

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 07 - TERESINA - NO
VOLUME I
TEXTO

ANTONIO REINALDO SOARES FILHO

PHL
012980
2007

J-96

 CPRM	SUREMI SEDOE
ARQUIVO TÉCNICO	
Relatório n.º	901
N.º de Volumes:	2 v.: 1



COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE RECIFE

1979

PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA

SUBPROJETO HIDROGEOLOGIA

RELATÓRIO FINAL - FOLHA 07 - TERESINA - NO

VOLUME I

TEXTO

Chefia do Subprojeto : Francisco Aurélio Caetano da Silva

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

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

Colaboração Especial : Albert Mente

PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS MINERAIS DA

BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA

SUBPROJETO HIDROGEOLOGIA

RELATÓRIO FINAL

VOLUME I - Folha 07 - Teresina - NO

Erratas

Página	Linha	Onde se lê:	Leia-se
55	24	fizeram	fez
104 a 114	5	Hidroquímicos	Hidroquímicas

PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS MINERAIS DA
BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA

SUBPROJETO HIDROGEOLOGIA

RELATÓRIO FINAL

ÍNDICES DE VOLUMES

VOLUME I - Folha 07 - Teresina-NO - Texto.

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

APRESENTAÇÃO

O Departamento Nacional da Produção Mineral - DNPM em convênio com a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM, através da Superintendência Regional de Recife, deram continuidade ao programa de "Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste", o qual construiu o subprojeto Hidrogeologia, incluso no Projeto Estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba, realizado pela CPRM.

O presente relatório teve início através da coleta de documentos e publicações realizadas sobre a área, tais como: mapas, relatórios técnicos, dados estatísticos, climatológicos, hidrológicos, perfurações de poços, etc. Após esta primeira etapa, onde se confeccionou os mapas preliminares, partiu-se para os trabalhos de campo onde foram inventariados e catalogados, pontos de água existentes. Fez-se medições de níveis, determinações de pH, condutividade elétrica, temperatura ambiente e da água, e coleta de amostra para posterior análise química. De posse destes pontos, efetuou-se o levantamento barométrico com a finalidade de de uma possível determinação da piezometria dos aquíferos identificados, a partir das medições dos níveis de água conhecidos,

Os trabalhos de campo foram efetuados baseado em bases planimétricas escala 1:250.000. A apresentação final está na escala 1:500.000 na qual se pode reunir informações como: geologia local e suas correlações com a ocorrência e acumulação de água subterrânea, características hidrogeológicas das unidades litológicas e estratigráficas, potabilidade das águas subterrâneas quando destinadas ao consumo humano, pecuário e sua utilização para fins de irrigação.

S U M Á R I O

RESUMO

ABSTRACT

	<u>Pág.</u>
1 - <u>INTRODUÇÃO</u>	1
1.1 - Histórico.....	1
1.2 - Objetivo.....	3
1.3 - Localização e Acesso.....	4
1.4 - Aspectos Sócio-Econômicos.....	5
1.5 - População.....	7
1.6 - Métodos de Trabalho.....	8
1.7 - Dados Físicos de Produção.....	11
1.8 - Trabalhos Anteriores.....	12
2 - <u>ASPECTOS GERAIS</u>	14
2.1 - Elementos Climáticos.....	14
2.1.1 - Tipos de Climas.....	14
2.1.2 - Pluviometria.....	16
2.1.3 - Temperatura.....	18
2.1.4 - Umidade Relativa, Insolação e Ventos.....	25
2.1.5 - Evaporação e Evapotranspiração....	28
2.1.6 - Zoneamento Árido.....	31
2.1.7 - Elementos do Balanço Hidrológico..	33
2.2 - Vegetação.....	34
2.3 - Morfologia.....	40
2.4 - Hidrologia.....	41
2.4.1 - Rede Hidrográfica.....	41
2.4.1.1 - Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins.....	41

	<u>Pág.</u>
2.4.1.2 - Bacia Hidrográfica do Atlântico Norte.....	43
2.4.2 - Escoamento Superficial.....	44
2.4.3 - Recessões.....	45
3 - <u>GEOLOGIA</u>	50
3.1 - Generalidades.....	50
3.2 - Estratigrafia.....	50
3.3 - Mesozóico.....	52
3.3.1 - Formação Sambaiba.....	52
3.3.2 - Formação Mosquito.....	53
3.3.3 - Formação Corda.....	54
3.3.4 - Formação Sardinha.....	56
3.3.5 - Formação Grajaú.....	57
3.3.6 - Formação Codó.....	58
3.3.7 - Formação Itapecuru.....	60
3.4 - Cenozóico.....	61
3.4.1 - Coberturas Terciárias-Quaternárias	61
3.4.2 - Aluviões.....	62
3.5 - Geologia Estrutural.....	62
3.6 - História Geológica.....	63
4 - <u>HIDROGEOLOGIA</u>	65
4.1 - Generalidades.....	65
4.2 - Geologia das Águas Subterrâneas.....	67
4.2.1 - Formações Paleozóicas em Subsuperfície.....	69
4.2.2 - Formação Sambaiba.....	71
4.2.3 - Formação Mosquito.....	72
4.2.4 - Formação Corda.....	72
4.2.5 - Formação Sardinha.....	73
4.2.6 - Formação Grajaú.....	74

	<u>Pág.</u>
4.2.7 - Formação Codó.....	75
4.2.8 - Formação Itapecuru.....	76
4.2.9 - Aluviões.....	77
4.3 - Reserva de Águas Subterrâneas.....	77
4.3.1 - Vazão de Escoamento Natural.....	78
4.3.1.1 - Aquífero Sambaiba.....	79
4.3.1.2 - Aquífero Corda.....	80
4.3.1.3 - Aquífero Grajaú.....	82
4.3.1.4 - Aquitardo Codó.....	82
4.3.1.5 - Aquífero Itapecuru.....	83
4.3.1.6 - Aluviões.....	83
4.4 - Reservas Permanentes.....	84
4.4.1 - Aquífero Piauí.....	85
4.4.2 - Aquífero Sambaiba.....	88
4.4.3 - Aquífero Corda.....	89
4.4.4 - Aquífero Itapecuru.....	90
4.4.5 - Sedimentos Inconsolidados do Qua- ternário.....	90
4.5 - Reservas Exploráveis.....	91
5 - <u>HIDROQUÍMICA</u>	96
5.1 - Generalidades.....	96
5.2 - Característica Química das Águas.....	96
5.3 - Classificação Química das Águas.....	99
5.3.1 - Grupo de Águas Mais Frequentes.....	116
5.3.1.1 - Águas Cloretadas.....	116
5.3.1.2 - Águas Cloretadas Carbo- natadas.....	117
5.3.1.3 - Águas Mistas.....	117
5.3.1.4 - Águas Sulfatadas Clore- tadas.....	118
5.3.1.5 - Águas Carbonatadas.....	118

	<u>Pág.</u>
5.3.1.6 - Águas Carbonatadas Sul- fatadas.....	119
5.4 - Qualidade das Águas para o Consumo Humano.	119
5.5 - Qualidade das Águas para Irrigação.....	136
6 - <u>CONCLUSÃO</u>	141
7 - <u>BIBLIOGRAFIA</u>	144

ANEXOS (VOLUME II)

- Nota Explicativa.....	149
- Catálogo de Observações Fluviométricas	
- Catálogo de Observações Pluviométricas	
- Fichas de Sondagens	
Ponto 029.07	
Ponto 061.07	
Ponto 071.07	
Ponto 080.07	
Ponto 085.07	
Ponto 086.07	
Ponto 156.07	
Ponto 196.07	
Ponto 205.07	
Ponto 207.07	
Ponto 226.07	
Ponto 233.07	
Ponto 248.07	
Ponto 249.07	
Ponto 251.07	
Ponto 252.07	

Ponto 271.07

Ponto 296.07

- Catálogo de Pontos de Água
- Base Geológica
- Base Planimétrica
- Base Hidroquímica
- Base Hidrológica
- Base de Pontos de Água
- Base de Potencial Explorável
- Base Piezométrica

RESUMO

Com uma superfície de 72.600 km², a Folha Tere-
sina-NO, encontra-se totalmente inclusa nos domínios da
bacia sedimentar do Parnaíba. Ocupa parte dos Estados do
Maranhão, Goiás e Pará e sua litologia sedimentar é de i-
dade cenozóica e mesozóica.

Nos domínios desta área, predominam os climas
Aw e Am, segundo a classificação de Koppen, com estação
chuvosa no verão e seca no inverno. A temperatura média a-
nual situa-se em torno dos 25,4°C, onde o período mais
quente é de setembro a novembro. O sistema de drenagem
é constituído pelas bacias hidrográficas do Rio Tocantins
e Bacia do Atlântico Norte possuindo como divisor de á-
guas, a Serra do Gurupi. A morfologia, é constituída por
extensos chapadões tabuliformes e colinas retalhadas por
uma rede de drenagem encaixada onde as cotas topográfi-
cas variam de 100 a 300 metros. Sua vegetação é constitui-
da por dois tipos distintos: cerrado e floresta subcaduci-
folia amazônica.

A litologia aflorante, e a de subsuperfície de-
tectada através de furos estratigráficos pela Petrobrás,
mostram boas condições hidrogeológicas quanto ao armazena-
mento e aproveitamento destas reservas de água subterrâ-
neas. Em subsuperfície, ocorre todas as unidades litoló-
gicas que compõem a coluna estratigráfica da bacia sedi-
mentar do Parnaíba, estas funcionam como aquíferos confi-
nados a grandes profundidades. As formações Sambaíba, Cor-
da, Grajaú, Codó são em parte aflorantes, apresentando
condições de confinamento, e, as formações Itapecuru e os
aluviões quaternários, funcionam como aquíferos livres.

Os cálculos das reservas foram efetuados ape-
nas para as formações Piauí, Sambaíba, Corda, Grajaú, Co

dó, Itapecuru e aluviões, para estas, as reservas permanentes acumuladas foram avaliadas na ordem de $405.588 \times 10^6 \text{ m}^3$, assim como as reservas exploráveis em $451 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. Suas águas são, predominantemente, cloretadas a cloretadas carbonatadas onde 73,6% apresentam baixos valores de resíduo seco, aproximadamente na mesma proporção, estas águas não apresentam maiores restrições quanto a adequabilidade para a irrigação e para o consumo humano.

ABSTRACT

With a 72.600 square kilometer area, the Teresi-na-NO Sheet is totally included on the Parnaíba Sedimentary Basin. It covers parts of Maranhão, Goiás and Pará State and its sedimentary lithology is of cenozoic-mesozoic age.

In this area predominates Aw and Am types climate according to Koppen classification, with raining season in the summer and dry season in winter. The annual average temperature is $25,4^{\circ}\text{C}$ with warmer period between september to november. Drainage system are made up by Tocantins River Hidrographic Basin and North Atlantic Basin, and has for water divide the Gurupi Mount.

Morphology shows extensive tableland and hills cutted by the draining net with topographic level between 100 to 300 meter.

Vegetation is presented by two different types: "cerrado" and "amazon subcaducifolia forest".

The outcropping lithology reflects underground lithology detected by stratigraphic holes (Petrobrás) with good hidrogeologic conditions in respect to storage and explotation of these groundwater reserves.

All lithologic units that make up the Parnaíba sedimentary basin stratigraphic column occur subsuperfície, some of them as confined aquifer.

Sambaiba, Corda, Grajaú and Codó formations are partially outcropping presenting conditions of confining, and Itapecuru formation and quaternary alluvions are free aquifers.

Groundwater reserves calculation done for Pi-

aui, Sambaiba, Corda, Grajaú, Codó, Itapecuru formations and alluvions for permanent reserves were evaluated as 405×10^9 cubic meter and the exploitation reserves 451×10^6 cubic meter/year.

Groundwater in this area predominantly chloride and carbonated chloride water and 73,6 % of water samples present low dry weight and no restriction for irrigation and human uses.

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - HISTÓRICO

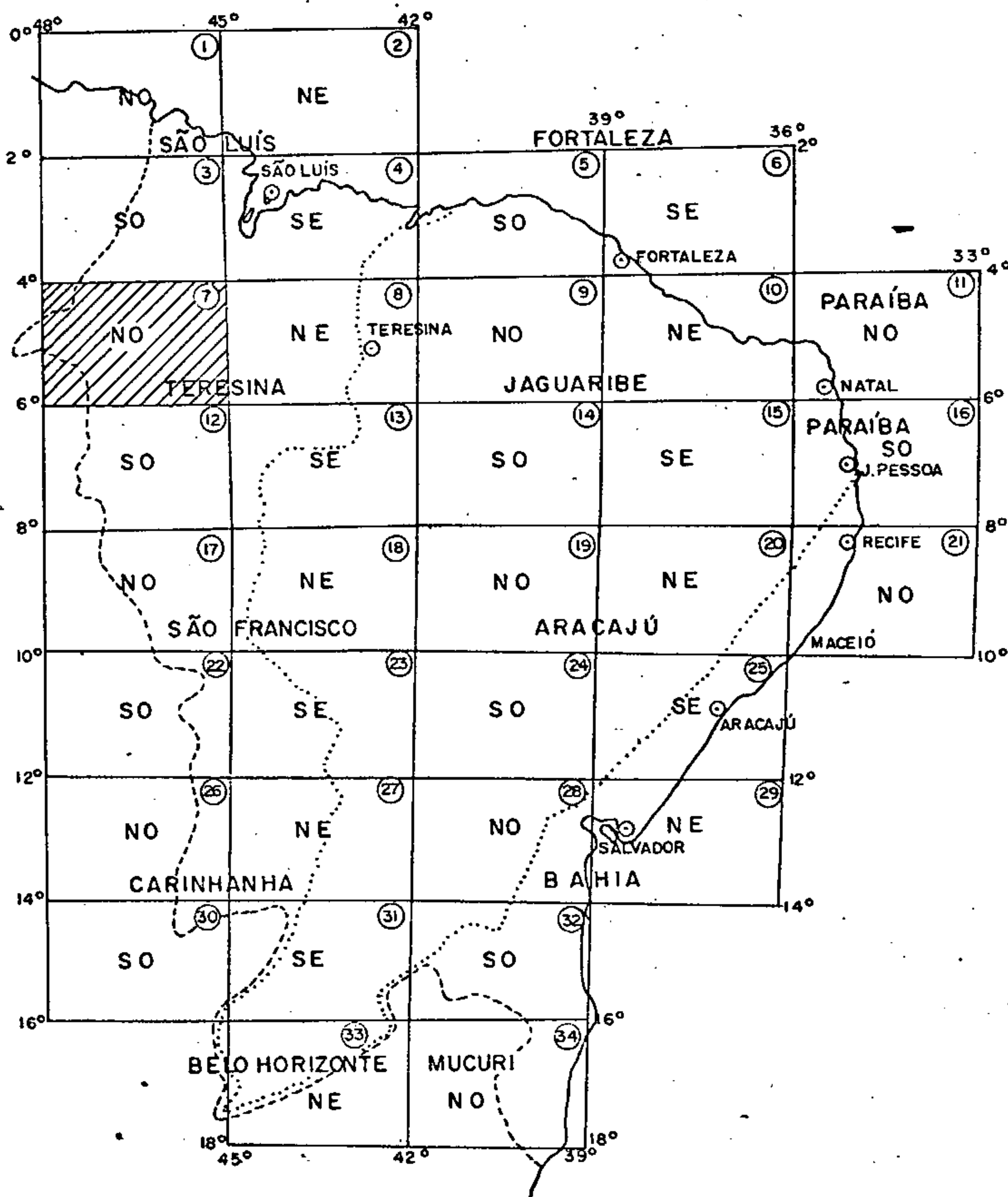
Em abril de 1975, teve início em Teresina-PI, o Projeto Estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba, executado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, em convênio com o Departamento Nacional da Produção Mineral. Este trabalho inclui um subprojeto, executado de forma semelhante ao Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste, objetivando dar continuação ao levantamento iniciado pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste.

A área de atuação foi dividida em seis folhas, à escala 1:500.000 que, de acordo com a articulação proposta pelo DNPM, tomaram a seguinte numeração: 1, 3, 7, 12, 17 e 22 (Fig. 1.1.1), localizadas entre os meridianos $45^{\circ}00'W$ a $48^{\circ}00'W$ e os paralelos $0^{\circ}00'S$ a $12^{\circ}00'S$, respectivamente, distribuídas entre os executores do projeto.

No início a chefia dos trabalhos coube ao geólogo Fernando Antonio do Rego Barros, e, com o afastamento deste, o geólogo Francisco Aurélio Caetano da Silva assumiu a responsabilidade pelo resto dos serviços, sob a coordenação do geólogo Alfeu Levy da Silva Caldasso - Chefe da DIVPEM - da Superintendência Regional de Recife - SUREG-RE.

Especialmente para esta Folha, composta por quatro quadrículas à escala de 1:250.000, seus estudos foram iniciados pelo geólogo Carlos Fernando Pinto Teixeira na folha de Imperatriz. Em razão do desligamento deste da CPRM, o geólogo Albert Mente deu continuidade na folha Cajupara. Para complementar as áreas restantes, as folhas de Barra do Corda e Vitorino Freire, foram entregues ao geólogo Antonio Reinaldo Soares Filho. Participaram dos

SITUAÇÃO DA FOLHA



Legenda

- - - - - Área da SUDENE
- Polígono das Secas
- ▨ Situação da Folha

Fig. 1.1.1

trabalhos de campo, duas equipes de técnicos de mineração, na realização do levantamento barométrico, com a contribuição especial do técnico Armando Arruda Câmara Filho.

O desenvolvimento dos trabalhos se deu em fases distintas. Na primeira fase, fez-se a coleta bibliográfica de trabalhos anteriores, realizados na região tais como: fichas de sondagens, dados plúvio-fluviométricos, bases cartográficas, etc. A segunda fase, foi ocupada com os trabalhos de campo, onde se fez o cadastramento dos pontos de água com a coleta de amostra de água e levantamento barométrico. Na terceira fase, foi feita a análise e o processamento dos dados obtidos, para a elaboração do relatório final. Estas análises de água foram executadas pela Universidade Católica de Pernambuco.

A conclusão dos trabalhos, se deu em maio de 1979.

1.2 - OBJETIVO

O objetivo deste subprojeto de Hidrogeologia, é dar sequência ao Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste, parcialmente executado pela SUDENE até o meridiano $45^{\circ}00'W$, continuado na faixa entre os meridianos $45^{\circ}00'W$ e $48^{\circ}00'W$, onde se fez o cadastramento de poços tubulares, cacimbas, fontes e cacimbões. Foi feita uma amostragem sistemática de determinados pontos, com vista à execução de análises químicas; outros pontos de água foram selecionados para levantamento barométrico, com o fim de definir os parâmetros hídricos dos aquíferos, e suas potencialidades hidrogeológicas. Este trabalho objetiva, também,

oferecer subsídios a estudos posteriores, estabelecendo a nível preliminar, relações das diferentes formações geológicas com a ocorrência de água subterrânea.

1.3 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área do projeto tem uma superfície aproximada de 72.000 km², tendo sido levantado planimetricamente pelo Projeto RADAM.

Sua principal via de acesso, partindo de Teresina, sede do Subprojeto, é feito através da BR-316, rodovia asfaltada. No entroncamento Peritoró, tomando rumo sul, a BR-135 é interceptada na altura de Presidente Dutra pela BR-226, estrada de barro, com direção leste-oeste e que passa pelas cidades de Barra do Corda, Grajaú, Sítio Novo, Montes Altos até Imperatriz, cortando a área na sua porção meridional.

No lado oeste, com direção norte-sul, corre a BR-010 (Belém-Brasília) donde, no entroncamento com a cidade de Açailândia parte a BR-222 que tem direção nordeste, via Buriticupu e toca o extremo norte da Folha já próximo de Santa Luzia. Também de sentido norte-sul, corre a MA-06, passando por Grajaú, encontrando a BR-222 no povoado Arame indo até Buriticupu.

Entre Bacabal e Santa Inês, a BR-316 corta o canto nordeste da Folha e dela partem as estradas vicinais para Vitorino Freire, cidades vizinhas e para Lago da Pedra.

De todas as estradas principais e núcleos de povoamento, partem estradas vicinais, na maioria, carroçá

veis, algumas delas de grande penetração, que se tornam in transitáveis na época de inverno, em razão das fortes chuvas que inundam toda a região.

1.4 - ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS

Na área correspondente à Folha 07 existem cin co cidades de razoável importância, possuindo sistema de energia, atendimento médico-hospitalar, comunicações, educação e sistema bancário.

Imperatriz, principal cidade da área, possui unidades de ensino superior e médio que atendem a popula ção estudantil das localidades próximas.

As demais cidades estão servidas por unidades de ensino médio, havendo, também, grupos escolares em diver sos povoados.

O atendimento médico-hospitalar regional, é realizado através de seis hospitais, com atendimento perma nente, que se situam nas cidades de Imperatriz, Grajaú, Barra do Corda, Lago da Pedra, Vitorino Freire e povoado Buriticupu. Existem ainda postos de saúde, com atendimen to médico periódico, nas demais cidades.

O setor de saneamento básico é precário. A Companhia de Águas e Esgotos do Maranhão (CAEMA) possui es trutura montada com poços tubulares, reservatórios e rede de distribuição, apenas nas cidades de Imperatriz e Barra do Corda. As demais cidades estão abastecidas por poços amazonas domésticos; algumas delas possuem poços tubulares, ainda não utilizados, em decorrência da falta de chafarizes e rede de distribuição. Na cidade de Grajaú, o abastecimen

to de água é efetuado, tendo por manancial uma fonte que o corre nas proximidades.

Não existe rede de esgotos nas cidades da área em estudo

Quanto às comunicações, apenas a cidade de Imperatriz está ligada por telefonia, com sistema DDD (Discagem Direta à Distância) e DDI (Discagem Direta Internacional) através da EMBRATEL (Empresa Brasileira de Telecomunicações). As demais cidades são, precariamente, atendidas pela EBCT (Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos), nem sempre funcionando o serviço telegráfico. A rede rodoviária é servida por ônibus interligando, diariamente, as principais cidades e capitais próximas.

O serviço de atendimento energético, funciona apenas nas cidades de Barra do Corda, Lago da Pedra, Vitorino Freire, Lago do Junco e Altamira do Maranhão, que são servidas pela CEMAR (Centrais Elétricas do Maranhão), com energia proveniente da CHESF (Companhia Hidrelétrica do São Francisco). Nas restantes das cidades, o atendimento é feito por centrais diesel-elétricas, de uma maneira precária e irregular, sob a responsabilidade das prefeituras municipais.

O setor econômico da região, é atendido por agências do Banco do Brasil situadas em Barra do Corda, Grajaú, Imperatriz, Lago da Pedra, e uma agência do Bradesco em Grajaú.

A principal atividade econômica da região, é a criação de gado realizada de maneira extensiva. As pequenas fazendas, diversificam bastante o seu criatório, com suínos, caprinos, ovinos e aves.

Em algumas localidades, existem grandes projetos agropecuários financiados pela SUDENE/SUDAN, geralmente acompanhados por modernas serrarias.

O principal produto agrícola é o arroz, e su-

bordinadamente, a mandioca, milho, feijão, algodão, cana-de-açúcar, fava, e outras culturas introduzidas pelos projetos agropecuários.

Nas principais cidades, e em muitos povoados, existem usinas de beneficiamento de arroz, movidos a energia própria. Estas trazem grandes benefícios para a região, na medida em que força a abertura de melhores vias de penetração, e, fixação do capital nas suas localidades. Grande parte da mão de obra, é empregada na colheita e na quebra do babaçú, que, com a instalação de fábricas de processamento e industrialização deste produto, em Bacabal e Tocantinópolis, abriu mercado para um melhor e mais racional aproveitamento desta riqueza nativa.

Imperatriz, polo de desenvolvimento de toda a região, possui um emergente parque industrial, destacando-se fábricas de beneficiamento de óleo vegetal, algodão em pluma, placas de compensado, cerâmicas, massas alimentícias e roupas.

Em toda a área, e principalmente nas adjacências da Belém-Brasília, proliferam modernas e bem equipadas serrarias, surgindo como consequência, pequenas fábricas de móveis.

1.5 - POPULAÇÃO

A população total da área em estudo, é da ordem de 525.584 habitantes, de acordo com a estimativa do Anuário Estatístico Brasileiro, de 1976, publicação da Fundação IBGE, para os limites da Folha 07.

Compreende sete micro-regiões homogêneas, com

30 municípios distribuídos nos Estados do Maranhão, Pará e Goiás, conforme figura 1.5.1. Como pode ser observado pelo mapa das micro-regiões, apenas alguns destes municípios encontram-se totalmente inclusos dentro dos limites da área. Na maioria dos municípios, apenas pequena parte de suas áreas estão situadas na Folha Teresina-NO.

