

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 12 — TERESINA-SO
VOLUME I
TEXTO

CLODIONOR CARVALHO DE ARAÚJO

PHL
013362
2007

I-96

 CPRM	SUREMI SEDOE
ARQUIVO TÉCNICO	
Relatório n.º	976
N.º de Volumes:	2 v.: 1-S



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 12 — TERESINA — SO

VOLUME I

TEXTO

Chefia do Subprojeto : Francisco Aurélio Caetano da Silva

Equipe Executora : Antonio Reinaldo Soares Filho
Clodionor Carvalho de Araújo
Francisco Aurélio Caetano da Silva
Jorge Luíz Fortunato de Miranda

Equipe Auxiliar : Armando Arruda Câmara Filho
Djalma Pereira
João Militão Martins Neto
Ney Gonzaga de Sousa

PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS MINERAIS DA
BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA

SUBPROJETO HIDROGEOLOGIA

RELATÓRIO FINAL

ÍNDICE DE VOLUMES

VOLUME I - Folha 12 - Teresina - SO - Texto

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

A P R E S E N T A Ç Ã O

A fim de dar continuidade ao programa de Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste, foi celebrado um convênio entre o Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) e a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Superintendência Regional de Recife, para execução do Subprojeto Hidrogeologia dentro do Projeto Estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba.

Para a execução do presente relatório procedeu-se inicialmente à coleta de dados nos trabalhos anteriores, efetuados total ou parcialmente na área, assim como mapas, relatórios técnicos, dados estatísticos, climatológicos, hidrológicos e dados de perfuração de poços. Com base na análise destes dados, programaram-se etapas de campo visando inventariar e catalogar os pontos de água existentes, procedendo-se a medições de níveis, determinações de pH, de condutividade elétrica, de temperatura e coleta de amostras para realização de análises químicas, efetuando-se, posteriormente, levantamento barométrico para a determinação, quando possível, da piezometria dos aquíferos identificados, a partir das medições dos níveis estáticos.

Os trabalhos de campo apoiaram-se em bases planimétricas na escala de 1:250.000, tendo sua apresentação final na escala de 1:500.000, objetivando dar informações sobre a geologia local, características hidrogeológicas, hidrodinâmicas e de potencialidade exploráveis, bem como condicionamentos exploratórios e definição da adequabilidade das águas subterrâneas para o consumo humano, pecuário e para fins de irrigação.

S U M Á R I O

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE QUADROS

	Pág.
1 - <u>INTRODUÇÃO</u>	1
1.1 - Histórico	1
1.2 - Objetivo	2
1.3 - Localização e Acesso	3
1.4 - Aspectos Sócio-Econômicos	5
1.5 - População	6
1.6 - Métodos de Trabalho	7
1.7 - Dados Físicos de Produção	10
1.8 - Trabalhos Anteriores	11
2 - <u>ASPECTOS GERAIS</u>	12
2.1 - Elementos Climáticos	12
2.1.1 - Clima	12
2.1.2 - Pluviometria	16
2.1.3 - Temperatura	20
2.1.4 - Zoneamento Árido	26
2.1.5 - Umidade Relativa, Insolação e Vento	28
2.1.6 - Evaporação e Evapotranspiração	30
2.1.7 - Elementos do Balanço Hidrológico	34
2.2 - Hidrologia de Superfície	40
2.2.1 - Bacia Hidrográfica do Tocantins	40
2.2.2 - Bacia Hidrográfica do Atlântico Norte-Nordeste	40
2.2.3 - Dados Hidrológicos	42
2.2.4 - Estudo das Recessões	44

	Pág.
2.2.4.1 - Recessão em Tocantino polis	45
2.2.4.2 - Recessão em Balsas ..	47
2.3 - Morfologia	47
2.4 - Vegetação	49
3. <u>GEOLOGIA</u>	51
3.1 - Generalidades	51
3.2 - Estratigrafia	52
3.2.1 - Paleozóico	52
3.2.1.1 - Formação Longá	52
3.2.1.2 - Formação Poti	54
3.2.1.3 - Formação Piauí	56
3.2.1.4 - Formação Pedra de Fo- go.....	57
3.2.1.5 - Formação Motuca	59
3.2.2 - Mesozóico	60
3.2.2.1 - Formação Sambaiba ...	61
3.2.2.2 - Formação Mosquito ...	62
3.2.2.3 - Formação Corda	63
3.2.2.4 - Formação Grajaú	65
3.2.2.5 - Formação Itapecuru...	66
3.2.3 - Cenozóico	67
3.2.3.1 - Coberturas	67
3.2.3.2 - Aluviões	68
3.3 - Geologia Estrutural	68
3.4 - História Geológica.....	69
4. <u>HIDROGEOLOGIA</u>	72
4.1 - Generalidades	72

	Pág.
4.2 - Geologia e Água Subterrânea	76
4.2.1 - Formação Serra Grande	79
4.2.2 - Formação Pimenteiras	79
4.2.3 - Formação Cabeças	81
4.2.4 - Formação Longã	82
4.2.5 - Formação Poti	83
4.2.6 - Formação Píauí	85
4.2.7 - Formação Pedra de Fogo	88
4.2.8 - Formação Motuca	89
4.2.9 - Formação Sambaiba	89
4.2.10 - Formação Mosquito	90
4.2.11 - Formação Corda	91
4.2.12 - Formação Grajaú	92
4.2.13 - Formação Itapecuru	93
4.2.14 - Coberturas e Aluviões	93
4.3 - Reservas de Água Subterrânea	94
4.3.1 - Vazão de Escoamento Natural...	94
4.3.1.1 - Aquitardo Longã	96
4.3.1.2 - Aquífero Poti.....	96
4.3.1.3 - Aquífero Píauí	98
4.3.1.4 - Aquitardo Pedra de Fo-	
go	103
4.3.1.5 - Aquitardo Motuca	104
4.3.1.6 - Aquífero Sambaiba ...	104
4.3.1.7 - Aquífero Corda	105
4.3.2 - Reservas Permanentes	105
4.3.2.1 - Aquífero Serra Grande.	108
4.3.2.2 - Aquitardo Pimenteiras.	109
4.3.2.3 - Aquífero Cabeças	109
4.3.2.4 - Aquitardo Longã	110
4.3.2.5 - Aquífero Poti	111
4.3.2.6 - Aquífero Piauí	112

	Pág.
4.3.2.7 - Aquitardo Pedra de Fogo..	113
4.3.2.8 - Aquitardo Motuca	113
4.3.2.9 - Aquífero Sambaíba	114
4.3.2.10- Aquífero Corda	115
4.3.2.11- Aluviões	115
4.3.3 - Reservas Exploráveis	116
4.3.4 - Demanda	121
4.3.5 - Condições de Captação	122
5. <u>HIDROQUÍMICA</u>	124
5.1 - Generalidades	124
5.2 - Características Químicas das Águas	125
5.3 - Determinação das Fácies Químicas	128
5.3.1 - Classes de Águas	129
5.3.1.1 - Águas Carbonatadas	146
5.3.1.2 - Águas Cloretadas Carbonatadas	146
5.3.1.3 - Águas Cloretadas	147
5.3.1.4 - Águas Mistas	147
5.3.1.5 - Águas Sulfatadas Cloretadas	148
5.3.1.6 - Águas Carbonatadas Sulfatadas	149
5.3.1.7 - Águas Sulfatadas	149
5.4 - Qualidade das Águas para o Consumo Humano..	150
5.5 - Qualidades das Águas para Irrigação.....	169
5.6 - Qualidades das Águas para o Consumo Animal.	172
6. <u>CONCLUSÃO</u>	174
7. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	177
ANEXOS (Volume II)	
- Nota Explicativa	192

- Fichas de Sondagem

Ponto 026.12

Ponto 028.12

Ponto 069.12

Ponto 083.12

Ponto 118.12

Ponto 119.12

Ponto 176.12

Ponto 306.12

Ponto 309.12

Ponto 319.12

- Catálogo de Pontos de Água

. Base Geológica

. Base Planimétrica

. Base Hidroquímica

. Base Hidrológica

. Base de Pontos de Água

. Base Potencial Explorável

. Base Piezométrica.

RESUMO

A área correspondente à Folha 12 - Teresina-SO - tem uma superfície de aproximadamente 72.600 km^2 , e está localizada no sudoeste do Estado do Maranhão e pequena parte no norte do Estado de Goiás, estando totalmente inserida na Bacia Sedimentar paleo-meso-cenozóica do Parnaíba.

As condições climáticas, segundo Koppen, são caracterizadas pela predominância do tipo de clima Aw, com uma temperatura média anual de $25,7^\circ\text{C}$, e o índice de aridez aumentando de este para oeste, refletindo o comportamento da precipitação pluviométrica média regional. A rede hidrográfica tem sua drenagem dirigida para a bacia hidrográfica do Tocantins, do lado oeste, e do Atlântico Norte-Nordeste na porção este.

De acordo com os dados obtidos através do cadastramento de 320 pontos de água, as condições hidrogeológicas desta área apresentam-se, de um modo geral, promissoras ao armazenamento de água subterrâneas, em vista de tratar-se de espesso pacote sedimentar, o qual apresenta características litológicas dominantes que conferem condições razoáveis de permeabilidade.

Os estudos hidrogeológicos efetuados nesta área indicam que os principais sistemas aquíferos são representados pelas unidades: Serra Grande e Cabeças, em condições de confinamento, e Poti, Piauí, Sambaíba e Corda, como aquífero do tipo livre. O sistema aquífero Poti-Piauí, se constitui no principal manancial para a exploração de água subterrânea em vista do fácil acesso à sua captação.

Os cálculos efetuados indicam uma reserva permanente estimada da ordem de $1.568.577 \times 10^6 \text{ m}^3$, sendo as reservas exploráveis estimadas, nos sistemas aquíferos, de $955,8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, que correspondem a 0,061% das

reservas permanentes.

Os resultados das análises químicas das águas indicam uma predominância de águas carbonatadas e cloretadas magnesianas sódicas, de baixa salinidade. São todas consideradas como de boa potabilidade, podendo, portanto, ser utilizadas para o consumo humano e para irrigação sem maiores restrições.

A B S T R A C T

The Sheet 12 - Teresina-SO - covers an area of approximately 72.600 square kilometers located at Southwest Maranhão State and a Northern area of Goiás State. This area is situated in the paleo-mezo-cenozoic Parnaíba Sedimentary Basin.

Climatic condition, according to Koppen, area characteristically Aw type, with 25,7°C annual average temperature, and aridity index growing from East to West reflecting region weathering situation.

Hydrographic nets drain to Tocantins River in the West Region and to Atlantic North-Northeast Basin in East part.

According to data from 320 water points inventory, the hidrogeologic situation for this area presents, generally, good groundwater storage conditions due to thick sedimentary package, that show reasonable permeability conditions by its predominant lithology.

Hidrologic studies done in this area indicate as major aquifer systems the Serra Grande and Cabeças units (in confined conditions) and Poti, Piauí, Sambaíba and Corda units (as free aquifers). Poti-Piauí aquifer system is the principal source for ground water exploitation due to captation accessibility.

Calculations indicate permanent reserves estimation of about $1.568.577 \times 10^6$ cubic meter for an exploitation reserve of $995,8 \times 10^6$ cubic meter/year corresponding to 0,061% from permanent reserves.

Ground water chemical analyses results present carbonate and chloride-magnesium-sodium waters predominance and low salinity. All water samples show good potability and can be used for human consumption and irrigation with no restriction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<u>ITEM</u>		<u>PAG.</u>
1.3.1	- Mapa de Situação da Folha 12	4
1.5.1	- Mapa de divisão municipal, micro-re - gião homogênea e densidade demográfi - ca.....	8
2.1.1.1	- Mapa de tipos de climas	13
2.1.2.1	- Catálogo de observações pluviométric - as	17
2.1.2.3	- Mapas de isoietas médias anuais	19
2.1.2.4/8	- Precipitações médias mensais	21/25
2.1.4.1	- Mapa de zoneamento árido	27
2.1.7.3	- Balanço hidrológico da estação de Bal - sas.....	38
2.1.7.4	- Balanço hidrológico da estação de Ca - rolina	39
2.2.5	- Mapa de bacias hidrográficas e rede fluviométrica	41
2.2.3.1	- Catálogo de observações fluviométric - as	43
2.2.4.1.1	- Curva de recessão do Rio Tocantins em Tocantinópolis	46
2.2.4.2.1	- Curva de recessão do Rio das Balsas em Balsas	48
4.2.1.1	- Mapa de isópacas da Formação Serra Grande	80
4.2.5.1	- Mapa de isópacas da Formação Poti ...	84

	Pág.
4.2.6.1	- Mapa de isópacas da Formação Piauí... 87
5.3.2	-Diagrama de Piper-Hill-Langelier para águas de aluvião..... 130
5.3.3	- Diagrama de Piper-Hill-Langelier para águas da Formação Corda 131
5.3.4/5	- Diagramas de Piper-Hill-Langelier para águas da Formação Mosquito 132/3
5.3.6/7	- Diagramas de Piper-Hill-Langelier para águas da Formação Sambaíba 134/5
5.3.8	- Diagrama de Piper-Hill-Langelier para águas da Formação Motuca 136
5.3.9	- Diagrama de Piper-Hill-Langelier para águas da Formação Pedra de Fogo 137
5.3.10	- Diagrama de Piper-Hill-Langelier para águas da Formação Piauí 138
5.3.11	- Diagrama de Piper-Hill-Langelier para águas da Formação Serra Grande 139
5.3.1.8	- Mapa de zoneamento hidroquímico 140
5.4.1/5	- Diagramas de potabilidade das águas carbonatadas 152/6
5.4.6/8	- Diagramas de potabilidade das águas cloretadas carbonatadas 157/9
5.4.9/10	- Diagramas de potabilidade das águas cloretadas 160/1
5.4.11/12	- Diagramas de potabilidade das águas mistas..... 162/3
5.4.13	- Diagrama de potabilidade das águas sulfatadas cloretadas 164
5.4.14	- Diagrama de potabilidade das águas carbonatadas sulfatadas 165

		Pág.
5.4.15	- Diagrama de potabilidade das águas sulfatadas	166
5.5.1	- Diagrama de classificação das águas para irrigação	170

LISTA DE QUADROS

<u>ITEM</u>		<u>PÁG.</u>
1.5.2	- Distribuição populacional por município e micro-região homogênea da Folha 12	9
2.1.8	- Dados hidrometeorológicos da estação de Balsas	14
2.1.9	- Dados hidrometeorológicos da estação de Carolina	15
2.2.2.2	- Precipitações médias mensais e totais anuais das estações pluviométricas da Folha 12	18
2.1.3.1	- Temperaturas médias mensais em Balsas e Carolina	20
2.1.4.2	- Correspondências dos índices de De Martone com tipos de aridez	28
2.1.5.1	- Umidade relativa do ar em Balsas e Carolina	29
2.1.5.2	- Dados de insolação em Balsas e Carolina	30
2.1.5.3	- Velocidade e direção do vento nas estações de Balsas e Carolina	31
2.1.6.1	- Evaporação média mensal e anual em tanque classe "A" em Balsas e Carolina	32
2.1.6.2	- Evapotranspiração potencial médias mensais e anuais em Balsas e Carolina-MA	33
2.1.7.1	- Elementos do Balanço hidrológico mensal da estação de Balsas	36
2.1.7.2	- Elementos do balanço hidrológico da estação de Carolina	37
3.2.4	- Coluna estratigráfica	53

		Pág.
4.1.1	- Disponibilidade de poços tubulares na Folha 12 - Teresina-SO	74
4.2.15	- Litologia e características hidrogeológicas das formações da Folha 12 - Teresina-SO	77
4.2.16	- Poços perfurados pela Petrobrás na área da Folha 12 com indicação de profundidade do topo e espessura das formações	78
4.3.2.12	- Reservas permanentes da Folha 12 - Teresina-SO	107
4.3.3.1	- Reservas permanentes exploráveis da Folha 12 - Teresina-SO	118
4.3.3.2	- Recursos totais exploráveis da Folha 12-Teresina-SO.....	119
4.3.4.1	- Estimativa atual e futura do consumo de água dos rebanhos	122
5.2.1	- Distribuição de frequência dos resíduos secos.....	127
5.3.12	- Distribuição de frequência das fácies químicas	141/14.
5.3.1.9	- Valores médios de pH, resíduo seco dureza e condutividade elétrica....	145
5.4.16	- Distribuição de frequência de potabilidade.....	167
5.4.17	- Limites de potabilidade da água segundo o ponto de vista químico	168
5.5.2	- Classificação das águas para fins de irrigação	171
5.5.3	- Distribuição de frequência das classes de água para irrigação	172
5.6.1	- Qualidade de água para o consumo animal.....	173

1 - INTRODUÇÃO

1.1 . HISTÓRICO

O Inventário Hidrogeológico da área correspondente à Folha 12 - Teresina-SO - é parte do Subprojeto Hidrogeologia, do Projeto Estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba, que dá continuidade ao Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste, na área situada entre os meridianos 45°00' a 48°00'W e os paralelos 0°00' a 12°00'S (Folhas 1,3,7,12,17 e 22, na escala 1:500.000).

O Inventário Hidrogeológico do Nordeste foi iniciado pelo Departamento de Recursos Naturais - Divisão de Hidrogeologia da SUDENE, e está sendo sequenciado através de convênios entre o DNPM e a CPRM.

Para a execução dos trabalhos, o Subprojeto Hidrogeologia foi dividido em três fases distintas.

Na primeira fase efetuou-se o levantamento de trabalhos já realizados na área e adjacências, tais como, mapas, relatórios técnicos, dados estatísticos, climatológicos, plúvio-fluviométricos e dados de perfuração de poços. A documentação está anexa ao acervo da biblioteca da CPRM, em Teresina.

A segunda fase diz respeito aos trabalhos de campo, com a coleta dos dados essenciais para a realização dos relatórios finais, tais como, cadastramento de pontos de água, coletas de amostras, levantamento barométrico, realização de testes rápidos de campo (pH, condutividade e temperatura), além da observação do comportamento hidrogeológico dos diferentes sistemas aquíferos.

A terceira, e última fase refere-se a ela-

boração do relatório final, quando se efetuou a análise e o processamento dos diversos dados obtidos nas fases anteriores.

Durante as diversas fases do Subprojeto Hidrogeologia, o mesmo contou com uma equipe de quatro geólogos e quatro técnicos em mineração.

Os trabalhos de campo e o relatório final desta Folha foram realizados pelo geólogo Clodionor Carvalho de Araújo com o apoio do técnico em mineração Ney Gonzaga de Souza e a coordenação técnica do geólogo Francisco Aurélio Caetano da Silva.

As análises para a determinação das principais características hidroquímicas dos principais constituintes iônicos e dos testes quantitativos das diversas amostras de água coletadas em campo foram efetuados pelo Laboratório de Análises da Universidade Católica de Pernambuco.

A supervisão 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 presente trabalho tem por objetivo dar continuidade ao Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste, e cadastrar uma sequência de pontos de água, como sejam, poços tubulares, poços manuais e fontes, além de uma amostragem de águas para determinação das principais características hidroquímicas, além da definição das características hidrodinâmicas dos diferentes sistemas aquíferos existentes na área.

Tem por objetivo, também, a determinação dos parâmetros climáticos e fluviométricos, aridez, características hidrológicas e morfológicas, e aspectos sócio-econômicos dominantes na região.

1.3 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área está situada entre os paralelos $6^{\circ}00'$ e $8^{\circ}00'$ de latitude sul e entre os meridianos $45^{\circ}00'$ e $48^{\circ}00'$ de longitude oeste de Greenwich (fig. 1.3.1). Ocupa uma superfície de aproximadamente 72.600 km^2 , estando quase totalmente localizado no sudoeste do Estado do Maranhão e pequena parte compreendida no norte do Estado de Goiás.

O acesso à área é feito de duas maneiras a partir de Teresina, sede do Subprojeto Hidrogeologia .

- 1) Toma-se a BR-482 até a cidade de Floriano, atualmente com 70% asfaltado, daí segue-se pela BR-230 (Transamazônica , totalmente em barro) até atingir a cidade de Balsas, já dentro dos limites da Folha;
- 2) Toma-se a BR-316, até o trevo em Piritorô, segue-se pela BR-135 até Presidente Dutra, trecho este totalmente asfaltado, então toma-se a BR-226 até Porto Franco, totalmente em barro, já dentro dos limites da Folha.

O deslocamento dentro da área é feito através de um pequeno trecho asfaltado da Belém-Brasília (BR-010; das estradas federais não pavimentadas e, a grande maioria, através de estradas precárias, quase intransitáveis durante o inverno, que dão acesso ao interior.

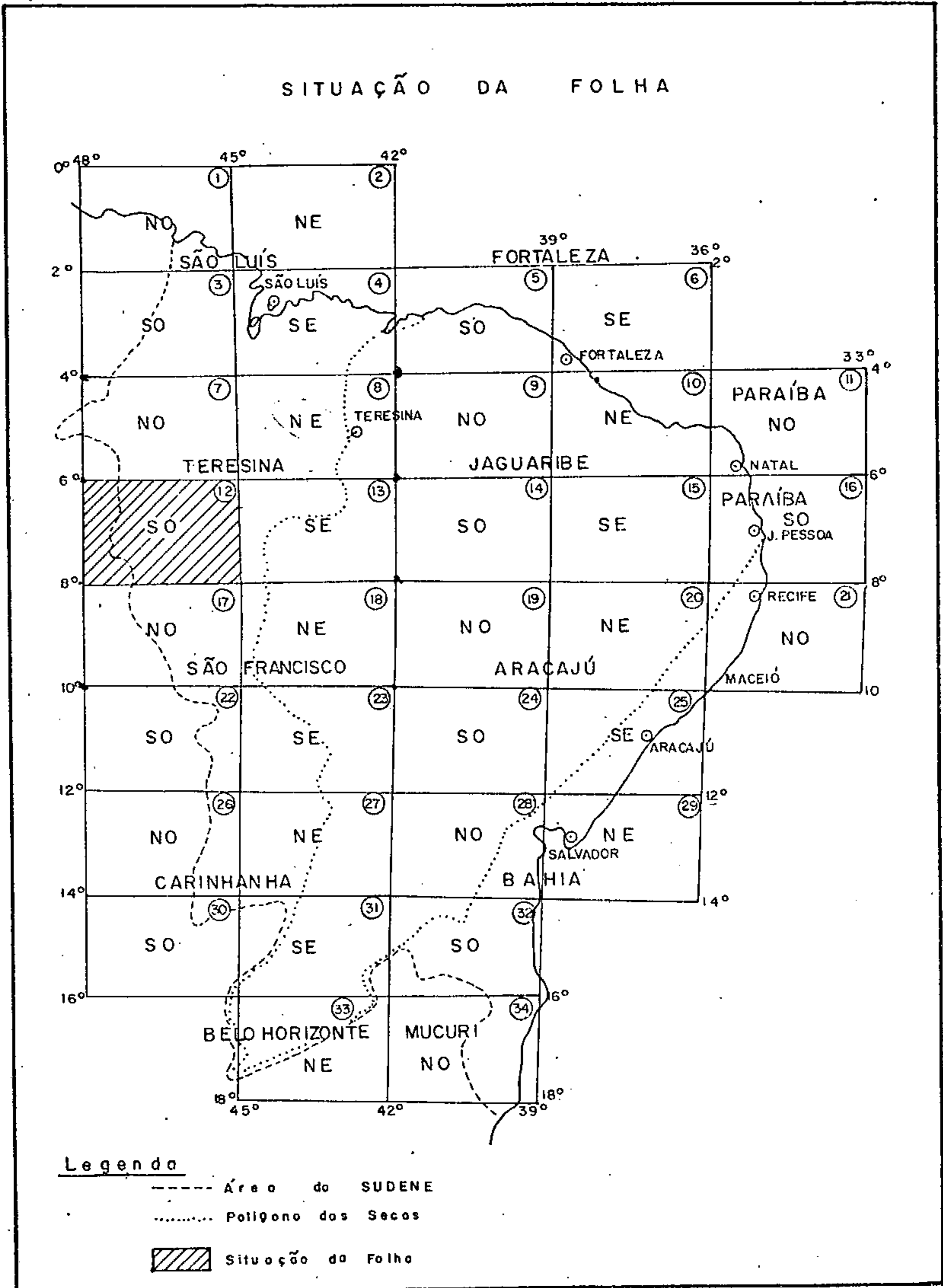


Fig. 1.3.1

1.4 - ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS

Do ponto de vista sócio-econômico, a área em estudo, apresenta algumas sedes municipais com condições satisfatórias de atendimento à população local, como por exemplo, as cidades de Tocantinópolis, em Goiás, e Balsas e Carolina, no Maranhão.

O atendimento médico hospitalar na região é feito por uma rede de hospitais controlada pela FSESP, além de serviços particulares e FUNRURAL.

O setor educacional encontra-se bastante desenvolvido, com uma escola de formação de professores em Tocantinópolis e grau médio em Balsas e Carolina.

Quanto ao fornecimento de água e energia, as principais cidades apresentam condições satisfatórias, com a existência de duas pequenas usinas hidroelétricas, uma em Tocantinópolis e outra em Carolina.

A comunicação é feita principalmente através de agências da Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos, existentes nas principais cidades e contando apenas com duas agências telefônicas, uma em Tocantinópolis e outra em Estreito, ambas em Goiás.

A economia da área está baseada principalmente na agricultura e na pecuária, além de já apresentar um avanço relativo no setor comércio-industrial.

A agricultura e a pecuária vêm apresentando um avanço considerável nos últimos anos, em função dos vários projetos agropecuários criados ao longo de toda região, com o incentivo dos órgãos governamentais.

As principais culturas regionais são arroz, mandioca, milho, cana-de-açúcar e, em menores proporções, feijão, algodão e fava. Atualmente, com o aparecimento dos

projetos agro-pecuários, estão começando a surgir novas culturas, com o aproveitamento de extensas áreas dos chapadões, enquanto os agricultores que já habitavam a região se utilizam de métodos rudimentares.

O setor pecuário tem o seu suporte primordial nos animais de abate para o consumo local, principalmente aves e suínos, já que os bovinos se destinam à exportação para os grandes centros.

O comércio está concentrado principalmente, em Tocantinópolis, Balsas e Carolina, que já apresentam firmas especializadas nos diversos ramos, satisfazendo plenamente a demanda regional.

Do ponto de vista industrial, é de real importância para a região, a Tobasa - Tocantins Babaçu S/A. - indústria especializada nas mais diversas formas de industrialização do babaçu, inclusive a extração do álcool, torta e óleo. Outros setores industriais de relevante importância são as beneficiadoras de arroz e madeira espalhadas por toda área.

Quanto ao setor rodoviário, a área está cortada em sentido sul-norte na faixa oeste pela rodovia Belém-Brasília-BR-010, totalmente asfaltada e cortada também no sentido este-oeste pela estrada Transamazônica-BR 230, ainda não pavimentada. Todas as cidades existentes na área estão ligadas, umas às outras, por estradas de barro, sendo o acesso ao interior, feito de maneira precária.

1.5 - POPULAÇÃO

A região destaca-se por apresentar um escasso povoamento, com grandes vazios demográficos, estando a população concentrada, principalmente, nos centros urbanos

e, ao longo dos vales dos rios.

A área em estudo compreende oito micro-regiões homogêneas com um total de vinte e um municípios, distribuídos dentro dos Estados de Goiás, Maranhão e Piauí (Fig. 1.5.1).

De acordo com o Anuário Estatístico Brasileiro de 1976, foi possível se conhecer a população estimada para cada município e micro-região homogênea, assim também como a densidade demográfica, e a população total, que é de, aproximadamente 229.323 habitantes. O Quadro 1.5.2. representa a distribuição populacional por micro-região homogênea e por município.

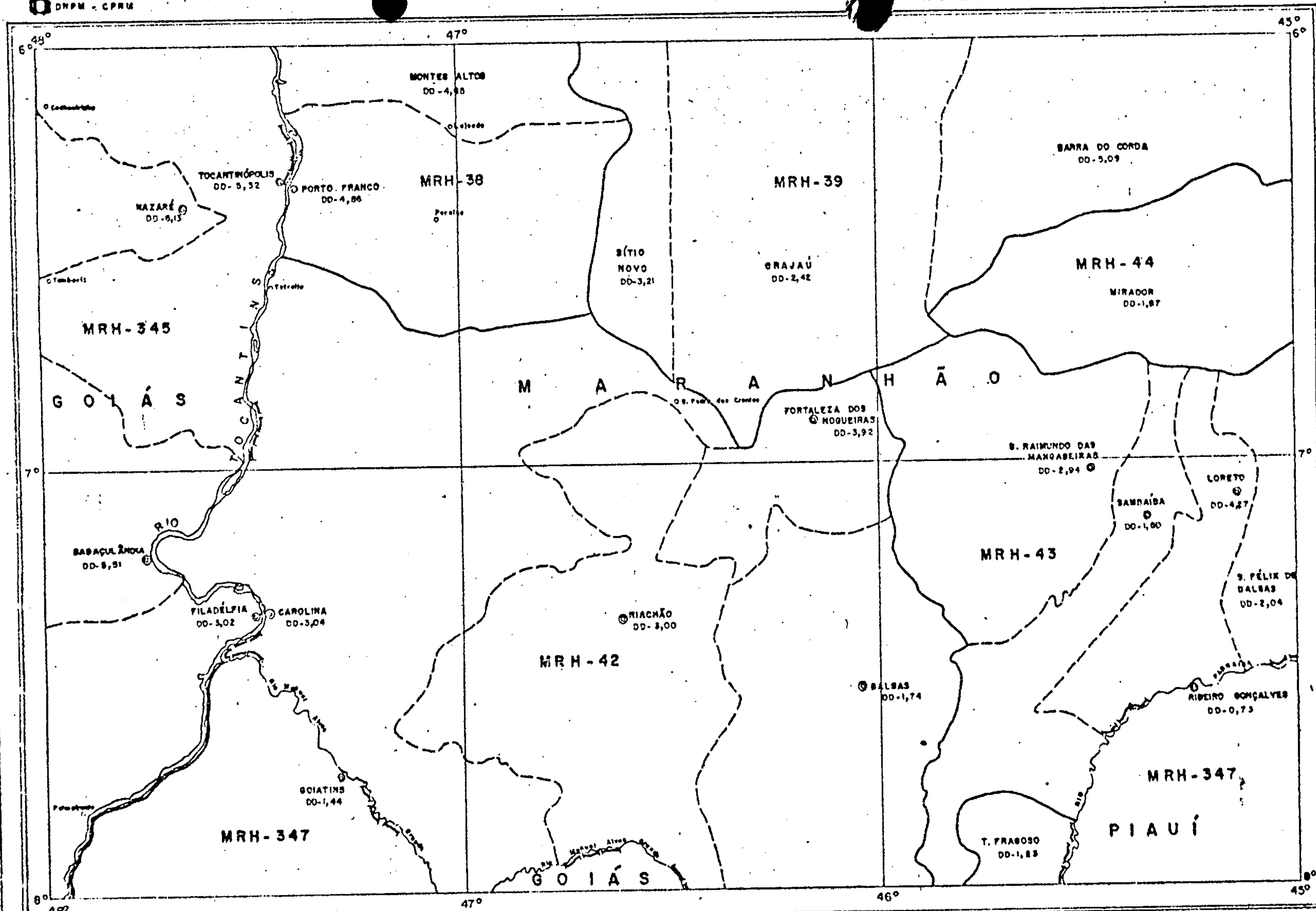
1.6 - MÉTODOS DE TRABALHO

Durante a realização do inventário obedeceu-se a seguinte metodologia para a execução dos trabalhos:

Inicialmente procedeu-se à coleta de todos os dados bibliográficos referente à região, fase esta, realizada por todos os componentes do Subprojeto Hidrogeologia.

Os trabalhos de campo, constando de observação e cadastramento de pontos de água, foram realizados em oito etapas de, aproximadamente, 25 dias cada, utilizando-se, como mapa de apoio, quatro folhas de escala de 1:250.000 da Carta Internacional ao Milionésimo.

A execução destes trabalhos ficou a cargo de uma equipe formada por um geólogo, sempre acompanhado por um motorista e outra equipe com dois técnicos em mineração, para a realização do levantamento barométrico.

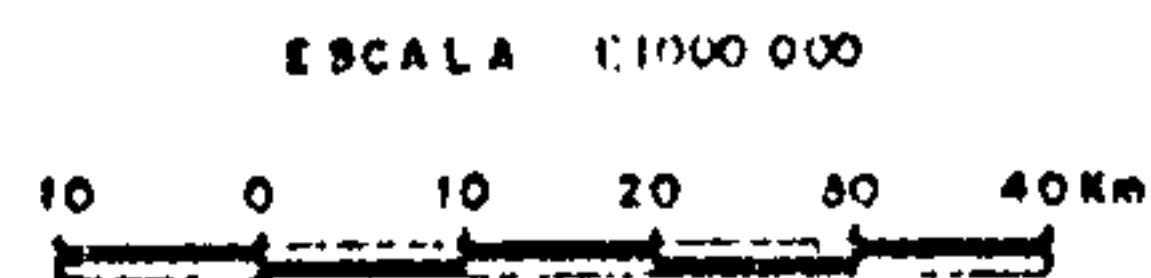


DIVISÃO MUNICIPAL
 MICRO-REGIÃO HOMOGÊNEA
 DENSIDADE DEMOGRÁFICA

CONVENÇÕES

- ⊙ Cidades
- Povoados
- ~ Rios
- - - Limite Interestadual
- Limite Municipal
- Limite de Micro-Região

MR-42 Micro-Região
 DD-065 Densidade Demográfica (hab./Km²)



QUADRO: 1.5.2

DISTRIBUIÇÃO POPULACIONAL POR MUNICÍPIO E MICRO-REGIÃO HOMOGÊNEA DA FOLHA-12

ESTADO	MICRO-REGIÃO HOMOGÊNEA	MUNICÍPIO	POPULAÇÃO (hab)		ÁREA (Km ²)		DENSIDADE DEMOGRÁFICA (hab/Km ²)	TOTAL DA MICRO-REGIÃO NA FOLHA	
			DO MUNICÍPIO	DA FOLHA-12	DO MUNICÍPIO	DA FOLHA-12		POPULAÇÃO	ÁREA
MARANHÃO	38	MONTES ALTOS	15.470	6.278	3.329	1.350	4,65	27.700	5.757
		PORTO FRANCO	21.422	21.422	4.407	4.407	4,86		
	39	BARRA DO CORDA	71.518	21.724	14.518	4.268	5,09	42.998	12.555
		GRAJAU	40.881	16.315	16.872	6.742	2,42		
		SITIO NOVO	8.009	4.959	2.498	1.545	3,21		
	42	BALSAS	21.678	9.419	12.436	5.413	1,74	65.886	23.850
		CAROLINA	31.949	31.503	10.516	10.363	3,04		
		FORTALEZA DOS NOGUEIRAS	7.866	7.866	2.006	2.006	3,92		
		RIACHÃO	17.879	16.326	5.351	5.440	3,00		
		TASSO FRAGOSO	5.583	772	4.521	628	1,23		
	43	LORETO	8.123	8.123	1.903	1.903	4,27	27.415	10.209
		SAMBAIBA	5.102	4.872	3.188	3.045	1,60		
		SÃO FELIX DE BALSAS	4.786	2.342	2.346	1.148	2,04		
		S. RAIMUNDO DAS MANGABEIRAS	12.078	12.078	4.113	4.113	2,94		
	44	MIRADOR	14.890	6.597	7.957	3.528	1,87	6.597	3.528
	PIAUI	52	RIBEIRO GONÇALVES	8.841	2.021	12.172	2.769	0,73	2.021
GOIÁS	345	BABAÇULÂNDIA	18.623	12.012	3.382	2.180	5,51	51.742	10.485
		FILADELFIA	19.325	7.091	6.398	2.348	3,02		
		NAZARÉ	7.560	7.172	1.233	1.170	6,13		
		TOCANTINÓPOLIS	29.813	25.467	5.602	4.787	5,32		
	347	GOIATINS	16.251	4.964	11.298	3.447	1,44	4.964	3.447
TOTAL DA FOLHA				229.323		72.600	3,23	229.323	72.600

FONTE: ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL - 1976 (IBGE)

Com o término das etapas de campo, os trabalhos de escritório para o processamento dos dados obedeceram a seguinte ordem:

- a) organização dos Catálogos de pontos de água;
- b) confecção das sete bases que compõem o mapa hidrogeológico da Folha;
- c) redação do texto do relatório final, ficou a cargo do geólogo responsável pela Folha.

1.7. DADOS FÍSICOS DE PRODUÇÃO

Durante os trabalhos de campo e escritório para a execução do Inventário Hidrogeológico da Folha-12, Teresina-SO, foram processados os seguintes dados físicos de produção:

- Consulta bibliográfica de 43 documentos.
- Cadastramento de 320 pontos de água, assim distribuídos:
 - 14 poços tubulares
 - 81 poços manuais
 - 225 fontes
- Coleta de 112 amostras de água para realização de análises químicas;
- Execução de 80 análises químicas dos diferentes aquíferos, classificadas de acordo com condutividade elétrica, pH e distribuição geológica;
- Durante os trabalhos de campo foram percorridos 37.131km a veículo e 180 km a pé;
- Levantamento barométrico de 156 pontos de água.

1.8 - TRABALHOS ANTERIORES

O único trabalho de caráter hidrogeológico realizado na área é o Capítulo de Hidrogeologia do "Levantamento Básico dos Recursos Naturais da Bacia do Parnaíba", elaborado pela SERETE/S/A para a SUDENE em 1974, obedecendo metodologia similar à utilizada no Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste.

Podem ser citados, também, alguns trabalhos de caráter não hidrogeológicos que cobrem, total, ou apenas parcialmente, a área estudada, tais como:

- O Projeto Estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba, executado pela CPRM para o DNPM em 1978. Projeto de pesquisa geológica e que estabeleceu conceitos inéditos, concernentes à estratigrafia, estrutura, parâmetros geoquímicos, metalogêneses, geo-economia e outros aspectos técnico-geológicos da extensa área pesquisada;
- 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;
- Relatórios de investigações geológicas realizadas pela Petrobrás, em partes da área, tais como: Semi-detalle da região Sudoeste de Balsas-MA (Rel. 218), Geologia do Sudeste de Balsas (Rel. 224); Mapeamento Geológico em Semi-detalle do Sudoeste de Riachão (Rel. 260), Geologia da Região Norte de Balsas (Rel. 268) e Geologia Sudoeste de Carolina (Rel. 270);
- Projeto Carvão da Bacia do Parnaíba, realizado pela CPRM, para o DNPM, em 1975.

2 - ASPECTOS GERAIS

2.1 - ELEMENTOS CLIMÁTICOS

As condições climáticas de uma dada região são responsáveis, diretamente, pelo seu ciclo hidrológico e, também, controlam sobremaneira a alimentação e renovação das águas subterrâneas dos diferentes sistemas aquíferos.

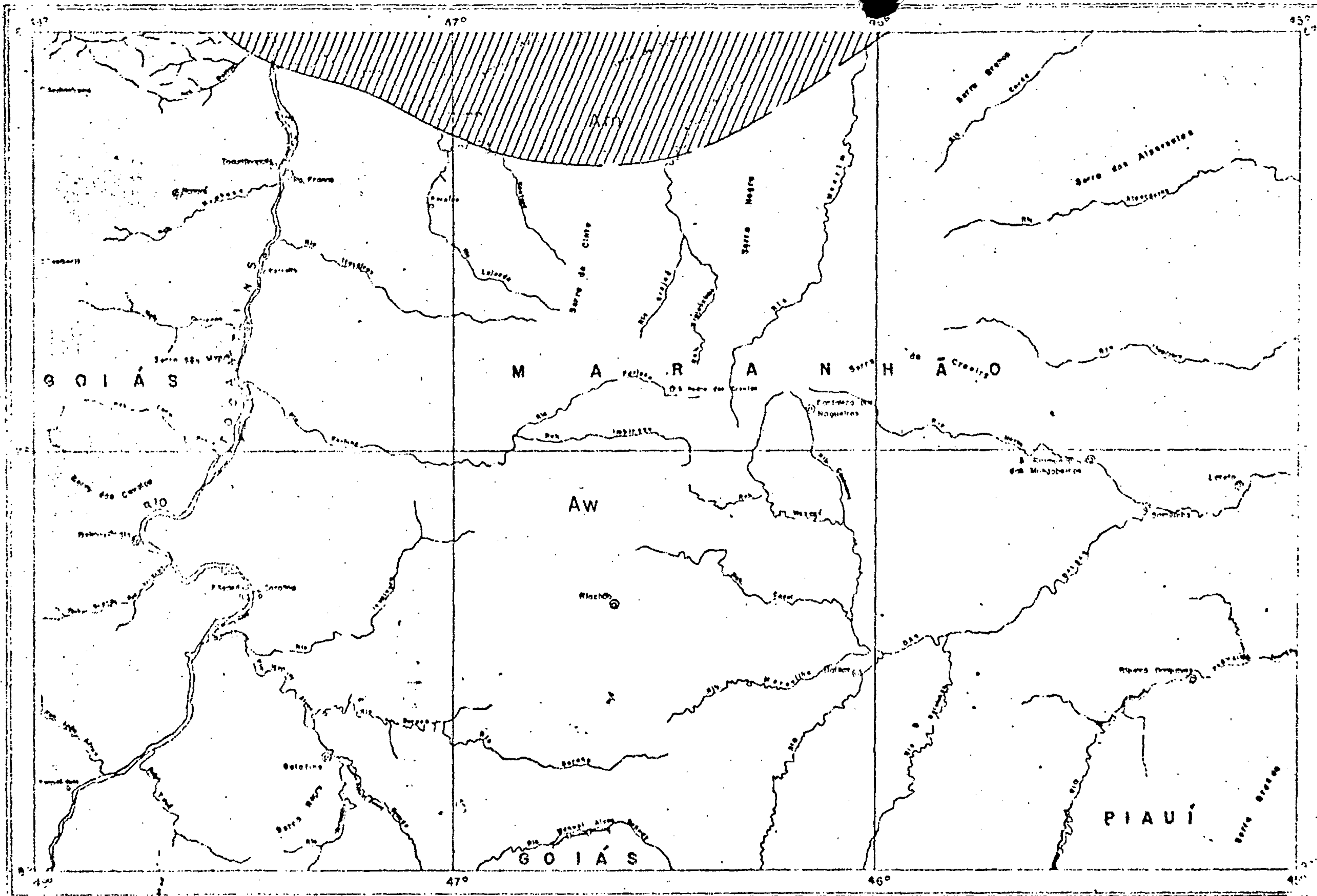
Na área em estudo, as estações hidrometeorológicas são em número reduzido, existindo apenas nas cidades de Balsas e Carolina, Estado do Maranhão e com observações incompletas; no entanto, serão feitas algumas referências aos elementos: clima, pluviometria, temperatura, zoneamento árido, umidade relativa, insolação, vento, evaporação e evapotranspiração.

Nos Quadros 2.1.8. e 2.1.9 estão representados os valores das observações hidrometeorológicas das estações de Balsas e Carolina, no Estado do Maranhão, os quais serão objetos de discussão quando da descrição sumária das referidas unidades.

2.1.1 - Clima

De acordo com a classificação de Koppen, a área em estudo é caracterizada por dois tipos de clima : Aw e Am, (Fig. 2.1.1.1).

O tipo de clima Aw (Savana Tropical) compreende quase a totalidade da Folha e se caracteriza por ser quente e úmido e apresentar um pequeno retardamento da es

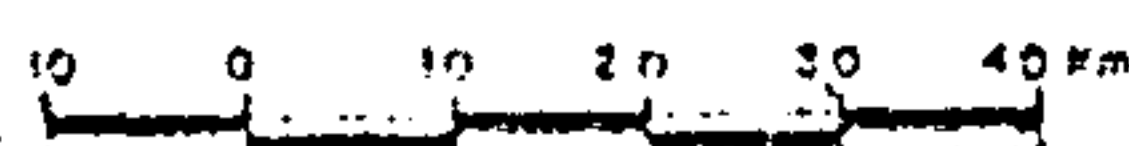


TIPOS DE CLIMAS
SEGUNDO KOPPEN

CONVENÇÕES

- ⊙ Cidades
- Povoados
- ~ Rios
- - - Limite Interestadual
- ▨ Clima Am
- Clima Aw

ESCALA 1:1000000



QUADRO: 2.1.8

DADOS HIDROMETEOROLÓGICOS DA ESTAÇÃO DE BALSAS PERÍODO 1976 — 1978

MESES	PRESSÃO ATMOSFÉRICA (mb)	TEMPERATURA DO AR (°C)					UMIDADE RELATIVA (%)	NEBULOSIDADE (0-10)	PRECIPITAÇÃO		VENTO		EVAPORAÇÃO TOTAL mm	INSOLAÇÃO TOTAL (Horas e decimos)
		MÁXIMA ABSOLUTA	MÉDIA DAS MÁXIMAS	MINIMA ABSOLUTA	MÉDIA DAS MINIMAS	MÉDIAS COMPENSADAS			ALTURA TOTAL mm	MÁXIMA EM 24h mm	D	Vm/s		
JANEIRO	981,2	33,2	30,2	19,9	21,7	24,5	81	6,2	228,4	71,5	NE	1,3	82,1	146,1
FEVEREIRO	980,4	33,4	30,3	20,3	21,4	24,0	84	7,9	168,3	141,0	NE	1,3	70,4	97,4
MARÇO	980,4	33,2	30,5	20,5	21,8	24,4	83	7,4	182,2	67,0	NE	1,3	78,9	124,5
ABRIL	980,0	33,2	31,0	19,5	21,6	24,5	81	6,8	139,1	48,1	SE	1,2	80,3	171,7
M A I O	980,8	32,6	30,9	17,8	21,7	24,8	78	5,9	124,6	26,1	SE	1,2	101,2	225,7
JUNHO	982,5	32,9	30,6	17,7	21,2	24,4	68	3,0	23,8	37,7	SE	1,5	143,4	264,4
JULHO	982,0	34,0	32,7	15,3	20,6	25,0	59	3,0	4,6	2,7	SE	1,7	191,8	290,7
AGOSTO	981,9	36,0	34,3	15,5	20,9	25,0	48	2,1	2,7	2,7	SE	1,7	233,4	310,2
SETEMBRO	980,7	36,2	34,3	16,4	21,1	25,4	54	4,0	31,5	14,2	NE	1,7	201,5	247,8
OUTUBRO	979,9	35,8	32,1	11,8	20,8	26,1	70	6,0	93,0	23,2	NE	1,5	139,6	183,9
NOVEMBRO	979,5	34,3	31,1	19,7	21,3	25,5	76	6,0	137,4	53,3	NE	1,3	98,0	163,5
DEZEMBRO	979,5	33,8	30,8	19,8	21,7	25,5	78	6,3	121,9	41,9	NE	1,3	86,0	148,5
A N O	980,7	36,2	31,6	11,8	21,3	24,9	72	5,4	1.311,5	141,0	NE/SE	1,4	1.506,6	2.374,4

QUADRO: 2.1.9

DADOS HIDROMETEOROLÓGICOS DA ESTAÇÃO DE CAROLINA PERÍODO 1913 - 1960
1975 - 1978

MESES	PRESSÃO ATMOSFERICA (mb)	TEMPERATURA DO AR (°C)					UMIDADE RELATIVA (%)	NEBULOSIDADE (0-10)	PRECIPITAÇÃO		VENTO		EVAPORAÇÃO TOTAL mm	INSOLAÇÃO TOTAL (Horas e decimos)
		MÁXIMA ABSO- LUTA	MÉDIA DAS MÁXIMAS	MINIMA ABSO- LUTA	MÉDIA DAS MINIMAS	MÉDIAS COMPEN- SADAS			ALTURA TOTAL mm	MÁXIMA EM 24h mm	D	Vm/s		
J A N E I R O	990,8	37,1	31,8	16,1	21,5	25,3	83,6	6,9	242,6	112,0	SE	1,4	69,7	158,3
F. E V E R E I R O	990,8	36,3	31,8	16,7	21,5	25,6	84,3	7,0	225,9	96,4	SE	1,5	59,5	114,1
M A R Ç O	990,7	36,5	31,9	16,5	21,8	25,8	84,4	6,9	293,6	107,6	SE	1,4	66,8	133,6
A B R I L	991,1	36,5	32,3	16,9	21,7	26,1	82,0	5,8	166,5	133,6	SE	1,3	70,9	163,0
M A I O	991,7	38,1	33,5	13,5	20,8	26,4	74,2	3,9	47,0	62,0	SE	1,3	99,3	207,4
J U N H O	992,8	37,5	34,6	13,1	19,1	26,1	63,8	2,4	8,1	34,4	SE	2,3	161,9	273,3
J U L H O	993,3	38,5	35,3	10,5	18,3	26,3	55,3	2,1	9,8	65,6	SE	2,1	240,7	260,2
A G O S T O	992,4	39,7	36,8	11,5	19,5	27,7	48,9	2,0	4,6	30,0	SE	2,3	236,8	247,1
S E T E M B R O	991,4	40,3	36,3	15,1	21,6	28,3	60,6	3,8	39,8	98,0	NE	2,1	197,8	215,2
O U T U B R O	990,7	40,3	34,0	16,7	22,1	27,1	72,9	5,4	118,7	86,0	NE	1,3	110,0	181,1
N O V E M B R O	989,7	38,9	32,6	17,1	21,9	26,4	79,8	6,1	190,1	80,2	NE	1,5	74,5	148,7
D E Z E M B R O	990,2	37,9	32,1	16,7	21,7	26,1	82,1	6,4	217,0	93,6	NE	1,5	74,5	164,4
A N O	991,3	40,3	33,6	10,5	21,5	26,5	72,7	4,9	1.563,7	133,6	NE/ SE	1,7	1.462,4	2.246,4

FONTE: ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL - 1976 (IBGE)
DEPARTAMENTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - M.A.

tação chuvosa; é caracterizado, também, por duas estações bem definidas, a chuvosa e a seca. O período de chuvas inicia-se em novembro, se prologando até abril, apresentando pico máximo entre janeiro e março. O período de verão se estende de maio a outubro, com altas temperaturas durante o dia e noites frias, principalmente nos meses de junho e julho.

O tipo de clima Am, domina apenas pequena porção da parte norte da área. De características semelhantes ao clima Aw, se apresenta quente e úmido, tendo apenas a sua precipitação um pouco mais elevada e seu período chuvoso mais prolongado, vindo assim compensar a estação seca, permitindo que a vegetação dominante seja a floresta.

2.1.2 - Pluviometria

A área está relativamente bem servida de estações de observações pluviométricas, existindo um total de 21 unidades; entretanto, apresentam leituras incompletas e período de observação bastante curto, como pode ser visto no catálogo de observações pluviométricas (Fig. 2.1.2.1).

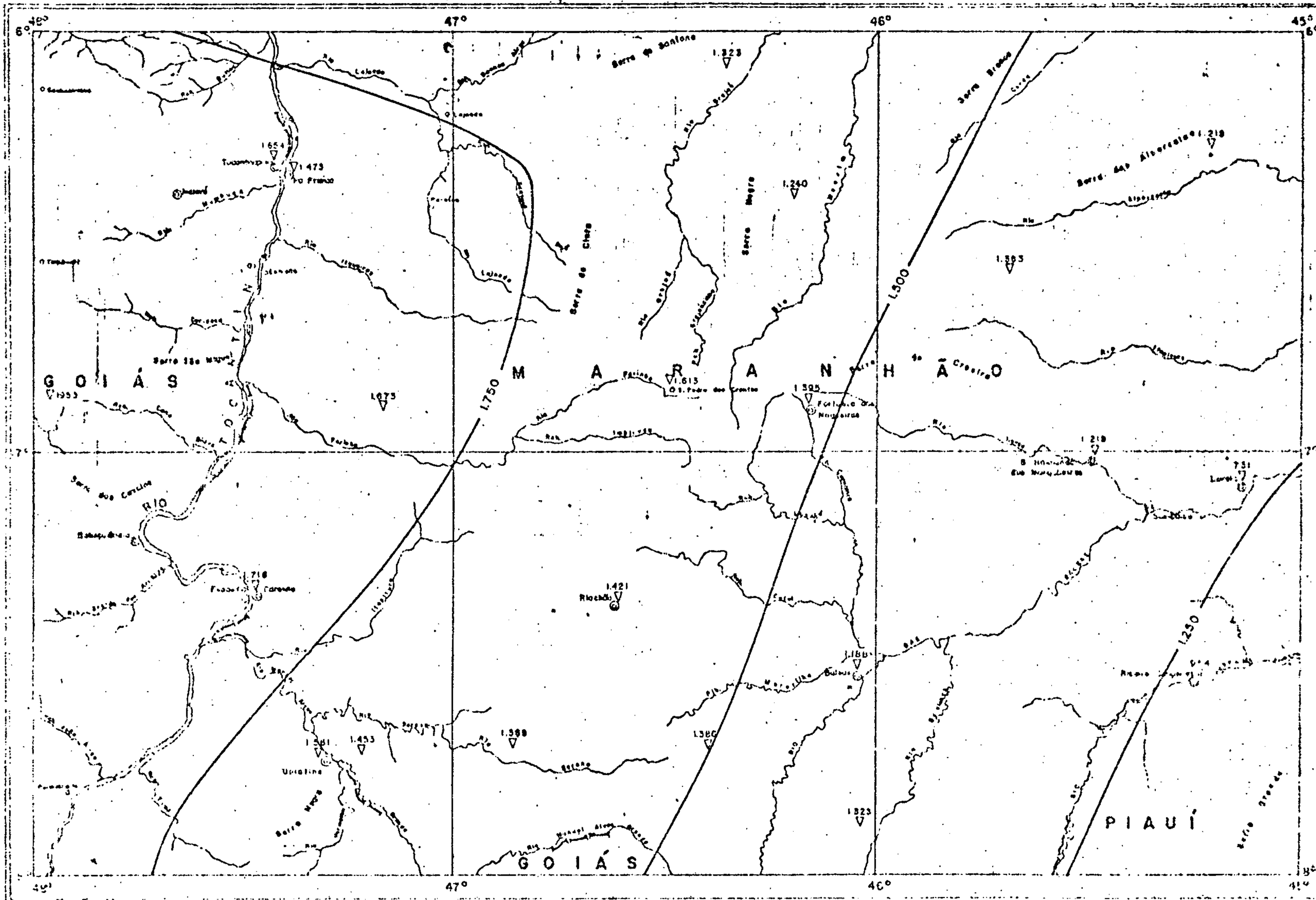
De posse dos dados destas estações confeccionou-se o Quadro 2.1.2.2. onde estão representadas todas as médias mensais e totais anuais das precipitações, das diversas estações da área, durante seus períodos de observações.

