISTEMA	FORMAÇÃO	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA
CENOZÓICO	QUATERNÁRIO	ALUVIÕES	ARGILAS, AREIAS, CALHAUS.
	TERCIÁRIO	COBERTURAS DETRÍTICAS	COBERTURA ARENO ARGILOSA, LATERÍTIAS ALUVIÕES, DEPÓSITOS DE TALUDE.
MESOZÓICO	CRETÁCIO	URUCUIA	ARENITO RÓSEO, FINO-MÉDIO, ARGILOSO, GRÃOS FOS- COS SUBARREDONDADOS A ESFÉRICOS, ESTRATIFICAÇÃO CRUZADA.
		AREÁDO	SILTITO E FOLHELHO VERMELHO, FOSSILÍFERO, CAL- CITA, CALCARENITO.
	JURÁSSICO	MOSQUITO	BASALTO VERDE ESCURO A PRETO, MATRIZ AFANÍTI- CA AMIGDALOIDAL COM ZEÓLITOS E CALCEDÔNIA. NA BASE, LOCALMENTE OCORRE INTERCALAÇÕES DE ARENITO SAMBAÍBA.
	TRIÁSSICO	SAMBAÍBA	ARENITO RÓSEO A ESBANQUIÇADO, FINO A MÉDIO, PELÍCULA DE ARGILA ENVOLVENDO OS GRÃOS, ES- TRATIFICAÇÃO CRUZADA DE GRANDE PORTE.
PALEOZÓICO	PERMIANO	PEDRA DE FOGO	ARENITO RÓSEO, FINO-MÉDIO, ARGILOSO, SILTITO E FOLHELHO VERMELHO E VIOLÁCEO, NÍVEIS DE CAL- CÁRIO E SÍLEX, FAIXAS OOLÍTICAS OU NODULARES.
	CARBONÍFERO	PIAUI'	ARENITO RÓSEO E ESBANQUIÇADO, MÉDIO, ETRA- TIFICAÇÃO CRUZADA DE GRANDE PORTE, SILTITOS ARGILOSOS E FOLHELHOS VERMELHOS, HOMOGÊNEO, NÍVEL DELGADO DE SÍLEX.
		POTI	ARENITO RÓSEO, ESBANQUIÇADO, FINO A MÉDIO, INTERCALAÇÕES DE SILTITO E FOLHELHO CINZA, ARROXEADO E VERMELHO, MICÁCEO, RESTOS DE VEGETAIS CONGLOMERADOS INTRAFORMACIONAIS.
		LONGÁ'	FOLHELHOS E SILTITOS CINZA ESCUROS E ARRO- XEADOS, MICROMICÁCEOS, BIOTURBAÇÃO, RASTROS DE VERMES, FLASER, ARENITOS FINOS HOMOGÊNEOS.
	DEVONIANO	CABEÇAS	ARENITO ESBANQUIÇADO, FINO A MÉDIO, ESTRATIFI- CAÇÃO CRUZADA, NÍVEL DE SILTITO E FOLHELHO CIN- ZA OCASIONAIS LENTES DE PARACONGLOMERADOS.
		PIMENTEIRAS	ALTERNÂNCIA DE ARENITOS CREMES E ESVERDEA- DO, FINO E SILTITO E FOLHELHOS CINZA E ARRO- XEADO, MARCAS DE VERMES, FLASER. NÍVEIS DE OÓLITOS FERRUGINOSOS OU CARBONÁTICOS.

folhelhos e siltitos Picos. Blankennagel e Aguiar, consideram apenas o Membro Picos, como componente da Formação Pimenteiras e, situaram o Membro Itaim como parte superior da Formação Serra Grande, aceito por todos os trabalhos subsequentes.

Aflora no extremo sudoeste e oeste da área mergulhando para leste e nordeste, rumo ao centro da bacia. Suas áreas de exposições estão restritas às partes baixas, com relevo plano-ondulado. Sua litologia é constituída por uma sequência de folhelhos cinza escuro e esverdeados, homogêneos, ocasionalmente com bioturbação, pouco calcíferos. Intercalam-se siltitos argilosos, cremes, avermelhados, e arroxeados, com níveis ferruginosos e folhelhos róseos a esbranquiçados, localmente fossilíferos, tendo subordinadamente, arenitos avermelhados e finos. Na parte inferior e superior desta sequência, ocorrem dois níveis de oólitos ferruginosos de coloração amarelo-pirita, que são tomados como camada guia na região.

A espessura média desta formação, é de 120 m, e seu contato com a Formação Cabeças é transicional, pela passagem de folhelhos siltíticos escuros e cremes, para siltito creme. Esta graduação é observada na estrada Itacajá-Pedro Afonso, nas proximidades do Rio Soninho. Seu contato inferior com a Formação Serra Grande não foi observado nesta área. É datada como Devoniano inferior.

3.4.2 - Formação Cabeças

O termo "Cabeças" foi usado pela primeira vez por Plummer, em 1946, para designar os arenitos situados próximos ao povoado Cabeças, hoje cidade de Dom Expedito

Lopes, Estado do Piauí, dividindo-os em três membros, Passagem, Oeiras e Ipiranga, considerando-os como pertencentes ao Carbonífero. Blankennagel, conservou o nome "Cabeças", porém, a datou como Devoniano Médio Superior. Perillo e Nahass (1958) não consideraram as divisões propostas e chamaram-na, exclusivamente, de Formação Cabeças.

A área de exposição da Formação Cabeças compreende uma faixa com direção norte-noroeste, predominando a leste dos rios Soco e das Balsas, com largura de, aproximadamente, 15 km e mergulhando para leste e nordeste. Seu relevo é constituído por chapadas planas, com terminações em forma de escarpas abruptas e aspecto geomorfológico rui-niforme apresentado, principalmente, pelos arenitos superiores. Sua litologia é composta por arenitos esbranquiçados, amarelos, cremes e avermelhados, finos e médios, com grãos grosseiros, esparsos, subangulosos a subarredondados, brilhosos, homogêneos, estratificação cruzada planar e ondulada de grande porte, localmente caulínicos, friáveis. Na região de Lizarda, ocorrem intercalações de folhelhos cinza a vermelho (limonitizados). Na região de Itacajá, ocorre um paraconglomerado, formado por matações, blocos e seixos originários das formações Cabeças e Pimenteiras e matriz argilosa cinza a ocre, com níveis oxidados.

A espessura aflorante está em torno de 30 a 70 m, estando a parte mais espessa para sul da área.

O contato superior com a Formação Longá é concordante, porém, ocorrem discordâncias locais. Está posicionada no Devoniano Médio, datada por fósseis (esporos) encontrados na porção inferior, determinados por Sommer. Nesta área não foram encontrados fósseis.

3.4.3 - Formação Longá

Em 1946, Albuquerque e Dequech chamaram de Formação Longá os folhelhos escuros que afloram no vale do rio do mesmo nome, e também na estrada Castelo - Campo Maior.

Perillo e Nahass em 1968, trabalhando nas folhas de Itacajá e Lizarda, preservaram a denominação Longá e dividiram-na em três membros: inferior, médio e superior, tomando como base, características litológicas.

A área de exposição está situada no lado oeste da Folha, possuindo direção aproximadamente norte-sul, estreitando-se para sul. Os seus estratos são concordantes com os antecedentes e mergulham para nordeste. As melhores exposições destas rochas localizam-se ao longo do Rio Manoel Alves Pequeno, na estrada Itacajá-Pedro Afonso e Rio Sono - Lizarda. De maneira geral, o relevo é ondulado constituído por siltitos e folhelhos cinza escuros a cremes, micromicáceos, aleitamento regular, tendo níveis com rastros de vermes. Intercalam-se, subordinadamente, arenitos róseos, finos, laminação cruzada, friáveis; na porção média e superior da seção, ocorrem níveis conglomeráticos ferruginosos, duros, com seixos de quartzo e fragmentos oxidados, retrabalhados nos estratos inferiores, constituindo diastemas.

A espessura da Formação Longá varia entre 45 a 70 m. Seu contato com a Formação Poti é concordante e gradacional. Não foram encontrados fósseis nesta área, porém, sua posição stratigráfica foi definida através de estudos de fósseis realizados por Kegel (1953) e Muller (1962) tendo sido posicionada no Devoniano Superior.

3.4.4 - Formação Poti

Coube a Lisboa, em 1914, lançar pela primeira vez o nome Poti na estratigrafia da Bacia do Maranhão, para denominar uma ocorrência de folhelhos calcíferos que afloram no vale do rio homônimo.

Perillo e Nahass, em 1968, e Andrade, em 1972, mapearam esta formação nas folhas de Itacajá e Lizarda-GO. O Projeto Gilbués, desenvolvido pela CPRM em 1972, identificou também estas unidades na região de Gilbués/Monte Alegre-PI.

Estes sedimentos ocorrem na parte ocidental da Folha, constituindo uma faixa com direção norte-noroeste, possuindo larguras de 30 a 80 km, formando chapadas arenosas, sem destaque topográfico, com seus estratos mergulhando aproximadamente para nordeste. Na borda oriental sua área aflorante é mais restrita, situando-se no vale do Riocho Marmelada a oeste de Gilbués, no vale do Rio Contrato e nos arredores de Monte Alegre-PI, constituindo as partes topograficamente mais baixas. Litologicamente, pode ser dividida em duas unidades marcantes; uma inferior, arenosa e outra superior, essencialmente argilosa.

A seção inferior é constituída por arenitos róseos, esbranquiçados, arroxeados, avermelhados, finos a médios com ocasionais níveis grosseiros a conglomeráticos, pintalgados de caulim, micáceos, com estratificação cruzada planar e tipo torrencial, localmente calcíferos com esparsas intercalações de siltitos argilosos, avermelhados, cremes, homogêneos e conglomerados polimictos de matriz arenosa com seixos e, até, matações de rochas ígneas, silício e quartzo. A parte superior é formada por uma sequência de folhelhos e siltitos avermelhados, marrons, cremes, róseos, homogêneos, com microestratificação ondulada e cruzada, micromicáceos. Na região sudeste a seção inferior é

composta por arenitos médios a grosseiros com frequentes níveis conglomeráticos. O siltito da unidade superior é arenoso de coloração marrom-avermelhada, arroxeadada e esbranquiçada, homogêneo, em parte com laminações onduladas de argila vermelha escura a marrom, apresentando fraturas subverticais preenchidas por calcita preta.

Seus estratos possuem espessura de 100 m na região sudeste, tendo sido constatado 36 m aflorantes, pelo Projeto Gilbués. Na região centro-oeste situa-se em torno dos 200 m, sendo aflorante cerca de 40 m.

O contato superior é discordante e foi posicionado como de idade carbonífera inferior através de dados palinológicos estudados por Muller (1962). Neste trabalho não foram encontrados fósseis.

3.4.5 - Formação Piauí

A denominação "Série Piauí" foi primeiro utilizado por Small, em 1914, para denominar a seção paleozóica da Bacia do Parnaíba.

Dequech e Kegel (1948) situaram, estratigraficamente, estes sedimentos em posição superior aos arenitos Poti, e inferior aos sílex da Formação Pedra de Fogo, critério adotado, em 1958, por Perillo e Nahass.

Aflora em grandes áreas, distribuída em quase toda a Folha, sendo seu relevo formado por extensas chapadões de cobertura arenosa, provenientes do seu retrabalhamento. Na porção nordeste da área, ocorre nas escarpas e fundo dos vales. Sua litologia é constituída por uma sequência essencialmente arenosa formada por arenitos ró-

seos, avermelhados e esbranquiçados, finos a médios, localmente grosseiros, pintalgados de caulim, grãos subarredondados, com estratificação cruzada tipo planar e torrencial de grande porte. Ocorrem ocasionais intercalações de siltitos e folhelhos vermelhos e arroxeados, homogêneos ou com aleitamento regular ondulado; para o topo ocorre arenito róseo, médio a grosseiro, gradando para arenito marrom e amarelo, fino a médio, grãos subangulosos a subarredondados, raras estratificações cruzadas, tipo torrencial, regularmente selecionado, com alternância de siltitos e argilitos vermelhos.

Sua espessura aflorante varia de 150 a 200 m. Perillo e Nahass, em 1968, chegaram a medir 240 m na Serra Geral. Na região sudeste a espessura varia entre 60 e 100 m.

O contato inferior com a Formação Poti é discordante e erosivo, bem marcado por um conglomerado basal polimicto. Na região de Itacajá já não afloram estes conglomerados, ocorrendo zonas de oxidação ou uma suave discordância angular. Seu contato superior, com a Formação Pedra de Fogo, é concordante e gradacional, e na área de Lizarda ele se verifica entre os arenitos róseos, amarelados, finos, com as camadas basais de siltitos de cores variegadas, com níveis de sílex. Estratigraficamente, está posicionada no Carbonífero Superior.

3.4.6 - Formação Pedra de Fogo

O nome "Pedra de Fogo" foi aplicado pela primeira vez por Plummer, em 1946, para denominar as rochas que continham troncos de *Psaronius* e camadas de sílex, locali

zados no riacho Pedra de Fogo, entre as cidades de Pastos Bons e Nova Iorque-MA. Estas rochas já eram conhecidas de Lisboa (1914), que as tinham colocado na sua "Série Parnaíba". Aguiar, trabalhando na área de Balsas-MA, identificou quatro ciclos de sedimentação para a formação em tela.

Perillo e Nahass, em 1968, e Andrade, em 1972, mapearam estas rochas nas folhas de Itacajá e Lizarda-GO, adotando o mesmo critério anterior.

Suas rochas estão representadas por extensas áreas de exposição, formando imensos chapadões areno-argilosos, planos, com bordas festonadas e intensamente dissecadas. O topo do platô é sustentado pela resistência de seus sedimentos, níveis de sílex das camadas basais, que também é utilizado como camada-guia em razão de sua grande extensão lateral. Seus afloramentos se situam nas zonas de escarpas. A litologia é constituída por siltitos argilosos e folhelhos de coloração vermelha, creme e violácea, homogêneos ou com aleitamento regular, localmente com estrutura convoluta. Intercalam-se níveis, lentes e nódulos achatados de sílexito. Subordinadamente, ocorre arenito esbranquiçado, fino a médio, localmente silicificado. São observados suaves dobramentos, e zonas de escorregamento em razão da compactação diferencial dos estratos de competências diferentes.

Sua espessura aflorante varia de 20 m, na região de Tasso Fragoso, a 70 m, na região de Lizarda.

Está posicionada na coluna stratigráfica, como de idade permiana.

3.5 - MESOZÓICO

É representado pelas formações Sambaiba, Mosquito, Areado e Urucuia. Estas duas últimas são elementos de ligação entre as Bacias do São Francisco e do Parnaíba.

3.5.1 - Formação Sambaiba

O termo Sambaiba surgiu em 1946, lançado por Plummer para caracterizar os arenitos situados no membro superior da Formação Melancieiras. Mesner e Wooldridge, em 1962, elevaram estes sedimentos à categoria de formação.

Aflora na parte centro-sul formando extensos chapadões ondulados arenosos, provenientes do seu próprio intemperismo, com ocasionais morros testemunhos escarpados, recobertos por um fino nível basáltico. Sua litologia, essencialmente arenosa, é constituída por arenitos avermelhados, róseos, cremes e esbranquiçados, finos a médios, arredondados e subangulosos e em parte alongados, foscos, com estratificação planar de grande porte e, subordinadamente, laminar, pintalgado de caulim, friáveis. Para o topo, os arenitos tornaram-se endurecidos, com fraturamento vertical prismático, em razão do efeito térmico do contato com os basaltos. Próximo ao extremo sudoeste, os arenitos Sambaiba perdem sua individualização e se confundem com os arenitos Urucuia, em contato direto, sem ocorrer basalto entre os dois. Sua espessura aflorante varia em torno de 18 m encontrados na região de Lizarda-GO. O Projeto LETOS (CPRM, 1972), estimou em 110 m a sua maior espessura.

O contato com a formação sotoposta foi mencionado, anteriormente, enquanto o contato superior feito com os basaltos da Formação Mosquito e com a Formação Urucuaia, é discordante encontrando-se quase que totalmente coberto por extenso areal.

A idade da formação é considerada Triássica.

3.5.2 - Formação Mosquito

Os basaltos e diabásios da bacia do Parnaíba, foram, cuidadosamente, estudados por Aguiar, em 1963, que os separou em duas unidades: Triássico Mosquito e Cretácio Sardinha. Na Folha em tela ocorrem os basaltos Mosquito.

Sua ocorrência está localizada na porção centro-sul da área em pauta, compreendendo as folhas de Alto Parnaíba e Lizarda. Aflora, constituindo vertentes com encostas abruptas e capeando os topos dos morros testemunhos Sambaíba, resultando um solo vermelho escuro, muito ferruginoso e fértil, de pouca espessura, proveniente de sua decomposição. Sua litologia é representada por basaltos de textura afanítica, e subordinadamente amigdaloidal, com coloração cinza-escuro a preta, constituindo blocos arredondados soltos em superfície. Geralmente, encontra-se muito intemperizado, coloração marrom avermelhada, arroxeadada, amarelada apresentando esfoliação esferoidal. Mostra-se como uma massa disforme, ou dando idéia de estratificação paralela, com finas listas de cores variegadas.

A espessura varia de 5 m em torno do povoado

Curupá-MA, a aproximadamente 50 m na região de Lizarda-GO.

Seu contato superior com a Formação Urucuia é coberto pelas areias de meteorização do arenito sobreposto, porém, é feito de maneira discordante.

Está situado na coluna estratigráfica como de idade Triássica.

3.5.3 - Formação Areado

O termo "Areado" foi introduzido por Riman, em 1917. Barbosa, em 1963, através do Projeto Brasília, estudando estas rochas, dividiu esta formação em três membros. Em 1972, o Projeto Gilbués da CPRM adotou as três litofácies, "Pé do Morro", "Castanheira" e "Gilbués", que são terminologias locais.

Esta unidade aflora apenas no canto sudeste da Folha, compreendendo os municípios de Gilbués, Monte Alegre e Barreiras do Piauí; sua extensão aflorante é muito restrita, tendo relevo dissecado, apresentando suaves colinas e, geralmente, contornando chapadas ou morros testemunhos da formação subsequente. A vegetação sobre estes sedimentos é constituída, caracteristicamente, por gramíneas.

Nesta região, ocorrem as três unidades litológicas: a "Pé do Morro" que é restrita, situando-se a oeste da cidade de Monte Alegre, na localidade homônima; é representada por arenitos avermelhados, conglomeráticos e conglomerados polimictos mineralizados de diamantes. Este fácies preenche paleocanais nos arenitos Piauí. A unidade "Fácies Gilbués", com "locus typicus" a oeste de Gilbués, é constituída por uma sequência de siltitos marrons,

calcíferos, intercalados por arenitos róseos, esverdeados, finos e médios, mal selecionados, calcíferos, duros e também calcoarenitos. Na porção superior desta unidade, ocorrem espessos níveis de folhelhos marrom avermelhados, fossilíferos, ocasionalmente calcíferos. A "Fácies Castanheira" é composta por arenitos róseos, arroxeados, muito finos a silticos, argilosos com fraturas conchoidais e em parte ferruginosos.

Foram medidas espessuras aflorantes de 67 m na localidade de "Pé do Morro", oeste de Monte Alegre. Na fazenda Alecrim, SE de Gilbués, mediu-se 62 m.

Os contatos inferiores com as formações Poti e Piauí são discordantes, caracterizado por conglomerados basais descontínuos, formando paleocanais. O contato superior está descrito no item a seguir. É datada no Aptiano-Albiano através de fósseis.

3.5.4 - Formação Urucuia

Moraes Rego, em 1926, foi o primeiro a estudar estas rochas, chamando os seus "Arenitos da Chapada" de Urucuia.

Euzébio de Oliveira, em 1943, usou a denominação Formação Urucuia para os sedimentos da Chapada Urucuia-Minas Gerais.

Oliveira, em 1962, Moore, em 1964, e Northfleet, em 1966, estudaram a Formação Urucuia ao sul da bacia sedimentar do Parnaíba.

Sua área de exposição situa-se nas folhas de Al-

to Parnaíba-MA e Lizarda-GO, formando imensos chapadões arenosos, tabuliformes, com terminações abruptas. Constitui-se de arenitos esbranquiçados, amarelados e róseos, finos, bem selecionados, estratificação horizontal e cruzada planar de grande porte, pintalgado de caulim argiloso, grãos subarredondados, foscos, friáveis. Próximo ao contato inferior, em muitos locais, os arenitos tornam-se grosseiros a conglomeráticos. No topo das chapadas estes arenitos apresentam crosta silicificada. No "Morro do França", próximo ao povoado Curupá, município de Alto Parnaíba-MA, a seção aflorante mostra arenitos vermelhos, finos, bem selecionados, argilosos, homogêneos, grãos subarredondados, brilhantes, pouco duros, com fragmentos de silexitos soltos ao longo da encosta.

A espessura se mostra muito variada. Na região de Gilbués situa-se em torno de 3 a 15 m, porém, no restante da Folha chega aos 100 m aflorantes. No "Morro do França", relíquia dos antigos chapadões assentados sobre o basalto, sua espessura é estimada em 50 m.

Seu contato inferior com a Formação Areado é essencialmente concordante, com discordâncias locais, onde ocorre por vezes arenitos conglomeráticos na base do Urucuia. É discordante também o seu contato inferior com os basaltos Mosquito.

3.6 - SEQUÊNCIA CENOZÓICA

O Cenozóico na área estudada é representado pelas coberturas colúvio eluviais (talude) e aluviais (alúviões).

3.6.1 - Coberturas

As melhores exposições situam-se na faixa oeste constituídas por materiais areno-argilosos, não consolidados, homogêneos, capeando principalmente as formações Pimenteiras e Poti. Possuem pequenas espessuras chegando a atingir 6 m.

3.6.2 - Aluviões

São representados pelos depósitos de constituição arenosa de seixos e calhaus, com representatividade nas calhas dos rios do Sono, Tocantins e Vermelho.

3.7 - ESTRUTURA

Os sedimentos que compõem esta Folha, possuem uma feição estrutural geral de um homoclinal com ondulações suaves. As unidades Piauí e Pedra de Fogo, nesta região, afloram para o interior da bacia, mantendo suas camadas atitudes horizontais localizadas. Intrusões básicas existem, constituindo morros testemunhos e chapadões.

Ocorrem três sistemas de falhamentos gerais. O primeiro possui direção predominantemente norte-sul. São falhas de gravidade, com rejeito variando de 10 a 60m, com

seus blocos altos localizando-se a oeste. Destaca-se a falha normal de Itacajá com extensão aproximadamente 150 km e rejeito de 50 m, e os "grabens" e "horsts" que ocorrem a sul do povoado Mansinhã, município de Lizárda. Na região de Gilbués-PI, aflora um estreito "graben" com rejeito em torno dos 40 m, colocando a Formação Areado ao mesmo nível das Formações Poti e Piauí. Um segundo sistema possui falhamentos com direção aproximadamente noroeste. O último sistema, é constituído por falhamentos normais, com direção nordeste-sudoeste, compondo o lineamento Sobral - Pedro II (falha de Guaraciaba) que atravessa toda a Bacia Sedimentar do Parnaíba.

Na porção setentrional da Folha, aflora a estrutura anelar da Serra da Cangalha, com fraturamentos radiais nos estratos arenosos Poti, possuindo mergulhos divergentes e formando o anel rochoso que se destaca topograficamente em seu interior. Afloram folhelhos cinza escuro a preto, da Formação Longá, também possuindo mergulhos divergentes. Entre Santa Filomena-PI e Gilbués-PI, ocorrem pequenas estruturas circulares, destacando-se três destas que são as anelares de Apicuns. Na fazenda Sete Lagoas, município de Santa Filomena, localiza-se a chaminé Kimberlítica do Redondão que constitui uma depressão quadrada com desníveis de 80 m em relação a chapada, onde no seu interior, foram encontradas rochas ígneas e metamórficas. A estrutura da fazenda Bandeira a NW de Monte Alegre-PI, mostra uma drenagem centrípeta e formas arqueadas de rochas da Formação Piauí. Nesta estrutura não foram encontradas rochas ultrabásicas.

3.8 - HISTORIA GEOLÓGICA

A história da evolução geológica da Bacia Sedi

mentar do Parnaíba, especificadamente entre os limites 8° a 10°S e 45° a 48°W, tem início, com a subsidência da grande área cratônica que deu origem a esta bacia, em razão da estabilização da Plataforma Brasileira (Almeida, 1967). O limite oeste desta borda, encontra-se subordinado a orientação do arco do Tocantins, dando a sequência uma direção aproximadamente N-S em toda esta faixa.

Esta depressão, formada segundo os principais sistemas de fraturamentos paralelos, sucessivos e escalonados, é responsável pela forma geométrica destas rochas, na qual está inserida a Folha em pauta.

Os sedimentos eflorantes desta área, iniciam-se pelos pelíticos Pimenteiras, originados por ambientes marinhos com alternâncias entre infranerítico a litorâneo, e planícies de maré. Nesta região, eles se apresentam mais espessos, evidenciando uma expansão do mar em consequência da borda sudeste se encontrar mais levantada. A Formação Cabeças com litologia psamítica, possui idade correlata com Pimenteiras, do Devoniano Médio. Seu ambiente de deposição foi marinho, com alternâncias para litorâneo e deltáico. Ocorreram nesta época, movimentos diferenciais ocasionando discordâncias locais, com paraconglomerados.

No Devoniano Superior e Carbonífero Inferior tem-se a sedimentação da Formação Longá, já apresentando uma sucessão litológica, com tendência regressiva, em ambiente de sedimentação semelhante a Pimenteiras com movimentos epirogenéticos irregulares.

Os sedimentos arenosos constituintes da porção basal da Formação Poti, caracteriza-se pela fase regressiva marinha, cedendo lugar a ambientes continentais fluviais da porção superior desta unidade, e com movimentos epirogenéticos uniformes. Encerra-se no Carbonífero Inferior o primeiro ciclo de sedimentação.

O segundo ciclo, constituído pelas formações Pedra de Fogo, Motuca e Sambaiba, é de ambiente essencialmente continental, com esparsas ingressões marinhas. No final deste ciclo, houve reativamento das falhas, com grandes eventos tectônicos, onde durante a deposição continental das areias Sambaiba ocorreu o primeiro vulcanismo da bacia, de caráter fissural. A intrusão destes basaltos toleiticos ocorreram por meio de zonas de distensão no flanco oeste e sul. Estes basaltos Mosquito são de idade Triássica Inferior a Jurássica Média.

Após o último evento, ocorreu em toda bacia, intenso processo erosivo como novo período de tectonismo com incursões marinhas na época do Cretáceo Aptiano.

A sedimentação cretácica das formações Areado e Urucuia, são provenientes da Bacia do São Francisco transgredindo discordantemente os sedimentos paleozóicos e os basaltos Mosquito. O eixo de deposição com direção N-S, é evidenciado pela diminuição gradativa dos estratos de norte para sul. Durante a sedimentação do Areado, houve reativação tectônica na região de Gilbués. Na Formação Urucuia, o único falhamento que afetou esta unidade, foi o alinhamento Sobral - Pedro II (Falha de Guaraciaba) que durante este período sofreu reativamento.

No Terciário, ocorreu uma nova subsidência, que se faz presente através de pequenas e limitadas faixas de coberturas detrítico-arenosas lateríticas. E, mais ultimamente no Quaternário, com a deposição de aluviões. Apenas processos erosivos se fizeram presente nestes últimos tempos geológicos.

4 - HIDROGEOLOGIA

4.1 - GENERALIDADES

A área correspondente à Folha 17 - Rio São Francisco-NO, apresenta uma feição hidrogeológica promissora em virtude de se tratar de uma área de ocorrência de rochas exclusivamente sedimentares, à exceção dos basaltos, que constituem a Formação Mosquito e que ocorrem entre as formações Urucuia e Sambaiba.

Alguns destes sedimentos têm tradição hidrogeológica de bons aquíferos, como é o caso dos arenitos Cabeças e Poti-Piauí.

Conforme pode ser observado no catálogo de pontos de água anexo, foram cadastrados 408 pontos, sendo cinco poços tubulares (1,5%), oitenta e oito poços manuais (21,5%) e trezentos e quinze fontes (78%); parte deste cadastramento foi feito com base em dados pré-existent do DNOCS e SERETE.

A densidade dos pontos de água cadastrados foi da ordem de um ponto de água para cada 178 quilômetros quadrados.

Os pontos inventariados apresentaram a seguinte distribuição por formação: as fontes são os pontos de água mais abundantes tendo-se, percentualmente, para a Formação Pimenteiras, 7,4%, Formação Cabeças, 10,3%, Formação Longá, 4,5%, Formação Poti, 17%, Formação Piauí, 42%, Formação Pedra de Fogo, 6%, Formação Sambaiba, 7,4%, Formação Areado, 2% e Formação Urucuia, 3%.

Os poços manuais ficaram distribuídos assim:

Formação Pimenteiras (11,5%), Formação Cabe-

ças (6,9%), Formação Longá (16,1%), Formação Poti (3,4%), Formação Piauí (34,5%), Formação Pedra de Fogo (4,6%), Formação Sambaiba (4,6%), Formação Areado (11,5%) e Formação Urucuia (6,9%).

Os poços tubulares são apenas cinco, sendo dois na Formação Areado e três na Formação Piauí.

Foram cadastrados também as seguintes unidades de extração: 66 sarilhos, 8 motobombas e 3 bombas manuais. Conforme se verifica, o total de 77 unidades de extração é um número muito pequeno em relação ao que se poderia esperar para a área em estudo; tal fato é resultante de se encontrar água em profundidades pequenas, daí a utilização em grande escala do sarilho, em relação às demais unidades de extração e da utilização de água dos rios em grande escala. As profundidades médias dos poços manuais que estão situados nas formações locais são dadas a seguir: Pimenteiras, 8,0 metros; Cabeças, 8,2 metros; Longá, 6,6 metros; Poti, 10,6 metros; Piauí, 10,5 metros; Pedra de Fogo, 4,7 metros; Sambaiba, 7,0 metros; Areado, 21,0 metros e Urucuia, 11,4 metros. As profundidades extremas cadastradas foram 33,8 e 2,8 metros, referindo-se a poços manuais localizados na Formação Piauí.

4.2 - GEOLOGIA E ÁGUA SUBTERRÂNEA

Como já foi visto, a área em estudo está totalmente incluída na bacia sedimentar do Parnaíba, considerada uma das mais importantes províncias hidrogeológicas do País. A estrutura tectônica da bacia é, em geral, simples, devido a atitude monoclinal das camadas que mergu-

lham suavemente das bordas para o seu interior. A borda sudoeste, entretanto, onde se localiza a Folha 17, foi a mais afetada por falhamentos normais, que interromperam a continuidade das camadas para leste, nivelaram estratos de idades diferentes e sepultaram, mais profundamente, os topos das formações devonianas para leste.

Do ponto de vista hidrogeológico, a área carece de informações sobre a maior parte das unidades geológicas que ocorrem em subsuperfície, visto que, entre os pontos de água inventariados, predominam as fontes e os poços manuais, que refletem as condições hídricas das rochas aflorantes. Apenas cinco poços tubulares foram perfurados para o abastecimento de água de algumas localidades, todos eles explorando os aquíferos Poti, Piauí e Areado. As formações mais inferiores são praticamente desconhecidas hidrogeologicamente.

No Quadro 4.2.9 estão representadas, de uma maneira geral e resumida, as características hidrogeológicas das formações ocorrentes na área em estudo. Tornou-se necessário adotar, em grande parte, informações obtidas em estudos e pesquisas desenvolvidos em áreas vizinhas, onde ocorrem as mesmas sequências sedimentares. Em particular, podemos citar, como fonte de referência, o capítulo de Hidrogeologia do "Levantamento Básico dos Recursos Naturais da Bacia do Parnaíba" executado por SERETE S.A - Engenharia, para a SUDENE, em 1974.

A abordagem feita, a seguir, sobre a hidrogeologia da área tem, pois, caráter provisório, em face das extrapolações adotadas. Serão considerados os aquíferos correspondentes às formações Serra Grande, Cabeças, Poti, Piauí e Urucuia, e os aquíferos Pimenteiras, Longá e Pedra de Fogo. As demais formações tem ocorrência restrita não apresentando interesse do ponto de vista hidrogeológico.

QUADRO 4.2.9
CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS
DAS FORMAÇÕES DA FOLHA 17 - RIO S. FRANCISCO-NO

PERÍODO	FORMAÇÃO	ESPESSURA MÉDIA (m)	LITOLÓGIA	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS
QUATERNÁRIO	Aluviões, coberturas	5	Areias, siltes, cascalhos.	Boas condições hidrogeológicas de interesse local e restrita.
CRETÁCEO	Formação Urucua	90	Arenitos finos bem selecionados, grãos subarredondados, friáveis, intercalações de siltitos e argilas.	Os sedimentos arenosos apresentam condições hidrogeológicas bastante satisfatórias com restrições nas porções argilosas. Apresenta entretanto, grandes limitações de ordem geomorfológica.
	Formação Areado	60	Siltitos e folhelhos com intercalações finas arenosas	Condições hidrogeológicas deficientes devido a presença dos sedimentos silticos.
JURÁSSICO/ TRIÁSSICO	Formação Mosquito	40	Basaltos	Permeabilidade eventual de fraturas com influência nas direções locais de escoamento.
TRIÁSSICO	Formação Sambaíba	70	Arenitos róseos, granulação fina a média.	Unidade hidrogeológica restrita na área. Pequena potencialidade em relação demais aquíferos.
PERMIANO	Formação Pedra de Fogo	70	Arenitos finos a médios, argilosos. Com intercalações de folhelhos e siltitos; diversas lentes e nódulos de sillexitos.	Permeabilidade de fraca a média prejudicada pelos níveis de sillexitos.
CARBONÍFERO	Formação Piauí	270	Arenitos finos a médios, subarredondados, folhelhos e argilitos.	Apresenta porções de arenitos produtores médios de água subterrânea. Na inferior apresenta melhores potencialidades.
	Formação Poti	200	Arenitos médios subangulosos siltitos, micáceos.	Permeabilidade regular, podendo ser considerado bom aquífero, no contexto hidrogeológico da área.
DEVONIANO	Formação Longá	55	Folhelhos cinza-escuros, físsil, micáceo.	Fraca permeabilidade considerado como aquitardo.
	Formação Cabeças		Arenitos médios a finos eventualmente grossos; intercalam-se algumas vezes folhelhos e siltitos.	Condições hidrogeológicas muito boas, sobretudo em profundidade em condições de confinamento.
	Formação Pimenteiras	105	Argilas e folhelhos intercalados com arenitos finos.	Condições hidrogeológicas fracas, devido apresentar em geral reduzida permeabilidade.

4.2.1 - Formação Serra Grande

Esta formação é constituída por arenitos médios e grosseiros de cores cremes e amarelados, com ocasionais níveis de arenitos finos e folhelhos. Ocorre apenas em subsuperfície, sendo encontrada em profundidade superiores a 1.000 m nos poços da Petrobrás (Quadro 4.2.10). Na parte oeste da folha a formação tem uma espessura em torno de 250 m (Fig. 4.2.11) devendo encontrar-se a uma profundidade da ordem dos 200 m capeada por Pimenteiras aflorante. A sua alimentação é feita a partir da infiltração das águas pluviais, nas áreas de recarga, a oeste, já fora da área.

4.2.2 - Formação Pimenteiras

É constituída por uma sequência de folhelhos e siltitos, intercalados com ocasionais lentes de arenito fino; as cores dominantes são cinza-escura e marrom-clara. Comporta-se mais como um aquitardo, ou camada semi-permeável, podendo, os seus níveis arenosos, fornecer modestas quantidades de água através de poços. A sua litologia, predominantemente pelítica, reduz, ou dificulta, a alimentação direta a partir das chuvas, nas áreas de afloramento a oeste. Para leste, a formação é encontrada nos poços da Petrobrás (Quadro 4.2.10), sendo sua espessura média aflorante na Folha estimada em 120 m.