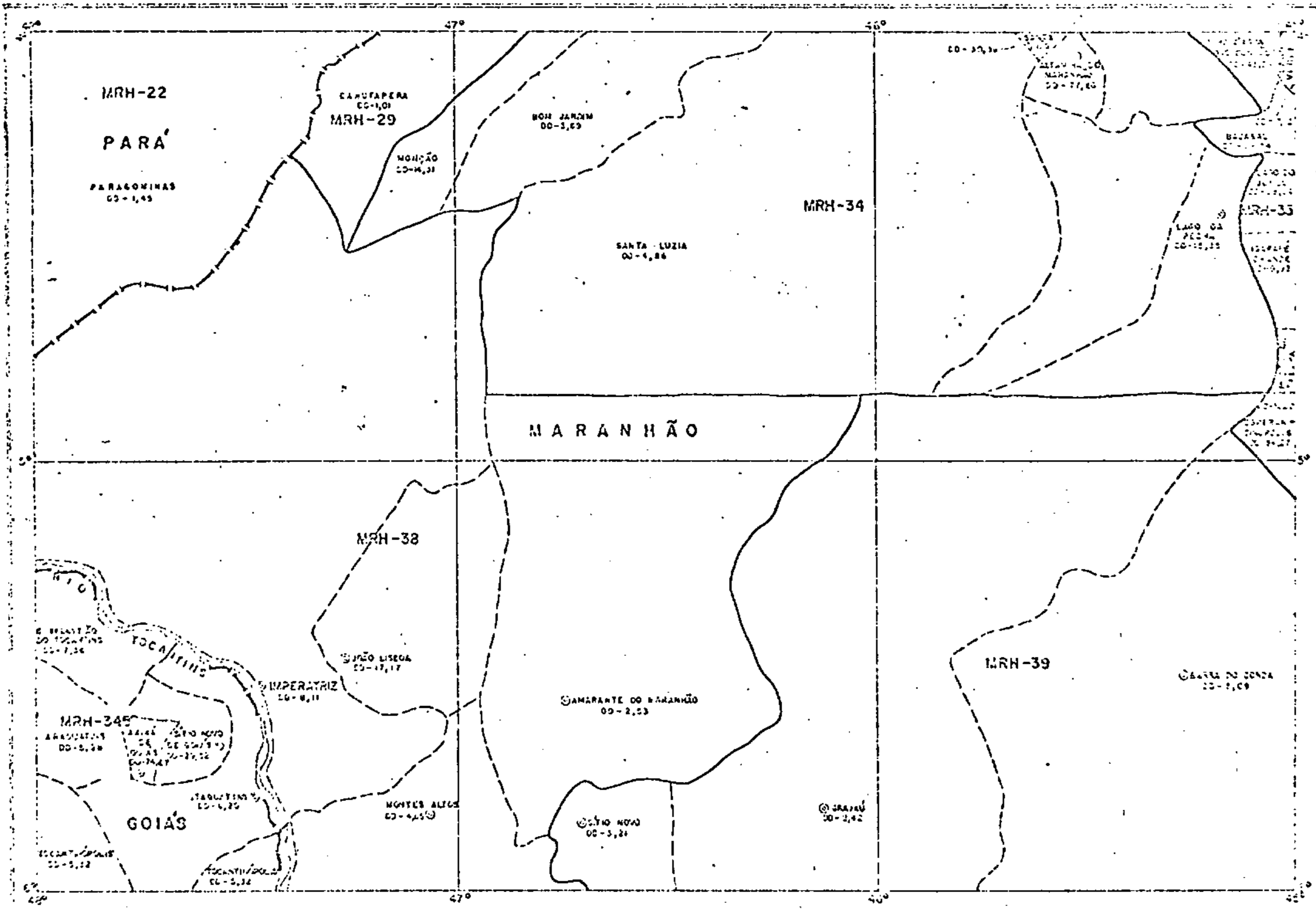
De acordo com o Quadro 1.5.2, a densidade demográfica dos municípios da região, varia de 1,01 habitante por quilômetro quadrado em Carutapera, a 77,86 habitantes por quilômetros quadrados em Altamira do Maranhão. O município de maior superfície é o de Imperatriz, com 11.602 km² do seu total, inclusos na Folha 07. O município de menor área é o de Axixá de Goiás, com apenas 129km², totalmente dentro dos limites em estudo.

As maiores concentrações populacionais situam-se nas cidades de Imperatriz, Barra do Corda e Lago da Pedra, João Lisboa e Santa Luzia. Existem, ainda, dispersos pelo interior dos municípios, grande número de povoados que, às vezes, chegam a rivalizarem com a própria sede municipal, tamanho é o seu movimento comercial.

1.6 - MÉTODOS DE TRABALHO

A metodologia de trabalho, utilizada neste Projeto, desenvolveu-se em três fases sucessivas:

A primeira fase, constou da coleta e processamento de dados existentes da região escolhida, tais como, Inventários Hidrogeológicos das Folhas vizinhas, fichas e relatórios de sondagens, mapas de hidrologia, dados pluviométricos e fluviométricos, mapeamentos geológicos, em ór-



**DIVISÃO MUNICIPAL
MICRO-REGIÃO HOMOGÊNEA
DENSIDADE DEMOGRÁFICA**

CONVENÇÕES

- ⊙ Cidades
- ~ Rio
- Limite Interestadual
- - - Limite Municipal
- Limite de Micro-Região
- MR-33 Micro-Região
- DD-145 Densidade Demográfica (hab./km²)

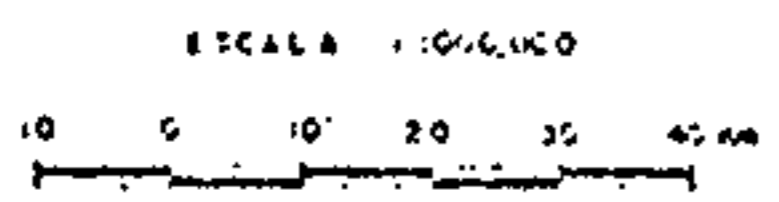


Fig. 1.5.1

QUADRO 1:5.2

QUADRO ESTIMATIVO DA POPULAÇÃO E ÁREA DA FOLHA-07 DE ACORDO COM AS MICRO-REGIÕES

ESTADO	MICRO-REGIÕES HOMOGENEAS.	MUNICIPIO	POPULAÇÃO (hab)		AREA (Km ²)		DENSIDADE DEMOGRÁFICA hab / Km ²	
			TOTAL NO MUNICIPIO	FOLHA 07	TOTAL NO MUNICIPIO	FOLHA 07		
M A R A R A N H ã O	29	C A R U T A P E R A	12.243	940	12.128	930	1.01	
	34	ALTAMIRA DO MA.	26.550	25.694	341	330	77.86	
		BOM JARDIM	31.271	6.521	8.469	1.767	3.69	
		LAGO DA PEDRA	54.830	54.830	3.573	3.573	15.35	
		M O N Ç Ã O	63.532	12.894	4.441	901	14.31	
		P A U L O R A M O S	27.088	27.088	1.000	1.000	27.09	
		SANTA INÊS	23.334	1.945	768	64	30.38	
		SANTA LUZIA	60.172	54.855	12.374	11.287	4.86	
		VITORINO FREIRE	30.790	21.017	1.219	832	25.26	
		35	B A C A B A L	63.294	11.802	1.609	300	39.34
	ESPERANTINOPOLIS		26.597	7.917	776	231	34.27	
	IGARAPE GRANDE		13.592	4.804	682	241	19.93	
	LAGO DO JUNCO		16.119	6.518	559	226	28.84	
	LAGO VERDE		9.639	1.267	563	74	17.12	
	OLHO D'AGUA DAS CUNHÃS		25.459	10.635	565	236	45.06	
	POÇÃO DE PEDRAS		34.236	4.775	588	82	58.22	
	38	AMARANTE DO MA.	18.328	18.328	7.252	7.252	2.53	
		IMPERATRIZ	108.265	94.093	13.352	11.602	8.11	
		JOÃO LISBOA	35.279	35.279	2.055	2.055	17.17	
		MONTES ALTOS	15.470	8.998	3.329	1.935	4.65	
	39	BARRA DO CORDA	71.518	38.460	14.058	7.556	5.09	
		G R A J A U	40.881	25.292	16.872	10.451	2.42	
		SITIO NOVO	8.009	2.639	2.498	822	3.21	
	P A R Á	22	P A R A G O M I N A S	18.935	6.575	27.749	4.534	1.45
	G O I Á S	345	A R A G U A T I N S	15.801	3.195	2.991	605	5.28
			A X I X A D O G O I A S	9.549	9.549	129	129	74.67
			I T A G U A T I N S	13.793	10.838	2.224	1.748	6.20
			S. SEBASTIÃO DO TOCANTS.	11.985	5.977	1.829	812	7.36
			SITIO NOVO DO GOIAS	9.034	9.034	306	306	29.52
T O C A N T I N Ó P O L I S			29.813	3.825	5.602	719	5.32	

gãos oficiais e de economias mistas. Em seguida elaboraram-se bases preliminares, que serviram de subsídios para a execução dos trabalhos.

A segunda etapa, de campanhas de campo, se fizeram em intervalos que variaram entre 25 a 30 dias. O objetivo foi o cadastramento de pontos de água (poços tubulares, poços cacimbões, cacimbas e fontes), e respectivo preenchimento de fichas das características hidrogeológicas. Em alguns casos, foram realizadas correções na planimetria, noutros, foi executado o levantamento à bússola em estradas recém-construídas. Na medida que se desenvolvia o trabalho, selecionavam-se pontos pré-escolhidos para a coleta de amostras de água e se formavam equipes para o levantamento barométrico de pontos estrategicamente situados, executados por duas equipes, cada uma formada por dois técnicos em mineração.

Após a conclusão de todos os perfis passou-se à última fase, isto é, o Relatório Final.

Em 02 de janeiro de 1979, foi dado início aos trabalhos de escritório, referentes ao relatório final, após a conclusão dos trabalhos previstos nas etapas anteriores.

1.7 - DADOS FÍSICOS DE PRODUÇÃO

Na execução do Inventário Hidrogeológico da Folha Teresina-NO, foram executados os trabalhos seguintes:

- Número de consultas bibliográficas..... 42 volumes

- Cadastramento de 307 pontos d'água, assim distribuídos:

- Poços amazonas.....	194
- Poços tubulares.....	53
- Fontes.....	60
T O T A L	307

- Coletaram-se 109 amostras de água e executaram-se 75 análises químicas.

- Percorreu-se, em toda área, um total de 25.214 km de perfis, em Pick-Up e Rural, executados pelas três equipes de geólogos que trabalharam na área.

- As duas equipes de barometria, levantaram 267 pontos, percorrendo 26.622 km de perfis.

1.8 - TRABALHOS ANTERIORES

Trabalhos de cunho hidrogeológico, realizados na área em estudo, podem ser citados apenas quatro; são relatórios de graduação em geologia, turma 1972, da Universidade Federal de Pernambuco. Estes, cobrem apenas, pequena faixa territorial, de aproximadamente 750 km². Os trabalhos são os seguintes: Estudo Hidrogeológico Preliminar da Área de Montes Altos-MA. Geologia e Elementos de Hidrogeologia da Região Oeste de Montes Altos-MA. Estudo Geológico e Hidrogeológico Preliminar da Região de Imperatriz - MA e Geologia e Aspectos Hidrogeológicos da Região Sul de Imperatriz-MA.

A CPRM e a TJANER, prestando serviços à CAEMA

(Companhia de Águas e Esgotos do Maranhão), perfuraram poços tubulares nas cidades de Lago da Pedra, Lago do Junco, Barra do Corda e, também, em alguns povoados situados no interior deste último município. Por alguns destes relatórios, pode-se ter conhecimento da litologia e potencialidades dos aquíferos, em alguns locais. Foram localizadas apenas fichas incompletas de sondagens, de poços executados pela própria CAEMA e outras firmas pequenas, assim como, relatórios de poços tubulares, perfurados em alguns grandes projetos agropastoris.

Embora não versando sobre hidrogeologia, os trabalhos a seguir mencionados, merecem destaques pela sua contribuição:

- Projeto RADAM, já concluído, que teve como objetivo, o reconhecimento geral e identificação das potencialidades econômicas da região norte e extremo oeste do nordeste do Brasil;
- A Petrobrás, realizou em uma estreita faixa, compreendida entre as cidades de Grajaú e Porto Franco-MA, mapeamento geológico. Seu objetivo, foi o cadastramento da "estrutura" existente entre as cidades de Montes Altos e Grajaú, publicado em seu relatório de nº 398;
- Do Projeto Estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba, concretizado recentemente pela CPRM, foram retirados subsídios para o conhecimento atualizado da geologia.
- Do Anuário Estatístico do Brasil, ano de 1976, publicação da Fundação IBGE, foram retiradas as informações estatísticas sócio-econômicas.

2 - ASPECTOS GERAIS

2.1 - ELEMENTOS CLIMÁTICOS

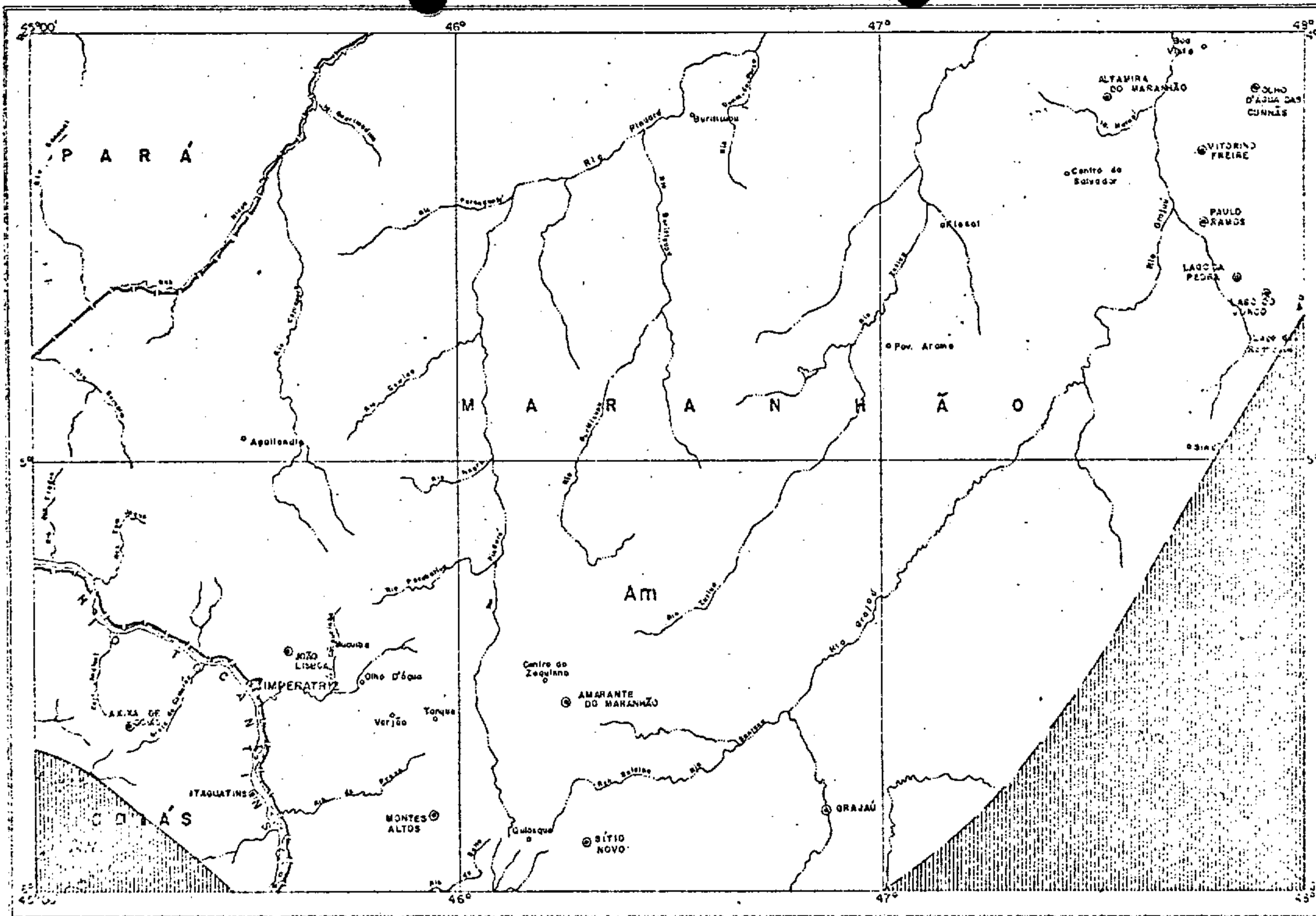
Neste capítulo serão analisados os seguintes elementos climáticos: tipos de clima, pluviometria, temperatura, umidade relativa, insolação, ventos, evapotranspiração e aridez.

2.1.1 - Tipos de Clima

O clima da região em estudo, se classifica segundo Koppen, nos tipos Am e Aw. O primeiro ocupando maior área de domínio, e o tipo Aw ocorrendo nas porções sudeste e sudoeste da folha em estudo. O mapa de diferenciação climática a seguir, figura 2.1.1.1, mostra estes limites.

O clima Am (tipo monções), característico da planície amazônica, é quente e úmido, com precipitações elevadas. Possui uma estação seca não muito acentuada e outra chuvosa, mais prolongada. Constitui basicamente, uma transição entre o super-úmido sem estiagem e o de duas estações distintas, uma seca e outra chuvosa.

O clima Aw (tipo tropical) é quente e úmido, com duas estações climáticas bem diferenciadas. Uma estação seca (verão) e outra chuvosa (inverno). Os meses mais frios são junho e julho, época localizada no período seco e os meses mais quentes, geralmente são setembro e outubro que é a época que antecede a das chuvas. Em todo o domínio



TIPOS DE CLIMAS
SEGUNDO KOPPEN

- CONVENÇÕES
- Cidades Principais
 - Sede Municipal
 - Povoados
 - Rio e Riacho
 - Limite Interestadual
 - Clima - Am
 - Clima - Aw

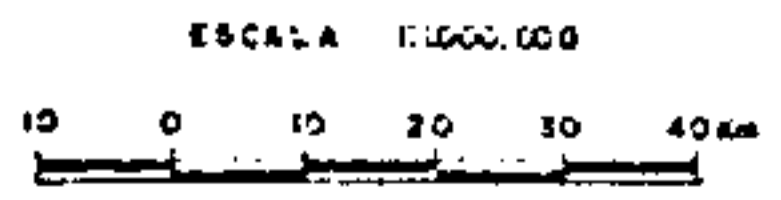


Fig. 2.1.1

do tipo Aw, o clima durante o dia é bastante quente, com calor sufocante. As noites são mais agradáveis pois a temperatura se torna mais suave.

2.1.2 - Pluviometria

Em toda área existem dezesseis postos de observações pluviométricas, dispersos de uma forma irregular, em razão da difícil penetração na região. A maioria dos pluviômetros, foi instalado pela SUDENE e entrou em funcionamento a partir de 1965. Uma pequena parte é controlada pela CPRM, da qual o posto de Madail foi desativado. Geralmente, existem lacunas no registro de dados, ao longo dos anos de observações. A estação de Grajaú é a mais antiga. Esta, entrou em atividade em agosto de 1913, sofrendo interrupção apenas no ano de 1943, continuando até dezembro de 1959. Os cinquenta e quatro anos de dados registrados constitui uma exceção, já que o resto das estações possuem períodos médios de 13 anos de observações. As informações aqui manuseadas, foram fornecidas pela Divisão de Recursos Minerais da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE.

No Quadro 2.1.2.1, são apresentadas, além das estações e períodos de observações, as precipitações médias mensais e totais anuais. Em toda área estudada, o maior volume de precipitação foi registrado pelo pluviômetro de Açailândia, com uma média anual de 1.818,5 mm, e o menor em Narú, com média total anual, da ordem de 923 mm.

Neste período, a maior média mensal pluviométrica foi registrada em Vitorino Freire, com 368,9 mm, com

QUADRO: 2.1.2.1

PRECIPITAÇÕES MÉDIAS MENSAIS E TOTAIS ANUAIS DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS DA FOLHA-07

E S T A Ç Ã O			P R E C I P I T A Ç Õ E S M É D I A S M E N S A L												T O T A L A N U A L (mm)
CÓDIGO	LOCALIDADE	PERÍODO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
36-19-43	ALDEIA SARDINHA	1965/77	140,9	149,3	254,0	134,1	78,1	27,5	6,2	2,0	8,9	35,8	84,7	103,9	1.211,7
36-08-38	ALDEIA VELHA	1965/75	164,7	181,0	228,1	133,6	67,0	14,9	13,0	5,9	13,9	40,5	87,9	114,1	1.157,1
36-16-14	AMARANTE DO MA	1965/78	159,2	217,4	233,6	196,4	72,0	13,6	9,0	4,6	27,1	49,1	126,6	147,4	1.242,5
26-95-80	A S S A I L A N D I A	1965/72	144,7	235,5	293,8	229,3	77,1	53,5	5,9	14,1	26,5	13,9	93,5	97,8	1.408,6
36-19-04	BARRA DO CORDA	1965/78	154,3	199,7	238,0	152,0	75,4	20,1	13,1	7,3	15,5	43,6	98,4	109,3	1.126,7
36-18-03	C A C E T E S	1975/78	161,2	189,2	115,7	124,2	39,2	7,1	11,4	0,0	8,7	49,2	58,0	67,1	969,6
26-99-40	ENCRUZILHADA	1965/72	180,0	265,6	266,1	253,5	83,3	34,9	7,0	5,8	7,1	8,5	76,9	86,7	1.341,4
36-17-67	G R A J A U	1913/42 1944/59 1965/78	205,1	243,3	285,9	181,8	79,3	12,7	7,9	8,0	27,7	71,0	132,1	175,8	1.427,6
36-15-00	I M P E R A T R I Z	1965/78	185,3	223,0	259,2	214,7	87,5	22,4	12,8	11,9	12,2	73,4	111,8	151,1	1.363,3
26-89-66	L A G O D A P E D R A	1965/77	215,9	282,4	366,8	263,0	140,7	40,0	19,5	8,7	17,7	16,2	68,5	153,7	1.580,5
36-15-68	M O N T E S A L T O S	1965/77	157,9	206,2	217,3	174,2	86,3	63,9	30,9	18,6	47,8	58,9	154,4	163,7	1.351,2
36-08-98	N A R U	1965/78	148,0	146,8	180,3	152,0	68,4	29,6	9,8	6,9	12,3	45,8	77,5	93,5	923,7
37-07-52	P A T O S	1965/77	117,3	201,9	243,0	209,5	73,4	18,4	11,6	4,5	17,0	41,9	99,0	115,2	1.160,6
36-18-12	S O L T A D O S C A R L O S	1965/78	107,1	154,7	177,3	121,9	62,3	22,0	16,3	5,1	23,0	41,5	87,6	137,0	1.090,0
26-88-58	T R E S L A G O S	1965/76	152,8	257,5	291,4	250,1	129,7	24,0	16,1	4,8	10,4	18,6	95,1	157,9	1.376,0
26-89-16	V I T O R I N O F R E I R E	1965/78	265,0	287,9	368,9	294,5	172,2	78,5	25,6	9,3	11,7	27,6	59,1	128,0	1.818,5

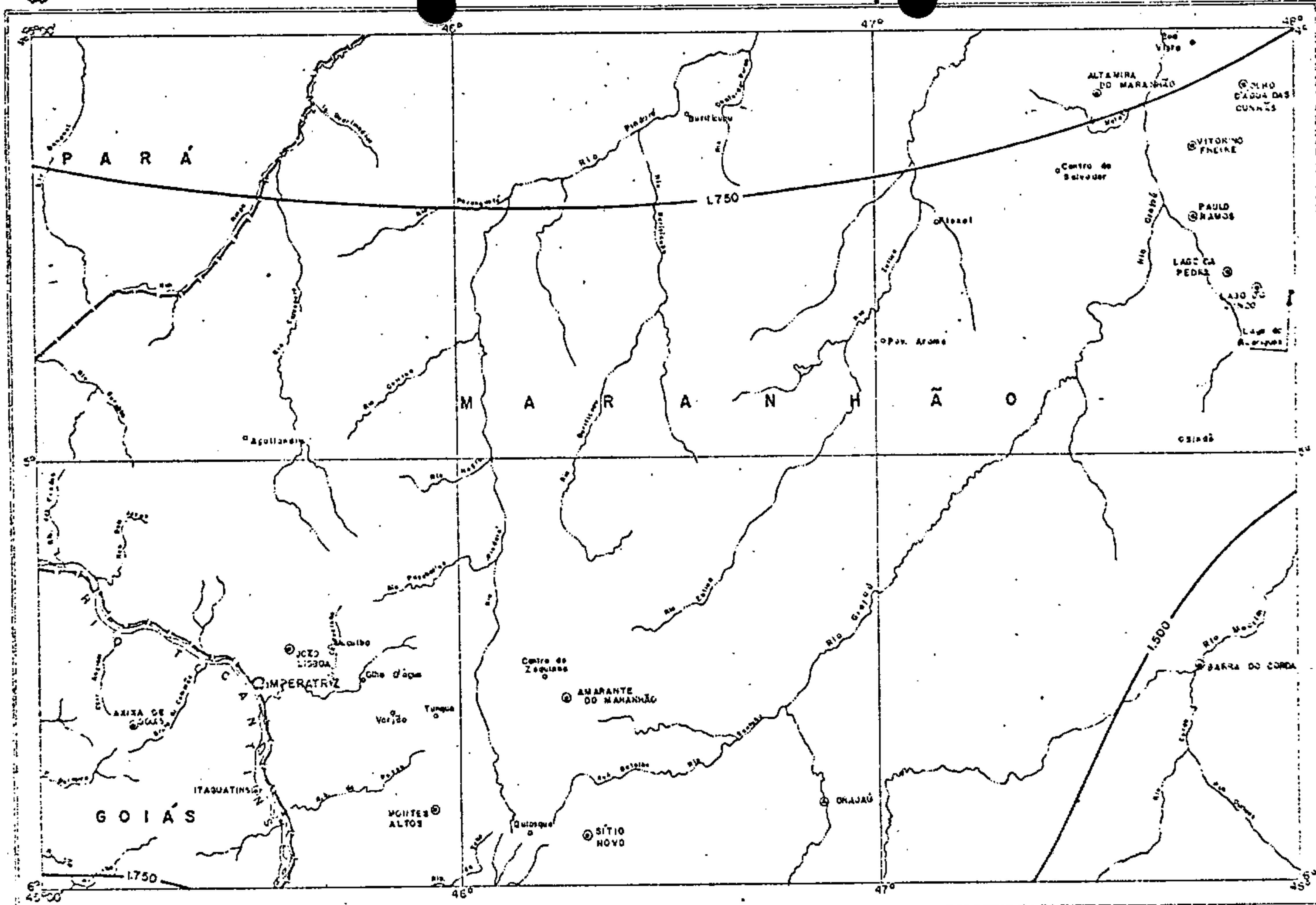
respondente a média de maio. A menor média mensal, foi observada na estação de Cacetes, onde não houve precipitações durante o mês de agosto. Em valor absoluto, a maior precipitação registrada foi de 709,8 mm durante o mês de março de 1967, na estação de Vitorino Freire.