De acordo com o mapa de isoietas médias mensais, Fig. 2.1.2.3, elaborado por Edmon Nimer, (Fundação IBGE), a pluviometria média desta área tem seus valores crescentes no sentido de este para oeste. Contém, o referido mapa, as linhas de isoietas médias mensais de 1.250, 1.500 e 1.750 mm.

QUADRO: 2.1.2.2

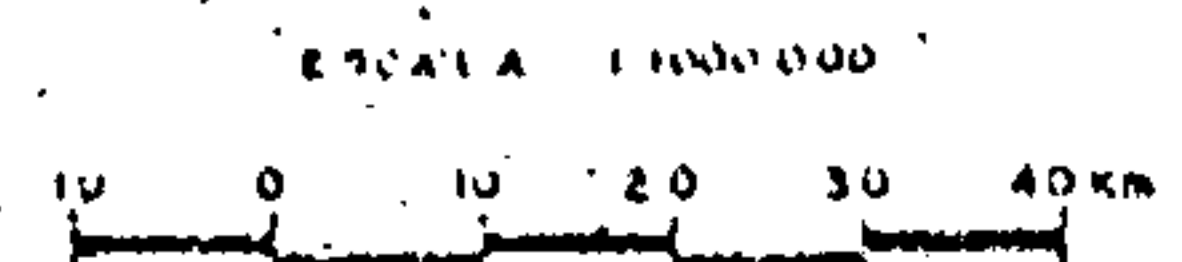
PRECIPITAÇÕES MÉDIAS MENSAIS E TOTAIS ANUAIS DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS DA FOLHA-12

ESTAÇÃO		PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL (mm)												TOTAL MÉDIO ANUAL (mm)
CÓDIGO	NOME	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
08.07.47.02	GOIATINS - GO	216	256	295	170	66	32	24	12	40	125	162	165	1.561
08.06.47.01	TOCANTINOPOLIS - GO	278	217	327	262	98	17	15	23	26	98	139	154	1.654
08.06.47.02	WANDERLÂNDIA - GO	232	327	390	269	131	39	26	3	33	117	176	172	1.953
36 56 524	ANGICOS - MA	195	174	231	185	56	11	0	6	47	87	209	122	1.368
36 57 096	BALSAS - MA	193	186	161	159	34	2	0	4	30	120	132	167	1.188
36 48 909	BREJO COMPRIDO BÔTO - MA	213	190	228	179	36	15	13	4	25	105	138	146	1.323
36 45 609	CAROLINA - MA	250	227	310	229	77	34	10	14	71	116	198	182	1.718
36 27 409	CONCEIÇÃO - MA	152	198	272	234	71	18	13	7	21	61	131	121	1.323
36 57 308	COQUEIRO	219	208	234	173	59	20	12	15	45	108	174	172	1.386
36 27 693	FORMOSA - MA	180	198	254	221	69	14	12	7	30	71	100	125	1.240
36 37 867	FORT. DOS NOGUEIRAS - MA	195	223	276	207	45	20	7	7	23	95	139	156	1.395
36 45 452	GENIPAPO - MA	235	251	236	214	95	19	11	19	43	134	195	221	1.673
36 55 458	HELINÓPOLIS - MA	182	232	251	159	43	23	7	12	40	125	191	174	1.453
36 38 078	JOSÉ MIGUEL - MA	198	197	213	175	55	36	12	9	67	97	160	177	1.383
36 49 176	LORETO - MA	155	158	114	62	25	7	11	13	10	52	96	108	731
36 25 623	PORTO FRANCO - MA	171	224	219	215	97	41	22	16	57	84	135	166	1.473
36 29 559	RESPLANDES - MA	171	212	233	188	73	20	8	10	27	75	119	141	1.218
36 46 778	RIACHÃO - MA	107	304	263	181	43	13	0	2	31	109	153	232	1.421
36 36 226	S. PEDRO DOS CRENTES - MA	240	244	330	240	88	51	14	18	43	101	171	162	1.613
36 49 005	S. RDO DAS MANGABEIRAS - MA	217	185	204	165	39	6	7	3	26	81	132	165	1.218
36 59 05	RIBEIRO GONÇALVES - PI	159	114	141	124	22	5	1	0	16	67	155	150	954



ISOIETAS MÉDIAS ANUAIS
SEGUNDO: EDMON NIMER-1977

- CONVENÇÕES
- ⊙ Cidades
 - Povoados
 - ~ Rio
 - - - Limite interestadual
 - 1200 Curva de isoietas
 - ∇ Estação pluviométrica
 - 1718 Pluviometria média anual



Com base nos dados pluviométricos verificados nas estações da área (Quadro 2.1.2.2), foram elaborados os gráficos de precipitações médias mensais, Figs. 2.1.2.4 a 2.1.2.8, onde estão representados os padrões de distribuições médias mensais das chuvas. Observa-se, de um modo geral, para toda área, que os picos máximos das precipitações, se verificam entre janeiro e março, enquanto os valores mínimos a nulos, ocorrem de junho a agosto.

Dentre os postos pluviométricos, a estação de Wanderlândia, no Estado de Goiás, apresentou a maior precipitação média anual registrada, (1.953 mm) enquanto, Loreto, no Estado do Maranhão, apresenta a menor média anual (731mm).

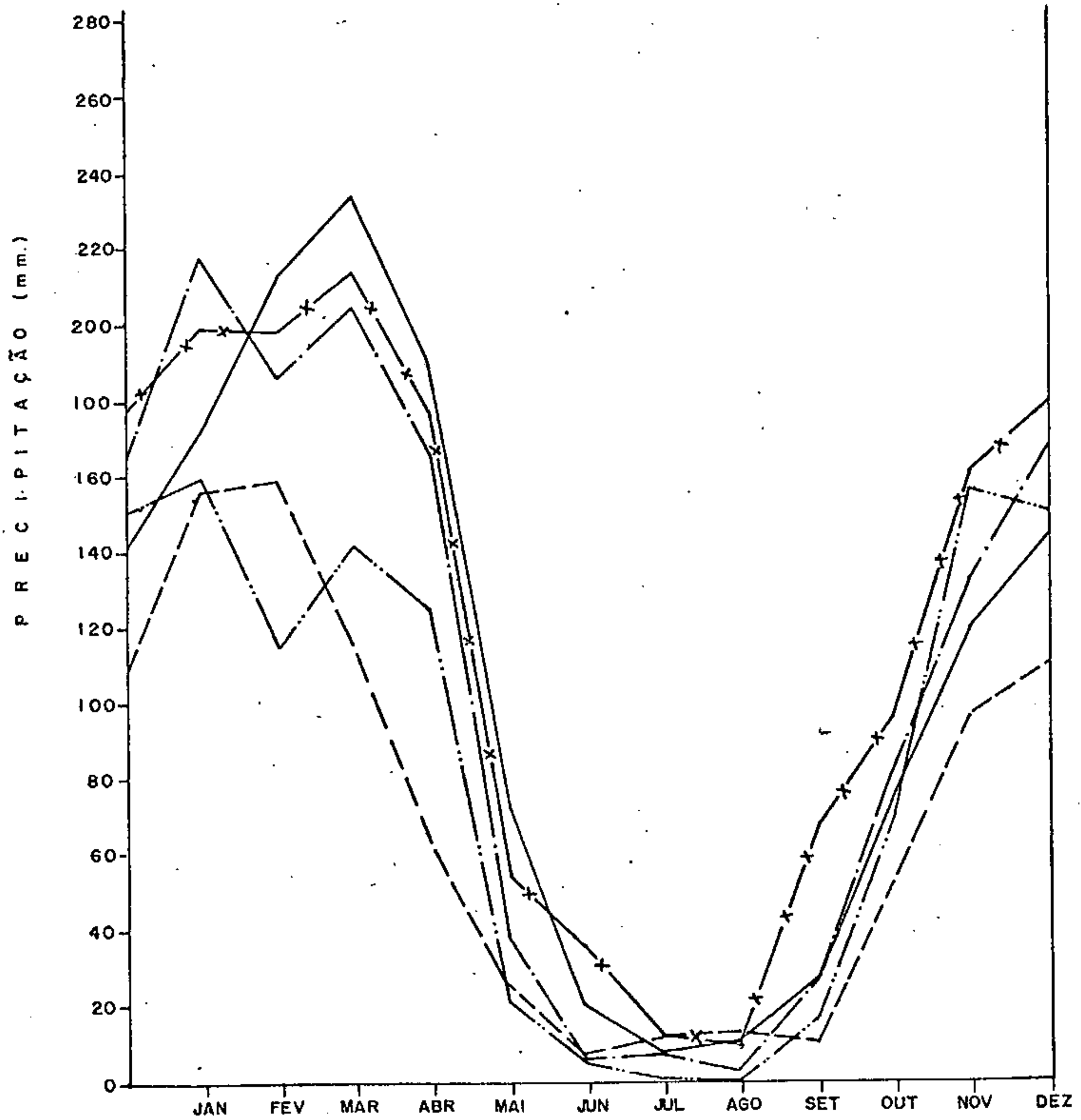
2.1.3 - Temperatura

Dentro dos limites da Folha 12, existem apenas duas estações hidrometeorológicas em condições de determinar a temperatura média mensal, que são, Balsas e Carolina no Estado do Maranhão. O Quadro 2.1.3.1 representa as temperaturas médias mensais e anuais das referidas estações.

QUADRO 2.1.3.1
TEMPERATURAS MÉDIAS MENSAIS EM BALSAS
E CAROLINA

ESTAÇÃO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
CAROLINA	25,5	25,6	25,8	26,1	26,4	26,1	26,3	27,7	28,3	27,1	26,4	26,1
BALSAS	24,5	24,0	24,4	24,5	24,8	24,4	25,0	25,0	25,4	26,1	25,5	25,5

PRECIPITAÇÕES MÉDIAS MENSAIS



CONVENÇÕES

SIMBOLO	LOCALIDADE	PERÍODO	MÉDIA mm./ano
—	RESPLANDES	1965 - 1978	1.218
-x-x-	JOSE MIGUEL	1965 - 1978	1.383
- - -	S. Rdo. das MANGABEIRAS	1963 - 1978	1.218
- . - . -	LORETO	1965 - 1977	731
.	RIBEIRO GONÇALVES	1962 - 1974	954

Fig. 21.2.4

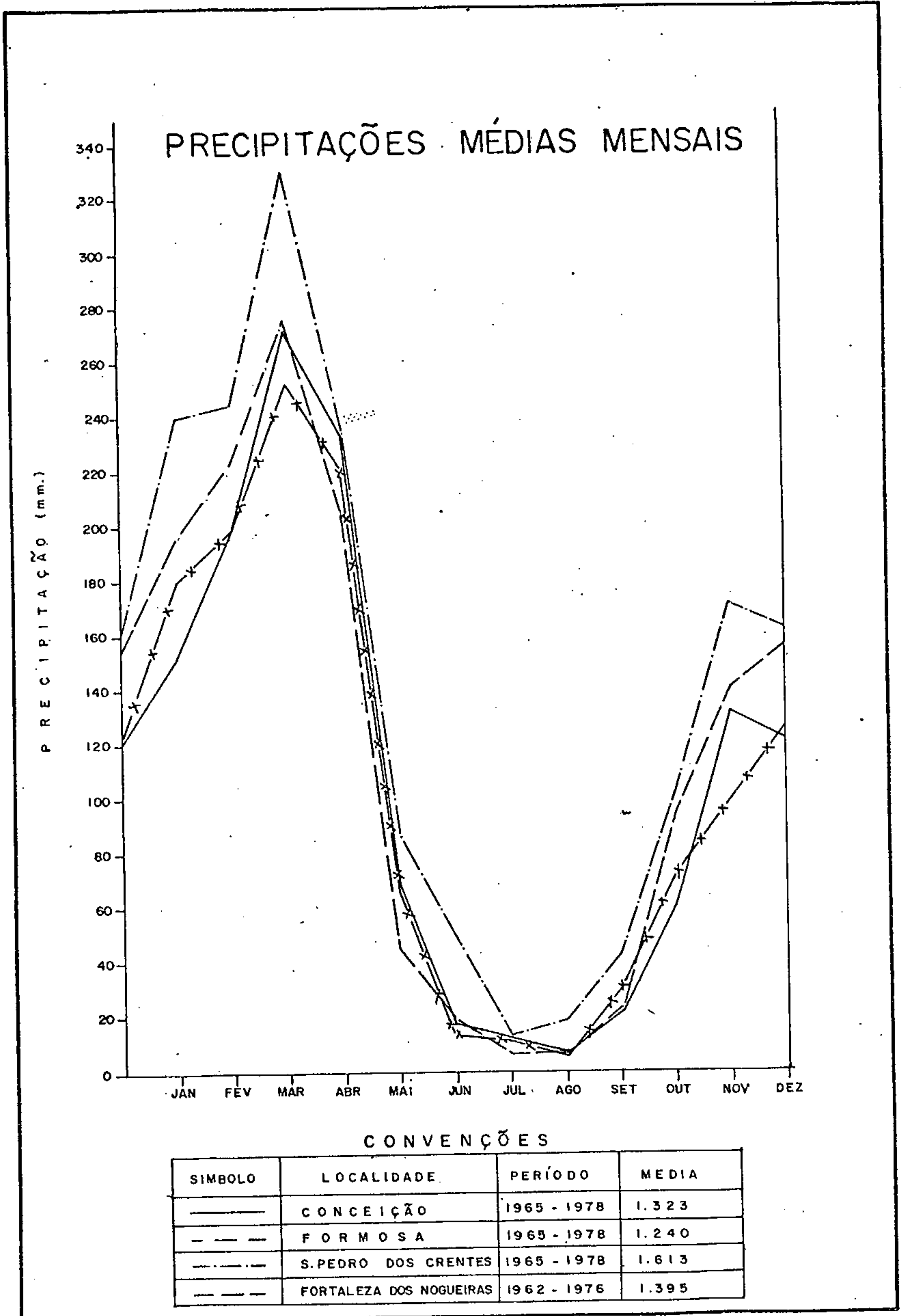
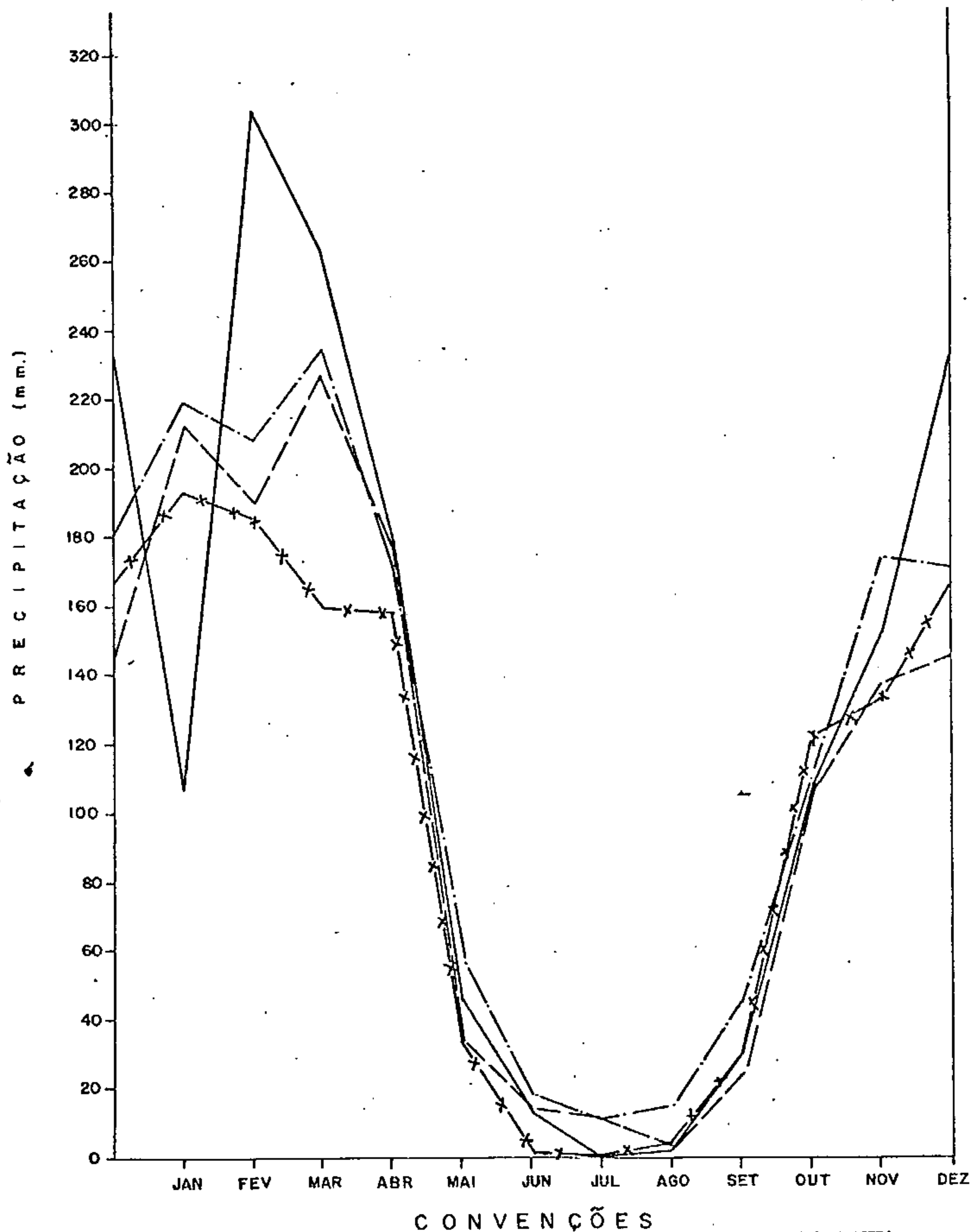


Fig. 2.1.2.5

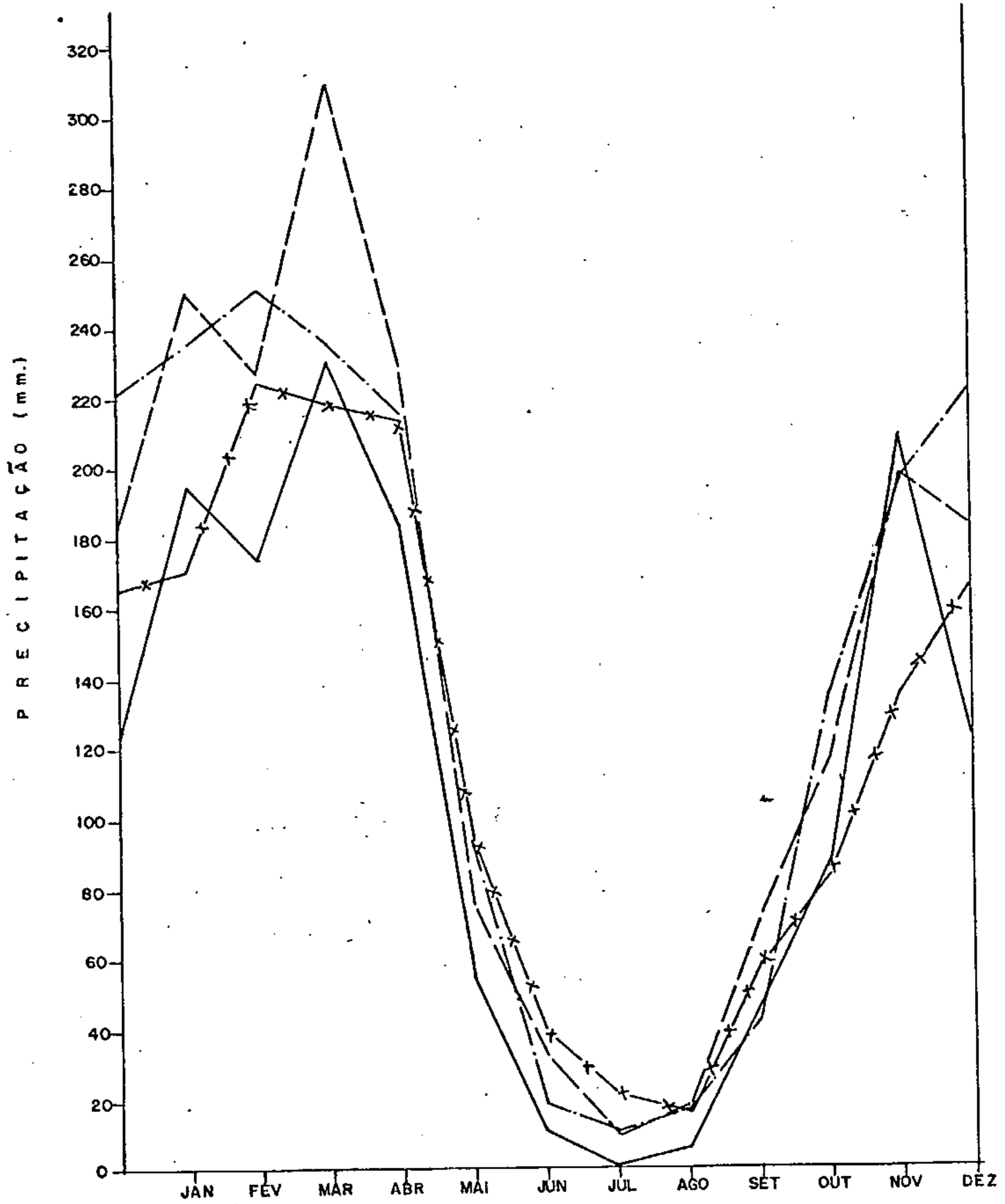
PRECIPITAÇÕES MÉDIAS MENSAIS



SIMBOLO	LOCALIDADE	PERÍODO	MÉDIA mm/ano
————	RIACHÃO	1963 - 1974	1.421
- - - -	BALSAS	1962 - 1978	1.188
- . - . - .	COQUEIRO	1965 - 1978	1.386
- * - *	BREJO COMPRIDO BOTO	1965 - 1978	1.323

Fig. 2.1.2.6

PRECIPITAÇÕES MÉDIAS MENSAIS



CONVENÇÕES

SIMBOLO	LOCALIDADE	PERÍODO	MÉDIA mm
— — — — —	ANGICOS	1965 - 1978	1.368
-x-x-	PORTO FRANCO	1965 - 1975	1.473
-·-·-	GENIPAPO	1966 - 1974	1.673
- - - - -	CAROLINA	1965 - 1977	1.718

Fig. 2.1.2.7

CONVENÇÕES

SIMBOLO	LOCALIDADE	PERÍODO	MÉDIA mm
————	MELINÓPOLIS	1965 - 1978	1.453
- - - -	TOCANTINÓPOLIS	1969 - 1976	1.654
- · - · -	WANDERLÂNDIA	1973 - 1976	1.953
— · — · —	GOIANTINS	1971 - 1976	1.561

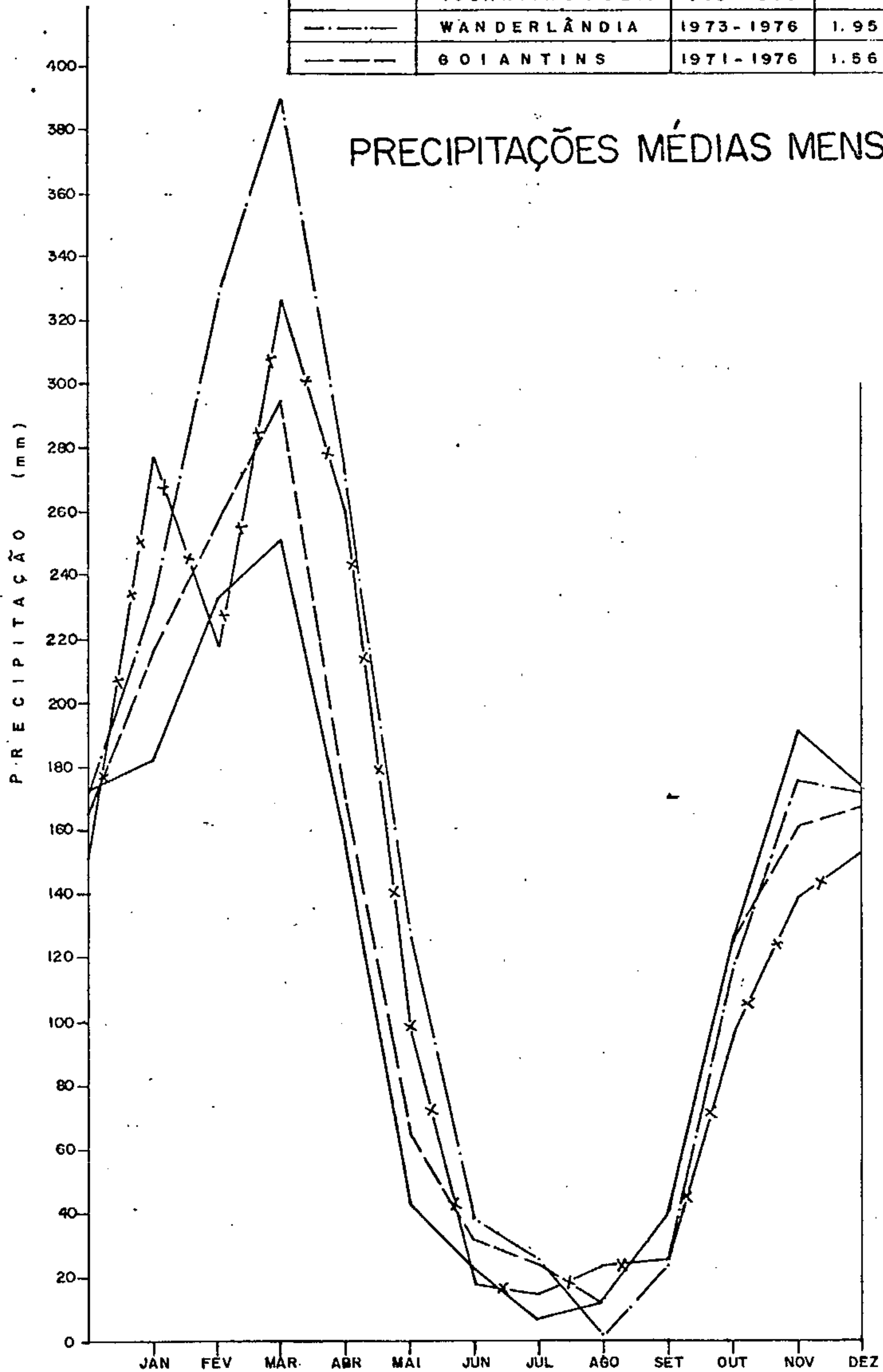


Fig. 2.1.2.8

A amplitude térmica anual verificada nas duas estações é relativamente pequena, não chegando a atingir 3°C a diferença entre o mês mais quente e o mês mais frio; entretanto, a diferença entre a máxima absoluta e a mínima absoluta, chega a atingir 24,4°C, oscilações estas, decorrentes, da passagem de frentes de ar quentes e frias.

Verificou-se também, de acordo com os dados disponíveis, que em Balsas o mês mais quente é outubro, com uma média mensal de 26,1°C, sendo o mês mais frio fevereiro, com uma média mensal de 24°C. Em Carolina registra-se a maior temperatura em setembro com 28,3°C e sendo janeiro o mês mais frio com 25,5°C.

2.1.4 - Zoneamento Árido

A aridez de uma dada região se faz conhecer pela simples aplicação da fórmula de De Martone, dependente apenas de dois parâmetros meteorológicos: precipitação e temperatura. É representada pela seguinte expressão:

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

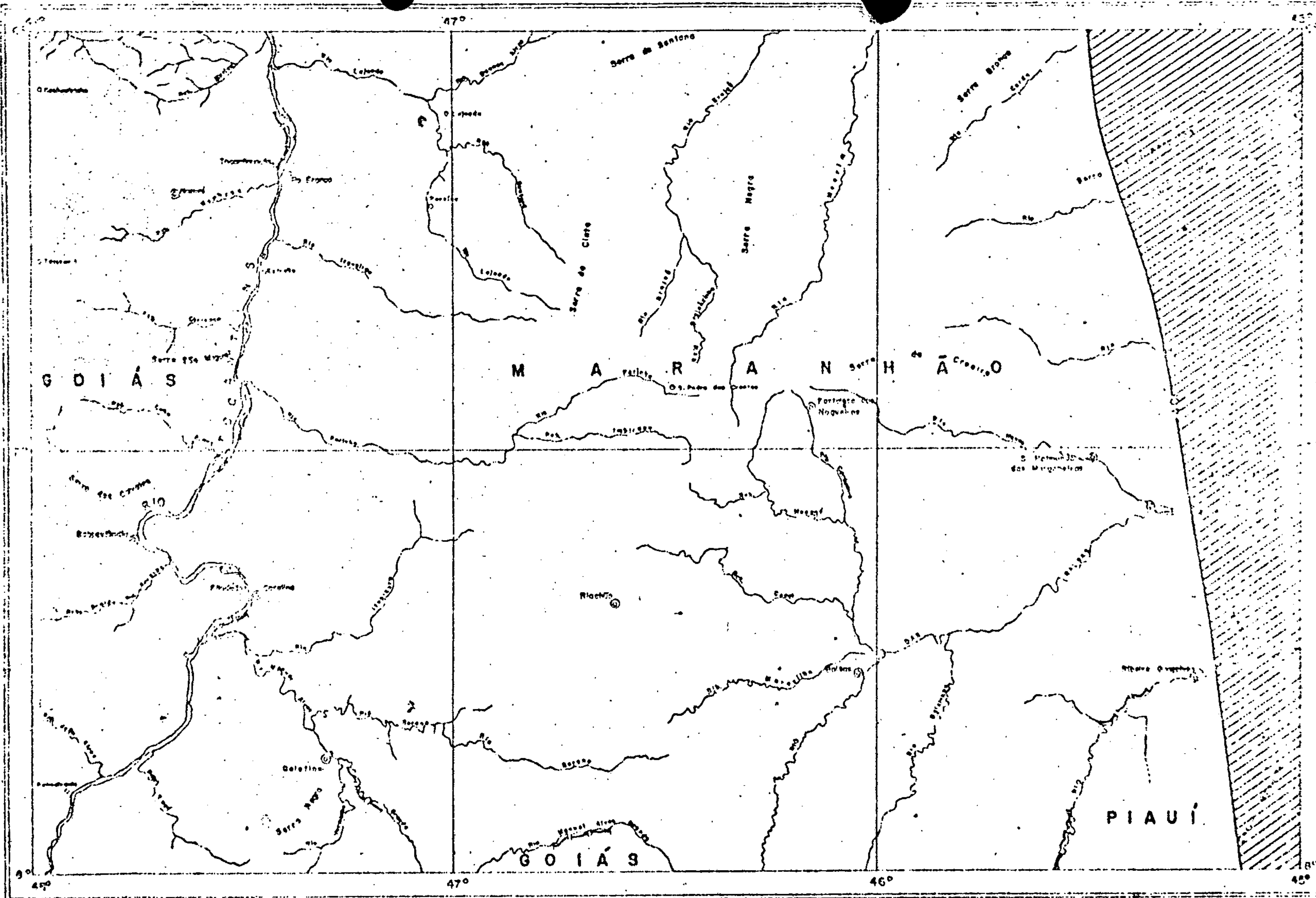
onde,

I = Índice de aridez

P = Precipitação total anual em mm

t = Temperatura média anual (°C)

A Fig. 2.1.4.1 representa o zoneamento árido para a área em estudo, extraído do "Mapa do Índice de Aridez no Nordeste do Brasil", elaborado pelo IBGE em 1956. Observa-se que a área está cortada no sentido sul-norte apenas



ZONEAMENTO ÁRIDO
(SEGUNDO E. DE MARTONNE)

- CONVENÇÕES**
- ⊙ Cidades
 - Povoados
 - ~ Rios
 - Limite interestaduais
 - ▨ 30-40
 - 40-50

ESCALA 1:1000.000



pela linha de índice 40, que divide a Folha em duas zonas distintas, o intervalo 30-40 ocupando pequena porção da faixa este, de maior aridez e o intervalo 40-50 de menor aridez compreendendo todo o restante da Folha.

A aridez desta área cresce de oeste para este, refletindo o comportamento da precipitação pluviométrica regional, visto que a mesma aumenta de este para oeste e a temperatura apresenta pouca variação anual.

De acordo com a correspondência dos índices de De Martone, com os vários tipos de aridez, Quadro 2.1.4.2, a área está classificada como floresta de escoamento permanente na parte este, e de grande floresta e escoamento abundante, para o restante da Folha.

QUADRO 2.1.4.2

CORRESPONDÊNCIAS DOS ÍNDICES DE DE MARTONE COM TIPOS DE ARIDEZ

ÍNDICES	DESCRIÇÃO	ESCOAMENTO
0 - 5	Deserto	Arreísmo
5 - 10	Estepe desértica	Endorreísmo
10 - 20	Transição	Temporário
20 - 30	Não precisa irrigação	Exorreísmo
30 - 40	Floresta	Permanente
40 - 50	Grande Floresta	Abundante

2.1.5 - Umidade Relativa, Insolação e Vento

A umidade relativa do ar registrada nas estações hidrometeorológicas de Balsas e Carolina, Estado do Maranhão, apresentam valores médios anuais balanceados por todo ano.

O Quadro 2.1.5.1. representa os valores médios mensais e anuais para as duas estações nos diferentes períodos de observações.

QUADRO 2.1.5.1.
UMIDADE RELATIVA DO AR EM
BALSAS E CAROLINA

Maranhão

ESTAÇÃO/ PERÍODO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
CAROLINA 1913/1960	83,6	84,3	84,4	82,0	74,2	63,8	55,3	48,9	60,6	72,9	79,8	82,1
BALSAS 1976/1978	81	84	83	81	78	68	59	48	54	70	76	78

Média anual: Carolina72,7%
Balsas72,0%

Observa-se uma umidade relativa máxima mensal de 84% no mês de fevereiro e uma mínima de 48% em agosto na estação de Balsas, enquanto no posto de Carolina é verificado um valor máximo de 84,4% em março e um mínimo de 48,9% em agosto. A umidade relativa do ar, média anual, apresenta valores percentuais bem próximos para as duas estações.

A insolação média anual verificada nos postos de observações da área são respectivamente 2.374 e 2.246,4 horas em Balsas e Carolina, conforme o Quadro 2.1.5.2.

Observa-se entretanto que a maior média mensal de insolação verificada na estação de Balsas é de 310,2 horas para o mês de agosto, enquanto em Carolina ocorrem em junho com uma média de 273,3 horas. As menores médias são respectivamente 97,4 e 114,1 hs, em Balsas e Carolina no mês de fevereiro.

QUADRO 2.1.5.2

DADOS DE INSOLAÇÃO EM BALSAS E CAROLINA

ESTAÇÃO/ PERÍODO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
BALSAS 1976-1978	146,1	97,4	124,5	171,7	225,7	264,4	290,7	310,2	247,8	183,9	163,5	148,5
CAROLINA 1910-1913	158,3	114,1	133,6	163,0	207,4	273,3	260,2	247,1	215,2	161,1	148,7	164,4

Média anual: Balsas2.374,4h

Carolina2.246,4h

Os ventos que sopram nesta área apresentam direção predominante de NE e SE, respectivamente, para os postos de Balsas e Carolina. As velocidades médias, nas duas estações, indicam valores muito próximos, variando de aragem a brisa leve, de acordo com a escala de Beaufort.

O Quadro 2.1.5.3, representa as velocidades médias mensais e anuais, e direção do vento nas duas estações para os respectivos períodos de observações.

De acordo com os dados expostos no quadro retromencionado, observa-se que os ventos sopram com uma maior intensidade na parte oeste, justificando as condições de área de características climáticas mais amenas.

2.1.6 - Evaporação e Evapotranspiração

O conhecimento da evaporação no estudo

hidrogeológico de uma dada região, é de grande importância, porque vem diminuir a quantidade de água que poderia, eventualmente, se infiltrar e realimentar as reservas subterrâneas.

Na área existem dois postos equipados com tanque "Classe A", situados em Balsas e Carolina, no Estado do Maranhão. No Quadro 2.1.6.1, estão representados os dados fornecidos pelas duas estações.

QUADRO 2.1.5.3
VELOCIDADE E DIREÇÃO DO VENTO NAS ESTAÇÕES DE BALSAS E CAROLINA - MA

	ESTAÇÃO DE BALSAS 1976 - 1978		ESTAÇÃO DE CAROLINA 1975 - 1978	
	Velocidade do vento m/s	Direção do ven- to	Velocidade do vento m/s	Direção do vento
Janeiro	1,3	NE	1,4	SE
Fevereiro	1,3	NE	1,5	SE
Março	1,3	NE	1,4	SE
Abril	1,2	SE	1,3	SE
Mai	1,2	SE	1,3	SE
Junho	1,5	SE	2,3	SE
Julho	1,7	SE	2,1	SE
Agosto	1,7	SE	2,3	NE
Setembro	1,7	NE	2,1	NE
Outubro	1,5	NE	1,3	NE
Novembro	1,3	NE	1,5	NE
Dezembro	1,3	NE	1,5	NE
A N.O	1,4	NE/SE	1,7	SE/NE

QUADRO 2.1.6.1

EVAPORAÇÃO MÉDIA MENSAL E ANUAL EM TANQUE
CLASSE "A" (mm) EM BALSAS E CAROLINA -MA

ESTAÇÃO/ PERÍODO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
BALSAS 1976-1978	82,1	70,4	78,9	80,3	101,2	143,4	191,8	233,4	201,5	139,6	98,0	86,0
CAROLINA 1975-1978	69,7	59,5	66,8	70,9	99,3	161,9	240,7	236,8	197,8	110,0	74,5	74,5

Média anual: Balsas1.506,6 mm

Carolina1.462,4 mm

Como pode ser observado a área apresenta e vaporação relativamente alta, por se tratar de uma região com período de estiagem acentuado, em que o céu permanece muito claro e com forte radiação solar.

A evapotranspiração, é de grande importância em estudos hidrogeológicos, em virtude de se tratar da transferência de vapor de água da superfície terrestre para a atmosfera, proveniente da evaporação da água existente no solo e sobre a superfície, e da transpiração dos vegetais.

Com base na fórmula simplificada de Turc, expressa abaixo, foi calculada a evapotranspiração potencial, isto é, aquela que ocorreria se existisse água suficiente, e que será de grande valia na realização do balanço hidrológico pelo método de Thorntwaite.

Fórmula de Turc:

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

onde

Etp = evapotranspiração potencial em mm

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).

Para o mês de fevereiro, usa-se:

$$Etp = 0,37 (Ig + 50) \frac{t}{t + 50}$$

No Quadro 2.1.6.2, estão representados os valores da evapotranspiração potencial para as estações de Balsas e Carolina no Estado do Maranhão.

A evapotranspiração real, foi calculada também para as estações de Balsas e Carolina, de acordo com a seguinte fórmula, também atribuída a Turc.

$$Etr = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{(300 + 25t + 0,05t)^2}}}$$

QUADRO 2.1.6.2.

EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL MÉDIAS MENSUAIS E ANUAIS (mm) EM BALSAS E CAROLINA- MA

ESTAÇÃO/ PERÍODO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
BALSAS 1976-1978	107	87	126	116	141	166	119	131	126	133	128	108
CAROLINA 1913-1960	103	86	94	89	108	124	120	136	128	135	128	107

Média anual: Balsas1.488 mm
Carolina...1.358 mm

onde:

Etr = evapotranspiração real média anual (mm)

P = precipitação média anual (mm)

t = temperatura média anual (°C)

Foram obtidos os seguintes valores, para a evapotranspiração real média anual, nas duas estações da área:

BalsasEtr = 1.007 mm = 85% da precipitação

CarolinaEtr = 1.308 mm = 76% da precipitação

Pelos resultados acima, observa-se que dos totais precipitados, 85% e 76%, respectivamente para as estações de Balsas e Carolina, se perdem por evapotranspiração, enquanto o restante se escoia em superfície e uma pequena parte se infiltra.

2.1.1 - Elementos do Balanço Hidrológico

Para a determinação do balanço hidrológico de região é necessário que se conheça os seus parâmetros determinantes, que são: precipitação, escoamento superficial, evapotranspiração real e infiltração, normalmente expressos em mm.

De posse dos dados determinantes aplica-se a equação fundamental do balanço hidrológico representada pela seguinte fórmula:

$$P = R + Etr + I$$

onde

P = precipitação média

R = escoamento superficial

Etr = evapotranspiração real média

I = infiltração

Como são desconhecidos os valores de R e I, foram realizados balanços hidrológicos, de acordo com o método de Thornthwaite, para as estações de Balsas e Carolina, no Estado do Maranhão, os quais permitem definir os valores médios mensais e totais anuais, de seus principais elementos constituintes, conforme Quadros 2.1.7.1 e 2.1.7.2, onde são conhecidos apenas a precipitação e a evapotranspiração potencial, esta determinada através da fórmula de Turc (Quadro 2.1.6.2).

Os resultados dos balanços hidrológicos, indicaram para a estação de Balsas que de 1.188 mm médios precipitados para o período em observação, 962 mm se perderam por evapotranspiração, 226mm serviram ao escoamento, que corresponde ao excedente agrícola; enquanto isto, para igual período verificou-se um déficit agrícola da ordem de 526 mm. Para a estação de Carolina dos 1.718mm médios precipitados, durante o seu período de observação, 1.029mm se perderam por evapotranspiração, 689 mm serviram ao escoamento e verificou-se um déficit agrícola da ordem de 329 mm.

Com os resultados obtidos foram confeccionadas as figuras 2.1.7.3 e 2.1.7.4, que representam, graficamente o balanço hidrológico médio mensal para as estações consideradas.

QUADRO 2.1.7.1

ELEMENTOS DO BALANÇO HIDROLÓGICO MENSAL
DA ESTAÇÃO 36.57.09 DE BALSAS - MARANHÃO

Latitude : 07°31'42"

Longitude : 46°02'24"

Período: 1962 - 1978

ELEMENTOS DO BALANÇO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL ANUAL
P = Precipitação	193	186	161	159	34	2	0	4	30	120	132	167	1.188
Etp = Evapotranspiração potencial	107	87	126	116	141	166	119	131	126	133	128	108	1.488
P - Etp	86	99	35	43	-107	-164	-119	-127	-96	-13	4	59	-300
Variação da reserva d'água do solo	+37	-	-	-	-100	-	-	-	-	-	+4	+59	-
Reserva d'água útil	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	4	63	-
Etr = Evapotranspiração real	107	87	126	116	134	2	0	4	30	120	128	108	962
Déficit agrícola	-	-	-	-	7	164	119	127	96	13	-	-	526
Excesso	49	99	35	43	-	-	-	-	-	-	-	-	226
Escoamento	25	74	67	39	21	-	-	-	-	-	-	-	226
$\frac{P-Etp}{Etp}$ Coeficiente mensal de unidade	0,80	1,14	0,28	0,37	-0,76	-0,99	-1,00	-0,97	-0,76	-0,10	-0,03	0,55	-0,20

QUADRO 2.1.7.2

ELEMENTOS DO BALANÇO HIDROLÓGICO MENSAL

DA ESTAÇÃO 36.45.60 EM CAROLINA - MA

Latitude : 07°20'00"

Longitude : 47°23'00"

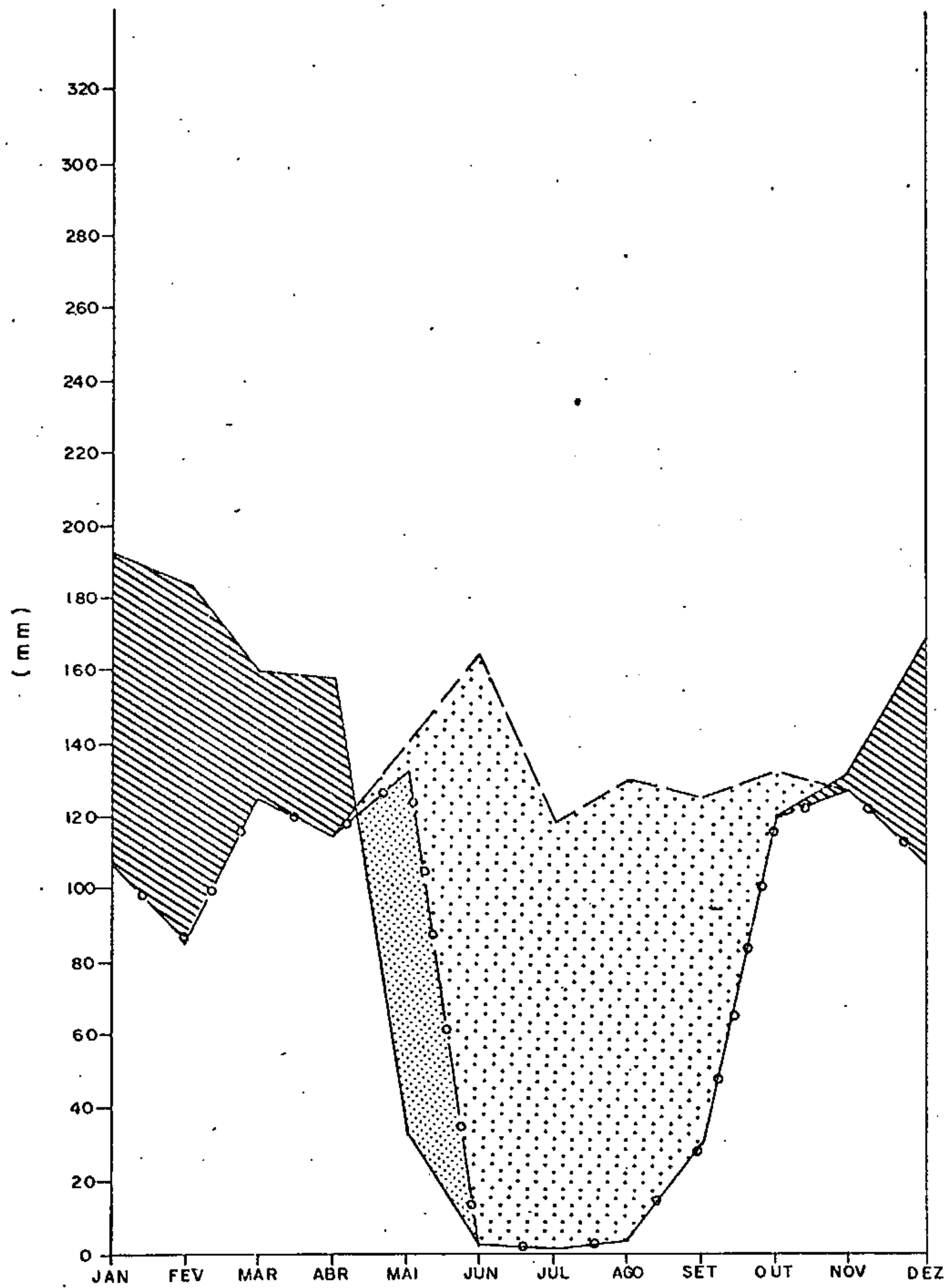
Período: 1965 - 1977

ELEMENTOS DO BALANÇO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL ANUAL
P = Precipitação	250	227	310	229	77	34	10	14	71	116	198	182	1.718
Etp = Evapotranspiração potencial	103	86	94	89	108	124	120	136	128	135	128	107	1.358
P - Etp	147	141	216	140	-31	-90	-110	-122	-57	-19	70	75	360
Variação da reserva d'água do solo	-	-	-	-	-31	-69	-	-	-	-	70	30	-
Reserva d'água útil	100	100	100	100	69	0	0	0	0	0	70	100	-
Etr = Evapotranspiração real	103	86	94	89	108	103	10	14	71	116	128	107	1.029
Déficit agrícola	-	-	-	-	-	21	110	122	57	19	-	-	329
Excesso	147	141	216	140	-	-	-	-	-	-	-	45	689
Escoamento	96	144	178	178	70	-	-	-	-	-	-	23	689
$\frac{P - Etp}{Etp}$ Coeficiente mensal de unidade	1,42	1,63	2,29	1,57	-0,28	-0,72	-0,91	-0,89	-0,44	-0,14	0,54	0,70	0,26




BALANÇO HIDROLÓGICO DA ESTAÇÃO 36.57.09

BALSAS

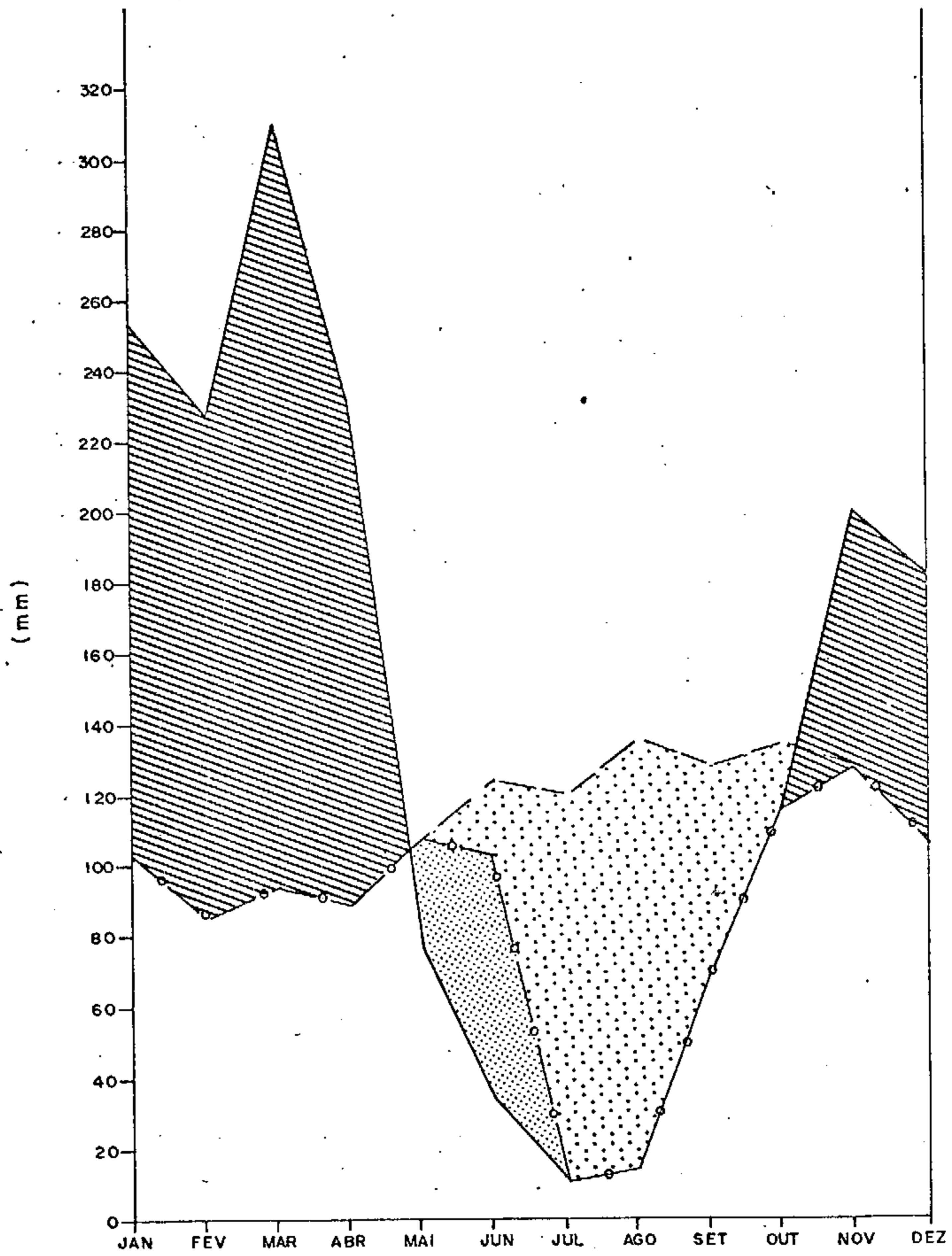
PERÍODO 1962 - 1978





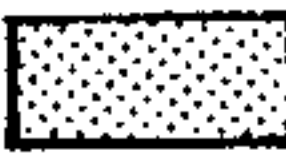
LEGENDA

- P
- - - Etp
- o-o- Etr
-  Excesso de água (226 mm) + Reconstituição das reservas
-  Deficit de água (526 mm)
-  Utilização das reservas de água do solo

BALANÇO HIDROLÓGICO DA ESTAÇÃO 36 45 60
 CAROLINA
 PERÍODO 1965 - 1977



LEGENDA

- P
- - - Etp
- o-o- Etr
-  Excesso de água (689 mm) + Reconstituição das reservas
-  Deficit de água (329 mm)
-  Utilização das reservas de água do solo

2.2 - HIDROLOGIA DA SUPERFÍCIE

A rede hidrográfica tem sua drenagem dirigida para as bacias hidrográficas do Tocantins (BH-2) e do Atlântico Norte - Nordeste (BH-3), (Fig. 2.2.5).

2.2.1 - Bacia Hidrográfica do Tocantins (BH-2)

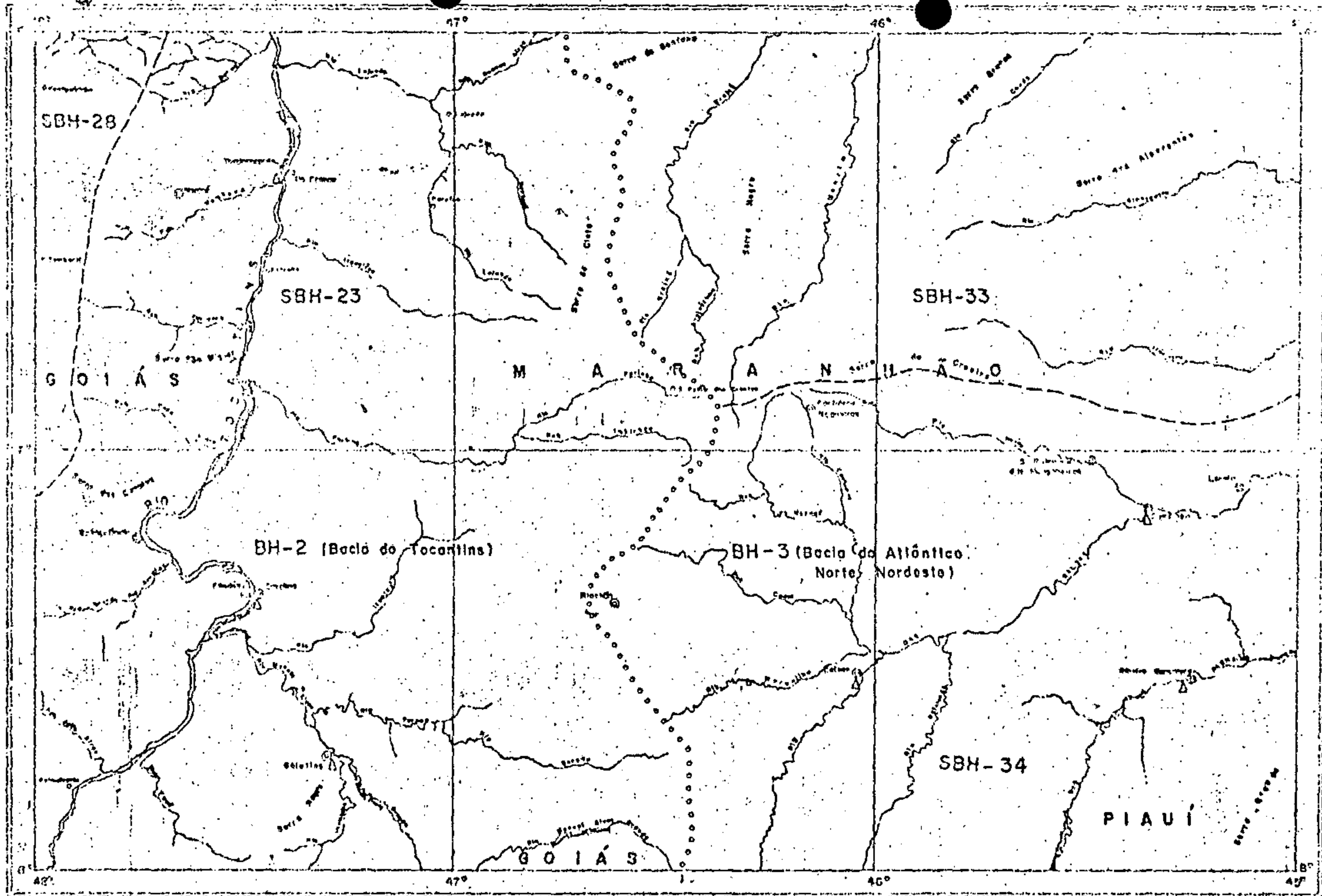
A rede hidrográfica desta bacia compreende aproximadamente 50% da área e tem o seu nível de base na calha do Rio Tocantins.