QUADRO 4.2.10

PROFUNDIDADE DO TOPO (m)⁺⁺ / ESPESSURA DAS FORMAÇÕES (m) / ESPESSURA DO DIABÁSIO (m) EM POÇOS DA PETROBRÁS PERFORADOS NA FOLHA 17

P O Ç O P E T R O B R Á S				F O R M A Ç Õ E S							
S I G L A	LOCALIZAÇÃO	COTA (m)	PROF. (m)	Ppf	Cpi	Cpo	Dcb	Dc	Dp	SDsg	Pre SDsg
1-FM-1-MA	08°16'18" 46°06'22"	488	1.820		488/132 ⁺	356/302	54/122	-68/112	-180/442	-622/690	-1392/24 ⁺
1-TM-1-MA	08°42'30" 46°54'24"	634	1.690	634/25	609/248	361/290	71/76	-5/132	-137/369	-506/545	-1051/5 ⁺
1-RB-1-MA	08°02'30" 46°05'01"	578	1.836		578/341	237/262	-25/207	-232/59	-291/425	-716/544 ⁺ 20	
1-FO-1-MA	08°14'03" 46°15'03"	400	1.645		400/38 ⁺	362/297	65/130	-65/115	-180/420	-600/530	-1230/15 ⁺

+ Espessura parcial

++ Cotas em metros em relação ao nível do mar

FONTE: PETROBRÁS

BACIA DO PARNAÍBA ISÓPACAS DA FORMAÇÃO SERRA GRANDE

IC = 100 m

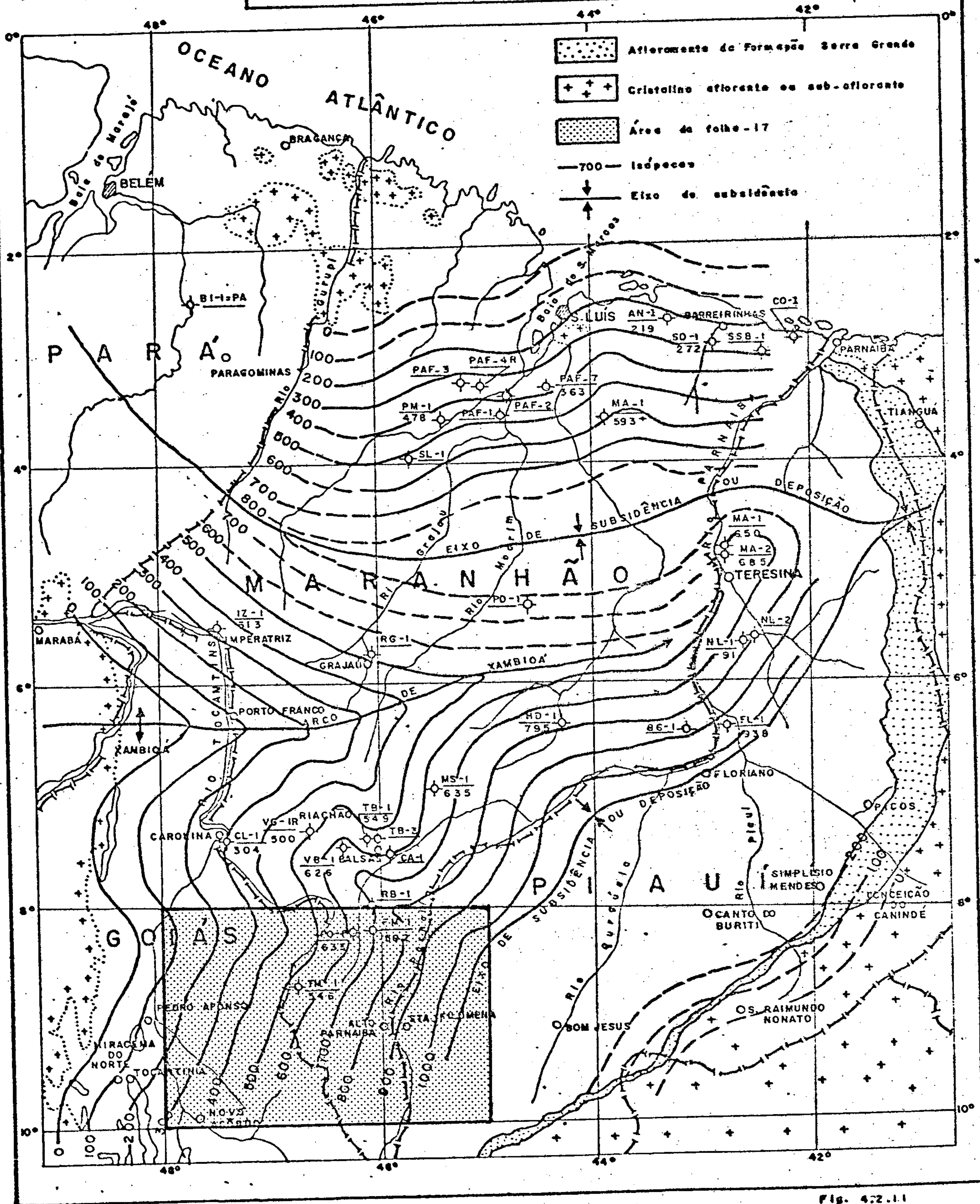


Fig. 4.2.11

Fonte: Petróleos Relatório Nº 371

4.2.3 - Formação Cabeças

É constituída por arenitos, finos a médios, com grãos grosseiros, esparsos, amarelos, cremes, avermelhados e esbranquiçados, friáveis com estratificação cruzada e planar; intercalações de folhelhos cinzas e vermelhos podem ocorrer. A espessura média na Folha é estimada em 100 m. A espessura máxima em subsuperfície foi atravessada no poço da Petrobrás 1-TM-1-MA, onde o topo da formação ocorre a 639 m de profundidade (Quadro 4.2.10). A superfície aflorante é de 2.720 km². Como a falha de Itacajá interrompe sua continuidade para leste, será considerada uma área confinada pelos sedimentos sobrejacentes em torno de 6.620 km². A alimentação do aquífero é feita por infiltração direta das águas da chuva e por infiltração vertical descendente através de Longá. As características hidrodinâmicas médias foram adotadas a partir dos testes de bombeamento realizado pelo DNOCS no vale do Gurguéia. Os valores são:

$$T = 1,81 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K = 6,89 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$S = 1,99 \times 10^{-5}$$

O escoamento geral do aquífero deve fazer-se em direção aos rios sendo a vazão do escoamento natural calculada em (4.3.1.2):

$$Q_{en} = 109,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

4.2.4 - Formação Longá

Apresenta-se com litologia semelhante a da Formação Pimenteiras sendo, pois, considerada como um aquífero. Aflora, na parte oeste da folha sobre os arenitos Cabeças, com uma superfície de 2.267 km². Nos poços da Petrobrás sua espessura varia de 76 m até o máximo de 270 m; sua espessura média na área é considerada em torno de 130 m.

4.2.5 - Formação Poti

É constituída na parte inferior, por arenitos róseos, esbranquiçados, arroxeados, avermelhados, finos a médios, com ocasionais níveis grosseiros e conglomeráticos, e na parte superior, por uma sequência de folhelhos e siltitos avermelhados, marrons e cremes. A sua espessura aflorante a oeste é de cerca de 200 m atingindo um máximo de 320 metros no poço da Petrobrás 1-FM-1-MA; a sua espessura média é estimada em 200 m. A superfície aflorante nesta área atinge um total de 11.786 km². A alimentação é feita diretamente por infiltração das precipitações e a partir dos rios na área de afloramento.

Os exutórios de Poti são representados pela evapotranspiração e pelas fontes na área de afloramento; o aquífero também restitui parte de suas águas aos rios nos períodos secos. Outro tipo de exutório é a alimentação de Cabeças através de Longá onde a carga hidráulica de Poti é maior do que a de Cabeças; de modo similar a alimen-

tação de Piauí corresponde a outro exutório de Poti. Como não foram realizados testes de bombeamento na área, adotamos os valores das características hidrodinâmicas obtidos pelo DNOCS na região vizinha do Vale do Gurguéia. Os valores médios considerados são:

$$T = 3,00 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K = 7,16 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

$$S = 9,29 \times 10^{-4}$$

A superfície piezométrica foi esboçada na área de afloramento indicando um escoamento geral em direção aos vales dos rios. A vazão do escoamento natural em direção aos rios do Sono, Perdida e Manoel Alves Pequeno foi calculada em (4.3.1.4):

$$Q_{en} = 88,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

4.2.6 - Formação Piauí

A Formação Piauí aflora em grandes áreas, principalmente no vale do Parnaíba, formando extensos chapadões na parte leste da Folha. É constituída por arenitos, finos a médios, localmente grosseiros, de grãos subarredondados, de cores róseas e avermelhadas, com estratificação cruzada e planar; intercalações de folhelhos e siltitos vermelhos e roxos podem ocorrer. A espessura média é estimada em 200 m. A área de afloramento é 29.440km². A alimentação é feita principalmente, por infiltração direta das águas pluviais na área aflorante ou por infiltração

vertical descendente e ascendente através das formações superiores e inferiores, respectivamente. Os exutórios são representados pela evapotranspiração, pelas fontes e pelas restituições aos rios. As perdas de água para a Formação Poti sotoposta devem ocorrer por infiltração vertical descendente. Os valores médios das características hidrodinâmicas são os mesmos da Formação Poti. A superfície piezométrica esboçada consta do mapa base piezométrico, indicando um escoamento dirigido para o vale do Parnaíba. A vazão do escoamento natural em direção a este rio é (4.3.1.5):

$$Q_{en} = 89,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

4.2.7 - Formação Pedra de Fogo

É constituída por siltitos argilosos e folhelhos de coloração vermelha a roxa, com níveis de sílexito e arenitos finos intercalados. Ocorre, recobrendo parcialmente a Formação Piauí, em extensas áreas formando chapadões areno-argilosos, planos, com bordas intensamente dissecadas. A espessura média, é estimada em 50 m, sendo a sua área aflorante de 16.362 km². A alimentação é feita, principalmente, a partir da infiltração direta das águas da chuva. Pela sua constituição litológica é considerada como um aquífero. A vazão de escoamento natural é:

$$Q_{en} = 42,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

4.2.8 - Formação Urucuia

Aflora ao sul da Folha em forma de extensos chapadões arenosos planos com terminações abruptas. O contato inferior com a Formação Areado é essencialmente concordante não o sendo, porém, com os basaltos Mosquito. Quanto à litologia, ocorrem, principalmente, arenitos de cores claras (amarelados e róseos) de granulação fina, argilosos e com estratificação cruzada e planar.

A sua espessura média é estimada em 80 m, sendo a sua área de afloramento cerca de 3.093 km².

Do ponto de vista hidrogeológico, comporta-se como um aquífero livre, sendo, de um modo geral, fracas as suas possibilidades hídricas, devido às suas características litológicas e condicionamento morfológico.

O sistema Urucuia é alimentado, de maneira direta, a partir das chuvas precipitadas nas áreas aflorantes; a pluviometria média anual é elevada (1.600 mm).

4.3 - RESERVAS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Uma estimativa das reservas de água subterrânea na área em estudo foi realizada, com base nas características dimensionais, nas condições de fluxo e nas características hidrodinâmicas (adotadas) dos diferentes sistemas hidrogeológicos. As formações Serra Grande, Pimenteiras, Cabeças e Longá serão consideradas na faixa delimitada pelos meridianos 47°30' e 48°00', visto que, para leste, ocorre uma certa interrupção na continuidade das camadas e

as informações disponíveis em subsuperfície restringem-se aos dados dos poços perfurados pela Petrobrás (Quadro 4.2.10). Foram, pois, calculadas a vazão do escoamento natural, as reservas permanentes e as reservas exploráveis. Os resultados obtidos são provisórios em face das extrapolações adotadas.

4.3.1 - Vazão de Escoamento Natural

Esta vazão foi calculada de duas maneiras:

a) Equação de Darcy

$$Q_{en} = K.E.i.L$$

onde:

Q_{en} = vazão de escoamento natural (m^3/s)

K = coeficiente de permeabilidade (m/s)

E = espessura da camada aquífera (m)

i = gradiente hidráulico médio (m/km)

L = largura da frente de escoamento (m)

b) Relaciona-se a taxa de infiltração média (I_{en}) à pluviometria média (mm/a), obtendo-se a lâmina de água correspondente (mm/a) que por sua vez, relacionada à área de recarga, for-

nece o escoamento natural (m^3 /ano); este processo que pode ser aplicado em áreas onde não se dispõe de curvas piezométricas, indica apenas uma ordem de grandeza dos volumes de escoamento envolvidos.

4.3.1.1 - Aquitardo Pimenteiras

O escoamento natural de Pimenteiras foi calculado, considerando uma taxa de infiltração igual à média das infiltrações estimadas pela SERETE S.A. - Engenharia nos vales do Gurguéia e do Piauí, uma pluviometria média de 1.700 mm/ano e uma área de afloramento de 2.660 km^2 . Temos:

$$I_{en} = 1,88\%$$

$$P_m = 1.700 \text{ mm/ano}$$

$$A = 2.660 \times 10^6 \text{ m}^2$$

$$Q_{en} = 1,88 \times 10^{-2} \times 1.700 \times 10^{-3} \times 2.660 \times 10^6$$

$$Q_{en} = 85 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

4.3.1.2 - Aquífero Cabeças

Adotou-se a taxa de infiltração de 2,36% calculada no Inventário Hidrogeológico da Folha 18; pela SUDENE, uma pluviometria média de 1.700 mm/ano, para uma área de

afloramento de 2.720 km^2 . Temos:

$$I_{en} = 2,36\%$$

$$P_m = 1.700 \text{ mm/ano}$$

$$A = 2.720 \times 10^6 \text{ m}^2$$

$$Q_{en} = 2,36 \times 10^{-2} \times 1.700 \times 10^{-3} \times 272 \times 10^7$$

$$Q_{en} = 109,12 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

4.3.1.3 - Aquitardo Longá

$$I_{en} = 0,23\%$$

$$P_m = 1.700 \text{ mm/ano}$$

$$A = 2.267 \times 10^6 \text{ m}^2$$

$$Q_{en} = 0,23 \times 10^{-2} \times 1.700 \times 10^{-3} \times 2.267 \times 10^6$$

$$Q_{en} = 8,86 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

4.3.1.4 - Aquifero Poti

O escoamento natural foi calculado através da equação de Darcy nos vales dos rios Perdida, Sono e Manoel Alves Pequeno, onde foi possível esboçar a superfi-

cie piezométrica na área de afloramento do aquífero. No vale do Rio do Sono, o escoamento, que foi calculado em relação ao sistema conjunto Poti/Piauí, de acordo com a piezometria, foi incluído no aquífero Poti que predomina na parte oeste da folha.

Vale do Perdida

$$K = 7,16 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

$$E = 200 \text{ m}$$

- Flanco Norte

Isopiezométricas 250 m - 300 m

$$i = 5,73 \times 10^{-3}$$

$$L = 85 \times 10^3 \text{ m}$$

$$Q_{en} = K.E.i.L$$

$$Q_{en_1} = 7,16 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^2 \times 5,73 \times 10^{-3} \times 85 \times 10^3 =$$

$$= 69,74 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$= 21,99 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

- Flanco Sul

$$i = 8 \times 10^{-3}$$

$$L = 21 \times 10^3 \text{ m}$$

$$Q_{en_2} = 7,16 \times 10^{-6} \times 10^2 \times 8 \times 10^{-3} \times 21 \times 10^3 =$$

$$= 24,05 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$= 7,58 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Isopiezométricas 250 m - 400 m

$$i = 5,93 \times 10^{-3}$$

$$L = 67 \times 10^3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Qen_3 &= 7,16 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^2 \times 5,93 \times 10^{-3} \times 67 \times 10^3 = \\ &= 56,89 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 17,94 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano} \end{aligned}$$

Isopiezométricas 300 m - 400 m

$$i = 2,5 \times 10^{-3}$$

$$L = 25 \times 10^3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Qen_4 &= 7,16 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^2 \times 2,5 \times 10^{-3} \times 25 \times 10^3 = \\ &= 8,95 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 2,82 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano} \end{aligned}$$

Vale do Sono

Isopiezométricas 300 m - 400 m

$$K = 7,16 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

$$E = 300 \text{ m}$$

$$i = 2,93 \times 10^{-3}$$

$$L = 75 \times 10^3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Qen_5 &= 7,16 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^2 \times 2,93 \times 10^{-3} \times 75 \times 10^3 = \\ &= 4,72 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 14,88 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano} \end{aligned}$$

Vale do Manoel Alves Pequeno

Isopiezométricas 280 m - 300 m

$$K = 7,16 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

$$E = 200 \text{ m}$$

$$i = 6,59 \times 10^{-3}$$

$$L = 110 \times 10^3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Q_{en_6} &= 7,16 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^2 \times 6,59 \times 10^{-3} \times 110 \times 10^3 = \\ &= 103,81 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 32,74 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano} \end{aligned}$$

O escoamento total do aquífero Poti em direção aos rios considerados, é, pois:

$$Q_{en} = Q_{en_1} + Q_{en_2} + \dots + Q_{en_6} = 97,95 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Conhecido o volume do escoamento natural (Q_{en}), o seu percentual em relação a pluviometria (P_m) na área de recarga (A), fornece a taxa de infiltração do escoamento natural (I_{en}) para o aquífero considerado; a relação é aplicável a um sistema hidrogeológico em equilíbrio.

$$\text{Sendo } P_m = 1.750 \text{ mm/ano e } A = 10.500 \text{ km}^2,$$

Temos:

$$Q_{en} = \frac{97,95 \times 10^6}{10.500 \times 10^6} \times \frac{\text{m}^3/\text{ano}}{\text{m}^2} = 9,33 \text{ mm/ano}$$

$$I_{en} = \frac{9,33}{1.750} \times 10^2 = 0,53\%$$

4.3.1.5 - Aquífero Piauí

Vale do Parnaíba

$$K = 7,16 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

$$E = 200 \text{ m}$$

- Flanco leste (entre os riachos do Paulo e do Miguel)

Isopiezométricas 300 m - 350 m

$$i = 6,26 \times 10^{-3}$$

$$L = 145 \times 10^3 \text{ m}$$

$$Q_{en} = K.E.i.L$$

$$\begin{aligned} Q_{en_1} &= 7,16 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^2 \times 6,26 \times 10^{-3} \times 145 \times 10^3 = \\ &= 129,98 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 40,99 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano} \end{aligned}$$

- Flanco oeste (entre o rio Parnaibinha e o riacho Babilônia)

Isopiezométricas 300 m - 400 m

$$i = 5,69 \times 10^{-3}$$

$$L = 172 \times 10^3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Q_{en_2} &= 7,16 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^2 \times 5,69 \times 10^{-3} \times 172 \times 10^3 = \\ &= 140,15 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 44,20 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano} \end{aligned}$$

- Parte sul (entre o rio Parnaibinha e o riacho do Miguel)

Isopiezométricas 300 m - 400 m

$$i = 2,26 \times 10^{-3}$$

$$L = 43 \times 10^3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Q_{en_3} &= 7,16 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^2 \times 2,26 \times 10^{-3} \times 43 \times 10^3 = \\ &= 13,92 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 4,39 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano} \end{aligned}$$

O escoamento total do aquífero em direção ao vale do Parnaíba é:

$$\begin{aligned} Q_{en} &= Q_{en_1} + Q_{en_2} + Q_{en_3} = 284,05 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 89,58 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano} \end{aligned}$$

A taxa de infiltração foi calculada considerando uma pluviometria média de 1.300 mm/ano, sendo, a área de recarga influente sobre a frente de escoamento, de 29.440 km².

$$Q_{en} = \frac{89,58 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}}{29.440 \times 10^6 \text{ m}^2} = 3,04 \text{ mm/ano}$$

$$I_{en} = \frac{3,04}{1.300} \times 10^2 = 0,23 \%$$

4.3.1.6 - Aquitardo Pedra de Fogo

O escoamento natural foi calculado considerando uma taxa de infiltração de 0,20%, equivalente a adotada para o aquitardo Longá e considerando-se a pluviometria média 1.300 mm/ano sobre uma área aflorante de 16.362 km².

$$I_{en} = 0,20\%$$

$$P_m = 1.300 \text{ mm/ano}$$

$$A = 16.362 \text{ km}^2$$

$$Q_{en} = 0,20 \times 10^{-2} \times 1.300 \times 10^{-3} \times 16.362 \times 10^6 =$$

$$= 42,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

4.3.1.7 - Aquífero Urucuia

Considera-se uma taxa de infiltração de 0,40%, sendo a pluviometria média 1.600 mm/a sobre a área de a-

floramento de 3.093 km^2 .

$$I_{en} = 0,40\%$$

$$P_m = 1.600 \text{ mm/ano}$$

$$A = 3.093 \text{ km}^2$$

$$\begin{aligned} Q_{en} &= 0,40 \times 10^{-2} \times 1.600 \times 10^{-3} \times 3.093 \times 10^6 = \\ &= 19,79 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano} \end{aligned}$$

4.3.2 - Reservas Permanentes

As reservas permanentes dos aquíferos são constituídas pelas águas de saturação, mais os volumes acumulados sob pressão.

O volume de água de saturação é calculado por meio da fórmula:

$$V_s = A \cdot E \cdot \mu$$

onde:

V_s = volume de água de saturação (m^3)

A = superfície total do aquífero (m^2)

E = espessura média saturada (m)

μ = coeficiente de restituição

O volume de água sob pressão é calculado, nas áreas de confinamento dos aquíferos, por meio da fórmula:

$$V_p = A_p \cdot h \cdot S$$

onde:

V_p = volume de água armazenada sob pressão (m^3)

A_p = superfície da zona sob pressão (m^2)

h = carga hidráulica média (m)

S = coeficiente de armazenamento

As reservas permanentes totais estão representadas no Quadro 4.3.2.9 que mostra, também uma síntese dos cálculos efetuados. Uma análise deste quadro mostra que, o aquífero Poti, juntamente com Piauí contribuem para a formação de maior parte das reservas de água subterrânea da Folha, com 56,5% e 35,5% respectivamente.

4.3.2.1 - Aquífero Serra Grande

- Volume de água de saturação

A superfície de Serra Grande considerada neste trabalho é 12.000 km^2 (faixa entre $47^{\circ}30'$ e $48^{\circ}00'$ WG).

QUADRO 4.3.2.9
RESERVAS PERMANENTES DA FOLHA Nº 17 - RIO SÃO FRANCISCO-NO

AQUÍFERO/ AQUITARDO	ÁREA (m ²)		COEFICIENTE		ÁGUA DE SATURAÇÃO			ÁGUA SOB PRESSÃO		RESERVAS PERMANEN TES (x 10 ⁶ m ³) (3) = (1) + (2)	% SOBRE O TOTAL
	ÁGUA DE SATURAÇÃO	ÁGUA SOB PRESSÃO	RESTITUI ÇÃO ()	ARMAZENA MENTE (S)	ESPESSU RA MÉDIA SATURADA (m)	VOLUME DE ROCHA SATU RADA (x 10 ⁹ m ³)	VOLUME DE ÁGUA DE SA TURACÃO (x 10 ⁶ m ³) (1)	CARGA HI DRÁULICA MÉDIA (m)	VOLUME DE ÁGUA SOB PRESSÃO (x 10 ⁶ m ³) (2)		
Serra Grande	12.000	12.000	1,4 x 10 ⁻²	4,29 x 10 ⁻⁴	200	2.400	33.600	300	514	34.114	5,7
Pimenteirás	12.000		2,0 x 10 ⁻³		80	960	1.920			1.920	0,3
Ceteças	9.340	6.620	7,5 x 10 ⁻³	1,99 x 10 ⁻⁵	80	747	5.604	180	24	5.628	0,9
Longá	6.620		2,0 x 10 ⁻³		80	530	1.059			1.059	0,2
Poti	64.353	53.350	2,8 x 10 ⁻²	1,44 x 10 ⁻³	180	11.583	324.340	160	12.292	336.632	56,5
Piauí	52.000	24.400	2,5 x 10 ⁻²	1,44 x 10 ⁻³	160	8.320	208.000	100	3.514	211.514	35,5
Peira de Fogo	24.360		1 x 10 ⁻³		30	730	731			731	0,1
Urucuaia	3.093		2,5 x 10 ⁻²		60	186	4.639			4.639	0,8
TOTAIS						25.456	579.893		16.344	596.237	100,0

Sendo de 200 m a espessura média saturada, e sendo $\mu = 1,4 \times 10^{-2}$ o coeficiente de restituição estimado com base nas características litológicas da formação, tem-se:

$$V_s = A.E.\mu$$

$$V_s = 12 \times 10^9 \times 2 \times 10^2 \times 1,4 \times 10^{-2} = \\ = 33.600 \times 10^6 \text{ m}^3$$

- Volume de água sob pressão

A área de confinamento do aquífero, é 12.000km^2 , sendo a carga hidráulica média 300 m e o coeficiente de armazenamento adotado $S = 4,29 \times 10^{-4}$.

$$V_p = A_p. h. S = 12 \times 10^9 \times 3 \times 10^2 \times 4,29 \times 10^{-4}$$

$$V_p = 514 \times 10^6 \text{ m}^3$$

4.3.2.2 - Aquitardo Pimenteiras

- Volume de água de saturação

A superfície total do aquitardo é de 12.000km^2 , sendo a espessura média saturada 80 m, e o coeficiente de restituição estimado de $2,0 \times 10^{-3}$, obtem-se:

$$V_s = A.E.\mu$$

$$V_s = 12 \times 10^9 \times 8 \times 10^1 \times 2 \times 10^{-3}$$

$$= 1.920 \times 10^6$$

4.3.2.3 - Aquífero Cabeças

- Volume de água de saturação

A superfície total do aquífero na faixa considerada é 9.340 km^2 ; a espessura média saturada é 80 m e o coeficiente de restituição é estimado em $7,5 \times 10^{-3}$.

$$V_s = A.E. \mu$$

$$V_s = 934 \times 10^7 \times 8 \times 10 \times 7,5 \times 10^{-3}$$

$$V_s = 5.604 \times 10^6 \text{ m}^3$$

- Volume de água sob pressão

Entre o contato com a Formação Longá e o meridiano $47^{\circ}30'$; a área de confinamento de Cabeças é 6.620 km^2 a carga hidráulica média é estimada em 180 m , sendo o coeficiente de armazenamento adotado igual a $1,99 \times 10^{-5}$.

$$V_p = A_p. h. S$$

$$V_p = 662 \times 10^7 \times 18 \times 10 \times 1,99 \times 10^{-5}$$

$$= 23,7 \times 10^6 \text{ m}^3$$

4.3.2.4 - Aquitardo Longá

- Volume de água de saturação

A superfície do aquitardo na área considerada é 6.620 km²; a espessura média saturada é 80 m e o coeficiente de restituição foi estimado em 2,0 x 10⁻³.

$$V_s = A.E. \mu$$

$$V_s = 662 \times 10^7 \times 8 \times 10 \times 2 \times 10^{-3}$$

$$V_s = 1.059 \times 10^6 \text{ m}^3$$

4.3.2.5 - Aquífero Poti

- Volume de água de saturação

A superfície total do aquífero é de 64.353 km², compreendendo a faixa aflorante mais a parte recoberta pela Formação Piauí; a espessura média saturada é estimada em 180 m, sendo, o coeficiente de restituição adotado, 2,8 x 10⁻².

$$V_s = A.E. \mu$$

$$V_s = 64.353 \times 10^6 \times 18 \times 10 \times 2,8 \times 10^{-2}$$

$$V_s = 324.340 \times 10^6 \text{ m}^3$$

- Volume de água sob pressão

A área de confinamento do aquífero é 53.350 km^2 , sendo a sua carga média hidráulica estimada em 160m; o coeficiente de armazenamento adotado é $1,44 \times 10^{-3}$ que foi calculado pela SUDENE, no vale do Gurguéia:

$$V_p = A \cdot h \cdot S$$

$$V_p = 5.335 \times 10^7 \times 16 \times 10 \times 1,44 \times 10^{-3} =$$

$$V_p = 12.292 \times 10^6 \text{ m}^3$$

4.3.2.6 - Aquífero Piauí

- Volume de água de saturação

A área de afloramento de Piauí mais a parte recoberta pelas formações mais recentes é, de aproximadamente 52.000 km^2 . Sendo a espessura média saturada igual a 160 m e o coeficiente de restituição igual a $2,5 \times 10^{-2}$, obtem-se:

$$V_s = A \cdot E \cdot \mu$$

$$V_s = 52 \times 10^9 \times 16 \times 10 \times 2,5 \times 10^{-2}$$

$$V_s = 208.000 \times 10^6 \text{ m}^3$$

- Volume de água sob pressão

A área em que Piauí é confinado é cerca de 24.400 km^2 ; a carga hidráulica média é estimada em 100 m

e o coeficiente de armazenamento adotado é $1,44 \times 10^{-3}$.

$$V_p = A \cdot h \cdot S$$

$$V_p = 244 \times 10^8 \times 10^2 \times 1,44 \times 10^{-3}$$

$$V_p = 3.514 \times 10^6 \text{ m}^3$$

3.3.2.7 - Aquitardo Pedra de Fogo

- Volume de água de saturação

A superfície aflorante de Pedra de Fogo mais a parte recoberta pelas formações mais recentes é aproximadamente, 24.360 km^2 .

A espessura média saturada foi estimada em 30 metros, sendo o coeficiente de restituição adotado 10^{-3} .

$$V_s = A \cdot E \cdot \ell$$

$$V_s = 2.436 \times 10^7 \times 3 \times 10 \times 10^{-3}$$

$$V_s = 731 \times 10^6 \text{ m}^3$$

4.3.2.8 - Aquífero Urucuia

- Volume de água de saturação

A formação mantém condições de aquífero livre

com uma área aflorante de 3.093 km^2 ; a espessura média saturada é estimada em 60 m, sendo adotado um coeficiente de saturação $= 2,5 \times 10^{-2}$.

$$V_s \cong A.E.$$

$$V_s = 3.093 \times 10^6 \times 6 \times 10 \times 2,5 \times 10^{-2}$$

$$V_s = 4.639 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

4.3.3 - Reservas Exploráveis

Consideramos como reservas exploráveis da área 17, a vazão de escoamento natural mais uma parte das reservas permanentes das diversas unidades hidrogeológicas estudadas nos itens precedentes.

A vazão de escoamento natural corresponde aos volumes de água renovados anualmente podendo, portanto, teoricamente, ser explorada sem afetar o equilíbrio hidrodinâmico dos sistemas aquíferos. A utilização das reservas permanentes deve ser programada de maneira racional, para evitar as consequências indesejáveis de excessivos rebaixamentos regionais dos níveis de água, além de um progressivo esgotamento dos aquíferos.

Admitimos, pois, as seguintes hipóteses para a avaliação das reservas exploráveis da área:

- A vazão de escoamento natural, definida para cada aquífero, constitui parte integrante das reservas exploráveis;
- Considera-se a utilização nos sistemas aquíferos Serra

Grande, Cabeças, Poti, Piauí e Urucuia;

- Considera-se, também, no aproveitamento das reservas permanentes, um período de exploração estimado em 50 anos, adotando-se rebaixamentos médios dos níveis regionais de cada aquífero, de acordo com os valores médios das respectivas cargas hidráulicas e espessuras médias saturadas; os valores obtidos são representativos de uma ordem de grandeza das reservas permanentes passíveis de exploração.

Os cálculos são similares aos executados para obter os volumes de água de saturação e sob pressão, apenas, diminuindo a espessura média saturada e a carga hidráulica média, e considerando a área livre em vez da área total dos aquíferos e a área de confinamento, respectivamente.

Os Quadros 4.3.3.1 e 4.3.3.2 demonstram os cálculos efetuados e os resultados obtidos na avaliação das reservas permanentes exploráveis e recursos totais exploráveis na folha em estudo, respectivamente, de acordo com as hipóteses admitidas. Uma análise destes quadros mostra que:

- Para o aquífero Serra Grande, admitimos um rebaixamento médio de 50 metros na zona confinada, resultando um volume explorável de $257,4 \times 10^6 \text{ m}^3/50 \text{ anos} = 5,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.
- Para o aquífero Cabeças adotou-se um rebaixamento médio de 30 metros na área livre e uma perda de carga de 50 metros na zona confinada, resultando um volume explorável de $618,6 \times 10^6 \text{ m}^3/50 \text{ anos} = 12,3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$; como o escoamento natural foi avaliado em $109,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, os recursos exploráveis do aquífero Cabeças são, então, da ordem de $121 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.

QUADRO 4.3.3.1

RESERVAS PERMANENTES EXPLORÁVEIS DA FOLHA Nº 17 - RIO SÃO FRANCISCO-NO

AQUÍFEROS	ÁREA (m ²)		COEFICIENTE		ÁGUA DE SATURAÇÃO			ÁGUA SOB PRESSÃO			VOLUME TOTAL EXPLORÁVEL (3)=(1)+(2) (x 10 ⁶ m ³ /ano)
	ÁGUA DE SATURAÇÃO	ÁGUA SOB PRESSÃO	RESTITUIÇÃO ()	ARMAZENAMENTO(S)	REBAIXAMENTO MÉDIO DO NÍVEL/50 anos (m)	VOLUME EXPLORÁVEL (x 10 ⁶ m ³ /ano (1))	VOLUME EXPLORÁVEL (x 10 ⁶ m ³ /50 anos)	PERDA DE CARGA MÉDIA/50 anos (m)	VOLUME EXPLORÁVEL (x 10 ⁶ m ³ /50 anos)	VOLUME EXPLORÁVEL (x 10 ⁶ m ³ /ano (2))	
Serra Grande	-	12.000	1,4 x 10 ⁻²	4,29 x 10 ⁻⁴	-	-	-	50	257,4	5,10	5,10
Cabeças	2.720	6.620	7,5 x 10 ⁻³	1,99 x 10 ⁻⁵	30	12,2	612	50	6,6	0,13	12,37
Poti	11.786	53.350	2,8 x 10 ⁻²	1,44 x 10 ⁻³	50	330,0	16.500	30	2.305,0	46,10	376,10
Piauí	29.440	24.400	2,5 x 10 ⁻²	1,44 x 10 ⁻³	50	736,0	36.800	30	1.054,0	21,10	757,10
Urucuaia	3.093		2,5 x 10 ⁻²		20	30,9	1.546				30,90
TOTAIS	47.039	96.370				1.109,1	55.458		3.623,0	72,43	1.181,57

QUADRO 4.3.3.2

RECURSOS TOTAIS EXPLORÁVEIS DA FOLHA Nº 17 - RIO SÃO FRANCISCO-NO

AQUÍFEROS	RESERVAS PERMANENTES (x 10 ⁶ m ³)	RESERVAS PERMANENTES EXPLORÁVEIS			ESCOAMENTO NATURAL		RECURSOS TOTAIS EXPLORÁVEIS (1) + (2) (x 10 ⁶ m ³ /ano)
		Volume de Exploração (x 10 ⁶ m ³)			(2) Vazão (x 10 ⁶ m ³ /ano)	% em rel. ao volume precipitado	
		em 50 anos		(1) Anual			
Volumes	% em rel. as reservas permanentes						
Serra Grande	34.114	257,4	0,7	5,10	-	-	5
Cateças	5.628	618,6	10,9	12,37	109	2,36	121
Poti	336.632	18.805,0	5,6	376,10	98	0,53	474
Piauí	211.514	37.854,0	17,9	757,10	89	0,23	846
Urucuaia	4.639	1.546,0	33,3	30,90	20	0,40	51
TOTAIS	592.527	59.081,0	9,9	1.181,57	316	-	1.497

- Para o aquífero Poti adotou-se, um rebaixamento médio de 50 metros na área de afloramento e uma perda de carga de 30 metros na área de confinamento. O volume explorável é, pois, $18.805 \times 10^6 \text{ m}^3/50 \text{ anos} = 376,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$; a vazão de escoamento natural foi calculada em $98 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, de modo que, os recursos totais exploráveis ascendem a $474,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.
- Para o aquífero Piauí, resulta um volume explorável de $37.854 \times 10^6 \text{ m}^3/50 \text{ anos} = 757,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, adotando um rebaixamento médio de 50 metros na zona de recarga e uma perda de carga de 30 metros na área de confinamento. Como o escoamento natural foi calculado em $89 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, os recursos totais exploráveis, são, portanto, $846,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.
- Para o aquífero Urucuaia adotamos um rebaixamento médio de 20 metros, resultando um volume explorável de $1.546 \times 10^6 \text{ m}^3/50 \text{ anos} = 30,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. Sendo o escoamento natural calculado em $20 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, os recursos totais exploráveis são, pois, $50,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.
- Para o total da folha, o somatório das reservas exploráveis ascendem a $1.181 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, o que corresponde a menos de 0,2% das reservas permanentes; adicionando o escoamento natural dos aquíferos considerados, os recursos totais exploráveis são da ordem de $1.497 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.
- Admitindo-se que devem ser explorados, ape-

nas os volumes infiltrados anualmente em to
dos os sistemas hidrogeológicos da folha, os
recursos disponíveis totalizam, aproximada
mente $453 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.

5 - HIDROQUIMICA

5.1 - INTRODUÇÃO

Durante os trabalhos de campo, procedeu-se uma amostragem sistemática de águas para a realização de análises químicas. A atenção dada especialmente as características químicas das águas, justifica-se pela necessidade de se caracterizar quimicamente a água a ser eventualmente utilizada em prática de irrigação e de abastecimento público. O fator qualitativo dos aquíferos é tão importante quanto o quantitativo, já que tem os seus limites determinados para os diversos usos.

Em campo, procedeu-se a determinação de pH, condutividade elétrica e temperatura das diversas amostras coletadas.

Das amostras de água coletadas em campo, foram selecionadas 76 e enviadas a laboratório competente para as devidas análises químicas. Procedeu-se uma distribuição uniforme por toda área, de acordo com as formações geológicas existentes, para um melhor dimensionamento das variações químicas das águas dos diferentes tipos litológicos.

Das amostras analisadas em laboratório, foram feitas as seguintes determinações: alcalinidade e dureza em equivalências de CaCO_3 , pH, condutividade elétrica a 25°C , resíduo seco a 110°C , e os principais constituintes: cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloretos, sulfatos e carbonatos, e testes qualitativos de NO_2 , NO_3 e fer

ro.

Quando da utilização dos valores para a elaboração dos diagramas das fácies químicas (Piper-Hill-Langelier) e da classificação das águas para irrigação (RAS), os valores em miligrama por litro (mg/l), foram transformados em miliequivalente por litro (meq/l).

Além das 76 análises químicas realizadas neste trabalho, considerou-se mais 43 análises realizadas pela SERETE e 12 pelo DNOCS, em trabalhos anteriores que se sobrepõem a parte da área em estudo. Estas 55 análises constam do catálogo de pontos de água anexo e figuram no relatório apenas em termos comparativos, não sendo observadas diferenças acentuadas, e sim, valores correlatos.

As amostras analisadas são todas procedentes de rochas sedimentares, sendo apenas 3 de poços tubulares, 16 de poços manuais e a grande maioria, 57 de fontes, estando todas dentro dos limites de erro permissível (Logan, 1965).

5.2 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DAS ÁGUAS

O resultado analítico das amostras demonstrou uma predominância da classe de águas cloretadas (37%) e cloretadas carbonatadas (25%), aparecendo em menor quantidade as águas mistas (16%), carbonatadas (13%) e as sulfatadas cloretadas (9%). Quanto aos tipos de água verifica-se uma predominância das sódicas, com exceção da classe das carbonatadas onde predominam as águas mistas (Quadro 5.3.2).

De um modo geral, as águas apresentam um baixo grau de salinização, com um resíduo seco médio de 91 mili

gramas/litro. O Quadro 5.2.1 mostra o resíduo seco médio para todas as formações que ocorrem na área, tendo apenas um valor anômalo, 1.398 miligramas por litro no ponto 339. Os resultados indicam ser pequena a variação de salinidade entre os aquíferos.

QUADRO 5.2.1
VALORES MÉDIOS DOS RESÍDUOS SECOS
POR FORMAÇÃO

F O R M A Ç Ã O	RESÍDUO SECO MÉDIO (mg/l)			
	POÇOS	CACIMBAS	FONTES	TOTAL
AREADO	373	-	68	220,00
URUCUIA	-	1.398	-	1.398,00
BASALTO	-	-	108	108,00
SAMBAIBA	-	339	58,66	129,00
PEDRA DE FOGO	-	89	69,50	76,00
POTI/PIAUI	70	166,28	47,73	66,00
LONGA	-	115,66	17	66,00
CABEÇAS	-	-	26	26,00
PIMENTEIRAS	-	132	31,50	82,00

No Quadro 5.2.2 de distribuição de frequência de Resíduo Seco das Águas, observa-se que 73,7% das amostras apresentam valores inferiores a 100 miligramas/litro, 98,6% inferior a 400 miligramas/litro e que apenas 1,4% excede a 600 miligramas/litro, donde se conclui tratar-se de águas de muito baixo grau de salinização.