O mapa de isoietas médias anuais, Figura 2.1.2.2, está baseado em Edmon Nimer (1977), em publicação da Fundação IBGE. Observa-se que a região é atravessada pelas isoietas 1500 mm e 1750 mm, ocorrendo um decréscimo de volume das precipitações no sentido sudeste. A isoieta de 1.500 mm, delimita a região de menor precipitação da área em estudo, onde se situa o município de Barra do Corda-MA, correspondendo a aproximadamente 10 % da área total. A zona delimitada pelas isoietas 1.500 mm e 1.750 mm, ocupa 70% da região. Nesta área, estão implantadas a maioria das estações meteorológicas. As precipitações superiores a 1.750 mm, ocorrem nos extremos norte e sudoeste, isto é, nos restantes 20% da folha.

As figuras 2.1.2.3 a 2.1.2.6, ilustram os padrões de distribuição das pluviosidades médias mensais, registradas nas estações acima citadas. Em toda a área estudada, existem dois regimes climáticos bem definidos: um seco (verão), e outro, chuvoso (inverno), que tem início, durante o mês de outubro, com precipitações máximas no período março/maio. O período seco se estende do final de maio até princípios de outubro, sendo os meses de julho e agosto, os de menor pluviometria.

2.1.3 - Temperatura

Entre as estações meteorológicas existentes na Folha Teresina-NO, três delas possuem dados completos de temperatura, e estão localizadas nas cidades de Barra do



ISOIETAS MÉDIAS ANUAIS
SEGUNDO: EDMON NIMER

- CONVENÇÕES**
- Cidade Principal
 - Sede Municipal
 - Povoado
 - Rio e Riacho
 - Limite Interestadual
 - Curvas de Isoietas
 - Estação Pluviométrica

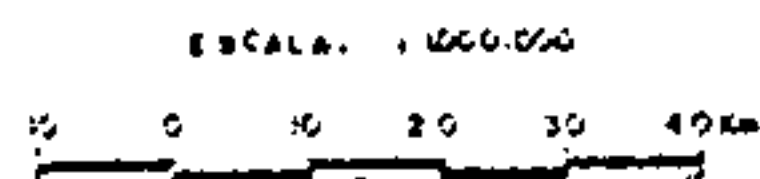


FIG. 2.1.2.2

CONVENÇÕES

SÍMBOLO	LOCALIDADE	PERÍODO	MÉDIA mm. / ano
—	Em cruzilhado	1965 / 1972	1.341,4
- · - · -	Lago da Pedro	1965 / 1977	1.580,5
- · - · -	Treis Lagos	1965 / 1976	1.376,0
- · - · -	Vitorino Freire	1965 / 1978	1.818,0

PRECIPITAÇÕES MÉDIAS MENSAIS

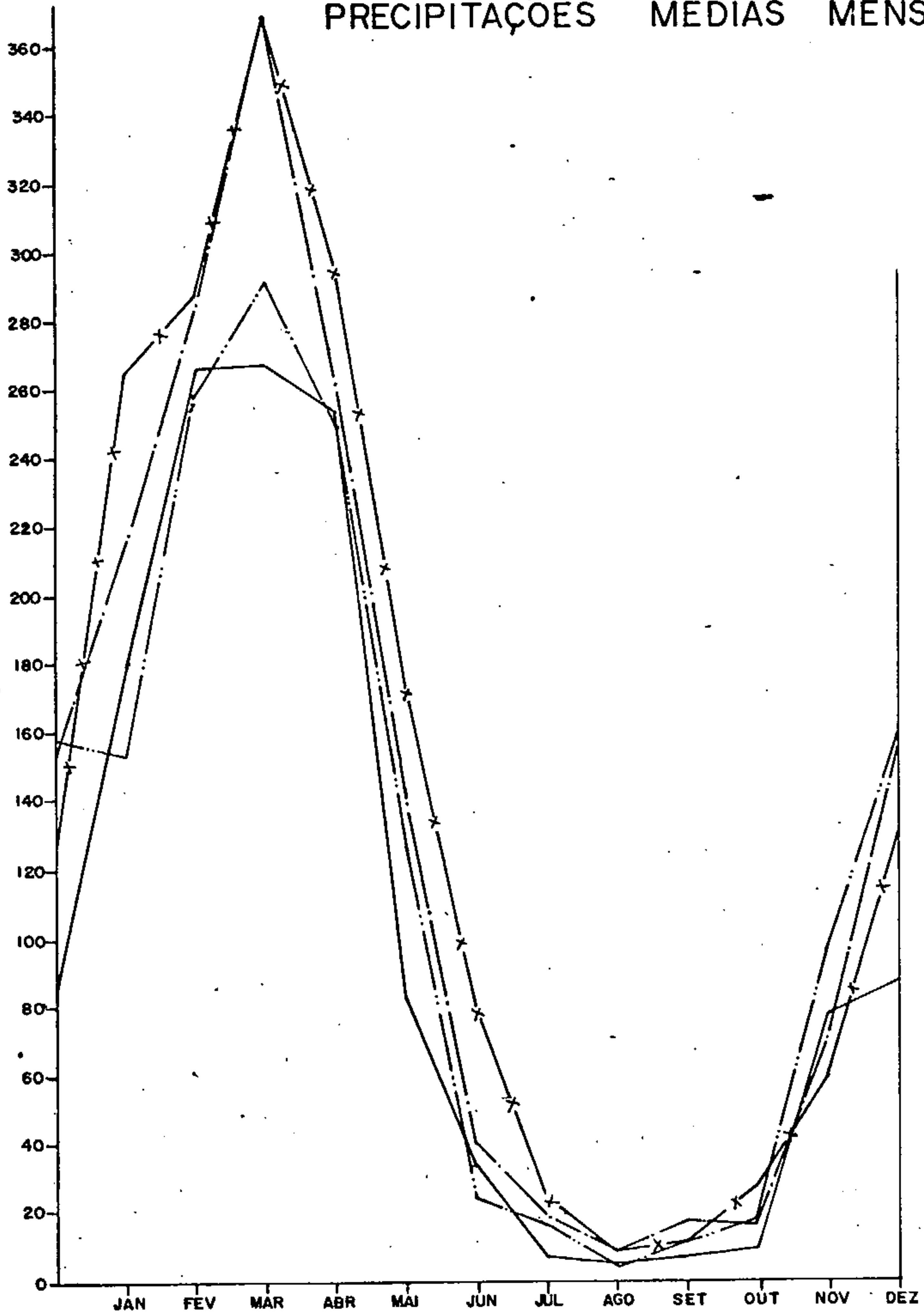
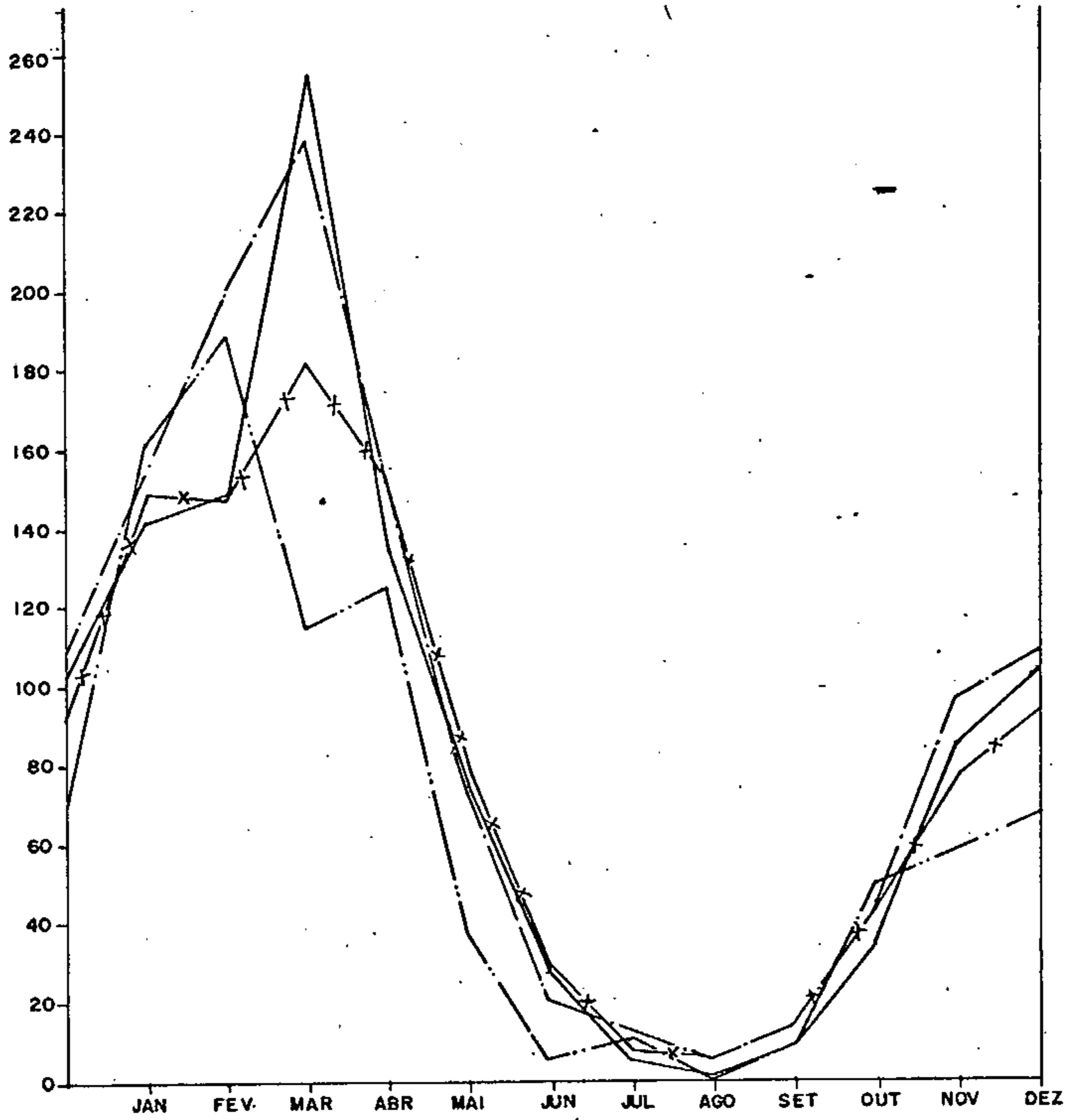


Fig. 2.1.2.3

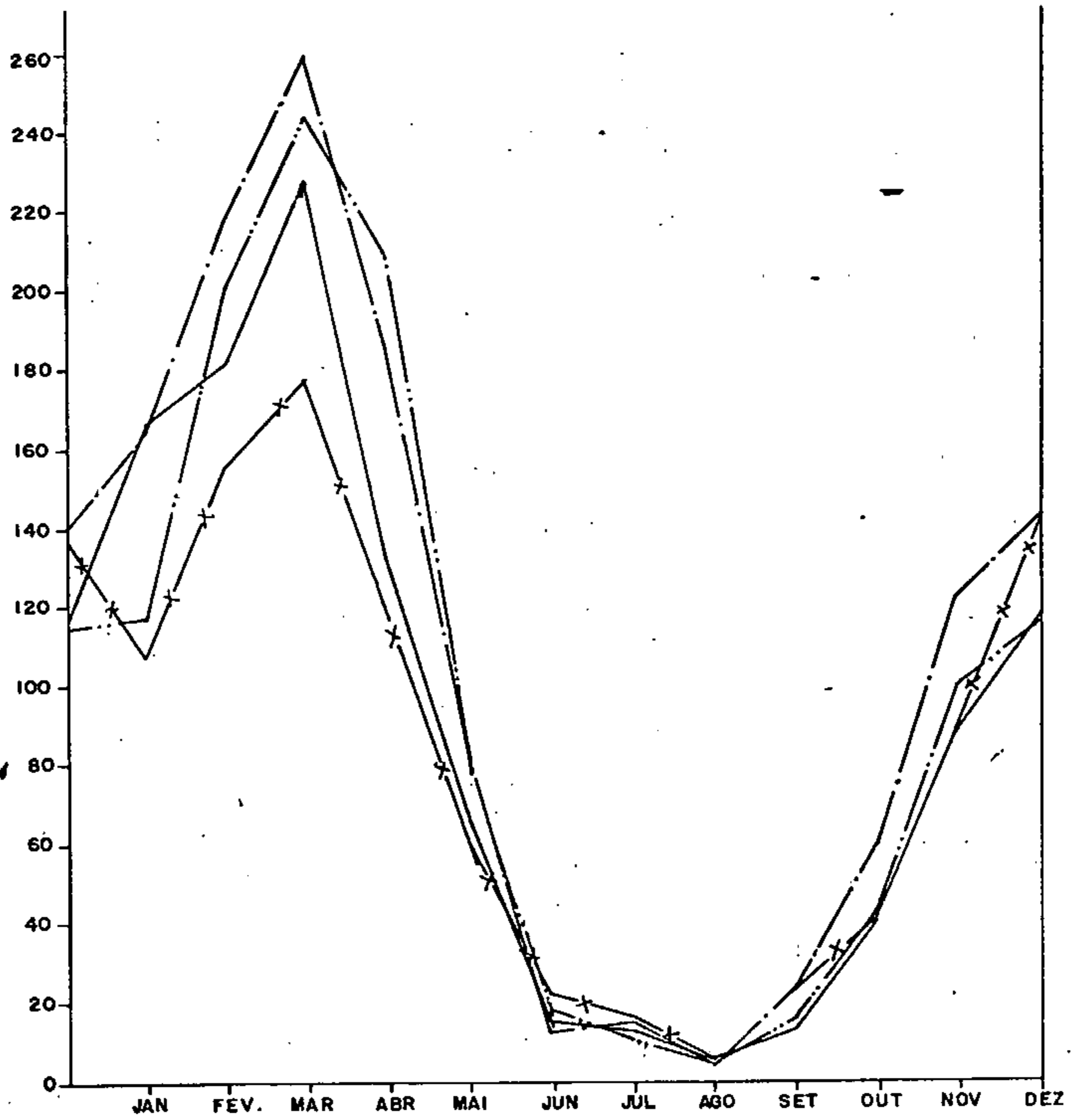
PRECIPITAÇÕES MÉDIAS MENSAIS



CONVENÇÕES

SÍMBOLO	LOCALIDADE	PERÍODO	MÉDIA mm./ano
—	Aldela Sordinha	1965 / 1977	1.211,7
— · —	Barra do Cordo	1965 / 1978	1.150,7
— · · · —	Caceite	1975 / 1978	964,6
— x —	Noru	1965 / 1978	923,7

PRECIPITAÇÕES MÉDIAS MENSAIS

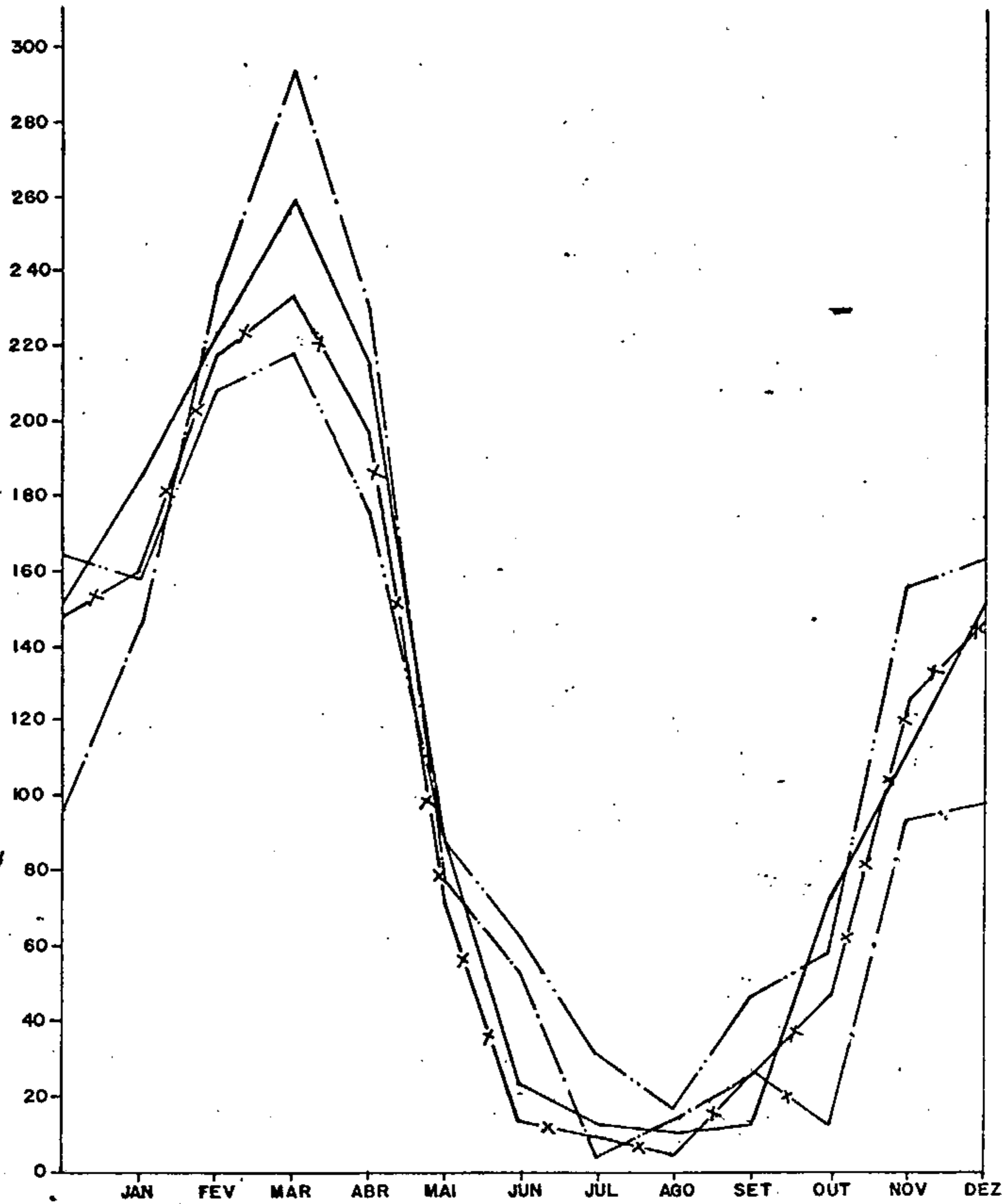


CONVENÇÕES

SÍMBOLO	LOCALIDADE	PERÍODO	MÉDIA. mm / ano
————	Aldeia Velha	1965 / 1975	1.157,1
— · — · —	Grajau	1965 / 1978	1.192,7
— · · —	Patos	1965 / 1977	1.160,6
— X —	Solta dos Carlos	1965 / 1978	1.090,0

Fig. 2.1.2.5

PRECIPITAÇÕES MÉDIAS MENSAIS



CONVENÇÕES

SÍMBOLO	LOCALIDADE	PERÍODO	MÉDIA mm./ano
—	Imperatriz	1965 / 1978	1.363,3
- . -	Assolândia	1965 / 1972	1.408,6
...	Montes Altos	1965 / 1977	1.351,2
—x—	Amarante do Maranhão	1965 / 1978	1.272,5

Fig. 2.1.2.6

Corda, Grajaú e Imperatriz.

A estação de Grajaú, é a mais antiga e mais completa em aparelhagem e operação. Estes postos, dispõem de dados termométricos, cujas médias mensais e anuais, estão representadas no quadro a seguir, de acordo com dados fornecidos pelo Departamento Nacional de Meteorologia, do Ministério da Agricultura.

QUADRO 2.1.3.1

TEMPERATURAS MÉDIAS MENSAS E ANUAIS
DE BARRA DO CORDA, GRAJAÚ E IMPERATRIZ

ESTAÇÃO/PERÍODO OBSERVADO	M E S E S											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
B. do Corda 1972/1978	24,8	24,9	25,0	24,9	24,6	24,2	24,3	25,5	26,8	26,8	26,7	25,7
Grajaú 1971/1978	24,6	24,8	24,8	25,0	24,6	24,2	24,0	24,5	26,0	26,0	25,9	25,1
Imperatriz 1966/1978	25,9	25,7	25,7	26,2	26,1	25,8	25,8	26,5	27,0	27,0	26,7	26,3

média anual: Barra do Corda (1972/1978).. 25,3°C
 Grajaú (1971/1978).. 24,8°C
 Imperatriz (1966/1978).. 26,2°C

Como pode ser observado pelos dados registrados, predomina em toda a região, clima quente. De uma maneira geral, a temperatura se mantém elevada durante todo o ano, com médias anuais variando dos 24,8 aos 26,2°C.

Em valores absolutos, os termômetros registraram máximo de 37,2°C durante o mês de agosto de 1966, na estação de Imperatriz, e um mínimo de 10°C no mês de junho de 1978, registrado na estação de Grajaú.

Os meses mais quentes do ano são setembro, outubro e novembro, com média máxima mensal de 26,9°C, duran

te os meses de setembro e outubro. Os mais frios são junho e julho, sendo 24°C a média mínima mensal. A amplitude térmica anual é em torno de 2°C.

A estação meteorológica de Imperatriz (MA), registrou a temperatura mais elevada para o período considerado enquanto que na de Grajaú foi observada a menor temperatura.

2.1.4 - Umidade Relativa, Insolação e Ventos

As estações meteorológicas, localizadas nas cidades de Barra do Corda, Grajaú e Imperatriz-MA, também possuem observações de umidade relativa, insolação e ventos por um período de oito anos.

A umidade relativa do ar, média anual, variou de 75,5% a 80,1%. De uma maneira geral é homogênea em toda a área e sendo o seu valor médio mensal máximo de 90%, registrado em Barra do Corda, durante o mês de março de 1978. O valor médio mensal mínimo foi de 61%, também em Barra do Corda, no mês de setembro de 1976.

Como pode ser verificado no Quadro 2.1.4.1, a época do ano que apresenta os menores valores de umidade relativa do ar, é de julho a outubro, durante o resto do ano os valores são altos.

A insolação foi registrada de maneira mais completa, nos heliógrafos das estações de Barra do Corda e Grajaú. De acordo com o Quadro 2.1.4.2, durante o período considerado, a insolação média anual em Barra do Corda foi de 2.219,7 horas, e em Grajaú 2.193,2 horas. Em Imperatriz, só existem dados completos de insolação para o ano de 1977, sendo observado um total de 2.017,0 horas. Os va

lores máximos se verificaram durante os meses de junho, julho e agosto, que correspondem a época de verão (seca).

QUADRO 2.1.4.1

MÉDIAS MENSAS DAS UMIDADES RELATIVAS
DO AR NAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DE
BARRA DO CORDA, GRAJAÚ E IMPERATRIZ.