Nesta área, a Bacia Hidrográfica do Tocantins, está subdividida em duas sub-bacias, a SBH-23 que abrange as águas que correm realmente para o Rio Tocantins e a SBH-28, de pequena representatividade nesta área, composta pelos cursos de água que se dirigem ao Rio Araguaia.

Os cursos de água mais importantes são; o próprio Rio Tocantins, de direção sul-norte, que divide os estados de Goiás e Maranhão, após a confluência do Rio Manoel Alves Grande, rio este de boa representatividade em termos de volume de água. Ainda, pelo lado maranhense, se destacam os Rios Sereno, Itapecuru, Farinha, Itaueiras e Lageado. Do lado goiano podem ser citados os riachos João Aires, Grotão dos Arraiãs, Cana Brava, Curicaca, Mumbuca e Botica.

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

Esta bacia hidrográfica abrange, aproxima-



**BACIAS E SUB-BACIAS
HIDROGRÁFICAS COM
REDE FLUVIOMÉTRICA**

CONVENÇÕES

- Cidades
- Paradas
- ~ Rio
- Limite interestadual
- Limite de Bacia Hidrográfica
- △ Estação Pluviométrica
- Limite de Sub-Bacia Hidrográfica
- BH-2 Bacia Hidrográfica
- SBH-23 Sub-Bacia Hidrográfica

ESCALA 1:100000



damente, os 50% restantes da área e está dividida em duas sub-bacias, a SBH-33 que compreende os Rios Grajaú e Mearim de direção sul-norte, Corda de orientação nordeste e ainda pelo conjunto de drenagem dos Rios Alpercatas e Itapecuru de direção oeste-este; e a SBH-34, denominada Bacia do Parnaíba, que se faz representar nesta área, com maior destaque, pelo curso de água do Rio das Balsas e seus afluentes, seguida pelo Rio Parnaíba, do qual o Rio das Balsas é tributário.

2.2.3 - Dados Hidrológicos

Na área existem, atualmente, cinco postos de observações fluviométricas em operação, todos controlados pela CPRM. Destas estações, três estão localizadas na Bacia do Tocantins, sendo Carolina e Tocantinópolis no Rio Tocantins, e Goiatins no Rio Manoel Alves Grande; as outras duas estações pertencem a Bacia do Parnaíba, e estão situadas em Balsas no Rio das Balsas e em Ribeiro Gonçalves no Rio Parnaíba (Fig. 2.2.5).

Os postos fluviométricos apresentam períodos de observações bastante diversificados conforme catálogo de observação fluviométrico Fig. 2.2.3.1.

A estação de Tocantinópolis é a única que apresenta dados de leituras de descargas diárias permanente para um determinado período; com estes dados será efetuado o estudo da recessão do Rio Tocantins, verificada na referida estação, conforme item 2.2.4.1.

Esta estação apresenta uma área de drenagem de 296.900km^2 , a sua descarga máxima verificada durante o período de observação foi de $19.520\text{ m}^3/\text{s}$ em fevereiro

do ano de 1970, ocorrendo a sua descarga mínima para igual período de observação em setembro de 1971, com $1.000\text{m}^3/\text{s}$.

Na Bacia Hidrográfica do Atlântico Nordeste (BH-3), dos postos pluviométricos existentes na área em estudo, apenas as estações de Balsas, Rio das Balsas e Ribeiro Gonçalves, Rio Parnaíba, encontram-se em atividade, enquanto a estação de Sambaíba no Rio das Balsas está paralizada desde 1974.

De posse destes dados de descargas diárias foi realizado o estudo da recessão do Rio das Balsas para a estação de Balsas, durante o seu período de observação, conforme item 2.2.4.2.

A estação fluviométrica de Balsas, situada no Rio das Balsas apresenta uma área de drenagem de 8.800km^2 , tendo sido verificado uma descarga máxima para o período em observação de $341\text{m}^3/\text{s}$ em fevereiro do ano de 1966; para igual período, a sua descarga mínima foi de $50\text{m}^3/\text{s}$, ocorrida em agosto de 1972.

2.2.4 - Estudo das Recessões

O estudo das recessões de um rio é feito durante o período de estiagem, quando se verifica a ausência das chuvas e a descarga do rio é fornecida pelas reservas de águas subterrâneas.

Em função dos dados de descargas diárias fornecidas pelas estações fluviométricas situadas na área foi realizado o estudo da recessão do Rio Tocantins observada no posto de Tocantinópolis, e do Rio das Balsas no posto de Balsas.

Para o estudo das recessões foi usada a fôr

mula, atribuída a Maillet, $Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$, onde a descarga Q_t no instante t é fornecida em função da descarga Q_0 no instante t_0 , início da recessão.

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

O volume da reserva (VR) de água armazenada no aquífero no instante t_0 , que é responsável pela descarga do rio no período de recessão, é calculada pela integração da fórmula de Maillet, representada pela seguinte expressão:

$$Vr = Q_0 \int_{t_0}^{\infty} e^{-\alpha t} dt = \frac{Q_0}{\alpha} (86.400)m^3$$

2.2.4.1 - Recessão em Tocantinópolis

De acordo com os dados de descargas diárias fornecidas pela estação fluviométrica de Tocantinópolis, verificou-se que o período de recessão deste rio, registrado nesta estação, ocorre aproximadamente do início de julho ao final de setembro, período em que as descargas são fornecidas pelo escoamento de águas subterrâneas.

Com os dados disponíveis confeccionou-se a Figura 2.2.4.1.1, que representa a curva de recessão da referida estação.

Após determinar as vazões Q_0 e Q_t como $1.679 m^3/s$ e $1.139 m^3/s$, respectivamente, foram calculados o coeficiente de recessão (α) e o volume de recessão (VR), obtendo-se os seguintes resultados para o período (t) de 73 dias:

$$\begin{aligned} \alpha &= 0,0053305 \\ VR &= 272 \times 10^8 m^3 \end{aligned}$$

CURVA DE RECESSÃO DO RIO DO TOCANTINS EM TOCANTINOPOLIS

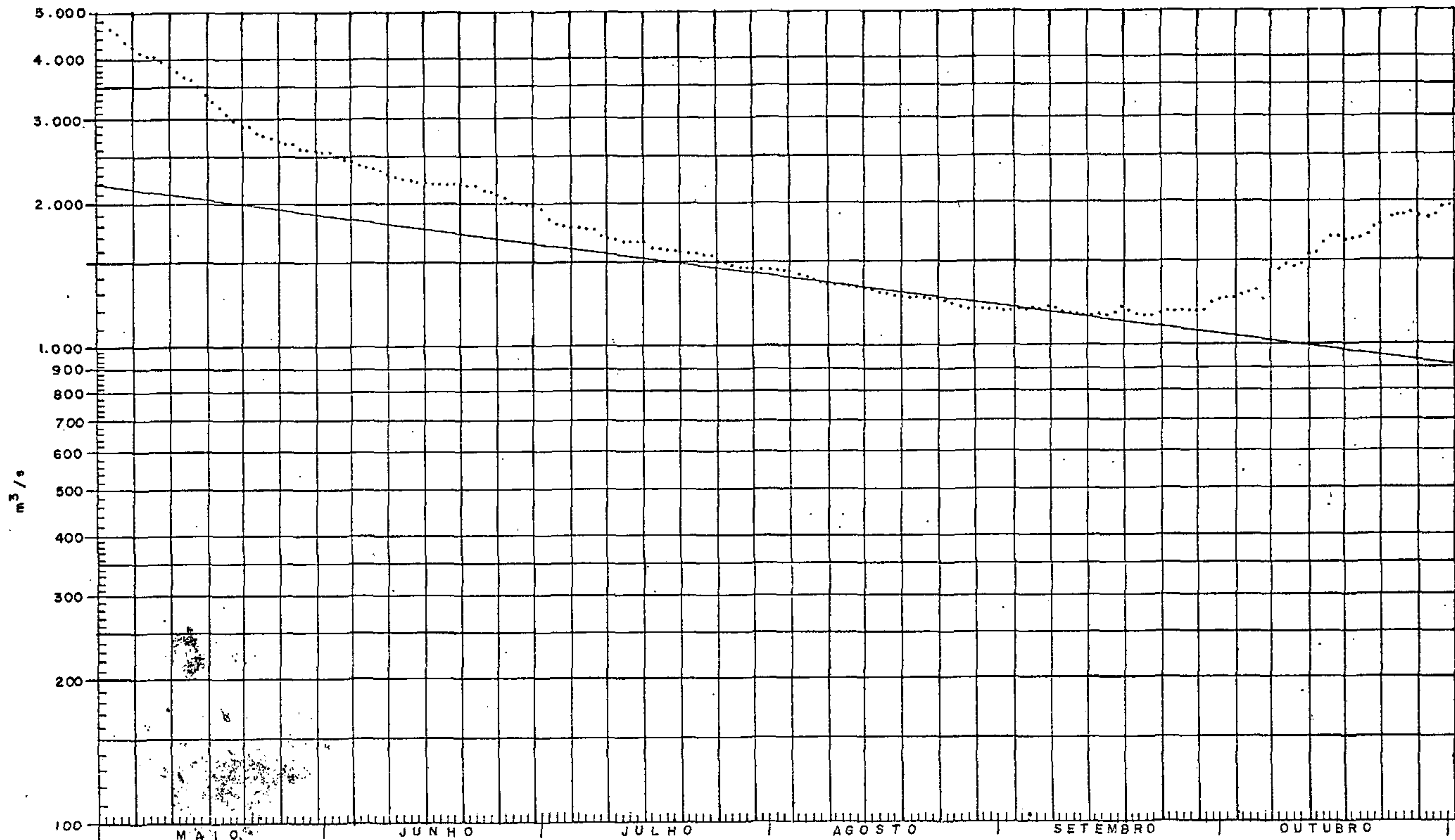


Fig. 2.2.4.1.1

2.2.4.2 - Recessão em Balsas

De posse dos valores das descargas diárias registradas no posto fluviométrico da cidade de Balsas, no rio do mesmo nome, foi possível efetuar a curva de recessão neste ponto.

Observa-se que o período de recessão registrado neste posto para o Rio das Balsas ocorre, aproximadamente, do meio de junho ao final de setembro. (Figura 2.2.4.2.1).

Foram calculados o coeficiente de recessão (α) e o volume de recessão (VR) conhecendo-se as vazões Q_0 ($97,5 \text{ m}^3/\text{s}$) e Q_t ($71,6 \text{ m}^3/\text{s}$) no período (t) de 100 dias de recessão:

$$\alpha = 0,0031084$$

$$\text{VR} = 2.710 \times 10^6 \text{ m}^3$$

2.3. MORFOLOGIA

Morfologicamente, esta área é caracterizada por apresentar um relevo em geral plano, pouco acidentado, com pequenas elevações tabulares, intensamente ravinhadas, descontínuas, formada por coberturas terciárias.

Na porção centro oeste da Folha, região de Carolina, no Estado do Maranhão, destacam-se pequenas elevações abauladas e em formas de mesetas, relacionadas a derrames basálticos, alinhadas segundo a direção geral SW-NE. Ao Sul, o relevo mostra-se mais acidentado, com elevações íngremes, de altitudes medianas, resultantes da preservação de níveis de silexitos das formações Piauí e Pe-

CURVA DE RECESSÃO DO RIO DAS BALSAS EM BALSAS

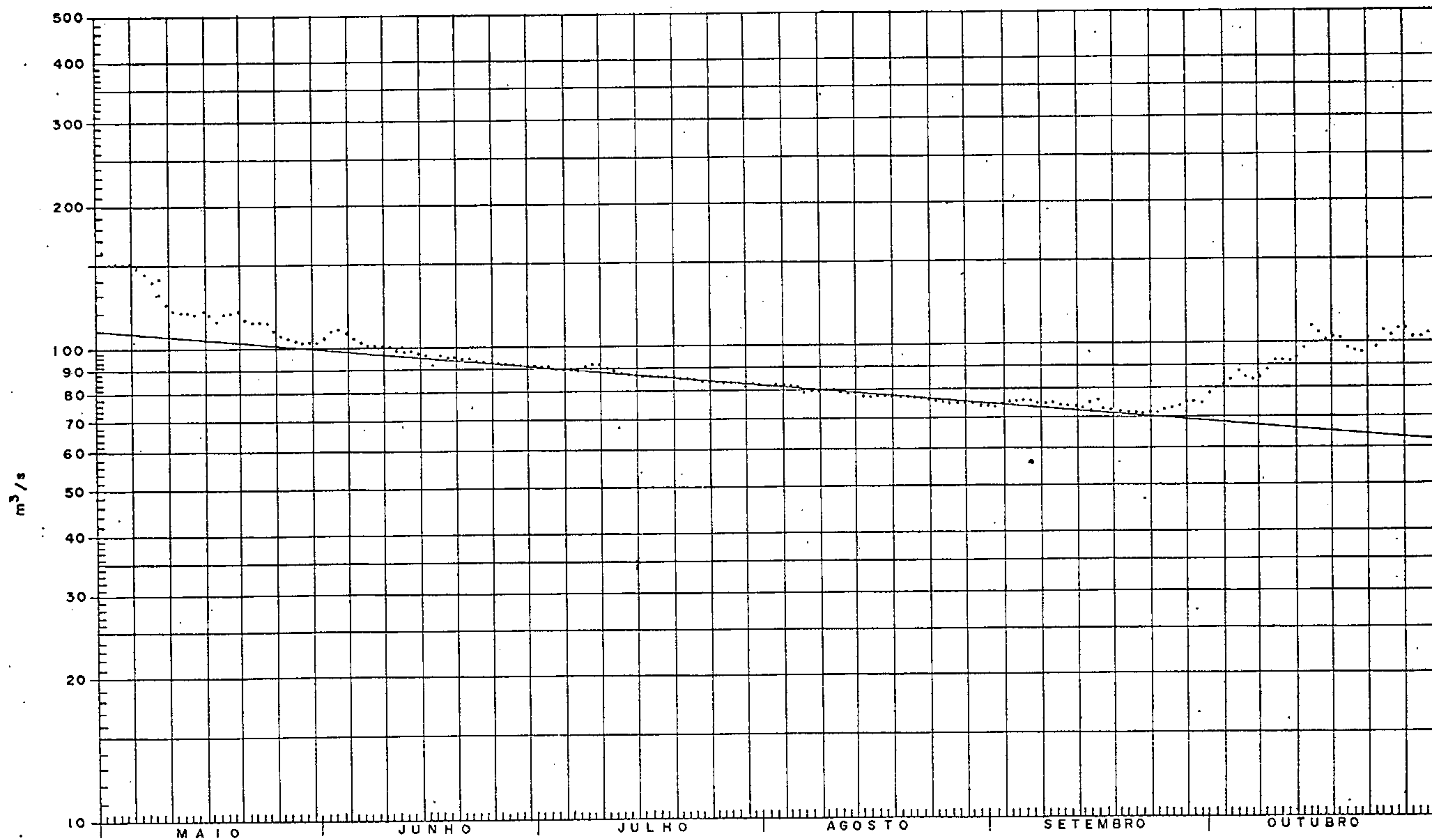


Fig. 2.2.4.2.1

dra de Fogo.

Sobremaneira, as oscilações climáticas que ocorrem nesta região, os fatores erosivos, litológicos e estruturais, contribuíram de maneira significativa para a atual forma fisiográfica existente.

Verifica-se, também, uma sequência de altos platôs de direção sul-norte, formada pelas serras do Gado Bravo, da Menina, e da Cintrá, que se constitui no divisor natural das bacias hidrográficas do Tocantins e do Atlântico Norte Nordeste:

2.4 - VEGETAÇÃO

A vegetação da área em estudo é constituída pelas espécies que ocorrem no cerrado brasileiro, nitidamente encravada nas regiões de chapadas mais arenosas e pelas florestas tropicais, ao norte, onde a precipitação é mais acentuada.

Cerrado - é constituído por uma vegetação aberta, de baixo porte, extremamente rala, predominantemente arbustos e capim agreste, típicos dos chapadões arenosos mais úmidos. São comuns nestas áreas, as chamadas matas de galerias, que se concentram ao longo dos vales dos rios compostos por buritis e árvores de portes mais elevados. Das variedades de vegetação dos cerrados, destacam-se as seguintes espécies: lixeira (*Curatella americana*), pau-terra (*Qualea* sp), piqui (*Caryocar brasiliense*), pau-de-colher-de vaqueiro (*Salvertia convallariodora*), pau-de-santo (*Kielmeyra coriocea*), barbatimão (*Stryphnodendron barbatimão*), mangabeira (*Hancornia speciosa*), tinguí (*Magonia pubescens*), sambaíba (*Curatella americana*), caju (*Anacardium naum*), ca-

pim-agreste (*Diectanis fastigiata*), etc.

Floresta Tropical - este tipo vegetal apresenta um caráter transicional entre a floresta equatorial e o cerrado; ocupam as baixadas próximo ao vale dos rios, com feições variáveis conforme predominem sobre a mesma a influência da floresta equatorial amazônica, ou do cerrado.

A intensa prática da agricultura e ocupação humana, explorando fortemente esta floresta, proporcionou um ambiente ideal à proliferação do babaçu nas áreas devastadas, originando ilhas esparsas e de tamanho irregulares. Além do babaçu, podem ser encontradas outras palmeiras nesta região, destacando-se: bacaba (*Oenocarpus* sp), jussara e assi (*Euterpe edulis*), tucum (*Astrocaryum* sp), inajá (*Maximiliana* sp) e o vulgarmente conhecido pati. As espécies vegetais mais típicas desta classe são: caneleira (*Cenostigma* sp), caraiba (*Tabebuia caraiba*), pau d'arco (*Tabebuia* sp), axixá (*Sterculia* sp), bacuri (*Platoma insignis*) e outros.

3 - GEOLOGIA

3.1 - GENERALIDADES

Na área ocorrem rochas sedimentares de idades paleozóica, mesozóica e cenozóica, além dos derrames basálticos triássicos e jurássicos, localizados entre os arenitos das formações Sambaiba e Corda.

Estas rochas, fazem parte da sequência estratigráfica da Bacia Sedimentar do Parnaíba situada no Meio-Norte do Brasil, compreendendo os Estados do Maranhão e Piauí e com suas bordas atingindo os Estados da Bahia, Ceará, Goiás e Pará. A área aproximada da Bacia é, de cerca de 600.000 km² e sua litologia é constituída por uma sequência de camadas de conglomerados, arenitos, siltitos e folheños, além de intercalações de derrames de basaltos e diabásios.

As rochas que constituem a sequência sedimentar da Bacia do Parnaíba, tem sido alvo de vários trabalhos, por diversos autores, desde o início deste século. Foram estudados inicialmente por M.A. Lisboa e H.L. Small, em 1913 e 1914, que deram os primeiros passos para a elaboração da coluna estratigráfica da bacia, a qual foi sofrendo modificações, até os dias atuais, com o aparecimento de novos trabalhos de diversos autores, entre os quais se destacam os realizados por W.O. Kegel em 1953, O. R. Albuquerque & Dequech em 1946, Glycon de Paiva, F.B. Plummer, D. F. Campbell, R.K. Blankennagel em 1952, L.F. Moraes Rego G. Aguiar, além dos trabalhos de investigações geológicas realizadas pela Petrobrás e do recente Projeto Estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba, realizado

pela CPRM, para o DNPM, em 1978, do qual faz parte o Subprojeto Hidrogeologia, que adotou a sua coluna estratigráfica, com respectivas descrições litológicas.

3.2 - ESTRATIGRAFIA

Estratigraficamente, a área em estudo é constituída por rochas sedimentares que vão do Devoniano (Longã) até os aluviões quaternários recentes, além dos derrames de basaltos da Formação Mosquito, conforme pode ser observado pela coluna estratigráfica representativa da área. (Quadro 3.2.4).

3.2.1 - Paleozóico

O Paleozóico está representado pelas formações Longã, Poti, Piauí, Pedra de Fogo e Motuca, estendendo-se em uma direção E-W, na faixa meridional da Folha.

3.2.1.1 - Formação Longã

Foi designada pela primeira vez por Albuquerque e Dequech (1946), para descreverem os folhelhos cinza escuro, quando faziam uma seção no Rio Longã, próximo a Campo Maior.

Campbell (1949), chamou de Formação Longã,

QUADRO: 3.2.4 COLUNA ESTRATIGRÁFICA					
IDADE	SISTEMA	FORMAÇÃO	LITOLÓGICA	AMBIENTE	
CENOZÓICO	QUATERNÁRIO	ALUVIÕES	Argilas, areia, calhaus	Continental	
	TERCIÁRIO	COBERTURAS DETRÍTICAS	Coberturas areno-argilosas lateríticas aluviões, depósitos de taludes.		
MESOZÓICO	CRETÁCEO	ITAPECURU	Arenito avermelhado, argiloso, níveis de siltito e argilito vermelho.	Continental fluvial	
		GRAJAU	Arenito médios, róseos, esbranquiçados, duras, folhelhos e sílex.	Fluvio-deltaico	
	JURÁSSICO	CORDA	Arenito avermelhado a arroxeados fino a médio argiloso, níveis de siltitos e folhelhos local de fossilífero horizonte de sílex conglomerado basais.	Fluvial, lacustre, com faixa eólica	
		MOSQUITO	Basaltos verdes escuros a preto, matriz afamítica amigdaloidal com zeólitos e calcedônia. Ocasionalmente arenito sambaíba na base.	Extrusão fissural da lavas no continente em condições subaéreas.	
	TRIÁSSICO	SAMBAIBA	Arenitos róseos a esbranquiçados finos a médios película de argila envolvendo os grãos estratificação de grande porte.	Continental fluvial e eólica	
		MOTUCA	Arenito avermelhado fino a médio argiloso e folheiro vermelho.	Marinho, lagunar, continental fluvial com contribuição eólica	
		PERMIANO	PEDRA DE FOGO	Arenitos róseos finos a médios, argilosos siltitos e folhelhos vermelhos e violáceos níveis de calcáreas e sílex faixa oolíticas ou ondulas.	Continental, marinho e lagunar
	PALEOZÓICO	CARBONIFERO	PIAUI	Arenitos róseos e esbranquiçados médio estratificação cruzada de grande porte. Siltitos argilosos e folhelhos vermelhos homogêneos níveis delgado de sílex.	Essencialmente fluvial, com breves ingressões marinhas faixa eólica no topo
			POTÍ	Arenitos róseos esbranquiçados finos a médio intercalação de siltitos e folhelhos cinza arroxeados e vermelho micáceo restos de vegetais. Cong. infraformacionais.	Continental fluvial planície de inundação marinha litorânea
		DEVONIANO	LONGÁ	folhelhos e siltitos cinza escuros e arroxeados micromicáceo bioturbação rastros de vermes. Arenitos finos homogêneos.	Marinho litorâneo a infranerítica, planície de maré

as camadas de folhelhos com intercalações de siltitos, e -
quivalentes, estratigraficamente, às camadas Itaueiras de
Plummer, enquanto Kegel, aceitou a proposição de Albuquer-
que após verificar que as camadas Itaueiras eram mais re -
centes que as camadas devonianas.

O Projeto Estudo Global (1978) aceitou as
proposições de Campbell, cuja unidade litológica é caracte-
rizada por uma sequência de folhelhos cinzas escuro a pre-
to, até arroxeados, homogêneos ou bem laminados, bioturba-
dos, micromicáceos, apresentando gerálmente, em sua parte
média, um pacote de arenitos e siltitos cinzas claro e es-
branquiçados, laminados, pouco duros. Está, estratigrafica-
mente, posicionada entre os arenitos da Formação Cabeças e
os da seção inferior da Formação Poti.

Na Folha, esta formação ocorre em diminuta
porção no extremo sudoeste, próximo ao Rio Tocantins, onde
afloram os pelitos Longã, com relevo bastante dissecado. É
composta por folhelhos cinzas a pretos, micromicáceos, com
aleitamento regular plano-paralelo ou ondulado, contendo
laminações de siltitos cinza; intercalam-se leitons subordi-
nados de arenitos cremes e esverdeados, finos, micáceos,
com marcas de ondas e rastros de vermes. Na parte supe -
rior da sequência ocorrem níveis arenosos médios a grossei-
ros, de cor avermelhada.

A espessura aflorante da camada é inferida
em torno de, 20 a 30 metros, não sendo observado o seu con-
tato inferior com a Formação Cabeças; o seu contato supe -
rior com a Formação Poti é geralmente concordante, grada -
cional ou de brusca mudança litológica.

3.2.1.2 - Formação Poti

A primeira referência feita a esta formação

coube a Lisboa, em 1914, para denominar uma ocorrência de folhelhos calcíferos que afloram no vale do Rio Poti.

Posteriormente, esta denominação foi empregada por Paiva (1937), e confirmada por Oliveira, Leonardo (1943) e Campbell (1949), para designar uma camada de arenitos e siltitos com restos de plantas e leitões milimétricos de carvão, que foi atravessada por um poço tubular perfurado para o abastecimento de água em Teresina, Estado do Piauí, estando situada, estratigraficamente, entre as formações Longã e Piauí.

De acordo com o Projeto Global (1978), que seguiu o exposto por Campbell, adotou-se o termo Poti para caracterizar, uma parte inferior constituída de arenitos médios, cinza, esbranquiçados, com lâminas esparsas de siltito cinza-claro e uma parte superior de arenitos cinzas, lâminas de siltitos e folhelhos carbonosos com ocasionais laminações de carvão.

Esta formação ocorre na porção sudoeste da Folha, com superfície aplanada e morros testemunhos de modesto destaque topográfico. Compõe-se de arenitos arreolados e avermelhados, finos, siltosos, micromicáceos, localmente calcífero, com microestratificação cruzada ondulada. Seguem-se arenitos amarelados, finos a médios, grãos grosseiros dispersos, subangulosos, micáceos, com estratificação cruzada planar e tipo torrencial. Ocorrem esparsos leitões de conglomerados, polimictos, com blocos de até 0,40m. Na parte superior da formação há uma predominância de siltitos e folhelhos avermelhados, micromicáceos, com fraturamento "blocky".

A espessura da formação dentro dos limites da Folha é inferida em torno de 80 a 100 m.

O contato inferior com a Formação Longã, não foi observado, devendo, contudo, ser concordante, visto que, quando os arenitos basais da Formação Poti passam

para os folhelhos, siltitos e arenitos intercalados da Formação Longã, não há dificuldade para a determinação do contato.

3.2.1.3 - Formação Piauí

O nome "Série Piauí", foi adotado primeiramente por Small, em 1914, para designar toda sequência paleozóica da Bacia do Parnaíba. Posteriormente, Duarte (1936), Oliveira e Leonardo (1943), restringiram o termo "série", para o de Formação Piauí, representando apenas as camadas carboníferas do pensilvaniano.

Dequech e Kegel (1948), estabeleceram os limites atuais para a sequência pensilvaniana, compreendida entre os arenitos e siltitos da Formação Poti e o sílex basal da Formação Pedra de Fogo. Esta classificação foi adotada pelo Projeto Estudo Global (1978), e encontra-se subdividida em duas partes: a inferior, constituída de arenitos róseos, médios, homogêneos ou com estratificação cruzada de grande porte, com intercalação de folhelhos vermelhos. A superior, composta por arenitos avermelhados com intercalações de leitos e lâminas de folhelhos vermelhos, finos leitos de sílex e ocasionais calcários esbranquiçados, por vezes fossilíferos.

Mesner e Wooldridge (1962) sugerem origem continental fluvial para a parte inferior da sequência, tendo, a parte superior, registros litológicos de breves incursões marinhas restritas.

A Formação Piauí aflora na área em estudo nos quadrantes sudeste, sudoeste e centro sul, predominando no quadrante sudoeste um relevo mais aplanado com esparsos morros testemunhos, enquanto nas demais áreas o re-

levo é constituído por mesetas e chapadas com terminação em escarpas abruptas.

Litologicamente, esta formação está constituída por arenitos cremes, róseos e esbranquiçados, finos a médios, subangulosos e brilhantes, com esparsos níveis grosseiros, homogêneos ou com estratificação cruzada planar de grande porte, também tipo torrencial, localmente calcífero. Na parte sudoeste são mais comuns leitões de calcarenitos e calcários róseos com vênulos de calcitas, contendo laminações de siltitos. Subordinadamente, ocorrem folhelhos e siltitos argilosos, vermelhos, esverdeados e arroxeados.

A espessura aflorante desta formação na Folha, situa-se em torno de 100 metros; entretanto, dados de furos estratigráficos da Petrobrás (TB-2-MA e BR-1-MA), indicam espessura completa variando de 150 a 180 metros.

O contato inferior com a Formação Poti não foi observado na área, devendo, entretanto, se processar discordantemente, e está posicionada no Carbonífero Superior.

3.2.1.4 - Formação Pedra do Fogo

O nome Pedra do Fogo, foi empregado pela primeira vez por Plummer (1946), para denominar as rochas que continham troncos fósseis vegetais "Psaronius" e camadas de sílex, que afloram no vale do Rio Pedra de Fogo, entre as cidades de Pastos Bons e Nova Iorque, no Maranhão.

Estas rochas já eram conhecidas de Lisboa (1914), que as tinham colocado na sua Série Parnaíba; por

outro lado, Aguiar (1964), trabalhando na área de Balsas, identificou quatro ciclos de sedimentação para esta formação.

Barbosa (1957) determinou esta formação como sendo caracterizada pela abundância de nódulos e camadas de "chert", além de madeira silicificada, anidrita, por sua coloração cinza arroxeadada, por arenitos amarelados, siltitos, calcários, sílex pisolíticos e folhelhos esverdeados com restos de vegetais.

O Projeto Estudo Global (1978) adotou a sequência litológica proposta para a Formação Pedra de Fogo por Barbosa (1957), adotada inclusive por Mesner e Wooldridge (1962).

A área de afloramento desta formação, ocupa uma faixa contínua de direção este-oeste em toda porção sul da área. Apresentando-se mais aplanada na porção sudoeste e formando escarpas em destaque topográfico, com rebordos festonados nas demais áreas, geralmente capeando as elevações da Formação Piauí.

Suas rochas estão representadas por extensas áreas de exposição, e são caracterizadas por uma alternância cíclica de folhelhos e siltitos argilosos amarelados, esverdeados, com níveis cinzas escuro a preto na região de Carolina e Goiatins, localmente calcíferos e com restos de peixes e vegetais por vezes parcialmente silicificados, com níveis de sílex e restos de madeira fóssil. Notadamente na região de Balsas, calcários esverdeados e esbranquiçados, argilosos ou puros, com textura afanítica, duros, localmente com geodos de calcita e com lâminas de sílexito; arenitos esverdeados, róseos e esbranquiçados, finos, com raros níveis médios e grosseiros, homogêneos ou com estratificação cruzada planar, pintalgados de caulim.

A espessura desta formação situa-se em tor

no de 100 metros e se comporta como de fácil e seguro controle de espessura em superfície, por possuir muitas camadas chaves.

O seu contato inferior com a Formação Piauí é concordante e gradacional e se apresentando, às vezes, com brusca mudança litológica.

3.2.1.5 - Formação Motuca

Foi Plummer (1946), o primeiro a usar a denominação Motuca para designar os folhelhos vermelhos tijolo e siltitos, com finas camadas de sílex e lentes delgadas de calcário e anidrita, sobrejacentes aos estratos Pedra de Fogo, nos arredores da fazenda Motuca, entre São Domingos do Azeitão e Benedito Leite, no Maranhão. Esta formação foi, inicialmente, considerada como pertencente ao Triássico, devido à ausência de fósseis e a ser mais jovem do que a formação permiana Pedra do Fogo.

Oliveira, em 1961, concluiu que, a Formação Motuca teria se depositado a partir do Permiano Superior ao final do Triássico.

O Projeto Estudo Global (1978) seguiu a proposição de Plummer (op. cit.).

Dentro da Folha em estudo, esta formação aflora em uma faixa quase contínua, relativamente estreita, margeando as escarpas da Formação Sambaíba, estendendo-se na direção este-oeste. Apresenta um relevo bastante dissecado, onde se instala drenagem dendrítica, tipificando esta unidade.

As suas seções inferior e mediana, são constituídas por folhelhos e siltitos argilosos, de cor verme -

lho-tijolo, com manchas de descoloração secundárias, esbranquiçadas, calcíferos, contendo fraturas preenchidas por aragonitas ou lâminas de atapulgita. Ocorrem intercalações de calcários e delgados leitos de silexitos, por vezes, oolíticos. Na região de Babaçulândia e Filadélfia, ocorrem lentes de gipsita, com frequentes estruturas de colapso. Na região de São Raimundo das Mangabeiras, ocorrem ainda delgados níveis subordinados de arenitos vermelhos, finos, argilosos. Na seção superior, predominam arenitos argilosos de cor vermelha, com manchas esbranquiçadas por descoloração secundária, finos e finos-médios, grãos subarredondados, brilhantes, localmente calcíferos e micromicáceos, pintalgados de caulim, com intercalações subordinadas de siltisos argilosos avermelhados.

A espessura desta formação varia de 80 a 100 metros, aproximadamente, decrescendo de leste para oeste, notadamente no perfil Filadélfia-Araguaina.

Na região de Balsas, a espessura total desta unidade lito-estratigráfica está em torno de 100 a 110 metros.

Aguiar (1969) faz referência a espessura de 107 metros para estes sedimentos na região de São Raimundo das Mangabeiras. Cita que em região próxima, no furo estratigráfico MS-1-MA, executado pela Petrobrás, foram medidos 160 metros.

O contato inferior com a formação sotoposta, Pedra do Fogo, é geralmente gradativo, caracterizando-se pela passagem de folhelhos e siltitos avermelhados e esverdeados, com níveis de silexitos, para folhelhos, arenitos e siltitos vermelhos tijolo da Formação Motuca.

3.2.2 - Mesozóico

O mesozóico de maior ocorrência territorial na Folha em estudo, se faz representar pelas formações Sambaíba, Mosquito, Corda, Grajaú e Itapecuru.

3.2.2.1 - Formação Sambaíba

O termo Sambaíba foi utilizado, primeiramente, por Plummer (1946), para caracterizar os arenitos que constituem mesetas próximo a cidade de Sambaíba, considerando como membro superior da Formação Melancieiras e deu-o como Cretácio.

Mesner e Wooldridge (1962) elevaram estes arenitos à categoria de formação, classificando-os como pertencentes ao Triássico Superior.

De conformidade com o Projeto Estudo Global (1978), foi adotado neste trabalho o proposto por Plummer (op.cit.), considerando a seção tipo, uma sequência arenosa, concordante sobre a Formação Motuca e sob os derrames de basaltos, constituída de arenitos róseos e avermelhados com abundantes estratificações cruzadas e raras lâminas de sílex.

Esta formação aflora em uma faixa contínua, alargando-se mais na porção nordeste e oeste, apresentando um relevo aplanado onde se desenvolvem extensos areais, destacando-se notáveis morros testemunhos de topos planos e escarpas abruptas, verticais, geralmente capeadas por delgadas camadas basálticas. Litologicamente é constituída por arenitos róseos e esbranquiçados, finos a médios, grãos subangulosos a arredondados, foscos e brilhosos, com estratificação cruzada planar de grande porte, friável. É muito comum a presença de fraturamento vertical prismático, próximo ao contato superior com os basaltos da Formação

Mosquito. Nas proximidades de Estreito foram observadas poucas intercalações das camadas superiores dos arenitos Sambaíba, em derrames basálticos, bastante duros e silicificados.

A espessura desta formação varia em torno de 180 a 200 metros, sendo decrescente na direção este-oeste. Nas regiões de Sambaíba, Balsas e Carolina, observa-se maior expressividade em termos das espessuras para esta unidade.

Esta formação apresenta o seu contato inferior com a Formação Motuca, nitidamente concordante, apresentando apenas esparsas discordâncias locais.

3.2.2.2 - Formação Mosquito

A primeira referência sobre os derrames basálticos da Bacia do Parnaíba, foi feita por Lisboa em 1909.

Campbell (1949) e Moore (1961), também fizeram referências a estes derrames basálticos em seus trabalhos, porém, o Projeto Estudo Global (1978), seguiu o exposto por Aquiar (1962), que propôs a designação de Formação Mosquito, para os derrames basálticos, com intercalações de arenitos que afloram no Rio Mosquito ao sul de Fortaleza dos Nogueiras. Estando posicionada, estratigraficamente, entre as Formações Sambaíba e Corda, é datada como Triássica. Admite, entretanto, que esta unidade é constituída essencialmente por basaltos toleíticos, amigdaloidais, contendo apenas uma intercalação sedimentar lenticular e restrita à região de Fortaleza dos Nogueiras, denominada Membro Macapã.

A Formação Mosquito aflora na área em uma

faixa bastante ampla, sendo de ocorrência maior na porção noroeste da Folha. Apresenta um relevo plano-ondulado, evidenciando sua natureza argilosa, resultante do avançado estado de decomposição em que se encontram, formando mantos argilosos de cor vermelho-escuro e arroxeados, se comportando como áreas bastante férteis para a agricultura.

Litologicamente, esta unidade é constituída essencialmente por basaltos com texturas amigdalodais, de matriz afanítica, cor cinza a escura, ou tonalidade de verde escura, sendo os seus principais componentes plagioclásio cálcico e piroxênio, estando as amígdalas, quase sempre, preenchidas por calcita, sílica amorfa e zeólitos.

Esta formação apresenta uma espessura bastante variada, atingindo cerca de 130 metros na região de Fortaleza dos Nogueiras, enquanto na área da Serra das Alpercatas atinge apenas 4 metros, adelgaçando-se ainda mais, até o seu desaparecimento na região de São Raimundo das Mangabeiras.

O seu contato inferior com a Formação Sambaíba apresenta-se geralmente discordante, entretanto, na região de Estreito, as camadas de arenitos Sambaíba intercaladas na base das extrusivas, indicam que nesta área não houve discordância temporal entre as unidades.

3.2.2.3 - Formação Corda

A primeira referência a respeito do nome Corda é atribuída a Lisboa (1914), para designar os arenitos vermelhos que ocorrem intercalados em basaltos no Vale do Mearim. Esta mesma denominação foi empregada por Campbell (1949), quando se referia aos arenitos situados acima dos basaltos e logo abaixo dos folhelhos Codô.

O Projeto Estudo Global (1978) adotou em seu recente trabalho, para caracterizar a Formação Corda, o proposto por Aguiar (1964), que considera uma seção sedimentar litologicamente constituída de arenitos cremes, róseos, amarronzados e cinza arroxeados, com estratificação cruzada laminar e grãos de alta esfericidade, apresentando alguns níveis de sílex, que se sobrepõem, discordantemente, sobre os basaltos Mosquito e, concordantemente, sobre os arenitos Pastos Bons.

A Formação Corda ocorre com um relevo plano-ondulado, ou em forma de mesetas e extensos chapadões tabuliformes, com escarpas de terminações abruptas. Aflora, descontinuamente, por toda faixa setentrional e é constituída, litologicamente, por arenitos argilosos, marrons-avermelhados e arroxeados, finos e médios, grãos arredondados e foscos, geralmente envolvidos por películas de argila, localmente com cimento calcífero e apresentando estratificação cruzada laminar. Intercalam-se, subordinadamente, leitos de siltitos argilosos e argilitos avermelhados e arroxeados com laminação de sílex. Na parte leste e a nordeste de Porto Franco, a seção inferior desta formação é constituída por arenitos conglomeráticos e conglomerados de cor avermelhada e arroxeadada, com seixos, blocos de siltitos, arenito e basalto alterado, passando lateralmente a arenitos finos a médios nas demais regiões; já no extremo centro-norte da Folha ocorrem, na parte superior, siltitos e folhelhos avermelhados, cinzas e esverdeados, laminados, fossilíferos.

A espessura aflorante desta unidade é bastante variável, visto que sua deposição ocorreu em superfície irregular, sobre os basaltos Mosquito. Na região de Fortaleza dos Nogueiras atinge cerca de 83 metros, adelgçando-se para norte e oeste.

O contato inferior desta formação com os basaltos Mosquito e os arenitos Sambaiba é discordante e

erosivo.

3.2.2.4 - Formação Grajaú

O termo Grajaú foi designado por Lisboa em 1914, para denominar uma sequência arenosa que repousa sob os folhelhos e calcários Codô, próximos a cidade do mesmo nome e posicionou-a como sendo de idade cretácica.

Cunha e Carneiro (1972), chamaram de Formação Grajaú, aos arenitos brancos grosseiros, ocasionalmente conglomeráticos que estão sobrepostos aos basaltos Mosquito, na cidade de Grajaú-Ma, citando também, que no local denominado Ourives, a sul de Barra do Corda, esta mesma formação ocorre abaixo dos derrames basálticos da Formação Sardinha. Por outro lado, admitem que os basaltos Sardinha são mais novos que a Formação Grajaú e mais antigos que a Formação Corda. Indicam a existência de uma concordância Corda/Grajaú e os opoicionam no Cretácio Inferior.

O Projeto Estudo Global (1978), considerou como Formação Grajaú, os arenitos descritos por Lisboa em 1914, levando em consideração o admitido por Carneiro (1972), no tocante a haver correspondência crono-estratigráfica e interdigitação entre as unidades Grajaú e Codô.

A área de afloramento desta formação ocupa pequenas faixas na parte norte e canto nordeste da Folha, apresentando geralmente um relevo de chapadas arenosas de modesto destaque topográfico ou formando pequenas mesetas. Litologicamente, está constituída de arenitos róseos, cremes e esbranquiçados, finos a médios, com níveis grosseiros, grãos arredondados, estratificação cruzada laminar, com granulogia alternada segundo os planos de laminação cruzada, extremamente friável, ou localmente silicificados, ocorrem

ainda intercalados leitões subordinados de siltitos argilosos e argilitos, arroxeados e cremes, homogêneos, ou apresentando aleitamento regular ondulado, contendo finos níveis de siltitos marrons, ocasionalmente ferruginoso.

Esta formação apresenta uma espessura relativamente pequena; a máxima verificada está em torno de 36 metros.

Apresenta o seu contato inferior com a formação Corda discordante e erosivo, entretanto, seu contato com a Formação Sambaíba, não foi observado, em face de seu mascaramento pela vasta cobertura arenosa oriundo das duas unidades.

3.2.2.5 - Formação Itapecuru

Campbell (op.cit.), foi o primeiro a fazer referência a esta formação, quando descrevia uma seção de arenitos de granulometria e coloração variegada, siltitos e folhelhos predominantemente vermelhos e esbranquiçados, que ocorrem no vale do Rio Tocantins, no Estado do Maranhão, denominando-a de Formação Serra Negra. Posteriormente, passou a usar o termo Itapecuru, para caracterizar esta formação, atribuindo-lhe idade cretácica e, posicionando-a, com discordâncias locais, sobre a Formação Codó.

Para a caracterização desta unidade, o Projeto Estudo Global (1978), considerou o exposto por Campbell, conforme descrito acima.

A Formação Itapecuru aflora na Folha com pequena representatividade superficial, ocorrendo apenas no extremo norte-nordeste e centro-oeste da área, com relevo em formas de mesetas e terminações em escarpas abruptas de expressivo destaque topográfico. Sua litologia é consti -

tuída por arenitos argilosos, avermelhados e arroxeados, finos e finos-médios, com estratificação cruzada de baixa angulosidade, contendo níveis de siltitos argilosos avermelhados, homogêneos.

Apresenta uma espessura aflorante bastante apreciável, chegando a atingir 160 metros no extremo norte da Folha.

O seu contato inferior com as formações Codô e Grajaú, se dá concordantemente, embora seja observado pequenas discordâncias locais.

3.2.3 - Cenozóico

O cenozóico se faz representar pelas coberturas detríticas arenosas e lateríticas e os aluviões, que ocupam restritas faixas descontínuas ao longo da área.

3.2.3.1 - Coberturas

Na Folha em estudo, as coberturas arenosas e/ou lateríticas ocorrem de forma dispersa, mas de extensão territorial relativamente considerável e com espessuras que podem atingir até 8 metros.

As coberturas são representadas por solos residuais, essencialmente arenosos, que formam extensas planícies ou chapadas baixas, dificultando a determinação de contatos das formações subjacentes, enquanto as coberturas lateríticas são areno-argilosas, com seixos de quartzo, caulim e limonita dispersos, de coloração normalmente amarela-

da a avermelhada, devido a infiltração de óxidos de ferro. As coberturas lateríticas ocorrem, principalmente, na região de Fortaleza dos Nogueiras, sobre os clásticos finos da Formação Corda.

3.2.3.2 - Aluviões

Os aluviões são representados pelos depósitos de cascalheiros constituídos, essencialmente, por areias, seixos e calhaus sedimentados nos vales dos rios, principalmente o Tocantins.

3.3. GEOLOGIA ESTRUTURAL

O Projeto Estudo Global (1978) verificou para a área da Folha 12, Teresina-SO, as principais feições estruturais, abaixo transcritas.

A direção geral dos estratos rochosos é predominantemente E-W, com suave concavidade voltada para norte, configurando um amplo homoclinal. As principais direções de fraturamento na área são predominantemente, NE-SW e NW-SE, entretanto, um outro sistema se faz presente normalmente orientando faixas basálticas, de direção ENE-WSW.

A oeste de Filadélfia, são observados horstes e grabens com direção NE-SW e, aproximadamente, N-S, com pequenos rejeitos. As camadas tendem à subhorizontalidade nas diversas regiões, entretanto, foram observados mergulhos anômalos nos arenitos do topo da Formação Sambaíba, notadamente entre Estreito e Vanderlândia, tendo diversos

sentidos, com valores da ordem de 5° , 10° e 15° , capeados por derrames basálticos. Em algumas faixas, na verdade, trata-se de mergulhos dos planos de estratificação cruzada, mas, na maioria, são causados por eventos tectônicos, possivelmente contemporâneos a extrusão dos basaltos Mosquito.

Na região de Loreto, estendendo-se além do limite leste da Folha, no âmbito da Formação Motuca, são observados profusos dobramentos constituídos por pequenos anticlinais e sinclinais de caimentos, mergulhos das abas e direções variáveis. Estas deformações também atingem os psamitos da Formação Sambaiba. Regionalmente, não foi reconhecido um caráter tectônico compressivo, mas sim uma tectônica de falhamento e desnivelamentos provocando flexuras e dobras restritas nos estratos de maior plasticidade ou menor competência (Formação Motuca). Teria, portanto, atuado uma tectônica gravitacional sindeposicional, com fluxo nas camadas pelítico-químicas. Registros de falhamentos posteriores, guardando, entretanto, o mesmo padrão, de direção predominantemente NE-SW, são observados nos pequenos morros testemunhos de Formação Sambaiba, tectonizados, silicificados e com um complexo sistema de diaclasamento, que por se tratar de rochas mais competentes, projetam-se em superfície balizando alinhamentos estruturais de fraturamentos. Observa-se ainda que os falhamentos são subverticais e situam-se nos trechos mais flexurados.

3.4 - HISTÓRIA GEOLÓGICA

A história geológica desta área teve início no final do primeiro grande ciclo sedimentar, contínuo, do Siluro-Devoniano ao Carbonífero Inferior, representado nesta Folha pelas formações Longã e Poti.

Os sedimentos da Formação Longã, foram depositados em ambiente marinho de idade neo-paleozóica. Enquanto os sedimentos da Formação Poti, marcam o fim do primeiro grande ciclo deposicional, com sua parte inferior arenosa, indicando nitidamente a fase de evacuação regressiva marinha e sua parte superior sendo constituída de sedimentos continentais fluviais.

Com o final do primeiro grande ciclo, segue-se um novo grande ciclo de sedimentação contínua, compreendendo as formações Piauí, Pedra de Fogo, Motuca e Sambaíba, todas com boa representatividade. Esta fase se caracteriza por um ambiente essencialmente continental, com incursões marinhas restritas.

Com o final deste segundo grande ciclo, houve um reativamento das falhas, com grandes eventos tectônicos, onde durante o processo de sedimentação das areias Sambaíba se deu o primeiro vulcanismo da Bacia do Parnaíba, de caráter fissural, provavelmente relacionado à ruptura do Atlântico Norte. A intrusão destes basaltos toleíticos ocorreram por meio de zonas de distensão, não ocorrendo em fase contínua, sim periódica, visto que se observa na região de Estreito-MA, a deposição de camadas inter-derrames de arenitos Sambaíba, sendo no entanto, bastante localizada, tal como ocorre na região de Fortaleza dos Nogueiras, com o membro sedimentar Macapã da Formação Mosquito.

Com o final da fase de deposição das lavas Mosquito, ocorre, em toda Bacia do Parnaíba, um intenso processo erosivo, com a deposição da unidade Pastos Bons (não verificada na folha) nas zonas mais baixas, circunvizinha dos basaltos topograficamente mais altos. Com a contínua subsidência da bacia, em função da movimentação dos blocos, segundo as principais direções e guardando os mesmos padrões, foram depositados os sedimentos Corda, sobre uma superfície irregular e intensamente erodida diretamente sobre os basaltos Mosquito.

Após o final deste período erosivo segue u ma nova fase de tectonismo interrompendo a sedimentação . Este magmatismo, denominado Sardinha, tem caráter basicamente intrusivo, ao inverso da Formação Mosquito, e não ocorre nos limites da Folha.

Terminado o período de tectonismo, segue - se nova fase erosiva na Bacia do Parnaíba, acompanhado de um novo tectonismo guardando o mesmo padrão. O arco Ferrer-Urbano Santos , que ocorreu na região de Rosário, favoreceu a entrada do mar, através da região norte, quando foram depositados em superfície irregular os sedimentos Codó (não aflorantes na Folha) interdigitados com os estratos flúvio-deltáicos da Formação Grajaú, concordantemente sobre os estratos anteriores houve a sedimentação continental da Formação Itapecuru, oriundos da região noroeste e norte, de ampla abrangência superficial e assoreando toda região setentrional da bacia.

Durante o Terciário ocorreu nova subsidência na faixa costeira da bacia; dele estão representados nesta área, os sedimentos mais recentes denominados coberturas detríticas e lateríticas de origem geomorfológicas.

O Quaternário se faz representar pelos depósitos aluvionais, mais representativos no vale do Tocantins, e eólicos, em que a área se mantém mais ou menos estável, sofrendo apenas os efeitos erosivos.

4 - HIDROGEOLOGIA

4.1 - GENERALIDADES

A Folha 12 - Teresina-SO, está totalmente encravada na Bacia Sedimentar do Parnaíba, sendo constituída, em sua quase totalidade, de rochas sedimentares, à exceção dos derrames basálticos que constituem Formação Mosquito, datada do Triássico/Jurássico e posicionada entre os estratos arenosos das unidades Sambaíba e Corda.

Em virtude de tratar-se de área quase que exclusivamente sedimentar, as rochas desta Folha apresentam características hidrogeológicas bastante promissoras.

O sistema aquífero Poti-Piauí, com boa tradição hidrogeológica dentro da Bacia do Parnaíba, ocupa, quase que continuamente, toda faixa meridional, sendo considerado como a unidade hidrogeológica de maior significação da área.

No tocante ao inventário hidrogeológico, como pode ser visto no catálogo de pontos de água anexo, foram cadastrados 320 pontos, distribuídos da seguinte forma:

225 fontes	(70,3%)
81 poços manuais	(25,3%)
14 poços tubulares	(4,4%)

Uma pequena percentagem deste cadastramento teve como base, trabalho anterior realizado pela SERETE - S/A Engenharia, para a USDENE, em 1974, que sobrepõe a faixa sudeste da Folha.

A densidade média de pontos de água cadas-

trados é da ordem de um ponto para cada 227 quilômetros quadrados.

Dos pontos de água inventariados as fontes representam, percentualmente, maioria absoluta e tendo distribuição geológica da seguinte forma:

Coberturas e Aluviões	(4,6%)
Formação Itapecuru	(0,5%)
Formação Grajaú	(3,2%)
Formação Corda	(16 %)
Formação Mosquito	(9 %)
Formação Sambaíba	(28,5%)
Formação Motuca	(5%)
Formação Pedra de Fogo	(14%)
Formação Piauí	(17%)
Formação Poti	(2,6%)

Os poços manuais estão distribuídos percentualmente nas formações geológicas do seguinte modo:

Coberturas e Aluviões	(11%)
Formação Grajaú	(1,2%)
Formação Corda	(1,2%)
Formação Mosquito	(26 %)
Formação Sambaíba	(21 %)
Formação Motuca	(8,6%)
Formação Pedra de Fogo	(21%)
Formação Piauí	(10 %)

Os poços tubulares, em número bastante reduzido, apenas 14 para toda área, estão representados no Quadro 4.1.1, onde são observadas algumas de suas características hidrodinâmicas, geologia de superfície e o aquífero explorado.