QUADRO 5.2.2
DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DOS RESÍDUOS SECOS

VARIÇÃO DE SALINIDADE EM RESÍDUO SECO (mg/l)	Nº DE AMOSTRAS	FREQUÊNCIA	
		RELATIVA (%)	ACUMULADA (%)
0 - 100	56	73,7	73,7
101 - 200	14	18,4	92,1
201 - 300	3	3,9	96,0
301 - 400	2	2,6	98,6
401 - 500	-	-	-
501 - 600	-	-	-
> 600	1	1,4	100,0
T O T A L	76	100,00	100,0

O valor médio de pH, para toda área é de 6,42; o valor mínimo 4,40 e o máximo de 8,00, concluindo-se com isso tratar-se de águas ligeiramente ácidas. De todos os pontos observados, pode-se concluir que as fontes apresentam os menores valores de pH, em quase sua totalidade menores do que 7,0, seguidos dos poços manuais e tabulares em torno de 7,0. Comparados com os valores de SERETE (1974) e DNOCS (1972), temos alguns valores anômalos, mas com médias quase iguais (6,42 e 6,70).

A média para os valores de dureza das águas analisadas é de 3,85 graus franceses classificando-se, portanto, como águas "muito moles" a "moles" segundo classificação de Klut Olszewski, visto que, 84% delas apresentaram dureza entre 0,10 e 12 graus franceses.

As análises das águas provenientes da região de Gilbués (317.17, 322.17, 339.17, 348.17), mostraram uma acentuada anomalia em relação com as demais restantes da área, provocando um acréscimo na média de dureza nesta região, ainda assim, estando classificadas como águas "mui-

to moles" a "moles".

A quase totalidade da área, apresenta águas de dureza muito baixa, menor do que 7 graus franceses, sendo pouco os valores anômalos que ultrapassaram de 20 graus franceses, mas, atingindo até 200 graus franceses na zona de Gilbués.

Os valores de condutividade elétrica apresentam grandes variações em toda a área, desde 328 e 340 micro mho/cm (001.17, 138.17) a 1.425 e 1.499 micromho/cm (339.17, 341.17). Observou-se, contudo, que, de um modo quase geral, as fontes contribuem com índices mais baixos, seguidos dos poços tubulares e com valores mais elevados os poços manuais. Esta variação se faz por toda a área e para os diferentes tipos litológicos. Não foi observado uma constância para determinada litologia. Os valores de condutividade elétrica foram usados como parâmetros na classificação de águas para irrigação.

5.3 - CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS

Na classificação química das amostras de águas analisadas, empregou-se o diagrama de Piper-Hill-Langelier, para a determinação das diversas fácies químicas existentes na área. Consiste, este método no uso dos diagramas triangulares onde se plota as quantidades relativas dos diversos cations e anions, expressos em percentagem de miliequivalente, nos triângulos laterais; os pontos assim determinados são projetados então no losângulo do diagrama sendo determinado novo ponto pela interseção das linhas de projeção.

As amostras aqui processadas, foram agrupadas em diagramas distintos de acordo com as formações geológicas (Fig. 5.3.4 a 5.3.15).

No Quadro 5.3.2 de distribuição de frequência das fácies químicas, estão relacionadas as diferentes classes de água com os respectivos número de amostras e frequência relativa para cada grupo, acompanhado dos parâmetros determinantes das diversas fácies químicas existentes na área em estudo.

Das cinco classes de água que ocorrem na área, há uma predominância das cloretadas (37%) e cloretadas carbonatadas (25%), seguindo em menor proporção as mistas (16%), carbonatadas (13%) e sulfatadas cloretadas (9%). Dentro das classes de água existentes, há uma maioria do tipo sódica, embora as carbonatadas apresentem em sua maioria o tipo mista.

A Fig. 5.3.16, mostra a distribuição das diversas classes de água para toda a área em estudo. Observa-se que não há uma zona de predominância de determinada classe, as mesmas ocorrem dispersamente por toda a área, e nas diferentes formações geológicas, não havendo uma classe de água caracterizando uma determinada formação.

5.3.1 - Principais Classes de Águas

5.3.1.1 - Águas Cloretadas (37%)

É a classe predominante na área em estudo e se caracteriza por apresentar o íon Cl^- sempre maior ou igual a 60% do total de anions.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
 PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
 MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA
 SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

C. R. M.
 SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
 RECIFE

FÁCIES HIDROQUÍMICAS
 DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LANGELIER

FOLHA-17
 FORMAÇÃO - AREADO

AMOST	SIMB.	FÁCIES
316.17	○	1d
326.17	○	3c

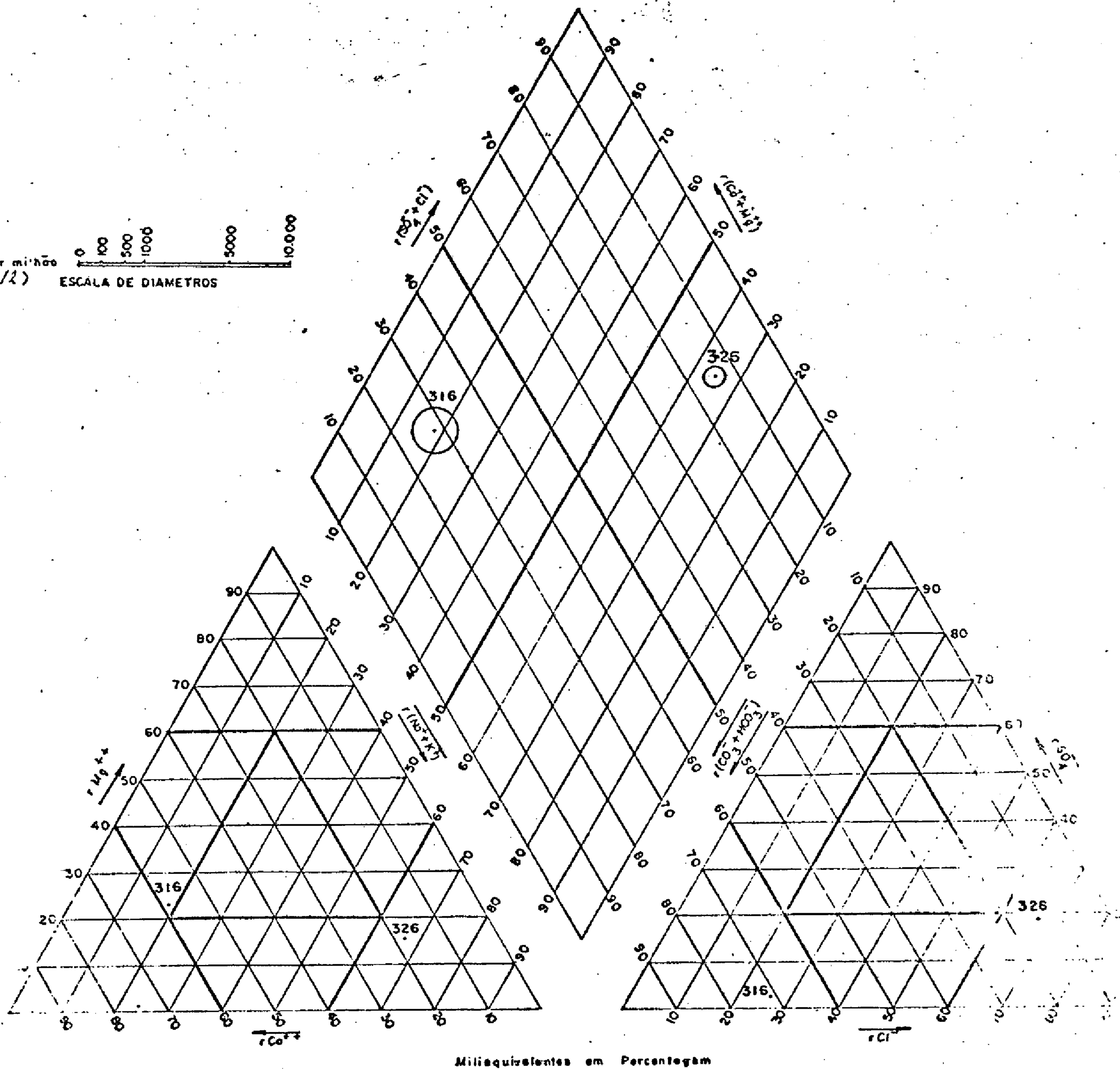
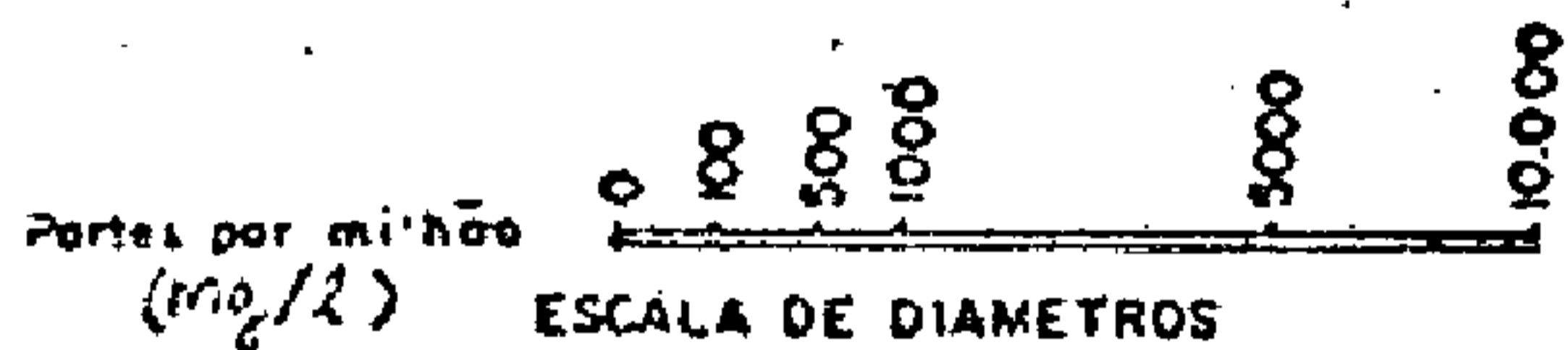
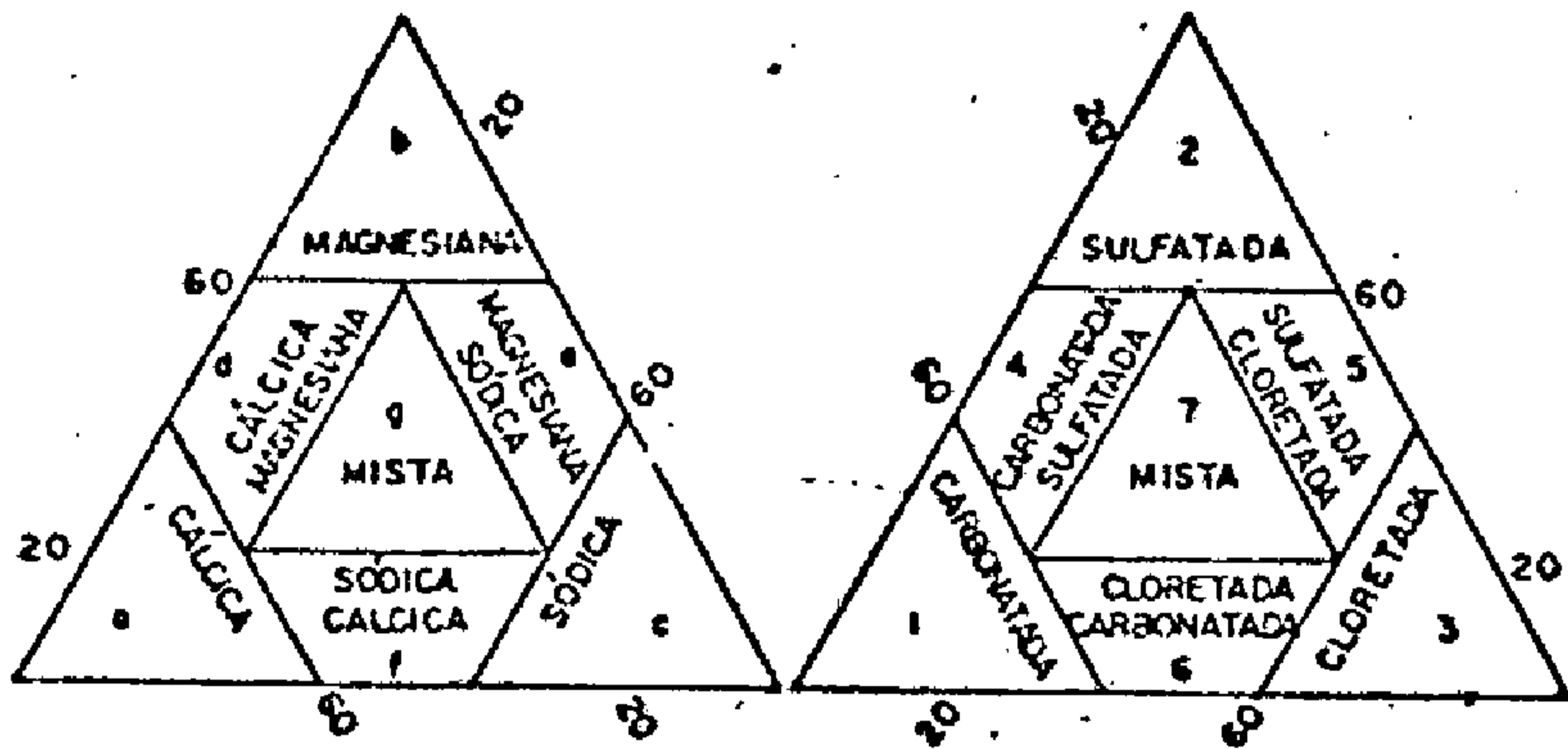


Fig. 5.3.4



COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA

SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

CPRM SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL RECIFE

FÁCIES HIDROQUÍMICAS DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LANGELIER

FOLHA-17 FORMAÇÃO - URUCUIA

AMOST.	SIMB.	FÁCIES
339.17	○	3 d

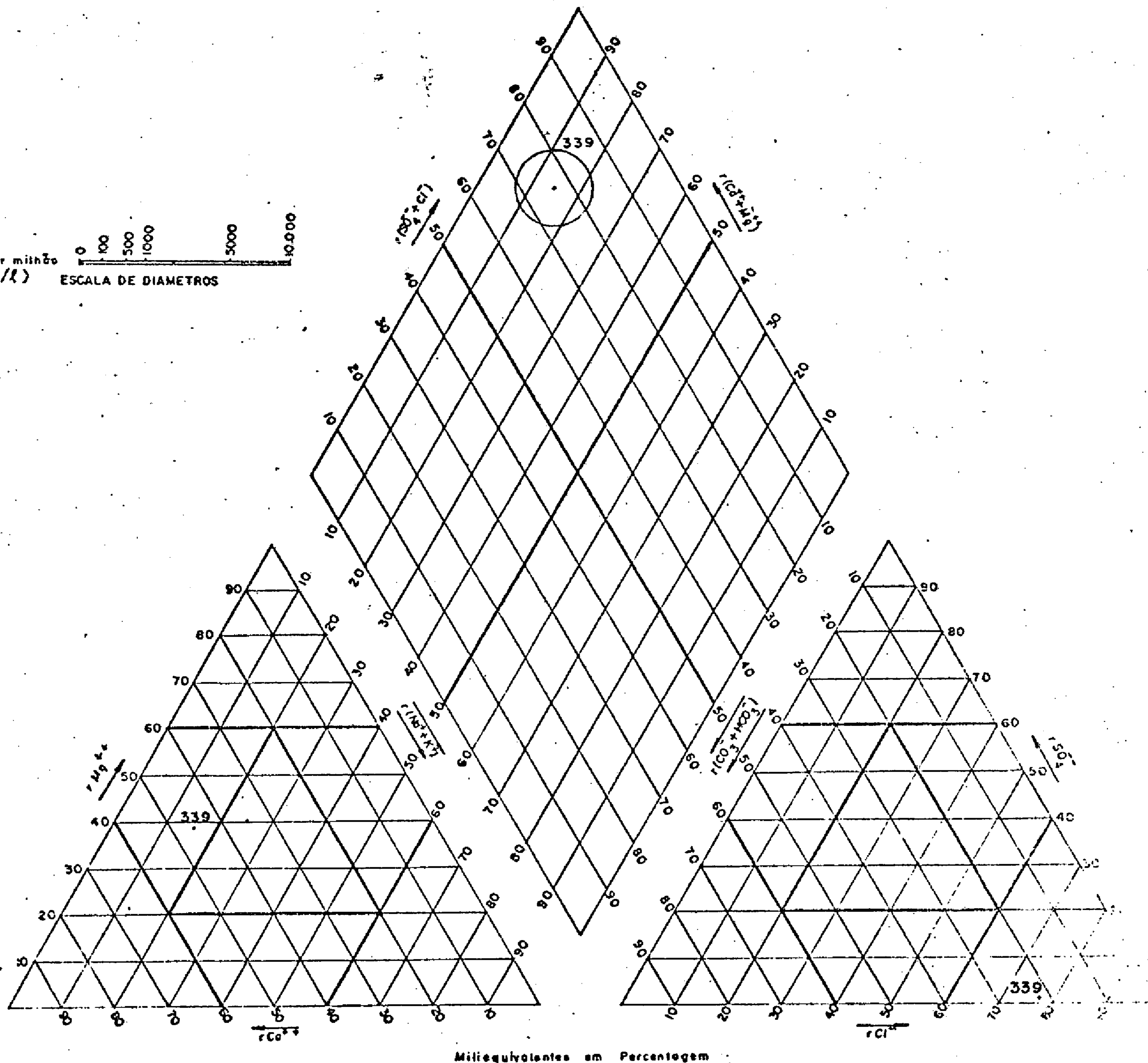
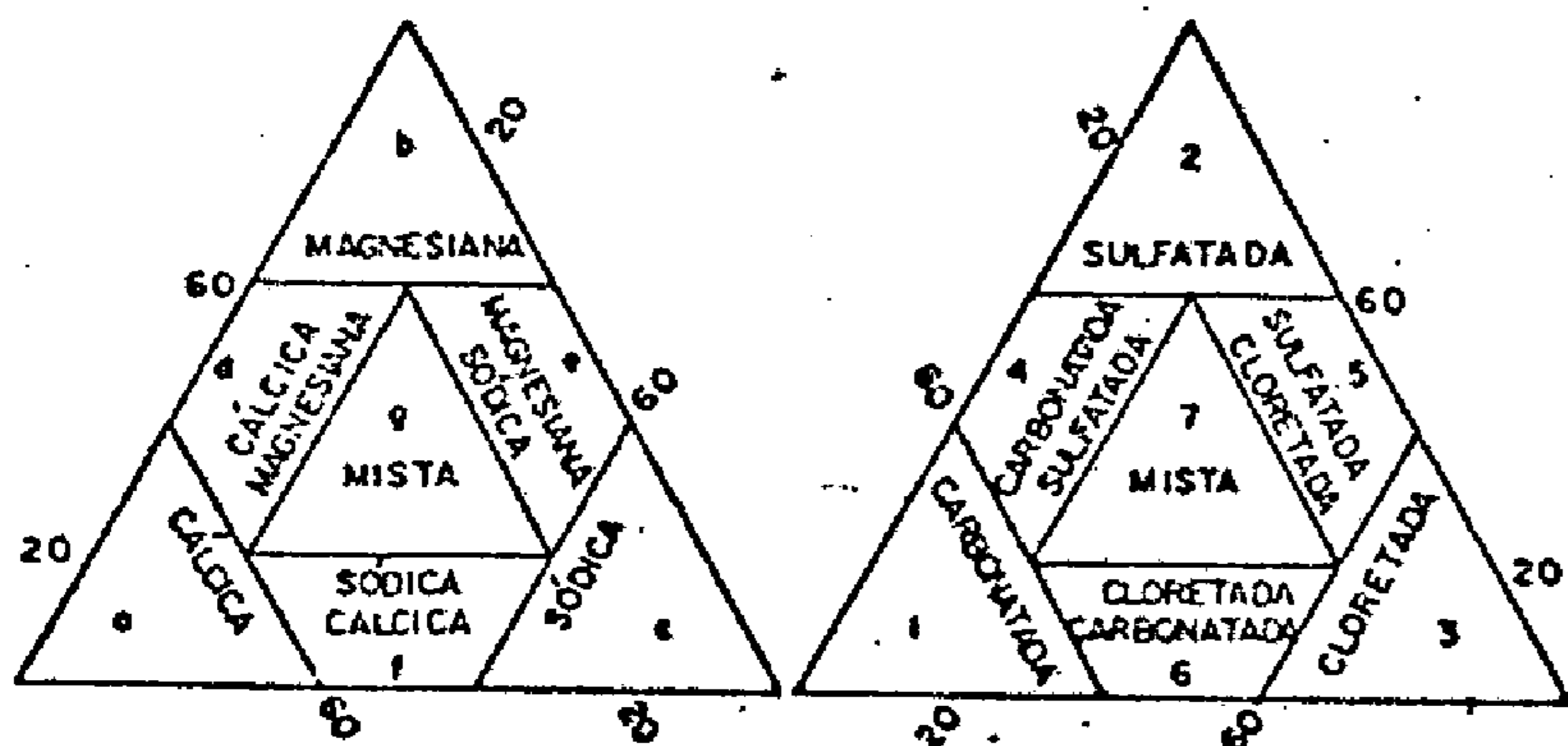
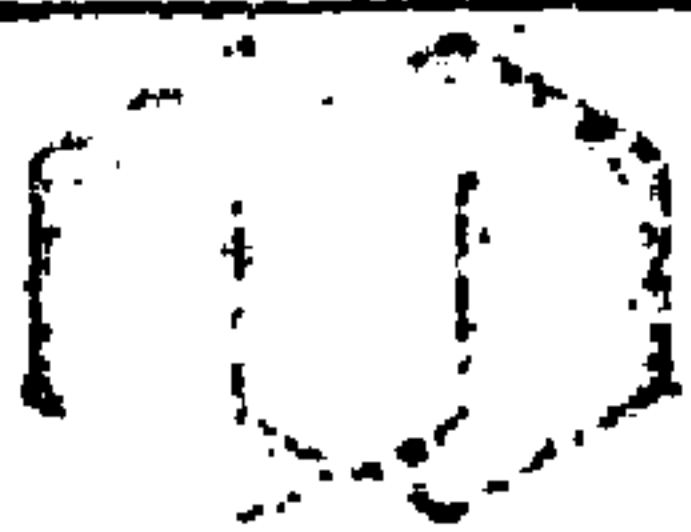


Fig. 5.3.5



COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
 PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
 MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA
 SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

GPRM
 SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
 RECIFE

FÁCIES HIDROQUÍMICAS
 DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LANGELIER

FOLHA - 17
 FORMAÇÃO-MOSQUITO

AMOST.	SIMB.	FÁCIES
245.17	○	19

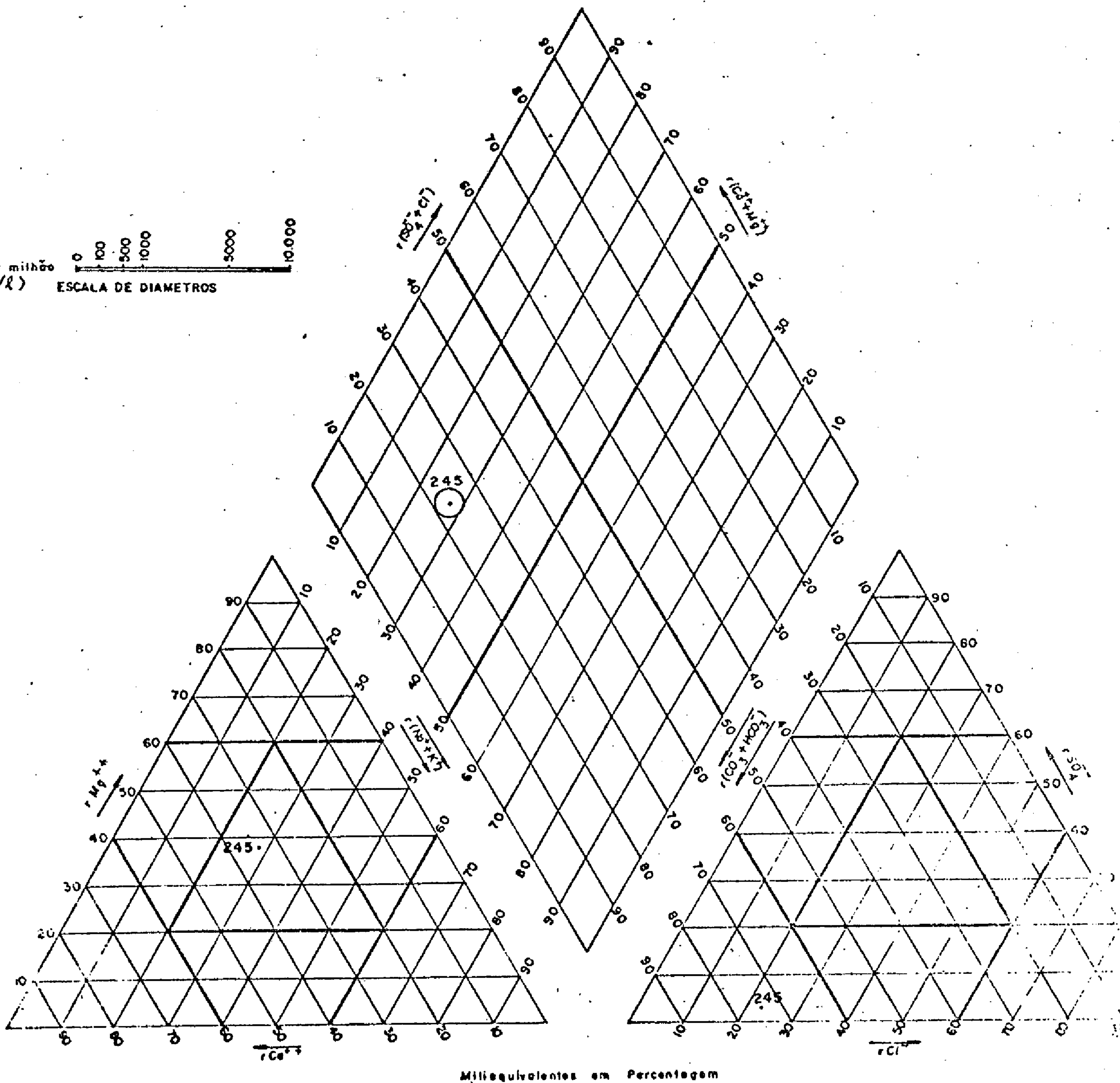
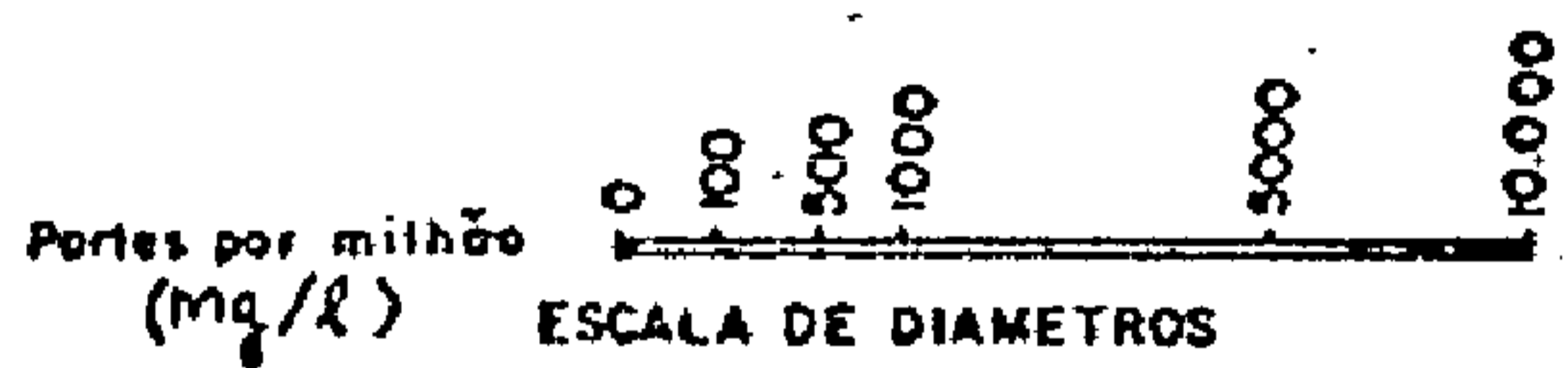
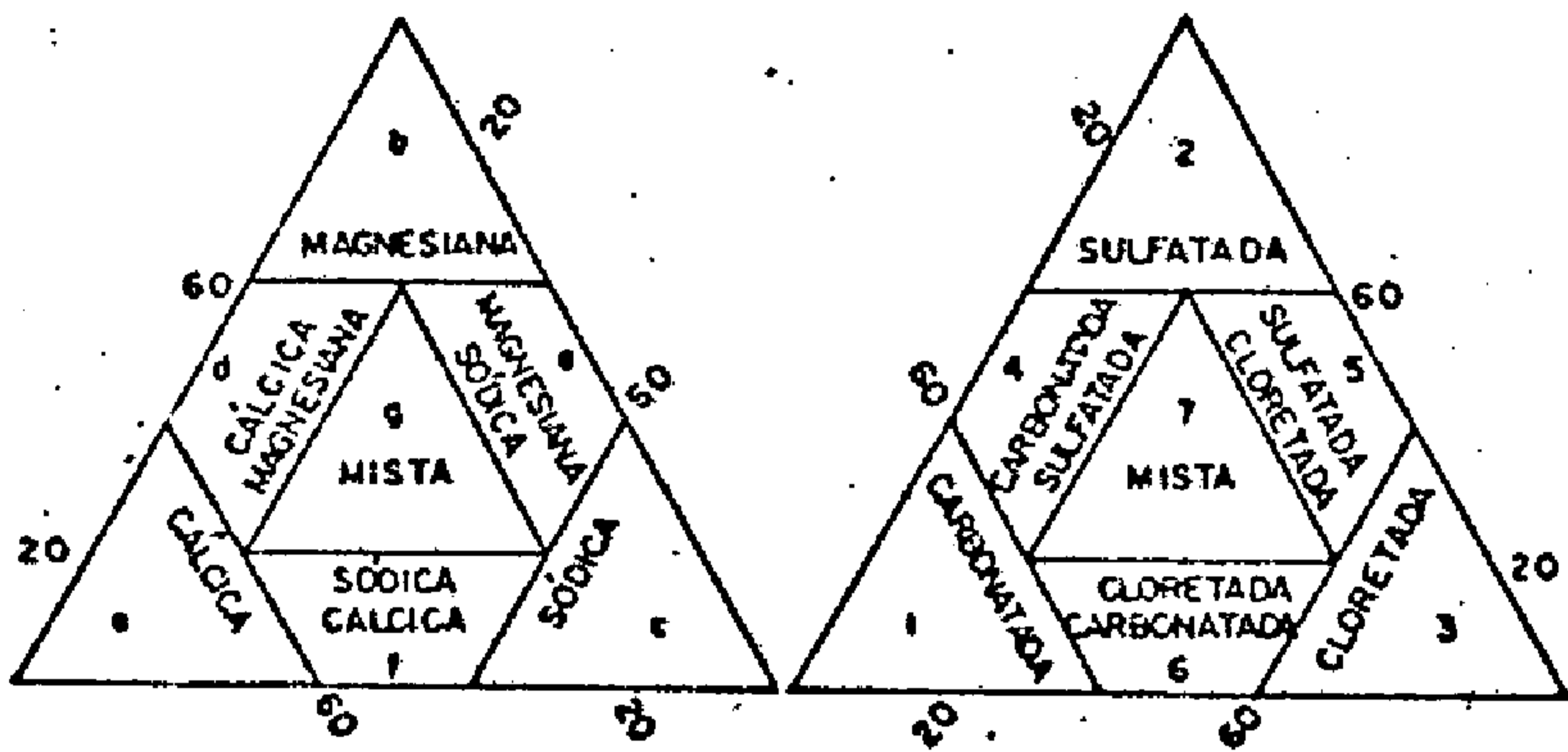
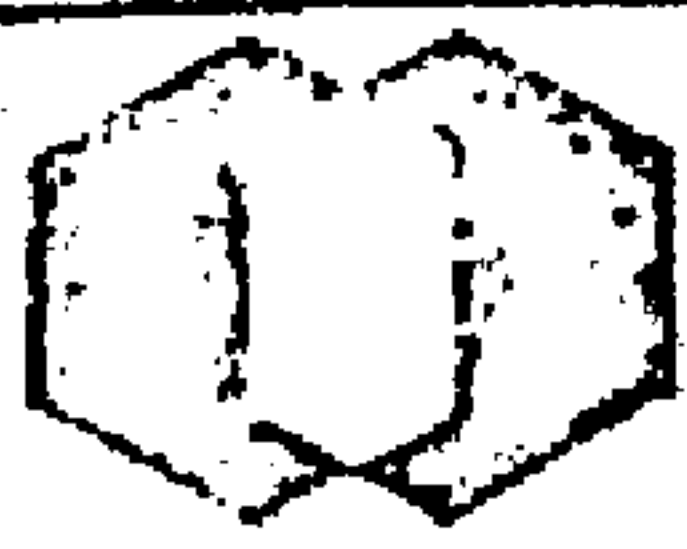


Fig. 6.3.6



CPRM

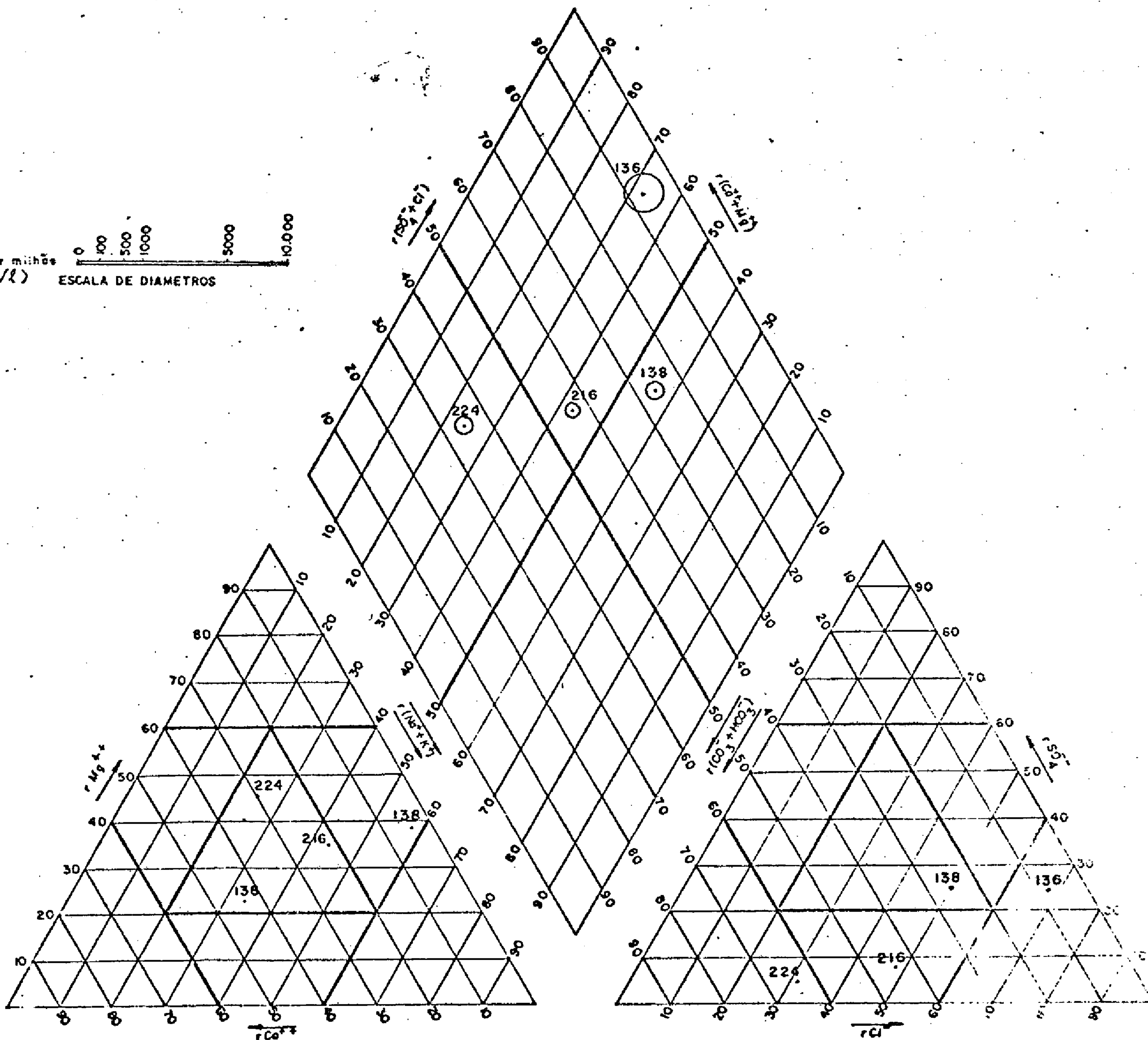
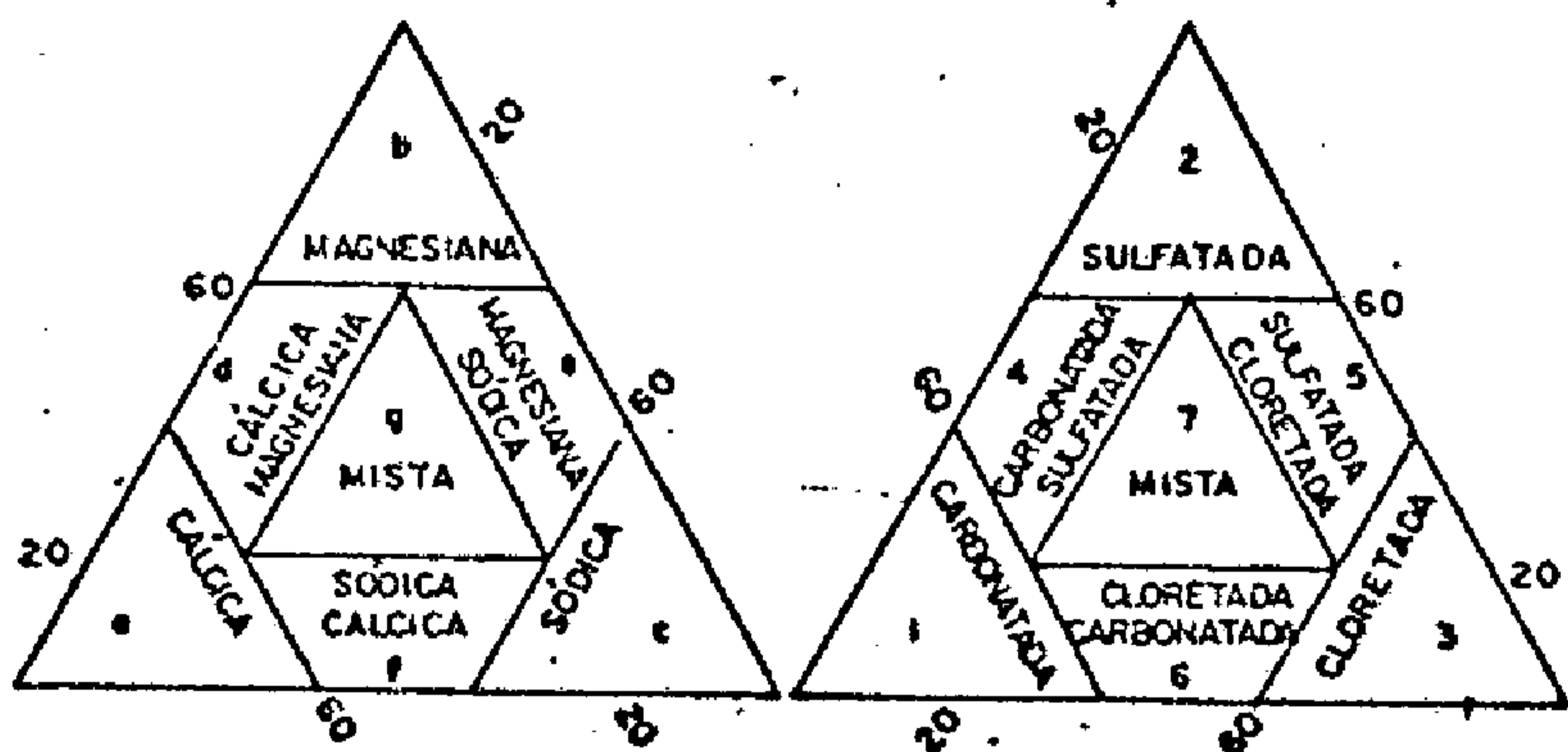
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA
SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