ESTAÇÃO/PERÍODO OBSERVADO	M E S E S											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
B. do Corda 1972/1978	85,0	86,1	88,2	87,8	85,8	82,4	73,7	66,5	66,6	70,5	7,10	79,7
Grajaú 1971/1978	85,3	87,1	87,0	87,1	85,7	79,5	75,3	70,1	71,0	74,3	76,7	83,1
Imperatriz 1966/1978	83,5	85,8	85,2	84,0	83,0	76,0	71,1	64,6	67,4	73,4	76,1	80,4

Média anual em % : Barra do Corda..... (78,6)
Grajaú..... (80,1)
Imperatriz..... (77,6)

QUADRO 2.1.4.2

INSOLAÇÃO ANUAL DA FOLHA 07 NAS
ESTAÇÕES DE BARRA DO CORDA, GRAJAÚ E
IMPERATRIZ

ESTAÇÃO/PERÍODO OBSERVADO	M E S E S											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
B. do Corda 1972/1978	144,8	124,0	128,0	151,1	199,3	251,6	268,8	261,8	208,6	165,4	162,8	153,5
Grajaú 1971/1978	133,7	121,8	132,0	155,0	205,8	248,4	257,3	249,0	181,3	154,3	145,1	154,9
Imperatriz 1977	128,0	105,0	135,6	118,4	201,7	250,7	279,6	266,9	167,6	98,4	121,2	143,9

Média anual: Barra do Corda (1972/78) - 2.219,7 h
 Grajaú..... (1971/78) - 2.139,2 h
 Imperatriz.... (1977) - 2.017,0 h

Os ventos são classificados como alísios de NE e ocasionalmente como alísios de SE, e segundo Beaufort, esta zona está incluída na faixa de calmaria equatorial, ou zona de convergência intertropical. A pressão atmosférica sempre inferior a 1013 mb, é tida como baixa. Pelo Quadro 2.1.4.3 pode-se observar que, durante o período, os anemômetros marcaram médias anuais de velocidade, variando de 1,3 a 1,6 m/s. A menor média mensal foi de 1,1m/s e a maior 1,9 m/s. Pela escala de Beaufort, estes ventos variam de aragem a brisa leve.

QUADRO 2.1.4.3
VELOCIDADE DOS VENTOS DA FOLHA 07
NAS ESTAÇÕES DE BARRA DO CORDA E
IMPERATRIZ

ESTAÇÃO/PERÍODO OBSERVADO	M E S E S											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
B. do Corda 1972/1978	1,2	1,2	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,6	1,7	1,6	1,8	1,5
Imperatriz 1966/1978	1,5	1,4	1,4	1,3	1,4	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5	1,6

Total anual: Barra do Corda (1972/1978) 1,5m/s
 Imperatriz (1966/1978) 1,6m/s

2.1.5 - Evaporação e Evapotranspiração

Na área em estudo, existem duas estações meteorológicas, a de Barra do Corda e Grajaú, ambas no Estado do Maranhão, equipadas com tanques tipo classe "A". O Quadro abaixo, 2.1.5.1, representa os valores registrados durante os anos 1971 a 1978, fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia, órgão do Ministério da Agricultura.

QUADRO 2.1.5.1
MÉDIAS MENSAIS E TOTAIS ANUAIS DE
EVAPORAÇÃO EM BARRA DO CORDA E
GRAJAÚ

ESTACÃO/PERÍODO OBSERVADO	M E S E S											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
B. do Corda 1972/1978	70,9	57,5	56,5	54,7	76,8	113,0	157,6	105,4	174,6	152,1	132,1	96,4
Grajaú 1971/1978	62,5	53,2	55,4	55,5	72,3	107,0	144,0	169,3	152,1	122,6	111,0	80,2

Média anual: Barra do Corda (1972/1978) 1.247,6 mm
Grajaú (1971/1978) 1.185,4 mm

Os valores máximos e mínimos registrados, foram 233 mm, durante o mês de agosto de 1976 e 33 mm, em janeiro de 1975, respectivamente; estes pontos extremos, foram registrados na estação de Grajaú.

Esta perda d'água na superfície terrestre por evaporação e pela transpiração dos vegetais, resultam no fenômeno da evapotranspiração. Utiliza-se a fórmula simplificada de Turc para o cálculo da evapotranspiração poten

cial, que ocorre teoricamente quando existe água em disponibilidade.

Fórmula de Turc:

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

onde:

ETp = evapotranspiração potencial em mm

t = temperatura média mensal em °C

I_g = radiação global do mês considerado em cal/cm²/dia, retirada do mapa de Black, edição da SUDENE.

Obs: para o mês de fevereiro, a fórmula de Turc sofre uma variação, onde temos:

$$ETp = 0,37 (I_g + 50) \frac{t}{t + 15}$$

A evapotranspiração potencial calculada para as estações de Barra do Corda e de Grajaú-MA, está representada pelo Quadro 2.1.5.2, a seguir.

De posse dos dados expostos no Quadro mencionado, calculou-se a evapotranspiração real, também baseada em fórmula proposta por Turc, descrita a seguir:

$$Er = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{(300 + 25T + 0,05 T^3)^2}}}$$

onde:

ETr = Evapotranspiração real média anual (mm)
P = pluviometria média anual (mm)
t = temperatura média anual (°C)

QUADRO 2.1.5.2

EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL MÉDIAS MENSAIS
E TOTAL ANUAL NAS ESTAÇÕES DE BARRA DO COR-
DA E GRAJAÚ-MA

ESTAÇÃO/PE RÍODO OB SERVADO	M E S E S											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
B. do Corda 1972/1978	104,7	90,0	92,5	87,4	105,6	125,9	117,5	130,9	130,8	133,4	134,5	106,0
Grajaú 1971/1978	99,6	92,2	92,2	87,5	105,6	123,4	116,9	126,5	124,3	131,9	129,2	105,2

A evapotranspiração real média anual, calculada nas duas estações onde se tem dados registrados disponíveis, estão expostos a seguir:

- Na estação meteorológica de Grajaú-MA, a ETr = 1123,9 mm, o que corresponde a 78,4% de precipitação ocorrida;
- Na estação meteorológica de Barra do Corda-MA, a ETr = 995,5 mm, o que corresponde a 86,5% da precipitação registrada.

O cálculo da ETr mostrou que, a água que escoou superficialmente, mais a que se infiltra é da ordem dos 21,6% em Grajaú e 13,5% em Barra do Corda, respectivamente.

2.1.6 - Zoneamento Árido

O índice de aridez, aqui avaliado, foi calculado através da fórmula de De Martone, que possui como parâmetros meteorológicos, a precipitação e a temperatura do ar, relacionadas pela fórmula:

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

onde:

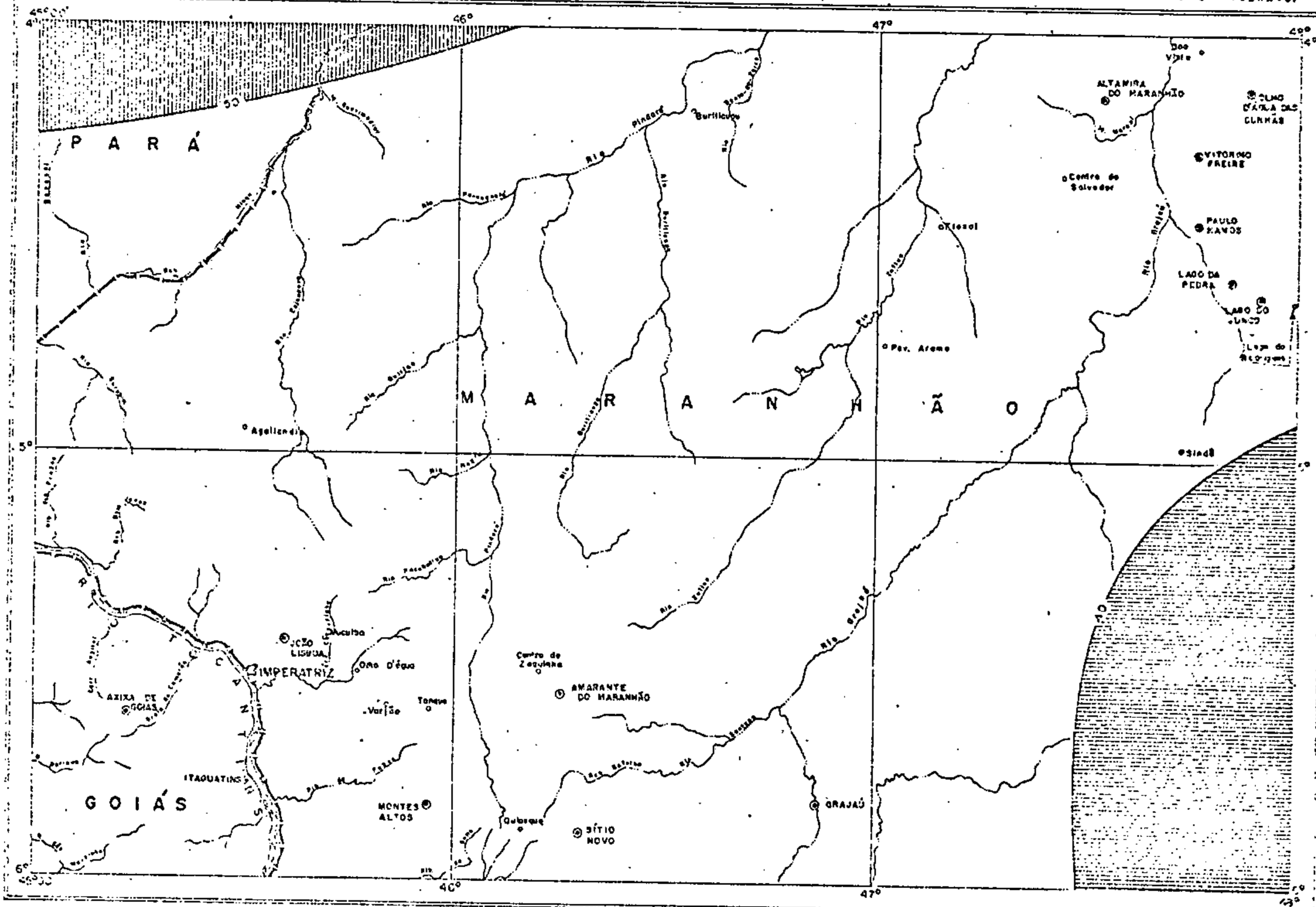
I = índice de aridez

P = precipitação pluviométrica média anual
(mm)

T = temperatura média anual (°C)

O mapa 2.1.6.1 ilustra a distribuição das zonas de aridez, de acordo com a fórmula de De Martone.

A Fundação IBGE, com base neste índice de aridez, realizou o mapa de zoneamento árido para o nordeste e norte, no qual está inserido a região em estudo. Esta, é constituída por três zonas distintas, correspondente aos índices 30 - 40, 40 - 50 e acima de 50. A área de índices 30 - 40 é a que apresenta maior aridez. Está representada por matas de florestas, com escoamento superficial permanente e possuidora de precipitação anual relativamente baixa, no valor de 1.097,3mm. Localiza-se no canto sudeste da Folha, cuja linha de 40, engloba o município de Barra do Corda-MA. A zona compreendida entre os valores 40 - 50, possui maior representatividade, ocupando 85% da região em estudo. Sua vegetação é de grande floresta, com escoamento superficial abundante, registrando-se altos índices de



ZONEAMENTO ÁRIDO
(SEGUNDO E. DE MARTONNE)

- CONVENÇÕES**
- Cidade Principal
 - Sede Municipal
 - Povoados
 - Rio e Riacho
 - Limite Interestaduais
 - 30-40
 - 40-50
 - 50-60

ESCALA 1:1000000



Fig. 2.1.6.1

pluviosidade. A zona com índice acima de 50, ocupa menor superfície, estando situada na porção nordeste da folha, envolvendo parte dos municípios de Paragominas-PA e Carutapera-MA. Esta zona faz parte dos domínios da hileria amazônica, que possui os maiores valores de pluviosidade e escoamento superficial.

2.1.7 - Elementos do Balanço Hídrico

O balanço hídrico da área em estudo, foi calculado pela fórmula seguinte:

$$P = R + E_{Tr} + I$$

onde:

P = precipitação (em mm)

R = escoamento superficial (em mm)

E_{Tr} = evapotranspiração real (em mm)

I = infiltração (em mm)

Os valores de escoamento superficial (R) e de infiltração (I), são desconhecidos. Desta forma, foram realizados balanços hídricos mensais, pelo método de Thornthwaite, correspondente às estações de Barra do Corda e Grajaú-MA. De posse dos volumes de precipitação média mensal (P) e da evapotranspiração potencial média mensal (ET_p) calculada através da fórmula de Turc, no item 1.5, se chegou ao conhecimento dos valores da evapotrans

piração real (ETr). Admitindo que, a altura da lâmina de água armazenada no solo é de 100 mm, seguindo o método completou-se o preenchimento dos Quadros 2.1.7.1 e 2.1.7.2.

Baseados nos valores de P, Etp e ETr, foram elaborados os gráficos 2.1.7.3 e 2.1.7.4, que representam os balanços hídricos para as duas estações.

Verifica-se pela análise dos gráficos, que a área em torno da estação de Grajaú, apresenta os seguintes parâmetros de balanço hídrico: precipitação de 1.427 mm, dos quais foram evapotranspirados 909,5 mm e 518,1 mm se escoaram; o déficit hídrico para a mesma área é de 425,0 mm.

Em relação a área de Barra do Corda, para uma precipitação anual de 1.126,7 mm são evapotranspirados 854,0 mm e 272,7 mm se escoam.

2.2 - VEGETAÇÃO

A vegetação da área é constituída por dois tipos distintos: cerrado e floresta subcaducifólia amazônica.

A Floresta Subcaducifólia Amazônica ocorre, basicamente, na maior parte da Folha, dominando toda porção setentrional e canto sul da área.

De um modo geral, predominam árvores altas, de 15 a 20 metros de altura, troncos finos e copas pouco desenvolvidas. Em determinados locais de difícil acesso, ainda existem concentrações de árvores muito altas, de 30 a 40 metros de altura, troncos retos, de grandes diâmetros e com abundância de cipós e epífitas. Os tipos arbóreos predominantes na área em estudo, são:

QUADRO: 2.1.7.1

ELEMENTOS DO BALANÇO HÍDRICO MENSAL
DA ESTAÇÃO DE BARRA DO CORDA = MA

Latitude : 45° 14' 30" w

Longitude : 05° 30' 24" s

Período : 1965 - 1978

ELEMENTOS DO BALANÇO	M E S E S												TOTAL ANUAL
	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	
P = Precipitação	154,3	199,7	238,0	152,0	75,4	20,1	13,1	7,3	15,5	43,6	98,4	109,3	1.126,7
ETp = Evapotranspiração potencial	104,7	90,0	92,5	87,4	105,6	125,9	117,5	130,9	130,8	133,4	134,5	106,0	1.359,2
P - ETp	49,6	109,7	145,5	64,6	30,2	-105,8	-104,4	-123,6	-115,3	-89,8	-36,1	3,3	-232,5
Variação de reserva de água útil	+49,6	+47,1	—	—	30,2	-69,8	—	—	—	—	—	+3,3	—
Reserva de água útil	52,9	100,0	100,0	100,0	69,8	0	0	0	0	0	0	3,3	—
ETr = Evapotranspiração real	104,7	90,0	92,5	87,4	105,6	89,9	13,1	7,3	15,5	43,6	98,4	106,0	854,0
Déficit	—	—	—	—	—	36,0	104,4	123,6	115,3	89,8	36,1	—	505,2
Excesso	—	62,6	145,5	64,6	—	—	—	—	—	—	—	—	272,7
Escoamento	—	31,3	104,0	105,1	32,3	—	—	—	—	—	—	—	272,7
Coeficiente Mensal	0,47	1,21	1,57	0,73	-0,29	-0,84	-0,89	-0,94	-0,88	0,67	-0,27	0,03	

QUADRO: 2.1.7.2

ELEMENTOS DO BALANÇO HÍDRICO MENSAL
DA ESTAÇÃO DE GRAJAÚ = MARANHÃO

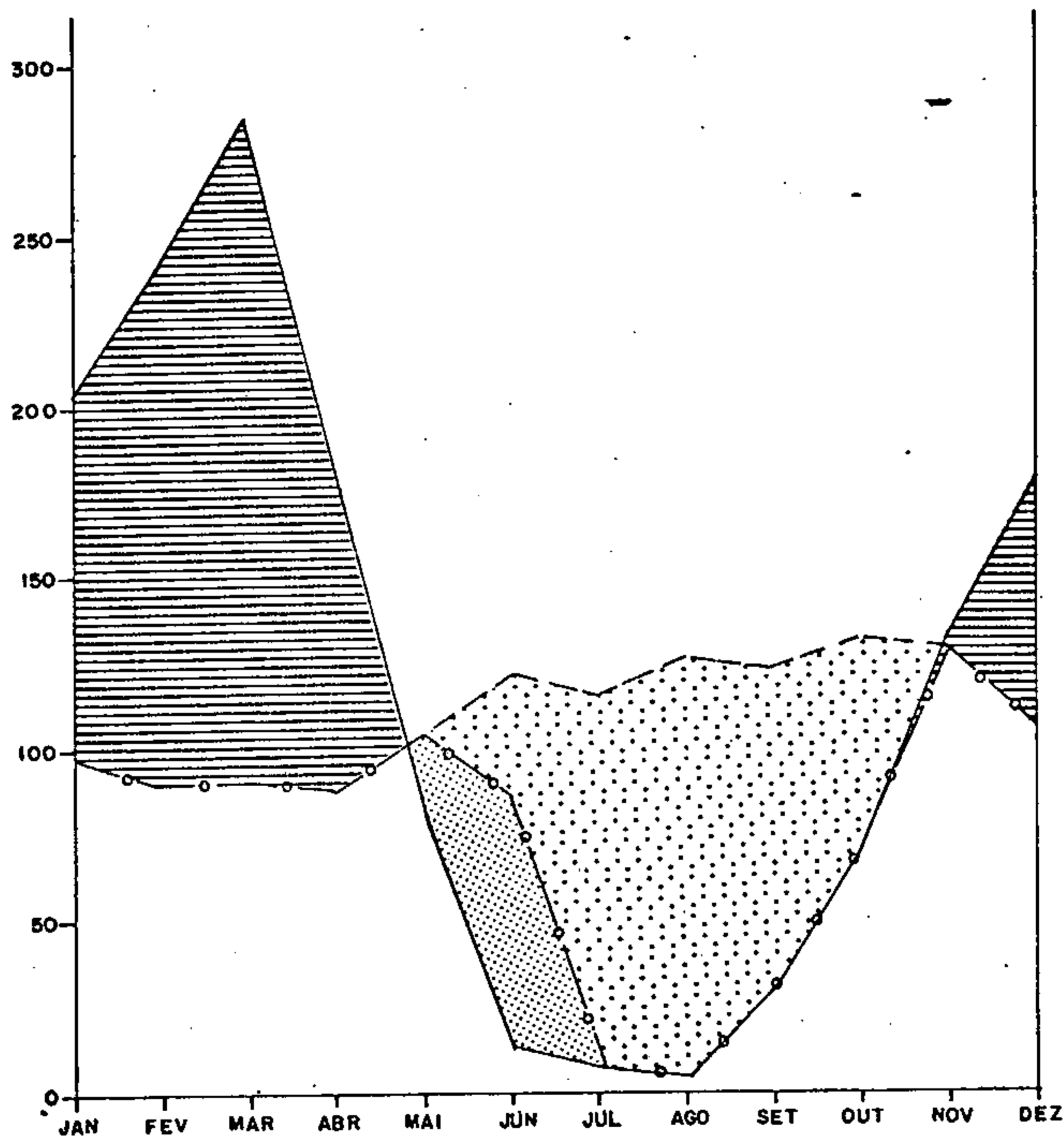
Latitude : 45°08'54" w

Longitude : 05°48'30" s

Período: 1913 - 1942, 1944 - 1959, 1965 - 1978

ELEMENTOS DO BALANÇO	M E S E S												TOTAL ANUAL
	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	
P = Precipitação	205,1	243,3	285,9	181,8	79,3	12,7	7,9	5,0	27,7	71,0	132,1	175,8	1.427,6
Etp = Evapotranspiração potencial	99,6	92,2	92,2	87,5	105,6	123,4	116,9	146,5	124,3	131,9	129,2	105,2	1.334,5
P - Etp	105,5	151,1	193,7	94,3	-26,3	-110,7	-109,0	-121,5	-96,6	-60,9	2,9	70,6	93,1
Variação de reserva de água útil	+ 29,4	—	—	—	-26,3	-73,7	—	—	—	—	+2,9	+70,6	—
Reserva de água útil	100,0	100,0	100,0	100,0	73,7	0	0	0	0	0	2,9	73,5	—
ETr = Evapotranspiração real	99,6	92,2	92,2	87,5	105,6	86,4	7,9	5,0	27,7	71,0	129,2	105,2	909,5
Déficit	—	—	—	—	—	37,0	109,0	121,5	96,6	60,9	—	—	425,0
Excesso	76,1	151,1	193,7	94,3	—	—	—	—	—	—	—	—	518,1
Escoamento	39,5	115,05	172,45	144,0	47,1	—	—	—	—	—	—	—	518,1
Coeficiente Mensal	1,05	1,64	2,10	1,07	-0,24	-0,89	-0,93	0,96	0,77	0,46	0,02	0,67	

BALANCO HIDROLÓGICO DA ESTAÇÃO -23.32
 GRAJAÚ - MA
 1913-1942, 1944-1959, 1965-1978

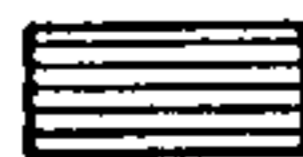


LEGENDA

— P

- - - Ep

- o - o - ER



Excesso de água + Reconstituição das reservas

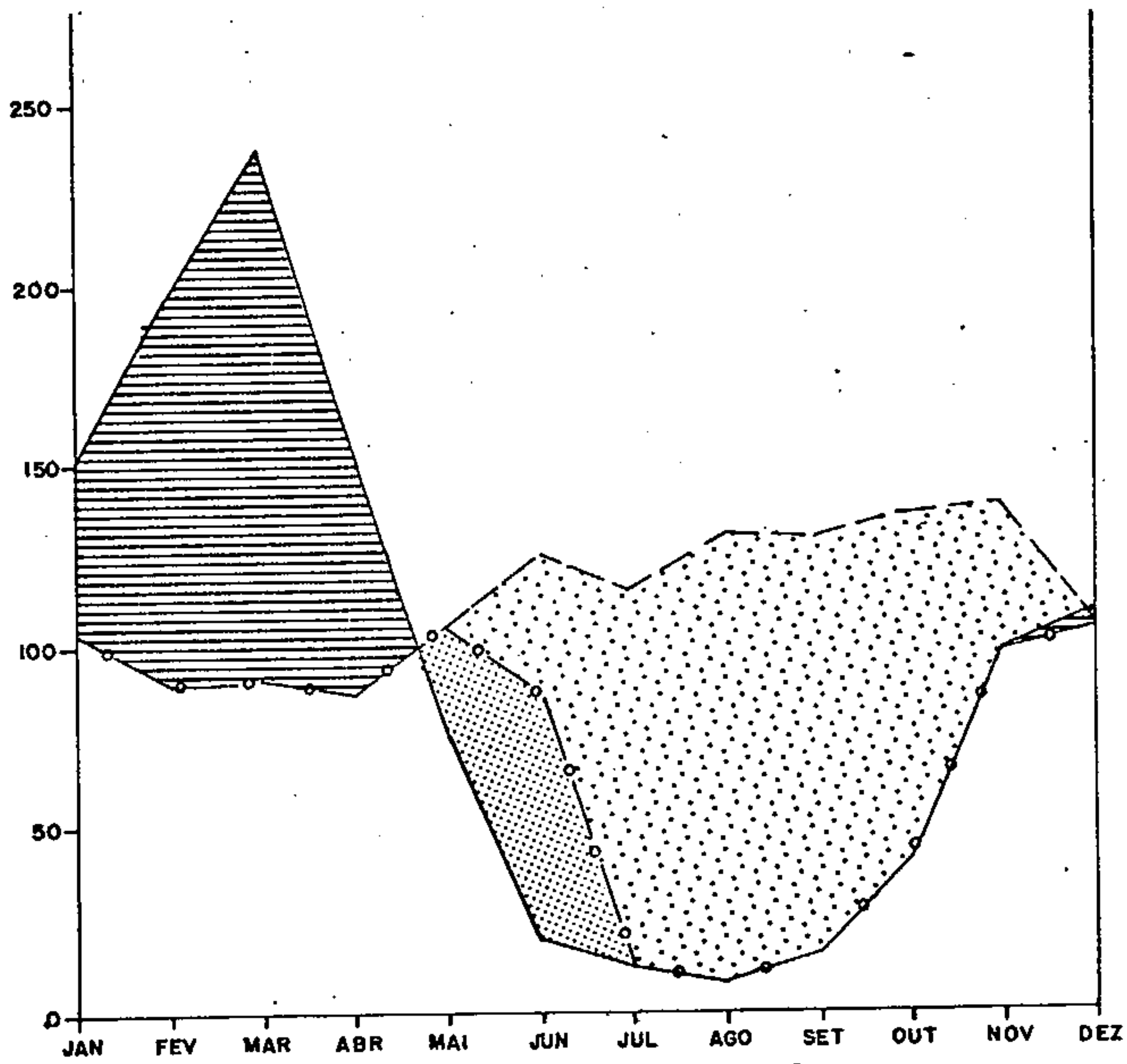


Déficit de água



Restituição das reservas de água do solo

BALANÇO HIDROLÓGICO DA ESTAÇÃO - 33.25
BARRA DO CORDA - MA
1965 - 1978



LEGENDA

— P

- - - Ep

- o - o - ER

Excesso de água + Reconstituição das reservas

Déficit de água

Restituição das reservas de água do solo

seringueira (*Havea brasilienses*), Castanheira (*Bertholletia excelsa*), Acapu (*Voucapoua americana*), Angico (*Piptadenia* sp), Sumauma (*Ceibapentandra*). Estas espécies ocupam, mais intensamente, solos de várzeas. Em terrenos mais secos e mais afastados dos cursos d'água, são comuns as seguintes espécies: Jabotá (*Hymenaea atilbocarpa*), Abiurana (*Lucuma lasiocarpa*), Peroba branca e preta (*Bignoniácea*). Há ainda, inúmeros tipos de palmeiras, tais como: Inajá (*Maximiliana regia*), Bacaba (*Oenocarpus disticus*), Pupunha rama (*Cocos spciosa*), Açaí (*Enterpe oleracea*), Babaçú (*Orbignya martiana*), Bacuri (*Platoma insignis*).