QUADRO: 4.1.1

DISPONIBILIDADE DE POÇOS TUBULARES NA FOLHA - 12 TERESINA - SO

Nº Ponto	Prof (m)	NE (m)	ND (m)	Reboixamento (m)	Vazão l/s	Unidade Bombeamento	Geologia de Superfície	Arquífero Explorado	Local-Município-Estado
0 2 6 . 12	60,00	4,00	20,00	16,00	1,51	S/E	Ppf	P. de Fogo	Sede - Filadelfia-GO
0 2 7 . 12	180,00	6,00	13,00	7,00	2,15	M B	Ppf	Plaul	Sede - Filadelfia-GO
0 2 8 . 12	172,00	Jorrante	33,00	—	0,45	S/E	Ppf	Plaul	Sede - Filadelfia-GO
0 6 9 . 12	180,00	57,00	65,00	12,00	1,68	M B	R Jm	Sambaiba	Estreito-Tocantinópolis-GO
0 8 3 . 12	86,00	8,00	10,24	2,24	1,68	M B	R Jm	Mosquito	Sede - Tocantinópolis-GO
0 8 4 . 12	180,00	Jorrante	3,54	—	0,84	M B	R Jm	Sambaiba	Sede - Tocantinópolis-GO
1 1 8 . 12	197,00	Jorrante	30	—	8,61	M B	Ppf	Plaul	Sede - Balsas - MA
1 1 9 . 12	220,00	Jorrante	42	—	7,50	M B	Ppf	Plaul	Sede - Balsas - MA
1 4 8 . 12	10,00	0,80	6,06	5,26	4,99	M B	R s	Aluvião	Estreito-Carolina - MA
1 4 9 . 12	10,50	0,90	3,58	2,68	4,99	M B	R s	Aluvião	Sede - Carolina - MA
1 7 6 . 12	1.170,00	Jorrante	0,0	0,0	13,88	M B	Ppf	S.Granda Cabeças	Sede - Carolina - MA
3 0 6 . 12	220,00	Jorrante	NO	NO	NO	S/E	P R m	P. de Fogo	Sede. S. Rdo. das Mangabeiras. MA
3 0 9 . 12	73,00	32,50	38,50	6,00	1,83	M. B	TQc	Mutuca	Vale Verde S. Rdo. das Mangabeiras. MA
3 1 9 . 12	387,00	Jorrante	NO	NO	6,00	S/E	Cpi	Poti/ Plaul	Sede-Ribeiro Goncalves. PI

Dentre os pontos de água inventariados verificou-se que apenas 78 estão equipados com unidades de extração, sendo os sarilhos as mais frequentes, com um total de 49 unidades, seguidos em menor proporção pelas moto-bombas (20), bombas manuais (7) e cataventos (2). A pequena densidade de unidades de extração é devida à existência de água em pequena profundidade, e da grande utilização de água dos córregos e riachos pela população da região.

São as seguintes as profundidades médias dos poços manuais nas diferentes formações geológicas:

Aluviões	(6,77 metros)
Coberturas	(18,92 metros)
Formação Grajaú	(4,76 metros)
Formação Corda	(17,62 metros)
Formação Mosquito	(8,91 metros)
Formação Sambaiba	(8,48 metros)
Formação Motuca	(7,71 metros)
Formação Pedra de Fogo	(10,31 metros)
Formação Piauí	(10,18 metros)

Foram observados valores extremos como 33,38 metros em coberturas e 1,65 metros na Formação Mosquito.

De posse do cadastro de pontos de água foram selecionados 156 pontos para levantamento barométrico com a finalidade de se traçar o esboço da superfície piezométrica das águas subterrâneas.

Encontram-se no volume anexo, dez fichas de sondagens, referentes a perfis de poços tubulares existentes na área.

4.2 - GEOLOGIA E ÁGUA SUBTERRÂNEA

Por se tratar de uma área de rochas, quase que exclusivamente, sedimentares, litologicamente constituída por uma sequência de camadas de conglomerados, arenitos, siltitos e folhelhos, à exceção dos derrames de basaltos e estar totalmente incluída na Bacia Sedimentar do Parnaíba, considerada uma das mais importantes províncias hidrogeológicas do país, a Folha em estudo apresenta possibilidades promissoras de armazenamento de águas subterrâneas.

Hidrogeologicamente, a área necessita de maiores informações a respeito de sua potencialidade, visto que em toda sua extensão, existem apenas 14 poços tubulares e a maior parte dos pontos inventariados se referem a fontes e poços manuais, que respondem pelas características hídricas das rochas aflorantes.

No Quadro 4.2.15, estão representadas, resumidamente, as características hidrogeológicas das diversas unidades aflorantes e as que ocorrem em subsuperfície. Para um esclarecimento mais detalhado dos diferentes aquíferos, presentes nesta área, devido a falta de testes de bombeamento, foi necessário a adoção de valores de características hidrodinâmicas de trabalhos em áreas vizinhas, onde ocorrem as mesmas unidades.

No âmbito da Folha 12, existem vários poços perfurados pela Petrobrás, os quais determinam o topo e a espessura das diversas unidades geológicas aflorantes e que ocorrem apenas em subsuperfície (Quadro 4.2.16). Estas informações contribuíram, sobremaneira, para o conhecimento hidrogeológico da região.

A seguir será feita uma abordagem das características litológicas e hidrogeológicas das diversas formações presentes na área e em subsuperfície.

QUADRO.4.2.15
LITOLOGIA E CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS
DAS FORMAÇÕES DA FOLHA 12 - TERESINA - SO

PERÍODO	FORMAÇÃO	ESPESSURA MÉDIA (m)	LITOLOGIA	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS
QUATERNÁRIO	Aluviões e coberturas	8	Areias, siltitos, cascalhos	Boas condições hidrogeológicas de interesse local e restrito.
CRETÁCEO	Itapecuru	130	Arenitos argilosos, níveis de siltitos e argilas	Potencialidade hidrogeológica fraca, devido principalmente pequena área de ocorrência
	Grajaú	35	Arenitos médios, duros, folhelhos e sílex	Condições hidrogeológicas fracas devido pequena extensão e baixa taxa de recarga
JURÁSSICO	Corda	70	Arenitos finos a médios, argilosos, níveis de siltitos e folhelhos, com glomerados basais.	Apresenta potencialidade hidrogeológica média, em virtude presença de arenitos médios.
	Mosquito	80	Basalto	Permeabilidade ocasionais de fraturas, com influência nas direções locais de escoamento.
TRIÁSSICO	Sambaíba	180	Arenitos finos a médios, com películas de argilas	Apresenta condições de potencialidade hidrogeológica média, devido aos sedimentos arenosos.
	Motuca	90	Arenitos finos a médios, argilosos e folhelhos e siltitos.	De fraca potencialidade, as possibilidades aquíferas ficam reduzidas às faixas arenosas em geral de pequenas vazões.
PERMIANO	Pedra de Fogo	130	Arenitos finos a médios argilosos, siltitos e folhelhos, níveis de calcários e sílex.	Permeabilidade de média a fraca, prejudicada pelos níveis de sílexitos, água com certo grau de salinidade.
CARBONÍFERO	Piauí	290	Arenitos finos a médios subarredondados, siltitos argilosos e folhelhos.	Apresenta uma potencialidade de médio a elevado, devido a porção arenosa.
	Poti	240	Arenitos finos a médios, intercalações de siltitos e folhelhos, conglomerados intraformacionais.	Se classifica como de potencialidade média a elevada, devido ser de permeabilidade regular.
	Longá	150	Folhelhos e siltitos cinza escuro, fóssil, micáceo com faixas de arenitos finos, homogêneos.	Potencialidade fraca, ocorrência restrita, considerado como aquitardo.
DEVONIANO	Cabeças	110	Arenitos médios a finos, eventualmente grossos, intercalam-se folhelhos e siltitos.	Ocorre apenas em subsuperfície, entretanto, de características hidrogeológicas muito boa, provavelmente em confinamento.
	Pimenteiras	390	Argilas e folhelhos com intercalações de siltitos e arenitos.	Ocorre apenas em subsuperfície, devendo, entretanto, ser de fracas condições hidrogeológicas, devido apresentar em geral reduzida permeabilidade.
SILURIANO	Serra Grande	420	Arenitos mal selecionados, subangulosos, conglomeráticos, siltitos e folhelhos.	Ocorre apenas em subsuperfície, entretanto é considerado como de condições hidrogeológicas excelentes de sendo ser confinado.

QUADRO 4.2.16

POÇOS PERFORADOS PELA PETROBRÁS NA ÁREA DA FOLHA 12
COM INDICAÇÃO DE PROFUNDIDADE DO TOPO (m⁺)/ESPESSURA DAS FORMAÇÕES

P O Ç O P E T R O B R Á S				F O R M A Ç Õ E S						
SIGLA	LOCALIZAÇÃO	COTA (m)	PROF. (m)	Ppf	Cpi	Cpo	Dcl	Dc	Dp	SDsg
CA-1-MA	07°32'30"S 45°56'57"W	323	1.936	323/83	240/314	-74/258	-332/135	-467/223	-690/390	-1086/457
VBst-1-MA	07°28'30"S 46°18'30"W	392	1.941	392/109	283/301	-8/223	-231/177	-408/110	-518/384	-902/621
Rb-1-MA	08°02'30"S 46°05'01"W	578	1.836	-	578/341	237/262	-25/207	-232/59	-291/425	-716/526
TB-2-MA	07°25'30"S 46°03'45"W	288	1.603	288/150	138/313	-175/241	-416/109	-525/115	-640/501 ++ 109	-1141/172
1-CL-1-MA	07°19'30"S 47°27'50"W	177	1.170	177/140	37/176	-139/175	-314/48 -384/60	-362/22	-444/236	-680/304

+ cotas em relação ao nível do mar
++ espessura diabásio

4.2.1 - Formação Serra Grande

Os estratos da Formação Serra Grande, ocorrem apenas em subsuperfície, como pode ser verificado em poços perfurados pela Petrobrás (Quadro 4.2.16); os mesmos registram profundidades superiores a 1.000 metros para esta unidade e espessura média acima de 450 metros. Verifica-se, entretanto, conforme Figura 4.2.1.1 - Isopácas da Formação Serra Grande que esta formação ocorre em subsuperfície em toda extensão da Folha.

A parte aflorante, a sudoeste desta Folha, está litologicamente constituída por arenitos cinzas e esbranquiçados, médios a grosseiros, caulínicos, com intercalações de níveis conglomeráticos.

A alimentação deste aquífero se faz por infiltração direta das águas pluviais nas áreas de recarga fora da Folha, e por infiltração vertical descentente de camadas aquíferas superiores.

Apesar de sua ocorrência apenas em subsuperfície, este aquífero representa grande potencial de água subterrânea, principalmente na região Sul da Folha em estudo, fato constatado pelo poço 1-CL-1-MA, perfurado pela Petrobrás na cidade de Carolina(MA) hoje aproveitado para o abastecimento local.

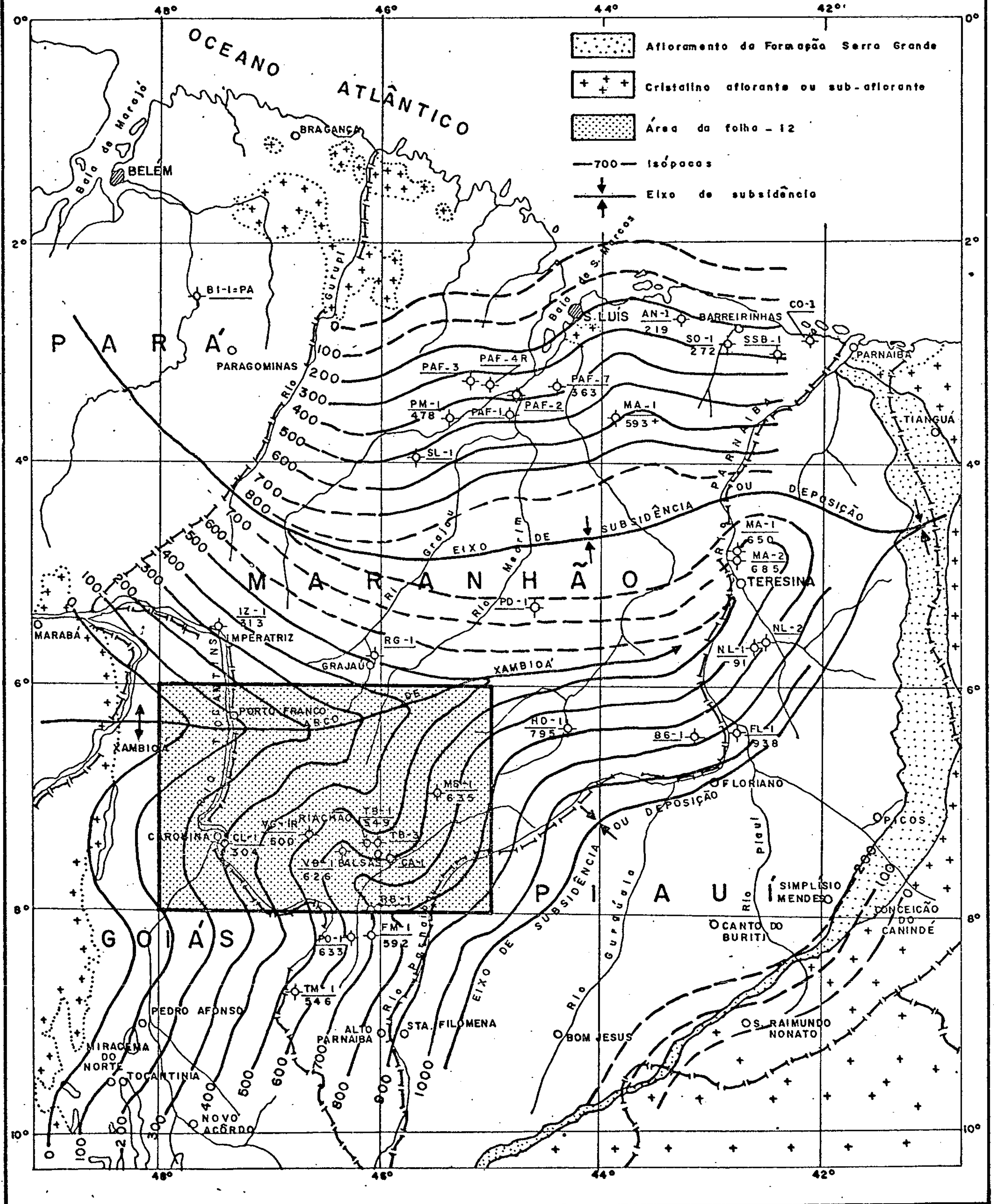
4.2.2 - Formação Pimenteiras

Esta unidade geológica está presente na área apenas em subsuperfície, verificada pelos poços da Petrobrás (Quadro 4.2.16), onde registram profundidades em

BACIA DO PARNAÍBA ISÓPACAS DA FORMAÇÃO SERRA GRANDE

1C = 100 m

0 50 100 150 200 250Km



torno de 1.000 metros e espessura média da ordem de 390 metros.

Os estratos aflorantes desta formação, fora da Folha, a oeste, são litologicamente constituídos por uma sequência de siltitos cremes, cinzas-esverdeado, argilosos e folhelhos cinzas, esbranquiçados róseos, micromicáceos, fósseis. Para o topo da sequência intercalam-se bancos de arenitos finos com níveis de folhelhos.

A sua alimentação nas zonas de recarga, através das águas pluviais é pequena em face de sua constituição litológica bastante pelítica.

Hidrogeologicamente, se comporta como aquífero ou camadas semi-permeáveis, entretanto, as suas camadas arenosas podem, eventualmente, fornecer modestas quantidades de água através de poços.

Foram determinados através de testes de bombeamento, no vale do Gurguêia pelo DNOCS/COTEPE, as seguintes características hidrodinâmicas, aqui transcritas, apenas a título de informações:

$$T = 3,08 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K = 3,07 \times 10^{-7} \text{ m/s}$$

4.2.3 - Formação Cabeças

Como as unidades Serra Grande e Pimenteiras, a Formação Cabeças ocorre na Folha 12, apenas em subsuperfície, confirmada nos poços perfurados pela Petrobrás (Quadro 4.2.16). A mesma se faz presente com profundidades em torno de 750 metros e espessura da ordem de 110 metros, verificando-se em toda extensão da Folha.

As camadas aflorantes a sudoeste, são constituídas, litologicamente, por arenitos esbranquiçados, finos a médios, grãos grosseiros esparsos, com estratificação incipiente e blocos menores de arenitos finos e siltos amarelados, por vezes contendo oólitos ferruginosos.

A sua alimentação é feita diretamente pelas águas pluviais nas zonas de recarga fora da Folha, e através da infiltração vertical descendente através da Formação Longã.

A Formação Cabeças tem características hidrogeológicas de bom aquífero, o que deverá ser confirmado nesta área, apesar de sua ocorrência apenas em subsuperfície.

Devido a inexistência de testes de bombeamento dos poços da área, para a determinação das características hidrodinâmicas médias, serão adotadas a título de informação, as determinadas pelo DNOCS, no Vale do Gurguêia. São os seguintes os valores adotados para esta Unidade:

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

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

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

4.2.4 - Formação Longã

Apresenta-se em diminuta proporção no extremo sudoeste, onde aflora com um relevo bastante dissecado, daí se prolongando em subsuperfície para o interior da bacia conforme foi constatado em poços da Petrobrás. (Quadro 4.2.16). Sua profundidade para o interior da Folha alcança cerca de 650 metros e espessura da ordem de 150 metros.

É, litologicamente, constituída por folhelhos cinzas a pretos, micromicáceos, contendo laminações de sil

titos cinzas e intercalações de leitos subordinados de arenitos finos, e espessura aflorante em torno de 20 a 30 metros.

A alimentação desta unidade é feita diretamente pela infiltração das águas pluviais nas zonas de afloramento e pela infiltração vertical descendentes dos aquíferos superiores.

A superfície aflorante desta formação é de apenas 126 km².

Hidrogeologicamente, apresenta potencialidade fraca, sendo tratado, portanto, como um aquífero.

As características hidrodinâmicas determinadas pelo DNOCS/COTEPE, no vale do Gurguéia, estão aqui transcritas, a título de informações:

$$T = 2,62 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

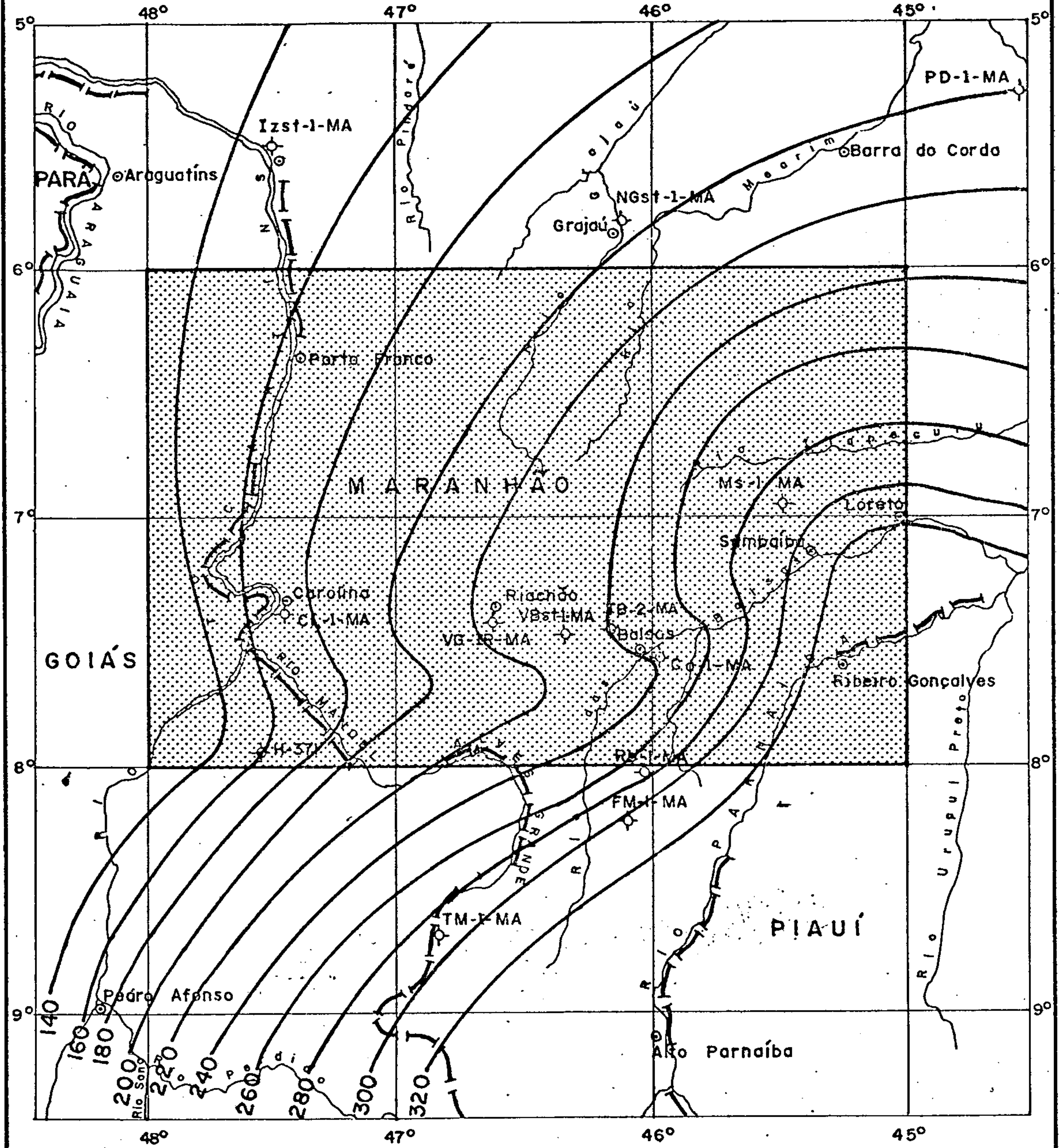
$$K = 7,87 \times 10^{-7} \text{ m/s}$$

4.2.5 - Formação Poti

Ocorre na porção sudoeste, com uma superfície aplanada e morros testemunhas, de modesto destaque topográfico, ocupando uma porção aflorante de apenas 968 km² e espessura inferida em torno de 80 metros, entretanto se prolongando em subsuperfície para o interior da bacia, confirmada em poços perfurados pela Petrobrás (Quadro 4.2.16). Sua profundidade em direção ao centro da área é de, aproximadamente, 400 metros e sua espessura média varia da ordem de 140 metros na faixa oeste até 320 metros no canto sudeste, conforme Fig. 4.2.5.1.

Compõe-se, litologicamente, de arenitos ar-

MAPA DE ISÓPACAS DA FORMAÇÃO POTI



LEGENDA







-  Área do Folha 12
-  Cidades
-  Limite Interestadual
-  Rios
-  Curvas de Isópacos
-  Furo Estratigráfico

Fig. 4.2.5.1

roxeados e avermelhados, finos siltosos, micromicáceos, seguidos de arenitos finos a médios, grãos grosseiros esparsos. Na parte superior há uma predominância de siltitos e folhelhos avermelhados.

A sua alimentação é feita diretamente pela infiltração das águas pluviais, e a partir dos rios nas zonas de afloramento, devendo se verificar também infiltração vertical descendente nas partes semi-confinadas.

Os seus principais exutórios se constituem na contribuição de águas ao escoamento do Rio Tocantins, no período de recessão e pelas fontes de evapotranspiração nas áreas de afloramento.

O aquífero Poti é dotado de características hidrogeológicas relativamente boa, se constituindo, juntamente com o aquífero Piauí, no principal sistema de exploração de água subterrânea.

As características hidrodinâmicas, aqui adotadas, foram determinadas pela SERETE/SA - Engenharia, através de testes de bombeamento em poços tubulares na cidade de Balsas, no Estado do Maranhão, localizada na área desta Folha.

$$T = 3,5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K = 6,3 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

A piezometria realizada na área de afloramento desta formação, indica uma direção geral de escoamento natural para o vale do Rio Tocantins.

4.2.6 - Formação Piauí

Aflora, quase que continuamente, em toda

faixa meridional, apresentando a sudoeste um relevo mais aplanado e esparsos morros testemunhos, enquanto nas de mais áreas constitui mesetas e chapadas de terminações em escarpas abruptas, tendo espessura aflorante em torno de 100 metros. A sua área de exposição é da ordem de 7.842 km²; entretanto, se prolonga em subsuperfície em toda extensão da Folha, conforme dados obtidos em poços perfurados pela Petrobrás (Quadro 4.2.16). A profundidade média desta unidade, em direção ao centro da área, é de aproximadamente, 230 metros e possui espessura média de 160 metros na porção oeste, e 340 metros na faixa sudoeste, conforme Figura 4.2.6.1.

Litologicamente, é constituída por arenitos cremes, róseos e esbranquiçados, finos a médios, subangulosos, com esparsos níveis grosseiros. Subordinadamente, ocorrem folhetos e siltitos argilosos, vermelhos, arroxeados e esverdeados.

A alimentação deste aquífero se dá diretamente pela infiltração das águas pluviais, contribuição dos cursos de água durante o período chuvoso e infiltração descendentes das formações superiores.

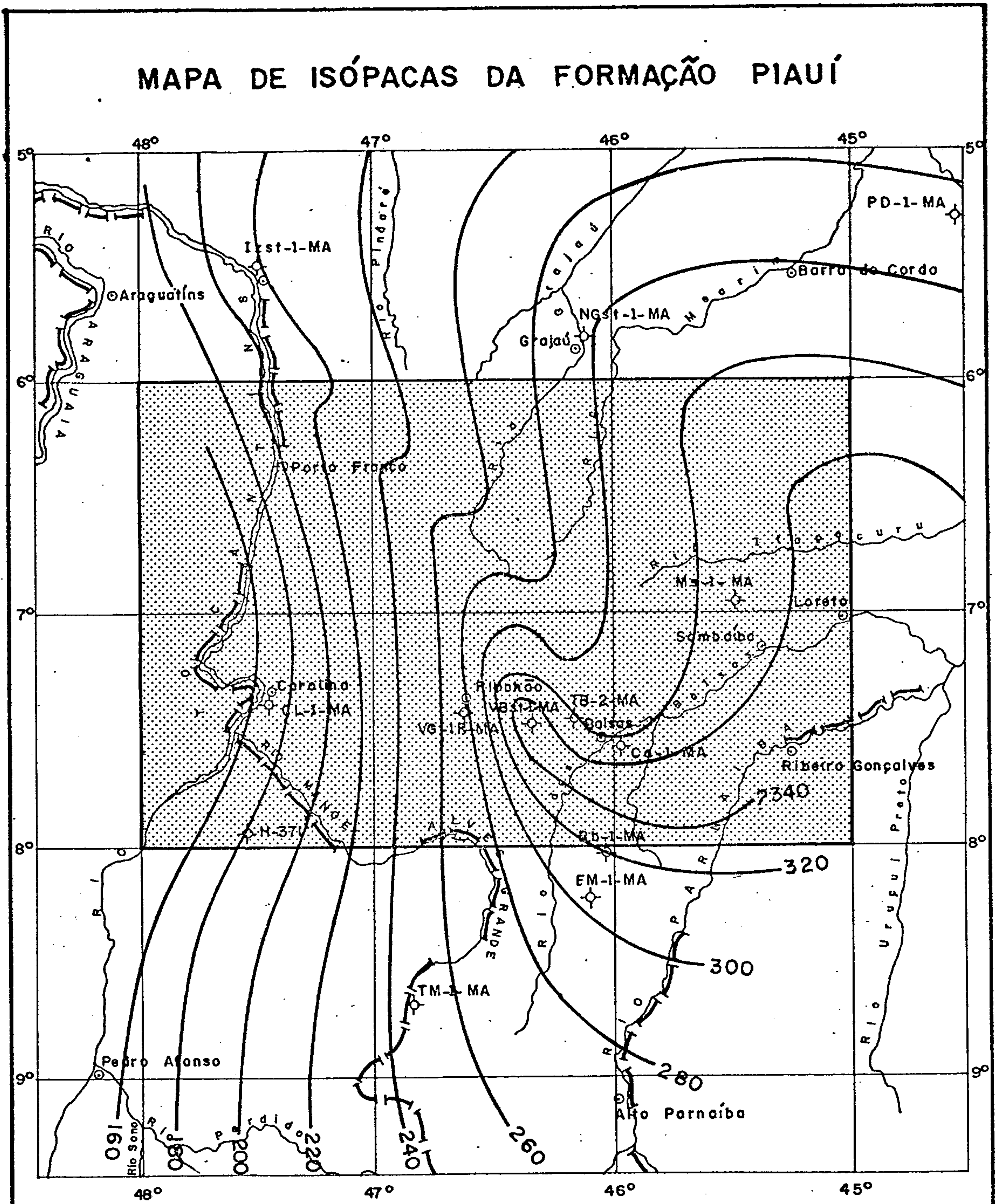
Os exutórios são representados principalmente pela evapotranspiração, pelas fontes, pelas restituições aos cursos de água dos rios e pela contribuição ao aquífero sotoposto.

Hidrogeologicamente, esta formação, juntamente com o Poti, constituem o principal sistema aquífero desta Folha para utilização de água subterrânea, devido ao fácil acesso a sua captação e devido às suas características hidrodinâmicas e litológicas.

Os valores médios das características hidrodinâmicas deste aquífero, são os mesmos do Poti, conforme citação no item 4.2.5.

A piezometria esboçada para esta unidade

MAPA DE ISÓPACAS DA FORMAÇÃO PIAUÍ



LEGENDA






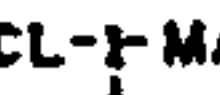
-  Area da Folha 12
-  Cidades
-  Limite Interestadual
-  Rios
-  Curvas de Isópacas
-  Furo Estratigráfico

Fig. 4.2.6.1

indica a ocorrência de um provável divisor de água subterrânea, com escoamento natural para os rios Manoel Alves Grande e Tocantins, na parte oeste, e rios das Balsas e Parnaíba do lado este.

4.2.7 - Formação Pedra de Fogo

De grande abrangência na área, compreendendo uma faixa contínua de este a oeste, em toda porção sul e ocupando uma extensão aflorante de 14.470 km², sua espessura situa-se em torno de 100 metros. Apresenta-se mais aplanada na porção sudoeste e forma escarpas em destaque topográfico com rebordos festonados, nas demais áreas, normalmente repousando sobre as elevações da Formação Piauí.

Sua litologia é caracterizada por uma alternância cíclica de folhelhos e siltitos argilosos amarelados, esverdeados, com níveis de sílex, restos de madeira fóssil e arenitos finos.

A sua alimentação é feita essencialmente pela infiltração direta da água de chuvas nas zonas de afloramento.

Hidrogeologicamente, desperta pequeno interesse, sendo pouco promissoras as possibilidades de captação de água subterrânea, considerada portanto como um aquífero devido às suas características litológicas e fraca permeabilidade.

A superfície piezométrica reforça a provável ocorrência de um divisor de água subterrânea entre as bacias do Tocantins e do Parnaíba, com o escoamento natural se fazendo para os rios Sereno, Manoel Alves Grande e Tocantins do lado oeste e das Balsas e Parnaíba do lado este.

4.2.8 - Formação Motuca

Ocorre ocupando uma faixa contínua de direção este-oeste em toda porção medianda da Folha, com superfície aflorante de 5.783 km², e tendo sua espessura, constatada em poços perfurados pela Petrobrás, da ordem de 100 metros (Quadro 4.2.16).

Litologicamente, é constituída por folhelhos e siltitos argilosos de cor vermelho-tijolo com manchas esbranquiçadas, calcíferas, e contendo delgados leitões de silexitos, ocorrendo subordinadamente, níveis de arenitos avermelhados finos argilosos.

Sua alimentação se faz, diretamente, através da infiltração das águas pluviais nas partes aflorantes e pela infiltração vertical descendente proveniente da unidade Sambaiba.

Suas características hidrogeológicas são bastante fracas, estando as possibilidades aquíferas restritas, apenas, às pequenas partes arenosas, as quais deverão fornecer modestas vazões através de poços tubulares, sendo portanto, considerada, como um aquitardo.

4.2.9 - Formação Sambaiba

É a unidade geológica de maior representatividade, cobrindo área de 16.756 km². Aflora, continuamente, no canto nordeste, centro e oeste, com relevo aplanado, onde se desenvolvem extensos areais, com notáveis morros testemunhos de topos planos e escarpas abruptas, geralmente capeado por camadas basálticas. A sua espessura está em torno

de 180 metros.

A litologia é essencialmente constituída por arenitos róseos e esbranquiçados, finos a médios, grãos subangulosos e arredondados.

A alimentação se faz, principalmente, pela infiltração das águas pluviais nas áreas aflorantes e pela infiltração e partir dos cursos dos rios.

Os seus principais exutórios são a evapotranspiração, a infiltração vertical e a perda de água através de fontes.

Hidrogeologicamente, apesar de ser pouco conhecida, é a unidade geológica mesozóica mais promissora à exploração de águas subterrâneas no âmbito desta Folha, principalmente nas áreas mais próximas ao Rio Tocantins. Apresenta-se com grande espessura e larga faixa de afloramento, o que a capacita receber por infiltração, boa parcela das águas pluviais, além de possuir boa porosidade, razoável permeabilidade, exceto quando em contato com os basaltos e ter o aquitardo Motuca funcionando como leito semi-permeável.

O esboço piezométrico realizado na área de afloramento desta formação indica um escoamento natural, a oeste, para o Rio Tocantins.

4.2.10 - Formação Mosquito

Aflora em uma área relativamente ampla, de 10.154 km², ocupando a parte centro-norte em direção a noroeste da Folha. Sua espessura apresenta-se bastante variável, sendo em média 80 metros.

Sua litologia é constituída, essencialmente,

por basaltos, com textura amigdaloidal de matriz afanítica, cor cinza escuro ou verde escuro. Superficialmente, ocorre um manto de natureza argilosa de cor vermelha escura a arroxeada, proveniente do seu intemperismo.

Do ponto de vista hidrogeológico, esta unidade pode armazenar apreciável quantidade de águas subterâneas, proporcionando destacadas vazões. Isto se verifica, quando estes basaltos apresentam-se bastante diaclasados, como ocorre na cidade de Tocantinópolis, no Estado de Goiás, onde existe um poço tubular pertencente a Saneago (ponto 083.12), totalmente perfurado em basalto cuja vazão é de 1,68 l/s.

4.2.11 - Formação Corda

Aflora, descontinuamente, na faixa setentrional da Folha com uma superfície da ordem de 11.032 km² de relevo plano-ondulado ou formando mesetas e extensos chapadões tabuliformes, com terminações em escarpas abruptas e espessura média em torno de 70 metros.

É, litologicamente, constituída por arenitos argilosos marrons-avermelhados e arroxeados, finos a médios, grãos arredondados, com intercalação de leitos de siltitos argilosos e argilitos avermelhados e arroxeados com laminações de sílex. A seção inferior, na região de Porto Franco está constituída por arenitos conglomeráticos e conglomerados de cor avermelhada.

A alimentação é feita, principalmente, pela infiltração de águas pluviais nas regiões aflorantes e pela infiltração da contribuição dos rios.

Tem seus exutórios principais na evapotrans-

piração, fontes e infiltração vertical descendente.

Do ponto de vista hidrogeológico, esta unidade é totalmente desconhecida nesta área, porém, devido as suas características litológicas se constitui no principal aquífero da área vizinha ao norte desta Folha.

As características hidrodinâmicas, determinadas em testes de bombeamento para esta unidade em poço perfurado na cidade de Imperatriz, no Estado do Maranhão, situada na Folha 7, são:

$$T = 10,1 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K = 5,0 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

A piezometria esboçada para os estratos aflorados desta formação, na porção noroeste, indica um escoamento natural em direção ao Rio Tocantins.

4.2.12 - Formação Grajaú

Aflora em pequenas faixas, na porção setentrional da folha, ocupando uma extensão territorial de 1.920 km², geralmente em forma de chapadas arenosas de pequeno destaque topográfico, ou formando reduzidas mesetas. Sua espessura é bastante reduzida; sendo a máxima verificada de 36 metros.

Sua litologia é constituída por arenitos róseos, cremes e esbranquiçados, finos a médios, com níveis grosseiros de grãos arredondados. Intercalam-se, subordinadamente, siltitos argilosos e argilitos arroxeados.

Hidrogeologicamente, apresenta potencialidade fraca, devido principalmente, à sua pequena extensão, re

duzida espessura e conseqüentemente baixa recarga.

4.2.13 - Formação Itapecuru

Aflora, com pequena representatividade, em forma de mesetas esparsas na região setentrional, ocupando uma superfície de apenas 360 km² e tendo espessura bastante elevada.

É, litologicamente, constituída por arenitos argilosos avermelhados e arroxeados, finos e finos-médios, contendo níveis de siltitos argilosos avermelhados, homogêneos.

Suas características hidrogeológicas são desconhecidas, entretanto, não desperta interesse nesta área, em face, principalmente de sua reduzida área de ocorrência.

4.2.14 - Coberturas e Aluviões

São representados, nesta área, pelos sedimentos terciários/quaternários. As coberturas ocorrem irregularmente, ocupando, entretanto, porções consideráveis da ordem de 2.596 km² e estão representadas, litologicamente, por coberturas arenosas, detríticas e/ou lateríticas, chegando a atingir até 8 metros, enquanto as aluviões ocorrem mais expressivamente no vale do Tocantins, constituídos por areias, seixos e calhaus, de espessuras variáveis, e cobrem uma área de 593 km².

A alimentação destes sedimentos é feita, principalmente, por infiltração das chuvas e pela contribuição das

águas dos rios e riachos.

Os exutórios principais são constituídos pela evapotranspiração, infiltração vertical descendente e restituição aos cursos de água

As características hidrogeológicas são relativamente boas, em condições de interesse local e restrito.

4.3 - RESERVAS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

A seguir será realizada uma estimativa das reservas de água subterrânea das diferentes unidades hidrogeológicas, a partir do conhecimento das características dimensionais, das condições de fluxo e das características hidrodinâmicas (adotadas de trabalhos anteriores). Os aquíferos Serra Grande e Cabeças ocorrem apenas em subsuperfície, no entanto, as suas reservas de águas subterrâneas despertam relevantes interesses de exploração na área da Folha. Foram calculadas: a vazão de escoamento natural, as reservas permanentes e as reservas exploráveis, devendo levar-se em conta que os resultados aqui obtidos são provisórios, em face das extrapolações adotadas.

4.3.1 - Vazão de Escoamento Natural

O cálculo da vazão de escoamento natural, foi efetuado de duas maneiras:

- a) Com base na equação de Darcy, para as seções onde foi possível o esboço piezométrico, e considerando-se os valores médios da permeabilidade (adotadas), espessuras

das camadas aquíferas e gradiente hidráulico. É a seguinte a fórmula de Darcy:

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

onde

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

$$K = \text{coeficiente de permeabilidade (m/s)}$$

$$E = \text{espessura da camada aquífera (m)}$$

$$i = \text{gradiente hidráulico médio (m/km)}$$

$$L = \text{largura da frente de escoamento (m)}$$

Ainda de acordo com a equação de Darcy, obtém-se uma estimativa do valor da infiltração na área de recarga, relacionando-se a vazão de escoamento natural, calculada através da fórmula retro mencionada, com a pluviometria média. Isto, admitindo-se que haja um possível equilíbrio hidrodinâmico entre os sistemas hidrogeológicos, em que os volumes infiltrados, anualmente, nas áreas de afloramentos correspondam, aproximadamente, ao escoamento natural de cada sistema ou formação. Tem-se então que:

$$Q_{en_1} = \frac{Q_{en}}{A} \text{ mm/ano (lâmina)}$$

$$I_{en} = \frac{Q_{en}}{P_m} \times 10^2 \% \text{ (taxa de infiltração)}$$

onde

$$I_{en} = \text{taxa de infiltração (\%)}$$

$$A = \text{área influente sobre a frente de escoamento (m)}$$

$$P_m = \text{pluviometria média sobre a área (mm)}$$

b) Relacionando a taxa de infiltração média adotada (I_{en}) à pluviometria média (mm/ano), obtém-se a lâmina de água correspondente (mm/ano), que relacionada à área de recarga, fornece a vazão de escoamento natural (m^3/ano). Este é um processo aplicado em áreas onde não há curvas de isopiezometria e que indica apenas uma ordem de grandeza dos volumes envolvidos de escoamento natural. É obtida através da fórmula acima descrita.

4.3.1.1 - Aquitardo Longã

Para o cálculo da vazão de escoamento natural da Formação Longã, considerou-se uma taxa de infiltração média estimada de 0,23% e uma pluviometria de 1.700mm/ano, ambos adotados na Folha 17, sendo aqui consideradas em vista desta unidade ser um prolongamento da área abaixo. A sua área de afloramento é de $126 km^2$. Tem-se então:

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

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

$$A = 126 \times 10^6 \text{ m}^2$$

$$Q_{en} = 0,23 \times 10^{-2} \times 1.700 \times 10^{-3} \times 126 \times 10^6$$

$$Q_{en} = 0,49 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

4.3.1.2 - Aquífero Poti

O cálculo da vazão de escoamento natural do

aquífero Poti, em direção ao vale do Rio Tocantins, foi efetuado de acordo com a equação de Darcy, onde foi possível a realização do esboço da superfície piezométrica em sua área de afloramento.

Vale do Tocantins

$$K = 6,3 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

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

a) Flanco sudeste

Isopiezometria 200m x 150m

$$i = 6,25 \times 10^{-3}$$

$$L = 17 \times 10^3 \text{ m}$$

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

$$Q_{en_1} = 6,3 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^2 \times 6,25 \times 10^{-3} \times 17 \times 10^3 =$$

$$= 1.338,75 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{en_1} = 2,22 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

b) Flanco noroeste

Isopiezometria 200m x 150m

$$i = 12,5 \times 10^{-3}$$

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

$$Q_{en_2} = 6,3 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^2 \times 12,5 \times 10^{-3} \times 25 \times 10^3 =$$

$$= 3.937,5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{en_2} = 12,41 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Sendo a vazão de escoamento natural total do aquífero Poti em direção ao Rio Tocantins:

$$Q_{en} = Q_{en_1} + Q_{en_2} = 14,63 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$Q_{en} = 14,63 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A taxa de infiltração (I_{en}) é determinada, conhecendo-se o volume de escoamento natural (Q_{en}), e o seu percentual em relação a pluviometria média (P_m), para uma área de recarga conhecida admitindo-se o sistema hidro-lógico em equilíbrio.

Sendo: $P = 1.700 \text{ mm/ano}$ e $A = 968 \text{ km}^2$, tem-se:

$$Q_{en} = \frac{14,63 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}}{968 \times 10^6 \text{ m}^2} = 15 \text{ mm/ano}$$

$$Q_{en} = 15 \text{ mm/ano}$$

$$I_{en} = \frac{15}{1.700} \times 10^2$$

$$I_{en} = 0,93 \%$$

4.3.1.3 - Aquífero Piauí

O escoamento natural deste aquífero se faz em direção aos vales dos Rios Tocantins, Manoel Alves Grande, das Balsas e Parnaíba. O cálculo da vazão de escoamento natural nestes vales foi realizado, através da equação de Darcy, onde foi possível o esboço piezométrico em sua superfície aflorante.

Vale do Tocantins

$$K = 6,3 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

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

a) Flanco noroeste

Isopiezometria 250m - 150m

$$i = 4,0 \times 10^{-3}$$

$$L = 6,0 \times 10^3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Q_{en_1} &= 6,3 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^2 \times 4,0 \times 10^3 \times 6,0 \times 10^3 = \\ &= 302,4 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$Q_{en} = 0,95 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

b) Flanco sudeste

Isopiezometria 250m - 150m

$$i = 2,77 \times 10^{-3}$$

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

$$\begin{aligned} Q_{en_2} &= 6,3 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^2 \times 2,77 \times 10^{-3} \times 25 \times 10^3 = \\ &= 872,55 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$Q_{en} = 2,75 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Vale do Rio Manoel Alves Grande

$$K = 6,3 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

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

a) Flanco oeste

Isopiezometria 250m - 200m

$$i = 2,08 \times 10^{-3}$$

$$L = 19 \times 10^3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Q_{en_3} &= 6,3 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^2 \times 2,08 \times 10^{-3} \times 19 \times 10^3 = \\ &= 497,952 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$Q_{en_3} = 1,57 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Isopiezometria 250m - 150m

$$i = 2,0 \times 10^{-3}$$

$$L = 20 \times 10^3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Qen_4 &= 6,3 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^2 \times 2,0 \times 10^{-3} \times 20 \times 10^3 = \\ &= 504 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$Qen_4 = 1,58 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

b) Flanco este

Isopiezometria 350m - 150m

$$i = 1,85 \times 10^{-3}$$

$$L = 14 \times 10^3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Qen_5 &= 6,3 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^2 \times 1,85 \times 10^{-3} \times 14 \times 10^3 = \\ &= 326,34 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$Qen_5 = 1,02 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Vale do Balsas

$$K = 6,3 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

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

a) Flanco oeste

Isopiezometria 350m - 300m

$$i = 7,14 \times 10^{-3}$$

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

$$\begin{aligned} Qen_6 &= 6,3 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^2 \times 7,14 \times 10^{-3} \times 10 \times 10^3 = \\ &= 899,64 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$Qen_6 = 2,83 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Isopiezometria 400m - 300m

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

$$L = 26 \times 10^3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Q_{en_7} &= 6,3 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^2 \times 8,3 \times 10^{-3} \times 26 \times 10^3 = \\ &= 2.719,08 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$Q_{en_7} = 8,57 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

b) Flanco este

Isopiezometria 400m - 300m

$$i = 4,79 \times 10^{-3}$$

$$L = 32 \times 10^3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Q_{en_8} &= 6,3 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^2 \times 4,79 \times 10^{-3} \times 32 \times 10^3 = \\ &= 1.931,328 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$Q_{en_8} = 6,09 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Vale do Parnaíba

$$K = 6,3 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

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

a) Flanco sudeste

Isopiezometria 300 m - 250m

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

$$L = 60 \times 10^3 \text{ m}$$

$$Q_{en_9} = 6,3 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^2 \times 3,73 \times 10^{-3} \times 60 \times 10^3 =$$

$$= 2.819,88 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{en_9} = 8,89 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

b) Flanco noroeste

Isopiezometria 350m - 250m

$$i = 4,54 \times 10^{-3}$$

$$L = 10,5 \times 10^3 \text{ m}$$

$$Q_{en_{10}} = 6,3 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^2 \times 4,54 \times 10^{-3} \times 10,5 \times 10^3 =$$

$$= 600,642 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{en_{10}} = 1,89 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Isopiezometria 300m - 250m

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

$$L = 14,5 \times 10^3 \text{ m}$$

$$Q_{en_{11}} = 6,3 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^2 \times 2,5 \times 10^{-3} \times 14,5 \times 10^3 =$$

$$= 456,75 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{en_{11}} = 1,44 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Isopiezometria 250m - 200m

$$I = 7,89 \times 10^{-3}$$

$$L = 72 \times 10^3 \text{ m}$$

$$Q_{en} = 6,3 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^2 \times 7,89 \times 10^{-3} \times 72 \times 10^3 =$$

$$= 7.157,808 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{en_{12}} = 22,57 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A vazão de escoamento natural total do aquífero Piauí em direção aos vales dos rios retos mencionados, é dado pela seguinte expressão:

$$Q_{en} = Q_{en_1} + Q_{en_2} + \dots + Q_{en_{12}} = 60,15 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{ano}$$

$$Q_{en} = 60,15 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{ano}$$

Considerando-se uma pluviometria média anual de 1.400 mm e sendo a área de recarga influente sobre a frente de escoamento, de 7.842 km^2 , sua taxa de infiltração (I_{en}) é obtida do seguinte modo:

$$Q_{en} = \frac{60,15 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{ano}}{7.842 \times 10^6 \text{ m}^2} = 7,67 \text{ mm/ano}$$

$$Q_{en} = 7,67 \text{ mm/ano}$$

$$I_{en} = \frac{7,67}{1.400} \times 10^2$$

$$I_{en} = 0,55\%$$

4.3.1.4 - Aquitardo Pedra de Fogo

A vazão de escoamento natural para esta unidade foi calculada, considerando-se uma taxa de infiltração (I_{en}) de 0,20%, e sendo a pluviometria média anual de 1.400mm, sobre a sua área aflorante de 14.470 km^2 .

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

$$P_m = 1.400 \text{ mm/ano}$$

$$A = 14.470 \text{ km}^2$$

$$Q_{en} = 0,20 \times 10^{-2} \times 1.400 \times 10^{-3} \times 14.470 \times 10^6 =$$

$$Q_{en} = 40,51 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{ano}$$

4.3.1.5 - Aquitardo Motuca

Calculou-se a vazão de escoamento natural, considerando uma taxa de infiltração (I_{en}) de 0,25%, sendo a sua pluviometria média anual de 1.400mm, sobre uma área aflorante de 5.785 km².

$$I_{en} = 0,25\%$$

$$P_m = 1.400 \text{ mm/ano}$$

$$A = 5.785 \text{ km}^2$$

$$Q_{en} = 0,25 \times 10^{-2} \times 1.400 \times 10^{-3} \times 5.785 \times 10^6 =$$

$$Q_{en} = 20,24 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{ano}$$

4.3.1.6 - Aquífero Sambaíba

Para o cálculo da vazão de escoamento natural desta unidade, estimou-se uma taxa de infiltração (I_{en}) da ordem de 0,50%; a sua pluviometria média anual é de 1.500mm sobre uma área aflorante de 16.756 km².

$$I_{en} = 0,50 \%$$

$$P_m = 1.500 \text{ mm/ano}$$

$$A = 16.756 \text{ km}^2$$

$$Q_{en} = 0,50 \times 10^{-2} \times 1.500 \times 10^{-3} \times 16.756 \times 10^6 =$$

$$Q_{en} = 126,67 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

4.3.1.7 - Aquífero Corda

Efetuu-se o cálculo da vazão de escoamento natural deste aquífero adotando-se uma taxa de infiltração (I_{en}) de 0,18%, verificada na área vizinha (Folha 07) e uma pluviometria média anual de 1.700mm sobre a superfície aflorante de 11.032 km².

$$I_{en} = 0,18\%$$

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

$$A = 11.032 \text{ km}^2$$

$$Q_{en} = 0,18 \times 10^{-2} \times 1.700 \times 10^{-3} \times 11.032 \times 10^6 =$$

$$Q_{en} = 33,75 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

4.3.2 - Reservas Permanentes

Foi efetuada uma estimativa das reservas permanentes das diversas unidades hidrogeológicas existentes na Folha, as quais são constituídas pelas águas de saturação, que correspondem ao volume de água armazenada nos aquíferos, possíveis de serem restituída por gravidade; mais a quantidade de água acumulada sob pressão, quando houver.

O volume de água de saturação é calculado pe

la seguinte expressão:

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

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

$V_r = A.e =$ volume de rocha saturada (m^3)

O volume de água sob pressão é calculado nas áreas em que os aquíferos apresentam confinamento, de acordo com a seguinte expressão:

$$V_p = A_p.h.S$$

onde,

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

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

h = carga hidráulica média (m)

S = coeficiente de armazenamento

O Quadro 4.3.2.12, apresenta um demonstrativo das reservas permanentes totais da área em estudo onde observa-se, que o sistema Poti-Piauí se confirma como o aquífero mais promissor, o qual contribui com cerca de 60 % na formação das reservas de águas subterrâneas desta Folha.

A seguir serão demonstrados os cálculos e hipóteses considerados para a avaliação das reservas permanentes das diversas unidades hidrogeológicas, observando-se que representam uma ordem de grandeza, em face da extra

QUADRO 4.3.2.12
RESERVAS PERMANENTES DA FOLHA 12 - TERESINA-SO

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 MENTO (S)	ESPESSU RA MÉDIA SATURADA (m)	VOLUME DE ROCHA SATU RADA (x 10 ⁹ m ³)	VOLUME DE ÁGUA DE SA- TURAÇÃO (x 10 ⁶ m ³) (1)	CARGA HI DRÁULICA MÉDIA (m)	VOLUME DE ÁGUA SOB PRESSÃO (x 10 ⁶ m ³) (2)		
Aluviões	593	-	5,0 x 10 ⁻³	-	6	3,56	17.790	-	-	17.790	1,1
Corda	13.412	-	2,8 x 10 ⁻²	-	40	536	15.021	-	-	15.021	1,0
Sambaíba	41.515	24.759	2,8 x 10 ⁻²	4,30 x 10 ⁻³	100	4.152	116.242	60	6.387	122.629	7,8
Motuca	47.898	-	2,0 x 10 ⁻³	-	40	1.916	3.832	-	-	3.832	0,2
Pedra de Fogo	63.400	-	10 ⁻³	-	70	4.438	4.438	-	-	4.438	0,3
Piauí	71.506	63.664	2,5 x 10 ⁻²	1,44 x 10 ⁻³	230	16.446	411.159	120	11.001	422.160	26,9
Poti	72.474	71.506	2,8 x 10 ⁻²	1,44 x 10 ⁻³	200	14.495	405.854	250	25.742	431.596	27,5
Longá	72.600	-	2,0 x 10 ⁻³	-	80	5.808	11.616	-	-	11.616	0,7
Cabeças	72.600	72.600	3,2 x 10 ⁻²	1,99 x 10 ⁻⁵	80	5.808	185.856	400	577	186.433	11,9
Pimenteiras	72.600	-	2,0 x 10 ⁻³	-	200	14.520	29.040	-	-	29.040	1,9
Serra Grande	72.600	72.600	1,4 x 10 ⁻²	4,29 x 10 ⁻⁴	300	21.780	302.400	700	21.622	324.022	20,7
TOTAIS	-	-	-	-	-	89.902,56	1.503.248	-	65.329	1.568,577	100,00

polação de parâmetros obtidos em áreas vizinhas.