FÁCIES HIDROQUÍMICAS
DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LANGELIER

FOLHA-17
FORMAÇÃO-SAMBAIBA

AMOST.	SIMB.	FÁCIES
136.17	○	3g
138.17	⊕	7e
216.17	⊕	6g
224.17	⊕	1g



Miliequivalentes em Porcentagem

Fig. 5.3.7

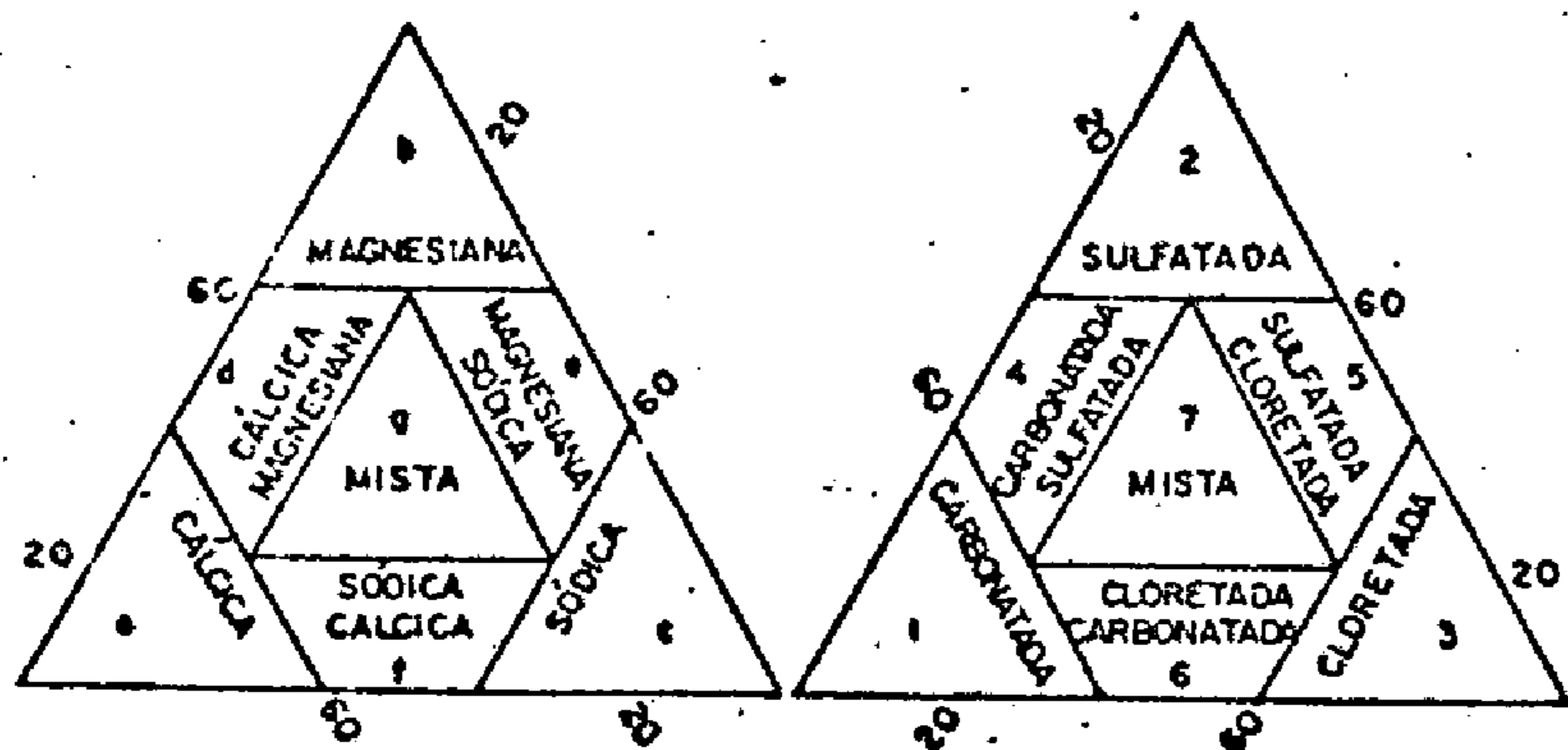


COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS-MINERAIS
 PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
 MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA
 SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

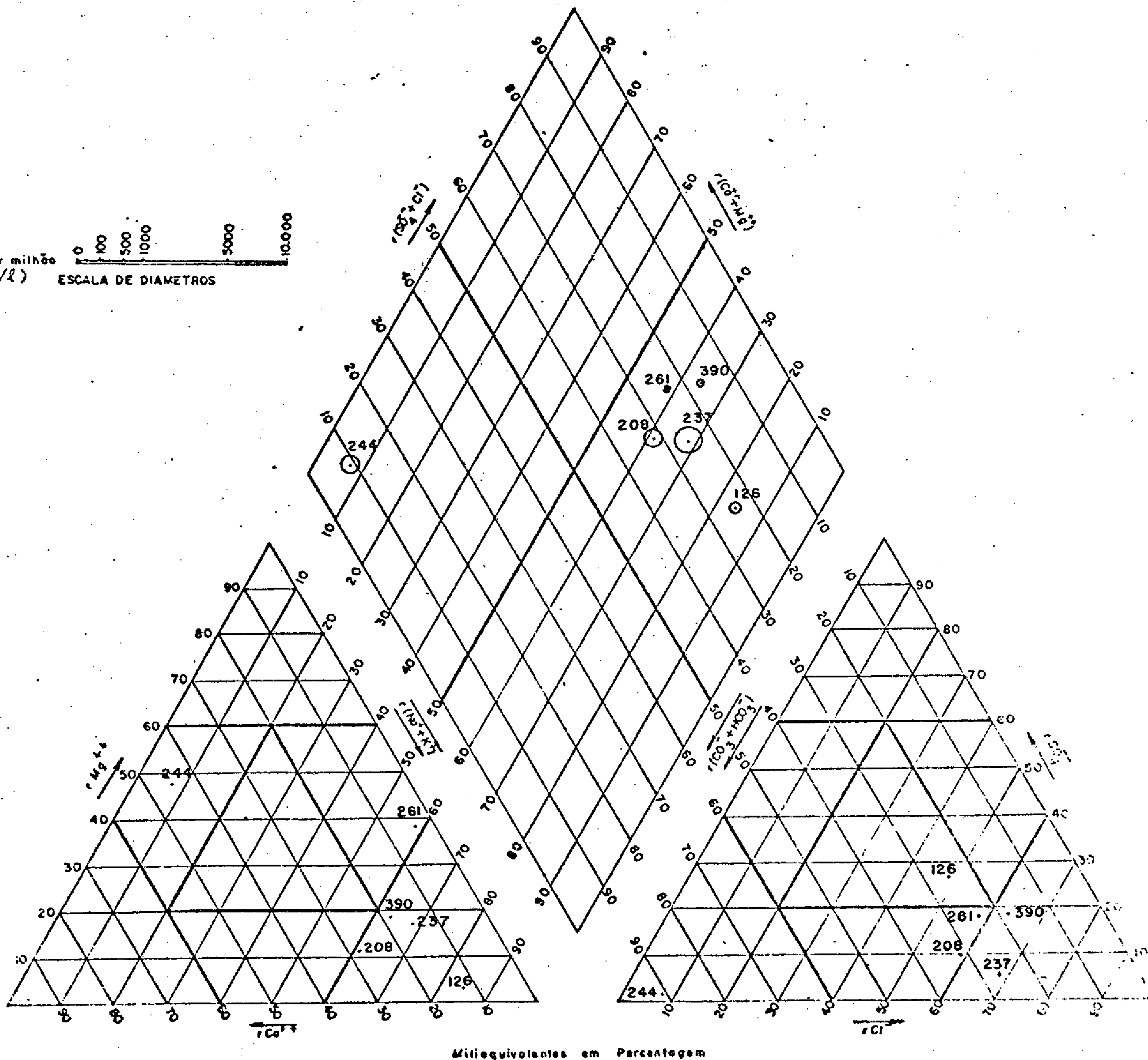
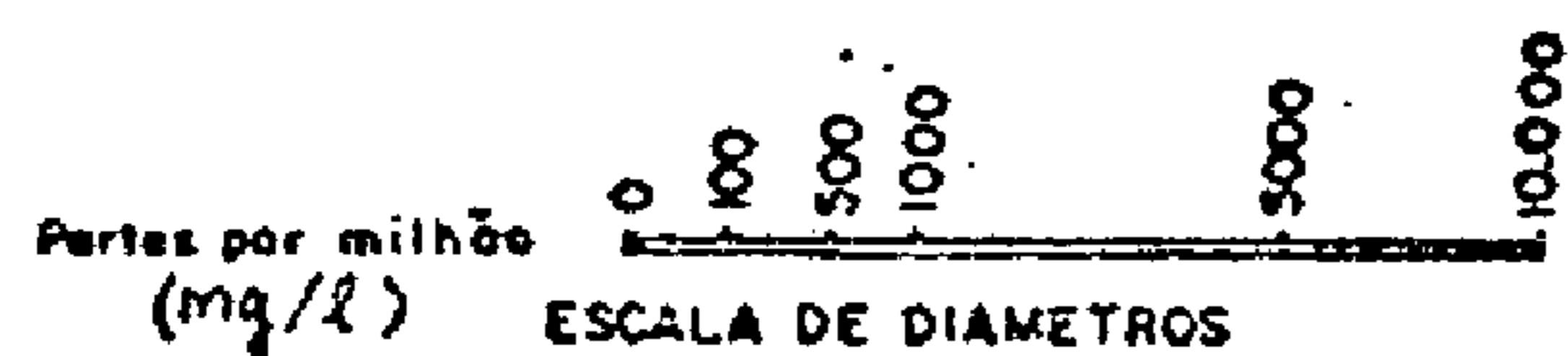
CPRM
 SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
 RECIFE

FÁCIES HIDROQUÍMICAS
 DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LANGELIER

FOLHA-17
 FORMAÇÃO-PEDRA DE FOGO

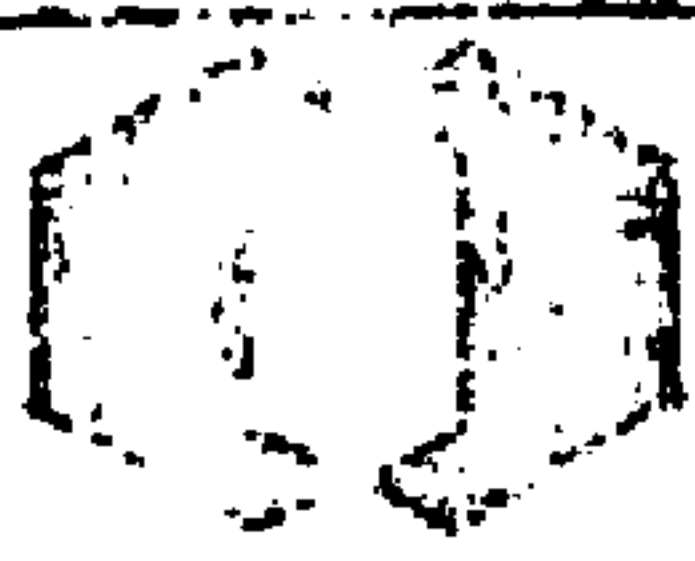


AMOST.	SIMB.	FÁCIES
126.17	⊙	7c
208.17	⊙	6c
244.17	⊙	1d
390.17	⊙	3c
237.17	○	3c
261.17	○	6e



Miliequivalentes em Percentagem

Fig. 5.3.8



COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
 PROJETO EST. DO GLOBAL DOS RECURSOS
 MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA
 SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

CPRM
 SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
 RECIFE

FÁCIES HIDROQUÍMICAS
 DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LANGELIER

FOLHA-17
 FORMAÇÃO-POTI-PIAUI

AMOST.	SIMB.	FÁCIES
012	○	6c
013	⊕	1g
115	○	6f
302	⊕	1g
329	○	3g
330	○	1g
334	○	3c
375	○	6f
406	○	3g

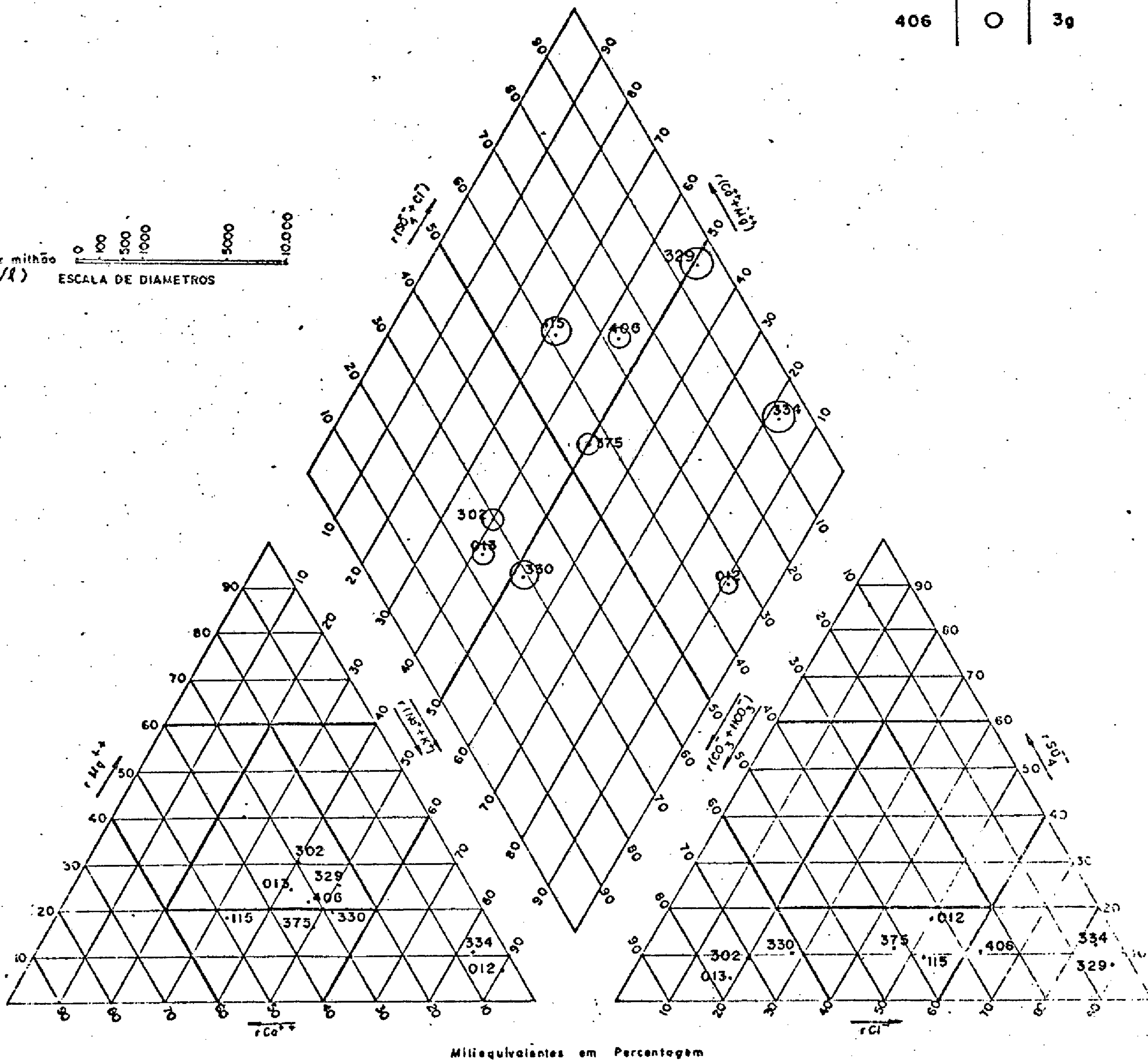
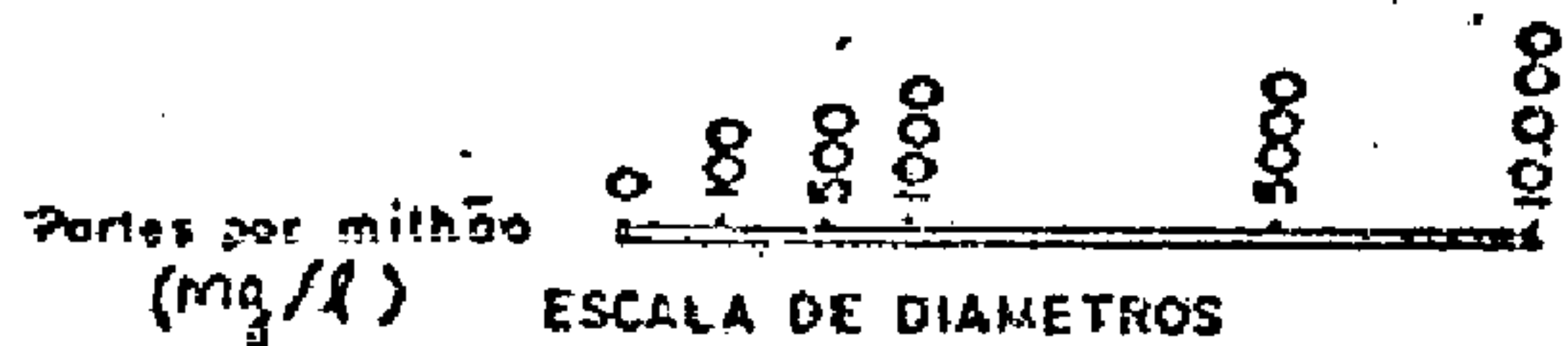
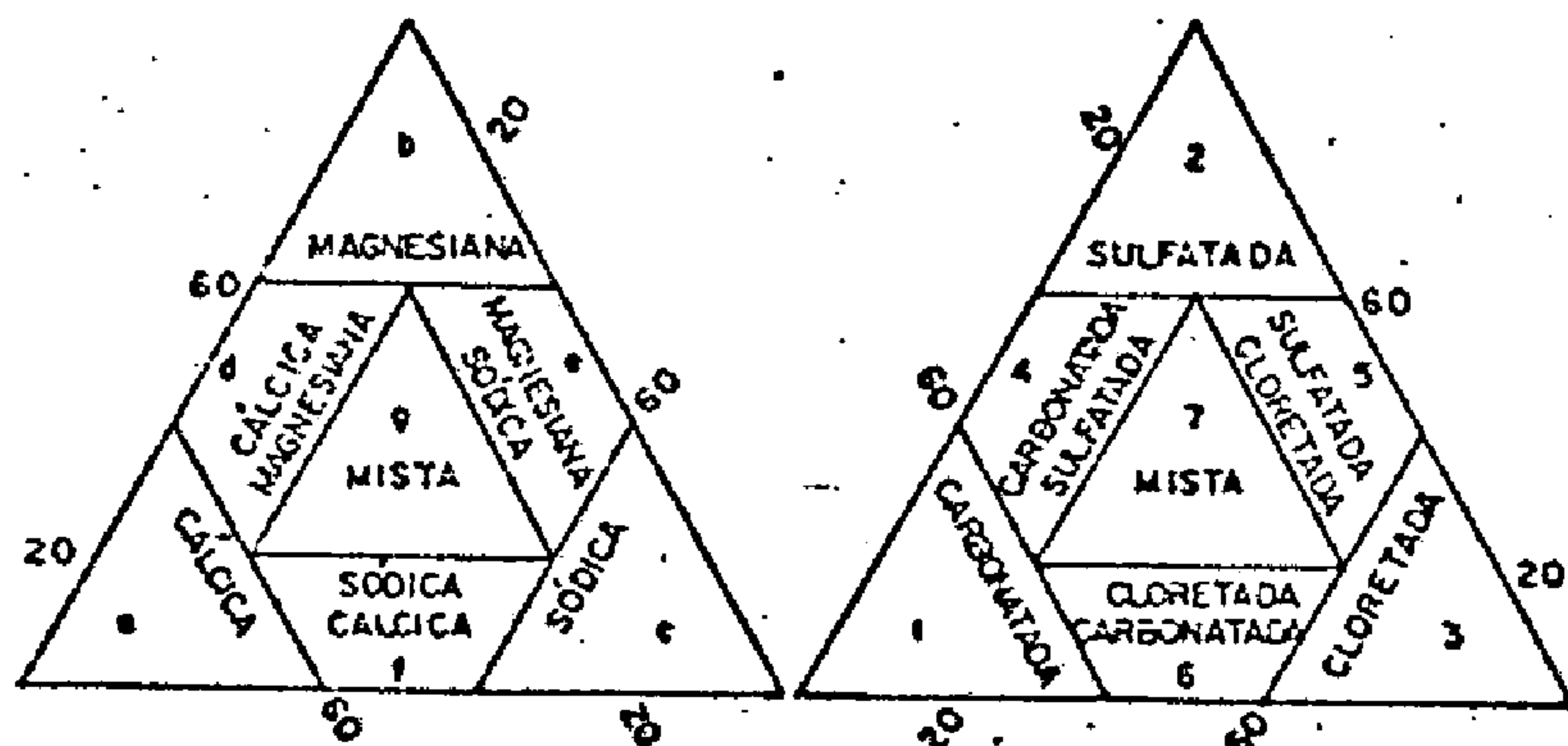


Fig. 5.3.9



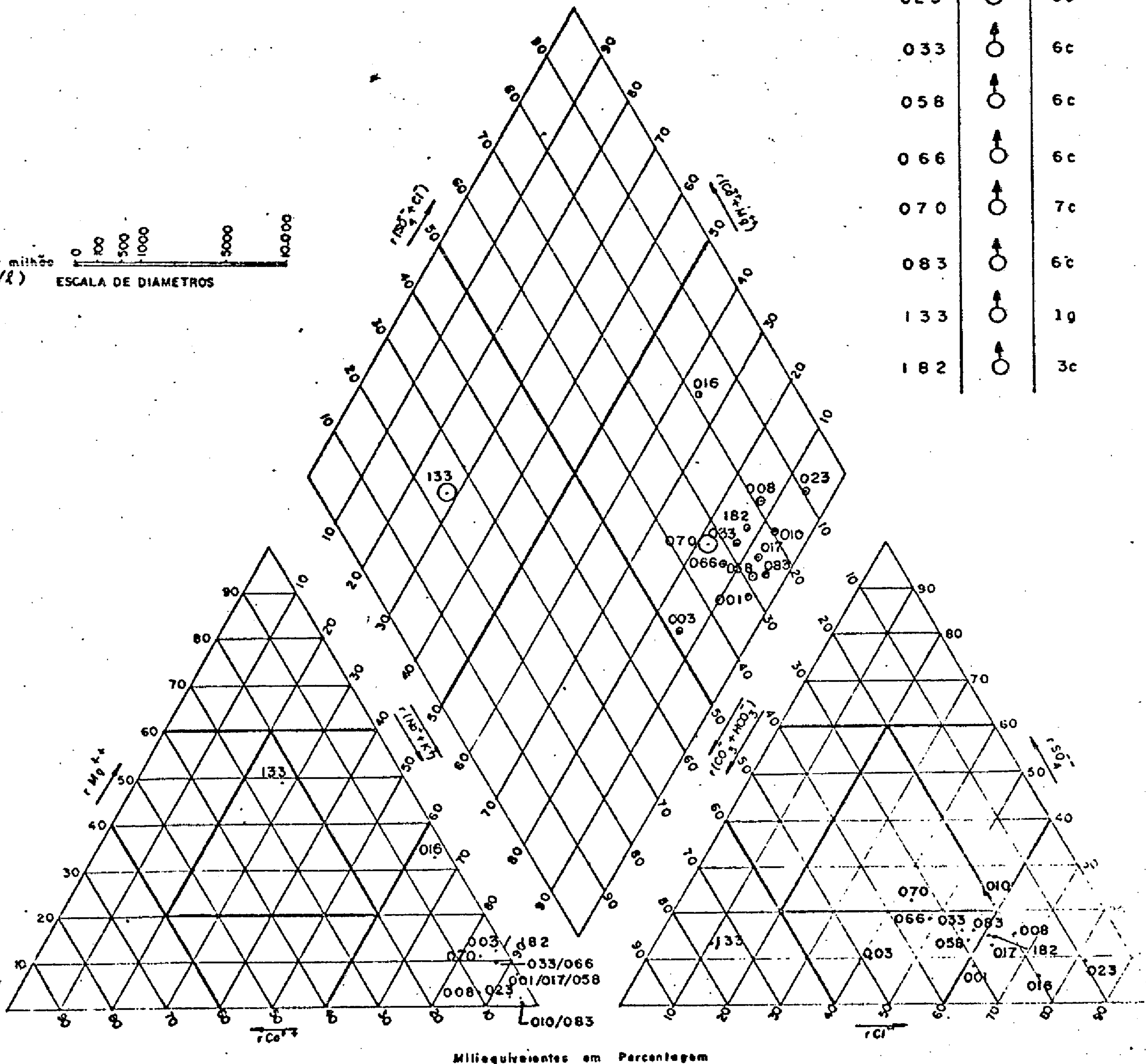
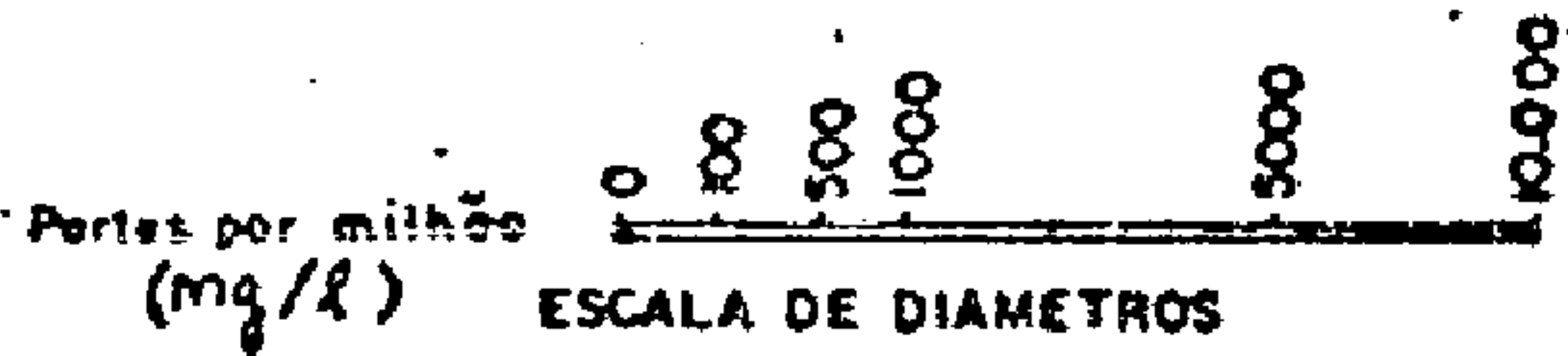
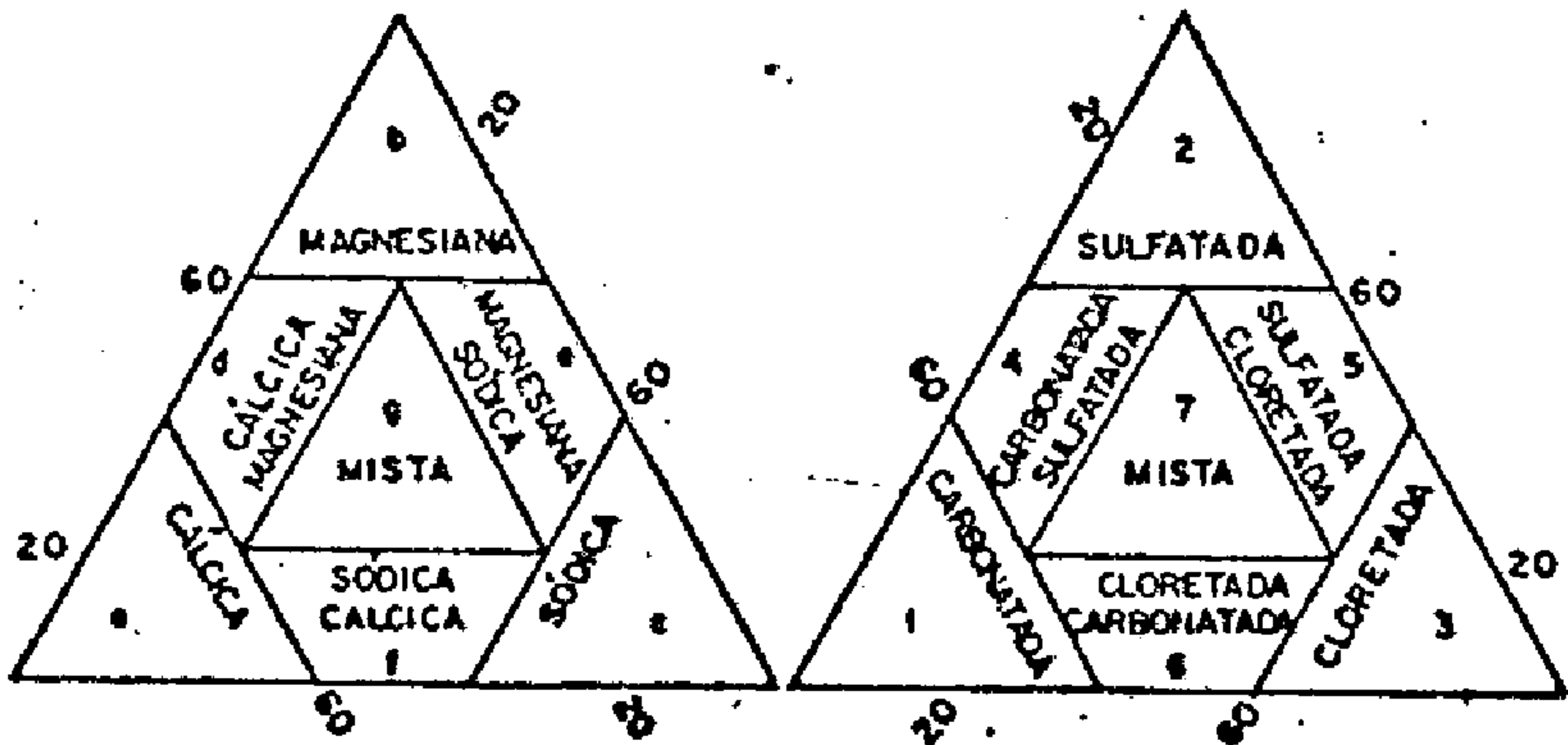
COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
 PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
 MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA
 SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

CPRM
 SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
 RECIFE

FÁCIES HIDROQUÍMICAS
 DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LANGELIER

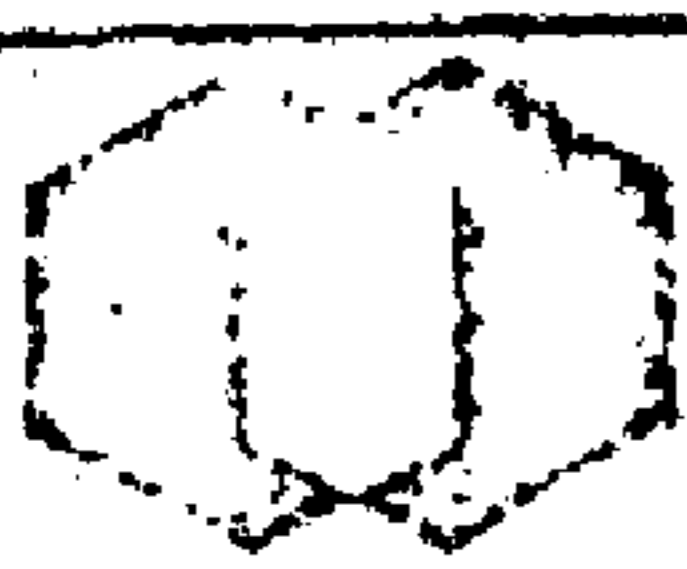
FOLHA-17
 FORMAÇÃO - POTI - PIAUÍ

AMOST.	SIMB.	FÁCIES
001	♂	3c
003	♂	6c
008	♂	3c
010	♂	7c
016	♂	3c
017	♂	3c
023	♂	3c
033	♂	6c
058	♂	6c
066	♂	6c
070	♂	7c
083	♂	6c
133	♂	1g
182	♂	3c