A cobertura vegetal tipo cerrado, é constituída por árvores relativamente baixas no máximo atingindo 10 metros de altura, pouco numerosas, espalhadas, tortuosas com troncos e galhos retorcidos, caules grossos, casca espessa, folhas pequenas e grossas, segundo Waibal (1948). As copas destas árvores muito raramente se tocam e suas raízes são profundas, oferecendo melhores condições de sobrevivência durante a época de estiagem. Estas árvores, estão disseminadas em meio a um tapete de arbustos e vegetação rasteira, constituídas por gramíneas que, possuindo raízes curtas, resente a falta de chuvas, tornando-as secas e entrando em estado de latência ou morte aparente. Com as primeiras águas que chegam, estas vicejam e reverdecem, sendo a sua altura máxima da ordem de 1 metro.

O cerrado é então, basicamente, formado por duas formas distintas, uma superior de árvores esparsas, e outra inferior por um espesso manto de gramíneas.

As espécies arbóreas mais importantes são, lixeira (*Curatella americana*), Jatobá (*Hymencela* sp), Pau-Terra (*Qualea* sp), Babaçú (*Orbignya olífera*), Araçá (*Psidium araçá*), Pequi (*Caryocar brasilienses*), Pau-de-colher-de-vaqueiro (*Salvertia couvalladiodora*), Buriti (*Mauritia vinifera*), Mangabeira (*Hancornia speciosa*), Faveira

(*Parkia platicephala*), Açoita-cavalo (*Luthea graudeflora*).

2.3 - MORFOLOGIA

Encontram-se na área, chapadões, tabuleiros e colinas, predominando as chapadas de relevo tabuliformes esculpados no dorso (centro-oeste) da bacia sedimentar. É retalhada por uma rede de drenagem encaixada (variando as altitudes entre 100 e 300 metros). O padrão de drenagem fluvial é retangular e mal definido, com várzea de inundação bastante larga, muito meandrado e com as encostas quase que verticais, recobertas pela mata amazônica de transição.

Os rios, que drenam a região, entalharam a sequência mesozóica sedimentar (Formação Itapecuru, Codó e Grajaú) ocorrendo, em seguida, erosões laterais dando lugar ao aparecimento de chapadas menores denominada, imprópriamente, de serras, como Serra do Gurupi, Serra do Tira cambú, e outras.

Na região de Grajaú, os chapadões basálticos e arenito-basálticos, na sua maior parte, compreendem terrenos de relevos suaves com cotas da ordem de 200 metros. Constituem, localmente, o divisor de um padrão de drenagem radial, compreendendo tributários do Tocantins a oeste, e os rios Grajaú e Pindaré, ao norte e a este, respectivamente.

Na porção setentrional, principalmente no extremo norte e nordeste, a geomorfologia já se apresenta com relevos de colinas suaves, que não chega a ser constituída por tabuleiros típicos, porém, por elevações suavemente onduladas.

Em toda esta área, os estratos apresentam um fraco mergulho, 1 a 2 m por km, em direção ao centro da bacia e, em certos locais, estes chegam a se apresentar sub-horizontalizados.

2.4 - HIDROLOGIA

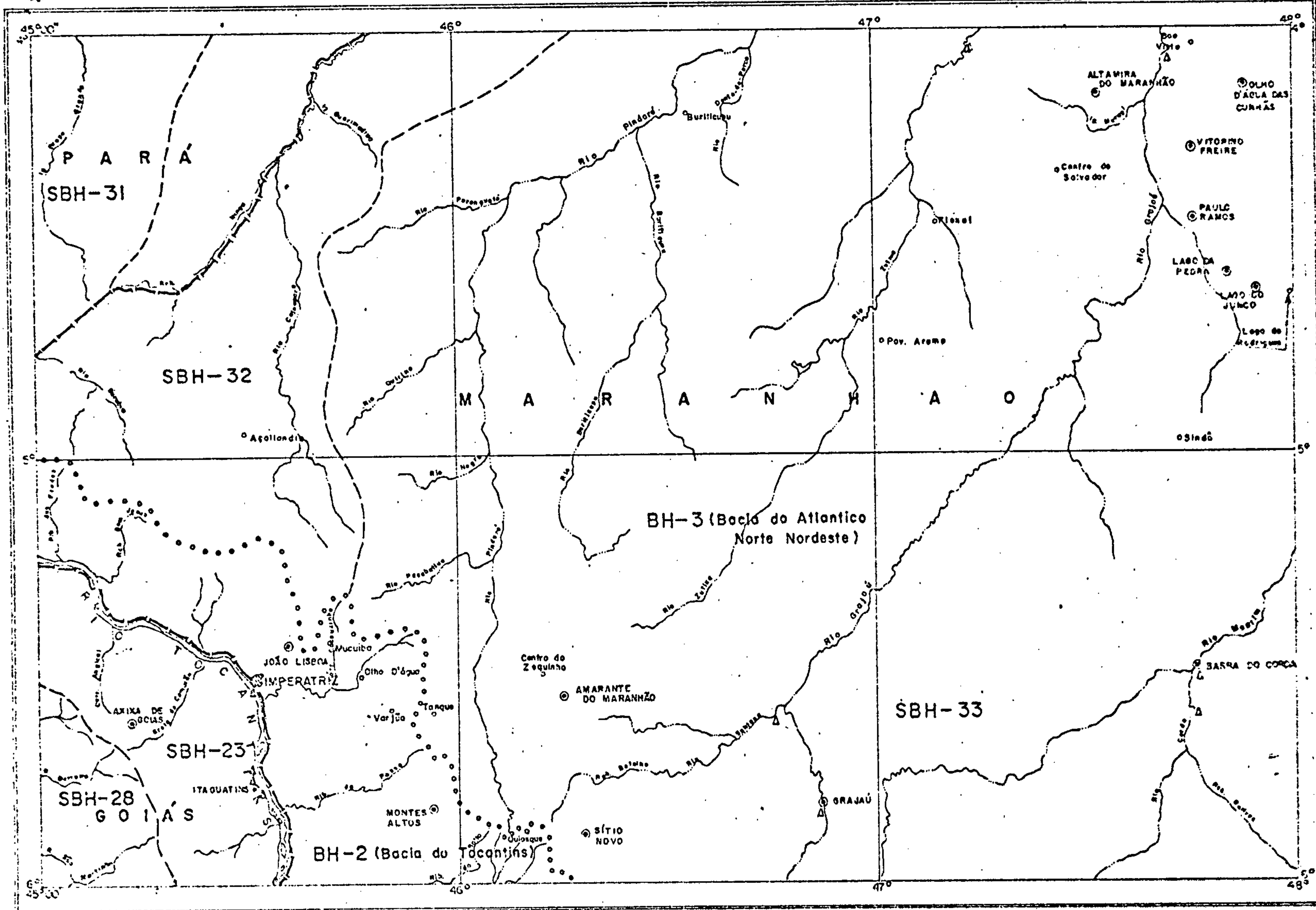
2.4.1 - Rede Hidrográfica

A rede de drenagem é constituída pela bacia hidrográfica do Rio Tocantins (BH-2) e pela bacia hidrográfica do Atlântico Norte (BH-3); a primeira é composta por duas sub-bacias: a 23 e a 28, e a segunda pelas sub-bacias 31, 32 e 33, de acordo com a codificação do DNAEE.

O divisor de águas, entre estas duas grandes bacias hidrográficas, é a Serra do Gurupi, com direção noroeste-sudeste, e está situada no quadrante sudoeste da área, conforme pode ser visto na Fig. 2.4.1.3.

2.4.1.1 - Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins

Ocupa uma superfície de aproximadamente 15% da área. É composta por duas sub-bacias. A primeira é a sub-bacia hidrográfica 23, cujo caudal principal é o próprio Rio Tocantins que, neste trecho, possui uma rede de drena



BACIAS E SUB-BACIAS
HIDROGRÁFICAS COM
REDE FLUVIOMÉTRICA

- CONVENÇÕES**
- Cidade Principal
 - Sede Municipal
 - Povoados
 - Rio e Riacho
 - Limite Interestadual
 - Limite da Bacia Hidrográfica
 - Limite de Sub-Bacia Hidrográfica
 - BH-2** Bacia Hidrográfica
 - SBH-23** Sub-Bacia Hidrográfica
 - Estação Fluviométrica

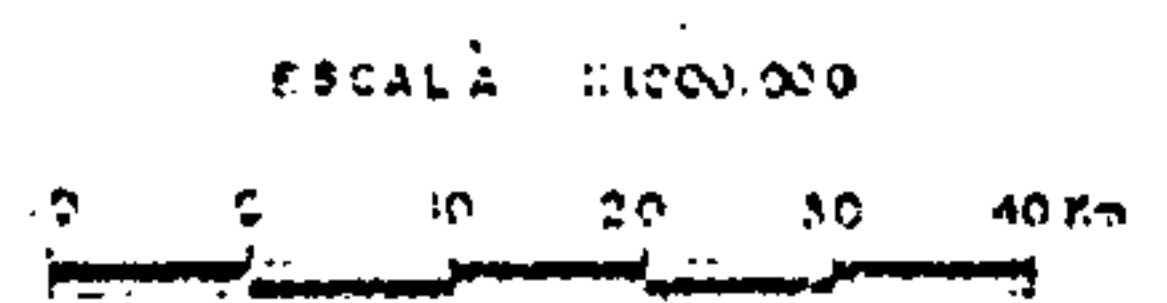


Fig. 2.4.1.3

gem constituída por pequenos córregos e ribeirões. A outra, é a sub-bacia hidrográfica 28. Os seus rios principais, situados nesta área, são os Rio São Martinho e Rio Barreiras, estes com águas seguindo rumo oeste e são afluentes do Rio Araguaia. O divisor de águas destas duas sub-bacias é a Serra Grande.

2.4.1.2 - Bacia Hidrográfica do Atlântico Norte

Ocupando os 85% restante da área esta bacia é formada por três sub-bacias hidrográficas: a 31, 32 e 33. A primeira (31) está situada na porção noroeste da área, quase que totalmente inclusa no Estado do Pará e ocupa pequena área; o principal curso de água é o Rio Bananal que tem suas nascentes na encosta da Serra do Gurupi e possui direção geral sul-norte; é perene e suas águas correm rumo ao norte.

A sub-bacia hidrográfica 32 é constituída pelos rios Cajuapara e Itinga. Estes rios tem suas nascentes nos contra-fortes da Serra do Gurupi, e estão encaixados entre a Serra do Tiracambu e o chapadão limítrofe entre os Estados do Pará e Maranhão. São rios perenes e possuem direção sudoeste-nordeste.

A sub-bacia hidrográfica 33, possui maior extensão e é formada pelos rios Pindaré, Zutua, Grajaú e Mearim. O Rio Pindaré nasce nas proximidades da Serra de Montes Altos, corre no sentido nordeste, tendo como afluentes da margem esquerda os rios Paranguetá, Quintino e Negro, e pela margem direita o afluente de maior importância

é o Rio Buriticupu. São rios perenes e de consideráveis volumes de água. O Rio Zutuia com sua grande extensão, corta uma região de muito difícil acesso. Nasce a noroeste da cidade de Grajaú e corre no sentido nordeste. Na maior parte do seu curso, ele é temporário, e não se tem conhecimento da denominação dos seus afluentes. O rio de maior importância da região é o Rio Grajaú, com suas cabeceiras localizadas fora da área e possui direção SW-NE. É perene e tem como afluente principal na margem esquerda o Rio Santana. Seus tributários da margem direita, são de pouca importância. O Rio Mearim e seu principal afluente, o Rio Corda, constituem uma pequena rede de drenagem e são perenes. A figura 2.4.1.3 apresenta as linhas divisórias destas sub-bacias.

2.4.2 - Escoamento Superficial

O escoamento superficial atuante dentro dos limites da área em estudo, está registrado em 9 (nove) postos de observações fluviométricos, todos controlados pela CPRM. Quatro dessas estações, Descarreto, Itaguatins, Imperatriz e Sítio Soturno, localizam-se nas margens do Rio Tocantins. O restante das estações fluviométricas, se distribuem da seguinte maneira: Gado Bravo no Rio Santana, Grajaú, Madail e São João do Grajaú no Rio Grajaú, Esperantina no Rio Zutuia, Barra do Corda no Rio Mearim e a estação do Rio Corda no Rio Corda.

Todos estes postos possuem períodos de observações relativamente curtos, com exceção das estações de Grajaú e Barra do Corda, que tem, em média, 13 anos de leituras diárias registradas, conforme pode ser observado no

Quadro 2.4.2.1 (Catálogo de Observações Fluviométricas).

O Rio Grajaú, na estação fluviométrica de Grajaú, registrou uma descarga máxima de $594 \text{ m}^3/\text{s}$ durante o mês de abril de 1975, sendo a sua descarga mínima de $4,07 \text{ m}^3/\text{s}$ marcados no decorrer do mês de novembro de 1972. A área de drenagem deste posto é de 3.961 km^2 .

O posto fluviométrico de Barra do Corda, localizado nas margens do Rio Mearim, possui uma área de drenagem de 8.764 km^2 . A descarga máxima aí observada, foi de $234 \text{ m}^3/\text{s}$, registrada em abril de 1965 e a mínima de $33,8 \text{ m}^3/\text{s}$ em outubro de 1966.

2.4.3 - Recessões

A vazão dos rios, durante a época da estiagem, é alimentada pelas reservas d'água subterrâneas; este é o chamado período de recessão.

O coeficiente (α) da recessão foi calculado através da fórmula atribuída a Maillet: $Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$, na qual a descarga Q_t no instante t , é dado em função da descarga Q_0 no instante t_0 , no início da recessão.

As unidades da equação acima, foram expressas da seguinte maneira: Q_t e Q_0 em m^3/s , t em dias e o α tem a dimensão do inverso do tempo t^{-1} (dias^{-1}).

O volume aproximado, das reservas acumuladas no aquífero, no instante t_0 , é calculado através da integração da fórmula de Maillet, exposta a seguir:

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

ou

$$V_R = \frac{Q_0}{\alpha} (86.400) m^3$$

Foi realizado o estudo das recessões nos postos de Grajaú no rio do mesmo nome, e Barra do Corda no Rio Mearim.

O Quadro 2.4.3.1, representa a curva de recessão para a estação de Barra do Corda. Como pode ser observado, o período recessivo está situado entre os dias vinte e cinco de junho e vinte e sete de setembro.

São citados, a seguir, os dados básicos, e os resultados dos cálculos do coeficiente e do volume de recessão para Barra do Corda:

$$Q_t = 44,26 m^3/s$$

$$Q_0 = 55,41 m^3/s$$

$$\alpha = 0,0019692$$

$$V_R = 24,43 \times 10^8 m^3$$

$$t = 114 \text{ dias}$$

A Fig. 2.4.3.2 é representativa da recessão do Rio Grajaú para a estação de Grajaú. O período recessivo foi considerado entre 24 de julho a 02 de outubro e apresenta os seguintes dados básicos:

CURVA DE RECESSÃO DO RIO MEARIM EM BARRA DO CORDA

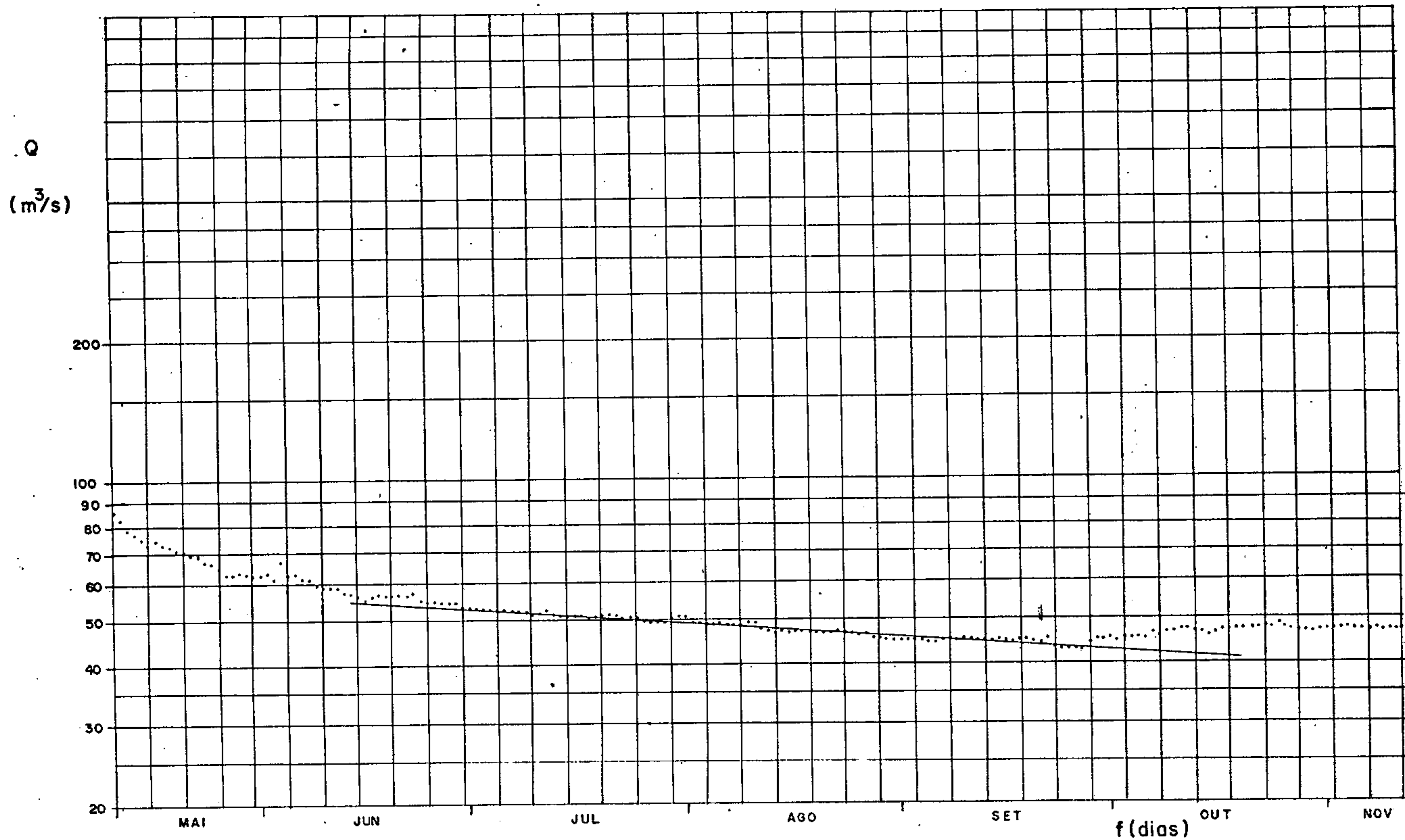


Fig 2.4.3.1

CURVA DE RECESSÃO DO RIO GRAJAU EM GRAJAU

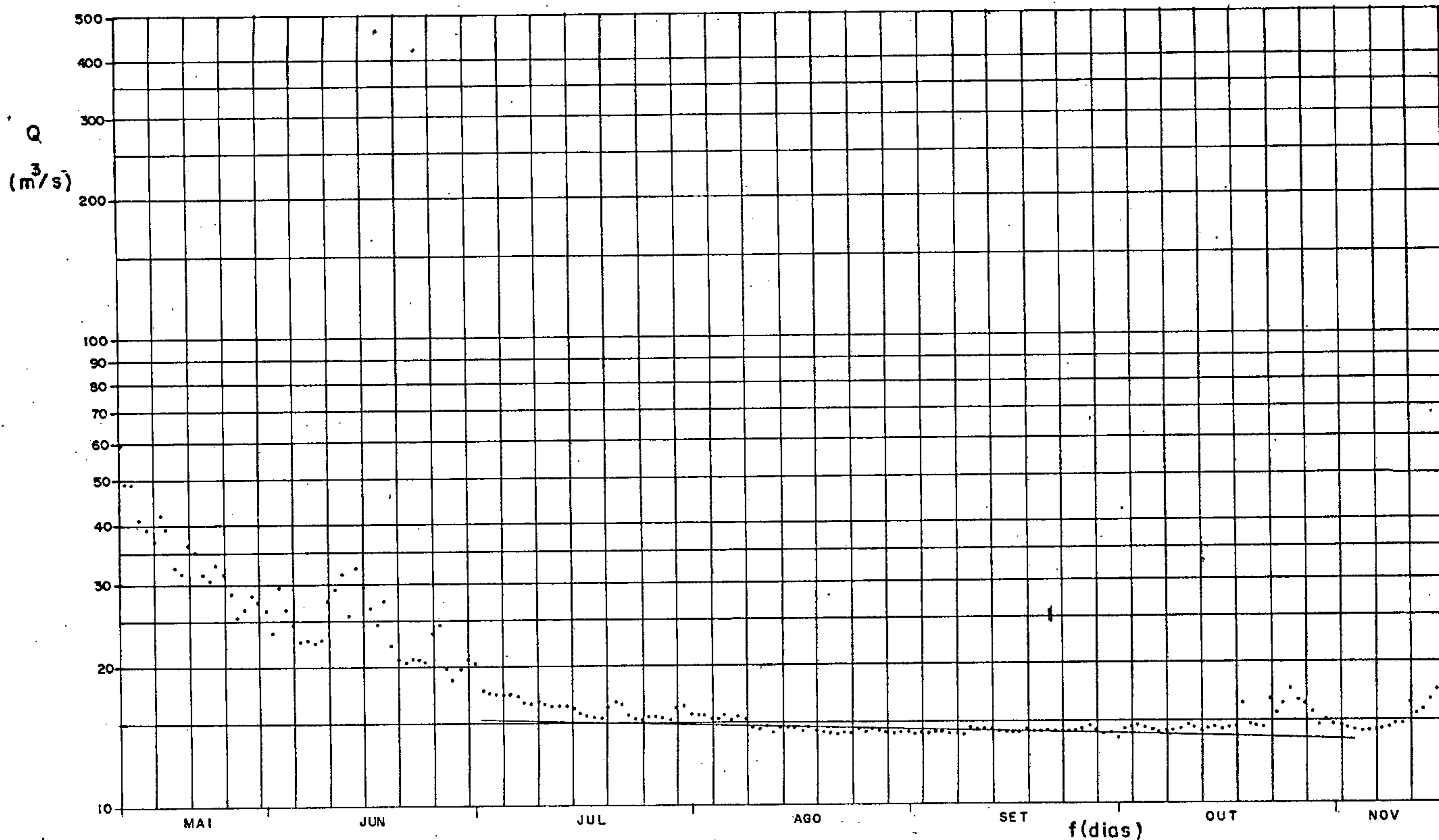


Fig. 2.4.3.2

$$Q_t = 8,99 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_o = 11,16 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$t = 62 \text{ dias}$$

Com base nos dados básicos acima referidos
calculou-se:

$$\alpha = 0,003488$$

$$V_R = 27,64 \times 10^7 \text{ m}^3$$

3 - GEOLOGIA

3.1 - GENERALIDADES

Na área ocorrem rochas sedimentares, e, subordinadamente, derrames básicos e ultrabásicos, localizados na borda ocidental da Bacia Sedimentar do Parnaíba. Estes sedimentos, são de idade mesozóica e cenozóica, havendo derrame basáltico ocorrido no mesozóico.