4.3.2.1 - Aquífero Serra Grande

a) Volume de água de saturação

A superfície, considerada para efeito de cálculo, é de 72.600 km^2 , visto que esta unidade ocorre em subsuperfície em toda extensão da Folha (4.2.1); a espessura média saturada é de 300 m e o coeficiente de restituição estimado de $1,4 \times 10^{-2}$, baseado nas características litológicas da formação, Tem-se:

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

$$V_s = 72.600 \times 10^6 \times 3,0 \times 10^2 \times 1,4 \times 10^{-2}$$

$$V_s = 304.920 \times 10^6 \text{ m}^3$$

b) Volume de água sob pressão

A área de confinamento do aquífero é de 72.600 km^2 , verificando-se em toda subsuperfície da Folha, sendo sua carga hidráulica média de 700m e o coeficiente de armazenamento adotado S igual a $4,29 \times 10^{-4}$

$$V_p = A_p.h.S$$

$$V_p = 72.600 \times 10^6 \times 7 \times 10^2 \times 4,29 \times 10^{-4}$$

$$V_p = 21.802 \times 10^6 \text{ m}^3$$

4.3.2.2 - Aquitardo Pimenteiras

a) Volume de água de saturação

A superfície considerada, para efeito de cálculos, é de 72.600 km², já que esta unidade foi verificada em todos os furos da Petrobrás nesta Folha (Quadro 4.2.16); sua espessura média saturada é estimada em 200m e o coeficiente de restituição adotado de $2,0 \times 10^{-3}$, donde:

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

$$V_s = 72.600 \times 10^6 \times 2 \times 10^2 \times 2 \times 10^{-3}$$

$$V_s = 29.040 \times 10^6 \text{ m}^3$$

4.3.2.3 - Aquífero Cabeças

a) Volume de água de saturação

A superfície considerada para este aquífero é de 72.600 km², já que o mesmo ocorre em subsuperfície sob toda Folha, a espessura média saturada é de 80 metros e o coeficiente de restituição é adotado em $3,2 \times 10^{-2}$, a partir de trabalho realizado no Vale do Gurgueia pelo DNOCS / COTEPE. Tem-se então:

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

$$V_s = 72.600 \times 10^6 \times 8 \times 10 \times 3,2 \times 10^{-2}$$

$$V_s = 185.856 \times 10^6 \text{ m}^3$$

b) Volume de água sob pressão

A área de confinamento, considerada para este aquífero, é de 72.600 km^2 , a carga hidráulica média de 400 metros e o coeficiente de armazenamento adotado de $1,99 \times 10^{-5}$. O volume de água sob pressão é, então:

$$V_p = A_p.h.S$$

$$V_p = 72.600 \times 10^6 \times 4 \times 10^2 \times 1,99 \times 10^{-5}$$

$$V_p = 578 \times 10^6 \text{ m}^3$$

4.3.2.4 - Aquitardo Longã

a) Volume de água de saturação

A superfície considerada na área para o aquífero é de 72.600 km^2 , a espessura média saturada é estimada em 80 metros e o coeficiente de restituição adotado de $2,0 \times 10^{-3}$.

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

$$V_s = 72.600 \times 10^6 \times 8 \times 10 \times 2 \times 10^{-3}$$

$$V_s = 11.616 \times 10^6 \text{ m}^3$$

4.3.2.5 - Aquífero Poti

a) Volume de água de saturação

Foi considerado uma superfície total para este aquífero da ordem de 72.474 km^2 , correspondente a sua parte aflorante, mais a de subsuperfície, uma espessura média saturada estimada em torno de 200 metros e tendo o seu coeficiente de restituição adotado de $2,8 \times 10^{-2}$.

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

$$V_s = 72.474 \times 10^6 \times 2 \times 10^2 \times 2,8 \times 10^{-2}$$

$$V_s = 405.854 \times 10^6 \text{ m}^3$$

b) Volume de água sob pressão

A área de confinamento do aquífero é de 71.506 km^2 , que correspondem a parte recoberta pelas unidades mais recentes na área, a carga hidráulica média é estimada em 250 metros e o coeficiente de armazenamento adotado de $1,44 \times 10^{-3}$.

$$V_p = A.h.S$$

$$V_p = 71.506 \times 10^6 \times 25 \times 10 \times 1,44 \times 10^{-3}$$

$$V_p = 25.742 \times 10^6 \text{ m}^3$$

4.3.2.6 - Aquífero Piauí

a) Volume de água de saturação

A superfície total do aquífero Piauí foi calculada como sendo 71.506 km^2 , que corresponde sua área aflorante de 7.842 km^2 mais a parte recoberta pelas formações mais jovens; a espessura média saturada é estimada em 230 metros e tendo um coeficiente de restituição adotado igualmente a $2,5 \times 10^{-2}$.

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

$$V_s = 71.506 \times 10^6 \times 23 \times 10 \times 2,5 \times 10^{-2}$$

$$V_s = 411.159 \times 10^6 \text{ m}^3$$

b) Volume de água sob pressão

A área de confinamento deste aquífero na Folha é da ordem de 63.664 km^2 , a carga hidráulica média foi estimada em 120 metros, sendo o coeficiente de armazenamento adotado de $1,44 \times 10^{-3}$.

$$V_p = A.h.S$$

$$V_p = 63.664 \times 10^6 \times 12 \times 10 \times 1,44 \times 10^{-3}$$

$$V_p = 11.001 \times 10^6 \text{ m}^3$$

4.3.2.7 - Aquitardo Pedra de Fogo

a) Volume de água de saturação

A superfície desta unidade é de aproximadamente 63.400 km², correspondente a sua área aflorante de 14.470 km², mais a parte de subsuperfície que se prolonga sob toda Folha, de acordo com dados de furos stratigráficos da Petrobrás, a espessura média saturada estimada é de 70 metros e sendo adotado o coeficiente de restituição de 10⁻³.

$$V_s = A.E.$$

$$V_s = 63.400 \times 10^6 \times 7 \times 10 \times 10^{-3}$$

$$V_s = 4.438 \times 10^6 \text{ m}^3$$

4.3.2.8 - Aquitardo Motuca

a) Volume de água de saturação

A superfície considerada para este aquífero é de aproximadamente 47.898 km^2 , a espessura média saturada é estimada em 40 metros e sendo o seu coeficiente de restituição estimado em $2,0 \times 10^{-3}$.

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

$$V_s = 47.898 \times 10^6 \times 4 \times 10 \times 2 \times 10^{-3}$$

$$V_s = 3.832 \times 10^6 \text{ m}^3$$

4.3.2.9 - Aquífero Sambaiba

a) Volume de água de saturação

A superfície total do aquífero nesta Folha é de 41.515 km^2 , compreendendo a parte aflorante e as recobertas pelas unidades mais jovens; a sua espessura média saturada é estimada em 100 metros e o coeficiente de restituição estimado, com base em suas características litológicas é de $2,8 \times 10^{-2}$.

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

$$V_s = 41.515 \times 10^6 \times 10^2 \times 2,8 \times 10^{-2}$$

$$V_s = 116.242 \times 10^6 \text{ m}^3$$

b) Volume de água sob pressão

A área de confinamento do aquífero é de aproximadamente 24.759 km^2 , a carga hidráulica média é estima-

da em 60 metros e o coeficiente de armazenamento adotado é de $4,30 \times 10^{-3}$.

$$V_p = A.h.S$$

$$V_p = 24.759 \times 10^6 \times 6 \times 10 \times 4,30 \times 10^{-3}$$

$$V_p = 6.388 \times 10^6 \text{ m}^3$$

4.3.2.10 - Aquífero Corda

a) Volume de água de saturação

A superfície desta unidade é de aproximadamente 13.412 km^2 , a espessura média saturada é estimada em 40 metros e o coeficiente de restituição adotado é de $2,8 \times 10^{-2}$.

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

$$V_s = 13.412 \times 10^6 \times 4 \times 10 \times 2,8 \times 10^{-2}$$

$$V_s = 15.021 \times 10^6 \text{ m}^3$$

4.3.2.11 - Aluviões

a) Volume de água de saturação

A superfície destes sedimentos é de 593 km^2 ,

sua espessura média considerada é estimada em 6 metros e o coeficiente de restituição médio adotado é de $5,0 \times 10^{-3}$.

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

$$V_s = 593 \times 10^6 \times 6 \times 5 \times 10^{-3}$$

$$V_s = 18 \times 10^6 \text{ m}^3$$

4.3.3 - Reservas Exploráveis

Para o cálculo das reservas exploráveis da Folha 12 - Teresina-SO - considerou-se a vazão de escoamento natural, mais uma parte das reservas permanentes dos diversos aquíferos existentes na área, visto que, a vazão de escoamento natural é representada pelos volumes de águas que são renovadas anualmente, podendo, assim, teoricamente, ser utilizada, integralmente, sem que haja o desequilíbrio hidrodinâmico das diversas unidades hidrogeológicas, entretanto, as reservas permanentes devem ter sua exploração programada de maneira racional, para evitar um possível rebaixamento regional dos níveis de água e, consequentemente, um provável esgotamento dos sistemas aquíferos.

Levando-se em conta o exposto, os programas de exploração de águas subterrâneas são determinados para espaços de tempo de 10, 20, 50 ou 100 anos, dependendo da viabilidade econômica desejável.

Para a realização das estimativas das reservas exploráveis desta Folha, considerou-se as seguintes hipóteses:

- 1) A vazão de escoamento natural calculada para cada unidade hidrogeológica constitui parte integrante das reser -

vas exploráveis.

- 2) Foi considerada a utilização dos recursos armazenados nos aquíferos Serra Grande, Cabeças, Poti, Piauí, Sambaíba e Corda.
- 3) Considerou-se o aproveitamento das reservas permanentes, para um período de exploração estimado em 50 anos, onde os valores encontrados são representativos de uma ordem de grandeza das reservas permanentes, que podem ser exploradas sem que haja o desequilíbrio dos sistemas aquíferos.

O procedimento, na obtenção dos valores das reservas exploráveis, são similares aos executados para o cálculo dos volumes de água de saturação e sob pressão. Para o volume de saturação considera-se a área livre em vez da área total do aquífero e uma menor espessura média saturada, enquanto para o volume sob pressão, considera-se a área de confinamento e a perda de carga hidráulica média, estimada para o período.

Nos Quadros 4.3.3.1 e 4.3.3.2, estão representados demonstrativos dos cálculos realizados para a avaliação das reservas permanentes exploráveis e recursos totais exploráveis da área.

- Aquífero Serra Grande - Considerou-se uma perda de carga hidráulica média, na zona confinada, que compreende toda subsuperfície da Folha, de 50 metros, obtendo um volume explorável de $1.557 \times 10^6 \text{ m}^3 / 50 \text{ anos} = 31,1 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{ano}$.

- Aquífero Cabeças - Adotou-se uma perda de carga hidráulica média de 50 metros na zona de confinamento, considerada em toda subsuperfície da Folha, encontrando-se um volume explorável de $72 \times 10^6 \text{ m}^3 / 50 \text{ anos} =$

QUADRO 4.3.3.1

RESERVAS PERMANENTES EXPLORÁVEIS DA FOLHA 12 - TERESINA-SO

AQUÍFERO	ÁREA (km ²)		COEFICIENTE		ÁGUA DE SATURAÇÃO			ÁGUA SOB PRESSÃO			VOLUME TOTAL EXPLORÁVEL = (1) + (2) (x 10 ⁶ m ³ /ano)
	ÁGUA DE SATURAÇÃO	ÁGUA SOB PRESSÃO	RESTITUIÇÃO ()	ARMAZENAMENTO (S)	REBAIXAMENTO MÉDIO 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 /ano (2))	VOLUME EXPLORÁVEL (x 10 ⁶ m ³ /50 anos)	
Corda	11.032	-	2,8 x 10 ⁻²	-	20	123,6	6.178	-	-	-	123,6
Sambaíba	16.756	24.759	2,8 x 10 ⁻³	4,80 x 10 ⁻³	40	375,3	18.767	30	63,9	3.194	439,2
Piauí	7.842	63.644	2,5 x 10 ⁻²	1,44 x 10 ⁻³	50	196,0	9.803	30	55,0	2.749	251,0
Poti	968	71.506	2,8 x 10 ⁻²	1,44 x 10 ⁻³	50	27,1	1.355	40	82,4	4.119	109,5
Cabeças	-	72.600	-	1,99 x 10 ⁻⁵	-	-	-	50	1,4	72	1,4
Serra Grande	-	72.600	-	4,29 x 10 ⁻⁴	-	-	-	50	31,1	1.557	31,1
T O T A I S	36.598	305.109	-	-	-	722	36.103	-	233,8	11.691	955,8

QUADRO 4.3.3.2

RECURSOS TOTAIS EXPLORÁVEIS DA FOLHA 12 - TERESINA-SO

AQUÍFEROS	RESERVAS PERMANENTES (x 10 ⁶ m ³)	RESERVAS PERMANENTES EXPLORÁVEIS			ESCOAMENTO NATURAL		RECURSOS TOTAIS EXPLORÁVEIS (x 10 ⁶ m ³ /ano)
		VOLUME DE EXPLORAÇÃO (x 10 ⁶ m ³)			VAZÃO (x 10 ⁶ m ³ /ano) (2)	% EM RELAÇÃO AO VOLUME PRECIPITADO	
		EM 50 ANOS		ANUAL (1)			
		VOLUME	% EM RELAÇÃO AS RESERVAS PERMANENTES				
Corda	15.021	6.178	41,13	123,6	33,75	0,18	157,4
Sambaíba	122.629	21.960	17,91	439,2	126,67	0,50	565,9
Piauí	422.160	12.550	2,97	251,0	60,15	0,51	311,2
Poti	431.596	5.475	1,26	109,5	14,63	0,89	124,1
Cabeças	186.433	72	0,16	1,4	-	-	1,4
Serra Grande	324.022	1.557	0,48	31,1	-	-	31,1
TOTAIS	1.501.861 66.716 1.568.577	47.792	3,51	955,8	235,2	-	1.191,1

= $1,4 \times 10^6 \text{ m}^3$ /ano.

- Aquífero Poti - estimou-se um rebaixamento médio de 50 metros na área de afloramento e uma perda de carga hidráulica de 40 metros na zona de confinamento, obtendo-se um volume explorável de $109,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ /ano = $5.474 \times 10^6 \text{ m}^3$ /50 anos. Sendo a sua vazão de escoamento natural calculada como da ordem de $14,63 \times 10^6 \text{ m}^3$ /ano, assim é que os recursos totais explorados são da ordem de $124,1 \times 10^6 \text{ m}^3$ /ano.

- Aquífero Piauí - Adotou-se um rebaixamento médio de 50 metros na zona livre e uma perda de carga hidráulica de 30 metros, na área sob pressão, encontrando-se um volume explorável de $12.550 \times 10^6 \text{ m}^3$ /50 anos = $251,0 \times 10^6 \text{ m}^3$ /ano. A vazão de escoamento natural foi calculada como sendo da ordem de $60,15 \times 10^6 \text{ m}^3$ /ano, resultando em recursos totais exploráveis de $311,2 \times 10^6 \text{ m}^3$ /ano.

- Aquífero Sambaíba - Tomou-se um rebaixamento médio de 40 metros para a área de recarga e uma perda de carga hidráulica média de 30 metros, obtendo-se um volume explorável de $21.960 \times 10^6 \text{ m}^3$ /50 anos = $439,2 \times 10^6 \text{ m}^3$ /ano. Sendo a vazão de escoamento natural calculada em $126,67 \times 10^6 \text{ m}^3$ /ano, os recursos totais exploráveis são da ordem de $565,9 \times 10^6 \text{ m}^3$ /ano.

- Aquífero Corda - Estimou-se um rebaixamento médio de 20 metros, que forneceu um volume explorável de $6.172 \times 10^6 \text{ m}^3$ /50 anos = $123,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ /ano. Tendo sido calculado uma vazão de escoamento natural da ordem de $33,75 \times 10^6 \text{ m}^3$ /ano, os recursos totais exploráveis são de $157,4 \times 10^6 \text{ m}^3$ /ano.

- O somatório das reservas exploráveis desta

Folha atinge, aproximadamente, um total de $955,8 \times 10^6 \text{ m}^3$ /ano, correspondentes a 0,061% das reservas permanentes, o qual, somado a vazão de escoamento natural de $235, \times 10^6 \text{ m}^3$ /ano, perfaz um somatório dos recursos totais explorados da ordem de $1.191,1 \times 10^6 \text{ m}^3$ /ano.

- Como a exploração deve ser efetuada apenas sobre os volumes que se infiltram anualmente nas diversas unidades hidrogeológicas, os recursos exploráveis correspondem a, aproximadamente, $296,44 \times 10^6 \text{ m}^3$ /ano.

4.3.4 - Demanda

Com bases em dados fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para o ano de 1976, foi realizada uma estimativa da demanda de água, para a Folha 12, levando-se em consideração a população humana e animal. De acordo com estes dados estimou-se, também, a demanda futura para os anos de 1980, 1990 e 2000 considerando-se incrementos populacionais, respectivamente, de 12, 20 e 40%.

Para a população humana adotou-se um consumo médio de 120 litros/pessoa/dia, ou seja $43,8 \text{ m}^3$ /pessoa/ano.

Tem-se então:

Demanda atual	$10 \times 10^6 \text{ m}^3$ /ano
Demanda 1980	$11 \times 10^6 \text{ m}^3$ /ano
Demanda 1990	$12 \times 10^6 \text{ m}^3$ /ano
Demanda 2000	$14 \times 10^6 \text{ m}^3$ /ano

O Quadro 4.3.4.1, apresenta um demonstrativo da estimativa do consumo de água total para a população animal, nos dias de hoje e sua projeção até o ano 2000.

QUADRO 4.3.4.1
ESTIMATIVA ATUAL E FUTURA DO
CONSUMO DE ÁGUA DOS REBANHOS

REBANHOS	UNIDADES DE CABEÇAS	CONSUMO POR CABEÇA*	CONSUMO TOTAL ($\times 10^6 \text{ m}^3 / \text{ano}$)			
			ATUAL	1980	1990	2000
Bovinos	353.708	0,04	5,16	5,78	6,20	7,23
Suínos	149.527	0,02	1,09	1,22	1,31	1,53
Caprinos	14.856	0,02	0,11	0,12	0,13	0,15
ovinos	20.015	0,02	0,15	0,16	0,18	0,20
Asininos	22.079	0,04	0,32	0,36	0,38	0,45
Muares	13.846	0,04	0,20	0,22	0,24	0,28
Equinos	53.372	0,04	0,76	0,86	0,91	1,07
TOTAIS	626.403	-	7,79	8,72	9,35	10,91

* m^3 / dia

A demanda atual de água para o consumo humano e animal da Folha, foi estimado como sendo da ordem de $18 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{ano}$. Entretanto, com o incremento progressivo através dos tempos deverá atingir no ano 2000 um volume da ordem de $25 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{ano}$, a qual poderá, plenamente, ser atendida pela vazão de escoamento natural dos aquíferos considerados, visto que a vazão de escoamento natural foi calculada como sendo da ordem de $235,2 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{ano}$ (Quadro 4.3.3.2).

4.3.4.5 - Condições de Captação

No âmbito da Folha, apenas as cidades de Balsas, Carolina e Tocantinópolis, e o povoado Estreito, encontram-

se servidas pelo abastecimento de água provenientes de poços tubulares, com uma captação em torno de $0,84 \times 10^6 \text{ m}^3$ / ano.

As cidades de Porto Franco e São Raimundo das Mangabeiras, têm os seus sistemas de abastecimento provenientes de adutoras, captando água, respectivamente, do Rio Tocantins e Riacho Cachoeira, enquanto Riachão é abastecida com o sistema proveniente de uma fonte próxima à sede municipal. As demais cidades, ou povoados, não possuem canalização, sendo servidas por poços manuais, fontes ou chafarizes, de captação tão reduzida, não sendo levadas em consideração para as estimativas da demanda.

5 - HIDROQUÍMICA

5.1 - GENERALIDADES

Com a finalidade de caracterizar os diferentes tipos de água presentes nas diversas unidades hidrogeológicas que compõem esta Folha, procedeu-se uma coleta de amostras de água para a realização de análises químicas, visto que, o conhecimento das características químicas das águas se faz necessário quando de sua utilização na prática da irrigação e do abastecimento público.

Fez-se a coleta de 112 amostras, procedendo-se, em campo à determinação de pH, condutividade elétrica, temperatura e testes de odor e turbidez. Foram selecionadas 80 das amostras, sendo remetidas ao laboratório da Universidade Católica de Pernambuco, para as seguintes determinações: alcalinidade e dureza em equivalência de CaCO_3 , pH, condutividade elétrica a 25°C , resíduo seco a 110°C e principais constituintes iônicos (cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloretos, sulfatos e carbonatos, e testes quantitativos de nitritos, nitratos e ferro). A seleção destas amostras enviadas ao laboratório foi previamente distribuída, uniformemente, por toda Folha, de acordo com as formações geológicas existentes, visando um melhor dimensionamento das classes, ou tipos de água, com as diferentes feições litológicas. As mesmas são provenientes de 11 poços tubulares, 25 poços manuais e de 44 fontes.

O estudo hidroquímico para a classificação das águas, baseou-se nos resultados de 68 análises completas, as quais, tiveram as determinações em miligrama por litro (mg/l), transformados em miliequivalente por litro (meq/l) quando da elaboração dos diagramas de fácies químicas.

(Piper-Hill-Langelier) e da classificação das águas para irrigação (RAS); estando as mesmas dentro dos limites de erro permissível (Logan, 1965). As análises eliminadas, em número de 12, encontram-se, obviamente, fora dos limites permissíveis.

5.2 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DAS ÁGUAS

O resultado analítico das características químicas, permitiu as seguintes considerações:

a) Dureza - A média para os valores de dureza das águas aqui analisadas é de 10,72 graus franceses, estando, portanto, classificadas como águas "muito moles" a "moles", de acordo com a classificação de Klut Olszewski, visto que, 67% das mesmas apresentaram valores de dureza abaixo de 7,0 graus franceses.

Verifica-se, entretanto, que as águas provenientes de fontes apresentam os menores valores de dureza, seguindo-se os poços manuais, e com valores mais elevados os poços tubulares. Sendo observados os valores extremos de 0,30 na fonte 127.12 e 192 graus franceses no poço tubular 306.12.

Considerando-se as unidades litológicas, observou-se que a Formação Corda apresenta os menores valores de dureza, com uma média de 0,9 graus franceses, seguida da Formação Sambaíba, com valor médio de 4,5 graus franceses, formações estas de constituição essencialmente arenosa. Verifica-se, entretanto, que as formações Pedra de Fogo e Piauí, apresentam os mais altos valores de dureza, respectivamente, 20,2 e 16,4 graus franceses.

b) pH - O valor médio de pH, para toda área é de 7,32 , tendo sido registrado os valores extremos de 4,10 no ponto 286.12 e 8,60 no ponto 174.12. Nenhuma das formações apresentou uma média inferior a 7,0 o que confere as águas desta Folha um grau ligeiramente alcalino.

c) Resíduo Seco - O resultado obtido através das análises químicas indica tratar-se de águas de baixo grau de salinização, com resíduo seco médio de 152 miligramas/litro. Foram observados valores extremos de 5 miligramas/litro nos pontos 127.12 e 277.12 e 1.890 miligramas/litro no ponto 306.12, poço tubular localizado em São Raimundo das Mangabeiras-MA.

O Quadro 5.2.1, representa a distribuição de frequência dos resíduos secos das águas analisadas; observa-se que 64,70% apresentam valores inferiores a 100 miligramas/litro, 85,30% encontram-se abaixo de 200 miligramas/litro e apenas 2,95% apresentam valores superiores a 500 miligramas/litro, concluindo-se daí, tratar-se de águas de baixo grau de salinização.

Considerando-se as diferentes unidades geológicas existentes na área, a Formação Corda apresenta o menor valor médio de resíduo seco, da ordem de 26 miligramas/litro, enquanto que a Formação Pedra de Fogo apresentou o maior valor médio de 240 miligramas/litro. As médias das formações indicam uma fraca variação de salinidade entre os aquíferos da Folha.

d) Condutividade - A condutividade elétrica apresenta-se bastante variável sendo o seu valor médio 207 micromho/cm, verificando-se os valores extremos de 4,37 micromho/cm na fonte 114.12 e 2.754 micromho/cm para o poço tubular 306.12, localizado em São Raimundo das Mangabeiras-MA. De acordo com as observações realizadas em campo e as determinações de laboratório, as fontes apresentam os índices mais baixos de condutividade elétrica, se -

QUADRO 5.2:1
DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DOS
RESÍDUOS SECOS

VARIAÇÃO DE SALINIDADE EM RESÍDUO SECO (mg/l)	Nº DE AMOSTRAS	F R E Q U Ê N C I A S	
		RELATIVA %	ACUMULADA %
0 - 100	44	64,70	64,70
101 - 200	14	20,60	85,30
201 - 300	2	2,95	88,25
301 - 400	6	8,80	97,05
401 - 500	-	-	-
501 - 600	-	-	-
> 600	2	2,95	100,00
TOTAL	68	100,00	100,00

<u>Formação</u>	<u>Resíduo Seco Médio (mg/l)</u>
Aluviões	132
Corda	26
Mosquito	191
Sambaíba	89
Motuca	34
Pedra de Fogo	240
Piaui	229
Serra Grande	134

guindo-se os poços manuais e , conseqüentemente , os poços tubulares possuem os índices mais elevados.

A variação dos valores de condutividade se faz por toda Folha, e nos diferentes tipos litológicos, entretanto, verificou-se que a Formação Corda apresenta o menor valor médio com 22 micromho/cm, e a Formação Piauí tem o maior valor médio (343 micromho/cm). Os valores de condutividade elétrica foram tomados como parâmetros na classificação de águas para irrigação.

Formação	<u>Condutividade Elétrica</u> (média)
Aluvião	219
Corda	22
Mosquito	245
Sambaiba	104
Motuca	143
Pedra de Fogo	334
Piauí	343
Serra Grande	250

5.3 - DETERMINAÇÃO DAS FÁCIES QUÍMICAS

Para a determinação dos fácies químicos das amostras de água analisadas, empregou-se o diagrama de Piper-Hill-Langelier, que consiste, no uso dos diagramas triangulares onde são plotados as quantidades relativas dos diversos cations e anions, expressos em percentagem de miliequivalentes.

As amostras de água analisadas, foram agrupadas de acordo com as formações geológicas e plotadas em diagramas distintos.

De acordo com o Quadro 5.3.12 de distribuição de frequência dos fácies químicos, onde estão representadas as diferentes classes de águas com os respectivos números de amostras e suas frequências relativas, além dos parâmetros determinantes das diferentes fácies químicas, observa-se a seguinte distribuição:

- Águas carbonatadas	36,8%
- Águas cloretadas carbonatadas..	25,0%
- Águas cloretadas	17,6%
- Águas mistas	10,3%
- Águas sulfatadas cloretadas....	5,9%
- Águas carbonatadas sulfatadas..	2,9%
- Águas sulfatadas	1,5%

Dentre as classes de água existentes na Folha há uma predominância dos tipos magnesianas, sódicas e mistas.

5.3.1 - Classes de Águas

Com a determinação das diferentes classes de águas existentes na Folha, elaborou-se o mapa de zoneamento hidroquímico, Fig. 5.3.1.8, o qual permite se ter, aproximadamente, as áreas de predominância das diversas classes de água.

No Quadro 5.3.1.9, estão representados os valores médios de pH, resíduo seco, dureza e condutividade elétrica para as diversas classes de água.



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

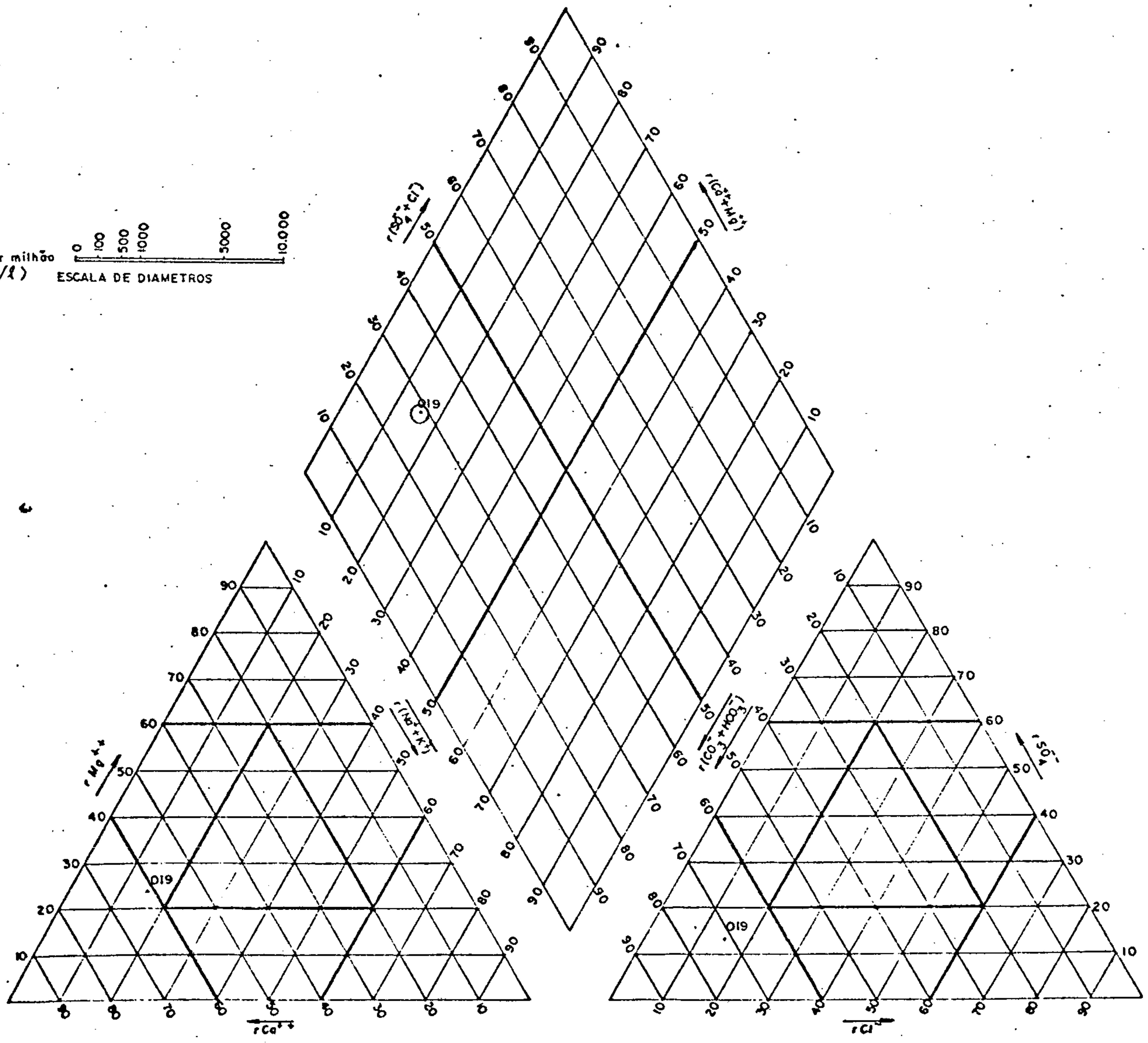
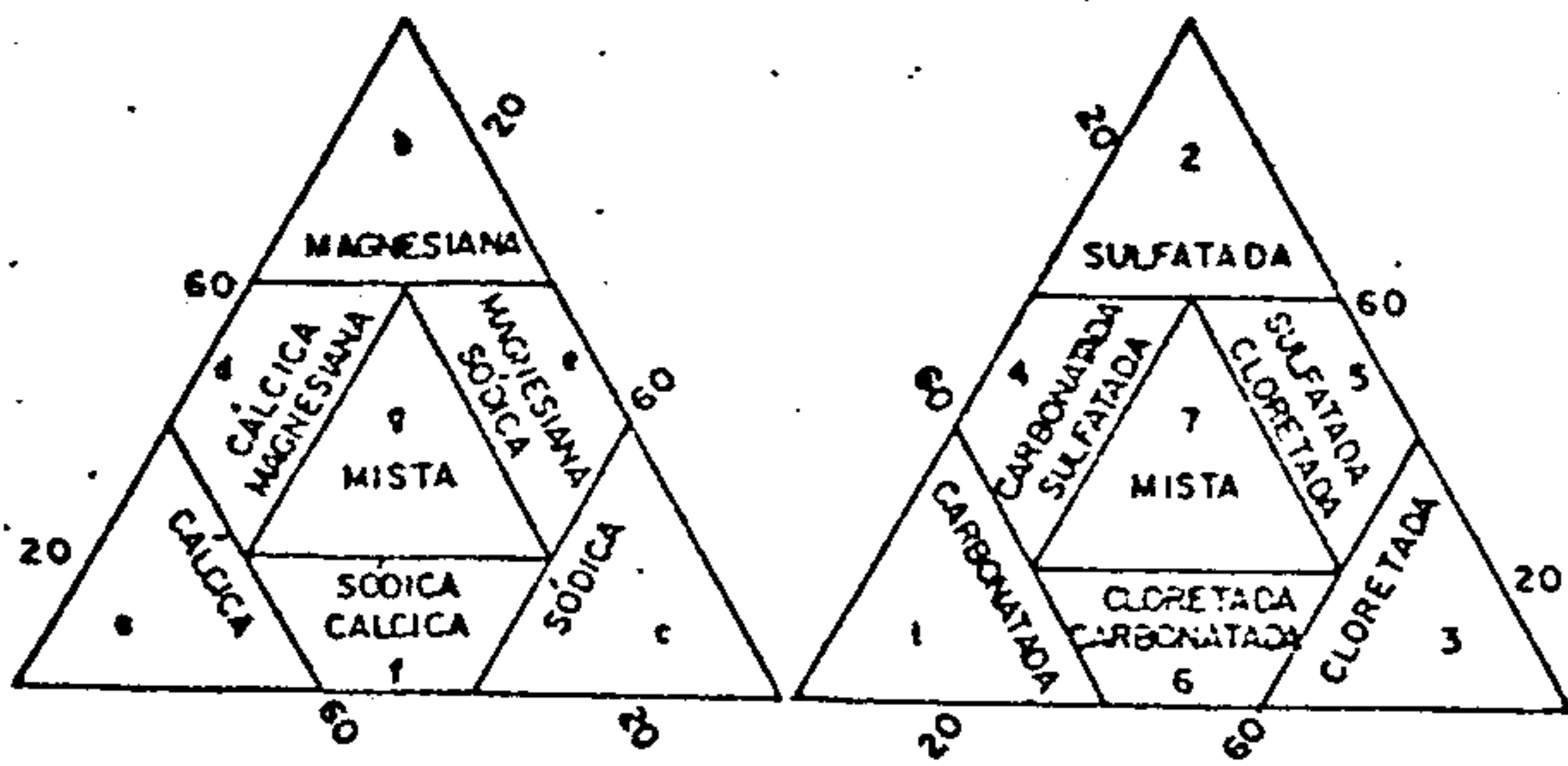
CPRM
 SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
 RECIFE

FÁCIES HIDROQUÍMICAS
 DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LANGELIER

FOLHA-12

FORMAÇÃO ALUVIÃO

AMOSTRA	SÍMBOLO	FÁCIES
019.12	○	1a



Miliequivalentes em Porcentagem

Fig. 5.3.2

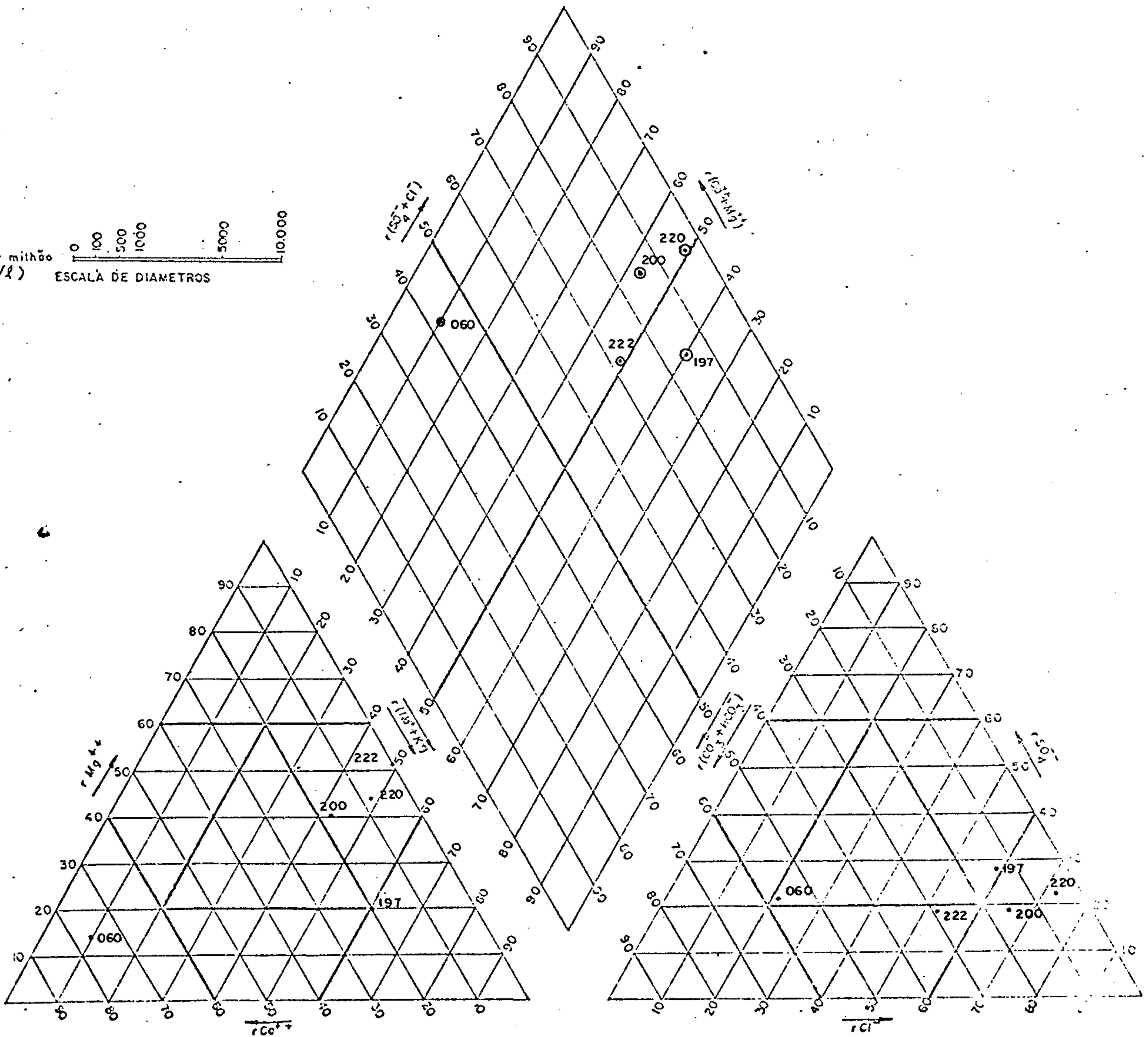
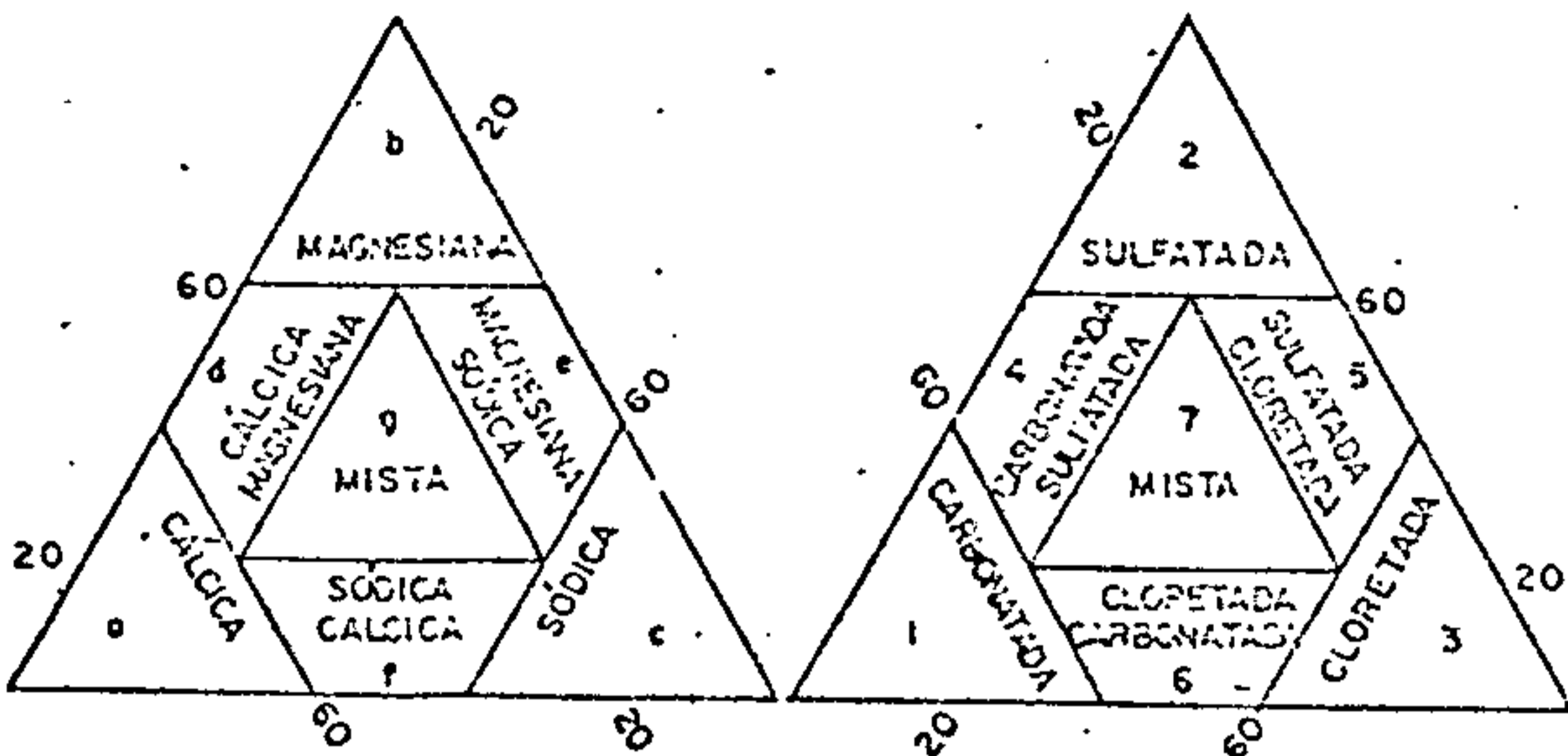


FÁCIES HIDROQUÍMICAS
 DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LANGELIER

FOLHA - 12

FORMAÇÃO CORDA.

AMOSTRA	SIMB.	FÁCIES
060.12	♂	7o
197.12	♂	5e
200.12	♂	3c
220.12	♂	3c
222.12	♂	6e



Miliequivalentes em Porcentagem

Fig. 5.3.3



CPRM

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

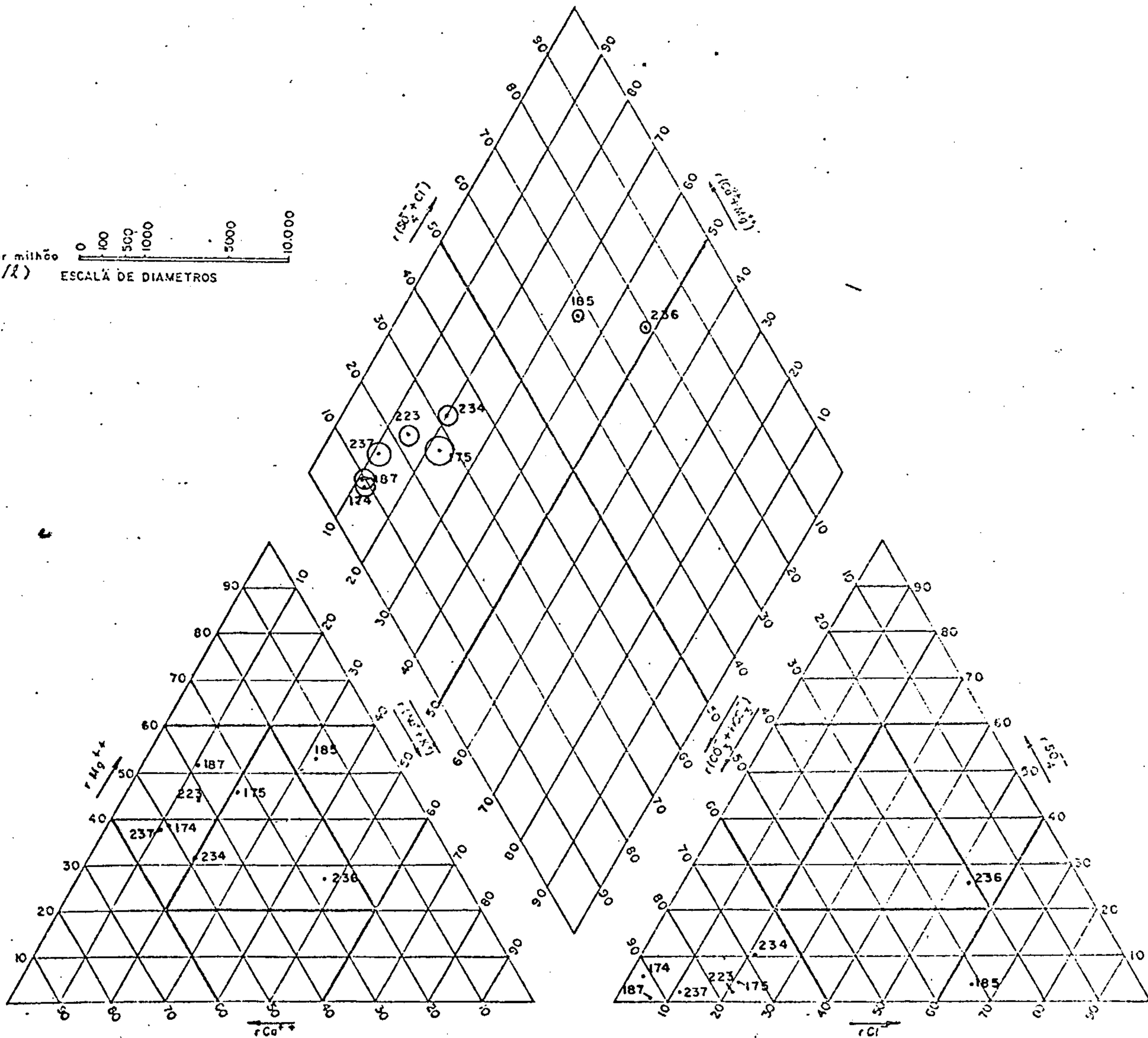
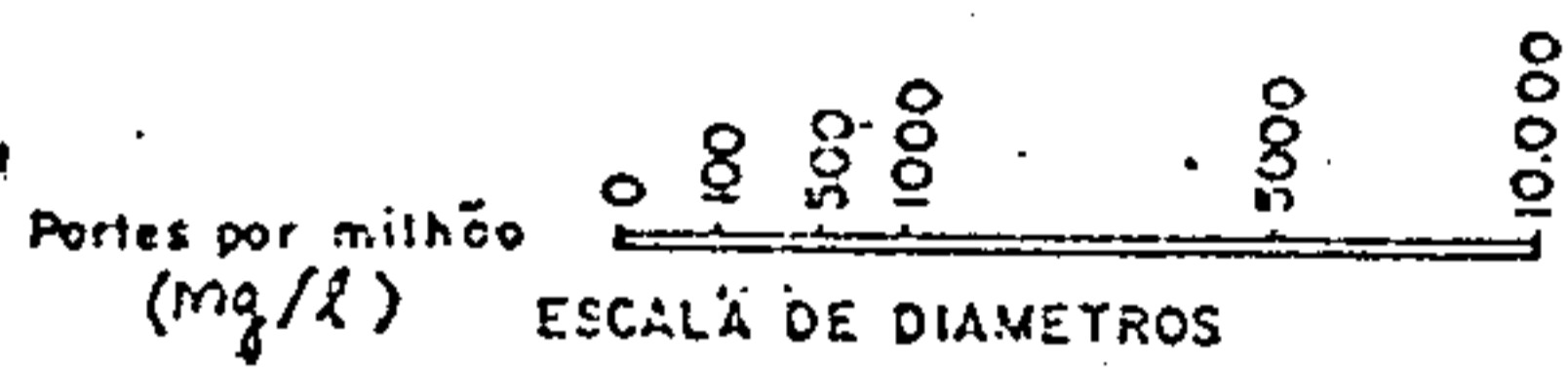
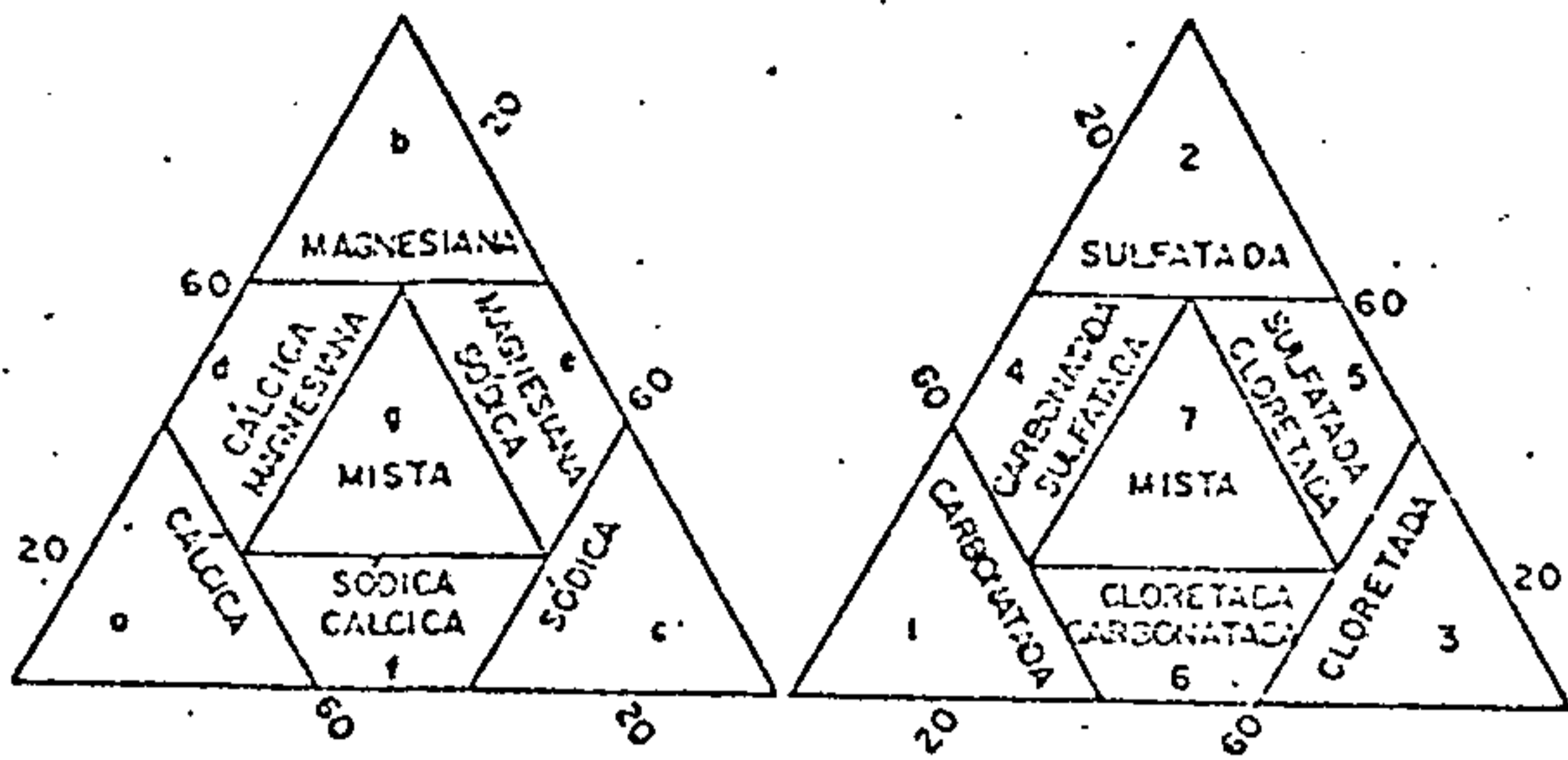
COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA
SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

FÁCIES HIDROQUÍMICAS
DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LANGELIER

FOLHA-12

FORMAÇÃO MÔSQUITO

AMOSTRA	SIMB.	FÁCIES
174.12	♂	1d
175.12	○	1g
185.12	♂	3e
223.12	○	1d
234.12	○	1d
236.12	○	7g
237.12	○	1d
187.12	♂	1d