Miliequivalentes em Porcentagem

Fig. 5.3.10

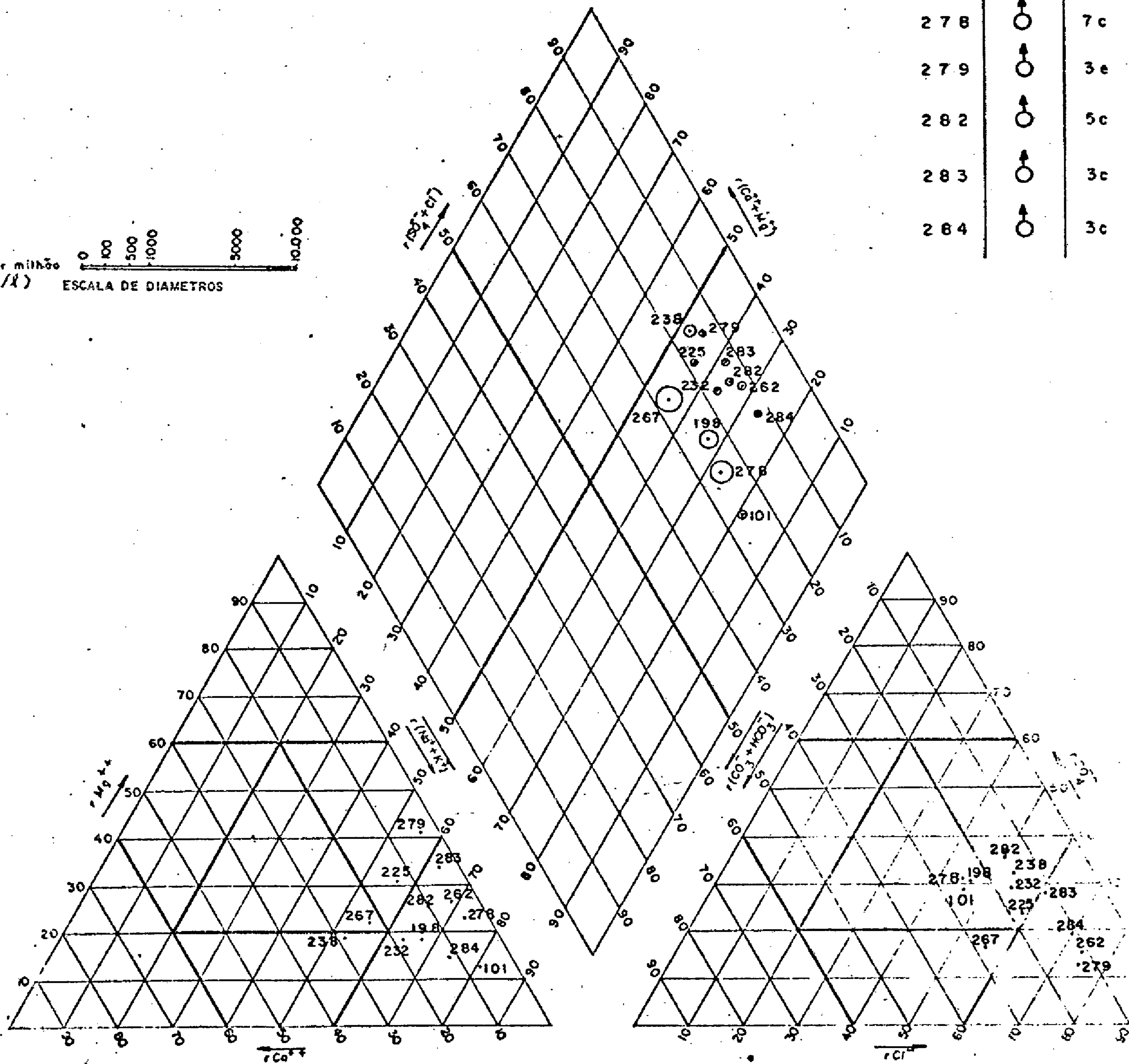
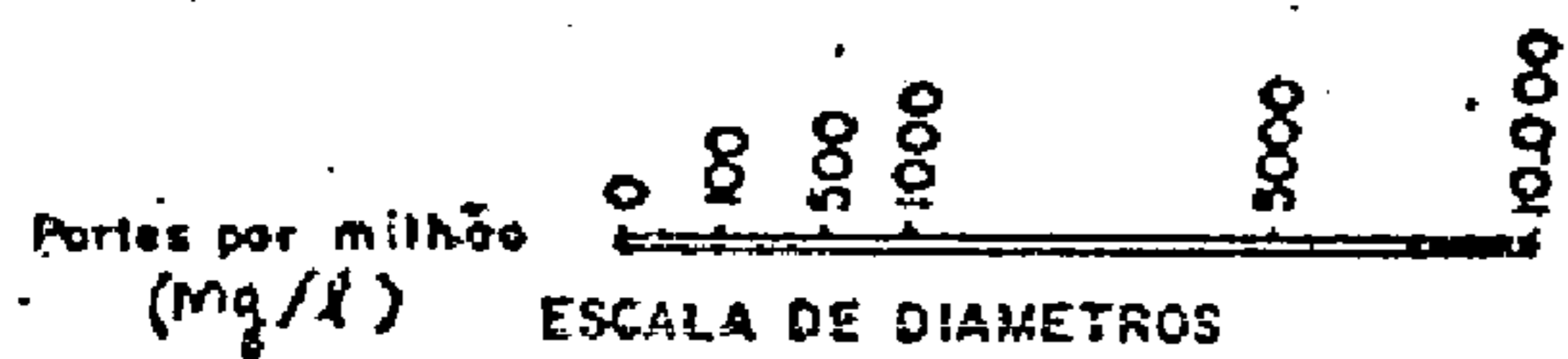
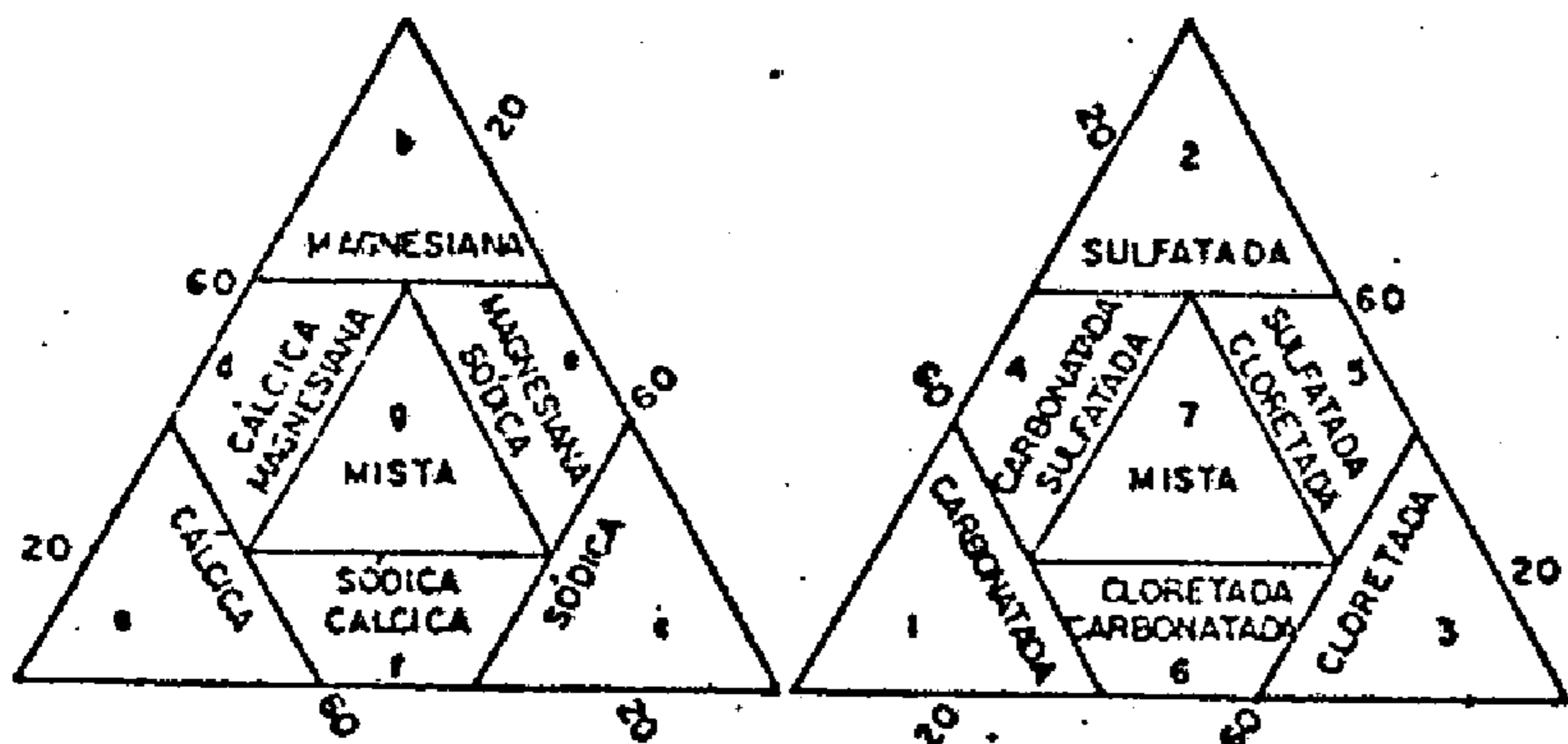


CPRM
 SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
 RECIFE

FÁCIES HIDROQUÍMICAS
 DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LANGELIER

FOLHA - 17
 FORMAÇÃO - POTI - PIAUI

AMOST.	SIMB.	FÁCIES
101	♀	7c
198	♀	7c
225	♀	5e
232	♀	5c
238	♀	5f
262	♀	3c
267	♀	6g
278	♀	7c
279	♀	3e
282	♀	5c
283	♀	3c
284	♀	3c



Miliequivalentes em Porcentagem

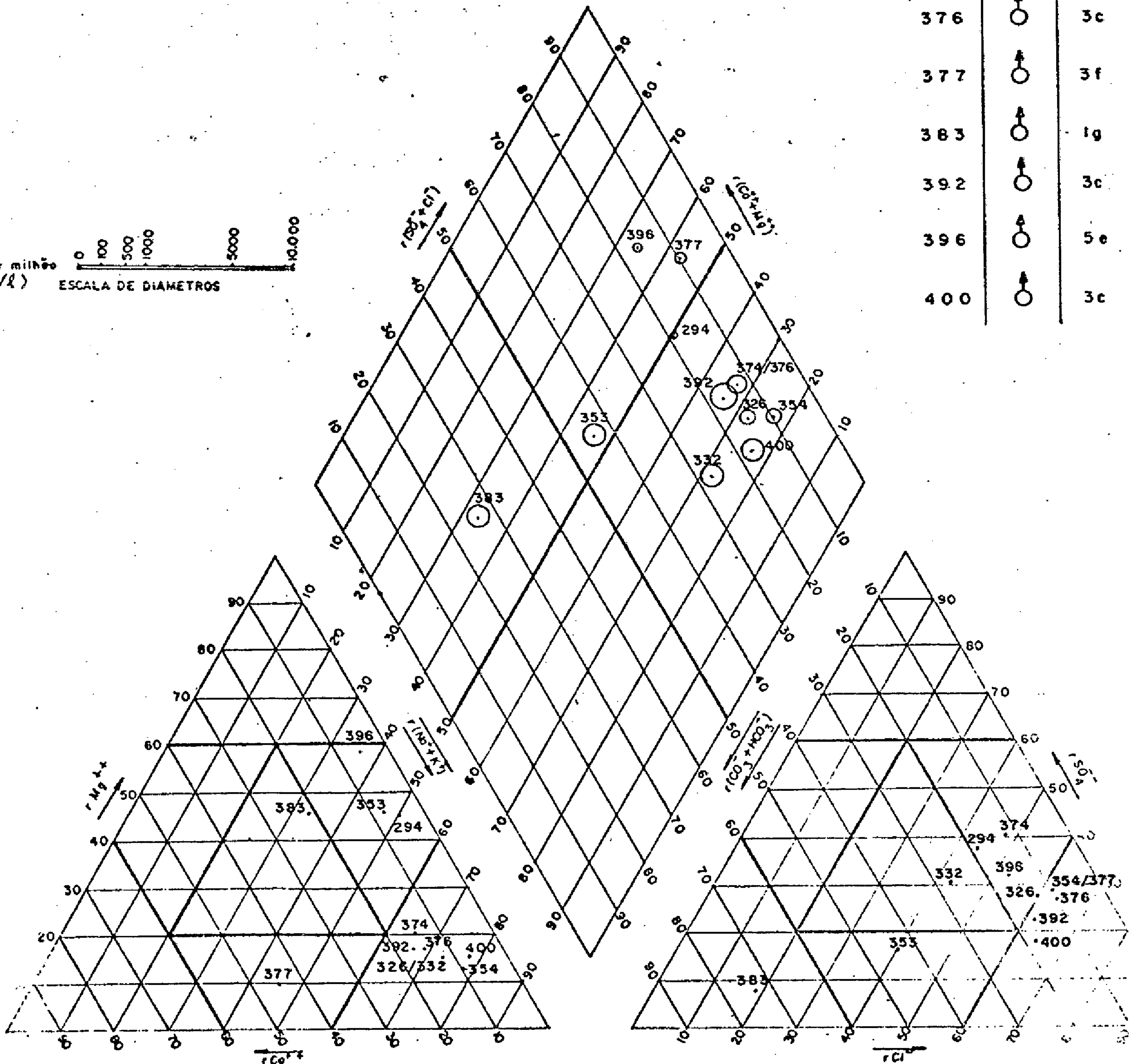
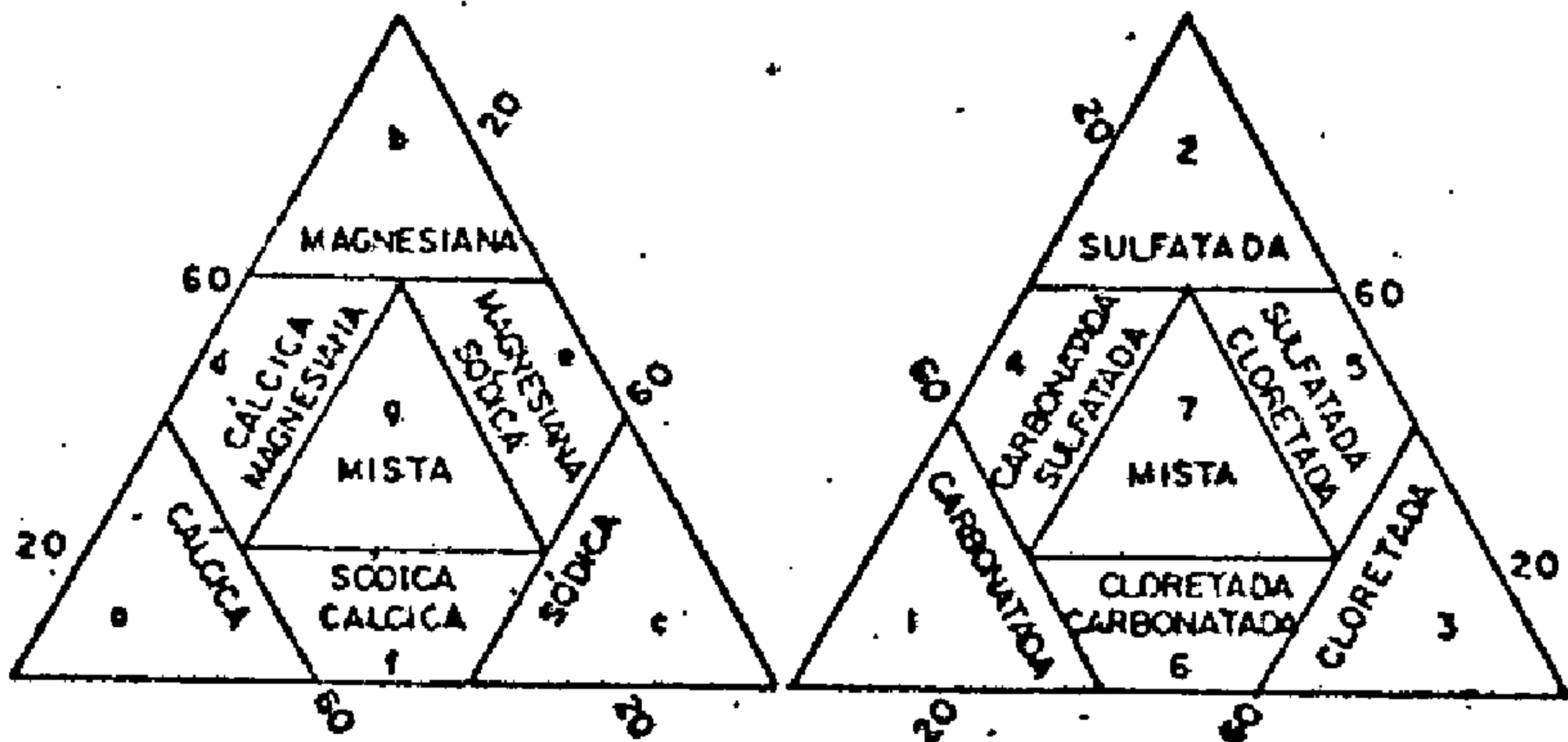
Fig. 5.3.11



FÁCIES HIDROQUÍMICAS
 DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LANGELIER

FOLHA-17
 FORMAÇÃO - POTI - PIAUI

AMOST.	SIMB.	FÁCIES
294	♀	5e
326	♀	3c
332	♀	7c
353	♀	6e
354	♀	3c
374	♀	5c
376	♀	3c
377	♀	3f
383	♀	1g
392	♀	3c
396	♀	5e
400	♀	3c



Miliequivalentes em Porcentagem

Fig. 5.3.12



CPRM

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA

SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

FÁCIAS HIDROQUÍMICAS
DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LANGELIER

FOLHA - 17
FORMAÇÃO - LONGÁ

AMOST.	SIMB.	FÁCIAS
009	♂	7c
036	♂	6c
057	♂	6c
061	○	3c
109	○	6f
110	○	3c

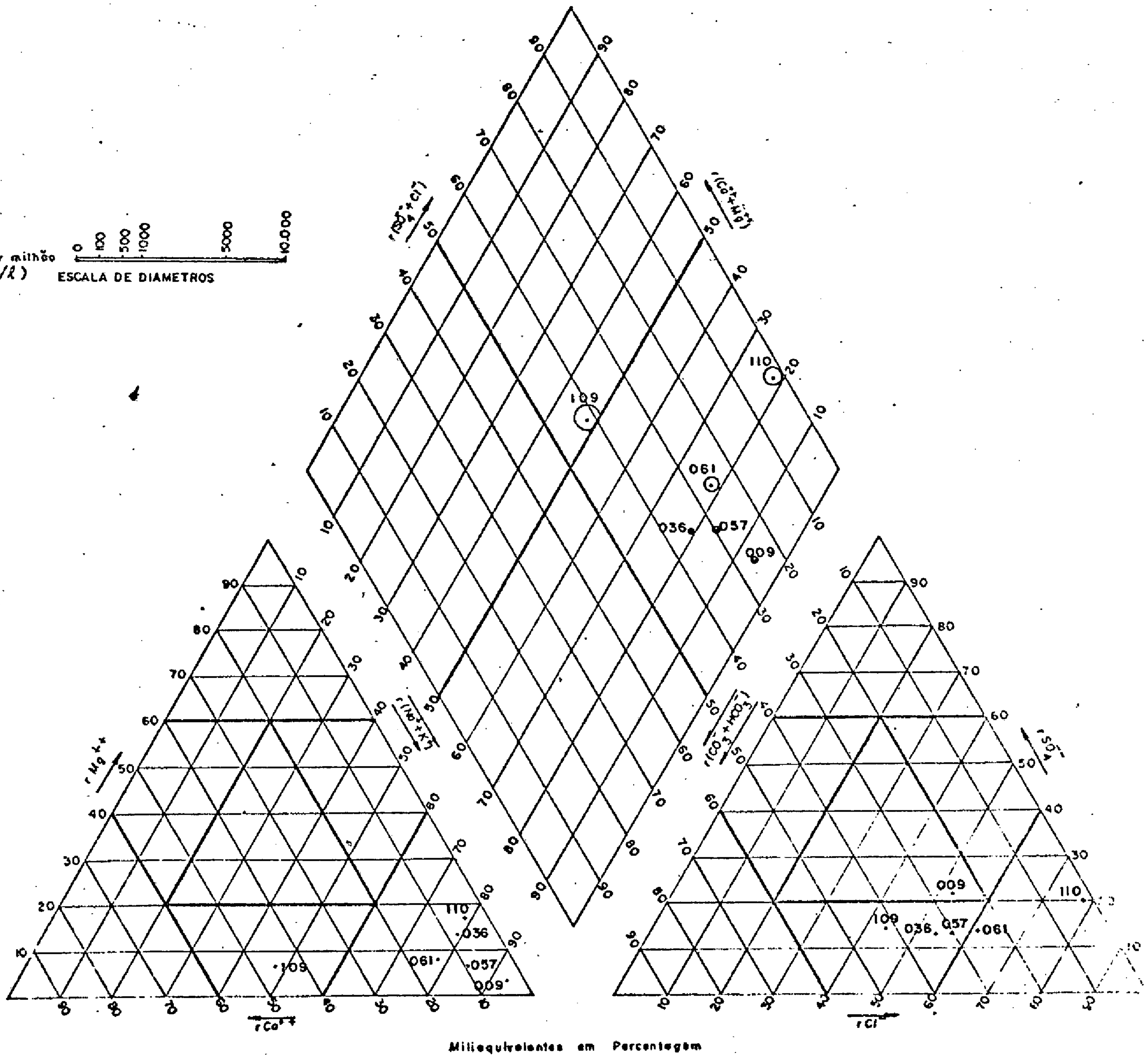
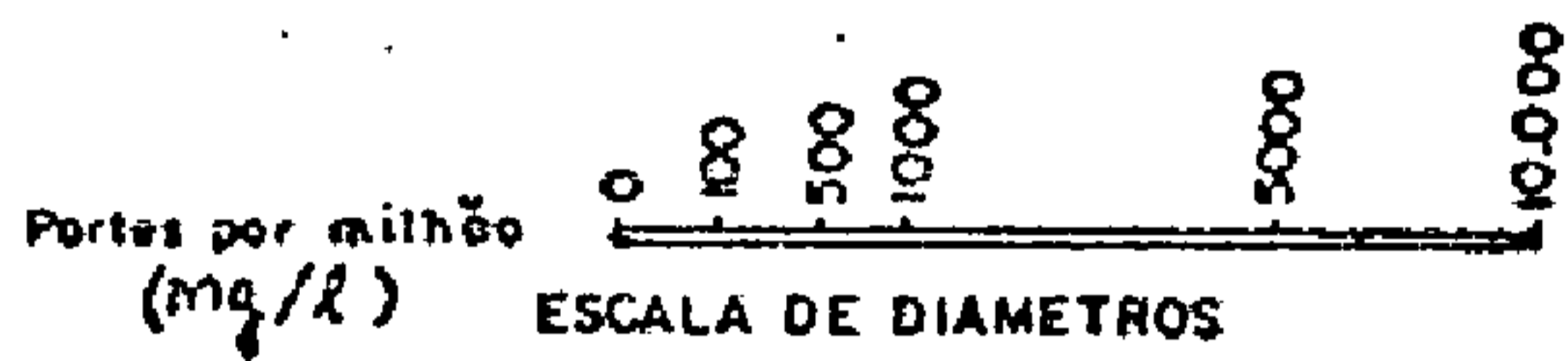
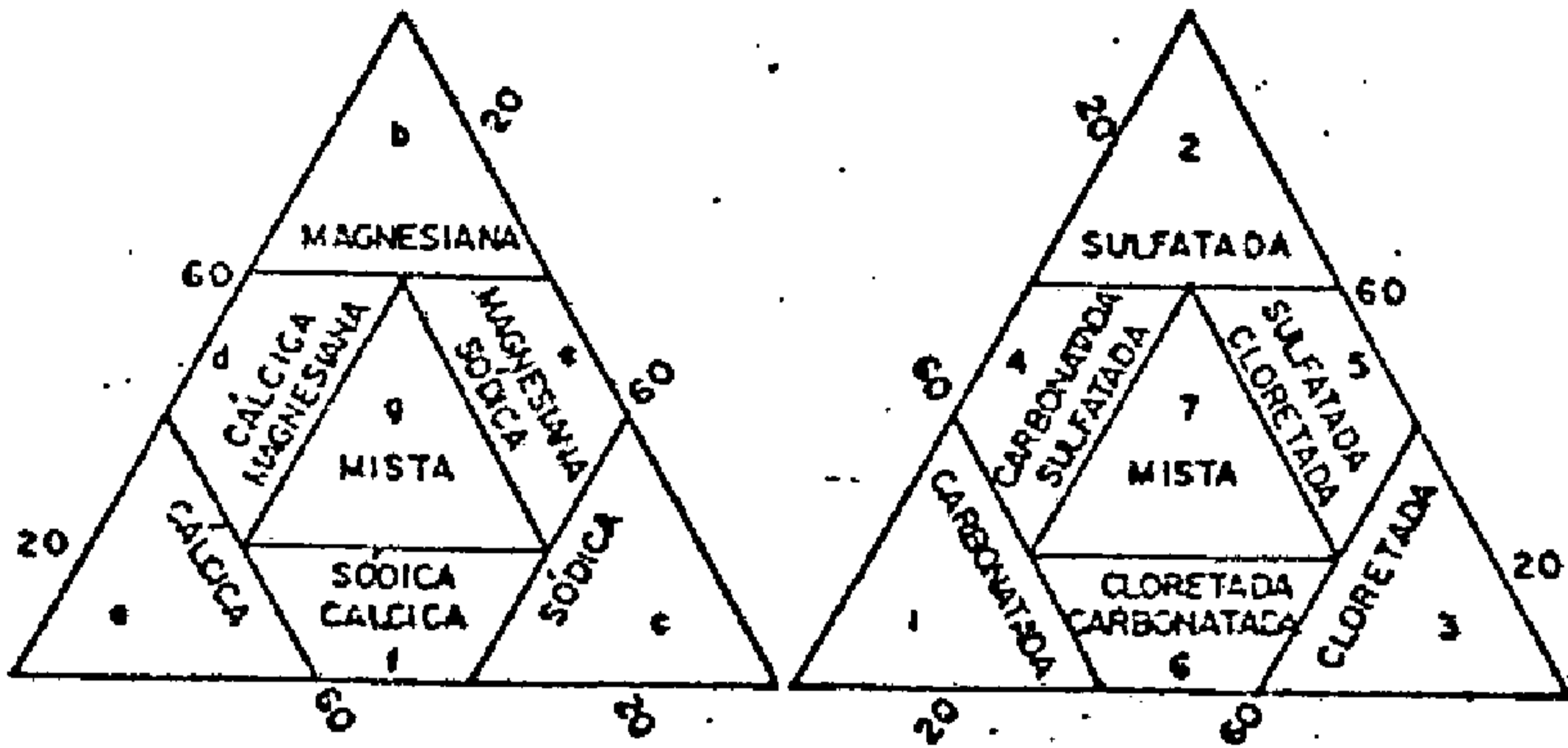
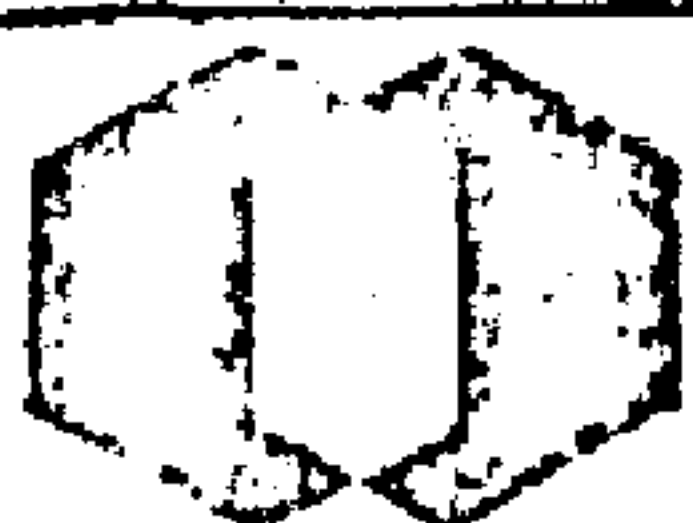


Fig. 5.3.13



CPRM

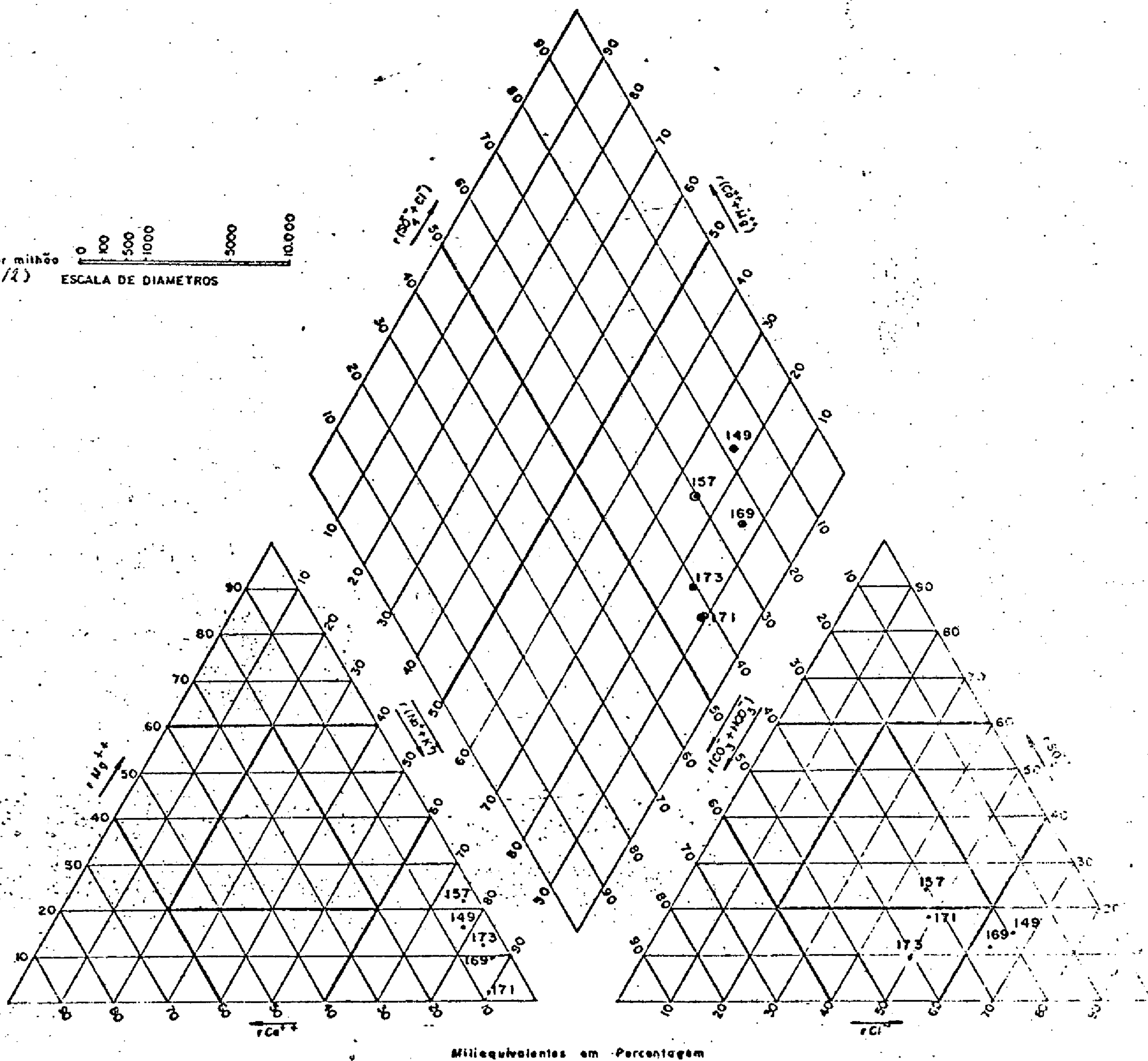
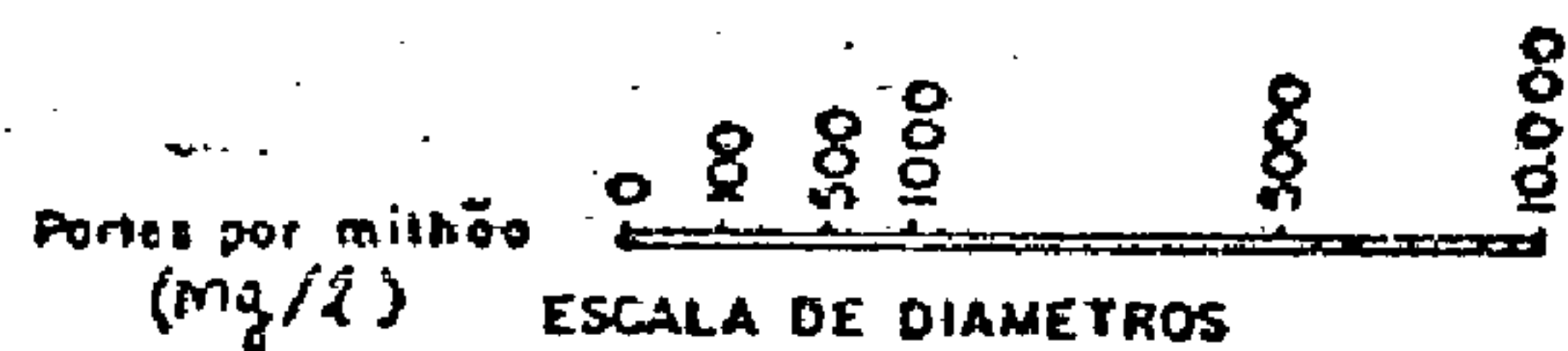
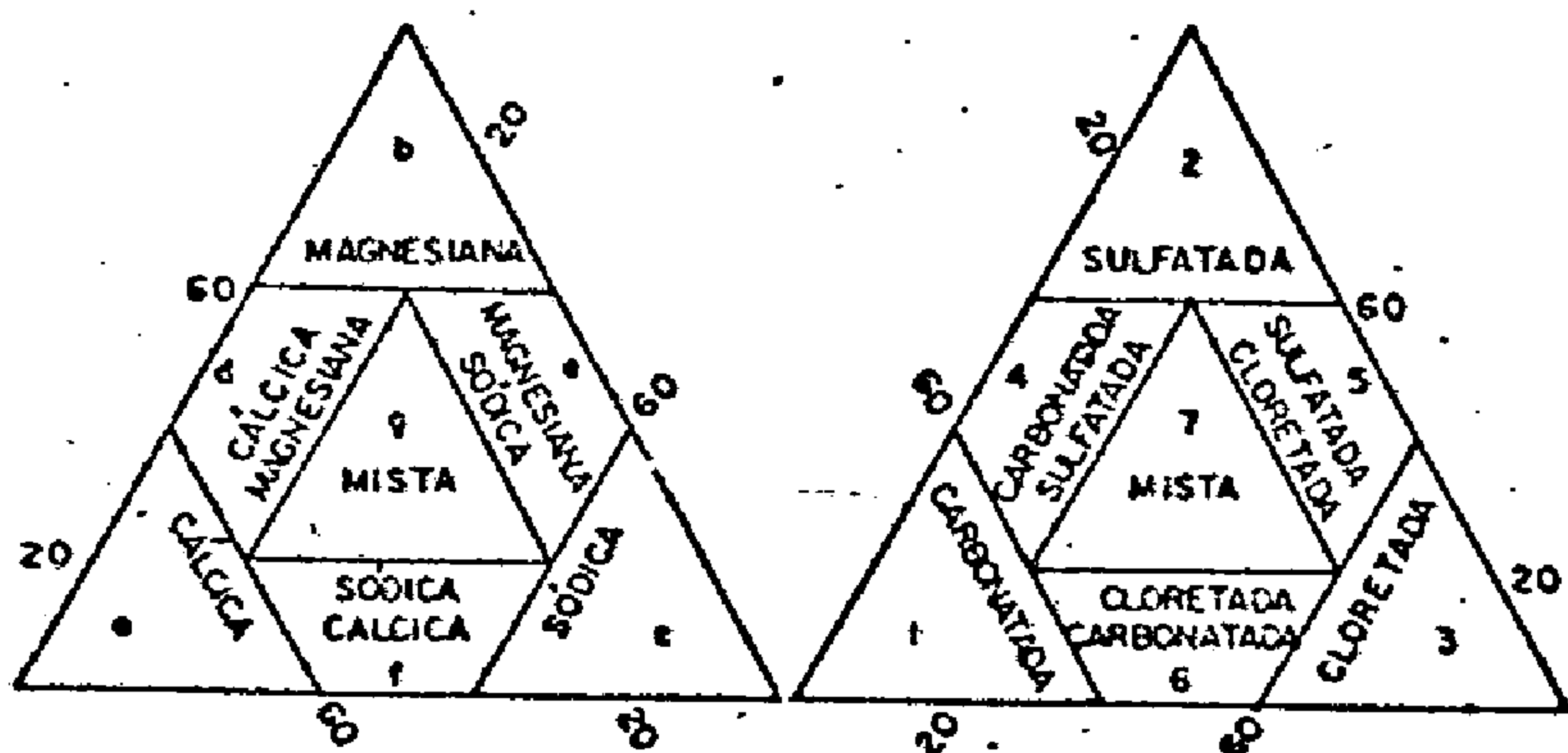
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA
SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

FÁCIES HIDROQUÍMICAS
DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LANGELIER