A grande Bacia Sedimentar do Parnaíba, enquadrada no tipo intra-cratônico, segundo Medeiros et alii (1978), está, geograficamente, encravada no meio-norte do Brasil. Ocupa quase que totalmente os Estados do Piauí e Maranhão, com suas bordas tocando os Estados do Pará e Goiás pelo lado oeste; e o Estado do Ceará pelo lado leste. Sua superfície é da ordem de 600.000 km², mostrando um formato aproximado de um poliedro hexagonal irregular. Esta deposição sedimentar, em tão vasta área, submetida a prolongadas variações climático-ambientais, e a efeitos tectônicos de pequena relevância, favoreceu a formação de uma grande variação de tipos litológicos presentes na bacia.

3.2 - ESTRATIGRAFIA

O quadro a seguir, representa a coluna estratigráfica da Bacia Sedimentar do Parnaíba proposta pelo Projeto Estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba (Quadro 3.2.1). As unidades estrati



COLUNA ESTRATIGRÁFICA DA BACIA DO PARNAÍBA NA FOLHA TERESINA — NO

CRONOESTRATIGRAFIA				UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA	LITOLOGIA	DESCRIÇÃO	AMBIENTE
ERA	SISTEMA	SÉRIE	IDADE / ANDAR				
CENOZOICO	QUATERNÁRIO			ALUVIÕES		Argilas, areias, calhaus. —	Continental
	TERCIÁRIO			COBERTURAS		Coberturas areno argilosas lateríticas eluviões depósito de talude.	
MESOZOICO	CRETÁCEO	SUPERIOR	ITAPECURU	ITAPECURU		Arenito vermelho argiloso níveis de siltito e argilito vermelho. Espessura: 200m a 600 m.	Continental, fluvial
		INFERIOR	ALBIANO	CODÓ GRAJAÚ		Codó: Folhelhos calcários e gipsita arenito fino. Esp: 20 a 180 m. Grajaú: arenito médio folhelhos e sílex. Esp: 20 m a 180 m.	Codó: Marinho Grajaú: Fluvio-Deltaico
			APTIANO				
		?	SARDINHA		Basalto cinza escuro, amigdaloidal. Espessura: 20 m (B) Diabasio: 5 a 200 m.	Continental	
	?						
	JURÁSSICO	SUPERIOR		CORDA		Arenito avermelhado e arroxado fino a médio, níveis de siltito e folhelho, conglomerado basais. Esp: 25 m a 83 m.	Fluvial lacustre com faixa eólica
		MEDIO		MOSQUITO		Basaltos verde escuro à preto matriz amigdaloidal, com zeólitos e calcedônia, intercalação de arenito. Espessura: 4 m a 175 m.	Extrusão fissural de lavas no continente em condições subaéreas.
		INFERIOR					
	TRIÁSSICO	SUPERIOR		SAMBAÍBA		Arenito róseo a esbranquiçado, fino a médio, estratificação cruzada planar de grande porte. Espessura: 200 m.	Continental, fluvial e eólico
		MEDIO					
	INF.						

Fig: 3.2.1

gráficas aflorantes na área em estudo são as seguintes: Formação Sambaiba (Rs), Formação Mesquita (Rm), Formação Corda (Jc), Formação Sardinha (Ks), Formação Grajaú (Kg), Formação Codó (Kc), Formação Itapecuru (Ki), Coberturas (TQc) e Aluviões (Qal).

3.3 - MESOZÓICO

Está representado pelas formações Sambaiba, Mesquita, Corda, Sardinha, Grajaú, Codó e Itapecuru.

3.3.1 - Formação Sambaiba

Próximo a cidade de Sambaiba-MA, existem pequenos morros aplanados (mesetas) constituídos por arenitos que, Plummer (1946), classificou como membro Sambaiba, pertencente à Formação Melancieiras.

Mesner e Wooldridge elevaram estes arenitos à categoria de formação, situando-a no Triássico Superior, sobreposta à Formação Pastos Bons.

Este trabalho adota a classificação proposta por Plummer (op. cit.), que considera a sequência arenosa Sambaiba como concordante sobre a Formação Mctuca e sob os basaltos.

Sua área de exposição é muito restrita, locali

zada no canto sudoeste. A feição geomorfológica local é representada por relevos planos e pequenos morros de topos aplanados. Em alguns locais, estes arenitos encontram-se recobertos por basaltos da Formação Mosquito.

Sua litologia é representada por uma sequência repetida de arenitos avermelhados, róseos, creme e esbranquiçados, finos a médios, com estratificação cruzada planar de grande porte, homogêneos, grãos arredondados, geralmente foscos. Nesta região, sua espessura aflorante, se situa em torno dos 20 metros, não sendo constatado o contato inferior, geralmente recoberto pelo areal resultante da erosão destes arenitos friáveis. O contato superior com os basaltos Mosquito é discordante, em parte. O ambiente deposicional é continental, fluvial e com níveis eólicos de clima predominantemente árido.

Apesar desta unidade ser afossilífera, sua datação é tida como Triássico médio a superior, com base em relações estratigráficas.

3.3.2 - Formação Mosquito

Os derrames basálticos com intercalações de arenito, que afloram no leito do rio Mosquito, a sul de Fortaleza dos Nogueiras-MA, é "locus typicus" desta unidade. Estas rochas foram primeiramente estudadas por Lisboa (op. cit.) em 1914, e posteriormente, por Aguiar em 1969, que as definiu como Formação Mosquito, subdividindo-a em 5 membros: Basalto inferior, Macapá, Basalto médio, Tinguí e Basalto superior. Os membros Macapá e Tinguí são constituídos por arenitos vermelhos com lei

tos de sílex e siltitos avermelhados e arroxeados.

As áreas de exposições da Formação Mosquito estão localizadas no extremo sudoeste e centro sul da Folha Teresina-NO. O relevo se apresenta plano ondulado, constituído por um espesso solo argiloso escuro, resultante do processo de intemperismo atuante. Estas rochas, quando frescas, mostram-se de cor vermelha escura a preta, maciça, afanítica, ocasionalmente amigdaloidal. A espessura aflorante chega aos 70 metros nas proximidades da cidade de Grajaú. Em subsuperfície, foram medidos 130 metros de rochas basálticas, no poço NGst-1-MA, perfurado pela Petrobrás. Em muitos locais, o basalto Mosquito encontra-se recoberto por finas camadas de sedimentos Corda.

O contato superior é discordante e erosivo, quer com a Formação Corda, quer com a Formação Itapecuru. O contato inferior com a Formação Sambaíba, também é discordante, no âmbito da área em estudo. Sua datação foi baseada em dados radiométricos, realizados em amostras frescas colhidas em subsuperfície, e se posiciona no Triássico superior a Jurássico médio.

3.3.3 - Formação Corda

Quem primeiro usou a nomenclatura Corda, foi Lisboa em 1914 (op. cit.) para agrupar arenitos vermelhos que afloram intercalados nos basaltos do vale do Rio Mearim, chamando-os de Série Mearim.

Em 1971, Moore trabalhando na região entre Barra do Corda, Grajaú e Fortaleza dos Nogueiras, ao estudar

estes arenitos, também suspeitou de um segundo derrame básico acima destes sedimentos, e os posicionou como de idade cretácea.

Aguiar, em 1964, situou estes sedimentos no Jurássico, inferindo uma espessura pouco superior aos 150 metros. Afloram na porção sudoeste da área e seus estratos estão levemente mergulhados, para o centro da bacia. Sua geomorfologia é representada por relevos planos, rebaixados e ondulados, com ocasionais mesetas de topo plano capeados por uma camada laterítica de até 5 metros de espessura. Na seção basal ocorrem arenitos conglomeráticos marron avermelhados e arroxeados, um tanto espessos, sobrepostos por arenitos avermelhados e arroxeados, argilosos, finos a médios, apresentando estratificação cruzada laminar de grande porte, localmente calcíferos, grãos arredondados e foscos. Ocasionalmente, ocorrem níveis pelíticos, constituídos por folhelhos e siltitos avermelhados e esverdeados, estrutura de aleitamento regular, possuidores de níveis fossilíferos, localmente calcíferos. Em Imperatriz foram medidos 25 metros aflorantes; em superfície, nesta mesma região, a Petrobrás, no poço IZst-1-MA, encontrou 30 metros de sedimentos desta formação.

A deposição destes sedimentos, se fizeram em ambiente continental e continental-lacustrino, fluvial e eólico. A espessura aflorante varia entre 20 e 50 metros.

O contato inferior com a Formação Mosquito, é discordante e erosivo. Os sedimentos da Formação Corda, são recobertos, discordantemente, pelas formações Codó, Grajaú e Itapecuru.

Sua idade geocronológica está posicionada no Jurássico superior, baseado no seu conteúdo fossilífero.

3.3.4 - Formação Sardinha

Moore (1960) mapeando entre Barra do Corda e Fortaleza dos Nogueiras encontrou basaltos próximo da aldeia Sardinha, na margem esquerda do Rio Corda e os situou sobre a Formação Grajaú.

Mesner e Wooldridge (op. cit.) posicionaram estes basaltos sobre a Formação Corda e abaixo da Formação Codó.

Aguiar (op. cit., 1969) chamou estas rochas básicas de Formação Sardinha; colocou-as acima da Formação Corda e abaixo da Formação Itapecuru.

Aflorando a sudoeste de Barra do Corda, entre as aldeias Sardinha e Baixão do Peixe, e se estendendo até a localidade de Curives, apresenta, de uma maneira geral, uma área de exposição muito pequena. Seu relevo é plano-ondulado, sem expressivos destaques topográficos, apresentando um solo argiloso de coloração escura, devido a ação do intemperismo atuante. Estas rochas alteradas apresentam textura amigdaloidal, semelhante à do basalto Mosquito, porém, não foram visto afloramentos de rochas frescas.

Sua espessura não ultrapassa aos 20 metros e suas lavas se extravasaram através de fissuras em condições subaéreas continental, semelhante a Formação Mosquito.

Estes basaltos encontram-se, discordantemente, abaixo dos arenitos Grajaú e estão posicionados no Cretáceo inferior, com base nas relações estratigráficas.

3.3.5 - Formação Grajaú

Lisboa (1914) chamou de "arenito Grajaú", a sequência arenosa que aflora nas vizinhanças da cidade de Grajaú (MA) posicionando-a no Cretáceo.

Mesner, Wooldridge e posteriormente Campbell, não individualizaram estes arenitos, preferindo incluí-los na Formação Corda.

Aguiar (op. cit., 1969) usou a nomenclatura Grajaú, no mesmo sentido que Lisboa, para situar os arenitos que sobrepõem, discordantemente, os sedimentos Corda e aos basaltos da Formação Sardinha.

Carneiro (op. cit., 1972) mapeando a região de Barra do Corda, detectou uma equivalência cronocronoestratigráfica entre as formações Grajaú e Codó.

Os sedimentos desta formação afloram de maneira descontínua, por toda a porção sul da área em estudo; possuem relevo plano, formando extensos e monótonos chapadões, com rede de drenagem rarefeita em razão do alto grau de permeabilidade de suas rochas, apesar de, na região de Barra do Corda, estes sedimentos encontrarem-se bastante endurecidos. Sua litologia é predominantemente arenosa, constituída por arenitos cremes e esbranquiçados, finos a médios, limpos, e ocasionalmente bimodais, grãos foscos ou brilhosos, subangulosos ou arredondados, intercalados por níveis de folhelhos, estrutura homogênea ou aleitamento regular ondulado, ocasionalmente oxidados e silicificados.

A espessura aflorante destes sedimentos, está situada entre os valores mínimos de 10 metros e máximos de 35 metros.

O posicionamento lito-estratigráfico das formações Grajaú e Codó sugere uma equivalência crono-estrati

gráfica entre as mesmas conforme estabelecido no relatório de integração geológico-metalogenética do Projeto Global.

Em Sítio Novo (MA), ocorrem interdigitações de sedimentos Grajaú e Codó. A sul de Barra do Corda e a noroeste de Grajaú, os pelitos Codó estão abaixo dos psamitos Grajaú. Entre Itaguatins e Imperatriz, aflora a sequência estratigráfica normal, formações Mosquito, Corda, Codó e Grajaú.

O ambiente deposicional é de origem flúvio-deltaica e possui equivalência temporal com a Formação Codó, posicionada no Aptiano-Albiano.

3.3.6 - Formação Codó

O primeiro a estudar os folhelhos betuminosos e os calcários que afloram no vale do rio Itapecuru, foi Lisboa (1914).

Campbell (1947) datou estes folhelhos no Cretáceo inferior, e retificou dois anos após, posicionando estes pelitos em concordância, sobre a Formação Corda e sob a Formação Itapecuru, atribuindo discordâncias locais.

Mesner e Wooldridge (op. cit.) situaram estes sedimentos, no Eo-cretáceo, depositados em ambiente lagunar e de mares residuais.

Aguiar (op. cit.) determinou que o contato da Formação Codó com as formações Grajaú e Itapecuru é concordante.

Carneiro (op. cit., 1974) verificou a interdigitação e a equivalência crono-estratigráfica com a Formação Grajaú. O seu contato superior é concordante com a Formação Itapecuru.

Leite et alii (1975) subdividiram esta unidade em 3 seções. A seção inferior, composta por conglomerados basais e folhelhos pretos, piritosos, ocasionais intercalações de calcário e níveis de gipsita. A parte média apresenta conglomerados, folhelhos cinza e margas piritosas. A superior, são siltitos e arenitos finos, carbonosos, calcíferos e piritosos.

A Formação Codó, aflora de forma restrita e descontínua, ocorrendo, geralmente, nos vales dos principais rios da região. Seu relevo é plano ondulado, sem expressivos destaques topográficos. Sua morfologia é suave, em razão do caráter essencialmente pelítico de suas rochas. A litologia é representada por uma sequência alternada de folhelhos escuros, localmente calcíferos, com aleitamento regular, fossilíferos e siltitos esverdeados, argilosos, homogêneos, com aleitamento regular, recobertos por restos de vegetais carboníferos. Os calcários são geralmente piritosos e/ou fossilíferos com ocasionais níveis finos de silixitos. Intercalados nestes calcários, existem lentes de gipsita.

A Formação Codó, determina o início de uma transgressão marinha, com ambientes alternados salobro-lacustrinos preenchendo as paleodepressões de formações mais antigas, deposição esta de caráter discordante. O contato superior com a Formação Itapecuru, é de uma maneira geral, concordante. Próximo a Barra do Corda observa-se a passagem do siltito argiloso creme intercalado com arenitos da mesma cor, fino, da unidade Codó, para os arenitos avermelhados, finos, argilosos, da unidade Itapecuru.

A espessura aflorante, máxima, é, em torno dos

20 metros.

Baseado em seu conteúdo fossilífero, ostracodas, gastropodes e braquiopodes, sua idade crono-estratigráfica é Cretáceo inferior, Aptiano-Albiano.

3.3.7 - Formação Itapecuru

Campbell (op. cit., 1949) estudando os arenitos de granulometria e colorações variegadas e siltitos e folhelhos de cores avermelhadas e esbranquiçadas, no vale do Rio Tocantins, denominou-os de Formação Serra Negra e, posteriormente de Itapecuru.

Barbosa et alii, pesquisando o flanco oeste da bacia do Parnaíba, considerou os sedimentos Itapecuru como equivalente à Formação Urucuia.

Neste trabalho adotou-se o ponto de vista de Campbell, ou seja, Formação Itapecuru. Seus sedimentos ocupam a maior área contínua aflorante. Seus estratos encontram-se subhorizontalizados a horizontalizados. Seu relevo é representado por dois tipos distintos: um dissecado, onde sua litologia é, predominantemente, argilosa, sendo sua rede de drenagem de padrão dendrítico denso. O outro tipo de relevo, são as mesetas e os extensos chapadões tabuliformes, essencialmente arenosos, com terminações em formas de escarpas abruptas, geralmente acompanhada por expressivas formas topográficas. A litologia é constituída por arenitos avermelhados, médios a grosseiros, com níveis conglomeráticos, muito argilosos, com caulim, estratificação plano paralela e cruzada, intercalados por camadas de argila e siltitos argilosos avermelhados por camadas de argila e siltitos argilosos avermelhados ou de coloração variegada, homogêneo. Seguem-se arenitos esbranquiçados, cre-

mes e avermelhados, fino e médio, argilosos, homogêneos ou com estratificação cruzada ondulada, ocasionais estruturas de corte e preenchimento com blocos de argila vermelha, intercalados por faixas de argilitos e siltitos argilosos, avermelhados. Em toda a sequência Itapecuru, existem falhas normais de pequenos rejeitos, causados pela acomodação de camadas plásticas alternadas por estratos de maior competência.

A espessura aflorante é de 200 metros. Esta sequência, depositou-se em ambiente continental, marcadamente fluvial, com eventuais mudanças para ambientes lacustrinos e de planície de maré, e de clima semi-árido.

É datado como Albiano-Cenomaniano através de correlações lito-estratigráficas.

3.4 - CENOZÓICO

Está representado por coberturas detríticas, de pósitos de talude e aluviões.

3.4.1 - Coberturas

As melhores exposições ocorrem de maneira descontinua, na porção setentrional da Folha em pauta. Afloram nos topos dos platôs, ou como depósitos de taludes e

recobrando as partes topograficamente mais baixas da Formação Itapecuru. Litologicamente, são sedimentos de coloração amarelado e avermelhado, homogêneo, semi-consolidados, mal classificados, de matriz areno-argilosos, com seixos de quartzo, caulim e limonita.

Sua espessura é variável podendo atingir até 15 metros, e estão posicionadas no Terciário.

3.4.2 - Aluviões

Estão representados pelos depósitos de constituição arenosa, areia, seixos e calhaus, com notáveis expressões nos terraços do Rio Tocantins.

3.5 - GEOLOGIA ESTRUTURAL

O comportamento estrutural é apresentado de uma maneira sucinta, pela ausência de grandes eventos tectônicos.

De uma maneira geral, as camadas encontram-se subhorizontalizadas. Seus estratos possuem direção E-W, concordante com a sequência normal da borda oeste. Existe uma suave inclinação para NW, nas proximidades de Imperatriz.

Entre Sítio Novo e Grajaú, Maranhão, nas proximidades

midades dos contatos das formações Codó e Itapecuru, o correm mergulhos anômalos, de caráter divergente Norte-Sul, variando entre 3° e 5° .

Na faixa norte, predomina a Formação Itapecuru, composta por pequenos dobramentos e falhas normais de pequeno rejeito, ocasionados pela acomodação destes estratos.

3.6 - HISTÓRIA GEOLÓGICA

A sedimentação ocorrida nesta região, teve início no Mesozóico, durante o Triássico Superior, no final do segundo grande ciclo contínuo de deposição, e se prolonga até ao Recente.

Toda a área ainda reflete o sistema de orientação norte-sul que predomina na borda ocidental e, enquanto ainda se processava a sedimentação da Formação Sambaiba, em ambientes predominantemente continental, aconteceu o primeiro derrame de lavas da Bacia Sedimentar do Parnaíba, os basaltos Mosquito. Esta fase não foi contínua, mas de forma periódica e sofrendo interrupções com intenso processo erosivo, deixando a superfície destes basaltos bastante irregulares.

Nesta região, não houve deposição da Formação Pastos Bons.

A sedimentação Corda processou-se acima desta superfície irregular, com eixo de deposição provavelmente NE-SW e NW-SE, em ambiente continental fluvial, com alternância de períodos de maior quietude energética, o correndo, também, contribuição eólica devido a climas se

mi-árido a desértico.

Segue-se um segundo derrame de rochas ígneas, o magmatismo Sardinha, de caráter basicamente intrusivo, com pouca representatividade nesta Folha.

Um novo período erosivo aconteceu em toda bacia, acompanhado por uma nova fase de tectonismo, que favoreceu uma transgressão marinha, com deposição dos sedimentos marinhos salobro-lacustrinos Codó, ao mesmo tempo dos sedimentos flúvio-deltáicos Grajaú, interdigitados, durante o Albiano-Aptiano.

Concordantemente, acima das unidades Codó/Grajaú, se deu a deposição da Formação Itapecuru em ambientes continentais, relativamente tranquilos, ocupando grandes áreas superficiais, durante todo o final do Mesozóico.

O Terciário é representado por coberturas de tríticas lateríticas, relacionadas aos ciclos geomorfológicos, ocupando faixas consideráveis da porção setentrional da região. Os aluviões de idade quaternária encontram-se em processo de desenvolvimento, com maior representatividade nos vales de inundações do Rio Tocantins.

4 - HIDROGEOLOGIA

4.1 - GENERALIDADES

Neste capítulo serão analisadas as formações geológicas, que ocorrem na área em estudo, classificando-as sob o ponto de vista hidrogeológico, e calculando as suas reservas hídricas subterrâneas.

Foram catalogados 307 pontos, assim distribuídos: 194 poços amazonas que representam 63,2% do total; 60 fontes correspondentes a 19,5% e 53 poços tubulares correspondentes a 17,3%. Sua distribuição é bastante irregular, em razão da difícil penetração na região.

A densidade média é de 1 (hum) ponto para cada 234,5 quilômetros quadrados. As maiores concentrações de pontos de água por municípios encontram-se assim distribuídos: 21,17% em Grajaú, 15,63% em Imperatriz e 12,70% em Barra do Corda. O menor percentual 0,32% está localizado no município de Tocantinópolis-GO, devido a pequena porção daquele município incluída na área estudada.

A distribuição dos 53 poços tubulares, por formação geológica, é a seguinte: 71,70% na Formação Itapecuru, 16,99% na Formação Corda, 3,77% na Formação Grajaú e nos aluviões. Alguns perfis de sondagens, encontram-se no volume II deste relatório. Dos 194 poços manuais, sua maior concentração está localizada também na Formação Itapecuru (87,83%), seguida pela Formação Grajaú com 4,65%. As fontes apresentam a seguinte distribuição percentual para as diferentes formações presentes na área: Formação Itapecuru com 48,33% e Formação Grajaú com 30% correspondendo a 29 e 18 fontes respectivamente.

A maioria dos pontos inventariados, cerca de 63% não possuem equipamentos. Os equipamentos conhecidos são: 50 motobombas, 55 sarilhos, 7 bombas manuais, 1 cavamento e 1 eletrobomba.

A média de profundidade dos poços tubulares é de 72 metros, entretanto, existem poços com profundidades superiores a 400 metros. As sondagens efetuadas pela Petrobrás na região constatou a espessura de mais de 2.000 metros de sedimentos.

Relacionando-se os valores médios, máximos e mínimos das profundidades dos poços manuais com as formações que ocorrem na área, teremos:

Formação Itapecuru

7,88 m	.....	(média)
45,40 m	.....	(máxima)
1,00 m	.....	(mínima)

Formação Codó

5,84 m	.....	(média)
12,30 m	.....	(máxima)
2,00 m	.....	(mínima)

Formação Grajaú

8,70 m	.....	(média)
31,80 m	.....	(máxima)
1,00 m	.....	(mínima)

Formação Corda

10,32 m	.....	(média)
12,80 m	.....	(máxima)
2,80 m	.....	(mínima)

As rochas basálticas afloram em uma área bas

tante restrita, observando no seu contato superior, a existência de numerosas fontes.

4.2 - GEOLOGIA E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

As rochas sedimentares da borda ocidental da Bacia do Parnaíba, alinhadas segundo o arcc do Tocantins, com direção geral N-S, sofre nesta região uma in flexão para NW na altura da cidade de Imperatriz-MA. A estrutura é do tipo monoclinal, seus estratos mergu lham, suavemente, rumo este-sudeste em direção ao centro da bacia, para onde fluem as águas subterrâneas. O fra turamento com direção geral norte-sul, em parte, foi a proveitado pelo curso do Rio Tocantins. Outros sistemas de falhas possuem direções nordeste-sudoeste e noro est-sudeste os quais, também, foram aproveitados pela rede de drenagem existente na região.

Com base nos dados existentes dos poços tubulares (ver perfis dos poços no volume de anexos), assim co mo nos furos estratigráficos realizados pela Petrobrás, (Quadro 4.2.10), pode-se traçar um razoável perfil hidro ge ológico, fundamentado no comportamento lito-estratigrá f ico-estrutural em subsuperfície. Os furos Izst-1-MA na cidade de Imperatriz e o NGst-1-MA, nos arredores da cidade de Grajaú atravessaram um pacote de 2.186 e 2.572 me tros de sedimentos respectivamente, até a Formação Pi menteiras. O furo SLst-1-MA no município de Santa Luzia, bem próximo ao limite norte da área, delimitou um pacote de 2.500 metros de rochas sedimentares, com uma interca la ção subordinada de basalto. O Quadro 4.2.10 especifica as espessuras das formações geológicas de subsuperf í

QUADRO 4.2.10
PROFUNDIDADE, ESPESSURA E COTAS DAS FORMAÇÕES,
EM POÇOS DA PETROBRÁS, PERFURADOS NOS DOMÍNIOS
DA FOLHA 07

POÇO JZ-St-1-MA - Long. 47°29'46" - Lat. 05°31'18" - Cota: 119,43 m

FORMAÇÃO	Qa1	Kc	Jc	Jpb		Ppf	Cpi	Cpo	Dcl	Dc	Dp	TOTAL (m)
Cota do topo (m)	119,43	97,43	77,43	49,43	-125,57	-600,57	-1097,57	-1162,57	-1327,57	-1718,57	-1975,57	—
Espessura (m)	22	20	28	175	475	497	65	165	391	257	81,8	2.176,80

POÇO BG-St-1-MA - Long. 46°07'37" - Lat. 05°48'47" - Cota: 209,00 m

FORMAÇÃO	Qa1	Kc	Jc	Jpb		Ppf	Cpi	Cpo	Dcl	Dc	Dp	TOTAL (m)
Cota do topo (m)	209	—	195	181	50	-343	-851	-987	-1.263	-2026	-2348	—
Espessura (m)	14	—	14	131	393	508	136	276	763	322	15	2.572,00

cie.