Miliequivalentes em Percentagem

Fig. 5.3.4



CPRM

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

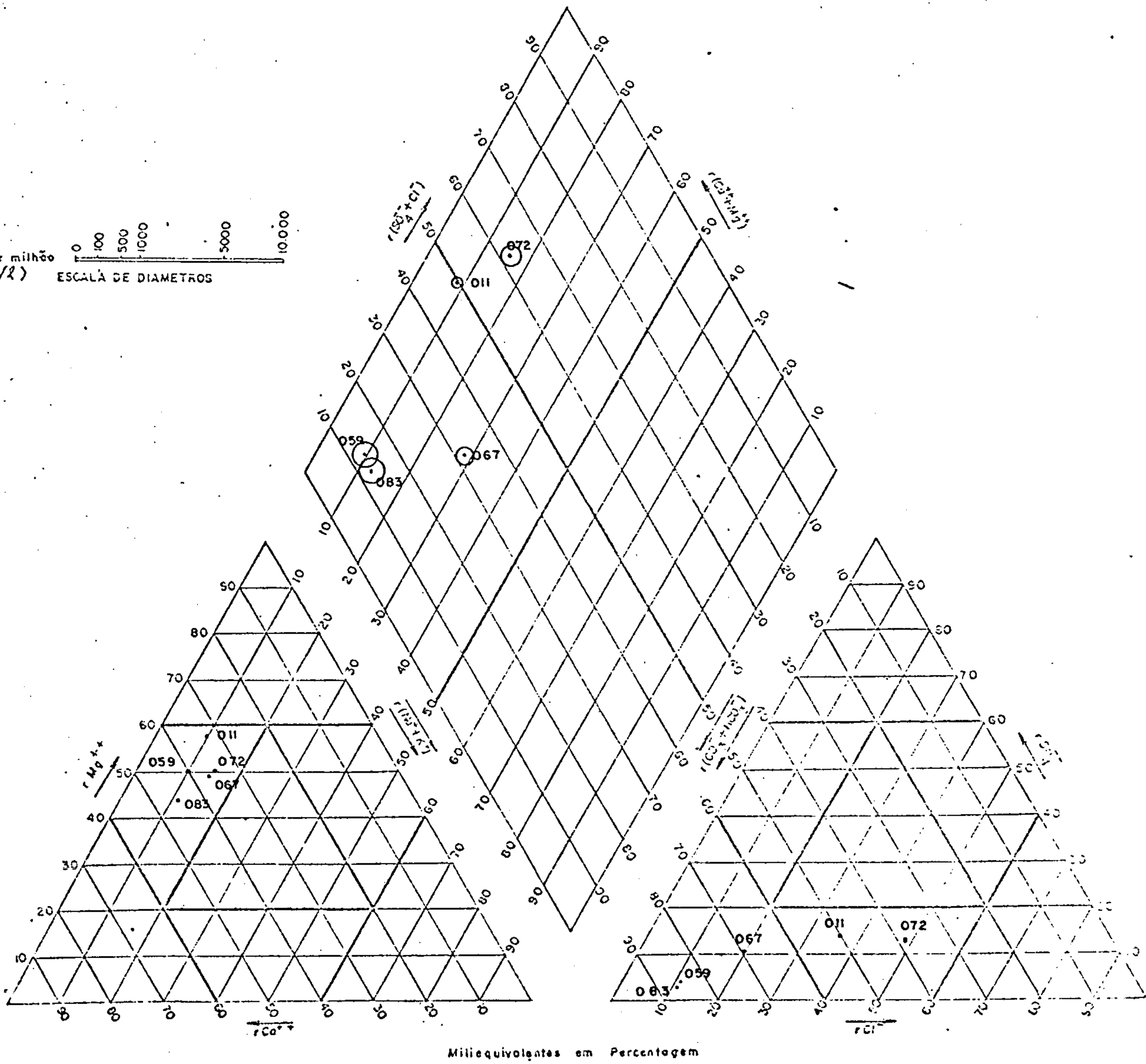
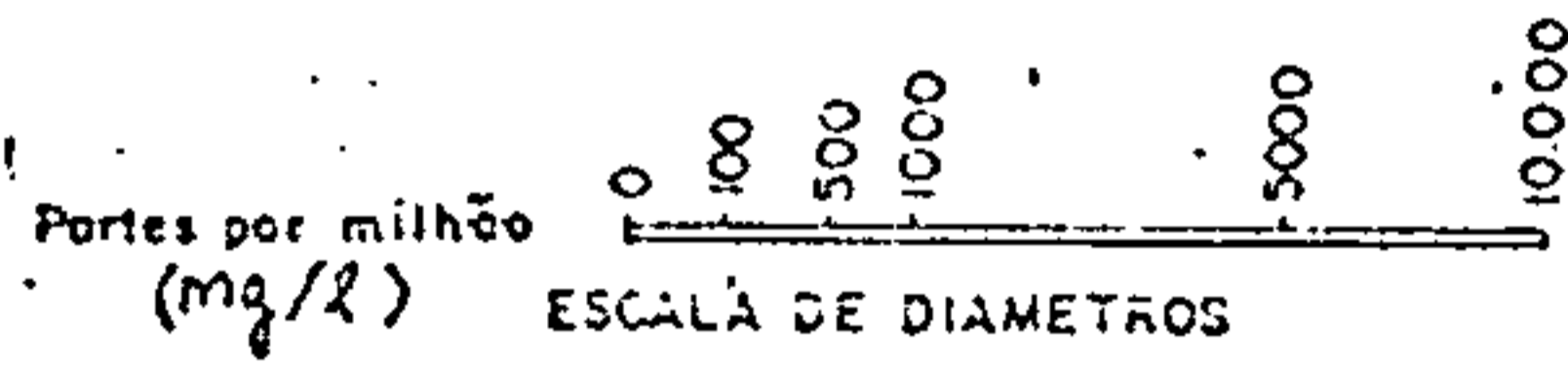
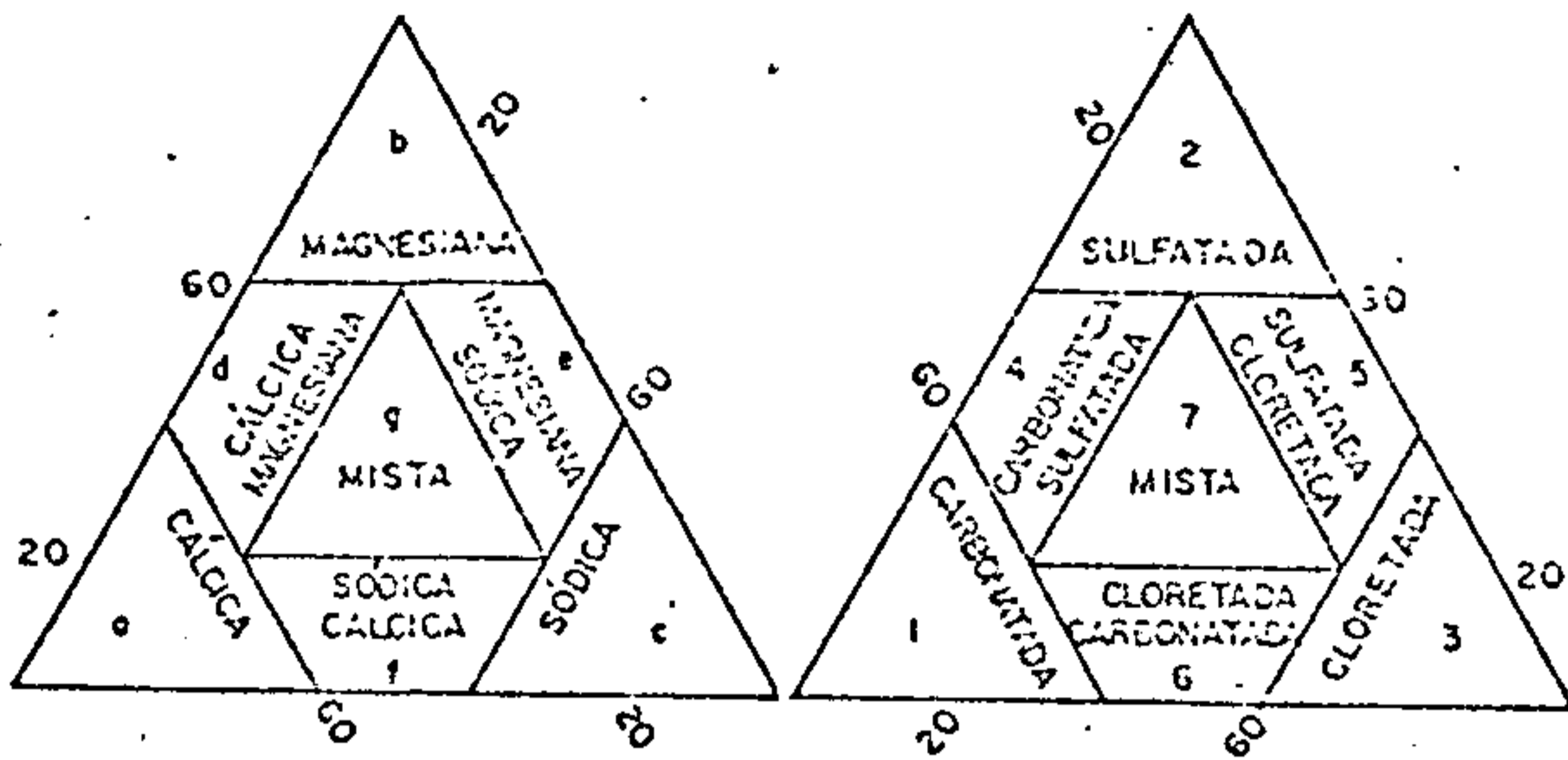
COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA
SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

FÁCIAS HIDROQUÍMICAS
DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LANGELIER

FOLHA - 12

FORMAÇÃO MOSQUITO

AMOSTRA	SIM B.	FÁCIES
011.12	○	6d
059.12	○	1d
067.12	⊙	1d
072.12	○	6d
083.12	⊗	1d



Miliequivalentes em Porcentagem

Fig. 5.3.5



CPRM

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

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

FÁCIES HIDROQUÍMICAS
DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LANGELIER

FOLHA - 12

FORMAÇÃO SAMBAIBA

AMOSTRA	SIMB.	FÁCIES
069.12	⊙	1 d
084.12	⊙	1 d
126.12	⊙	5 e
127.12	⊙	6 c
129.12	⊙	3 e
148.12	⊙	1 g
159.12	⊙	1 d
163.12	⊙	7 b
165.12	⊙	1 d
172.12	⊙	7 c
180.12	⊙	1 a
184.12	⊙	6 e

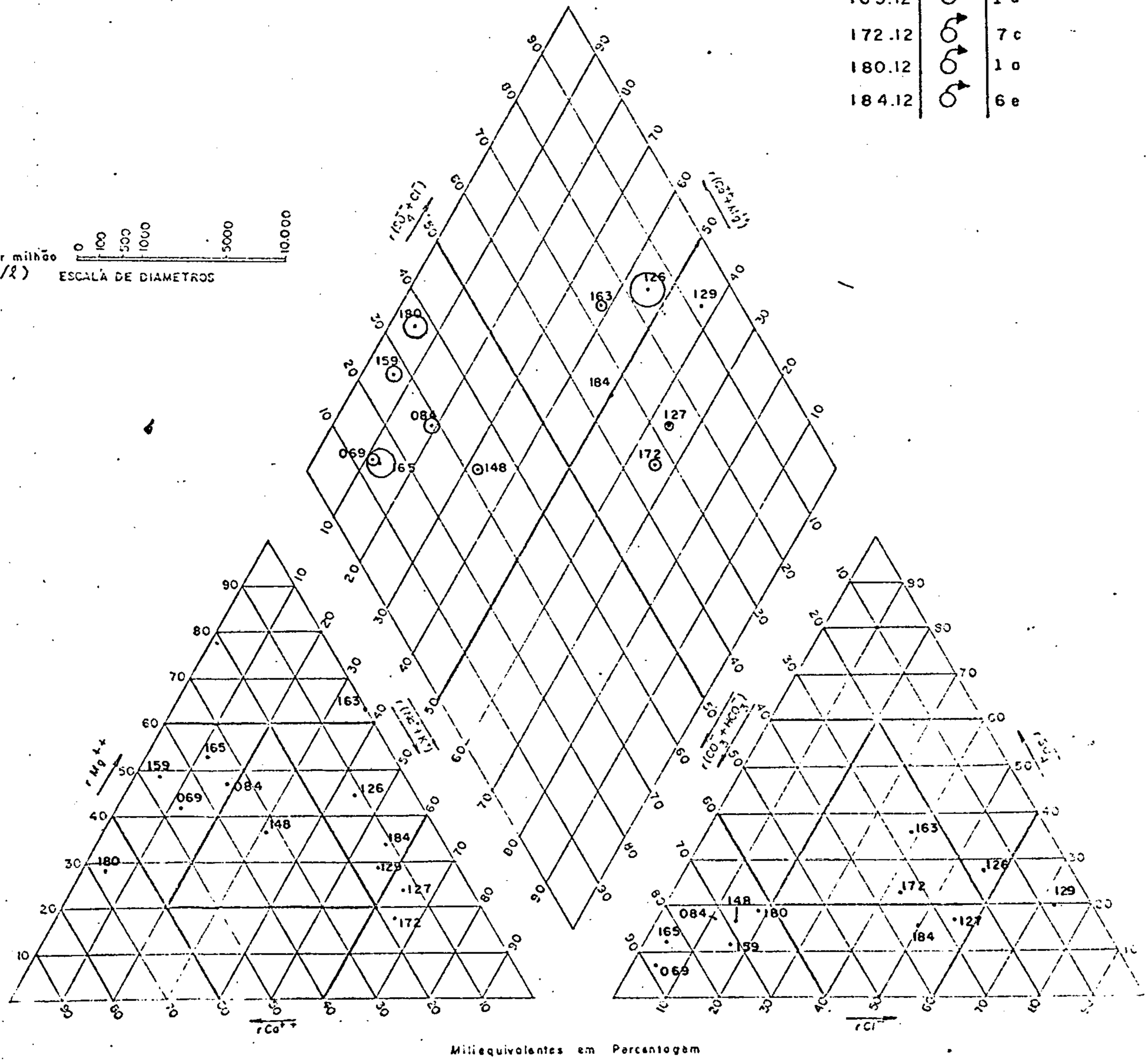
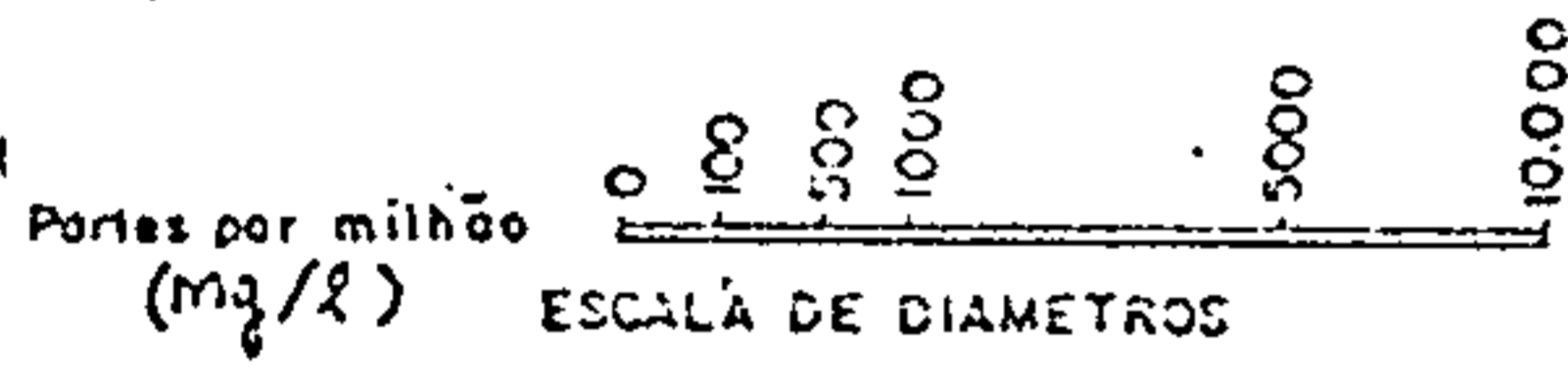
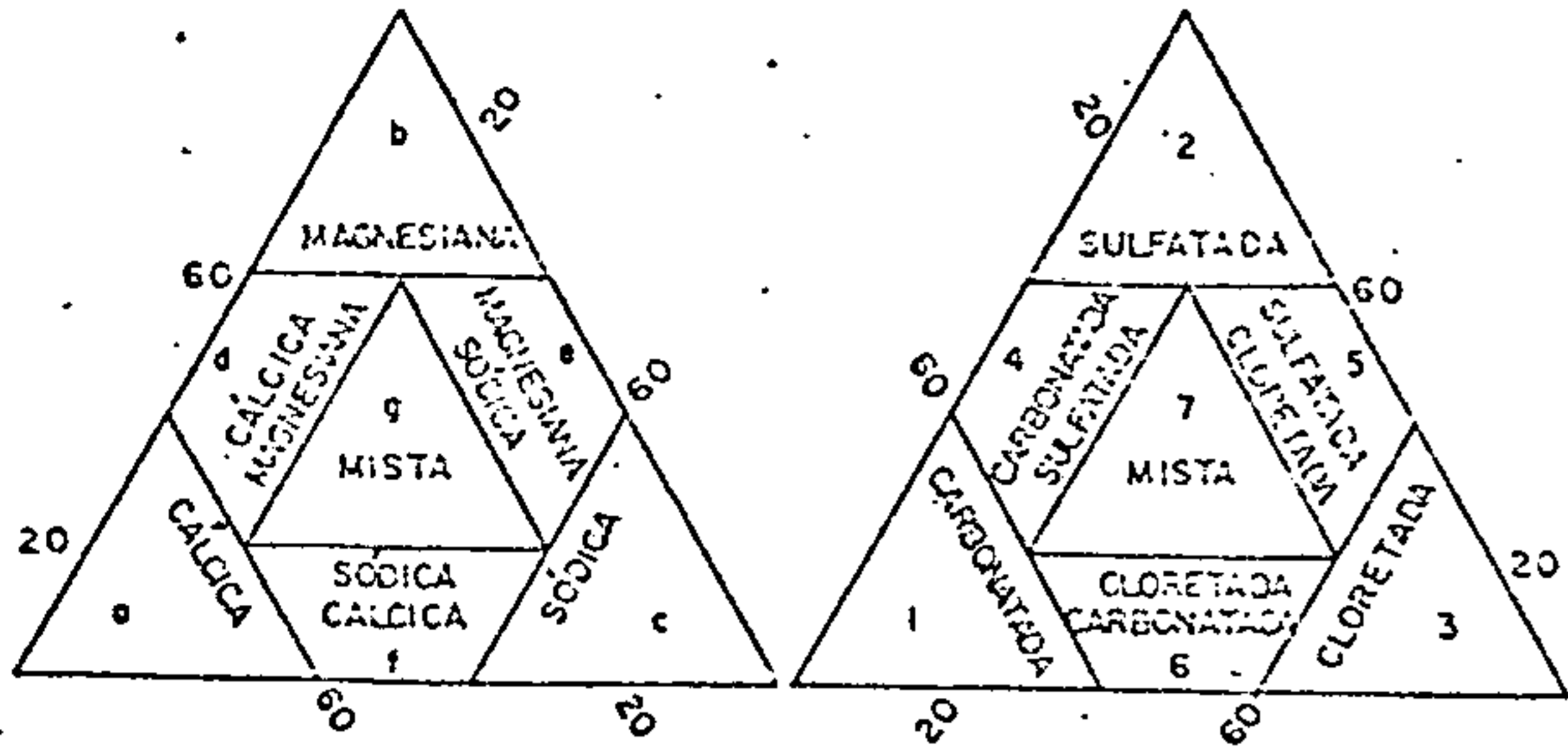


Fig. 5.3.6



FÁCIES HIDROQUÍMICAS
 DIAGRAMA DE PIPER-MILL-LANGELIER

FOLHA - 12

FORMAÇÃO SAMBAIBA

AMOSTRA	SIMB.	FÁCIES
109.12	⊙	3g
124.12	⊙	7e
194.12	⊙	6e
205.12	⊙	6g
245.12	⊙	3e
248.12	⊙	6e
265.12	⊙	1d
270.12	⊙	1d
303.12	⊙	3e

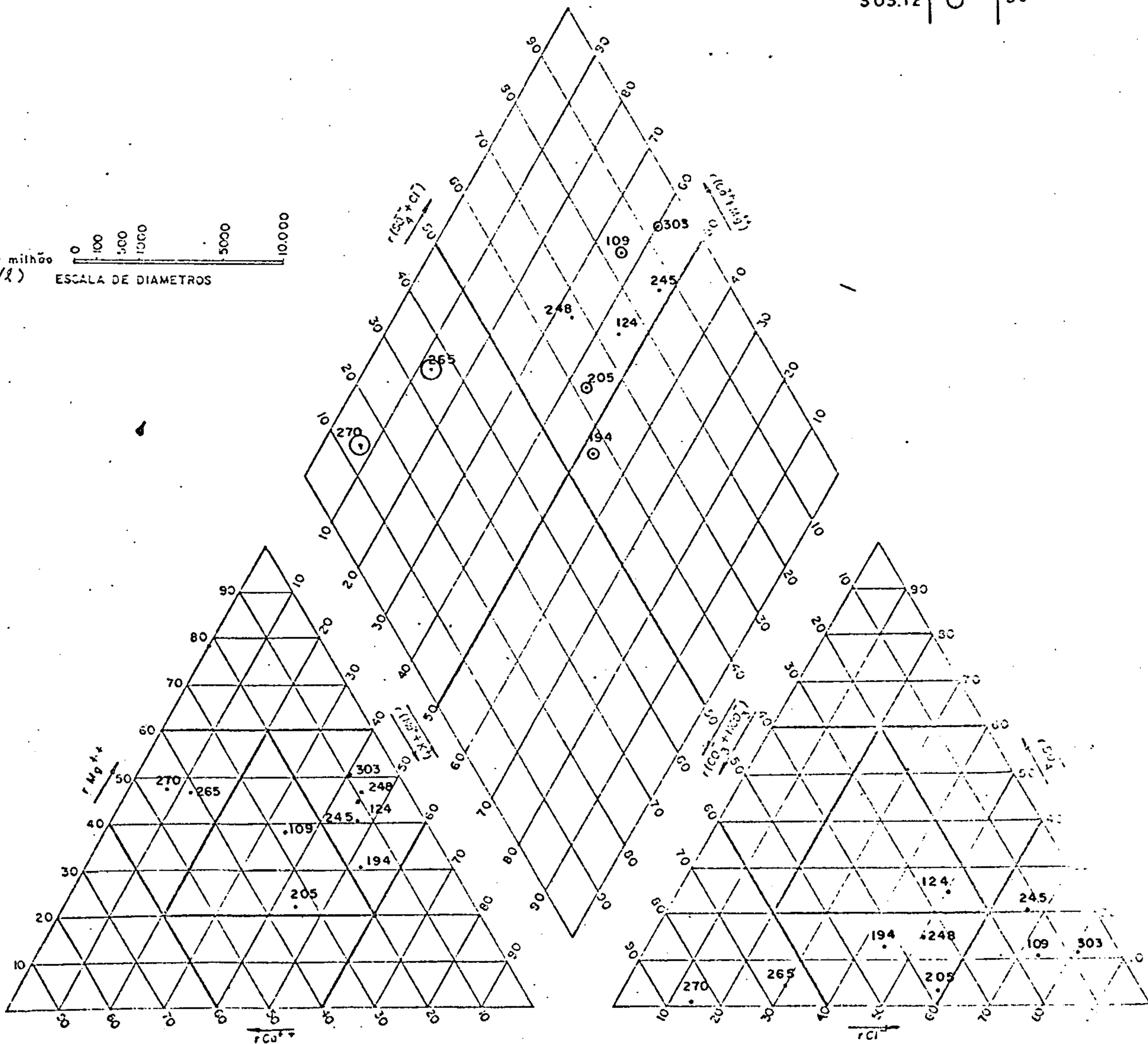
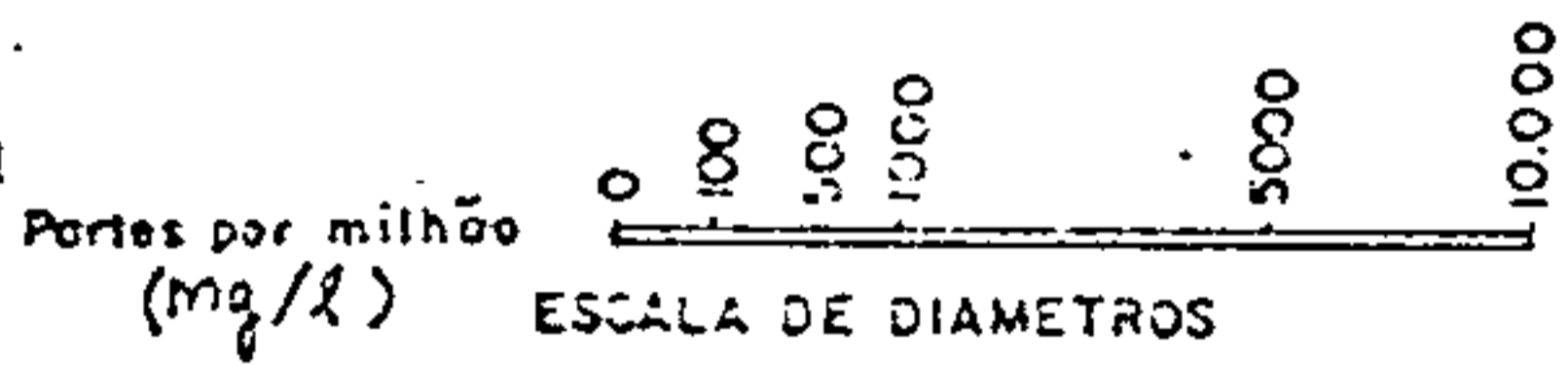
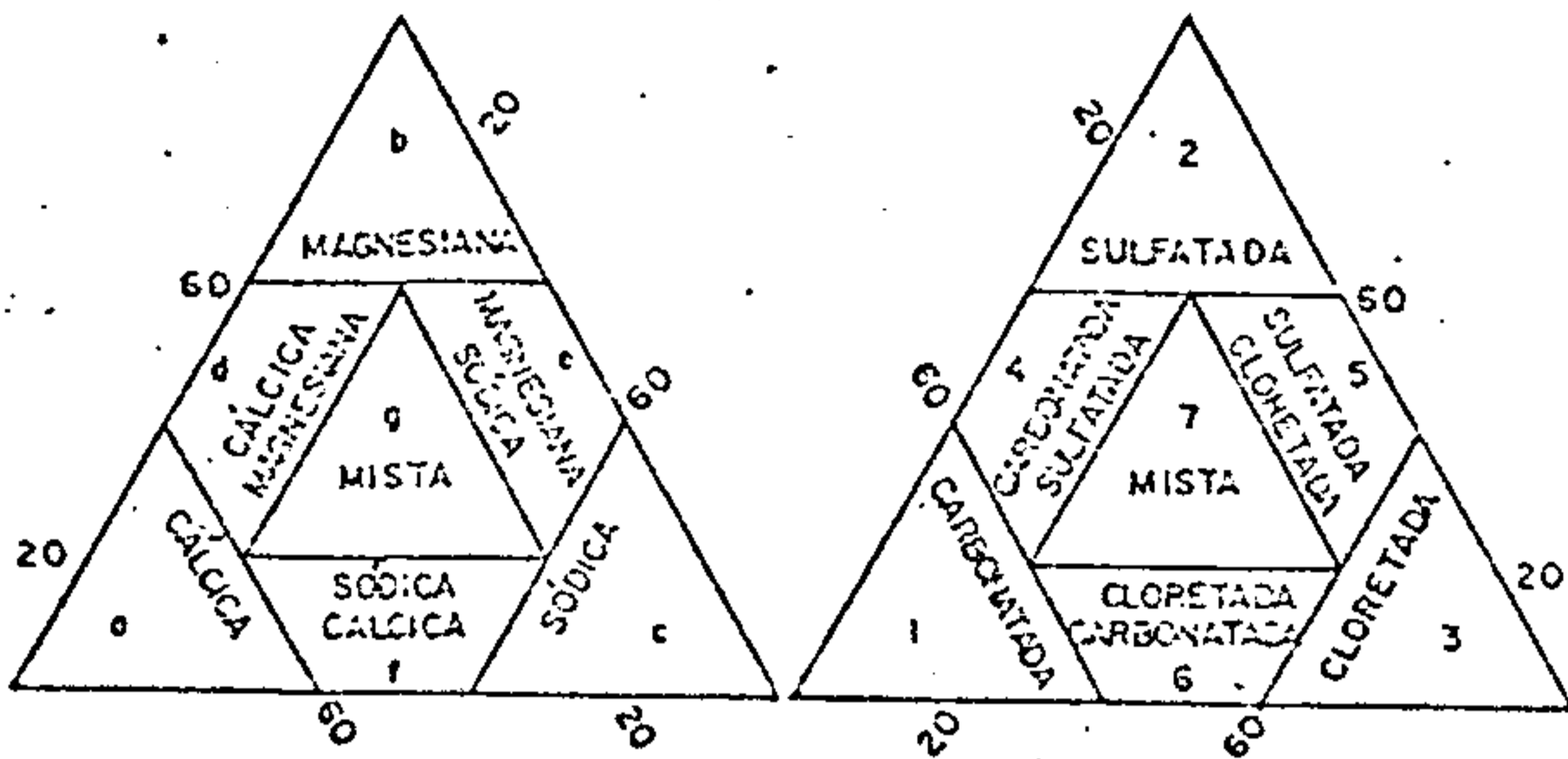
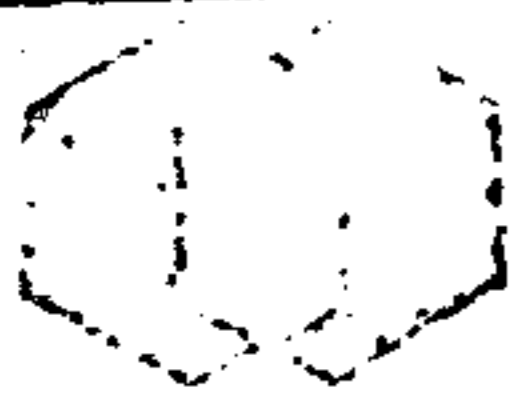


Fig. 5.3.7



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-12

AMOSTRA	SIMB	FACIES
008.12	○	7 g
169.12	♂	6 b
275.12	♂	3 b
277.12	○	3 c

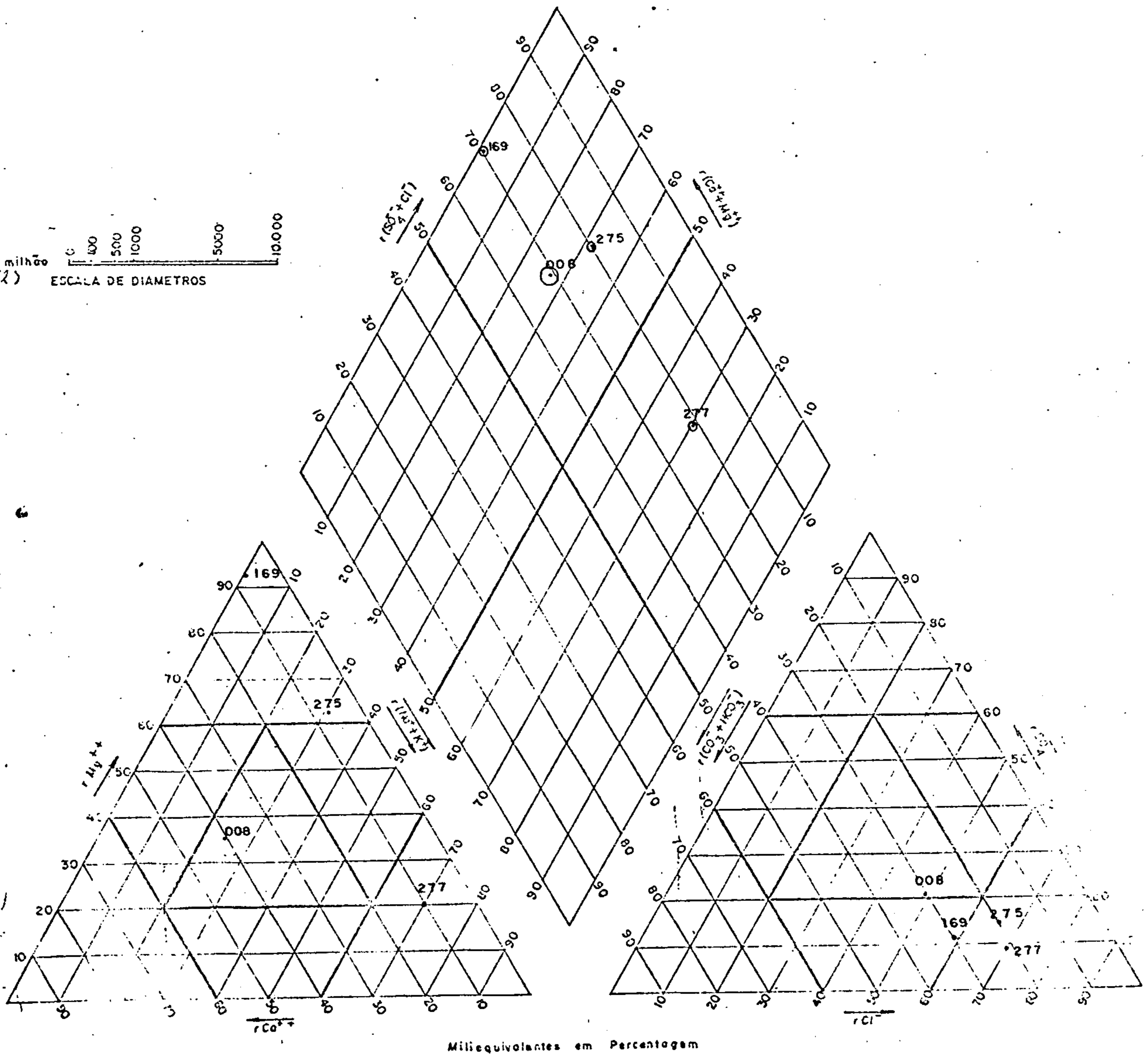
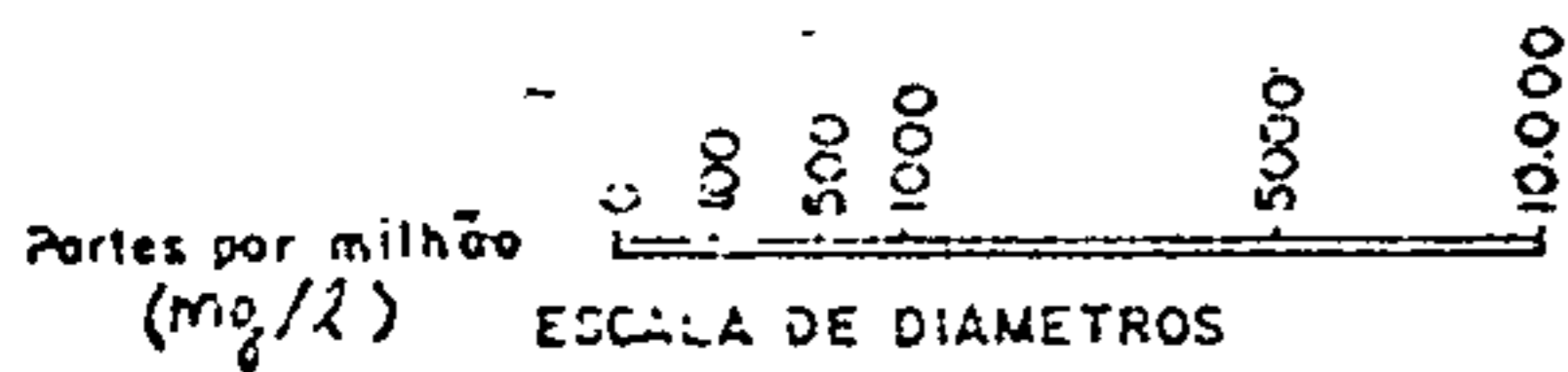
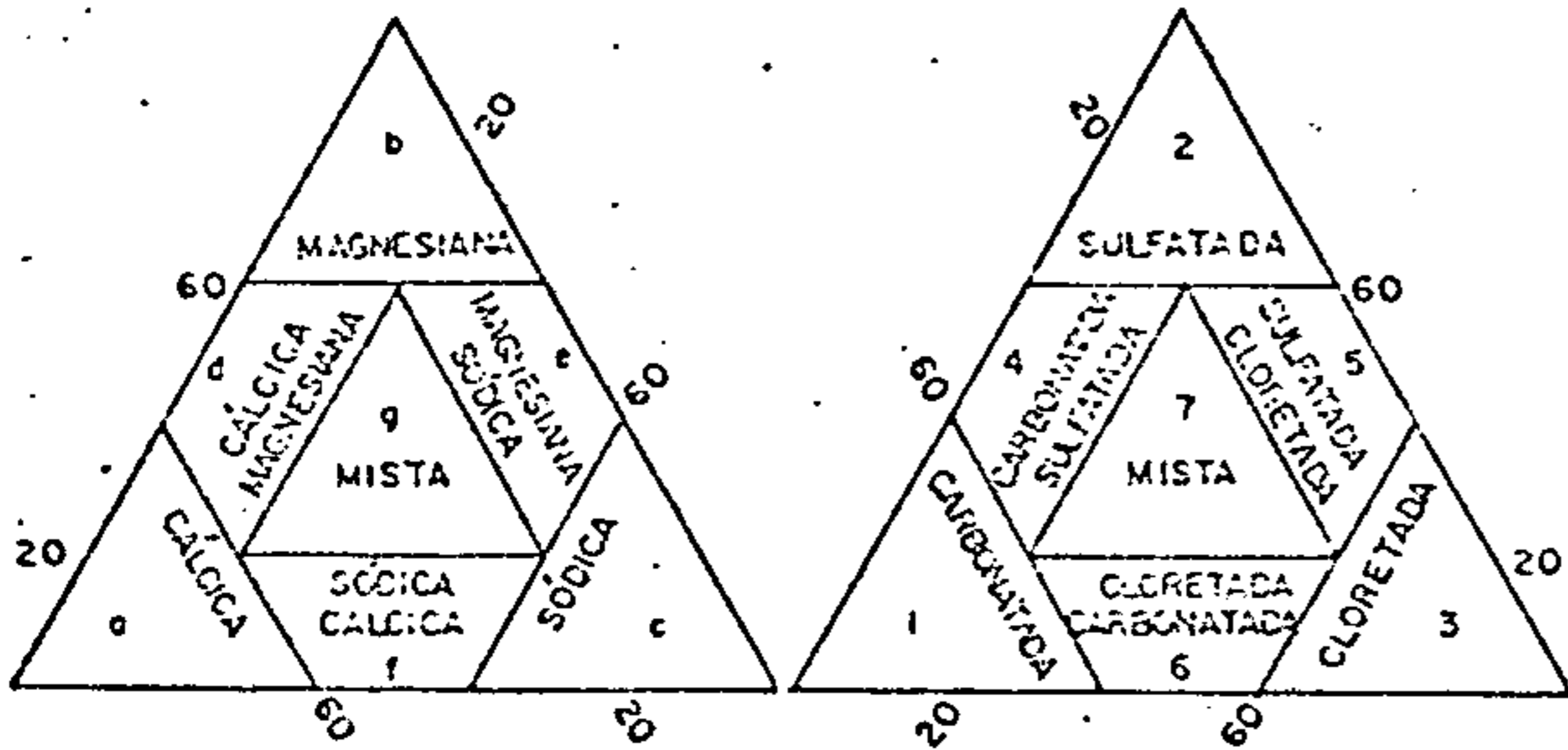


Fig. 5.3.8



CPRM

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

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

FÁCIES HIDROQUÍMICAS
DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LANGELIER

FOLHA-12

FORMAÇÃO PEDRA DE FOGO

AMOSTRA	SIMB	FÁCIES
032.12	○	6d
116.12	♂	6d
121.12	♂	2o
150.12	○	1o
212.12	♂	1d
247.12	♂	6e
254.12	♂	6d
268.12	○	1o
282.12	○	1b

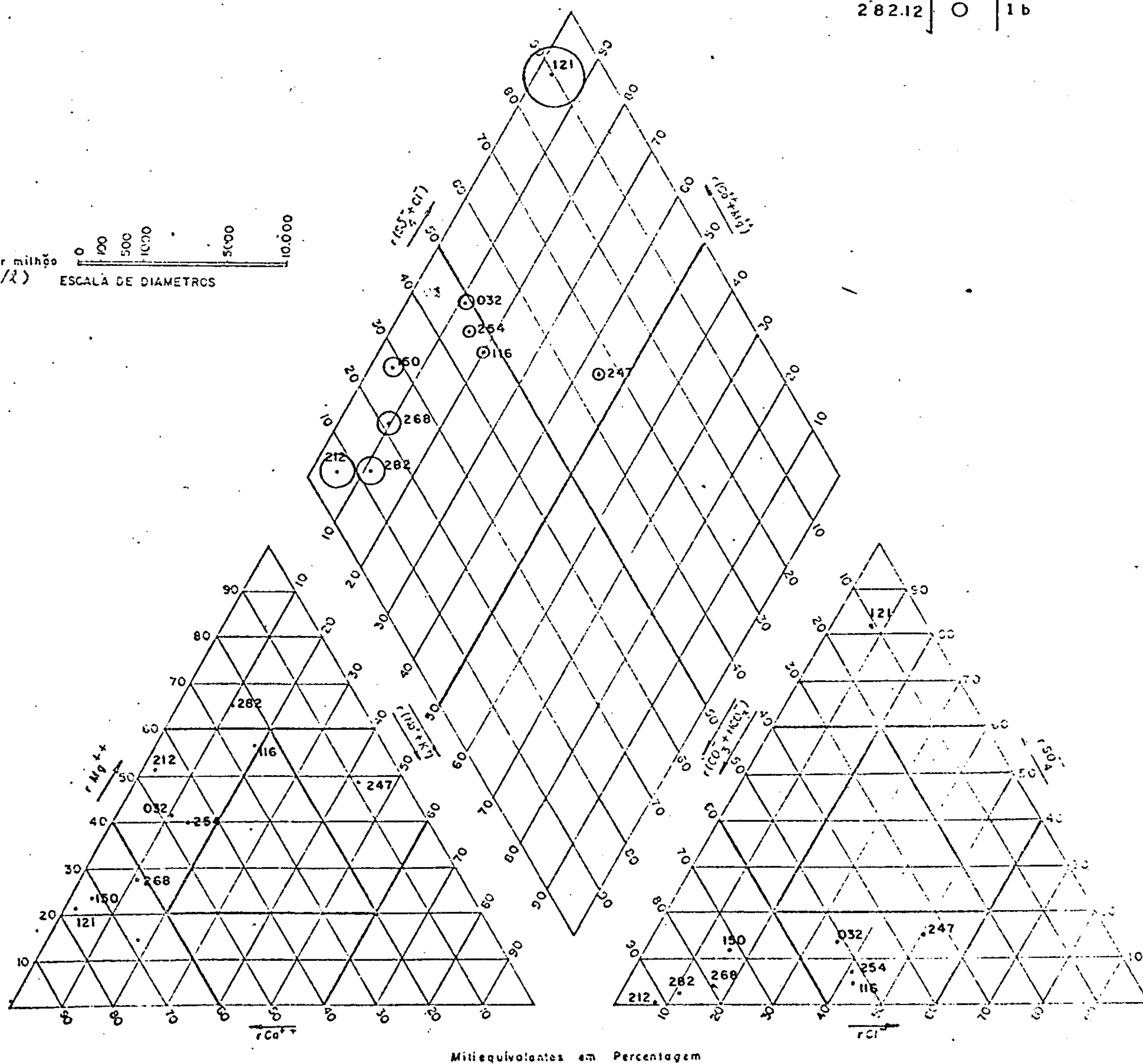
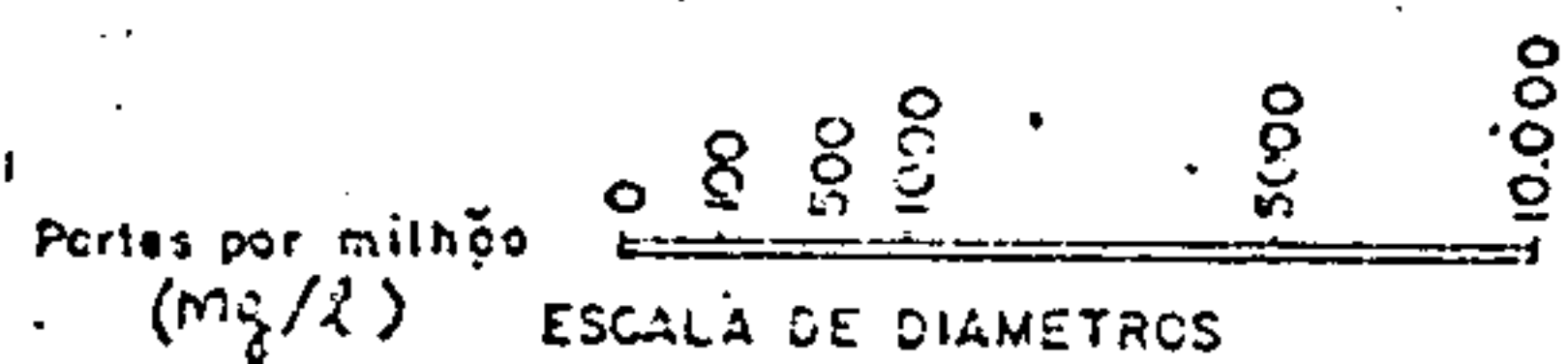
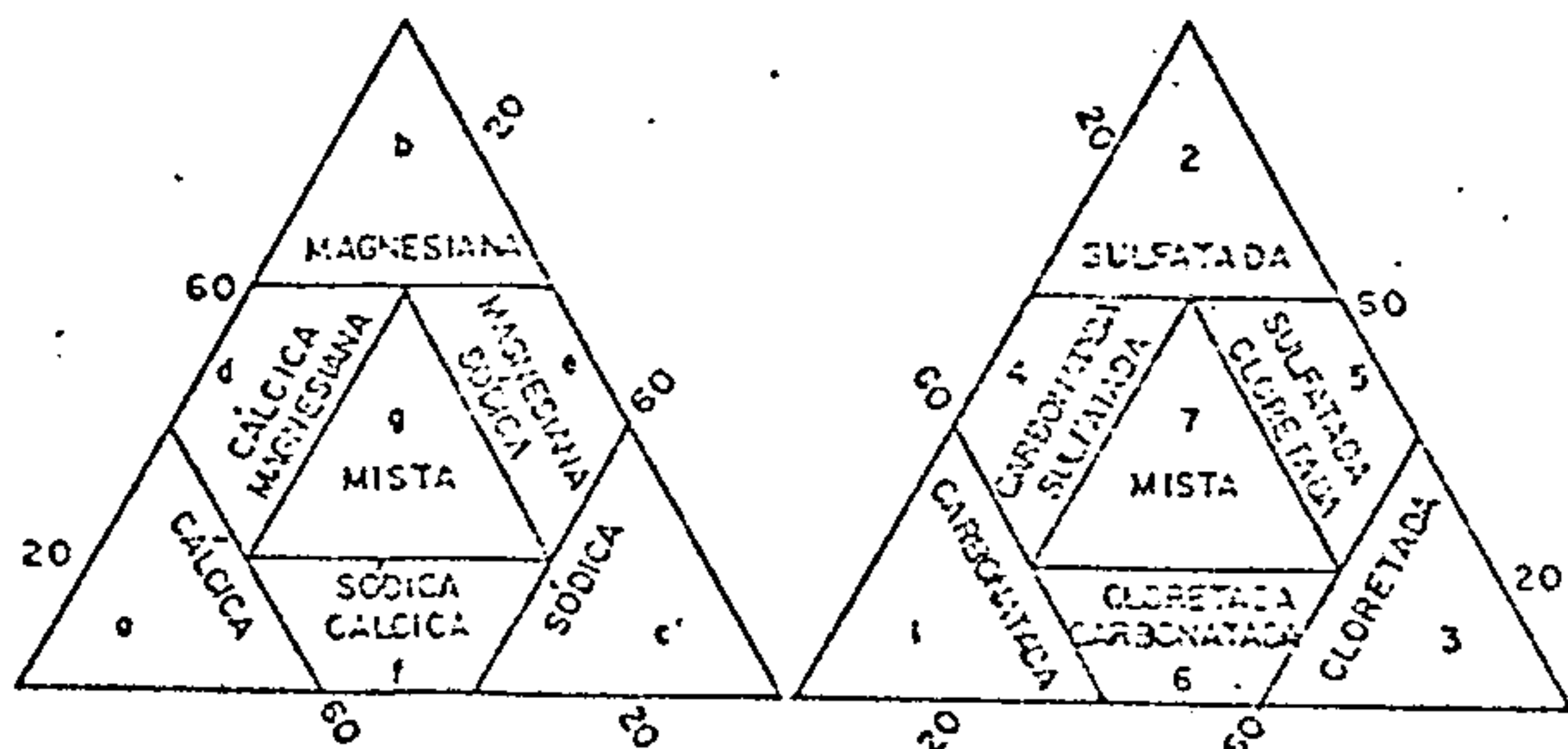


Fig. 5.3.9



CPRM
 SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
 RECIFE

FÁCIES HIDROQUÍMICAS
 DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LANGELIER

FOLHA-12

FORMAÇÃO - PIAUI

AMOSTRA	SIMB	FÁCIES
028.12	⊕	1g
035.12	⊕	5b
046.12	⊕	3d
049.12	⊕	7b
089.12	⊕	6g
114.12	⊕	3b
122.12	⊕	3b
208.12	⊕	6g
274.12	⊕	5b
314.12	⊕	6g
319.12	⊕	1a
118.12	⊕	4g
119.12	⊕	4g
310.12	○	6f

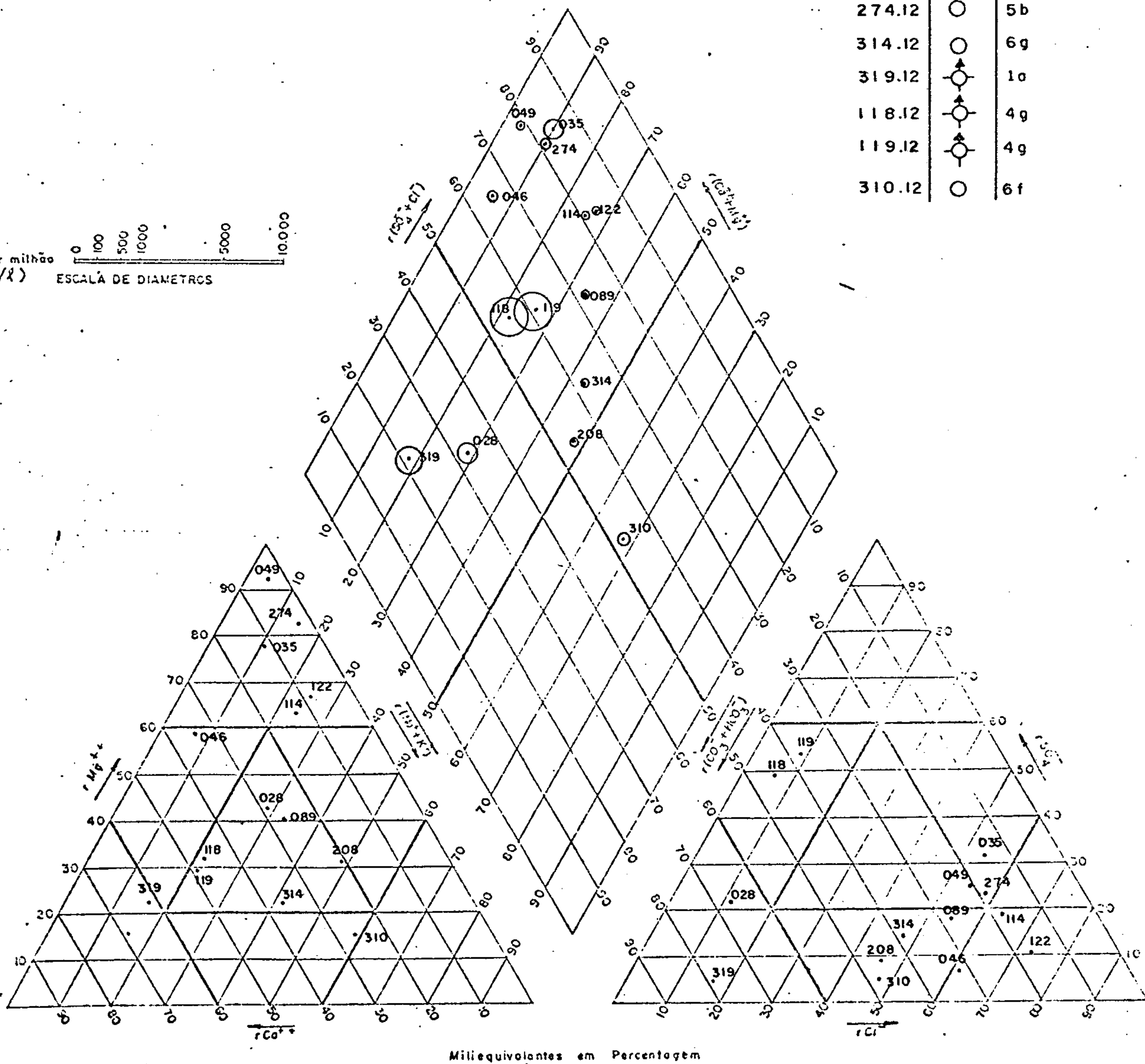
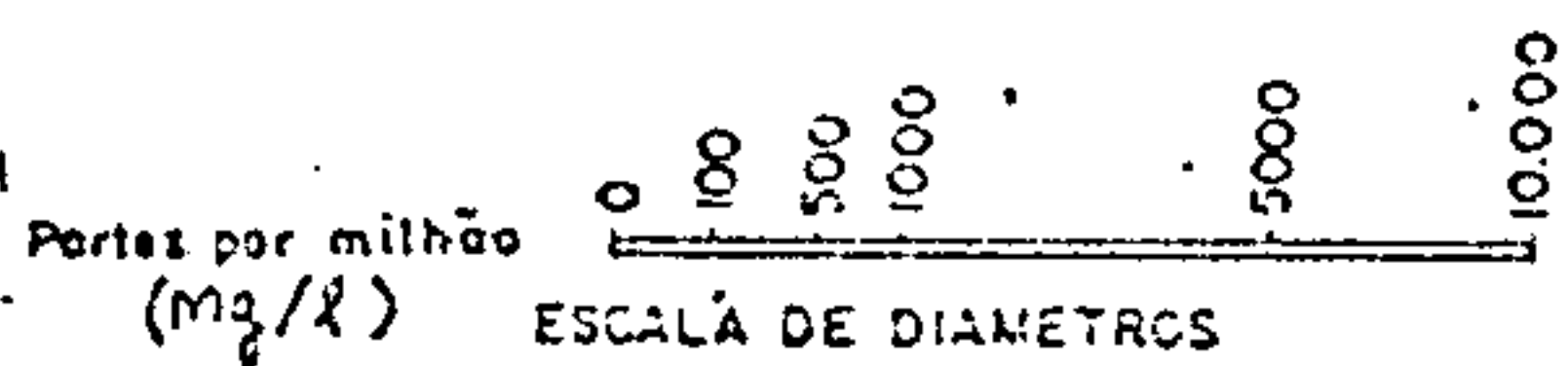
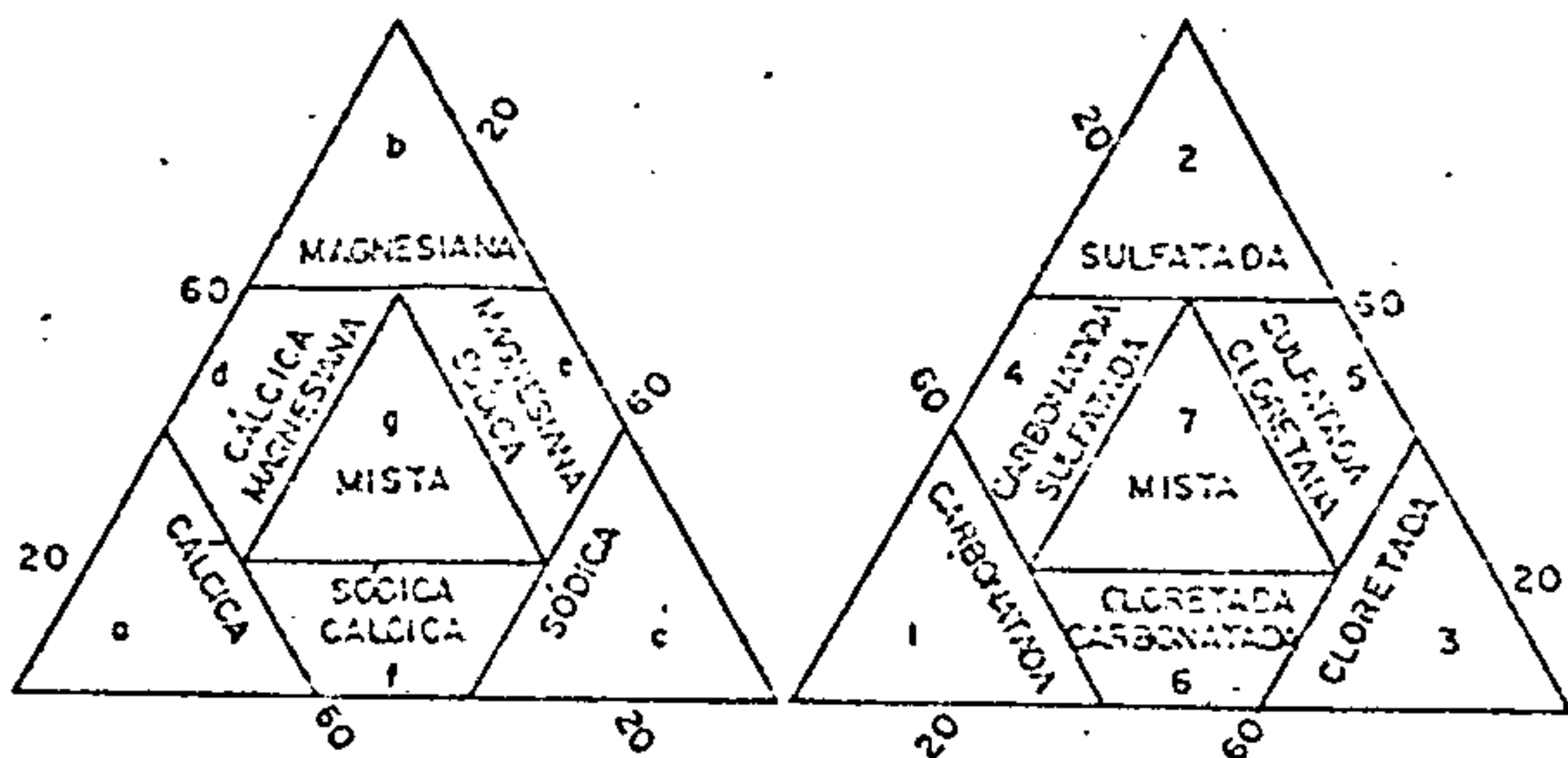