FOLHA - 17
FORMAÇÃO - CABEÇAS

AMOST.	SIMB.	FÁCIES
149	♀	3c
157	♀	7c
169	♀	3c
171	♀	6c
173	♀	6c



Miliequivalentes em Porcentagem

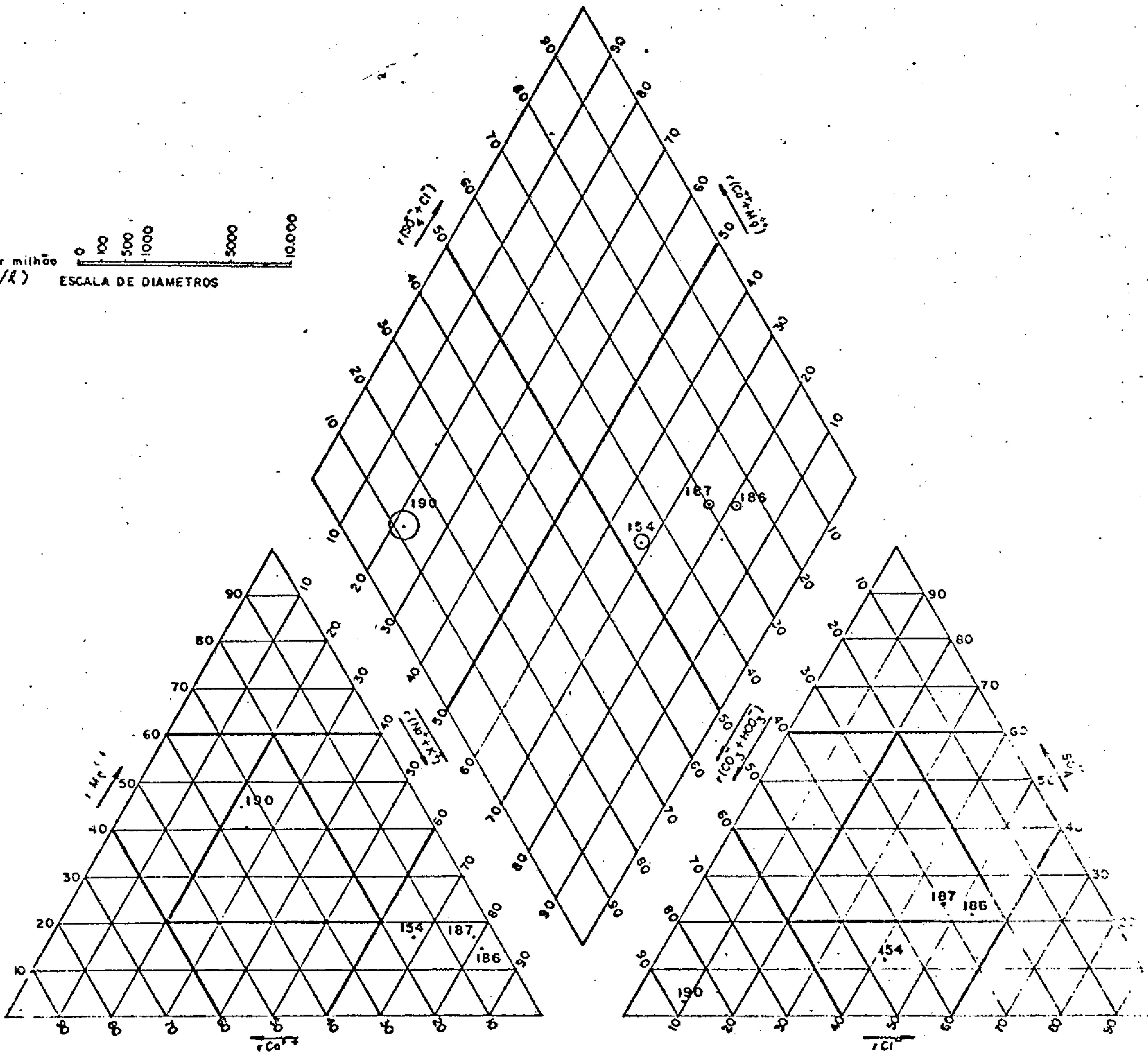
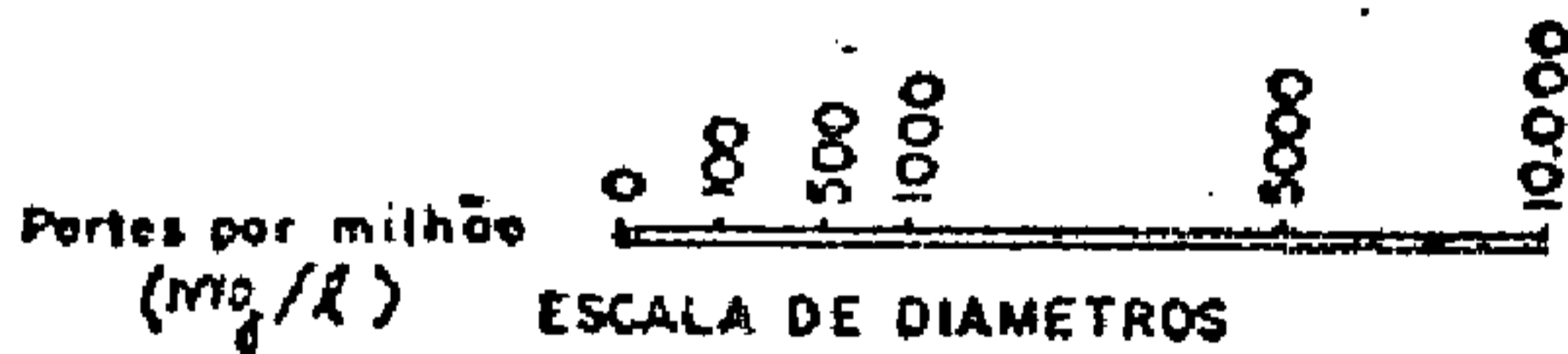
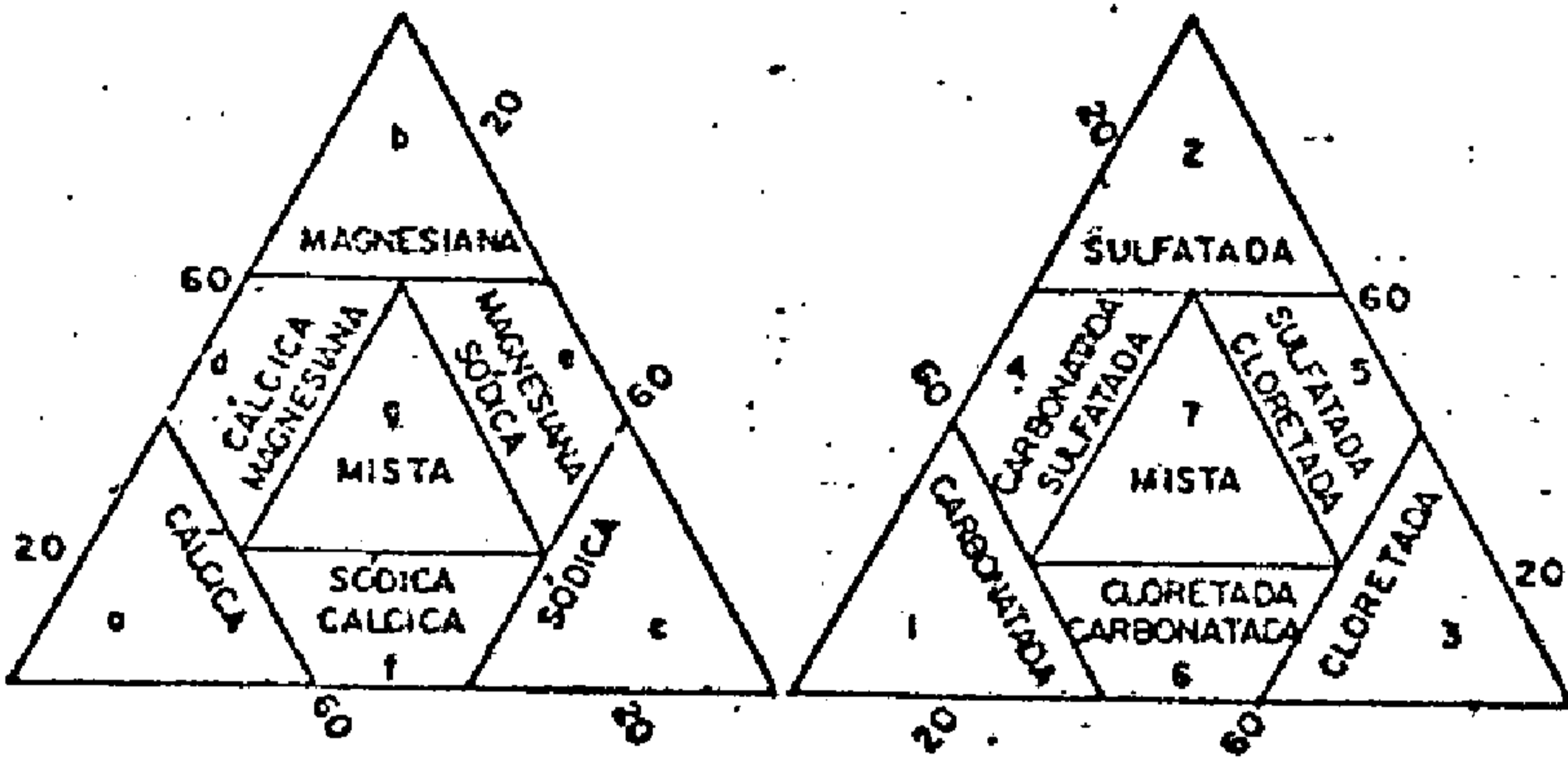
Fig. 5.3.14



FÁCIAS HIDROQUÍMICAS DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LANGELIER

FOLHA-17 FORMAÇÃO-PIMENTEIRAS

AMOST.	SIMB.	FÁCIAS
154	○	6c
186	⊕	7c
187	⊕	7c
190	○	1g



Miliequivalentes em Porcentagem

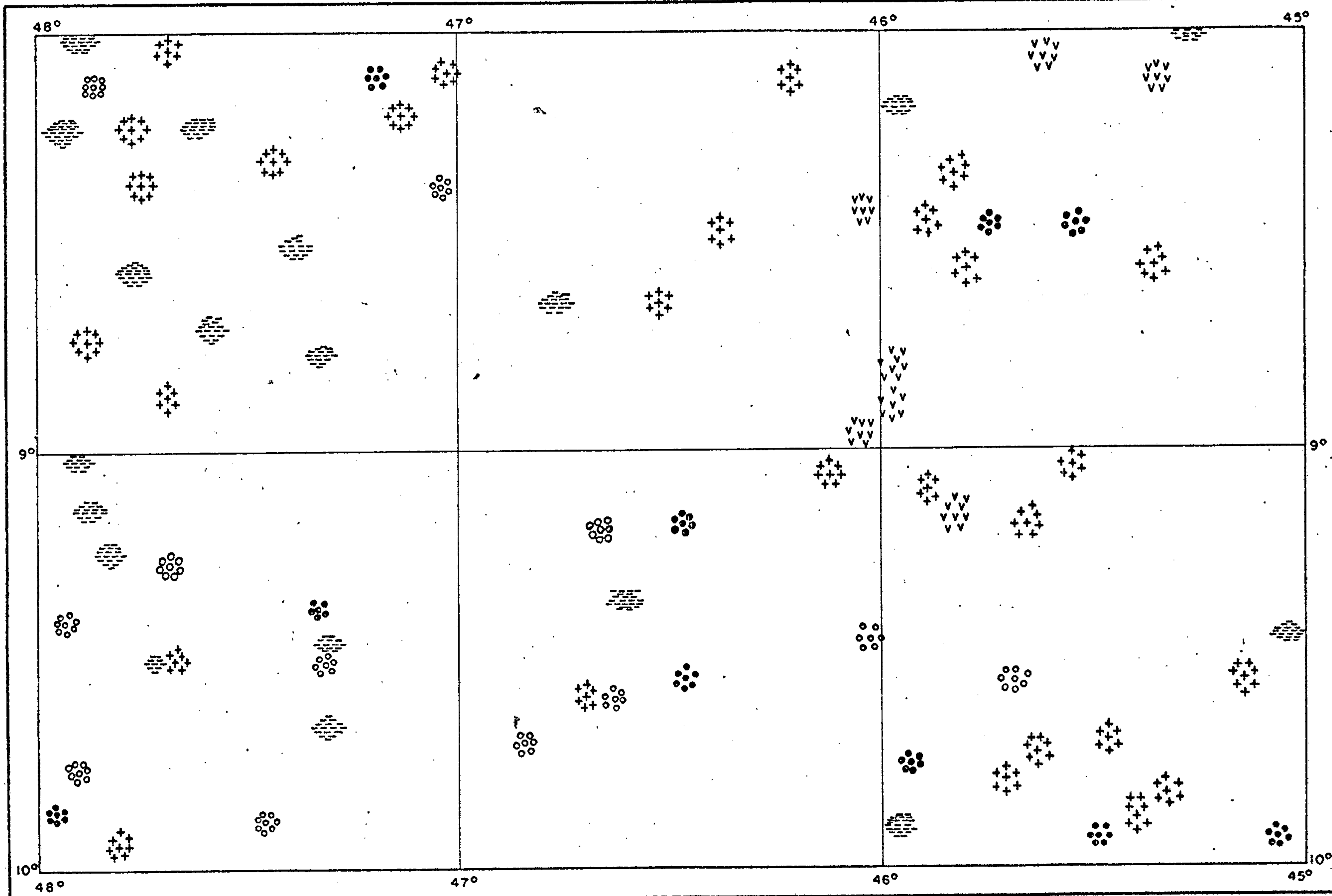
Fig. 5.3. 15

QUADRO 5.3.2
DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA
DAS FÁCIAS QUÍMICAS

F Á C I E S Q U Í M I C A S	Nº AMOSTRAS	FREQUÊNCIA RELATIVA
1. Águas Carbonatadas $r(\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^-) > 60\%$	10	13
a) Carbonatadas Mistas $20\% < r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) < 60\%$; $20\% < r\text{Ca}^{++} < 60\%$; $20\% < r\text{Mg}^{++} < 60\%$	8	10,4
b) Carbonatadas cálcicas-magnesianas $20\% < r\text{Ca}^{++} < 60\%$; $20\% < r\text{Mg}^{++} < 60\%$ $r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) < 20\%$	2	2,6
2. Águas Cloretadas $r\text{Cl}^- > 60\%$	28	37
a) Cloretada sódica $r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > 60\%$	22	29,1
b) Cloretadas sódica-cálcicas $20\% < r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) < 60\%$; $20\% < r\text{Ca}^{++} < 60\%$ $r\text{Mg}^{++} < 20\%$	1	1,3
c) Cloretada mista $20\% < r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) < 60\%$ $20\% < r\text{Ca}^{++} < 60\%$ $20\% < r\text{Mg}^{++} < 60\%$	3	4,0
d) Cloretadas cálcicas-magnesianas $20\% < r\text{Ca}^{++} < 60\%$		

FACIES QUIMICAS	Nº AMOSTRAS	FRECUENCIA RELATIVA
$20\% < rMg^{++} < 60\%$ $r(Na^+ + K^+) < 20\%$	2	2,6
3. Aguas Mistas $20\% < r(CO_3^{--} + HCO_3^-) < 60\%$; $20\% < rCl^- < 60\%$; $20\% < rSO_4^{--} < 60\%$	12	16
a) Mistas sódicas. $r(Na^+ + K^+) > 60\%$	11	14,7
b) Mista magnesiana sódica $20\% < rMg^{++} < 60\%$; $20\% < r(Na^+ + K^+) < 60\%$; $rCa^{++} < 20\%$	1	1,3
4. Aguas Cloretadas Carbonatadas $20\% < r(CO_3^{--} + HCO_3^-) < 60\%$; $20\% < rCl^- < 60\%$ $rSO_4^{--} < 20\%$	19	25
a) Cloretada carbonatada sódica-cálcica $20\% < r(Na^+ + K^+) < 60\%$; $20\% < rCa^{++} < 60\%$; $rMg^{++} < 20\%$	3	3,9
b) Cloretada carbonatada sódica $r(Na^+ + K^+) > 60\%$	12	15,8

FACIES QUÍMICAS	Nº AMOSTRAS	FRECUENCIA RELATIVA
<p>c) Cloretada carbonatada magnesiana-sódica $20\% < rMg^{++} < 60\%$; $20\% < r(Na^+ + K^+) < 60\%$; $rCa^{++} < 20\%$</p>	2	2,6
<p>d) Cloretada carbonatada mista $20\% < r(Na^+ + K^+) < 60\%$; $20\% < rCa^{++} < 60\%$; $20\% < rMg^{++} < 60\%$</p>	2	2,6
<p>5. Agua sulfatada cloretada $20\% < rSO_4^{--} < 60\%$; $20\% < rCl^- < 60\%$; $r(CO_3^{--} + HCO_3^-) < 20\%$</p>	7	9
<p>a) Sulfatada cloretada sódica $r(Na^+ + K^+) > 60\%$</p>	3	3,8
<p>b) Sulfatada cloretada sódica-cálcica $20\% < r(Na^+ + K^+) < 60\%$; $20\% < rCa^{++} < 60\%$; $rMg^{++} < 20\%$</p>	1	1,3
<p>c) Sulfatada cloretada magnesiana-sódica $20\% < rMg^{++} < 60\%$; $20\% < r(Na^+ + K^+) < 60\%$; $rCa^{++} < 20\%$</p>		



CLASSIFICAÇÃO DE ÁGUAS
(SEGUNDO FÁCIES QUÍMICAS DE PIPER HILL - LANGELIER)

CONVENÇÕES


-  — CARBONATADAS
-  — CLORETADAS
-  — MISTAS
-  — CLORETADAS CARBONATADAS
-  — SULFATADAS CLORETADAS

Fig. 5.3.16

As águas cloretadas são provenientes de poços manuais e fontes distribuídas, sistematicamente, por toda extensão da área e nas diversas formações; são águas levemente ácidas, apresentando um pH médio de 6,2, com a segunda maior salinidade das diferentes classes existentes nesta área, tendo um resíduo seco médio de 124,7 miligramas/litro e apresentando dureza muito baixa com uma média de 2,93 graus franceses, sendo consideradas como águas "muito moles". Observou-se entre as cloretadas predominância do tipo sódica seguindo, em proporções bem menores, as mistas, cálcicas-magnesianas e as sódicas-cálcicas (Quadro 5.3.2).

No Quadro 5.3.3, estão representados os valores médios de pH, resíduo seco e dureza, para as diferentes classes de águas.

QUADRO 5.3.3
VALORES MÉDIOS DE pH, RESÍDUO SECO E DUREZA

	CARBONATADAS	CLORETADAS	CLORETA DAS CARBONATADAS	MISTAS	SULFETADAS CLORETADAS
pH	7,5	6,2	6,4	6,1	6,3
Resíduo Seco (mg/l)	148,1	124,7	60,6	48,5	26,6
Dureza (°F)	10,16	2,93	1,20	0,46	3,0

°F. - graus franceses

mg/l - miligramas por litro

5.3.1.2 - Águas Cloretadas Carbonatadas (25%)

Esta classe apresenta-se em segundo lugar em

predominância e é caracterizada por apresentar os ions $(\text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^-)$ e Cl^- compreendidos entre 20% e 60% e o ions SO_4^- , menor do que 20%.

São águas provenientes de fontes e poços manuais e não apresentam uma zona de maior concentração, estando distribuídas dispersamente em toda área (Fig. 5.3.16) e nas diversas formações. São levemente ácidas com um valor médio de pH 6,4, o resíduo seco médio de 60,6 miligramas/litro indicando tratar-se de uma área de salinidade baixa, estando classificadas como sendo "muito moles" em face do seu baixo valor médio de dureza igual a 1,20 graus franceses (Quadro 5.3.3).

Esta classe apresenta uma predominância do tipo sódica seguido em proporções menores das sódicas-calci cas, magnesianas-sódicas e mistas (Quadro 5.3.2).

5.3.1.3 - Águas Mistas (16%)

Estas águas são caracterizadas pela não predomi nância de um anion sobre os outros, estando todas elas com seus parâmetros de definição compreendidos entre 20% e 60% e localizadas na parte central do diagrama trian gular.

São águas pouco ácidas, com um pH médio de 6,1, salinidade muito baixa, com resíduo seco de 48,5 mili gramas/litro e dureza média igual a 0,46 graus franceses, sendo as águas que apresentam durezas mais baixas em re lação as demais classes de águas existentes na área (Qua dro 5.3.3). Classificam-se, portanto, como "muito moles", sendo todas provenientes de fontes, estando dispersas nas diferentes formações. Mostra uma predominância quase que

total do tipo sódica (Quadro 5.3.2).

5.3.1.4 - Águas Carbonatadas (13%)

Esta classe compreende as águas que apresentam os íons ($\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^-$), com percentagem igual ou maior do que 60% do total de anions que constituem a amostra.

Estas águas, as únicas da área que são ligeiramente alcalinas, tem seu pH médio igual a 7,5, e contém um maior grau de salinização que as demais, porém, ainda são consideradas águas de salinidade baixa, com um resíduo seco médio de 148,1 miligramas/litro. Quanto a dureza, são enquadradas como águas "moles", com um valor médio de 10,16 graus franceses. São as águas que apresentam os maiores valores médios de pH, resíduo seco e dureza (Quadro 5.3.3). Estão dispersas em toda área em estudo e nas várias formações, apresentando uma maior concentração de águas mistas e em menor quantidade, das cálcicas-magnesianas (Quadro 5.3.2).

5.3.1.5 - Águas Sulfatadas Cloretadas (9%)

Compreende esta classe, as águas que apresentam os íons SO_4^{--} e Cl^- com percentagem compreendida entre 20% e 60% e os íons ($\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^-$) inferior a 20% do total dos anions.

São águas levemente ácidas com pH médio de 6,3, sendo a classe de salinidade mais baixa com resíduo seco médio igual a 26,6 miligramas/litro estando compreendidas no grupo de águas "muito moles", com uma dureza média de 3,00 graus franceses (Quadro 5.3.3). São todas provenientes de fontes e apresentam predominância dos tipos sódicas e magnesianas-sódicas, seguindo-se, com presença bem inferior às sódicas-cálcicas (Quadro 5.3.2).

5.4 - QUALIDADE DAS ÁGUAS PARA CONSUMO HUMANO

Na utilização das águas para o consumo humano é necessário o conhecimento de suas características físicas, químicas e bacteriológicas. Como neste trabalho dispõe-se apenas de análises químicas, as águas aqui estudadas, serão analisadas quanto a potabilidade, que permite determinar a adequabilidade de uma água para o consumo humano. A fim de se conhecer esta característica das águas ora em estudo, foram elaborados diagramas logarítmicos de Schoeller-Berkaloff, onde são plotados valores, em miligramas/litro, de cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloretos, sulfetos e carbonatos, combinados com a dureza total em graus franceses ($^{\circ}\text{F}$) e o pH.

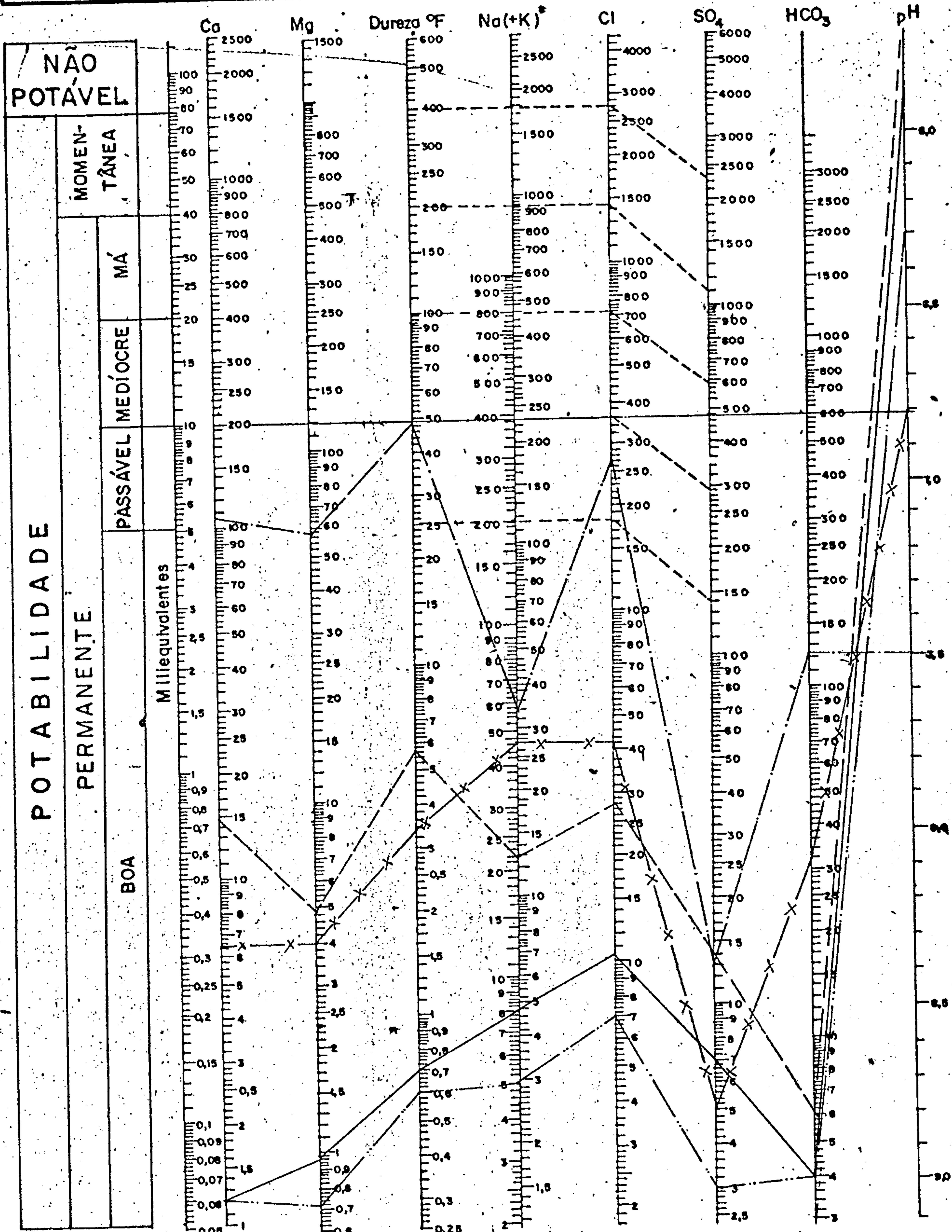
Nas Figs. 5.4.8 a 5.4.23, estão representados os diagramas logarítmicos de potabilidade para as diversas classes químicas de águas existentes na área.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
 PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
 MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA
 SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

FOLHA -

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA
 TEORES EM MILIGRAMAS POR LITRO

ÁGUAS CLORETADAS DAS FORMAÇÕES: AREADO, URUCUIA, SAMBAIBA e PEDRA DE FOGO



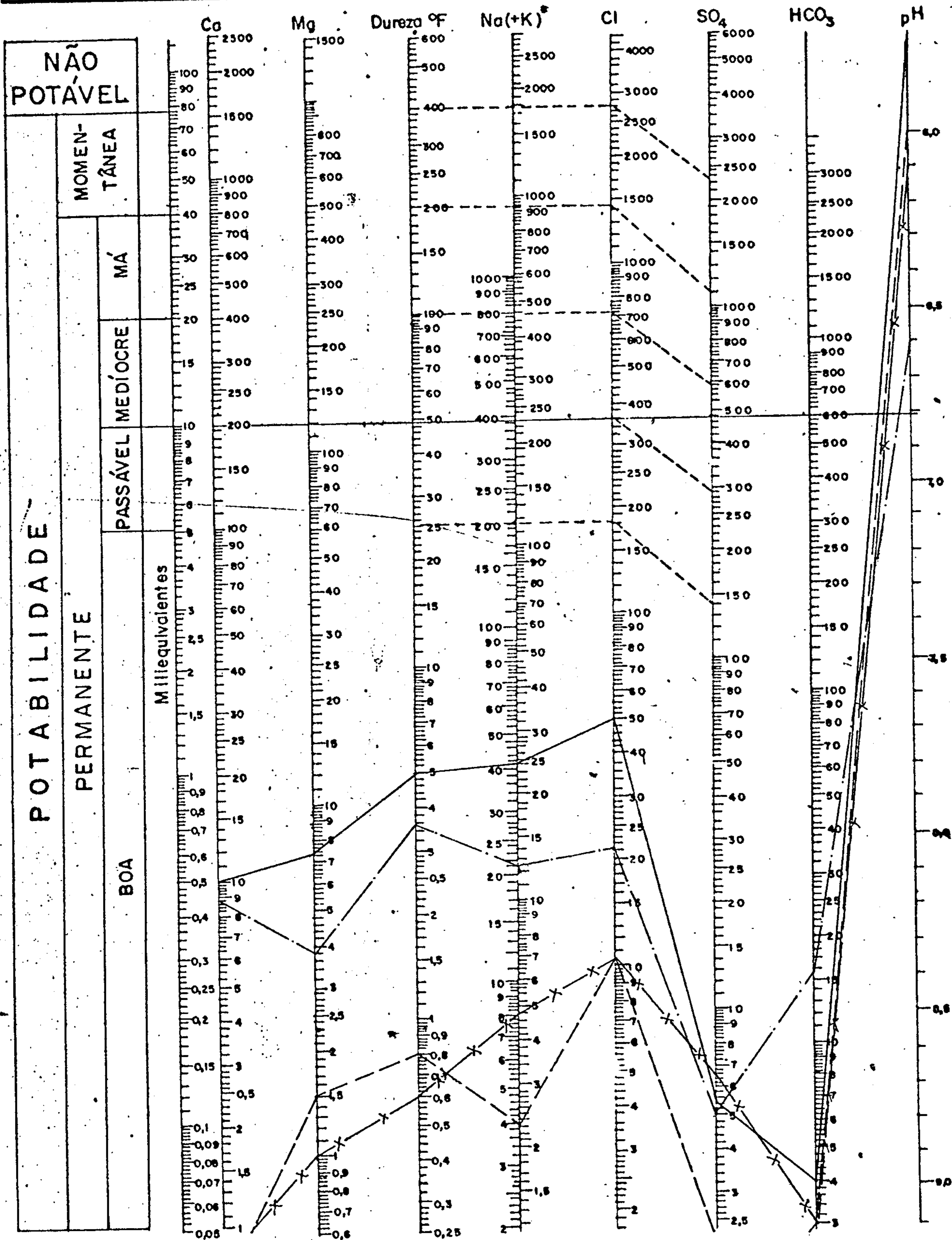
RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra
68,00	326	339,00	136	166,00	273 — x — x —
11.398,00	339	19,00	390		

Fig. 5.4.8

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
 PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
 MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA
 SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

FOLHA -

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA
 TEORES EM MILIGRAMAS POR LITRO



Na(+K) Transformar K em equivalente Na e somar.

RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra
253,00	329 ———	17,00	279 ———		
119,00	406 ———	51,00	377 —x—x—		

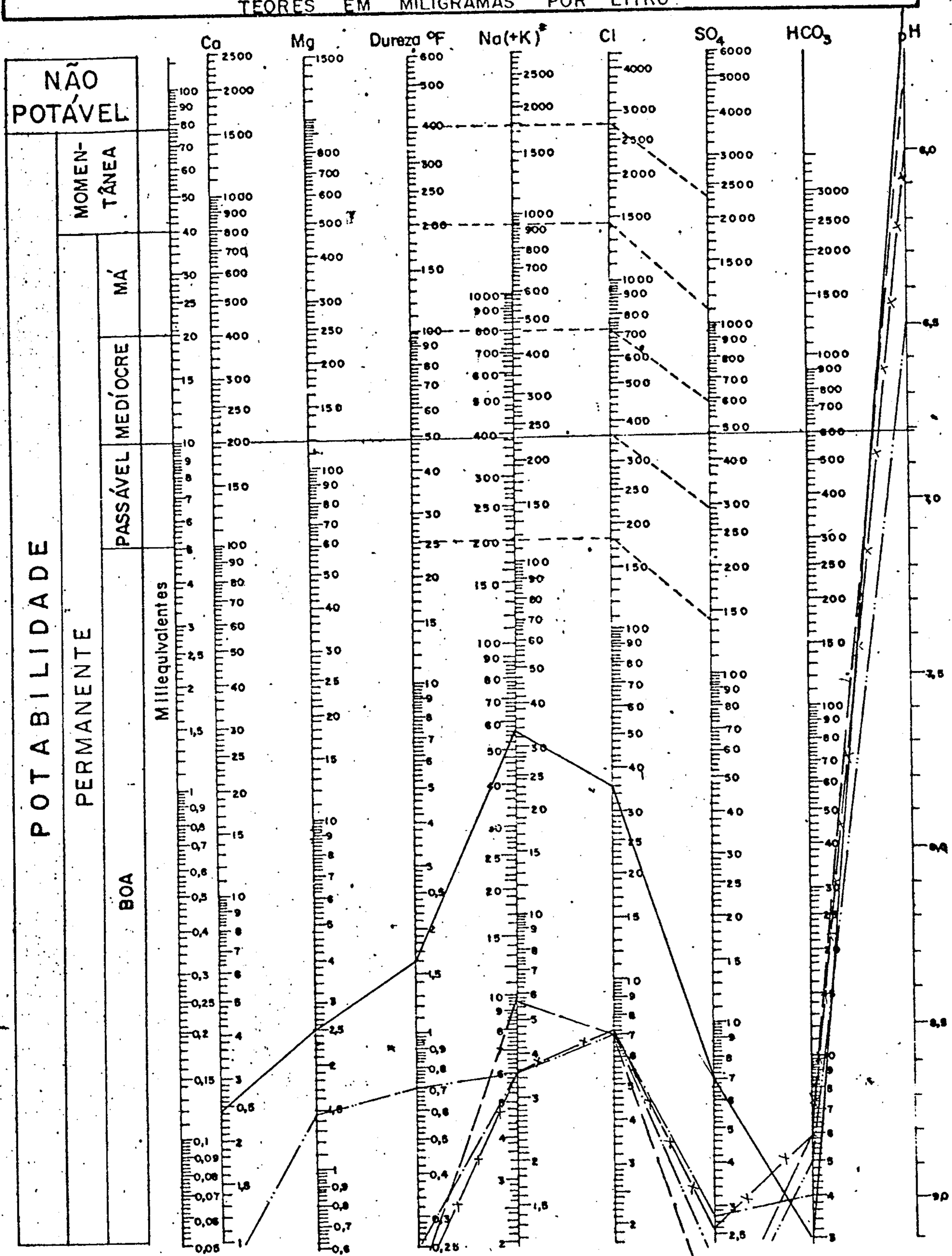
Fig. 5.4.9

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
 PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
 MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA
 SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

FOLHA -

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA
 TEORES EM MILIGRAMAS POR LITRO

AGUAS CLORETADAS DAS FORMAÇÕES: POTI - PIAUÍ



Na(+K) Transformar K em equivalente Na e somar.

RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra
255,00	334	8,00	008	6,00	017
4,00	001	16,00	016		

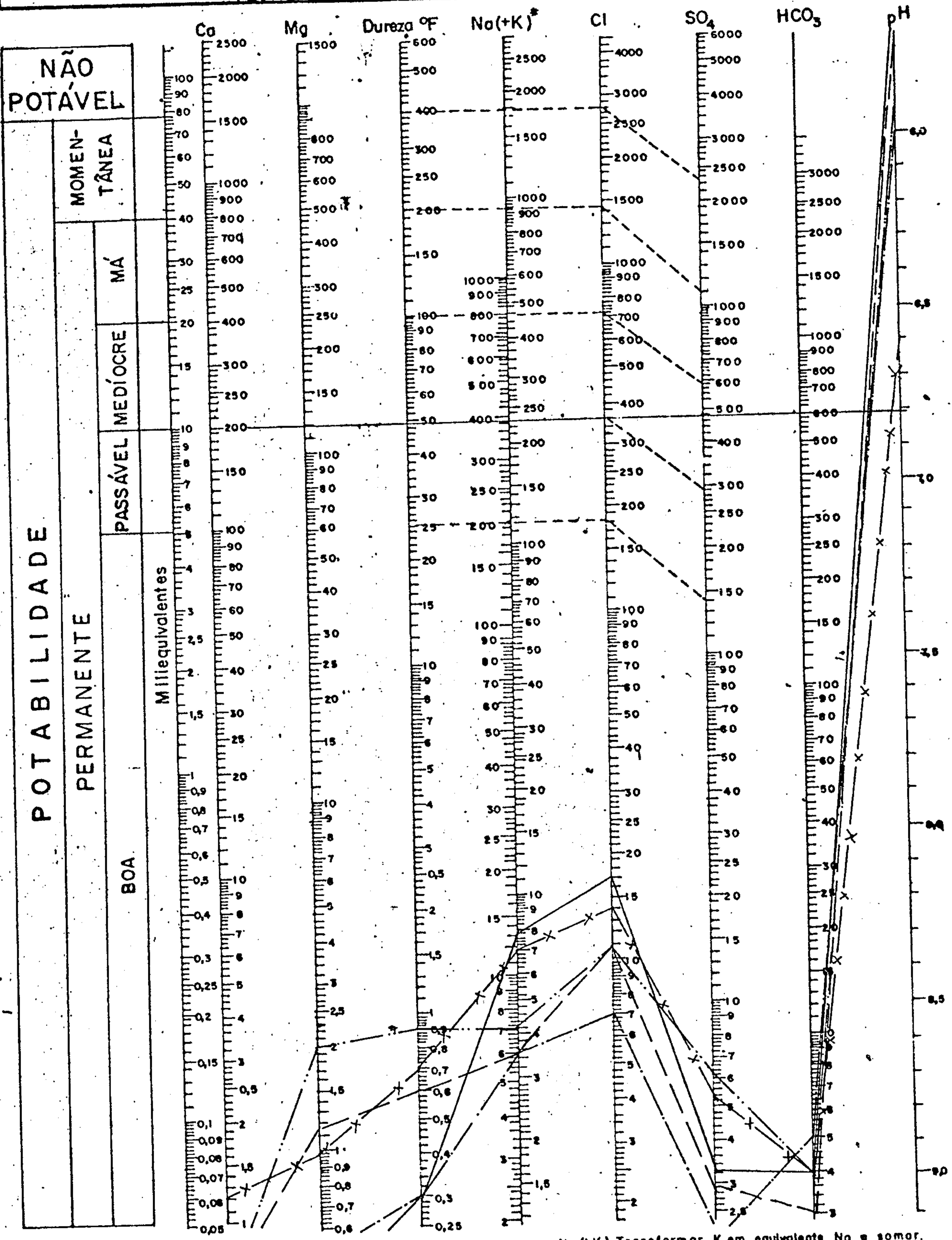
Fig. 5.4.10

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
 PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
 MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA
 SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

FOLHA -

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA
 TEORES EM MILIGRAMAS POR LITRO

ÁGUAS CLORETADAS DAS FORMAÇÕES: POTI - PIAUI



Na (+K) Transformar K em equivalente Na e somar.