Os sedimentos aflorantes da Formação Codó e os basaltos da unidade Mosquito, apresentam fracas condições hidrogeológicas para captação de águas subterrâneas, enquanto as formações Itapecuru, Grajaú, Corda e Sambai-
ba, apesar de algumas limitações, constituem os principais sistemas aquíferos desta área.

Os poços manuais situados nas aluviões das margens do Rio Tocantins são de boa potencialidade podendo ser utilizado na captação de água para abastecimentos locais.

O Quadro 4.2.11, mostra, de uma maneira sucinta, as características hidrogeológicas das unidades aflorantes da área.

4.2.1 - Formações Paleozóicas em Subsuperfície

As formações geológicas que ocorrem em subsuperfície, no âmbito desta Folha, constituem um espesso pacote sedimentar assentadas em cima do embasamento cristalino de idade pré-Cambriana.

As unidades geológicas mais antigas atravessadas pelos furos estratigráficos executados pela Petrobrás, Quadro 4.2.10, foram: Pimenteiras, Longá, Pedra de Fogo, Pastos Bons e Motuca que, hidrogeologicamente, funcionam como aquíferos. As unidades Cabeças, Poti, Piauí são, regionalmente, caracterizadas como ótimos aquíferos ocorrendo, entretanto, nesta região, a grandes profundidades. As formações que dão continuidade a sequência estratigráfica, ocorrem em superfície, estando descritas nos

QUADRO: 4.2.II
LITOLOGIA E CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS
DAS FORMAÇÕES DA FOLHA 07 - TERESINA-PI

PERÍODO	FORMAÇÃO	ESPESSURA	LITOLOGIA	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICA
QUATERNÁRIO	Aluviões, Coberturas	15 m	Arelas, siltes, cascalhos.	Ótimas condições de altas potencialidades em áreas restritas.
CRETÁCEO	Itapecuru	200m	Intercalações de arenitos com siltes e argilas.	Classifica-se como de pouca potencialidade hidrogeológica, em consequência de seus sedimentos apresentarem baixa permeabilidade.
	Codó	20 m	Siltitos, folhelhos, com ocasionais intercalações de arenitos e calcários.	Condições hidrogeológicas fraca a muito fraca. Seus componentes são psamíticos e impermeáveis, é um aquífero.
	Grajaú	35 m	Arenitos médios, folhelhos e sílex.	Potencialidade média a fraca apresentada boa permeabilidade e boa porosidade.
DEVONIANO	Corda	40 m	Arenitos finos à médios, argilosos, com intercalações de siltes e folhelhos.	Mostra potencialidade média à fraca a constituição litológica favorece boa permeabilidade.
TRIÁSSICO	Mosquito	175 m	Basalto	Permeabilização através da rede de fraturas funciona como um aquífero.
	Sambalbo	70 m	Arenitos finos à médios com ocasionais películas de argila.	Ocorre, essencialmente, em subsuperfície, apresenta potencialidade de reserva fraca a média. Em superfície desperta pouco interesse devido a reduzida área de ocorrência.

itens a seguir.

4.2.2 - Formação Sambaiba

A Formação Sambaiba localizada na extremidade sudoeste da Folha, ocupa uma área muito restrita de 44km². Sua espessura aflorante é de, aproximadamente, 20 metros. Pelo que se pode observar na área vizinha, situada ao sul, existem evidências de continuidade desta formação, em sub superfície, rumo ao centro da bacia, fato comprovado no furo estratigráfico realizado pela Petrobrás, em Imperatriz.

Esta unidade é constituída por arenitos avermelhados, finos a médios, de origem eólica. São capeados pelos basaltos Mosquito que funcionam como camada confinante. Devido à sua composição litológica, e reduzida espessura, pode-se prever um aquífero de potencialidade fraca a média.

A alimentação do aquífero é feito através da infiltração direta das precipitações pluviométricas nas áreas de afloramentos.

O principal exutório do aquífero Sambaiba, é a evapotranspiração.

A superfície piezométrica obtida, mostra um escoamento em direção ao Rio Araguaia.

4.2.3 - Formação Mosquito

Os derrames basálticos afloram em pequenas áreas, no extremo sudoeste da Folha. Sua superfície é de 330 km², e foi medida uma espessura aflorante de 70 metros, na cidade de Grajaú. Ocorrem em subsuperfície, em toda extensão meridional, com espessura máxima de 175 metros medidos no furo estratigráfico de Imperatriz (Quadro 4.2.10). O mesmo não desperta interesses hidrogeológicos e é aqui classificado como um aquíclode.

4.2.4 - Formação Corda

A Formação Corda, com superfície de aproximadamente 2.896 km², está restrita a faixa sudoeste da Folha, onde foi medida uma espessura máxima aflorante de 50 metros. Em subsuperfície, estes sedimentos mostraram uma espessura média de mesmo valor.

Sua litologia é constituída por arenitos avermelhados e arroxeados, granulação fina a média, argilosos, com intercalações de níveis de folhelhos e siltitos avermelhados e esverdeados. Estes sedimentos encontram-se assentados nas paleodepressões dos basaltos que funcionam como assoalho semi-permeável desta unidade.

Hidrogeologicamente, este aquífero é considerado como de potencialidade fraca a média, fato comprovado pelos poços tubulares existentes em Imperatriz de vazão igual a 26.900 l/h, e em Montes Altos com a vazão de 14.400 l/h. No trabalho Estudo Geológico e Hidrogeológico-

co Preliminar da Região de Imperatriz-MA, do geólogo Paulo B. Brito, foram determinadas as características hidrodinâmicas para a Formação Corda. No poço nº 197 (cidade Imperatriz), foram determinados os valores seguintes:

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

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

$$S = 2,8 \times 10^{-2}$$

As referidas características serão consideradas como representativas para esta Folha, devido ser a única determinação de ordem técnica existente.

A alimentação deste aquífero é realizada pela infiltração direta das chuvas, favorecida pelo relevo plano como também pela contribuição das águas de superfície que infiltram-se através dos vales dos rios, já que esta formação oferece boas condições de permeabilidade e porosidade. Funcionam como exutórios do aquífero Corda a evapotranspiração e os processos de filtração vertical através de fontes nas zonas de contato com os basaltos.

A superfície piezométrica, inferida para esta formação, foi traçada com base nos pontos de água inventariados no presente estudo. As curvas desenvolvem-se de uma maneira aproximadamente paralela, ao longo do Rio Tocantins, com direção geral NW-SE.

4.2.5 - Formação Sardinha

A unidade Sardinha apresenta-se no âmbito desta folha ocupando uma área de 310 km², com uma espessu-

ra média estimada em 20 metros. Aflora em pequenas áreas ao sul da cidade de Barra do Corda, estando bastante in temperizadas. Não apresentam interesse hidrogeológico, sendo pois, classificadas como um aquíclode.

4.2.6 - Formação Grajaú

A Formação Grajaú apresenta áreas de exposi ções descontínuas, estendendo-se por toda a porção sul da Folha, ocupando uma área de 2.339 km². Sua espessura, ao longo desta faixa aflorante, situa-se em torno de 25 a 35 metros, ocorrendo em subsuperfície na porção me ridional da Folha, ao mesmo nível da unidade Codó na por ção oeste.

É constituída, predominantemente, por arenitos esbranquiçados e cremes, finos a médios com faixas grosseiras e conglomeráticas de baixa diagênese, podendo, localmente, estes arenitos apresentarem-se endurecidos devido a intrusões basálticas. Ocasionalmente, interca lam-se níveis de folhelhos e siltitos. Litoestratigraficamente, na região de Imperatriz, estes sedimentos encon tram-se ao mesmo nível da Formação Codó. Ao longo do Rio Grajaú, esta unidade encontra-se assentada diretamen te sobre os basaltos Mosquito, que funcionam como leito semi-permeável, observando-se maiores números de fontes neste contacto, como por exemplo, o ponto nº 151 (cida de de Grajaú) que abastece toda a população da cidade, com uma vazão de exploração de 600 m³/dia.

Seu potencial hidrogeológico foi classificado como de fraco a médio. Na cidade de Barra do Corda, o a

quífero Grajaú encontra-se confinado pelos sedimentos pelíticos Codó, onde os poços nºs 85 e 86 apresentam-se jorantes com 2.000 l/h e 24.000 l/h, respectivamente.

A alimentação deste aquífero é feita, principalmente, por infiltração direta das chuvas, e também, pela contribuição das águas dos rios que, nesta região, apresentam-se perenes o ano inteiro, correndo sobre sedimentos de boa permeabilidade e porosidade.

Os principais exutórios são a evapotranspiração e o sistema de filtração vertical, com possível perda de água descendente em determinados pontos para a Formação Corda, e ascendentes para a Formação Itapecuru.

A piezometria esboçada para esta formação, mostra que o escoamento do aquífero Grajaú se faz rumo ao vale dos rios Mearim e Grajaú.

4.2.7 - Formação Codó

Esta unidade geológica aflora em áreas de exposição quase sempre restrita aos vales e às pequenas bacias fluviais, compreendendo uma área de 3.182 km², com espessura máxima aflorante de 20 metros. Em subsuperfície foi medida uma espessura de 68 metros, no furo estratigráfico SLst-1-MA (Quadro 4.2.10).

Sua litologia é essencialmente pelítica, composta por uma sequência alternada de folhelhos e subordinadamente por níveis de arenitos finos. Hidrogeologicamente, estes sedimentos são classificados como um aquífero, ocorrendo, entretanto, níveis arenosos que fun

cionam como pequenos aquíferos fornecedores de água através de poços e fontes.

A alimentação desta formação é difícil devido à natureza pelítica dos seus sedimentos.

4.2.8 - Formação Itapecuru

Os sedimentos Itapecuru ocupam 57.307 km² de área, o que representa 79% do total, situando-se em toda porção central e norte da Folha. Sua espessura aflorante é superior aos 200 metros, estando esta formação posicionada na porção superior da coluna estratigráfica.

Litologicamente, é composta por uma sequência alternada de arenitos esbranquiçados, avermelhados e cremes, de grãos fino a médio, com níveis grosseiros na base, superpostos por argilitos e siltitos argilosos avermelhados.

Seu potencial hidrogeológico foi classificado como de fraco a médio.

A alimentação deste aquífero, é processada através da infiltração direta das águas pluviais e pela infiltração a partir dos rios. Esta alimentação, em parte, é dificultada, em consequência dos espessos estratos pelíticos, que funcionam como barreira semi-permeável, dificultando o movimento descendente. A contribuição através dos movimentos verticais ascendentes, quando possível, é realizada pelo aquífero Codó e pelo aquífero Grajaú, já que estas duas formações geológicas apresentaram interdigitação com equivalência cronoestratigráfica, isto é, estão no mesmo nível topográfico.

O principal exutório deste aquífero é a evapo transpiração que nesta região deve possuir taxas elevadas, em razão da exuberante vegetação, aliada à altas temperaturas e grande área de afloramento.

A superfície piezométrica, foi traçada baseando-se nos pontos de água selecionados.

4.2.9 - Aluviões

Grande parte das zonas aluvionais existentes na Folha, deixaram de ser mencionadas, por não ter representatividade na escala em que está sendo realizado este trabalho. Merece destaque a faixa aluvionar do Rio Tocantins, que ocupa uma superfície de 466 km².

Do ponto de vista hidrogeológico, esta aquífero possui potencial classificado como de médio a elevado. O furo estratigráfico IZst-1-MA, atravessou 22 metros destes sedimentos, na cidade de Imperatriz (Quadro 4.2.10).

4.3 - RESERVA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

As reservas de águas subterrâneas que foram estimadas a seguir, considerando-se as características hidrodinâmicas, dimensionais, bem como as condições de fluxos dos sistemas aquíferos. Neste estudo, apenas fo

ram consideradas as formações Piauí, Sambaíba, Corda, Grajaú, Codó, Itapecuru e os Aluviões. Pelo pouco conhecimento da geologia de subsuperfície, que se tem, deste lado da bacia, presume-se que certas unidades litológicas sofram distorções ou variações de fácies. Deixou-se de fazer maiores comentários a cerca da Formação Mosquito, que é uma camada basáltica semi-permeável, um aquíclode, e das coberturas terciárias que não despertam maiores interesses hidrogeológicos.

4.3.1 - Vazão de Escoamento Natural

Quando se tem conhecimento dos valores médios de permeabilidade (K) obtidos através de testes de bombeamento, da espessura da camada aquífera (E), e do gradiente hidráulico (i), é possível obter o valor da vazão do escoamento natural, através da expressão proposta por Darcy:

$$V = K.E.i.L$$

onde:

V = vazão de escoamento natural (m³/s)

K = coeficiente de permeabilidade (m/s)

E = espessura da camada aquífera (m)

i = gradiente hidráulico médio (m/km)

L = largura da frente de escoamento (m)

Quando não se tem testes de bombeamento e cur

vas piezométricas em determinadas formações, é possível se ter o volume do escoamento natural através do relacionamento da pluviometria média (obtida do mapa de isoietas médias anuais Fig. 2.1.2.2), com a área influente sobre a frente de escoamento e com a taxa de infiltração estimada:

$$V_1 = \frac{V}{A} \text{ mm / ano}$$

$$I = \frac{V_1}{P_m} \times 10^2 \% \text{ (taxa de infiltração)}$$

onde:

I = taxa de infiltração (%)

P_m = pluviometria média sobre a área

A = área influente sobre a frente de escoamento.

4.3.1.1 - Aquífero Sambaíba

O escoamento natural do aquífero Sambaíba, foi calculado considerando a taxa de infiltração estimada em 0,50% pela SERETE S/A - Engenharia, no vale do Rio das Balsas. A pluviometria média é de 1.750 mm/ano e a área de afloramento de 44 km².

$$I = 0,50\%$$

$$P_m = 1.750 \text{ mm}$$

$$A = 44 \times 10^6 \text{ m}^2$$

$$V = 0,50 \times 10^{-2} \times 1.750 \times 10^{-3} \times 44 \times 10^6$$

$$\frac{V}{R_s} = 0,385 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

4.3.1.2 - Aquífero Corda

O escoamento natural do aquífero Corda foi calculado pela fórmula de Darcy, baseado na superfície piezométrica da área e em testes de bombeamento desenvolvidos neste sistema, na cidade de Imperatriz.

Vale do Tocantins

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

$$E = 40 \text{ m}$$

- Flanco este

Isopiezométricas (250 m - 150 m)

$$i_{Jd_1} = 2,17 \times 10^{-3}$$

$$L_{Jc} = 24 \times 10^3 \text{ m}$$

$$V_{Jc_1} = 5,0 \times 10^{-5} \times 4 \times 10 \times 2,17 \times 10^{-3} \times 24 \times 10^3 = 1041,6 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_{Jc_1} = 3,28 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

- Flanco oeste

Isopiezométricas (200 m - 150 m)

$$i_{c2} = 3,57 \times 10^{-3}$$

$$L_{c2} = 25 \times 10^3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} V_{Jc2} &= 5,0 \times 10^{-5} \times 4 \times 10 \times 3,57 \times 10^{-3} \times 25 \times 10^3 = \\ &= 1.785 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$V_{Jc2} = 5,62 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

O escoamento total deste aquífero em direção ao Rio Tocantins é, portanto:

$$V_{Jc} = (5,62 \times 10^6) + (3,28 \times 10^6) \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$V_{Jc} = 8,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Admitindo-se que a área de recarga corresponde a área total de afloramento da formação, isto é, igual a 2.896 km^2 e que ocorre uma pluviosidade média de 1.750 mm/ano , tem-se uma taxa de infiltração de:

$$V_{Jc3} = \frac{8,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}}{2.896 \times 10^6 \text{ m}^2}$$

$$= 3,07 \text{ mm/ano}$$

$$I_{Jc} = \frac{3,07}{1.750} \times 10^2$$

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

4.3.1.3 - Aquífero Grajaú

Para o cálculo do escoamento natural desta unidade hidrogeológica, admitiu-se uma taxa de infiltração de 0,25%, considerando a pluviometria média de 1.600mm/ano, e a superfície da área aflorante 2.339 km².

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

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

$$A = 2.339 \text{ km}^2$$

$$V_{Kg} = 0,25 \times 10^{-2} \times 1.600 \times 10^{-3} \times 2.339 \times 10^6$$

$$V_{Kg} = 9,3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

4.3.1.4 - Aquitardo Codó

A Formação Codó, predominantemente pelítica, possui uma taxa de infiltração estimada de 0,20%, considerando uma pluviosidade média de 1.600 mm/ano, sobre uma área aflorante de 3.182 km²; o seu escoamento natural foi calculado em 10,1 x 10⁶ m³/ano:

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

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

$$A = 3.182 \text{ km}^2$$

$$V_{Kc} = 0,20 \times 10^{-2} \times 1.600 \times 10^{-3} \times 3.182 \times 10^6$$

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

4.3.1.5 - Aquífero Itapecuru

No cálculo do volume da vazão de escoamento natural desta formação, admitiu-se uma taxa de infiltração no valor de 0,25%, estimada pela SERETE S/A - Engenharia, na área vizinha da Folha 12. A superfície aflorante desta unidade é de 57.307 km², e a pluviosidade média é da ordem de 1.600 mm/ano.

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

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

$$A = 57.307 \text{ km}^2$$

$$V_{Ki} = 0,25 \times 10^{-2} \times 1.600 \times 10^{-3} \times 57.307 \times 10^6$$

$$V_{Ki} = 229,2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

4.3.1.6 - Aluviões

Os sedimentos inconsolidados de idade quaternária que ocorrem ao longo do Rio Tocantins, possuem uma

superfície de 466 km². Sua taxa de infiltração foi estimada em 0,50% baseado na Folha 18 (SUDENE) e adotou-se a pluviosidade média anual de 1.700 mm, de acordo com o mapa de isoietas (Fig. 2.1.2.2).

$$I_{VQa1} = 0,50\%$$

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

$$A = 466 \text{ km}^2$$

$$V_{Qa1} = 0,50 \times 10^{-2} \times 1.700 \times 10^{-3} \times 466 \times 10^6$$

$$V_{Qa1} = 3,96 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

4.4 - RESERVAS PERMANENTES

O volume de água armazenado na zona de saturação, isto é, na zona delimitada pela base do aquífero e pela superfície piezométrica mínima média e que pode ser drenada pela ação da gravidade ou sub ação de pressão é a reserva permanente do aquífero. Seu volume é calculado através da fórmula a seguir:

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

onde:

V_s = volume de água de saturação (m³)

A = superfície total do aquífero (m²)

E = espessura média saturada (m)

μ = coeficiente de restituição

Quando a água encontra-se sobre pressão, confinada nos aquíferos, seu volume é calculado pela fórmula:

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

onde:

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

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

h = carga hidráulica média (m)

S = coeficiente de armazenamento

As reservas permanentes que foram calculados para esta Folha, encontra-se no Quadro 4.4.6.

4.4.1 - Aquífero Piauí

Esta unidade ocorre em subsuperfície sob toda extensão da Folha, com uma área de aproximadamente 72.600 quilômetros quadrados, fato este comprovado através de furos estratigráficos realizados pela Petrobrás nesta Folha (Quadro 4.2.10). A sua profundidade situa-se em torno de 1.000 m, com uma espessura média da ordem de 250m. (Figura 4.4.1.1).

Para efeito de cálculos, considerou-se uma es-

QUADRO 4.2.10

ESPESSURA DAS FORMAÇÕES (m) DE POÇOS DA PETROBRÁS
PERFURADOS NOS DOMÍNIOS DA FOLHA 07

SIGLA	LOCALI- ZAÇÃO	COTA (m)	PROF. (m)	Qual (m)	Kc (m)	Jc (m)	(m)	Basal- to (m)	Ppf (m)	Gpi (m)	Cpo (m)	Dcl (m)	Dc (m)	Dp (m)
IZ-st-1-MA	05°31'18" 47°29'46"	119,43	2.176,8	119,43 /22	97,43/ 20	77,43/ 28	49,43/ 175	-125,57 /475	600,75 /497	-1097,75 /65	-1162,75 /165	-1327,75 /391	-1718,75 /257	-1975,75 /81,8
NG-st-1-MA	05°48'47" 46°07'37"	209,0	2.572,9	209/14	-	195/14	181/131	50/393	-343/ 508	-851/ 136	-987/ 276	-1263/ 763	-2026/ 322	-2348/ 15

QUADRO 4.2.11

LITOLÓGIA E CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS
DAS FORMAÇÕES DA FOLHA 07 - TERESINA-NO

PERÍODO	FORMAÇÃO	ESPESSURA	LITOLÓGIA	CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS
QUATERNÁRIO	Aluviões, Coberturas	15 m	Areias, siltes, cascalhos.	Ótimas condições de altas potencialidades em ambientes restritos, alimentados pelos cursos d'água.
CRETÁCEO	Itapecuru	200 m	Intercalações de arenitos com siltitos e argilas.	Se classifica como de pouca potencialidade hidrogeológica, em consequência de seus sedimentos apresentarem baixa permeabilidade.
	Codó	20 m	Siltitos, folhelhos, com ocasionais intercalações de arenitos e calcários	Condições hidrogeológicas fraca a muito fraca. Seus componentes são psamíticos e impermeáveis, é um aquífero
	Grajaú	35 m	Arenitos médios, folhelhos e sílex.	Potencialidade média a fraca apresentando-se com boa permeabilidade e boa porosidade.
DEVONIANO	Corda	40 m	Arenitos finos a médios, argilosos, com intercalações de siltitos e folhelhos	Mostra potencialidade média a fraca, cuja constituição litológica apresenta boa permeabilidade e boa porosidade.
TRIÁSSICO	Mosquito	175 m	B a s a l t o	Permeabilização através da rede de fraturas conectadas, funciona como um aquífero.
	Sambaíba	70 m	Arenitos fino a médio com ocasionais películas de argila.	Ocorre essencialmente em subsuperfície apresentando potencialidade de reserva fraca a média. Em superfície apresenta pouco interesse devido a reduzida área de ocorrência.

espessura média saturada da ordem de 80 metros e adotou-se um coeficiente de restituição igual a $2,8 \times 10^{-2}$, obtendo-se então:

$$V_{sCpi} = 72.600 \times 10^6 \times 8 \times 10 \times 2,8 \times 10^{-2}$$

$$V_{sCpi} = 162.624 \times 10^6 \text{ m}^3$$

As formações paleozóicas existentes abaixo do sistema Piauí não foram consideradas, em razão de sua grande profundidade.