Fig. 5. 3. 10



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-12

FORMAÇÃO SERRA GRANDE

AMOSTRA	SIM B	FÁCIES
176.12	○	19

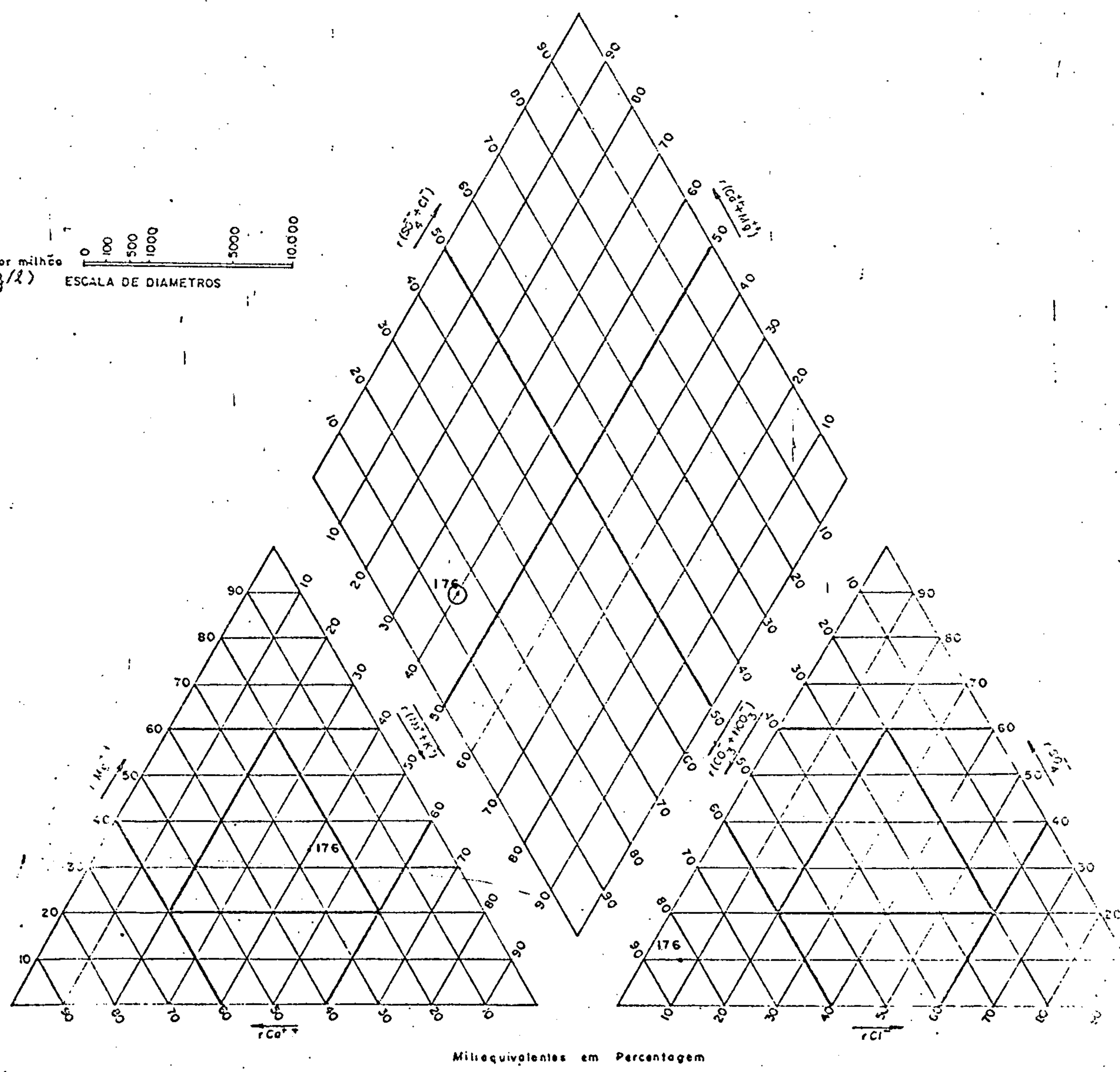
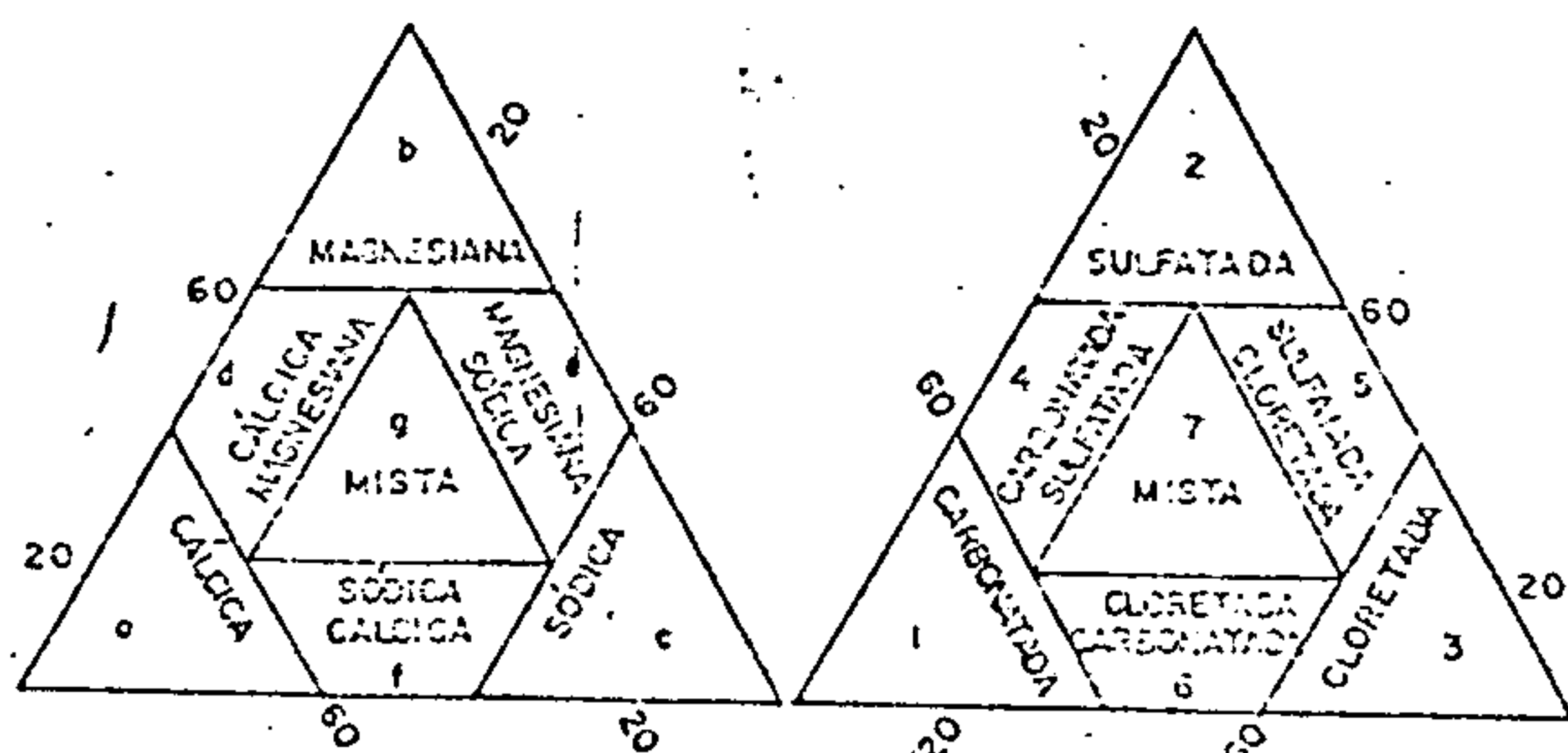
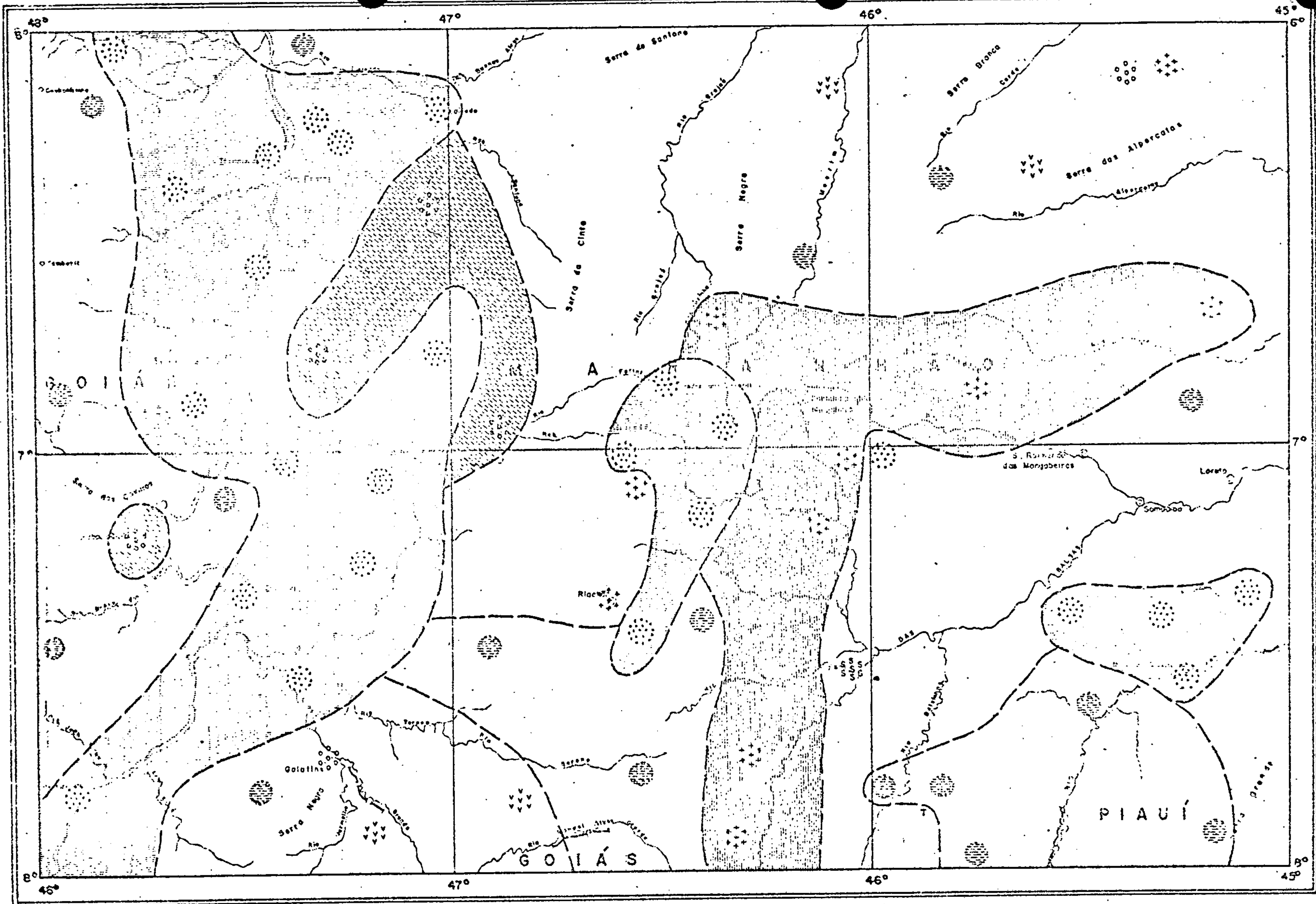


Fig. 5.3.11

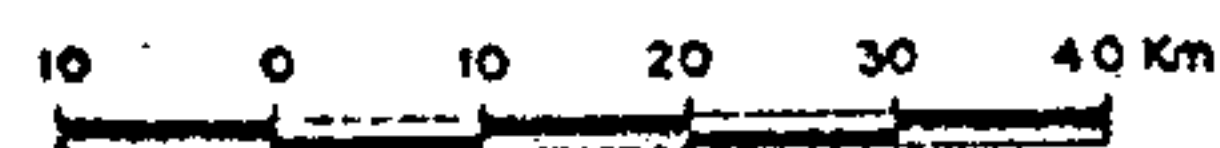


MAPA DE ZONEAMENTO
HIDROQUÍMICO

CONVENÇÕES

- | | | | |
|-------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| ⊙ | Cidades | ⊙ | Águas Carbonatadas Sulfatadas |
| o | Povoados | ⊙ | Águas Sulfatadas Cloretadas |
| ~~~~~ | Rios | T | Águas Sulfatadas |
| ----- | Limite Interestadual | ZONAS DE PREDOMINÂNCIA | |
| ⊙ | Águas Carbonatadas | ⊙ | Águas Carbonatadas |
| ⊙ | Águas Cloretadas | ⊙ | Águas Cloretadas Carbonatadas |
| ⊙ | Águas Mistas | ⊙ | Águas Cloretadas |
| ⊙ | Águas Cloretadas Carbonatadas | ⊙ | Águas Mistas |

ESCALA 1:1.000.000



QUADRO 5.3.12
DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA
DOS FÁCIES QUÍMICOS

F Á C I E S Q U Í M I C O S	Nº DE AMOSTRAS	FREQUÊNCIA RELATIVA(%)
<p>1. Águas Carbonatadas $r(\text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^-) > 60\%$</p> <p>a) Carbonatadas cálcicas-magnesianas $20\% < r\text{Ca}^{++} < 60\%$ $20\% < r\text{Mg}^{++} < 60\%$ $r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) < 20\%$</p> <p>b) Carbonatadas cálcicas $r\text{Ca}^{++} > 60\%$</p> <p>c) Carbonatadas mistas $20\% < r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) < 60\%$ $20\% < r\text{Ca}^{++} < 60\%$ $20\% < r\text{Mg}^{++} < 60\%$</p> <p>d) Carbonatadas magnesianas $r\text{Mg}^{++} > 60\%$</p> <p>e) Carbonatadas sódica-cálcicas $20\% < (\text{Na}^+ + \text{K}^+) < 60\%$ $20\% < r\text{Ca}^{++} < 60\%$ $r\text{Mg}^{++} < 20\%$</p>	<p>25</p> <p>14</p> <p>5</p> <p>4</p> <p>1</p> <p>1</p>	<p>36,8</p> <p>20,6</p> <p>7,3</p> <p>5,9</p> <p>1,5</p> <p>1,5</p>
<p>2. Águas Cloretadas Carbonatadas $20\% < r(\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^{--}) < 60\%$ $20\% < r\text{Cl}^- < 60\%$ $r\text{SO}_4^{--} < 20\%$</p>	<p>17</p>	<p>25,0</p>

F Á C I E S Q U Í M I C A S	Nº DE AMOSTRAS	FREQUÊNCIA RELATIVA(%)
<p>c) Mista Sódica</p> $r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > 60\%$	1	1,5
<p>d) Mista Magnésica Sódica</p> $20\% < r\text{Mg}^{++} < 60\%$ $20\% < r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) < 60\%$ $r\text{Ca}^{++} < 20\%$	1	1,5
<p>5. Sulfatadas Cloretadas</p> $20\% < r\text{SO}_4^{--} < 60\%$ $20\% < r\text{Cl}^- < 60\%$ $r(\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^-) < 20\%$	4	5,9
<p>a) Sulfatada cloretada magnésica</p> $20\% < r\text{Mg}^{++} < 60\%$ $20\% < r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) < 60\%$ $r\text{Ca}^{++} < 20\%$	2	2,9
<p>b) Sulfatada cloretada magnésica sódica</p> $20\% < r\text{Mg}^{++} < 60\%$ $20\% < r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) < 60\%$ $r\text{Ca}^{++} < 20\%$	2	2,9
<p>6. Águas Carbonatadas Sulfatadas</p> $20\% < r(\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^-) < 60\%$ $20\% < r\text{SO}_4^{--} < 60\%$ $r\text{Cl}^- < 20\%$	2	2,9

F Á C I E S Q U I M I C A S	Nº-DE AMOSTRAS	FREQUÊNCIA RELATIVA (%)
a) Cloretadas carbonatadas cálcica-magnésiana $20\% < rCa^{++} < 60\%$ $20\% < rMg^{++} < 60\%$ $r(Na^+ + K) < 20\%$	5	7,3
b) Cloretadas carbonatadas magnésiana sódica $20\% < rMg^{++} < 60\%$ $20\% < r(Na^{++} + K^+) < 60\%$ $rCa^{++} < 20\%$	5	7,3
c) Cloretadas carbonatadas mistas $20\% < r(Na^+ + K^+) < 60\%$ $20\% < rCa^{++} < 60\%$ $20\% < rMg^{++} < 60\%$	4	5,9
d) Cloretadas Carbonatadas Sódica-Cálcicas $20\% < r(Na^+ + K^+) < 60\%$ $20\% < rCa^{++} < 60\%$ $rMg^{++} < 20\%$	1	1,5
e) Cloretada carbonatada magnésiana $rMg^{++} > 60\%$	1	1,5
f) Cloretada carbonatada sódica $r(Na^+ + K^+) > 60\%$	1	1,5

F Á C I E S Q U Í M I C A S	Nº DE AMOSTRAS	FREQUÊNCIA RELATIVA(%)
3. Águas Cloretadas $rCl^- > 60\%$	12	17,6
a) Cloretadas sódicas $rNa^+ > 60\%$	4	5,9
b) Cloretadas magnésicas sódicas $20\% < r(Na^+ + K^+) < 60\%$ $20\% < rMg^{++} < 60\%$ $rCa^{++} < 20\%$	4	5,9
c) Cloretadas magnésicas $rMg^{++} > 60\%$	3	4,4
d) Cloretadas mistas $20\% < r(Na^+ + K^+) < 60\%$ $20\% < rCa^{++} < 60\%$ $20\% < rMg^{++} < 60\%$	1	1,5
4. Águas Mistas $20\% < r(CO_3^{--} + HCO_3^-) < 60\%$ $20\% < rCl^- < 60\%$ $20\% < rSO_4^{--} < 60\%$	7	10,3
a) Mista Mista $20\% < r(Na^{++} + K^+) < 60\%$ $20\% < rCa^{++} < 60\%$ $20\% < rMg^{++} < 60\%$	3	4,4
b) Mista Magnésica $rMg^{++} > 60\%$	2	2,9

F Á C I E S Q U Í M I C A S	Nº DE AMOSTRAS	FREQUÊNCIA RELATIVA (%)
a) Carbonatada sulfatada mista $20\% < r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) < 60\%$ $20\% < r\text{Ca}^{++} < 60\%$ $20\% < r\text{Mg}^{++} < 60\%$	2	2,9
7. Águas Sulfatadas $r\text{SO}_4^{--} > 60\%$ a) Sulfatadas cálcicas $r\text{Ca}^{++} > 60\%$	1	1,5
	1	1,5

QUADRO 5.3.1.9

CLASSES DE ÁGUAS	pH	RESÍDUO SECO (mg/l)	°F DUREZA	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA mho/cm
Carbonatadas	7,9	16	11,74	232
Cloretadas Carbonatadas	6,2	42	2,10	45
Cloretadas	6,5	42	0,75	14
Mistas	7,1	110	1,45	23
Sulfatada Cloretadas	6,4	121	1,15	12
Carbonatadas Sulfatadas	8,0	338	17,40	470
Sulfatadas	7,90	1.190	120,00	1.701

5.3.1.1 - Águas Carbonatadas (36,8%)

Caracteriza esta classe as águas que apresentam os ions ($\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^-$), com percentagem igual ou superior a 60% do total dos ânions.

As águas representantes deste grupo são provenientes de fontes, poços manuais e poços tubulares, se fazendo presente em quase todos os tipos litológicos, a exceção da Formação Motuca. Apresentam-se ligeiramente alcalinas, com um pH médio de 7,9; contém o mais baixo grau de salinização das águas aqui analisadas, com um resíduo seco médio de 16 miligramas/litro. Estão classificadas como sendo águas "moles" com dureza média de 11,74 graus franceses. Verifica-se para esta classe uma predominância do tipo cálcicas-magnesianas. As suas zonas de predominância encontram-se representadas na Fig. 5.3.1.8.

5.3.1.2 - Águas Cloretadas Carbonatadas (25%)

São caracterizadas pelas águas que apresentam os ions ($\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^-$) e Cl^- compreendidos entre 20 e 60% e o ion SO_4^{--} menor do que 20%.

Estão classificadas como o segundo grupo em predominância para a área, são provenientes de fontes e poços manuais, não havendo, entretanto, sua associação a determinado tipo litológico. São águas ligeiramente ácidas, com um pH médio de 6,2, o resíduo seco médio é de 42 miligramas/litro, tratando-se portanto de água de baixo grau de salinização e são classificadas como águas "mui

to moles", visto a sua dureza média ser de 2,10 graus franceses. Verifica-se nesta classe de água uma predominância dos tipos cálcicas magnesianas e magnesianas sódicas.

5.3.1.3 - Águas Cloretadas (17,6%)

Esta classe se caracteriza por apresentar o ion Cl^- igual ou sempre superior a 60% do total de ânions. As águas assim classificadas nesta Folha são provenientes em sua quase totalidade de fontes, e apenas uma amostra provém de poço manual. Ocorrem em quase todas as unidades litológicas, não sendo observado, apenas, na formação Pedra de Fogo.

São águas levemente ácidas, com um pH médio de 6,5; classificam-se, também, como de baixo grau de salinização, com resíduo seco médio de 42 miligramas/litro. Apresenta o mais baixo grau de dureza entre as águas aqui analisadas, com um valor médio de 0,75 graus franceses, sendo, portanto, consideradas como águas "muito moles". O valor médio de condutividade elétrica é um dos mais baixos para os grupos de água presentes nesta área, sendo da ordem de 14 micromho/cm.

Verifica-se entre esta classe uma predominância dos tipos sódicas e magnesianas sódicas.

5.3.1.4 - Águas Mistadas (10,3%)

São as águas caracterizadas pela não predom

minância de determinado anion sobre os demais, estando todos os seus parâmetros de definição situados entre 20 e 60% e posicionados na parte central do diagrama triangular.

As águas deste grupo classificam-se como ligeiramente alcalinas, com um pH médio de 7,1: são águas de baixo grau de salinização, tendo um resíduo seco médio de 110 miligramas/litro, e estão, também, classificadas como águas "muito moles", em vista de apresentarem um valor médio de dureza de 1,45 graus franceses. A sua condutividade elétrica apresenta valores consideravelmente baixos, com uma média de 23 micromho/cm.

As águas desta classe são provenientes de fontes e poços manuais das diversas unidades geológicas da Folha, não sendo verificadas, entretanto, nas formações Pedra de Fogo e Corda.

O tipo de água mais frequente para esta classe é a mista, sendo portanto este grupo considerado em sua quase totalidade como águas mistas mistas.

5.3.1.5 - Águas sulfatadas cloretadas (5,9%)

Corresponde a classe de águas onde há uma predominância dos ions SO_4^{--} e Cl^- ; com percentagens compreendidas entre 20 e 60% e os ions $(CO_3^{--} + HCO_3^-)$ menores do que 20% para o total dos cations.

As águas deste grupo são todas precedentes de fontes nas formações Piauí, Sambaiba e Corda. São águas ligeiramente ácidas com um valor médio de pH de 6,4; estão classificadas como de baixo grau de salinização com resíduo seco médio de 121 miligramas/litro, e quanto à dureza, são consideradas como águas "muito moles", sendo seu valor

médio da ordem de 1,15 graus franceses. É a classe de água que apresenta o mais baixo valor médio de condutividade elétrica, com 12 micromho/cm. Predomina para esta classe os tipos magnesianas e magnesianas sódicas.

5.3.1.6 - Águas Carbonatadas Sulfatadas (2,9%)

Caracteriza-se esta classe por apresentar os ions ($\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^-$) e SO_4^{--} com seus parâmetros de definição compreendidos entre 20 e 60% e o Cl^- inferior a 20% do total dos cations.

Para as águas analisadas, esta classe se fez presente apenas para as amostras procedentes do conjunto de dois poços tubulares localizados na cidade de Balsas, Estado do Maranhão, os quais exploram o aquífero Piauí. São águas algo alcalinas, como maior valor médio de pH registrado em toda Folha, da ordem de 8,0; apresenta uma salinidade relativamente baixa, com um valor médio de 338 miligramas/litro, porém, se constituindo no segundo mais alto valor médio para esta Folha. De acordo com o seu valor médio de dureza, podem ser classificados como águas "algo duras", levando-se em conta a classificação de Klut Olszewski. A sua condutividade apresenta um valor médio de 470 micromho/cm, relativamente alto se comparado a maioria das águas aqui presentes. Se fez presente nesta classe apenas o tipo mista sendo classificadas, portanto, como águas carbonatadas sulfatadas mistas.

5.3.1.7 - Águas sulfatadas (1,5%)

Estão enquadradas nesta classe as águas que apresentam o ion SO_4^- igual ou superior a 60% do total dos anions.

Na área em estudo esta classe se fez presente apenas para a água procedente da fonte situada na localidade denominada Vão do Buriti, ao sul da cidade de Balsas, Estado do Maranhão, na Formação Pedra de Fogo.

Das águas aqui analisadas, esta apresentou os mais altos valores de pH, Resíduo Seco, dureza e condutividade elétrica, conforme quadro 5.3.1.9. Estando classificada assim, como água pouco alcalina, de salinidade relativamente elevada e "muito dura", não chegando entre tanto a comprometer a qualidade das águas aqui analisadas, em face de ser apenas uma ocorrência restrita. Esta classe apresentou como subgrupo o tipo cálcica, classificando-se portanto como água sulfatada cálcica.

5.4. QUALIDADE DAS ÁGUAS PARA O CONSUMO HUMANO

Para que se conheça a qualidade das águas que serão destinadas ao consumo humano é necessário que se tenha conhecimento de suas características físicas, químicas e bacteriológicas. As águas aqui estudadas não foram submetidas a exames bacteriológicos, efetuou-se apenas análises químicas visando definir a potabilidade permitindo de terminar a adequabilidade das águas para o consumo humano.

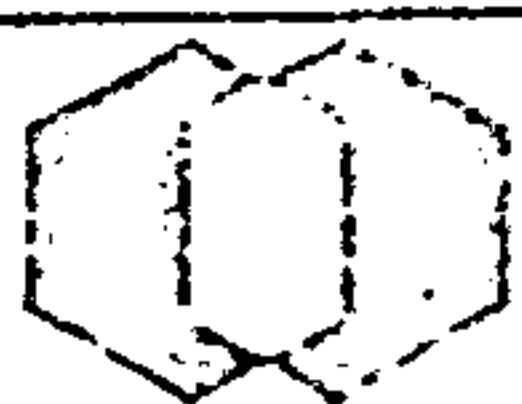
A potabilidade das águas da região foi determinada com o auxílio dos diagramas de Shoeller-Berkaloff.

Foram plotados nos diagramas os valores, em miligramas por litro, dos teores de Ca^{++} , Mg^{++} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Cl^- , SO_4^- e HCO_3^- além da dureza total e pH, determinando, assim,

a potabilidade das águas analisadas. (Fig. 5.4.1/15)

De acordo com os diagramas elaborados para a determinação da potabilidade das águas desta área, conclui-se que:

- a) Águas Carbonatadas - estão todas classificadas como de boa potabilidade, não havendo maiores restrições quanto a sua qualidade para o consumo humano, Figs. 4.5.1 a 4.5.5.
- b) Águas Cloretadas Carbonatadas - classificam-se como de boa potabilidade, fazendo-se apenas pequenas restrições a alguns valores de pH, os quais tornam estas águas levemente ácidas, Fig. 4.5.6 a 4.5.8.
- c) Águas Cloretadas - estão classificadas como de boa potabilidade, devendo fazer-se restrições, entretanto, aos seus valores de pH, os quais as tornam levemente ácidas, Figs. 4.5.9 e 4.5.10.
- d) Águas mistas - estão todas classificadas como de potabilidade boa, verificando-se apenas alguns valores de pH, fora dos limites adequados, Figs. 4.5.11 e 4.5.12.
- e) Águas Sulfatadas Cloretadas - estas águas estão classificadas como de boa potabilidade, fazendo-se apenas restrições aos valores de pH que tornam estas águas ligeiramente alcalinas, Fig. 4.5.13.
- f) Águas Carbonatadas Sulfatadas - classificam-se como de potabilidade boa sem que haja restrições, Fig. 4.5.14.



CPRM

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

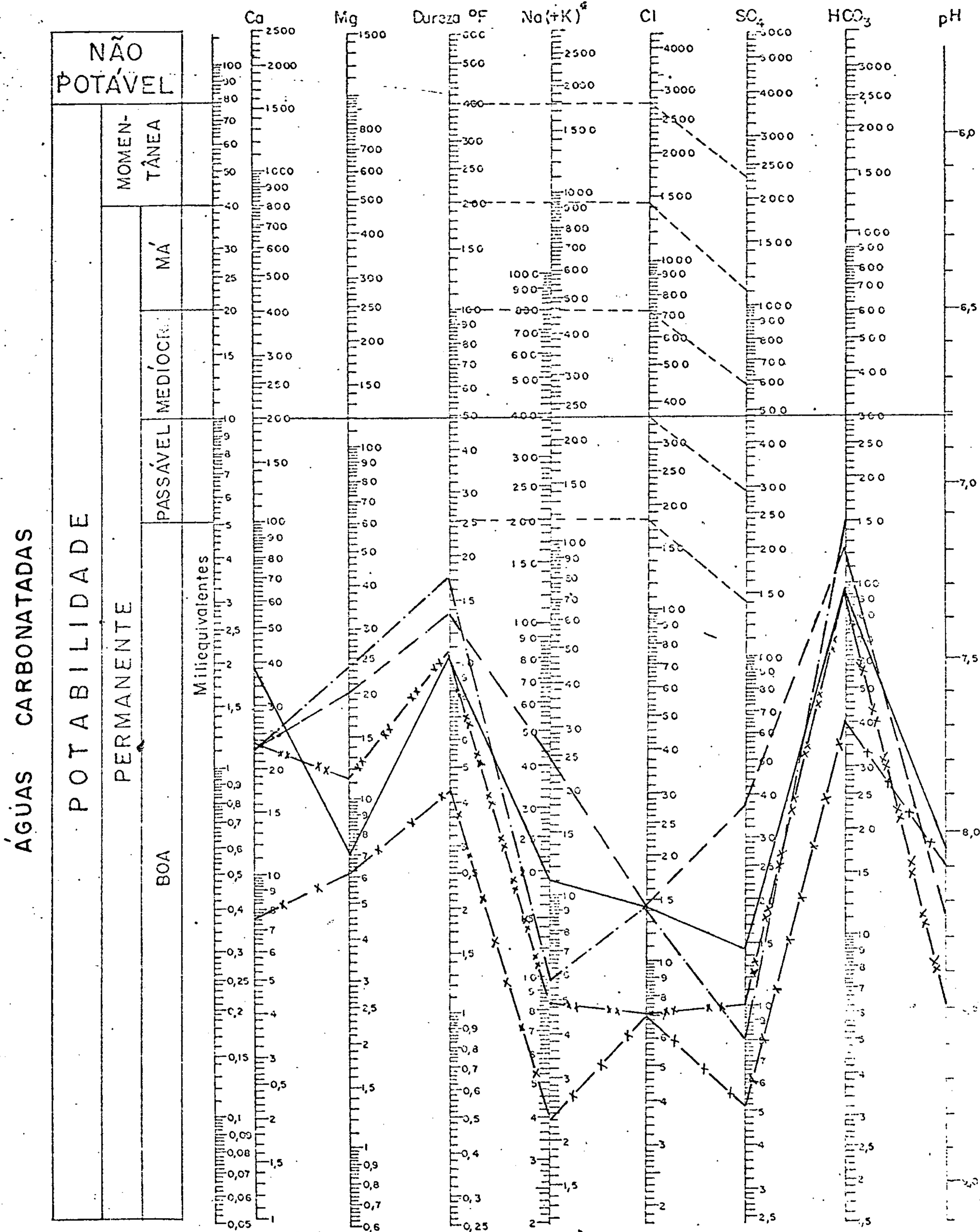
COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS

MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAIÁ

SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA
TEORES EM MILIGRAMAS POR LITROS



Na(+K) Transformar K em equivalente Na e vice-versa

RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra
132,00	019.12 ———	240,00	059.12 ———	70,00	067.12 —x—x—
167,00	028.12 — — —	180,00	069.12 —xx—xx—		

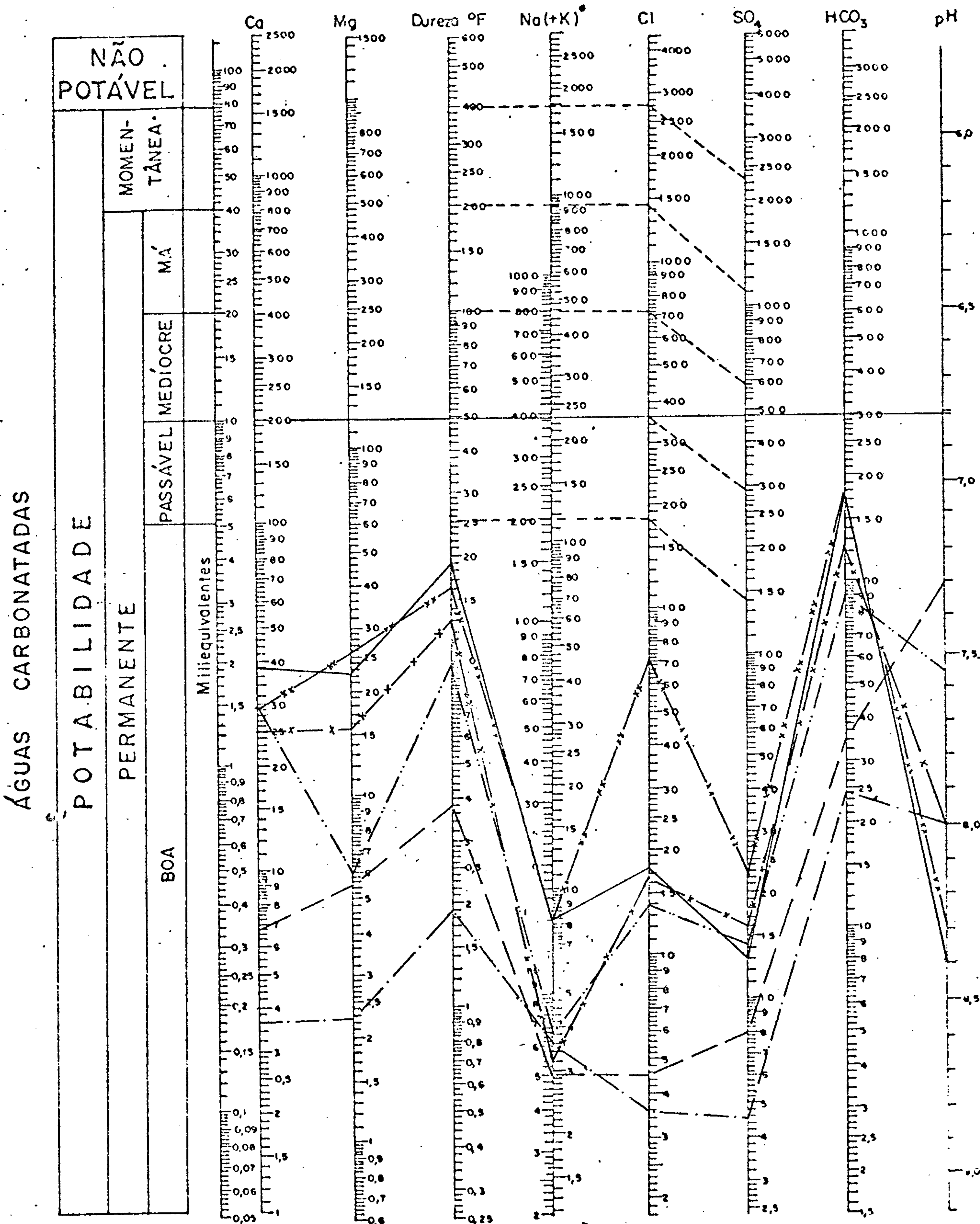
Fig. 5.4.1.



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

CPRM
 SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
 RECIFE

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA
 TEORES EM MILIGRAMAS POR LITROS



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
260,00	083.12	43,00	148.12	139,00	159.12 —x—x—
64,00	084.12	101	150.12	233,00	165.12 —xx—xx—

Fig. 5. 4. 2

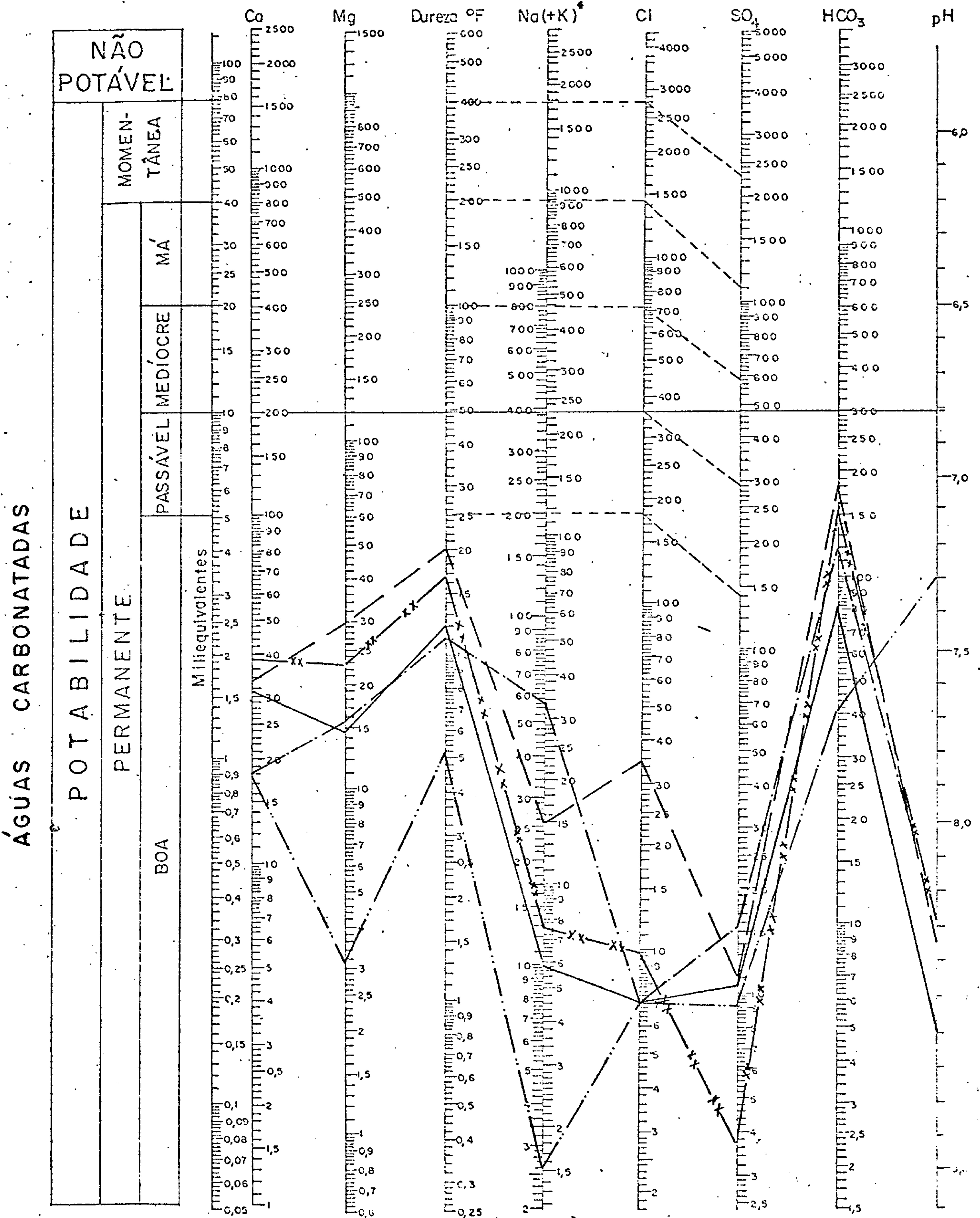


CPRM

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

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

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA
TEORES EM MILIGRAMAS POR LITROS



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
233,00	174.12 ———	134,00	176.12 - - - -	249,00	187.12 —XX—XX-
303,00	175.12 - - - -	28,00	180.12 - - - -		

Fig. 5.4.3



CPRM

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

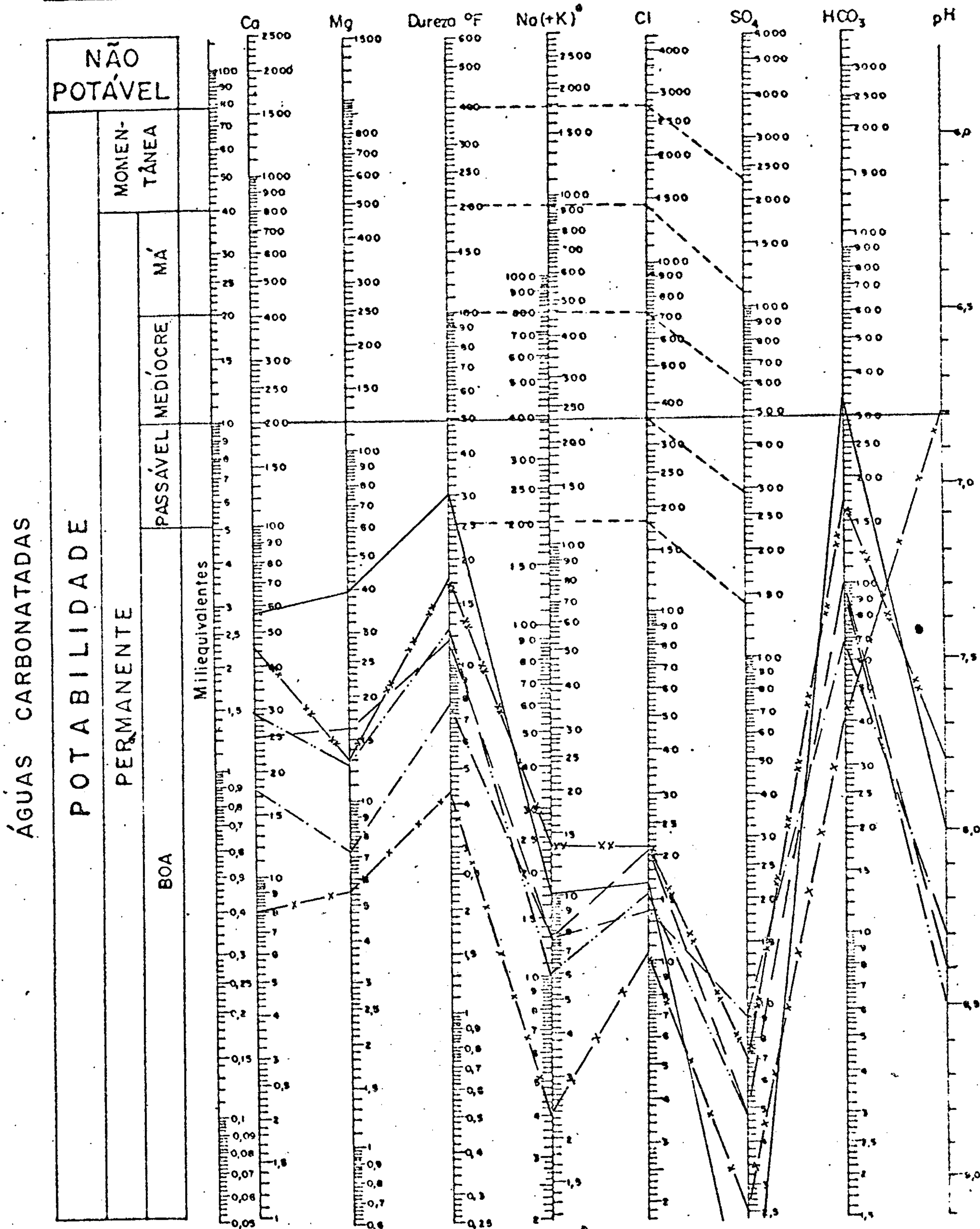
COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

PROJETO ESTUDO GLOBAIS DOS RECURSOS

MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA

SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA
TEORES EM MILIGRAMAS POR LITROS



Na(+K) Transformar Km equivalente Na e somar

RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra
347,00	212.12 ———	104,00	234.12 ———	75,00	265.12 —x—x—
198,00	223.12 ———	200,00	237.12 ———	205,00	268.12 —xx—xx—

Fig. 5.4.4



CPRM

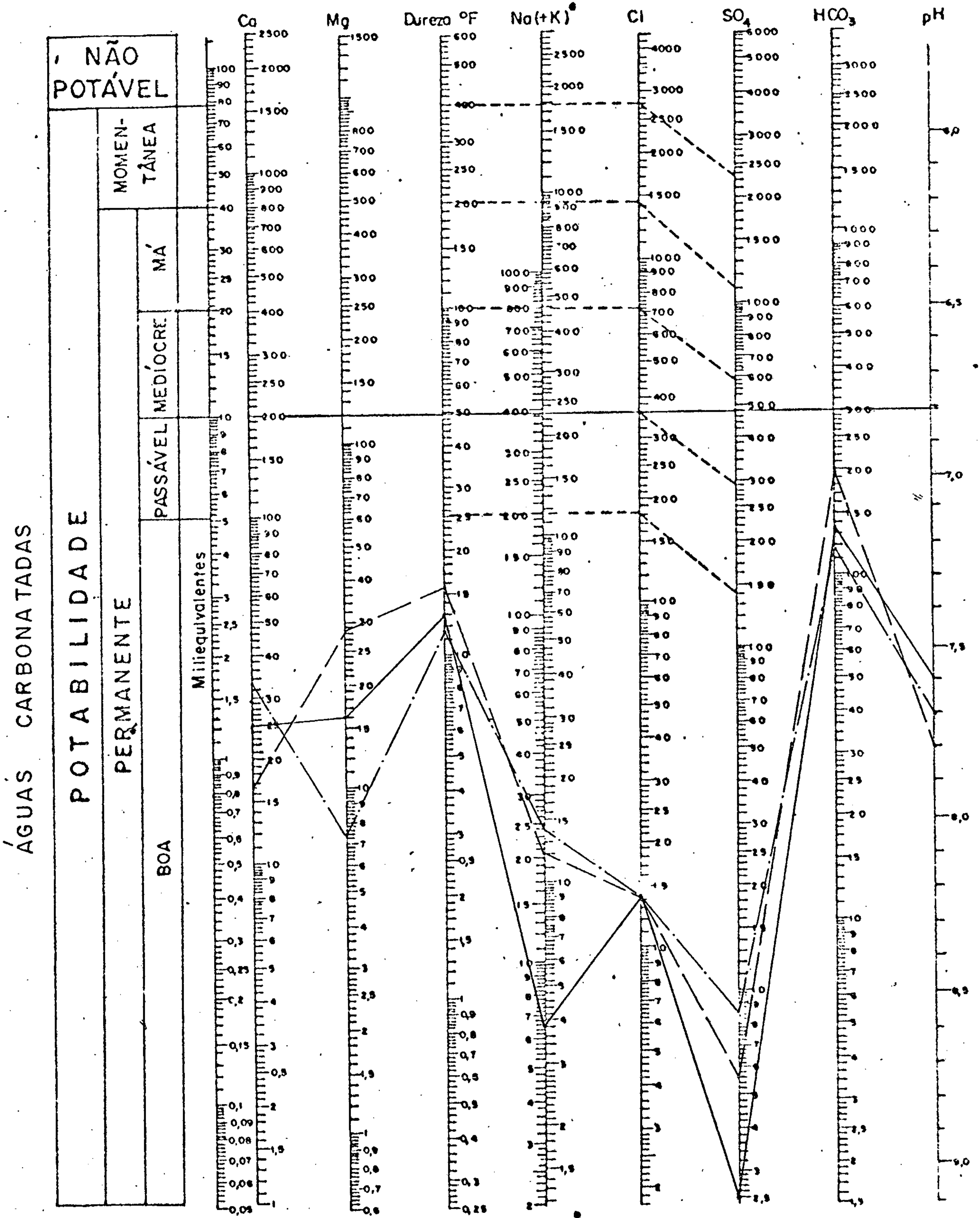
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA

SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA
TEORES EM MILIGRAMAS POR LITROS



RS mg/l	Nº da Amostra
179,00	270.12 ———
301,50	282.12 ———

RS mg/l	Nº da Amostra
173,00	319.12 ———

RS mg/l	Nº da Amostra

Fig. 5.4.5



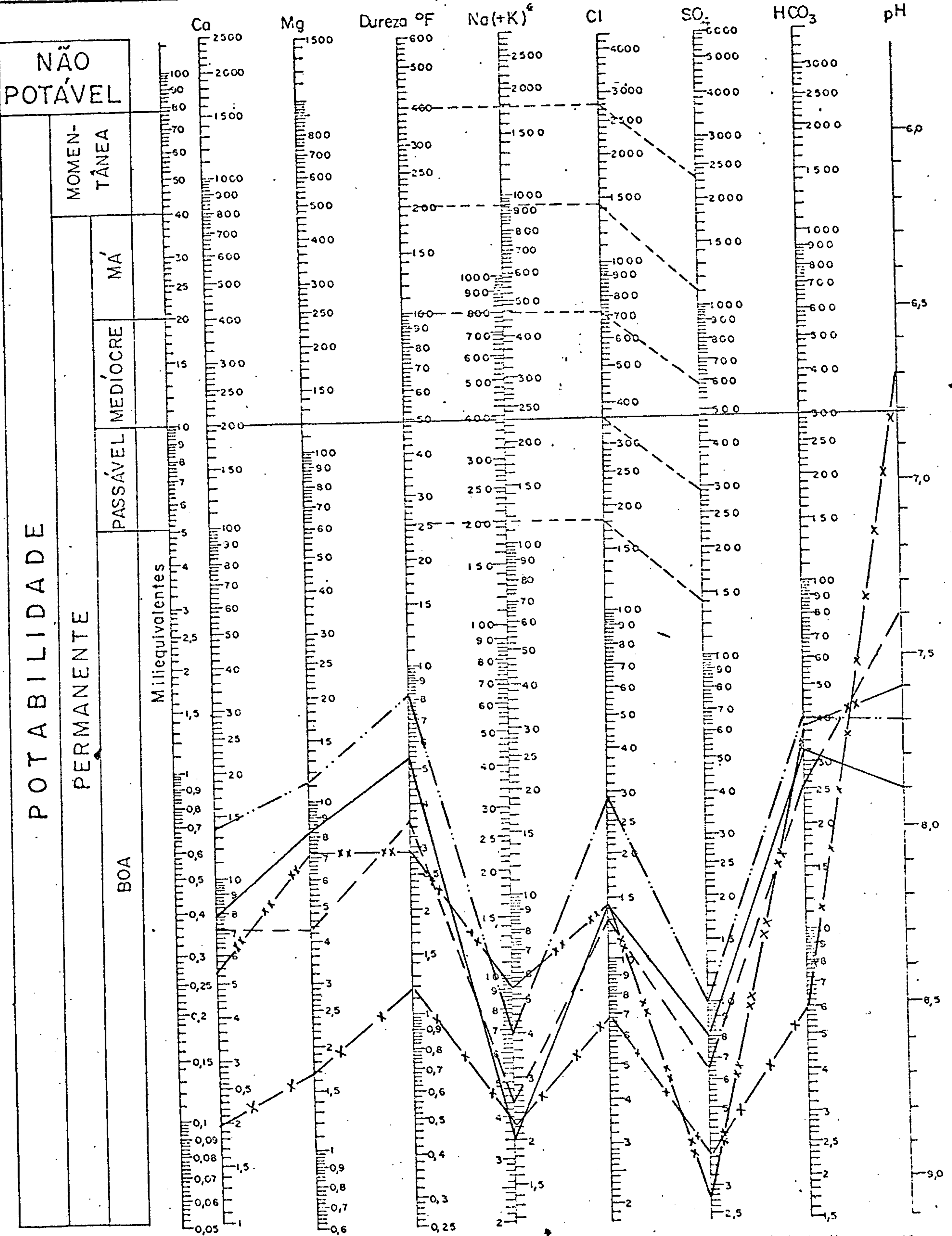
CPRM

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

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

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA
TEORES EM MILIGRAMAS POR LITROS

ÁGUAS CLORETADA CARBONATADAS



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
75,00	011.12 ———	108,00	072.12 ———	20,00	089.12 —x—x—
48,00	032.12 - - - -	53,00	116.12 —xx—xx—		

Fig. 5.4.6



CPRM

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

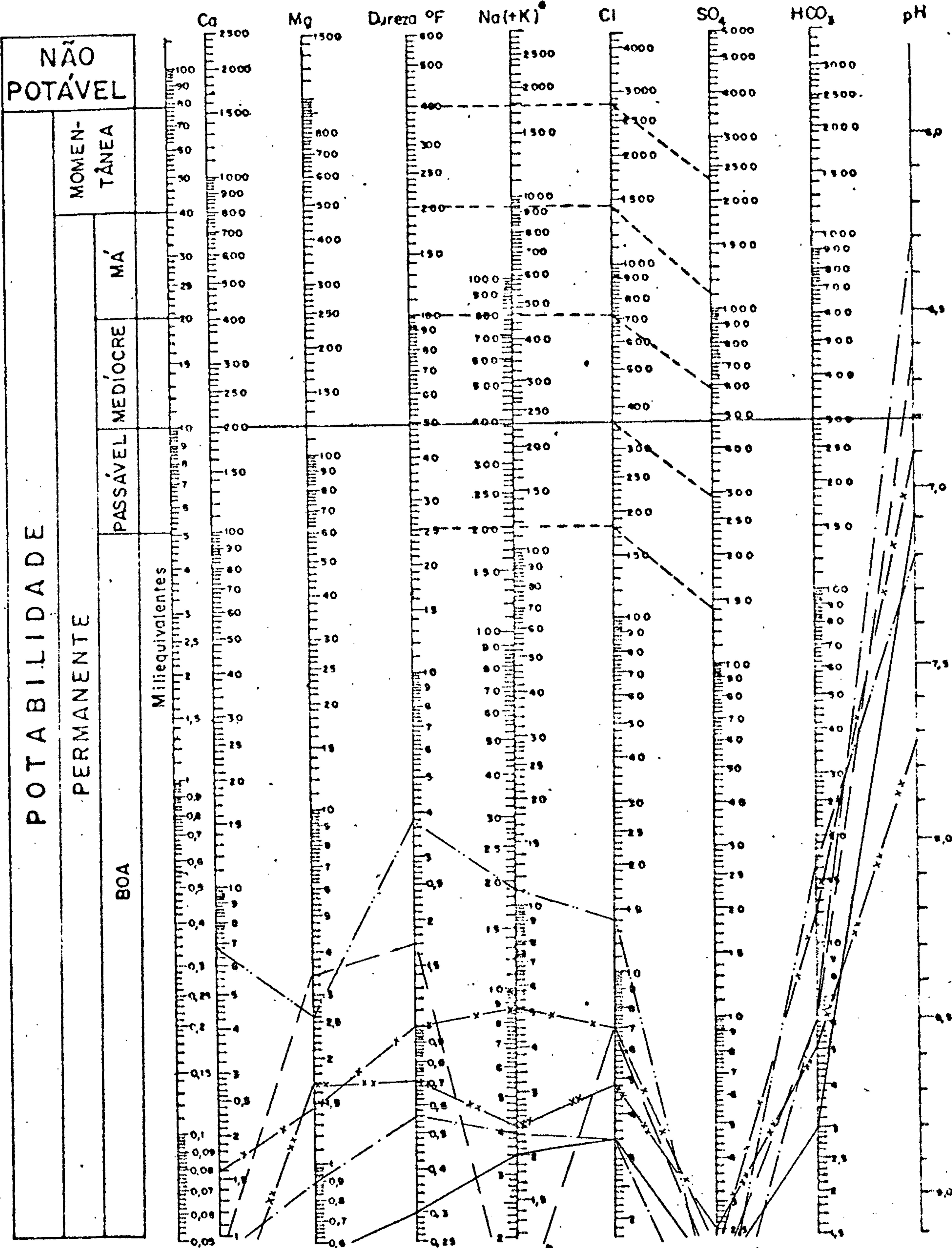
COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA

SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA
TEORES EM MILIGRAMAS POR LITROS

ÁGUAS CLORETADAS CARBONATADAS



RS mg/l	Nº da Amostra
5,00	127.12 ———
12,00	169.12 ———

RS mg/l	Nº da Amostra
54,00	194.12 ———
76,00	205.12 ———

RS mg/l	Nº da Amostra
26,00	208.12 —x—x—
18,00	222.12 —xx—xx—

Fig. 5.4.7



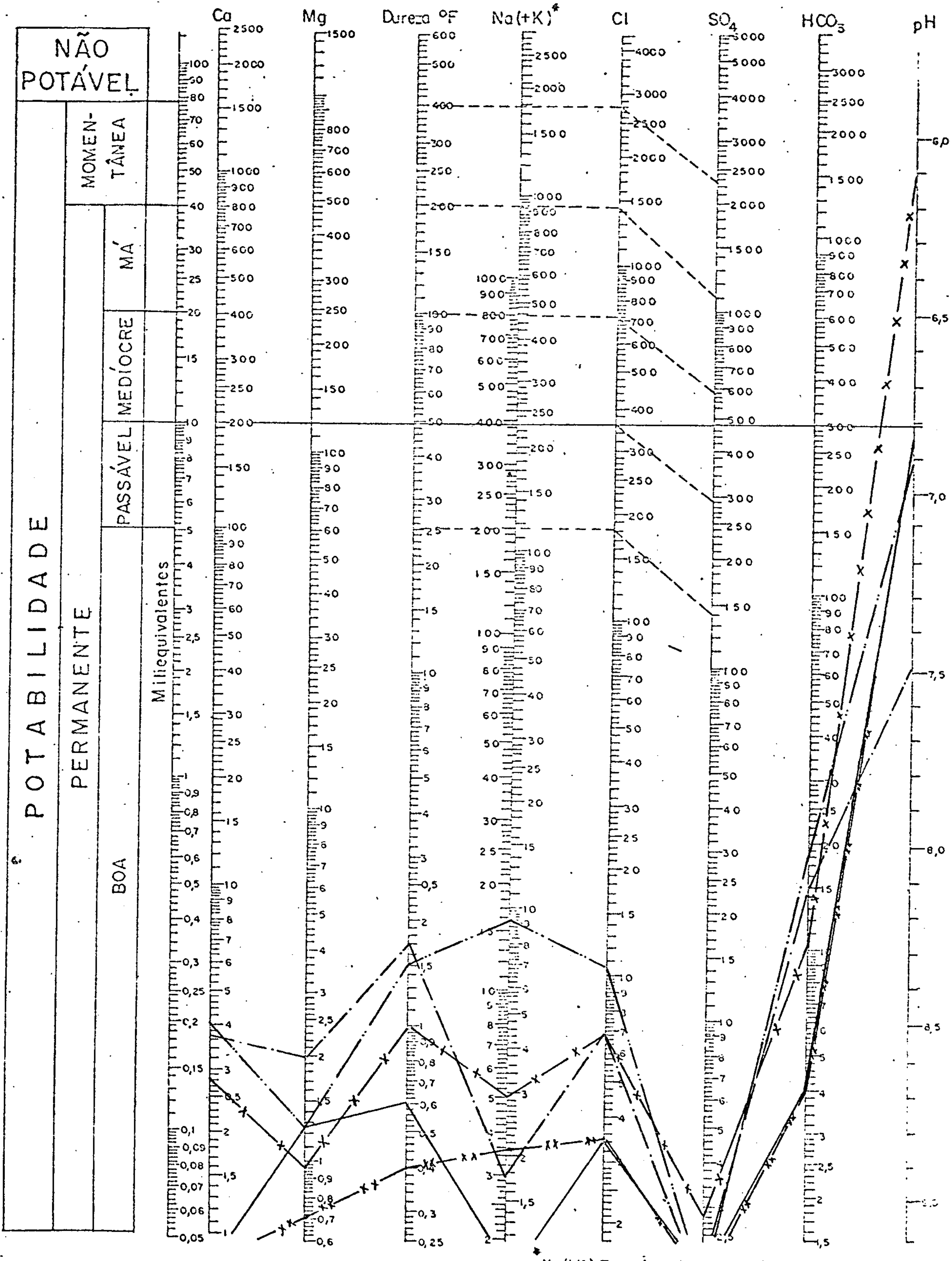
CPRM

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

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

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA
TEORES EM MILIGRAMAS POR LITROS

ÁGUAS CLORETADAS CARBONATADAS



Na(+K) Transformar K em equivalente Na e 10 par.

RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra
26,00	247.12 ———	76,00	254.12 - - - - -	8,00	184.12 -x-x-x-
27,00	248.12 - - - - -	51,00	310.12 - - - - -	25,00	314.12 -x-x-

Fig. 5.4.8

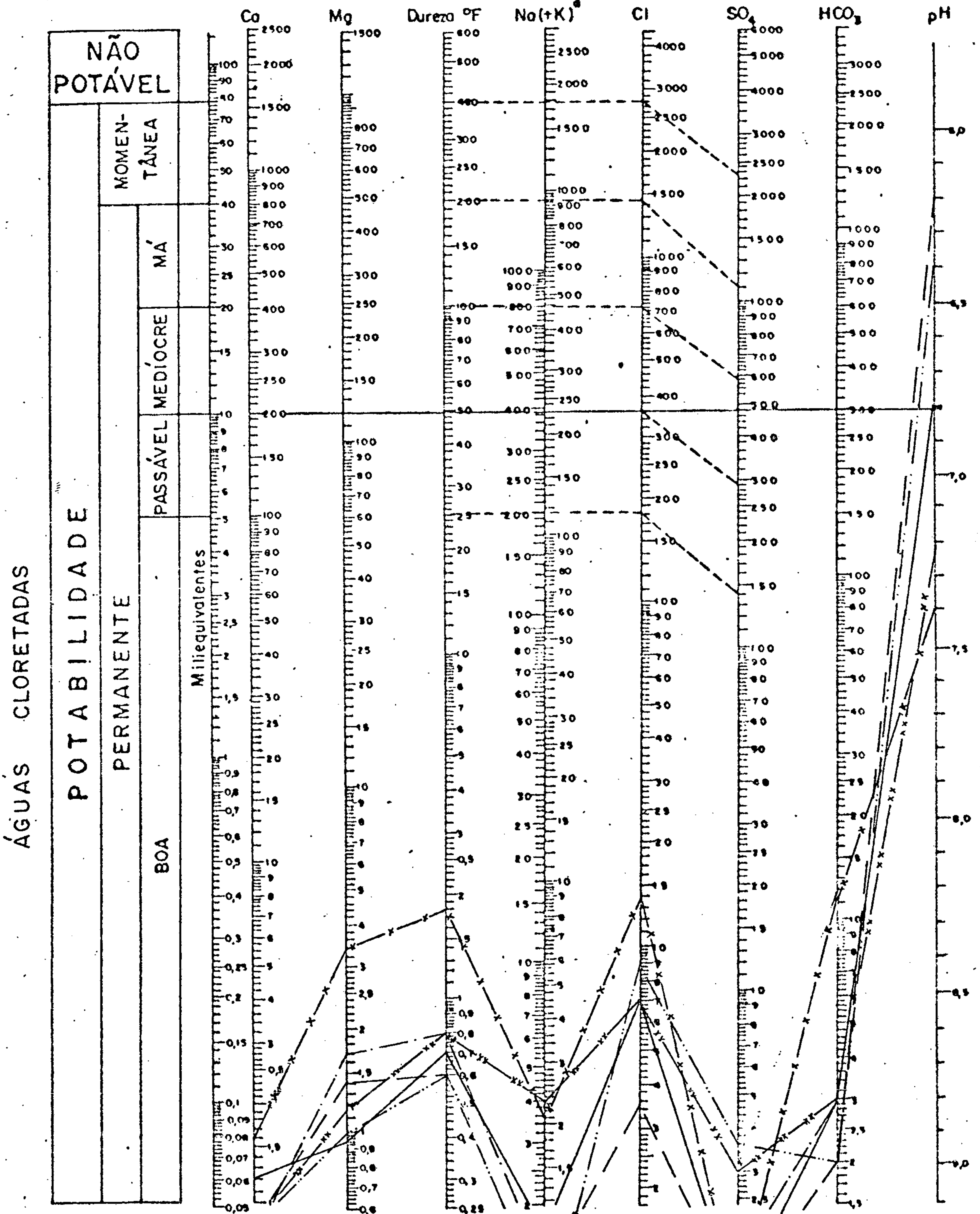


CPRM

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

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

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA
TEORES EM MILIGRAMAS POR LITROS



ÁGUAS CLORETADAS

POTABILIDADE

PERMANENTE

BOA

Miliequivalentes

Na(+K) Transformer Kem equivalente Na e somar

RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra
51,00	109.12 ———	50,00	122.12 ———	51,00	185.12 —x—x—
9,00	114.12 ———	6,00	129.12 ———	32,00	200.12 —xx—xx—

Fig. 5.4.9

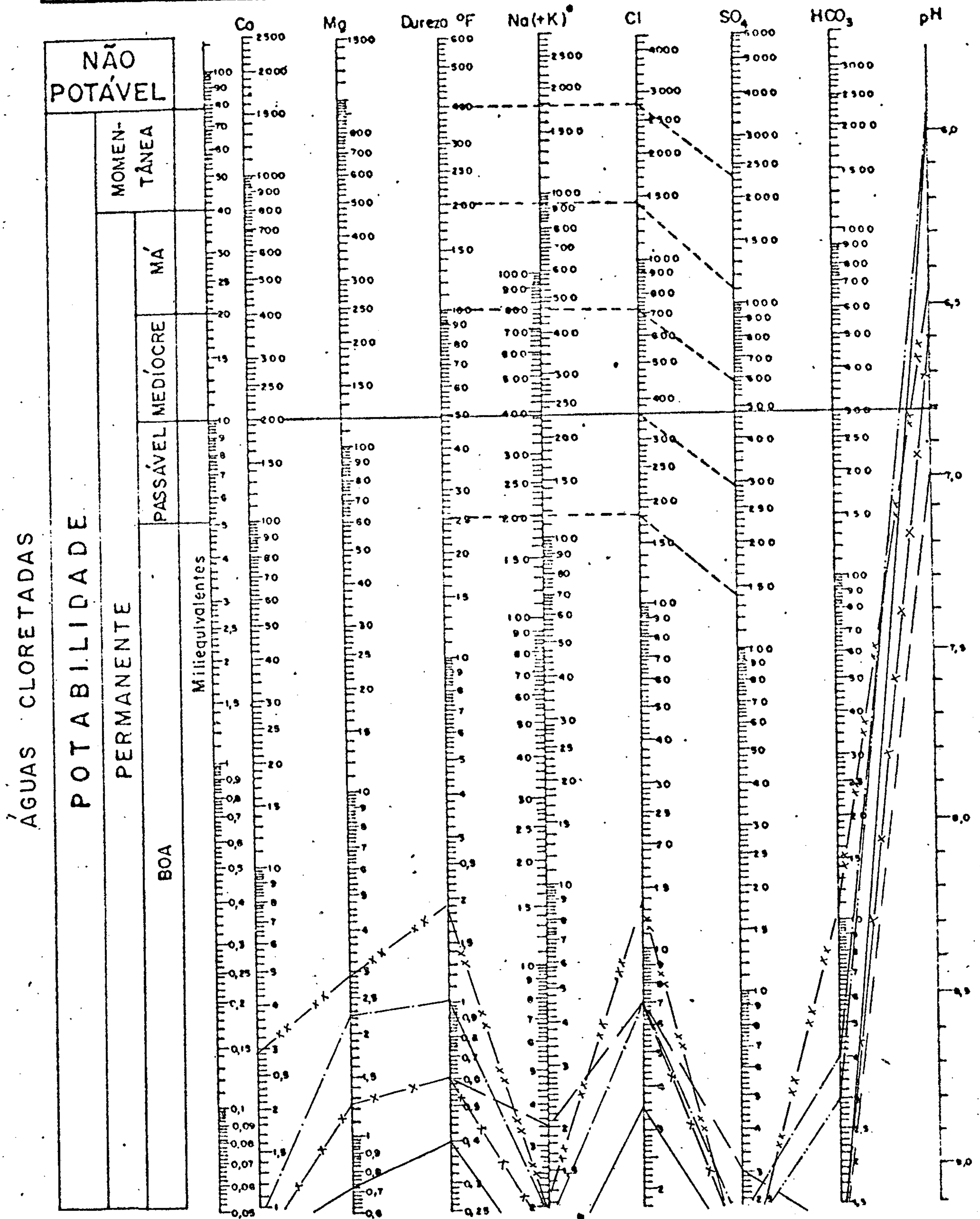


CPRM

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

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

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA
TEORES EM MILIGRAMAS POR LITROS



Na(+K) Transformar 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	245.12 ———	16,00	275.12 ———	13,00	303.12 —x—x—
6,00	220.12 ———	5,00	277.12 ———	20,00	046.12 —xx—xx—

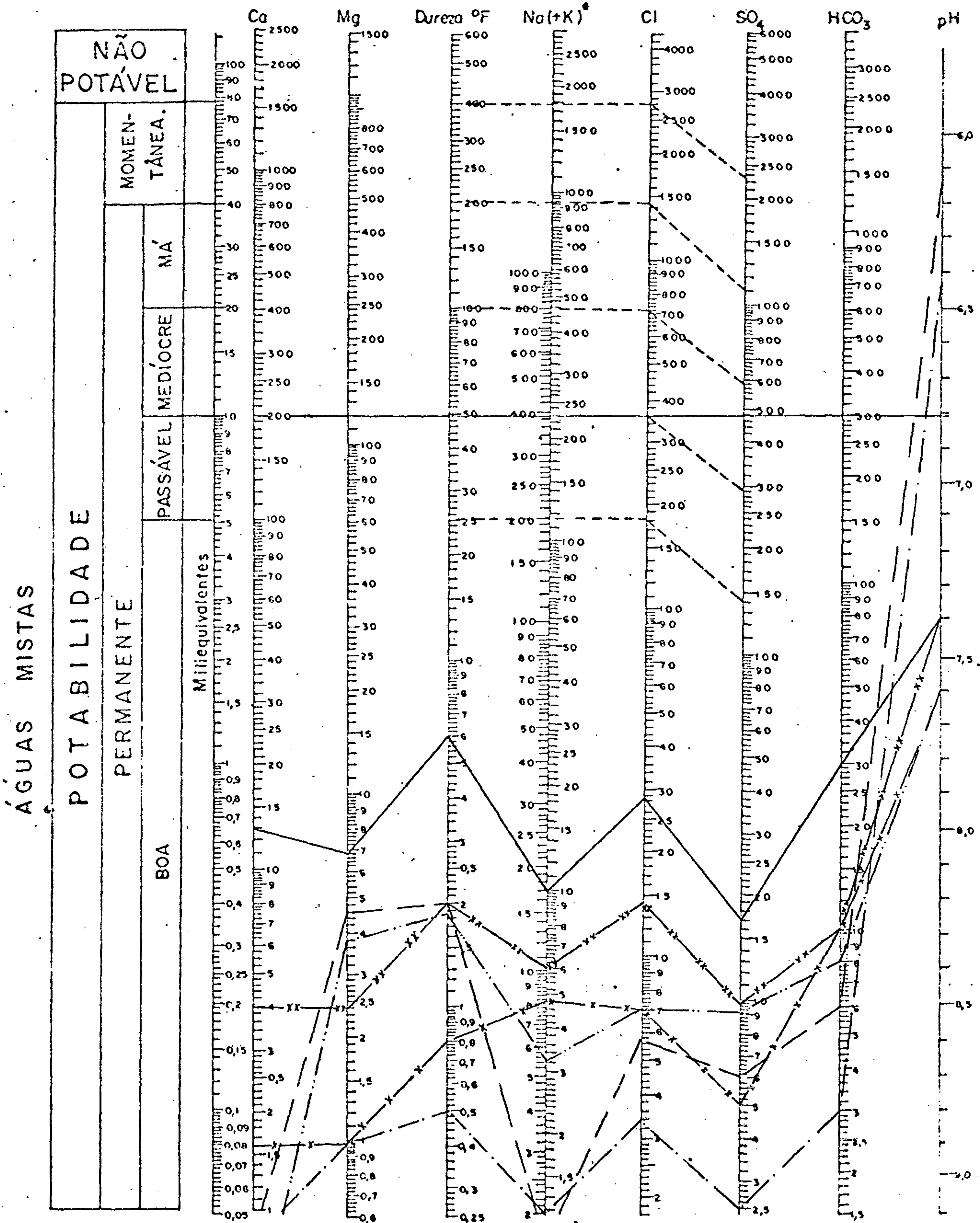
Fig. 5.4.10



CPRM
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

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

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA
TEORES EM MILIGRAMAS POR LITROS



Na(+K) Transformar Km equivalente Na e somar

RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra
102,00	008.12 ———	13,00	124.12 - - - - -	34,00	172.12 -x-x-
14,00	049.12 - - - - -	33,00	163.12 - - - - -	56,00	236.12 -xx-xx-

Fig.5.4.11

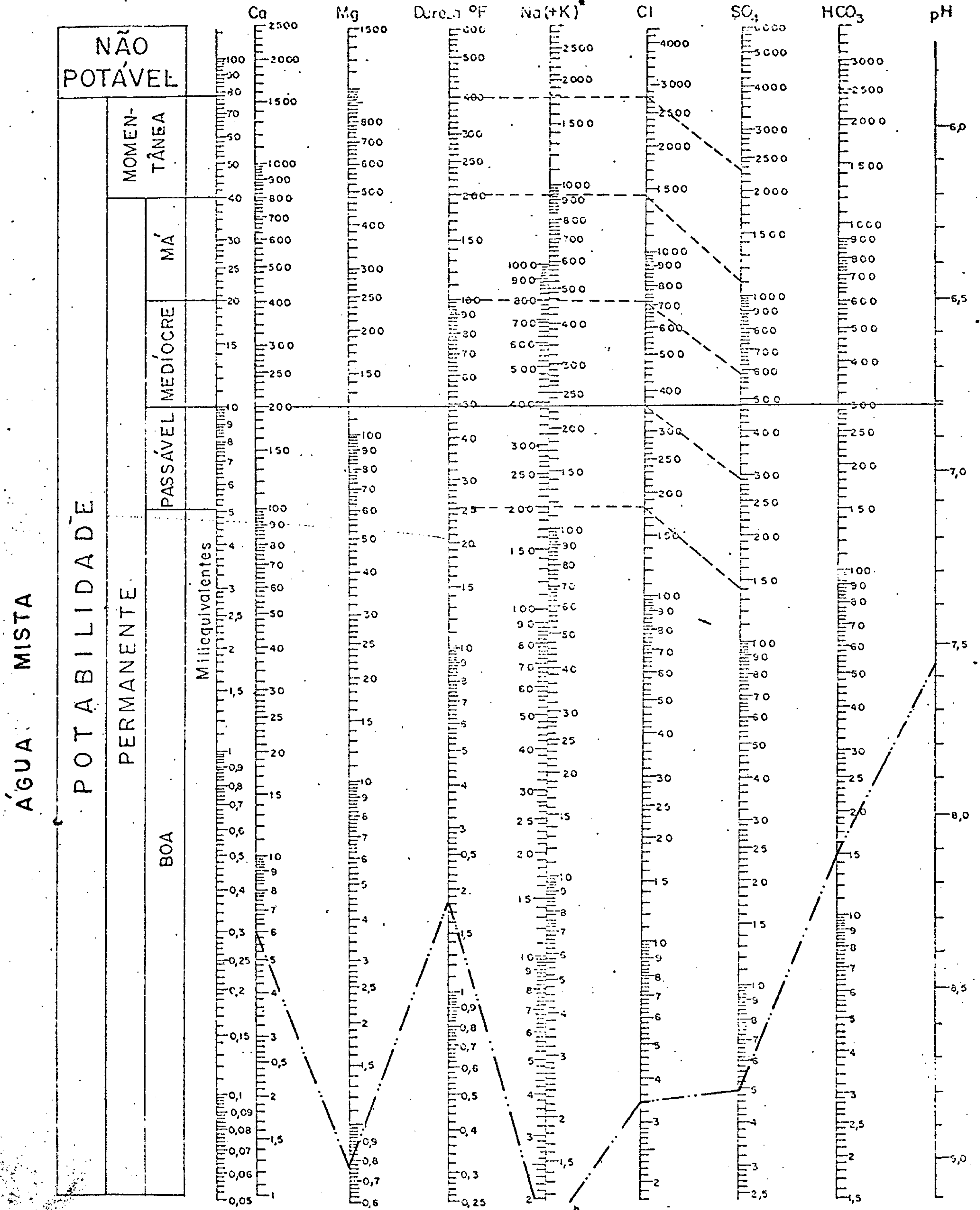


CPRM

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

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

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA
TEORES EM MILIGRAMAS POR LITROS



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
30,00	060.12				

Fig. 5.4.12



CPRM

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

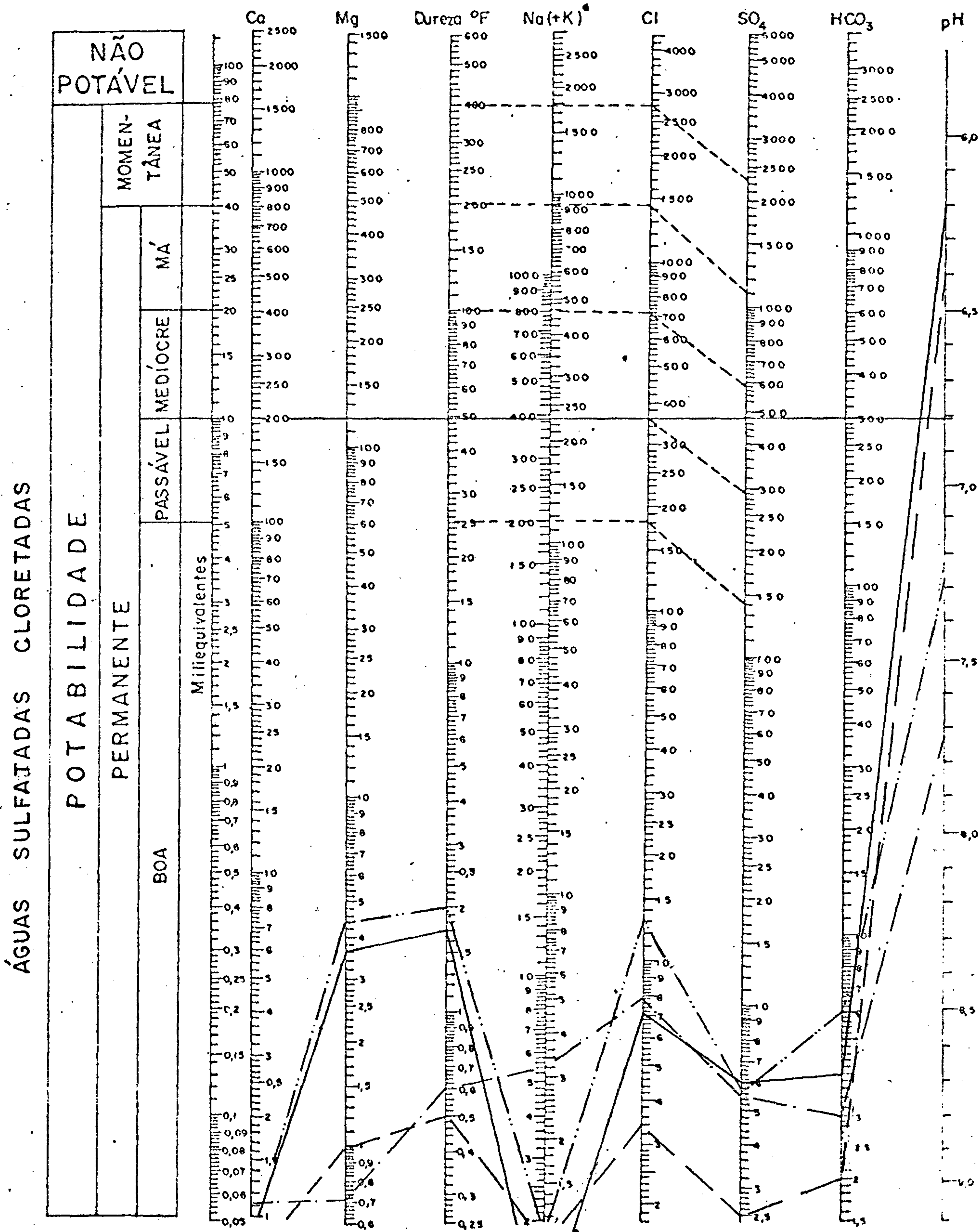
COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS

MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA

SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA
TEORES EM MILIGRAMAS POR LITROS



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
21,00	035.12	44,00	197.12		
391,00	126.12	26,00	274.12		

Fig. 5.4.13



CPRM

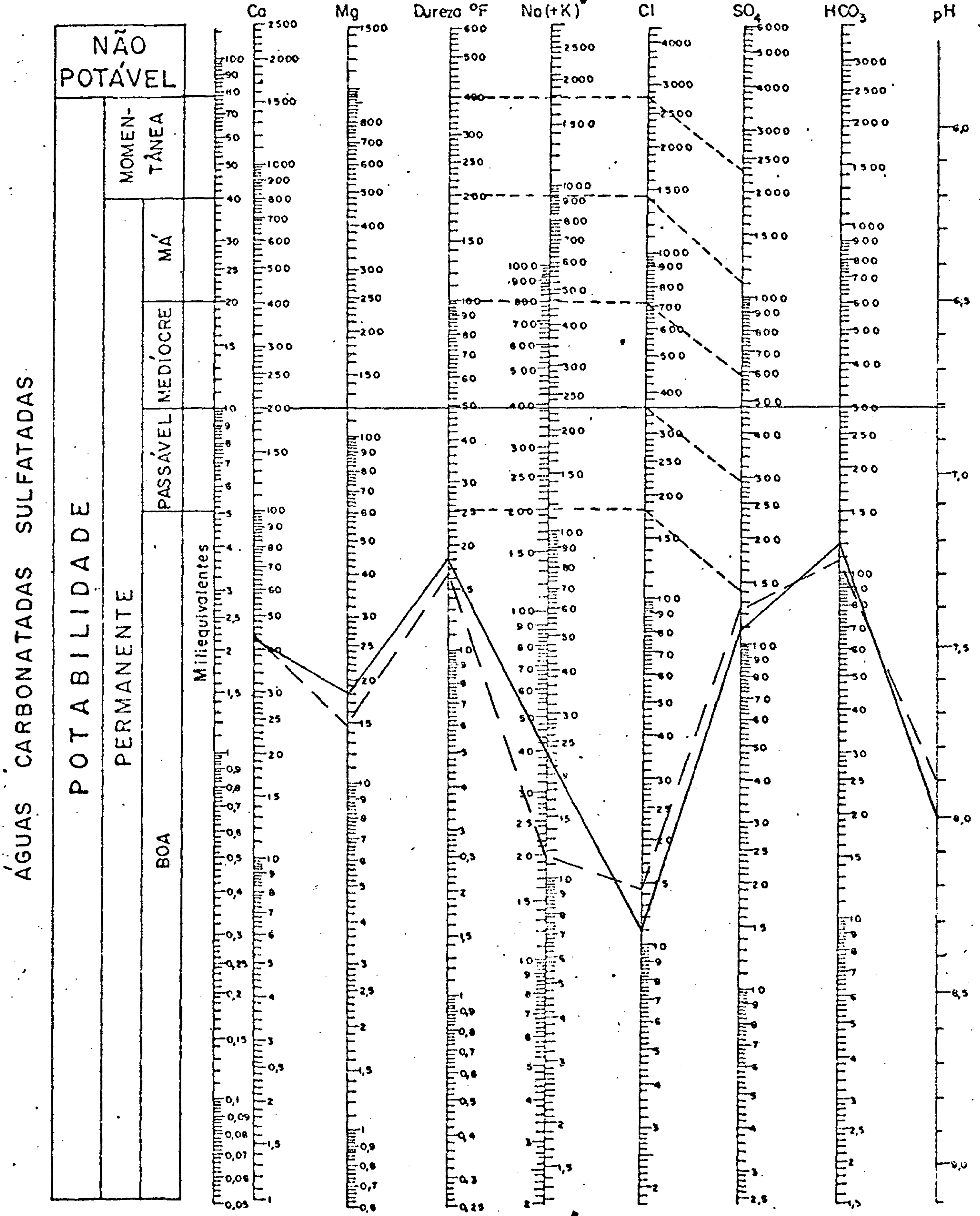
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA

SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA
TEORES EM MILIGRAMAS POR LITROS



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

RS mg/l	Nº da Amostra
353,00	118.12
322,00	119.12

RS mg/l	Nº da Amostra

RS mg/l	Nº da Amostra

Fig. 5.4.14



CPRM

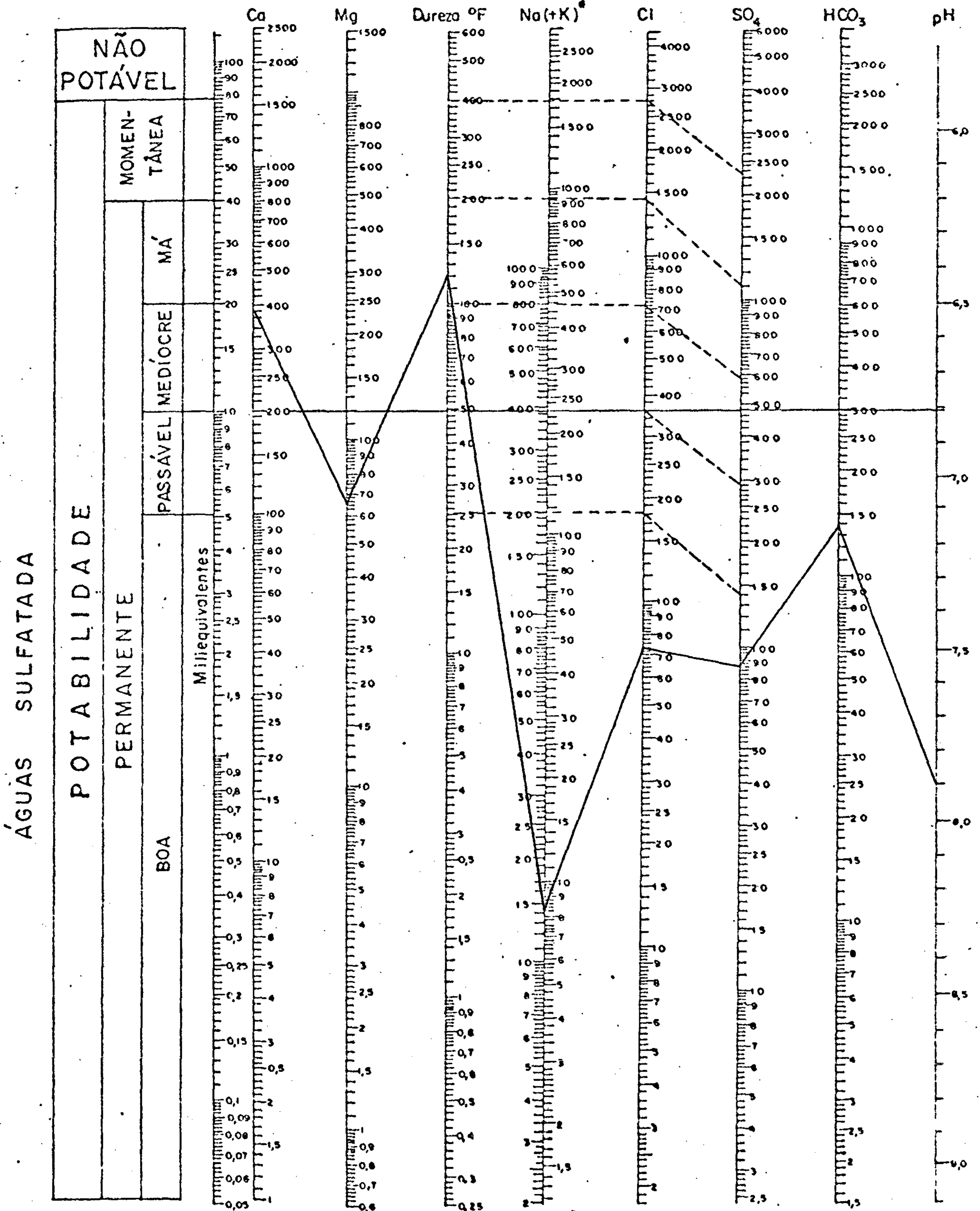
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA

SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA
TEORES EM MILIGRAMAS POR LITROS



Na(+K) Transformar Kem equivalente No e somar

RS mg/l	Nº da Amostra
1.190,00	121.12

RS mg/l	Nº da Amostra

RS mg/l	Nº da Amostra

Fig 5. 4.15

g) Águas Sulfatadas - classificam-se como de potabilidade boa a má, não comprometendo, entre - tanto, o conjunto das águas aqui estudadas, Fig.5.4.15.

No Quadro 5.4.16 está representado a distribuição de frequência de potabilidade para as águas desta Folha, de acordo com a classificação de Schoeller (1955), que estabelece os limites de potabilidade das águas segundo ponto de vista químico (Quadro 5.4.17): Observa-se que 98,5% destas águas estão classificadas como de potabilidade boa e apenas 1,5% se comportam como medíocre, donde se conclui que as águas que ocorrem nesta Folha podem ser classificadas como potável para o consumo humano.

QUADRO 5.4.16

DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DA POTABILIDADE

POTABILIDADE	RESÍDUO SECO mg/l	Nº DE AMOSTRAS	FREQUÊNCIA		
			RELATIVA %	ACUMULADA %	
Permanente	Boa	0-500	67	98,5	98,5
	Passável	500-1000	0	0,0	98,5
	Medíocre	1000-2000	1	1,5	100,0
	Má	2000-4000	0	0,0	-
Momentânea	4000-8000	0	0	0,0	-
TOTAL	-	68	100,0	100,0	100,0

QUADRO 5.4.17
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 desagradável 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)

5.5 - QUALIDADE DAS ÁGUAS PARA IRRIGAÇÃO

São diversos os fatores que influem na qualidade das águas utilizadas para fins de irrigação, tais como, natureza do solo, tipo de clima, cultura utilizada, condições de drenagem e o próprio método de irrigação empregado.

Existe, atualmente, uma série de métodos para se classificar as águas para fins de irrigação; o método aqui utilizado é a classificação americana do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (1954), pois tem sido testado sob diversas condições e considerado o mais completo.

Este método consiste na plotação em gráfico semi-logarítmico (Fig. 5.5.1) dos valores de condutividade elétrica, em abcissas, e da razão de absorção do sódio (RAS) em ordenadas; a RAS é calculada pela fórmula:

$$RAS = \frac{r \text{ Na}}{\sqrt{1/2 (rCa+rMg)}}$$

sendo os teores de Na, Ca e Mg, expressos em miliequivalentes por litro (meq/l).

De acordo com a classificação americana foram determinadas quatro classes distintas de águas para a área (Quadro 5.5.2). No Quadro 5.5.3, está representada a distribuição de frequência das diversas classes de água para irrigação.

Observa-se uma predominância absoluta (60,3%) das águas de salinidade fraquíssima e fracamente sódica ($C_0 S_1$), as quais podem ser utilizadas para a irrigação de todas as culturas e solos, com fraco risco de ocorrência de teores nocivos de sódio susceptíveis de troca; 20,6 %

CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS PARA IRRIGAÇÃO

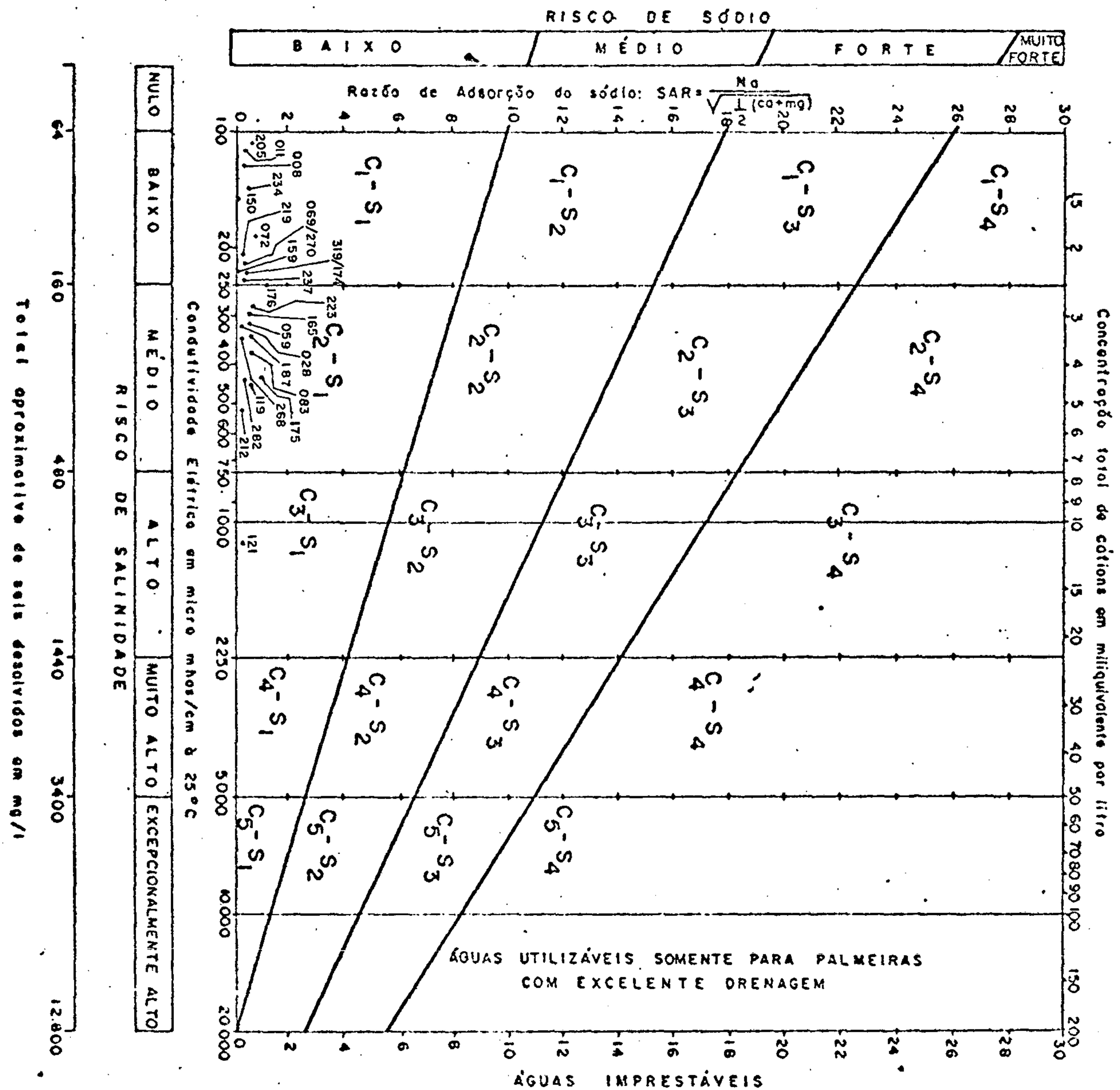


Fig. 5.5.1



CPRM

QUADRO-5.5.2

CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS PARA FINS DE IRRIGAÇÃO

FORMAÇÃO	AMOSTRA	CE	SAR	CLASSE	FORMAÇÃO	AMOSTRA	CE	SAR	CLASSE
Aluvião	019.12	219,51	0,16	C ₁ S ₁	Sambaíba	205.12	110,16	0,57	C ₁ S ₁
Corda	060.12	40,64	0,70	C ₀ S ₁	II	245.12	6,14	0,25	C ₀ S ₁
II	197.12	22,00	0,61	C ₀ S ₁	II	248.12	6,56	0,20	C ₀ S ₁
II	200.12	21,06	0,32	C ₀ S ₁	II	265.12	82,62	0,14	C ₀ S ₁
II	220.12	10,69	0,37	C ₀ S ₁	II	270.12	226,80	0,19	C ₁ S ₁
II	222.12	13,93	0,38	C ₀ S ₁	II	302.12	13,20	0,24	C ₀ S ₁
Mosquito	011.12	114,21	0,12	C ₀ S ₁	Motuca	008.12	124,74	0,39	C ₀ S ₁
II	059.12	315,55	0,25	C ₂ S ₁	II	169.12	5,10	0,00	C ₀ S ₁
II	069.12	89,00	0,18	C ₀ S ₁	II	275.12	10,04	0,25	C ₀ S ₁
II	072.12	186,30	0,23	C ₁ S ₁	II	277.12	16,44	0,52	C ₀ S ₁
II	083.12	375,00	0,31	C ₂ S ₁	P. Fogo	032.12	47,55	0,07	C ₀ S ₁
II	174.12	234,96	0,28	C ₁ S ₁	II	116.12	59,94	0,17	C ₀ S ₁
II	175.12	437,40	0,83	C ₀ S ₁	II	121.12	1107,00	0,05	C ₃ S ₁
II	185.12	37,83	0,37	C ₀ S ₁	II	150.12	155,52	0,00	C ₁ S ₁
II	187.12	340,20	0,28	C ₂ S ₁	II	212.12	502,20	0,10	C ₂ S ₁
II	223.12	287,55	0,42	C ₂ S ₁	II	247.12	7,53	0,04	C ₀ S ₁
II	224.12	156,33	0,24	C ₁ S ₁	II	254.12	30,78	0,07	C ₀ S ₁
II	236.12	63,18	0,67	C ₀ S ₁	II	268.12	340,20	0,10	C ₂ S ₁
II	237.12	239,76	0,21	C ₁ S ₁	II	282.12	431,73	0,11	C ₂ S ₁
Sambaíba	069.12	225,00	0,25	C ₁ S ₁	II	310.12	61,56	0,77	C ₀ S ₁
II	084.12	93,38	0,29	C ₀ S ₁	Piqui	028.12	323,19	0,09	C ₂ S ₁
II	109.12	8,67	0,23	C ₀ S ₁	II	035.12	6,76	0,07	C ₀ S ₁
II	124.12	10,21	0,27	C ₀ S ₁	II	046.12	20,41	0,00	C ₀ S ₁
II	126.12	7,57	0,27	C ₀ S ₁	II	049.12	8,17	0,00	C ₀ S ₁
II	127.12	11,26	0,52	C ₀ S ₁	II	089.12	13,63	0,29	C ₀ S ₁
II	129.12	21,22	0,49	C ₀ S ₁	II	114.12	4,37	0,12	C ₀ S ₁
II	148.12	53,06	0,27	C ₀ S ₁	II	118.12	502,20	0,55	C ₂ S ₁
II	159.12	231,66	0,03	C ₁ S ₁	II	119.12	437,40	0,47	C ₂ S ₁
II	163.12	9,76	0,45	C ₀ S ₁	II	121.12	5,27	0,14	C ₀ S ₁
II	165.12	289,98	0,33	C ₂ S ₁	II	208.12	29,97	0,28	C ₀ S ₁
II	172.12	24,00	0,85	C ₀ S ₁	II	274.12	10,21	0,06	C ₀ S ₁
II	180.12	67,23	0,00	C ₀ S ₁	II	314.12	27,06	0,40	C ₀ S ₁
II	184.12	11,50	0,03	C ₀ S ₁	II	319.12	239,76	0,14	C ₁ S ₁
II	194.12	16,85	0,38	C ₀ S ₁	S. Grande	176.12	250,29	1,25	C ₁ S ₁

estão classificadas como águas de baixa salinidade a fracamente sódica ($C_1 - S_1$) e 17,6% correspondem as águas de salinidade média e fracamente sódica ($C_2 - S_1$) que podem ser utilizadas para irrigação, onde ocorra uma lixiviação moderada e apenas 1,5% correspondem as águas com alta salinidade e fracamente sódica ($C_3 - S_1$).

Como denota-se uma maioria absoluta das águas de baixa salinidade e fracamente sódicas, as águas desta área podem ser utilizadas para irrigação, sem maiores problemas.

QUADRO 5.5.3
DISTRIBUIÇÃO DA FREQUENCIA DAS
CLASSES DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

CLASSES	Nº DE AMOSTRAS	FREQUÊNCIAS	
		RELATIVA %	ACUMULADA %
$C_0 - S_1$	41	60,3	60,3
$C_1 - S_1$	14	20,6	80,9
$C_2 - S_1$	12	17,6	98,5
$C_3 - S_1$	1	1,5	100,0
TOTAL	68	100,0	-

5.6 - QUALIDADE DAS ÁGUAS PARA O CONSUMO ANIMAL

Os limites de qualidade de águas para o consumo animal apresentam valores bem mais altos do que os

limites de potabilidade para o consumo humano.

O Quadro 5.6.1 mostra os limites, em miligramas por litro, de resíduo seco, admitidos para o consumo dos diversos tipos de animais, segundo Logan (1965).

QUADRO 5.6.1

QUALIDADE DE ÁGUAS PARA USO ANIMAL

<u>ANIMAIS</u>	<u>VALOR LIMITE DE RESÍDUO SECO (mg/l)</u>
Aves	2.860
Porcos	4.290
Cavalos	6.435
Gado leiteiro	7.150
Gado de Corte	10.000
Carneiro	12.900

Observa-se que todas as águas desta Folha podem ser utilizadas pelos diversos tipos de animais existentes, visto que os valores de resíduo seco satisfazem, plenamente as condições exigidas para tal fim.

6 - CONCLUSÃO

A seguir serão apresentados os resultados conclusivos, obtidos pelos estudos hidrogeológicos realizados, os quais já foram percorridos ao longo dos capítulos precedentes.

- 1) A área estudada ocupa uma superfície de aproximadamente 72.600 km², está situada no centroeste do Estado do Maranhão e pequena parte no norte do Estado de Goiás, caracterizada por um clima predominantemente quente e úmido do tipo Aw, de alta pluviosidade.
- 2) Está totalmente inserida na Bacia do Parnaíba, constituída por rochas sedimentares, paleozóicas representadas pelas formações Longã (DC1), Poti (Cpo), Piauí (Cpi), Pedra de Fogo (Ppf) e Motuca (Pm), e, mesozóicas constituídas pelas formações Sambaiba (Rs), Corda (jc), Grajaú (Kg) e Itapecuru (Ki), além dos depósitos terciários e quaternários e dos derrames basálticos localizados entre os arenitos das formações Sambaiba e Corda.
- 3) A estrutura tectônica é bastante simples, com direção geral dos estratos rochosos predominantemente E.W. com suave concavidade voltada para norte, configurando um amplo homoclinal. As principais direções de fraturamento na área são preferencialmente, NE-SW e NW-SE; entretanto um outro sistema se faz presente normalmente orientando faixas basálticas de direção ENE-WSW.
- 4) Hidrogeologicamente, a área apresenta características bastante favoráveis ao armazenamento de águas subterrâneas, visto ocorrerem espessos pacotes sedimentares, constituídos, litologicamente, em sua maioria, de unidades essencialmente arenosas.

- 5) De um modo geral, as unidades geológicas desta área necessitam de maiores informações a respeito de suas características hidrogeológicas e hidrodinâmicas, visto que entre os pontos de água inventariados existem apenas quatorze poços tubulares, dos quais não se dispõe de dados de testes de bombeamento.
- 6) De acordo com a constituição litológica as unidades desta área foram consideradas como aquíferos ou aquí-tardos. As formações Longã, Pedra de Fogo e Motuca que se caracterizam por sequências essencialmente sílticos-argilosas, e a Formação Mosquito constituída por basaltos, são consideradas como aquí-tardo, as quais confinam e aumentam a carga dos aquíferos confinados. A pressão artesianas apresenta considerável aumento em direção ao centro da bacia.
- 7) Os sistemas aquíferos são representados pelas formações Serra Grande e Cabeças em condições de confinamento e pelas formações Poti, Piauí, Sambaiba e Corda representando aquíferos dos tipos livres e confinados. O sistema aquífero Poti-Piauí se constitui no principal manancial subterrâneo da Folha, em vista de seu fácil acesso de captação e suas características litológicas apresentarem condições razoáveis de permeabilidade.
- 8) Uma estimativa das reservas permanentes totais armazenadas nas diferentes unidades hidrogeológicas, foi realizada com bases nas características dimensionais e nos parâmetros hidráulicos adotados, quantificando-se um volume da ordem de $1.500 \times 10^9 \text{ m}^3$.
- 9) As reservas exploráveis quantificadas para os diferentes sistemas aquíferos é da ordem de $955,8 \times 10^6 \text{ m}^3$ / ano, tendo-se admitido a ocorrência de um rebaixamento generalizado dos níveis de água nas zonas livres e confinadas dos aquíferos.
Os recursos totais exploráveis, considerando-se a uti-

zação do volume de escoamento natural anual, foram quantificados como sendo da ordem de $1.191 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.

10) Em virtude da demanda de água necessária ao abastecimento humano e animal ser relativamente pequena, comparando-se ao volume de escoamento natural calculado, admite-se que o escoamento citado é plenamente satisfatório às solicitações dos recursos hídricos.

11) Verifica-se uma predominância das águas carbonatadas e cloretadas magnesianas sódicas, de baixa salinidade, estando todas classificadas como de potabilidade boa, sendo portanto, adequadas para o consumo humano e fins de irrigação, sem que haja restrições.

7 - BIBLIOGRAFIA

AGUIAR, Guanahyro Antunes de - Bacia do Maranhão, geologia e possibilidades de petróleo. Rio de Janeiro, PETROBRÁS, 1969. 55p. il (Relatório nº 371).

_____ - Semi-detalha da região de Balsas. Rio de Janeiro, Petrobrás, 1964, 40p. il (Petrobrás. Relatório Técnico, 218).

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 PIAUI - 1971. Teresina, SEPLAN, Fundação CEPRO, 1971. 372 p.

ARAÚJO, Clodionor Carvalho de & MIRANDA, Jorge Luiz Fortunato de - Inventário Hidrogeológico do Nordeste; Folha 17 - Rio São Francisco-NO (Relatório inédito, CPRM). Recife, DNPM/CPRM, 1979.

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.

BRASIL. MINTER/DNOCS. Estudo de reconhecimento Vale do Gurguêia. 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 Final, CPRM). Recife, DNPM/CPRM, 1978. 4v.il.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. Projeto 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. SUDENE.- Levantamento Básico dos Recursos Naturais da Bacia do Rio Parnaíba. Recife, 1973. 4v. Mapas, Tabelas e Gráficos.

BRASIL. SUDENE - Normas Climáticas da Área da SUDENE. Recife, 1963. 83p. 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.

- BLICA. 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.
- CASTANY, G. - Traitê 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).
- CUNHA, Francisco Mota Bezerra da - Geologia do Sudeste de Balsas. Belém. Petrobrás, 1964. 49p. il. (PETROBRÁS, Relatório Técnico, 224).
- CUSTÓDIO, Emilio & 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.

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 Pesquisas Econômicas e Sociais Informática. Realidade e Perspectiva. São Luis, SEPLAN, 1972. 178p. il.

NORTHELEET, Airton A. & MELO, Márcio T. - Geologia da Região Norte de Balsas-Maranhão. Belém, PETROBRÁS, 1967. 55p. il. (PETROBRÁS. Relatório Técnico, 268).

OJEDA & OJEDA, Hildeberto & BEMBOM, Fernando da Cunha - Mapeamento Geológico em semi-detalle do sudoeste de Riachão. Belém, Petrobrás-RENOR, 1966. 72p. il. (Relatório da Petrobrás, nº 260).

_____ & PERILO, Altair A. - Geologia do sudoeste de Carolina. Belém, Petrobrás, 1967. 59p. il. (Petrobrás. Relatório Técnico 270).

PESSOA, Mário Dias - Inventário Hidrogeológico do Nordeste; Folha 13 - Teresina-SE. Recife. SUDENE. Div. Documentação, 1977. Mapa Hidrogeológico (Nota Explicativa) (Brasil. SUDENE. Hidrogeologia).

_____ - 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. Documentação, 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) .

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