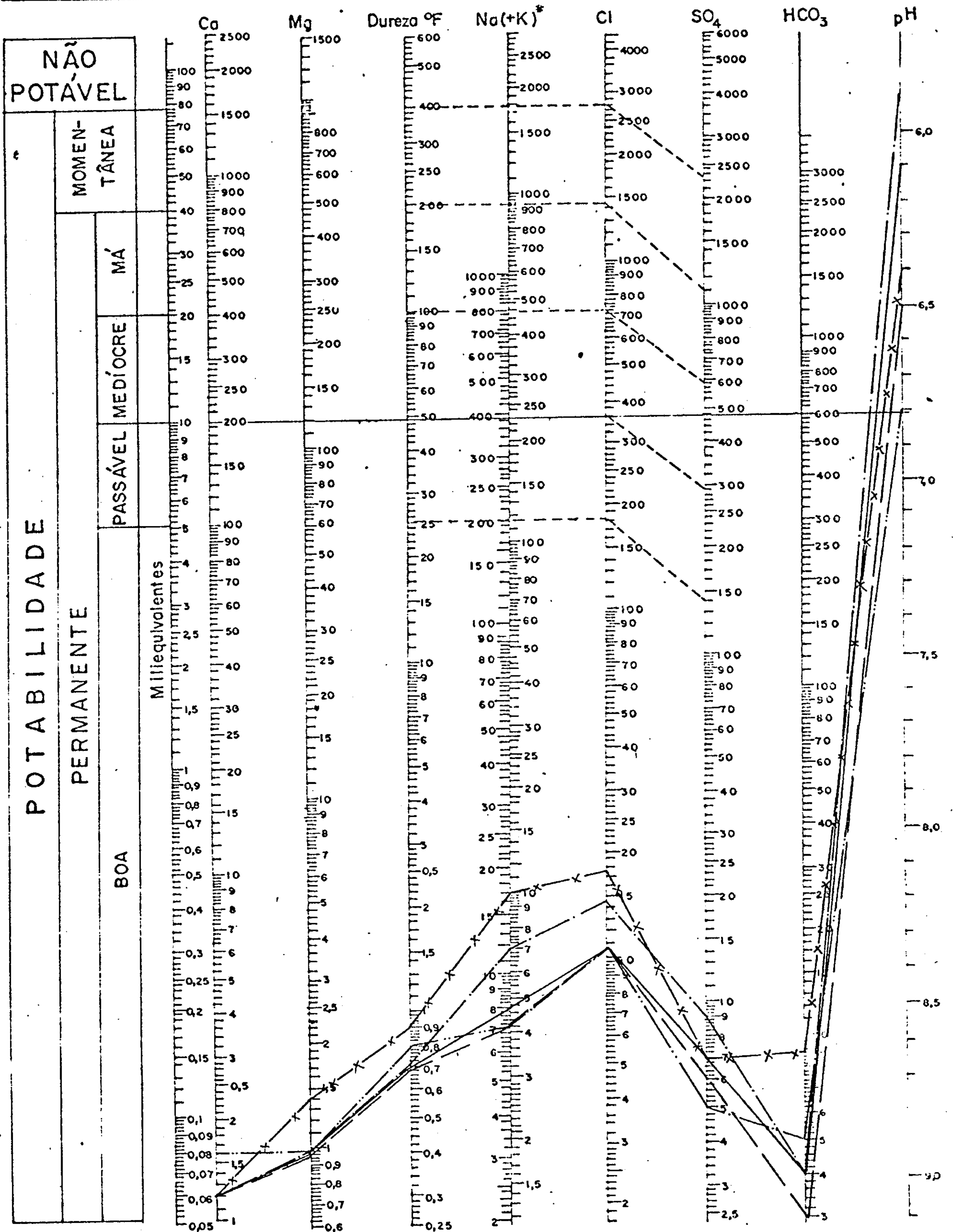
RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra
31,00	023	37,00	262	26,00	284 — x — x —
10,00	182	23,00	283		

Fig. 5.4.11

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
 PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
 MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA
 SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

FOLHA -

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA
 TEORES EM MILIGRAMAS POR LITRO



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

RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra
68,00	326 ———	55,00	376 ———	109,00	400 —x—x—
51,00	354 ———	150,00	392 ———		

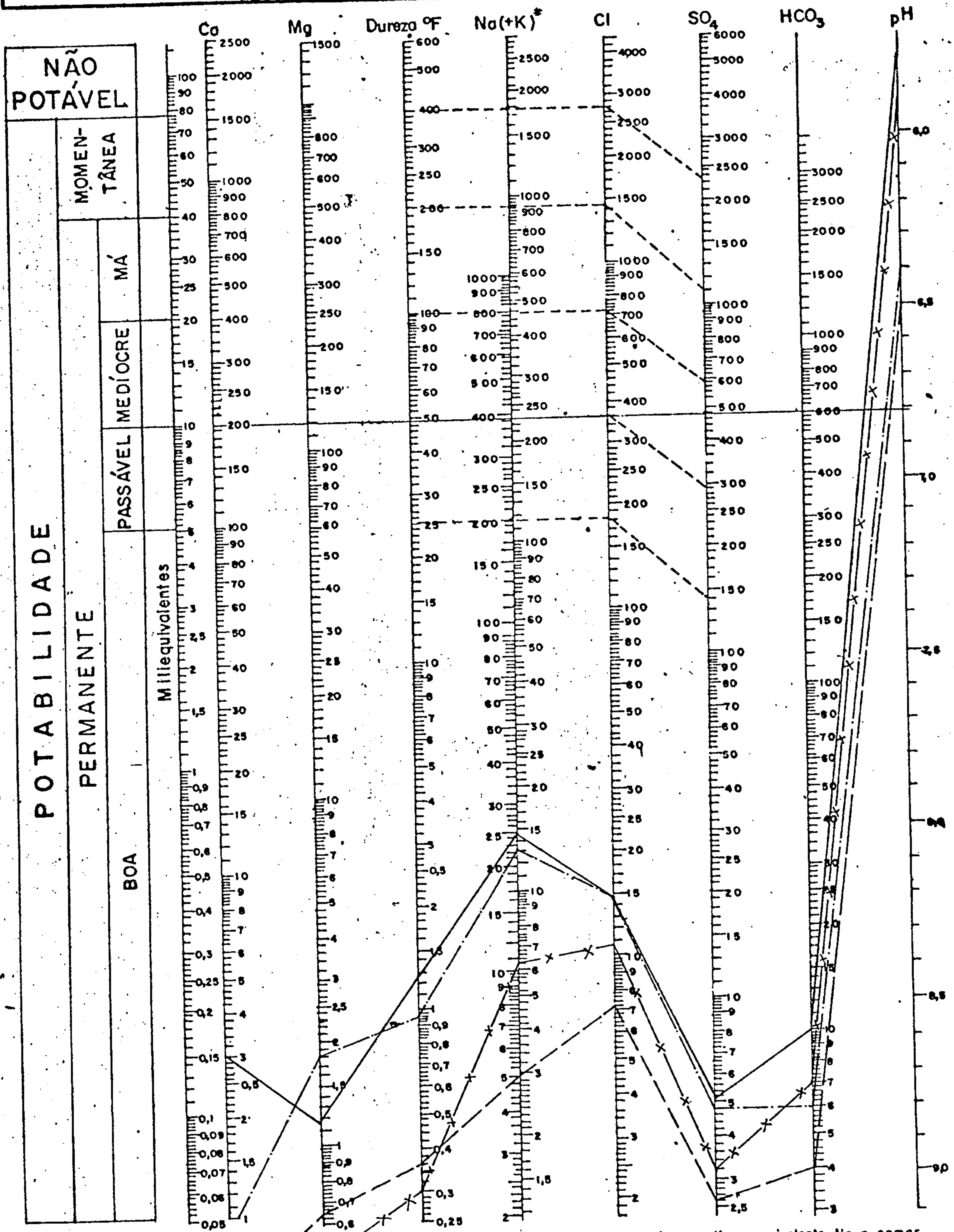
Fig. 5.4.12

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
 PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
 MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA
 SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

FOLHA -

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA
 TEORES EM MILIGRAMAS POR LITRO

ÁGUAS CLORETADAS DAS FORMAÇÕES: LONGA e 2ª CABEÇAS



Na(+K) Transformar K em equivalente Na e somar.

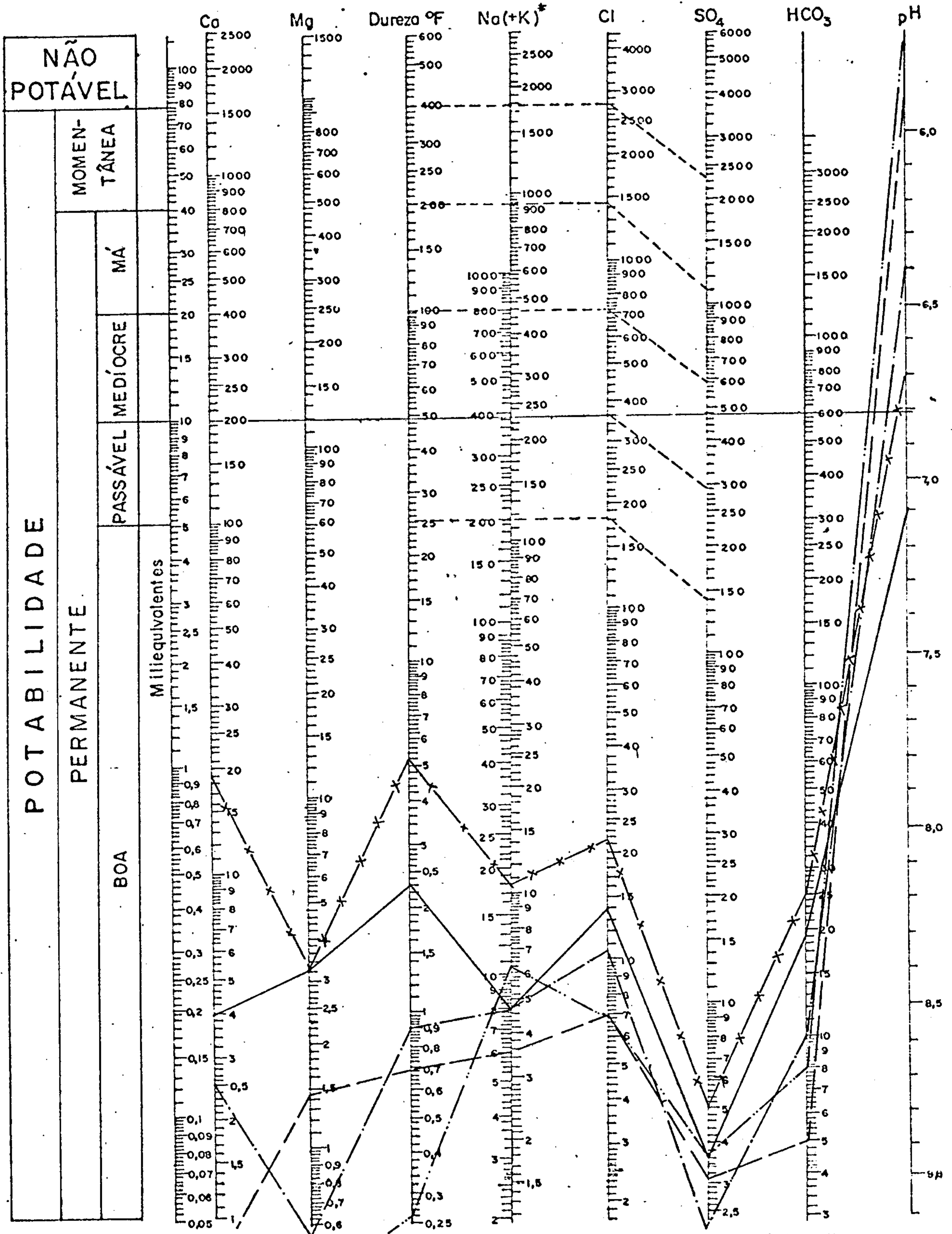
RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra
78,00	061 ———	32,00	149 ———		
83,00	110 ———	20,00	169 —X—X—		

Fig. 5.4.13

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
 PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
 MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA
 SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

FOLHA -

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA
 TEORES EM MILIGRAMAS POR LITRO



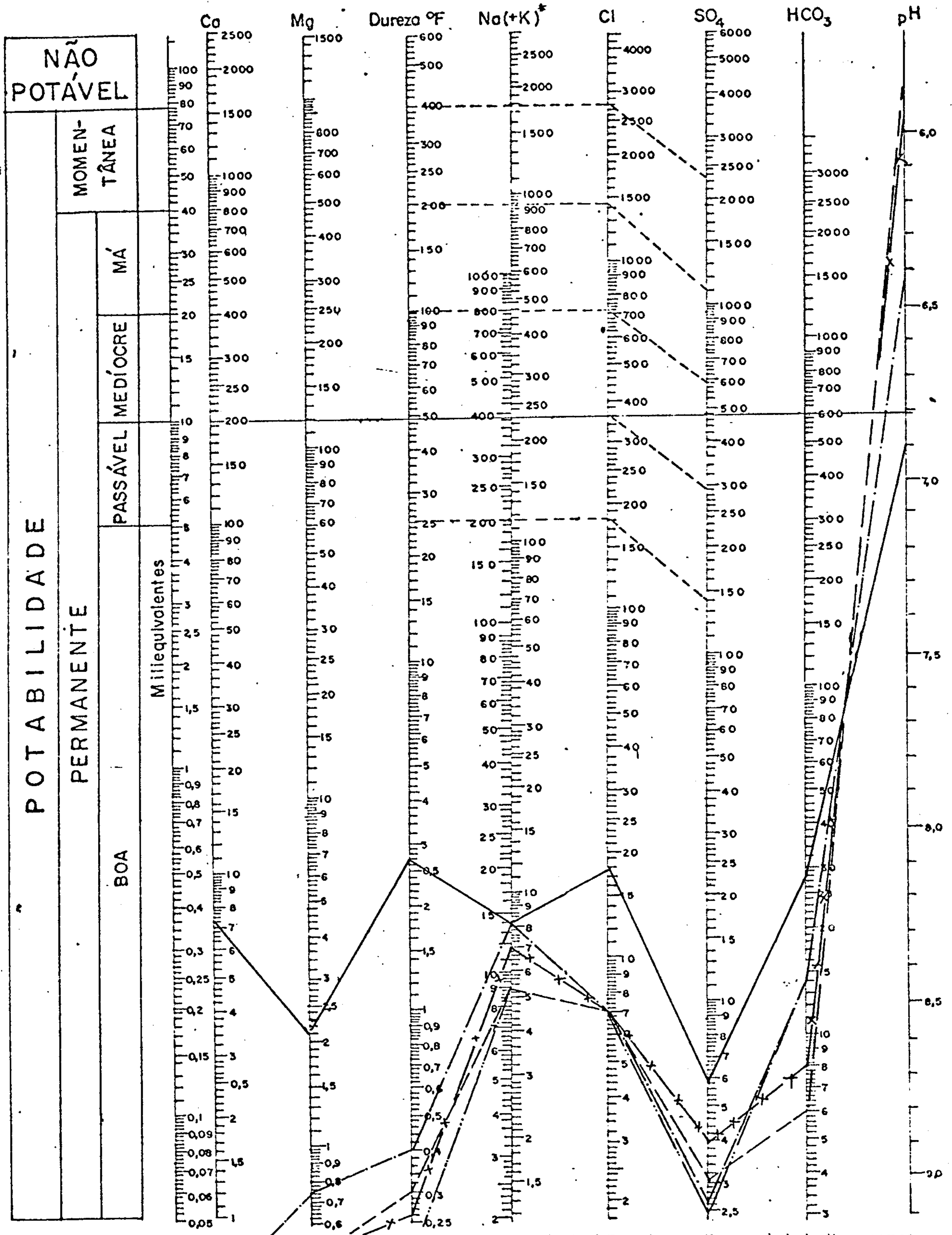
RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra
51,00	216 ———	12,00	261 ———	174,00	115 —x—x—
181,00	208 ———	80,00	012 ———		

Fig. 5.4.14

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
 PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
 MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA
 SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

FOLHA -

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA
 TEORES EM MILIGRAMAS POR LITRO



Na (+K) Transformar K em equivalente Na e somar.

RS mg/l	Nº da Amostra
100,00	375 ———
15,00	003 ———

RS mg/l	Nº da Amostra
13,00	033 ———
29,00	058 ———

RS mg/l	Nº da Amostra
6,00	066 —x—x—

Fig. 5.4.15

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
 PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
 MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA
 SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

FOLHA -

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA
 TEORES EM MILIGRAMAS POR LITRO

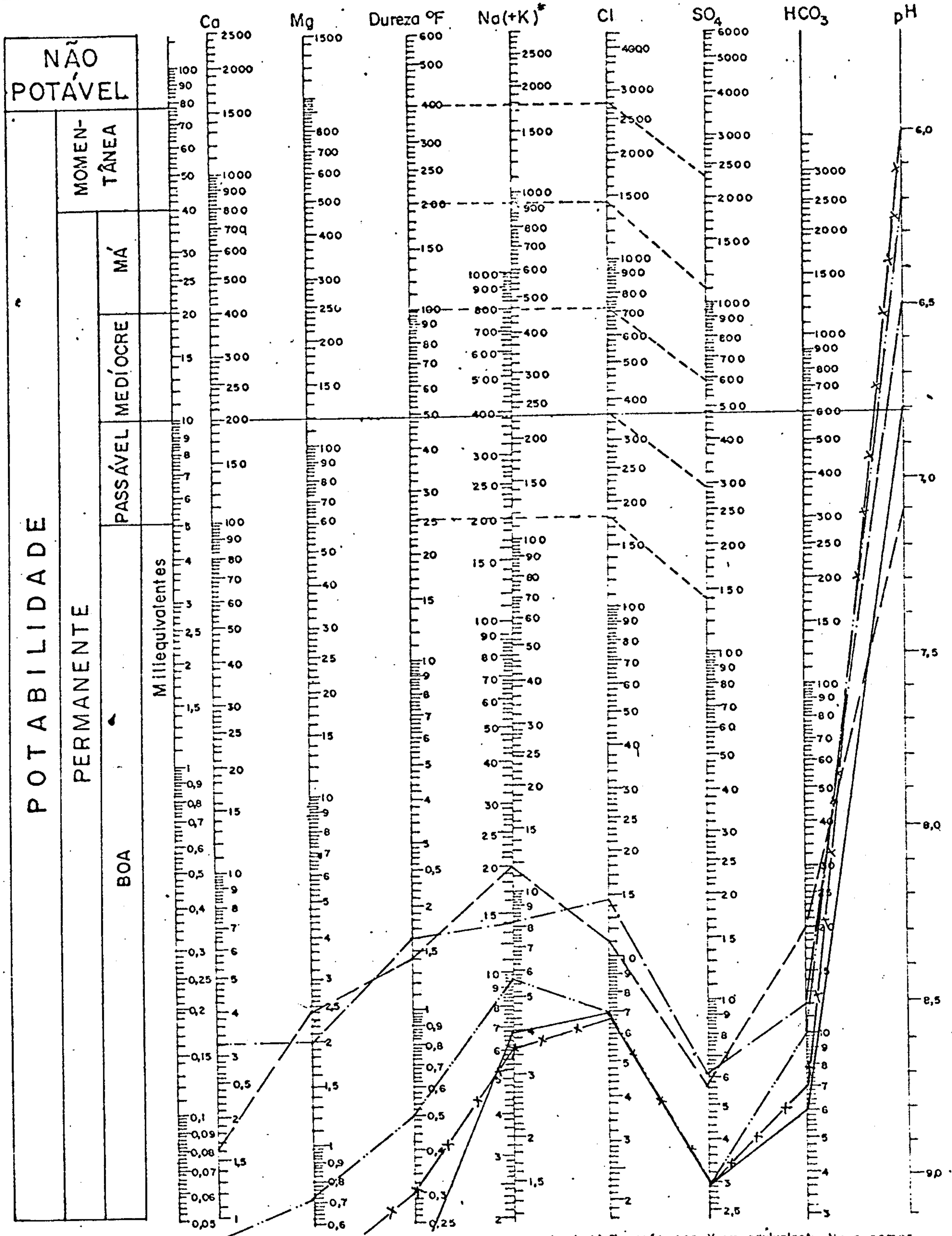


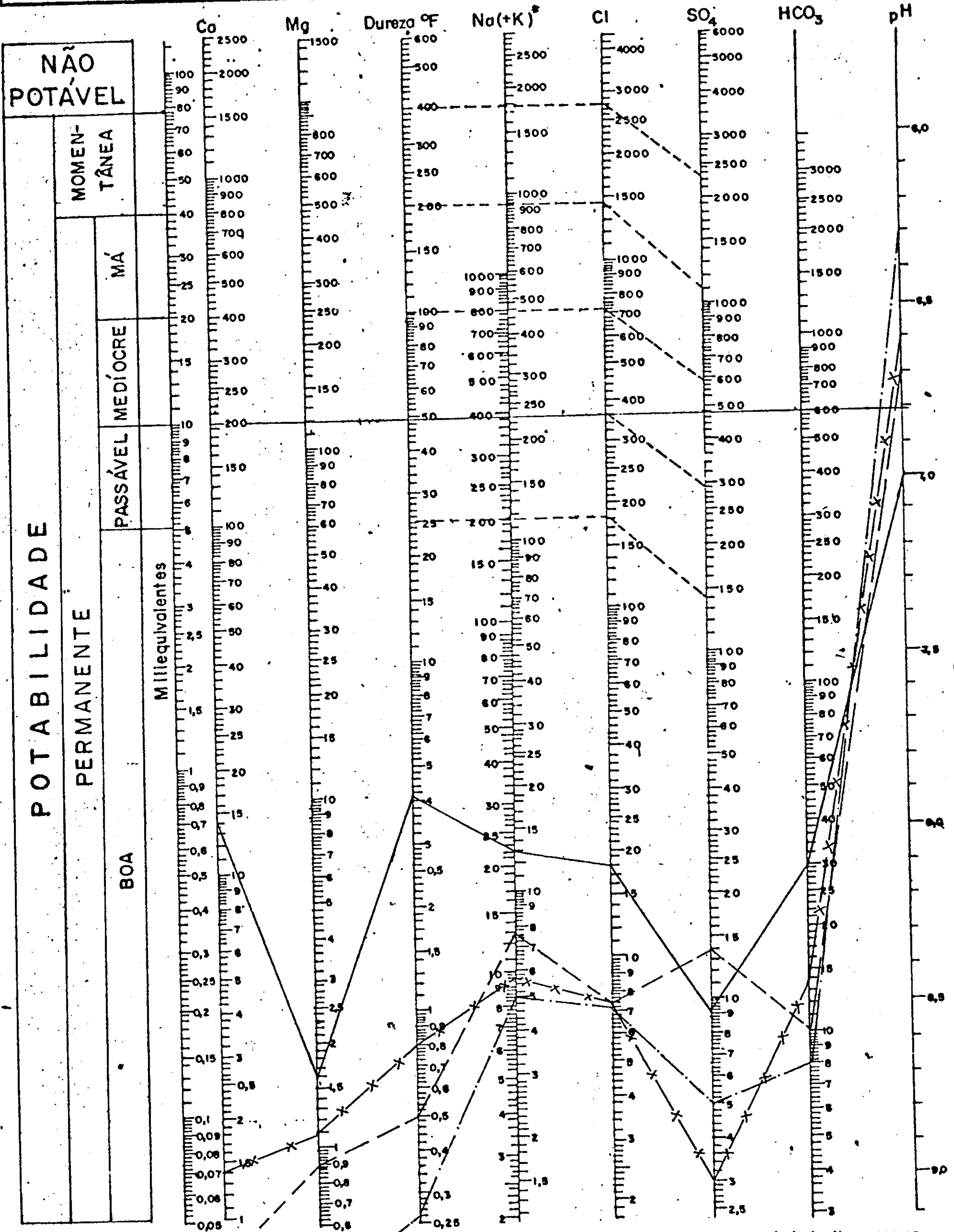
Fig. 5.4.16

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
 PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
 MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA
 SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

FOLHA -

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA
 TEORES EM MILIGRAMAS POR LITRO

ÁGUAS CLORETADAS CARBONATADAS DAS FORMAÇÕES LONGÁ, CABEÇAS e PIMENTEIRAS



Na(+K) Transformar K em equivalente Na e somar.

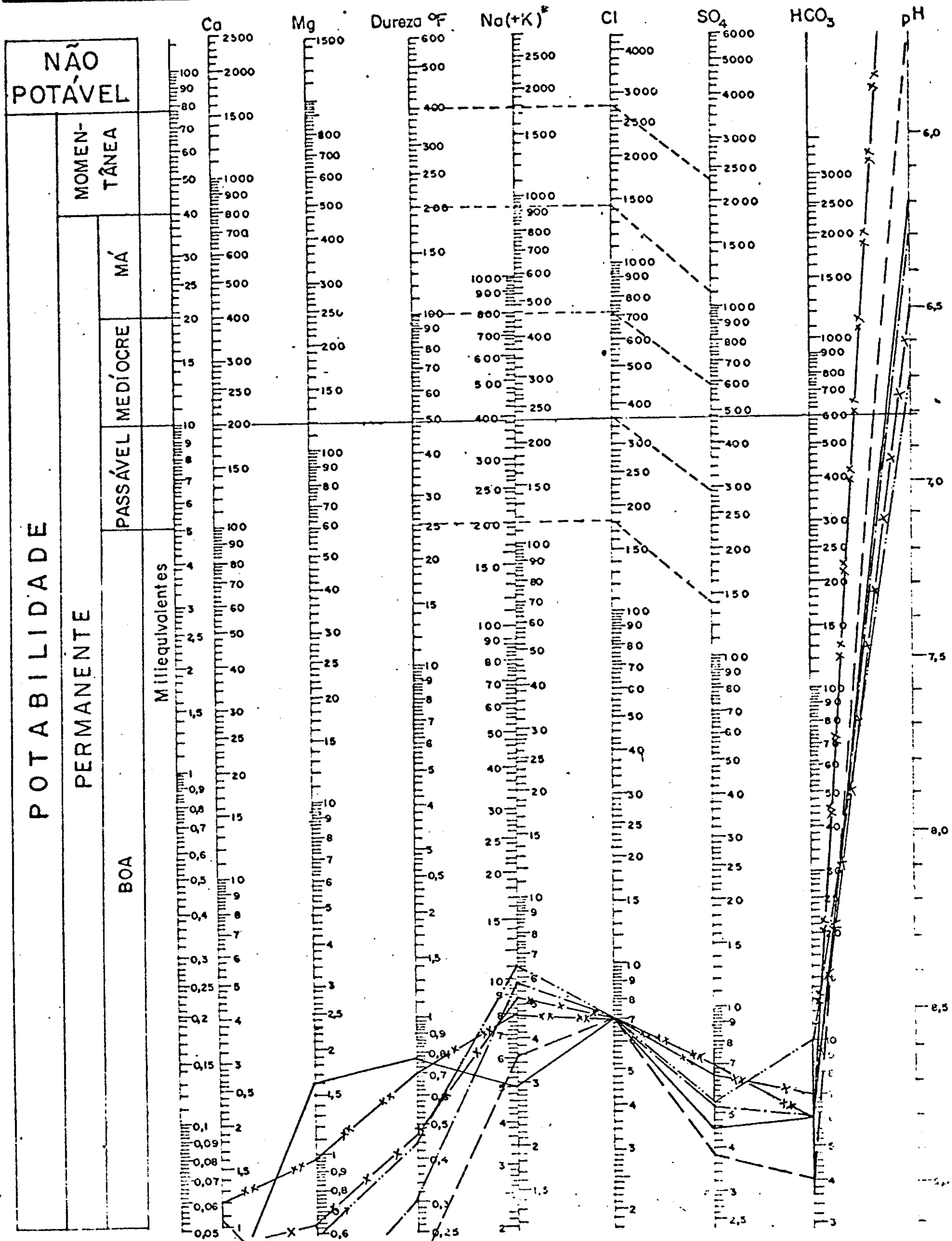
RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra
186,00	109	30,00	173		
17,00	171	57,00	154		

Fig. 5.4.17

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
 PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
 MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA
 SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

FOLHA -

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA
 TEORES EM MILIGRAMAS POR LITRO



No (+K) Transformar K em equivalente Na e somar

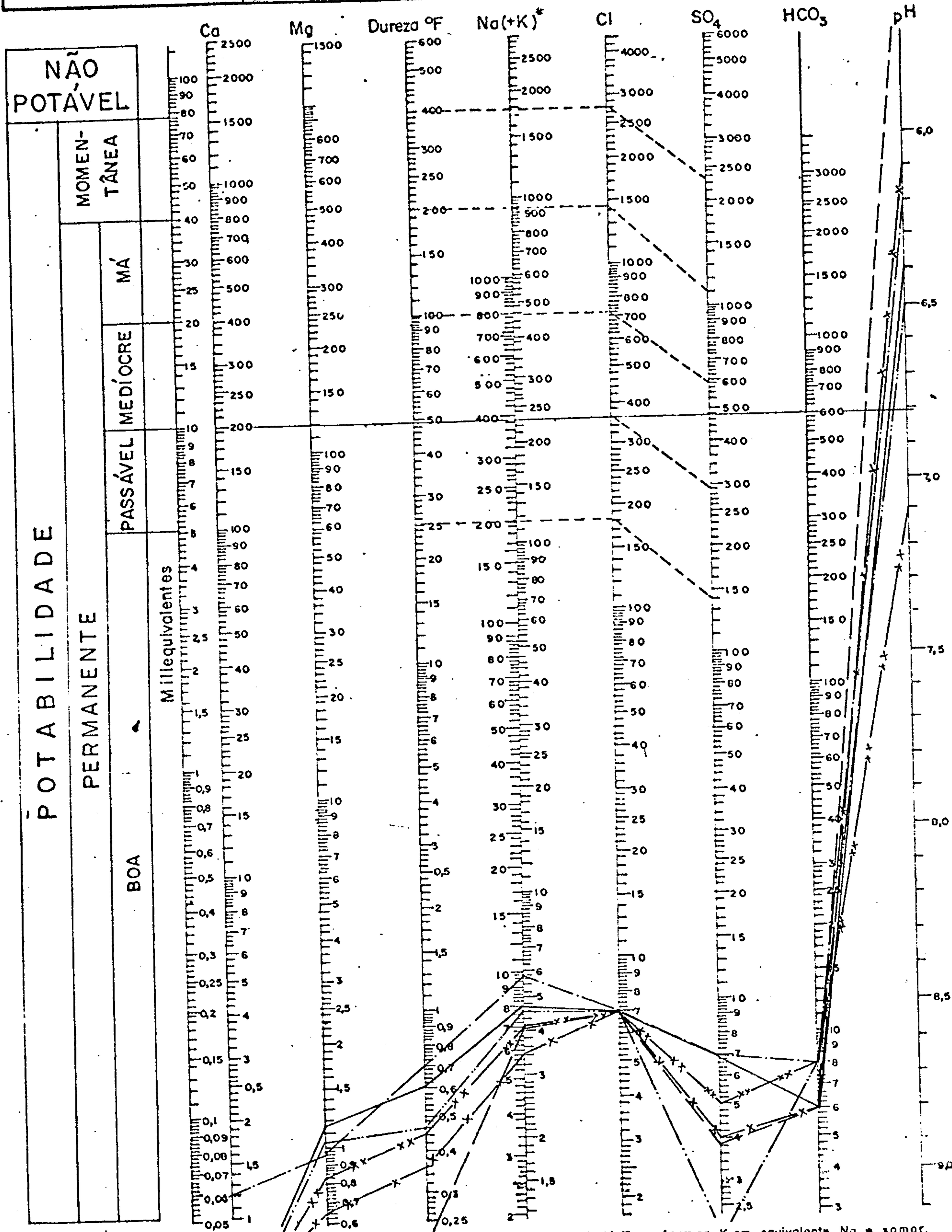
RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra
56,00	138 ———	12,00	010 ———	19,00	101 —x—x—
26,00	126 ———	96,00	070 ———	81,00	198 —xx—xx—

Fig. 5.4.18

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
 PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
 MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA
 SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

FOLHA-

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA
 TEORES EM MILIGRAMAS POR LITRO



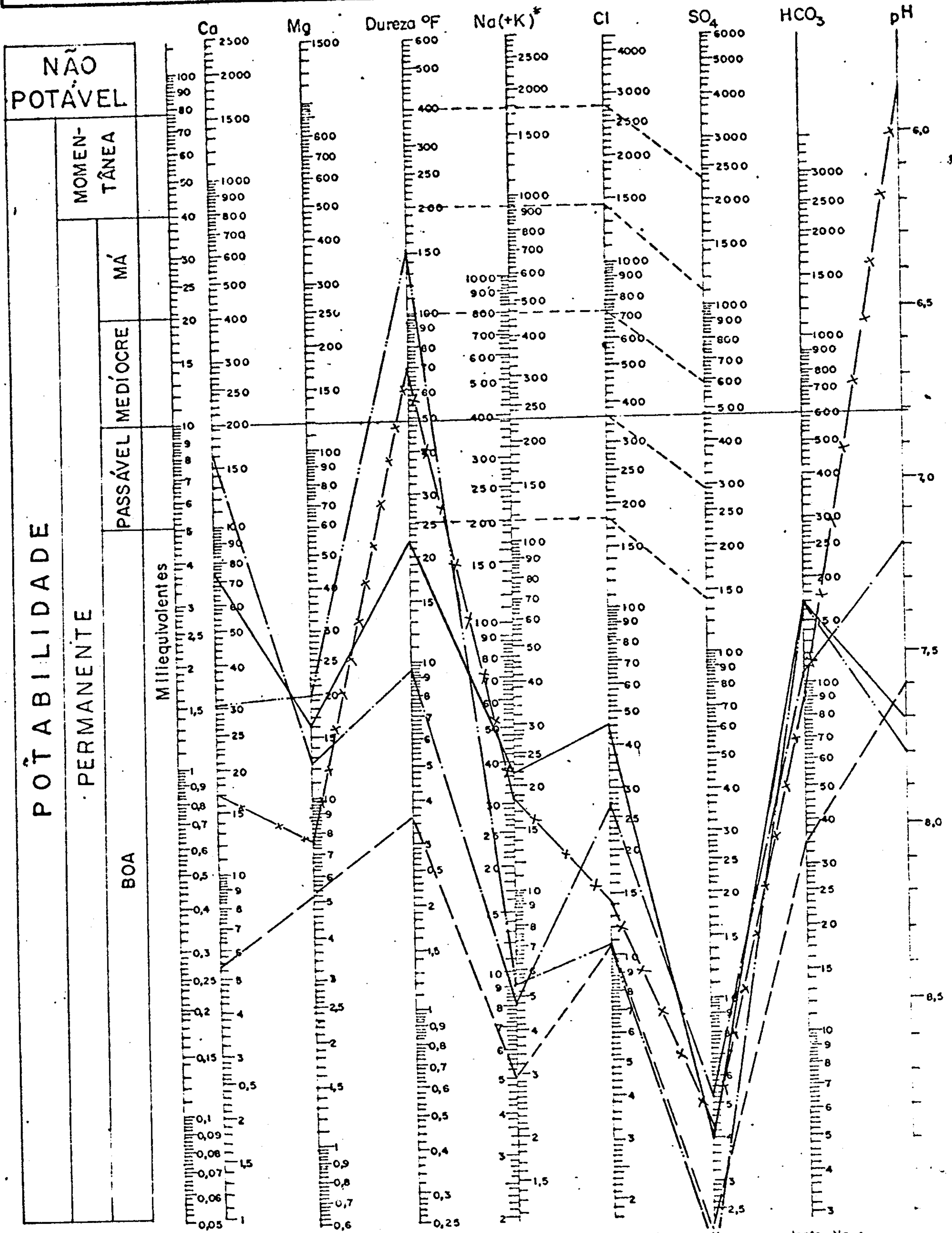
RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra
93,00	278	16,00	009	31,00	186
87,00	332	33,00	157	32,00	187

Fig. 5.4.19

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
 PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
 MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA
 SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

FOLHA -

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA
 TEORES EM MILIGRAMAS POR LITRO



Na(+K) Transformar K em equivalente Na e

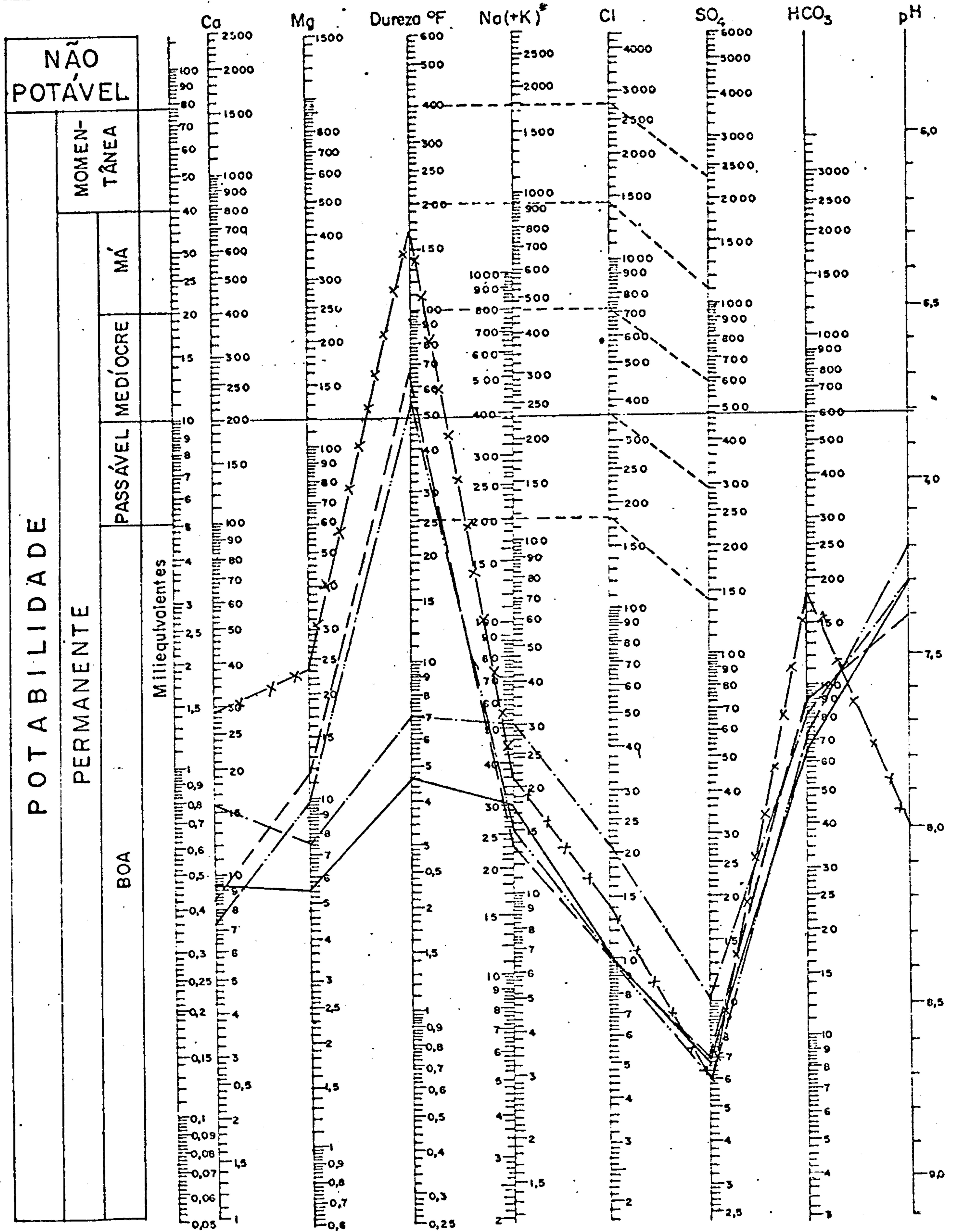
RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra
373,00	316 ———	69,00	224 ———	17,00	013 —x—x—
198,00	245 - - - - -	152,00	244 - - - - -		

Fig. 5.4.20.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
 PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
 MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA
 SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

FOLHA -

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA
 TEORES EM MILIGRAMAS POR LITRO



Na(+K) Transformar K em equivalente Na e somar.

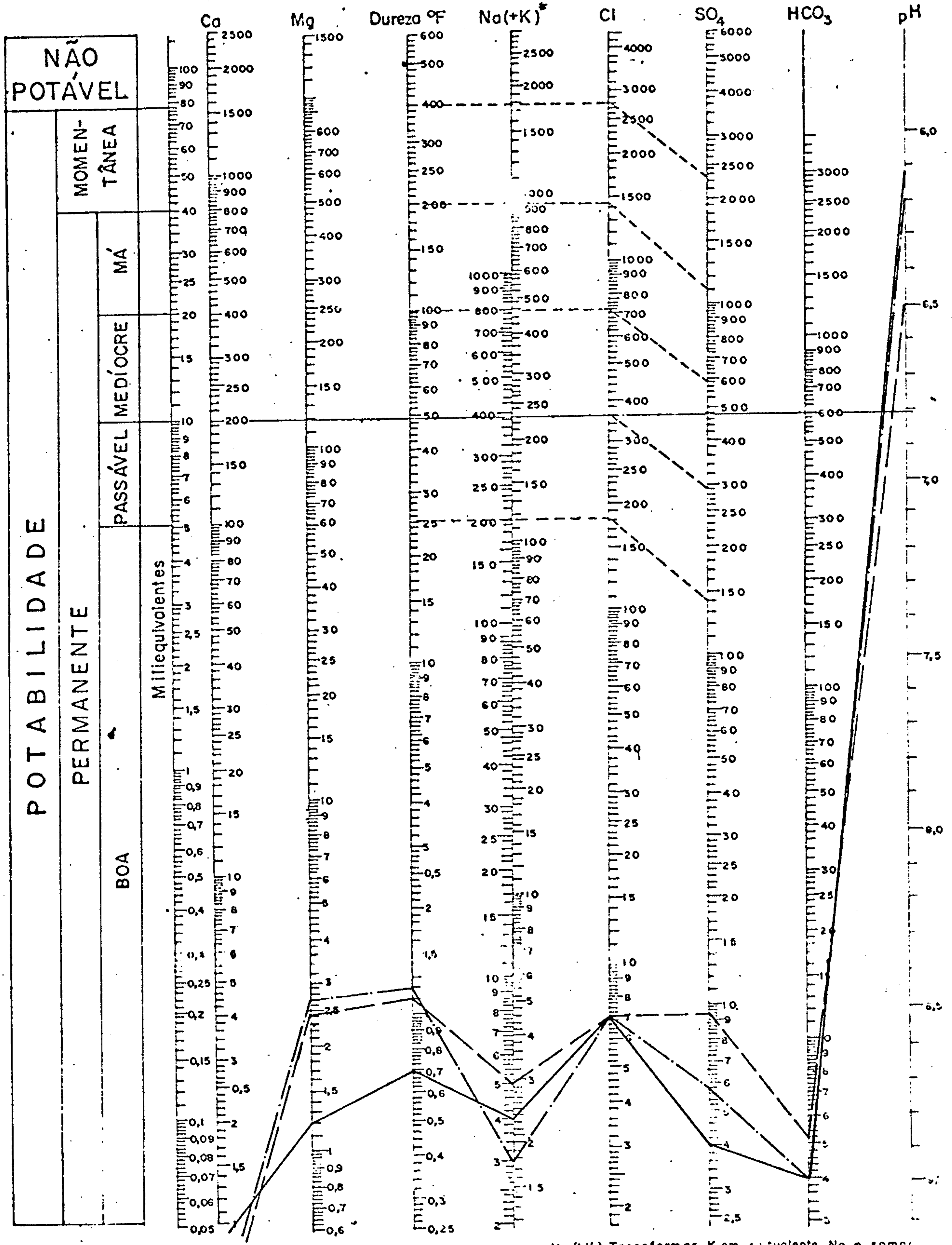
RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra
123,00	302 ———	108,00	133 ———	207,00	190 —x—x—
183,00.	330 ———	141,00	383 ———		

Fig. 5.4.21

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
 PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
 MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA
 SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

FOLHA -

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA
 TEORES EM MILIGRAMAS POR LITRO



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

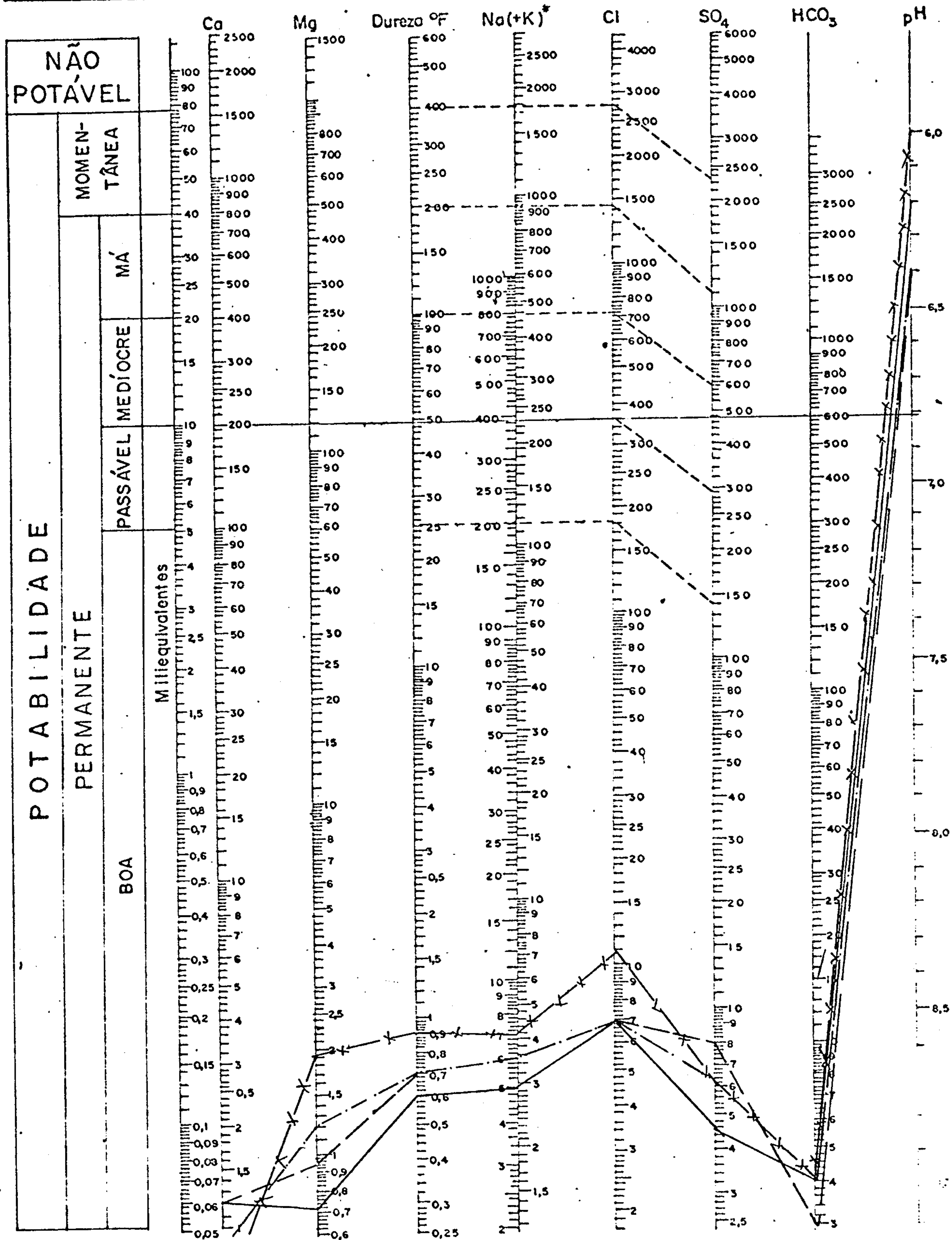
RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra
18,00	225	19,00	294	23,00	396

Fig. 5.4.22

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
 PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
 MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA
 SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

FOLHA -

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA
 TEORES EM MILIGRAMAS POR LITRO



Na(+K) Transformar K em eq. para Na e soma

RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra
18,00	232 ———	61,00	374 ———		
24,00	282 - - - - -	23,00	238 —x—x—		

Fig. 5.4.23

5.4.1 - Águas Cloretadas

As águas cloretadas apresentam, de um modo geral, potabilidade boa, levando-se em conta que, apenas alguns dos valores de pH não estão dentro dos limites adequados e somente a amostra 339.17 (poço manual em Gilbués), está classificada como passável a medíocre (Figs. 5.4.8 a 5.4.13). São todas provenientes de fontes e poços manuais.

5.4.2 - Águas Cloretadas Carbonatadas

São originárias de fontes e poços manuais estando todas classificadas como sendo águas de potabilidade boa, com uma pequena ressalva apenas para alguns valores de pH, que não se encontram dentro dos limites adequados (Figs. 5.4.14 a 5.4.17).

5.4.3 - Águas Mistas

São todas provenientes de fontes e estão classificadas como sendo águas de potabilidade boa, apesar de alguns valores de pH, se encontrarem fora dos limites adequados (Figs. 5.4.18 e 5.4.19).

5.4.4 - Águas Carbonatadas

Estas águas apresentam uma potabilidade entre boa e má, em face de apresentarem o mais alto grau de dureza entre as classes de água existentes. São ligeiramente alcalinas, não chegando entretanto, a ficar fora dos limites adequados (Figs. 5.4.20 e 5.4.21).

5.4.5 - Águas Sulfatadas Cloretadas

São as águas da área que apresentam menor salinidade, todas provenientes de fontes e estão classificadas como sendo de potabilidade boa, apesar de serem ligeiramente ácidas (Figs. 5.4.22 e 5.4.23).

De acordo com a classificação de Schoeller, que estabelece os limites de potabilidade da água segundo o ponto de vista químico (Quadro 5.4.6), foi elaborado o Quadro 5.4.7 representativo da distribuição de frequência da potabilidade para as diversas amostras analisadas e diferentes classes químicas existentes. 98,7% das águas estão enquadradas como de potabilidade boa e apenas 1,3% apresenta potabilidade medíocre. As águas aqui estudadas, podem, portanto, ser consideradas como boas para o consumo humano

QUADRO 5.4.6
LIMITES DE POTABILIDADE DA ÁGUA
SEGUNDO O PONTO DE VISTA QUÍMICO
(H. Schoeller, 1955)

	P O T A B I L I D A D E P E R M A N E N T E				POTABILIDADE MOMENTÂNEA
	BOA	PASSÁVEL	MEDÍOCRE	MÁ	
Sabor a 20° (pesada, amarga, salgada)	Agradável	Fracamente perceptível	Pouco Pronunciado	Pouco desagra dável no máximo	Desagradável
Resíduo Seco	0 - 500	500 - 1000	1000 - 2000	2000 - 4000	4000 - 8000
Na	0 - 115	115 - 230	230 - 460	460 - 920	920 - 1840
Mg/12 + Ca/20	0 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 40	40 - 80
Em grau hidrométrico	0 - 25	25 - 50	50 - 100	100 - 200	200 - 400
Cl	0 - 177,5	177,5 - 355	355 - 710	710 - 1420	1420 - 2804
SO ₄	0 - 144	144 - 288	288 - 576	576 - 1152	1152 - 2304

Valores em miligramas por litro (mg/l)

QUADRO 5.4.7

DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DA POTABILIDADE

POTABILIDADE		RESÍDUO SECO (mg/l)	AMOS TRÁS	FREQUÊNCIA	
				RELATIVA (%)	ACUMULA DA (%)
Permanen- te	Boa	0 - 500	75	98,7	98,7
	Passável	500 - 1000	0	0,0	0,0
	Medíocre	1000 - 2000	1	1,3	100,0
	Má	2000 - 4000	0	0,0	100,0
Momentânea		4000 - 8000	0	0,0	100,0
T O T A L		-	76	100,0	100,0

5.5 - QUALIDADE DAS ÁGUAS PARA IRRIGAÇÃO

A adequabilidade de águas para fins de irrigação, não está sujeita a limites determinados, visto que é função direta do tipo de solo e cultura que se pretende utilizar, além de fatores como clima, método de irrigação e condições locais de drenagem.

O método aqui utilizado para a determinação da qualidade das águas para fins de irrigação é a classificação americana de Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (1954), que consiste em um gráfico semi-logarítmico (Fig. 5.5.1) onde são colocados, em abcissas, os valores da condutividade elétrica em micromho/cm a 25°C e, em ordenadas, a razão de adsorção do sódio (RAS) que é calculada conhecendo-se os teores em miliequivalentes/litro de sódio, cálcio e magnésio, pela seguinte expressão:

CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS PARA IRRIGAÇÃO

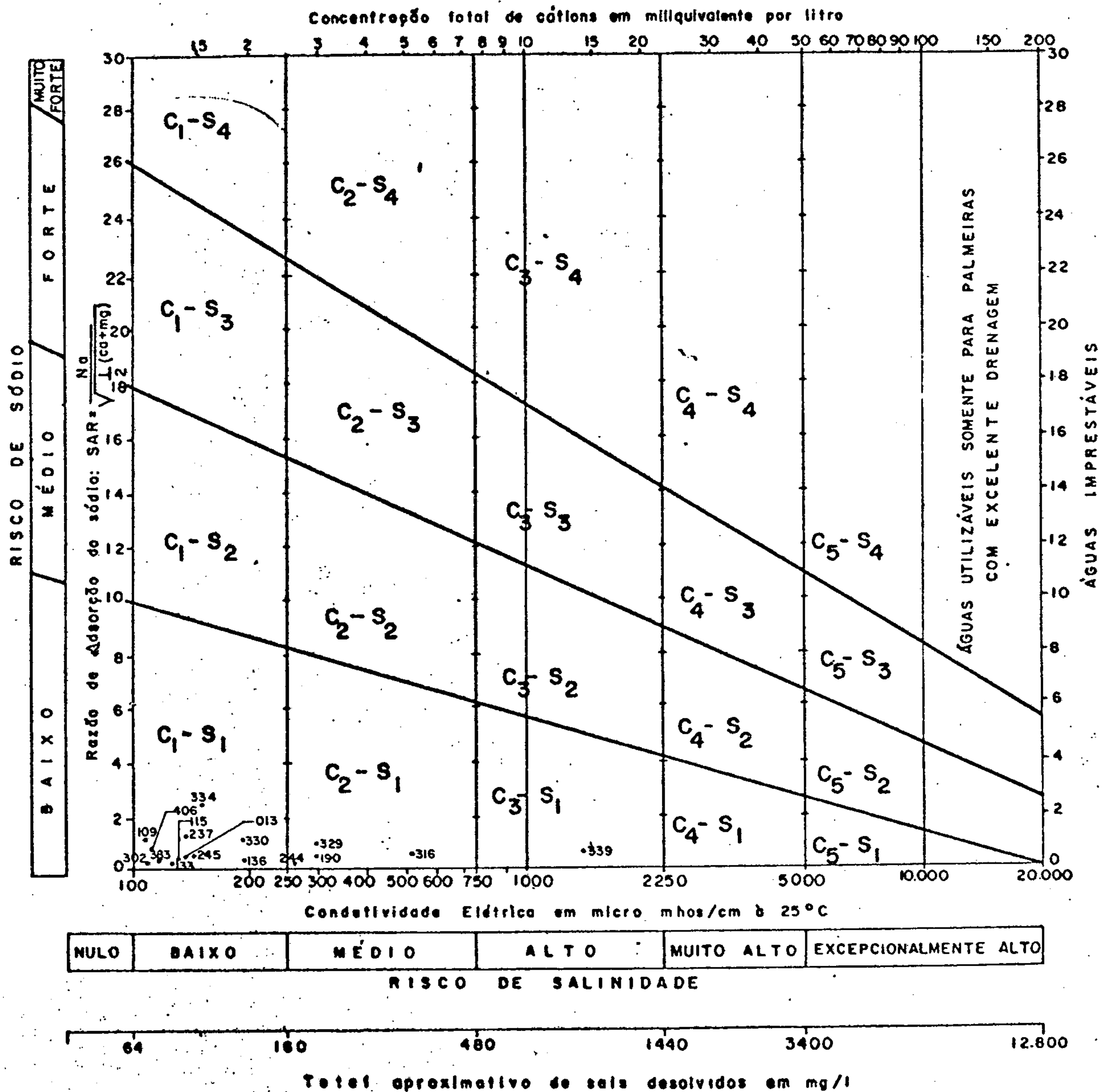


Fig. 5.5.1

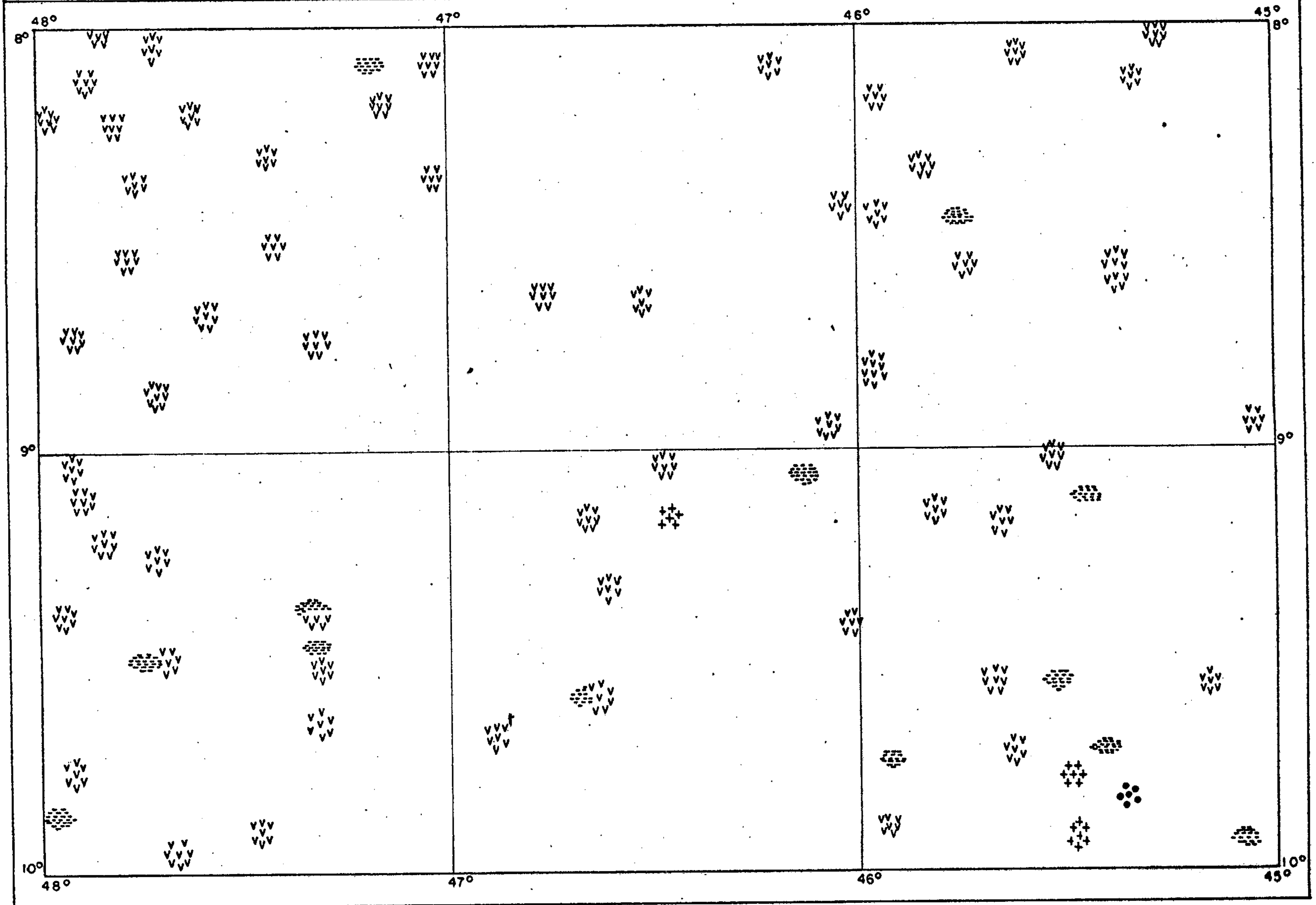


CPRM

QUADRO-5.5.2

CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS PARA IRRIGAÇÃO

FORMAÇÃO	AMOSTRA	CE	SAR	CLASSE	FORMAÇÃO	AMOSTRA	CE	SAR	CLASSE
Areado	316.17	510,00	0,50	C ₂ -S ₁	Poti / Piauí	198.17	15,55	0,98	C ₀ -S ₁
II	326.17	6,80	1,32	C ₀ -S ₁	II	225.17	7,53	0,64	C ₀ -S ₁
Urucuia	339.17	1.425,00	0,68	C ₃ -S ₁	II	232.17	5,83	0,89	C ₀ -S ₁
Basalto	245.17	164,96	0,67	C ₁ -S ₁	II	238.17	9,23	0,69	C ₀ -S ₁
Sambaíba	136.17	196,02	0,45	C ₁ -S ₁	II	262.17	6,80	1,06	C ₀ -S ₁
II	138.17	3,40	0,98	C ₀ -S ₁	II	267.17	31,59	0,75	C ₀ -S ₁
II	216.17	43,17	0,73	C ₀ -S ₁	II	278.17	6,39	1,11	C ₀ -S ₁
II	224.17	59,94	0,37	C ₀ -S ₁	II	279.17	4,37	0,37	C ₀ -S ₁
Pedra de Fogo	126.17	8,42	1,73	C ₀ -S ₁	II	282.17	5,43	0,98	C ₀ -S ₁
II	208.17	15,55	0,87	C ₀ -S ₁	II	283.17	7,69	1,00	C ₀ -S ₁
II	244.17	263,25	0,21	C ₂ -S ₁	II	284.17	8,26	1,32	C ₀ -S ₁
II	390.17	4,78	0,90	C ₀ -S ₁	II	294.17	7,21	0,66	C ₀ -S ₁
II	237.17	142,56	1,51	C ₁ -S ₁	II	226.17	6,80	1,32	C ₀ -S ₁
II	261.17	6,40	0,67	C ₀ -S ₁	II	332.17	12,80	0,98	C ₀ -S ₁
Poti / Piauí	012.17	16,20	2,12	C ₀ -S ₁	II	353.17	41,71	0,50	C ₀ -S ₁
II	013.17	152,28	0,73	C ₁ -S ₁	II	354.17	11,01	1,63	C ₀ -S ₁
II	115.17	145,80	0,45	C ₁ -S ₁	II	374.17	9,07	0,98	C ₀ -S ₁
II	302.17	115,02	0,32	C ₁ -S ₁	II	376.17	7,21	1,13	C ₀ -S ₁
II	329.17	294,84	1,04	C ₂ -S ₁	II	377.17	6,80	0,75	C ₀ -S ₁
II	330.17	196,02	1,25	C ₁ -S ₁	II	383.17	126,30	0,46	C ₁ -S ₁
II	334.17	163,62	2,40	C ₁ -S ₁	II	392.17	7,45	1,06	C ₀ -S ₁
II	375.17	61,56	1,00	C ₀ -S ₁	II	396.17	5,83	0,38	C ₀ -S ₁
II	406.17	110,16	0,79	C ₁ -S ₁	II	400.17	36,45	1,87	C ₀ -S ₁
II	001.17	3,28	2,70	C ₀ -S ₁	Longa	009.17	7,29	3,00	C ₀ -S ₁
II	003.17	20,25	0,86	C ₀ -S ₁	II	036.17	14,98	1,22	C ₀ -S ₁
II	008.17	7,93	1,84	C ₀ -S ₁	II	057.17	4,29	1,64	C ₀ -S ₁
II	010.17	4,21	2,12	C ₀ -S ₁	II	061.17	81,04	1,91	C ₀ -S ₁
II	016.17	5,42	0,82	C ₀ -S ₁	II	109.17	156,33	0,96	C ₁ -S ₁
II	017.17	3,64	2,12	C ₀ -S ₁	II	110.17	41,31	1,87	C ₀ -S ₁
II	023.17	21,06	3,54	C ₀ -S ₁	Cabeças	149.17	4,94	1,22	C ₀ -S ₁
II	033.17	4,21	1,64	C ₀ -S ₁	II	157.17	11,09	1,22	C ₀ -S ₁
II	058.17	3,69	2,12	C ₀ -S ₁	II	169.17	4,86	1,89	C ₀ -S ₁
II	066.17	4,50	1,89	C ₀ -S ₁	II	171.17	5,67	2,12	C ₀ -S ₁
II	070.17	12,63	1,30	C ₀ -S ₁	II	173.17	14,25	2,26	C ₀ -S ₁
II	083.17	4,21	3,00	C ₀ -S ₁	Pimenteiras	154.17	23,89	1,06	C ₀ -S ₁
II	133.17	142,56	0,31	C ₁ -S ₁	II	186.17	85,86	1,50	C ₀ -S ₁
II	182.17	8,11	1,64	C ₀ -S ₁	II	187.17	13,60	1,41	C ₀ -S ₁
II	101.17	6,72	1,50	C ₀ -S ₁	II	190.17	291,60	0,57	C ₀ -S ₁



CLASSIFICAÇÃO DE ÁGUAS PARA IRRIGAÇÃO
(CLASSIFICAÇÃO AMERICANA)

CONVENÇÕES

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| - C ₀ - S ₁ | - C ₂ - S ₁ |
| - C ₁ - S ₁ | - C ₃ - S ₁ |

Fig. 5.5.4

$$SAR = \frac{r^{Na}}{\sqrt{1/2 (r^{Ca} + r^{Mg})}}$$

Com base na classificação americana determinou-se quatro classes de águas existentes na área, conforme o Quadro 5.5.2. A partir desta classificação elaborou-se o Quadro 5.5.3 de distribuição de frequência e a Fig.5.5.4, representativa da classificação das águas para irrigação.

QUADRO 5.5.3
FREQUÊNCIA DOS TIPOS DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

T I P O S	Nº AMOSTRAS		
		RELATIVA (%)	ACUMULADA (%)
C ₀ - S ₁	59	77,6	77,6
C ₁ - S ₁	12	15,8	93,4
C ₂ - S ₁	4	5,3	98,7
C ₃ - S ₁	1	1,3	100,0
T O T A I S	76	100,0	100,0

As amostras analisadas apresentam uma predominância (77,6%) de águas de salinidade fraquíssima e fracamente sódicas (C₀ - S₁), que podem ser utilizadas sem restrições para a irrigação com fraco risco de ocorrência de teores nocivos de sódio susceptível de troca. 15,8% estão enquadrados como águas de salinidade fraca e fracamente sódica (C₁ - S₁) e apenas 5,3% como águas de salinidade média a alta e fracamente sódica (C₂ - S₁) e (C₃ - S₁).

A Fig. 5.5.4, mostra a distribuição dos tipos de água na área em estudo. Observa-se a grande predominância

cia de $C_0 - S_1$ e sua distribuição uniforme em toda extensão. Ocorre apenas um ponto de alta salinidade ($C_3 - S_1$), na sede de Gilbués (amostra 339.17) procedente de um poço manual nos arenitos da Formação Urucuia. Pelos dados expostos, conclui-se que as águas da área em estudo são de boa qualidade para fins de irrigação, salvo pequenas restrições.

5.6 - QUALIDADE DAS ÁGUAS PARA O CONSUMO ANIMAL

A qualidade das águas para o consumo animal, tem limites bem mais elásticos do que a potabilidade para o consumo humano. A tabela 5.6.1 (Logan, 1965) é um dos poucos conjuntos de dados já publicados que estabelece diferenças entre os tipos de animais.

QUADRO 5.6.1

QUALIDADE DE ÁGUAS PARA USO ANIMAL

A N I M A I S	VALOR LIMITE DO RS EM MG/L
Aves	2.860
Porcos	4.290
Cavalos	6.435
Gado Leiteiro	7.150
Gado de Corte	10.000
Carneiro	12.900

De acordo com os resultados das análises efetuadas em comparação com os dados do Quadro 5.6.1, conclui-se que a totalidade das águas da área, ora em estudo, podem ser utilizadas pelos animais, sem que haja restrições.

6 - CONCLUSÕES

Os resultados obtidos pelos estudos hidrogeológicos efetuados permitem estabelecer as conclusões seguintes:

- 1) A área estudada abrange uma superfície de, a proximadamente, 72.000 km² estando totalmente inserida na bacia sedimentar do Meio-Norte. É constituída por rochas paleozóicas, representadas pelas formações Pimenteiras, Cabeças e Longá (Devoniano), Poti e Piauí (Carbonífero), Pedra de Fogo (Permiano), e por rochas mesozóicas compreendendo as formações Sambaíba (Triássico), Areado e Urucuia (Cretácio), além de depósitos terciários e quaternários, e de derrames basálticos localizados entre os arenitos Sambaíba e Urucuia.
- 2) A estrutura tectônica é, em geral, simples devido a atitude monoclinal das camadas, que mergulham suavemente das bordas da bacia para o interior. Entretanto, na borda sudoeste, onde se localiza parte da Folha 17, verifica-se a ocorrência de falhamentos normais, que interromperam a continuidade das camadas para leste, nivelaram os estratos de idades diferentes e regeitaram mais profundamente os topos das formações devonianas para leste.
- 3) As condições hidrogeológicas da área apresentaram, de um modo geral, perspectivas favoráveis, em vista da ocorrência de espessos pacotes, predominantemente, arenosos ou silti

co-arenosos, que denotam boas aptidões ao armazenamento e circulação de água subterrânea.

4) Do ponto de vista litológico, as formações Pimenteiras, Longá e Pedra de Fogo são sequências predominantemente siltico-argilosas, constituindo aquitardos, que confinam e põem em carga, os aquíferos sotopostos, os quais apresentam progressivo aumento de pressão artésiana em direção ao centro da bacia.

5) Os principais sistemas aquíferos são representados pelas formações Serra Grande e Cabeças em condições de confinamento, e pelas sequências Poti, Piauí e Urucuia como aquíferos do tipo livre. O sistema Urucuia, contudo, apresenta restrições no que se refere às condições morfológicas, devido a sua ocorrência na forma de elevados chapadões que condicionam níveis de água, em geral, profundos.

Dos aquíferos identificados o conjunto Poti-Piauí, destaca-se como o principal manancial subterrâneo, em virtude da sua extensa área de recarga, grandes espessuras, e das características litológicas predominantes que conferem razoáveis condições de permeabilidade.

6) A área carece de informações sobre a maior parte das unidades geológicas que ocorrem em subsuperfície, visto que, entre os pontos de água inventariados, predominam as fontes e poços manuais que refletem, tão somente e de forma precária as condições hidrogeológicas mais superficiais. Apenas cinco poços profundos foram cadastrados explorando os aquífe

ros Poti, Piauí e Areado, de modo que, as formações mais inferiores permanecem, praticamente, desconhecidas.

- 7) A inexistência de testes de bombeamento não permitiu a determinação dos parâmetros hidráulicos dos aquíferos e aquitardos, impossibilitando maiores considerações sobre o comportamento hidrodinâmico desses sistemas. Os parâmetros utilizados foram estimados a partir das características litológicas predominantes, ou adotados, utilizando-se valores determinados em áreas próximas da região estudada.
- 8) A partir das características dimensionais e dos parâmetros hidráulicos admitidos, foram estimadas as reservas permanentes totais, armazenadas no pacote sedimentar, tendo-se quantificado um volume da ordem de $600 \times 10^9 \text{ m}^3$. No que se refere as reservas exploráveis nos principais aquíferos identificados, elas foram avaliadas, preliminarmente, em $1.180 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, tendo-se admitido a utilização integral dos volumes do escoamento natural anual e de uma parte das reservas permanentes quantificadas, considerando-se a ocorrência de um rebaixamento generalizado dos níveis de água nas zonas livres e confinadas dos aquíferos. As reservas exploráveis no sistema conjunto Poti-Piauí atingem $1.133 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ correspondendo a 95% dos recursos estimados para a área.
- 9) Quanto ao aspecto qualitativo, as águas ana-

lisadas apresentam fácies, predominantemente, cloretada sódica ou cloretada bicarbonatada sódica, com residuo seco, em geral, muito baixo, quase sempre inferior a 100 mg/l, não denotando, portanto, maiores restrições quanto à adequabilidade para o consumo humano e para a irrigação. Apenas algumas águas bicarbonatadas apresentaram restrições quanto à potabilidade em vista da ocorrência de índices de dureza mais elevados.

7 - B I B L I O G R A F I A

AGUIAR, Guanahyro Antunes de - Bacia do Maranhão, geologia e possibilidades de petróleo. Rio de Janeiro, PETROBRÁS, 1969. 55p. il. (Relatório, 371).

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL - 1976 - Rio de Janeiro, Secretaria de Planejamento da Presidência da República. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1976. 813p.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO PIAUÍ - 1971. Teresina, SEPLAN. Fundação CEPRO, 1971. 372p.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Divisão de Concessão de Recursos Hídricos. - Sistema de Codificação das Estações Hidrológicas. Brasília, DNAEE, 1976. 22p. Anexos. il.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Divisão de Concessão de Recursos Hídricos. Inventário das Estações Pluviométricas. Brasília, DNAEE, 1976. 192p. il.

BRASIL. MINTER/DNOCS. Estudo de reconhecimento Vale do Gurguéia. Teresina, OESA-TECNOSOLO-OTI-EPTISA, 1973. 3v. il.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. Projeto Estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba (Relatório Preliminar, CPRM). Recife, DNPM/CPRM, 1975. 3v. il.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. Proje

to Leste do Tocantins/Oeste do Rio São Francisco. Relatório Final. Rio de Janeiro, CPRM/PROSPEC, 1976.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. Projeto RADAM. Folha SC.23 - Rio São Francisco - Geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, RADAM, 1973. il.

BRASIL. MINISTÉRIO DO INTERIOR. Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. Arquivo Controle Pluviométrico Piauí, Maranhão. Recife, SUDENE. 5v.

BRASIL. MINISTÉRIO DO INTERIOR. Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. Elementos de hidrogeologia-prática. 2ª ed. Recife, SUDENE. Divisão de Documentação, 1971. 353p. il.

BRASIL. FUNDAÇÃO IBGE. Geografia do Brasil. Região Nordeste. Rio de Janeiro, 1977. 454p. il.

BRASIL. FUNDAÇÃO IBGE. Geografia do Brasil. Região Norte. Rio de Janeiro, 1977. 466p. il.

BRASIL. MINISTÉRIO DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO SOCIAL. Fundação IBGE. Mapa Político Estado do Piauí escala 1:1.000.000. Rio de Janeiro, 1970.

BRASIL. SECRETARIA DE PLANEJAMENTO DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal. Região centro-oeste. Rio de Janeiro, Fundação IBGE, 1974. vol. 4. 161p. il.

BRASIL. SECRETARIA DE PLANEJAMENTO DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Pecuária Municipal. Região sul e

centro-oeste. Rio de Janeiro, Fundação IBGE, 1974. vol. 4. 237p. il.

BRASIL. SECRETARIA DE PLANEJAMENTO DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Pecuária Municipal. Região nordeste. Rio de Janeiro, Fundação IBGE, 1974. vol.2. 316p. il.

BRASIL. SECRETARIA DE PLANEJAMENTO DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. SINOPSE ESTATÍSTICO DO BRASIL. Rio de Janeiro, Fundação IBGE, 1977. 626p. il.

CAMPBELL, Donald F., ALMEIDA, Luis A. de & SILVA, Salustiano de Oliveira - Relatório Preliminar sobre a geologia da Bacia do Maranhão. Rio de Janeiro. Conselho Nacional do Petróleo. Boletim nº 1, 1969. 160p. il.

CASTANY, G. - Prospection et exploration des caux sauterraines. Paris, Dunod, 1968. 717p. il.

——— - Traité pratique des caux sauterraines. Paris, Dunod, 1963. 657p. il.

CRUZ, Waldemar Barbosa da & MELO, Francisco - Estudo Geoquímico Preliminar das Águas Subterrâneas do Nordeste do Brasil. Recife, SUDENE, Div. Documentação, 1974. 128p. il. Mapas (in bolso) (Brasil. SUDENE. Hidrogeologia, 19).

CUSTÓDIO, Emílio & LLAMAS, Manoel Ramon - Hidrologia subterrânea. Barcelona, Omega, 1976. 2v. il.

DAVIS, Stanley N. & DEWIEST, Roger J.M. - HIDROGEOLOGY, New York, John Wiley & Sons, Inc., 1966. 463p. il.

- DEWIEST, Roger J.M. - GEOHYDROLOGY. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1965. 366p. il.
- LIMA, José do Espírito Santo et alii - Projeto Hidrogeologia do norte de Minas Gerais e sul da Bahia. Relatório Final. Folha de Salvador-SO. Belo Horizonte, DNPM/CPRM, 1977. 2v. il.
- LEAL, Antonio de Sousa - Legenda para mapas hidrogeológicos. Recife, SUDENE, 1973. 72p. (Brasil. SUDENE. Divisão de Hidrogeologia, série hidrogeológica, 48).
- LOGAN, John - The interpretation of chemical analyses of water. Recife, USAID, 1965. 65p. graf.
- MAIO, Celeste Rodrigues - Considerações Gerais sobre a semi-aridez do nordeste do Brasil. Rio de Janeiro, Fundação IBGE, Rev. Bras. Geogr. Out./Dez., 1961.
- MARANHÃO. Secretaria de Planejamento. Instituto de Pesquisa Econômica Sociais Informática. Realidade e Perspectiva. São Luis, SEPLAN, 1972. 178p. il.
- MORAIS, Franklin et alii - Projeto Hidrogeologia do norte de Minas Gerais e sul da Bahia. Relatório Final - Folha de Belo Horizonte-NE. Belo Horizonte, DNPM/CPRM, 1977. 2v. il.
- PESSOA, Mário Dias - Inventário Hidrogeológico do nordeste Folha nº 18 - São Francisco-NE. Recife, SUDENE. Div. Documentação, 1977. 2v. p. il. Mapa (in bolso) e nota explicativa. Brasil, SUDENE. Hidrogeologia.
- REBOUÇAS, Aldo da Cunha; MANOEL FILHO, João & NEVES, Benjamin Bley B. - Inventário Hidrogeológico do nordeste. Programa e normas técnicas. Recife, SUDENE. Div. Docu

mentação, 1969. 40p. Mapa tab. graf. Brasil. SUDENE. Hidrogeologia.

SILVA, Adelbani Braz da - Inventário Hidrogeologia do Nordeste. Folha nº 23. São Francisco-SE. Recife, SUDENE. Div. Documentação, 1973. 173p. il. 01 mapa (in bolso) (Brasil, SUDENE, Hidrogeologia, 27).

SILVA, Adelbani Braz da & SILVA, F.A.C. da - Inventário Hidrogeológico do nordeste. Folha nº 5 Fortaleza-SO. Recife, SUDENE, Div. Documentação, 1970. 165p. il. (Brasil, SUDENE. Hidrogeologia, 27).

SILVA, G.A.N.P. et alii - Projeto Gilbués. Relatório Final. Recife, DNPM/CPRM, 1972.

WISLER, C.O. & BRATER, E.F. - Hidrologia. Rio de Janeiro, USAID, 1964.