O volume de água sobre pressão da Formação Piauí existente nesta área possui uma carga hidráulica média estimada em 800 metros com um coeficiente de armazenamento adotado de $S = 1,44 \times 10^{-3}$ da folha vizinha a sul, então:

$$V_p = 72.600 \times 10^6 \times 8 \times 10^2 \times 1,44 \times 10^{-3}$$

$$V_{pCpi} = 83.635 \times 10^6 \text{ m}^3$$

4.4.2 - Aquífero Sambaíba

Esta unidade aflora em uma pequena área no extremo sudoeste da Folha. Em subsuperfície ocupa aproximadamente 72.000 km^2 . Os furos estratigráficos considerados como guia, posicionam esta unidade no topo da formação Motuca. Considerando-se uma espessura média saturada de 30 metros assim como o coeficiente de restituição de $2,8 \times 10^{-2}$, estimado pela folha vizinha, se terá,

então, um volume de água de saturação de:

$$V_{s_{Ks}} = 72.000 \times 10^6 \times 3 \times 10 \times 2,8 \times 10^{-2}$$

$$V_{s_{Ks}} = 60.480 \times 10^6 \text{ m}^3$$

O volume de água sobre pressão, nesta unidade, está situada sob uma superfície de confinamento de, aproximadamente, 71.000 km^2 . Conforme os perfis da Petrobrás, adotou-se uma carga hidráulica média de 120 metros. O coeficiente de armazenamento adotado foi de $S = 4,3 \times 10^{-3}$.

$$V_p = 71.000 \times 10^6 \times 12 \times 10 \times 4,3 \times 10^{-3}$$

$$V_{p_{Ks}} = 36.636 \times 10^6 \text{ m}^3$$

4.4.3 - Aquífero Corda

A área do aquífero Corda é de, aproximadamente, 65.000 km^2 , sendo comprovada a sua continuidade em subsuperfície pelas sondagens da Petrobrás; a espessura média saturada é de 20 metros e o coeficiente de restituição adotado é de $2,8 \times 10^{-2}$, então o volume de saturação calculado é:

$$V_{s_{Kc}} = 65.000 \times 10^6 \times 2 \times 10 \times 2,8 \times 10^{-2}$$

$$V_{s_{Kc}} = 36.400 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Com uma área de confinamento de 20.000 km², sendo sua carga hidráulica média estimada em 100 metros e o coeficiente de armazenamento calculado na área com valor de $S = 4,3 \times 10^{-3}$, obtem-se:

$$V_p = 20.000 \times 10^6 \times 1 \times 10^2 \times 4,3 \times 10^{-3}$$

$$V_{p_{Kc}} = 8.600 \times 10^6 \text{ m}^3$$

4.4.4 - Aquífero Itapecuru

Aquífero livre, com uma área de 57.300 km² de extensão e uma espessura média saturada de 150 metros, com um coeficiente de restituição = $2,0 \times 10^{-3}$ estimado com base na Folha Teresina-NE. Seu volume saturado, é:

$$V_s = 57.300 \times 10^6 \times 15 \times 10 \times 2 \times 10^{-3}$$

$$V_{s_{Ki}} = 17.190 \times 10^6 \text{ m}^3$$

4.4.5 - Sedimentos Inconsolidados do Quaternário

Considerando um volume de água de saturação para os sedimentos quaternários, tendo por base uma espessura média saturada de 10 metros, o coeficiente de resti

tuição igual a 5×10^{-3} , e uma área de 466 km^2 , obtém-se:

$$V_s = 466 \times 10^6 \times 10 \times 5 \times 10^{-3}$$

$$V_{s_{Qa1}} = 23,3 \times 10^6 \text{ m}^3$$

4.5 - RESERVAS EXPLORÁVEIS

O aproveitamento racional das reservas exploráveis de uma região, é avaliado através do conhecimento do volume da vazão de escoamento natural dos aquíferos que adicionado a uma fração das reservas permanentes, pode ser aproveitado, sem provocar rebaixamento acentuado de nível estático regional do sistema aquífero, já que, anualmente, ocorre a renovação destes volumes durante o período das chuvas.

Quando a demanda de água torna-se excessiva e se chega ao nível de consumo das reservas (permanentes), esta situação fatalmente levará ao rebaixamento regional dos níveis de água, com o conseqüente esgotamento dos aquíferos fornecedores. Isto pode ser evitado através do conhecimento técnico programado, utilizando-se apenas uma quantidade racional de água. As reservas exploráveis foram avaliadas admitindo-se o seguinte:

- os aquíferos Piauí, Sambaíba, Corda, Itapecuru e aluviões foram considerados como potencialmente fornecedores de águas, sendo que as respectivas vazões de escoamento natural fazem parte das reservas exploráveis.

- o período de exploração foi estimado em 50 anos, considerando-se os rebaixamentos médios dos níveis regionais de cada aquífero, em função dos valores médios das respectivas cargas hidráulicas e espessuras saturadas.

A realização destes cálculos, são semelhantes aos que foram executados para a obtenção dos volumes de água de saturação e dos volumes de água sobre pressão, res salvando-se a diferença da espessura média saturada e da carga hidráulica média. No caso de aquíferos livres são, considerados, apenas, os rebaixamentos dos níveis estáticos.

Os Quadros 4.5.1 e 4.5.2 mostram, resumidamente, o resultado dos cálculos realizados para a avaliação das reservas permanentes exploráveis e recursos totais exploráveis da área em estudo.

Para o aquífero Piauí, que ocorre totalmente sob condições de confinamento, adotou-se uma perda de carga hidráulica média de 40 metros, sendo o seu volume explorável calculado em $4.180 \times 10^6 \text{ m}^3/50$ anos, ou $83,6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, que corresponde a 1,7% das reservas armazenadas.

O aquífero Sambaíba para uma perda de carga hidráulica média de 40 metros na zona sob pressão, e um rebaixamento regional de 10 metros na zona de saturação, resulta em um volume explorável de $12.220 \times 10^6 \text{ m}^3/50$ anos ou $244,4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, correspondendo a 12,5% das reservas armazenadas. Semando-se o escoamento natural, calculado em $0,4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, obtém-se os recursos exploráveis deste aquífero que se situa na ordem de $244,8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.

Quando ao aquífero Corda, foi admitido um rebaixamento regional médio de 5 metros de zona saturada e

QUADRO: 4.5.1
RESERVAS PERMANENTES EXPLORÁVEIS DA FOLHA 07 - TERESINA-NO

AQUÍFERO	ÁREA (Km ²)		COEFICIENTE		ÁGUA DE SATURAÇÃO			ÁGUA SOB PRESSÃO			VOLUME TOTAL EXPLORÁVEL (3)=(2) + (1) x 10 ⁶ m ³ / ano
	ÁGUA DE SATURAÇÃO	ÁGUA SOB PRESSÃO	RESTITUIÇÃO (μ)	ARMAZENAMENTO (S)	REBAIXAMENTO MÉDIO DO NÍVEL 50 anos (m)	VOLUME EXPLORÁVEL		PERDA DE CARGA MÉDIA/50 anos (m)	VOLUME EXPLORÁVEL		
						x 10 ⁶ m ³ /ano (1)	x 10 ⁶ m ³ /50 anos		x 10 ⁶ m ³ /50 anos	x 10 ⁶ m ³ /anos (2)	
Itopecuru	57.307	—	2,0 x 10 ⁻³	—	20	45,8	2.292,0	—	—	—	45,8
Corda	2.896	20.000	2,8 x 10 ⁻²	4,3 x 10 ⁻³	5	8,1	405,4	40	3.440	68,8	76,9
Sambaíba	44	71.000	2,8 x 10 ⁻²	4,3 x 10 ⁻³	10	0,2	12,3	40	12.212	244,2	244,4
Pioui	—	72.600	—	1,44 x 10 ⁻³	—	—	—	40	4.181,7	83,6	83,6
TOTAIS	60.247	163.600	—	—	—	54,1	2.709,7	—	19.833,7	396,6	450,7

QUADRO 4.5.2
RECURSOS TOTAIS EXPLORÁVEIS DA FOLHA 07 - TERESINA-NO

AQUIFEROS	RESERVAS PERMANENTES	RESERVAS PERMANENTES EXPLORÁVEIS			ESCOAMENTO NATURAL		RECURSOS EXPLORÁVEIS x 10 ⁶ m ³ /ano (3) = (2) + (1)	
		VOLUME DE EXPLORAÇÃO (x 10 ⁶ m ³)			(1) ANUAL	(2) VAZÃO (x 10 ⁶ m ³ /ano		% EM RE LAÇÃO AO VOLUME PRECIPITADO
		EM 50 ANOS		VOLUMES				
		% EM RELAÇÃO ÀS RESERVAS PERMANENTES						
Itapecuru	17.190	2.290,0	13,32	45,8	229,2	0,25	275,0	
Corda	45.000	3.845,0	8,54	76,9	8,9	0,20	85,8	
Sambaíba	97.116	12.220,0	12,58	244,4	0,3	0,50	244,7	
Piauí	245.568	4.180,0	1,70	83,6	-	-	83,6	
TOTAIS	404.892	22.535	5,56	450,7	238,4	-	689	

uma perda de carga hidráulica média de 40 metros obtendo-se um volume explorável de $3.845 \times 10^6 \text{ m}^3/50$ anos ($76,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$), ou seja, cerca de 8,54% das reservas armazenadas, sendo o seu escoamento natural da ordem de $8,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, e os seus recursos exploráveis calculado em $85,8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.

Com o aquífero Itapecuru apresentando um rebaixamento de, aproximadamente, 20 metros na zona de saturação calcula-se um volume explorável de $2.290 \times 10^6 \text{ m}^3/50$ anos ($45,8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$), que corresponde a 13,3% das reservas armazenadas; o escoamento natural foi avaliado em $229,2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, sendo os recursos exploráveis deste aquífero da ordem de $275 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.

O total das reservas permanentes exploráveis desta área situa-se ao redor dos $450,7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, que corresponde, então, a 0,11% das reservas permanentes; somando-se ao escoamento natural dos aquíferos considerados, os recursos totais exploráveis são de $689,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.

Se forem explorados, apenas, os volumes infiltrados anualmente, em todos os sistemas hidrogeológicos da folha, obtém-se $262 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ de água.

5 - HIDROQUÍMICA

5.1 - GENERALIDADES

Neste capítulo são definidas as classes geoquímicas das águas subterrâneas, sua qualidade e utilização e definição de áreas onde haja concentrações elevadas de sais.

As amostras analisadas foram coletadas em pontos de água previamente selecionados.

Os estudos analíticos destas amostras foram processados no Laboratório de Análises da Universidade Católica de Pernambuco, tendo sido determinados os seguintes constituintes principais (em mg/l): Ca^{++} , Cl^- , SO_4^{--} , Mg^{++} , Na^+ , HCO_3^- , Fe^{++} , NO_2 e NO_3 ; além de pH, resistividade a 25°C em ohm/cm, resíduo seco a 110°C em mg/l, alcalinidade e dureza em $^\circ\text{F}$.

A classificação das águas para o consumo humano foi determinada através dos diagramas de Schoeller-Berkaloff e a classificação das águas para irrigação, através do cálculo do RAS onde os valores em miligrama/litro foram transformados em miliequivalentes/litros.

5.2 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DAS ÁGUAS

As análises químicas mostram uma predominância de águas cloretadas e cloretadas carbonatadas em relação às águas mistas e sulfatadas, como pode ser constatada

do no Quadro 5.3.2.

Foram analisadas um total de 76 amostras de águas assim distribuídas: 15 pertencentes a poços tubulares, 14 a fontes e 47 a poços manuais amazons. Pode-se observar, que o grau de salinização mostrou um resíduo seco médio da ordem de 277 miligramas/litro, onde os valores extremos são 5 miligramas/litro, para o valor mínimo, registrado no ponto 178.07 e um valor máximo de resíduo seco de 2.206 miligramas/litro, para o ponto 218.07. Das águas analisadas, 73,6% apresentam resíduo seco inferior a 300 miligramas/litro. As águas que apresentam valores superiores a 600 miligramas/litro representam 11,9% do total. O Quadro 5.2.1 ilustra a distribuição de frequência dos resíduos secos das águas subterrâneas. Foram analisadas 66 amostras de água da Formação Itapecuru, apresentando um resíduo seco médio de 304,7 miligramas/litro. Da Formação Grajaú foram analisadas 6 amostras que apresentaram um resíduo seco médio de 44,8 miligramas/litro. As coberturas terciárias e quaternárias mostraram um resíduo seco médio de 47,5 miligramas/litro, em apenas duas amostras. Das formações Corda e Codó se estudou apenas uma amostra de cada unidade, as quais apresentaram resíduo seco médio de 653 e 49 miligramas/litro, respectivamente.

O pH apresentado em toda a área, é, em média, de 6,91, sendo o valor máximo de 9,45 (ponto 212.07), e o mínimo 3,40 (ponto 303.07). Nos poços tubulares, o valor médio de pH foi de 7,59 da mesma forma que nas fontes, que apresentaram pH médio de 7,06. Os poços amazons, que constituem a maioria dos pontos de água, possuem pH médio de 6,72. Do total, apenas 13 amostras indicaram valores de pH superiores a 8, o que corresponde a 17,1% das amostras analisadas. A média do valor do pH, por formação, é a seguinte:

Coberturas..... pH = 7,15

Formação Itapecuru.....	pH = 6,94
Formação Codó.....	pH = 6,80
Formação Grajaú.....	pH = 6,52
Formação Corda.....	pH = 6,70

A dureza apresenta valor médio da ordem de 6,38^oF. Das 76 amostras analisadas, 58, que corresponde a 88,1% do total, foram classificadas, segundo Klut Olszewski, como "muito moles" a "moles", por apresentarem valores de dureza entre 1 e 12^oF. Quatro amostras correspondendo a 5,3%, classificadas como "algo dura", localizam-se entre os valores 12 e 20^oF. Os 6,6% restante das águas, foram classificadas como "muito dura" e seus valores excedem os 20^oF. O valor mínimo de dureza encontrado, foi de 0,30^oF, nos pontos 058.07, 178.07 e 299.07, sendo o valor máximo de 78^oF, no ponto 120.07. Por formação geológica, a média das durezas ficou assim distribuída:

Coberturas.....	2,05 ^o F
Formação Itapecuru.....	7,17 ^o F
Formação Codó.....	1,40 ^o F
Formação Grajaú.....	5,20 ^o F
Formação Corda.....	1,90 ^o F

Os valores da condutividade elétrica, variam entre um mínimo de 10,50 micromho/cm e um máximo de 2.300 micromho/cm, sendo a média de 323 micromho/cm. Pôde-se observar que as formações Itapecuru e Corda apresentam os maiores valores de condutividade elétrica, enquanto que as formações Grajaú, Codó e as Coberturas mostraram valores relativamente baixos.

QUADRO 5.2.1
DISTRIBUIÇÃO DA FREQUÊNCIA DOS RESÍ-
DUOS SECOS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA FOLHA 07

VARIACÃO DE SALINIDADE EM RESÍDUO SECO (RS) (mg/l)	Nº DE AMOSTRAS	F R E Q U Ê N C I A	
		RELATIVA (%)	ACUMULADA (%)
0 - 100	25	32,89	32,89
100 - 200	24	31,57	64,46
200 - 300	7	9,22	73,68
300 - 400	5	6,58	80,26
400 - 500	6	7,89	88,15
500 - 600	0	0,00	88,15
> 600	9	11,85	100,00
T O T A I S	76	100,00	-

5.3 - CLASSIFICAÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS

Utilizaram-se diagramas Piper-Hill-Langelier, para determinar as diversas fácies químicas das águas que ocorrem na área, como pode ser observado pelas figuras 5.3.3 a 5.3.13. Nestes diagramas, as amostras foram agrupadas por formação geológica.

A distribuição de frequência das fácies químicas, figura 5.3.2, relaciona o número de amostras de cada grupo e subgrupo e a frequência relativa destes grupos químicos.

A figura 5.3.14, diagrama de frequência das

F Á C I E S Q U Í M I C A S	Nº DE AMOSTRAS	FREQUÊNCIA RELATIVA (%)
<p>2c) Cloretadas carbonatadas sódicas cálcicas $20\% < r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) < 60\%$ $20\% < r\text{Ca}^{++} < 60\%$ $r\text{Mg}^{++} < 20\%$</p>	4	5,3
<p>2d) Cloretadas carbonatadas magnesianas sódicas $20\% < r\text{Mg}^{++} < 60\%$ $20\% < r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) < 60\%$ $r\text{Ca}^{++} < 20\%$</p>	2	2,6
<p>2e) Cloretadas carbonatadas cálcicas magnesianas $20\% < r\text{Ca}^{++} < 60\%$ $20\% < r\text{Mg}^{++} < 60\%$ $r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) < 20\%$</p>	1	1,3
<p>3) Águas Carbonatadas Sulfatadas $20\% < r\text{SO}_4^{--} < 60\%$ $20\% < r(\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^-) < 60\%$ $r\text{Cl}^- < 20\%$</p>	1	1,3
<p>3a) Carbonatadas Sulfatadas cálcicas magnesianas $20\% < r\text{Ca}^{++} < 60\%$ $20\% < r\text{Mg}^{++} < 60\%$ $r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) < 20\%$</p>	1	1,3
<p>4) Águas Mistas $20\% < r(\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^-) < 60\%$ $20\% < r\text{Cl}^- < 60\%$ $20\% < r\text{SO}_4^{--} < 60\%$</p>	11	14,5

QUADRO 5.3.2
DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DAS
FÁCIES QUÍMICAS

F Á C I E S Q U Í M I C A S	Nº DE AMOSTRAS	FREQUÊNCIA RELATIVA (%)
<p>1) Águas Cloretadas $rCl^- > 60\%$</p> <p>1a) Cloretadas sódicas $r(Na^+ + K^+) > 60\%$</p> <p>1b) Cloretadas mistas $20\% < r(Na^+ + K^+) < 60\%$ $20\% < rCa^{++} < 60\%$ $20\% < rMg^{++} < 60\%$</p> <p>1c) Cloretadas magnesianas sódicas $20\% < rMg^{++} > 60\%$ $20\% < r(Na^+ + K^+) > 60\%$ $rCa^{++} < 20\%$</p>	<p>35</p> <p>27</p> <p>5</p> <p>3</p>	<p>46,0</p> <p>35,5</p> <p>6,5</p> <p>4,0</p>
<p>2) Águas Cloretadas Carbonatadas $20\% < r(CO_3^- + HCO_3^-) < 60\%$ $20\% < rCl^- < 60\%$ $rSO_4^- < 20\%$</p> <p>2a) Cloretadas carbonatadas sódicas $r(Na^+ + K^+) > 60\%$</p> <p>2b) Cloretadas carbonatadas mistas $20\% < r(Na^+ + K^+) < 60\%$ $20\% < rCa^{++} < 60\%$ $20\% < rMg^{++} < 60\%$</p>	<p>18</p> <p>6</p> <p>5</p>	<p>23,7</p> <p>7,9</p> <p>6,6</p>

F Á C I E S Q U Í M I C A S	Nº DE AMOSTRAS	FREQUÊNCIA RELATIVA (%)
4a) Mistas mistas $20\% < r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) < 60\%$ $20\% < r\text{Ca}^{++} < 60\%$ $20\% < r\text{Mg}^{++} < 60\%$	5	6,6
4b) Mista sódica cálcica $20\% < r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) < 60\%$ $20\% < r\text{Ca}^{++} < 60\%$ $r\text{Mg}^{++} < 20\%$	3	4,0
4c) Mista sódica $r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > 60\%$	1	1,3
4d) Mista magnesiana $r\text{Mg}^{++} > 60\%$	1	1,3
4e) Mista magnesiana sódica $20\% < r\text{Mg}^{++} < 60\%$ $20\% < r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) < 60\%$ $r\text{Ca}^{++} < 20\%$	1	1,3
5) Águas Sulfatadas Cloretadas $20\% < r\text{SO}_4^{--} < 60\%$ $20\% < r\text{Cl}^- < 60\%$ $r(\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^-) < 20\%$	6	7,9
5a) Sulfatadas cloretadas sódicas $r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > 60\%$	5	6,6
5b) Sulfatadas cloretadas magnesianas sódicas $20\% < r\text{Mg}^{++} < 60\%$ $20\% < r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) < 60\%$ $r\text{Ca}^{++} < 20\%$	1	1,3

F Á C I E S Q U Í M I C A S	Nº DE AMOSTRAS	FREQUÊNCIA RELATIVA (%)
6) Águas Carbonatadas $r(\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^-) > 60\%$	5	6,6
6a) Carbonatadas sódicas $r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > 60\%$	2	2,6
6b) Carbonatadas cálcicas. $r\text{Ca}^{++} > 60\%$	1	1,3
6c) Carbonatadas cálcicas magnesianas $20\% < r\text{Ca}^{++} < 60\%$ $20\% < r\text{Mg}^{++} < 60\%$ $r(\text{Na}^{++} + \text{K}^+) < 20\%$	1	1,3
6d) Carbonatadas magnesianas sódicas $20\% < r\text{Mg}^{++} < 60\%$ $20\% < r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) < 60\%$ $r\text{Ca}^{++} < 20\%$	1	1,3



CPRM

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

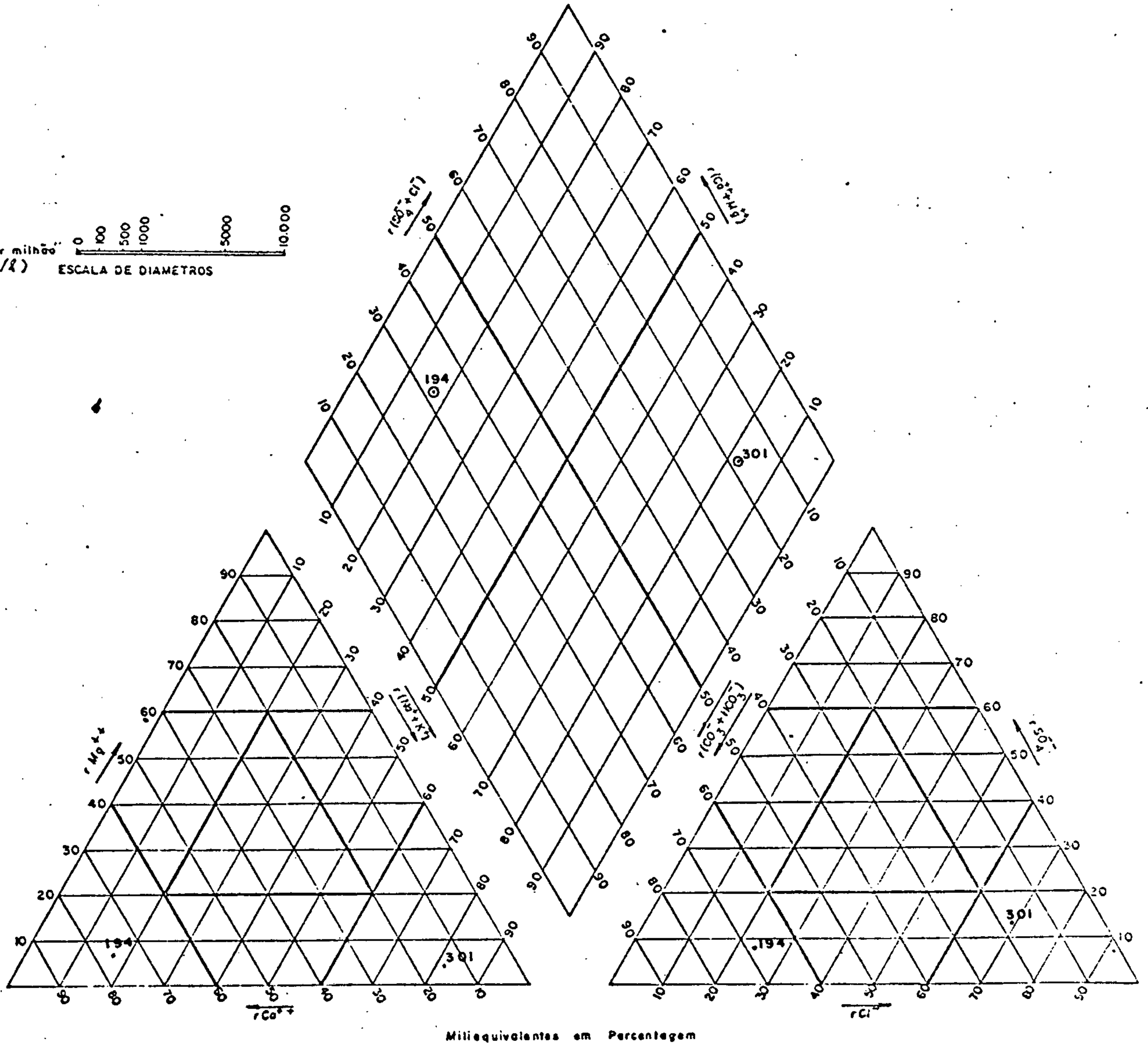
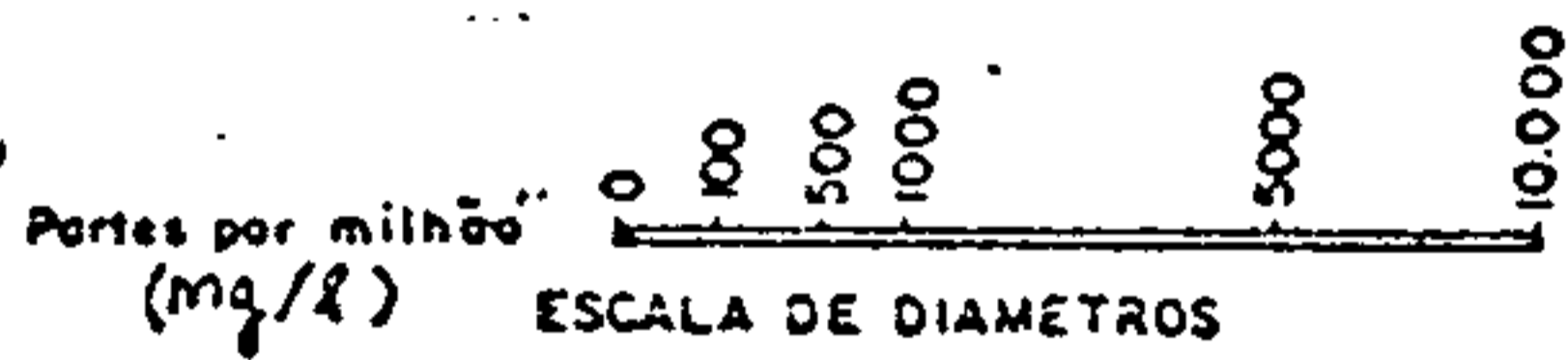
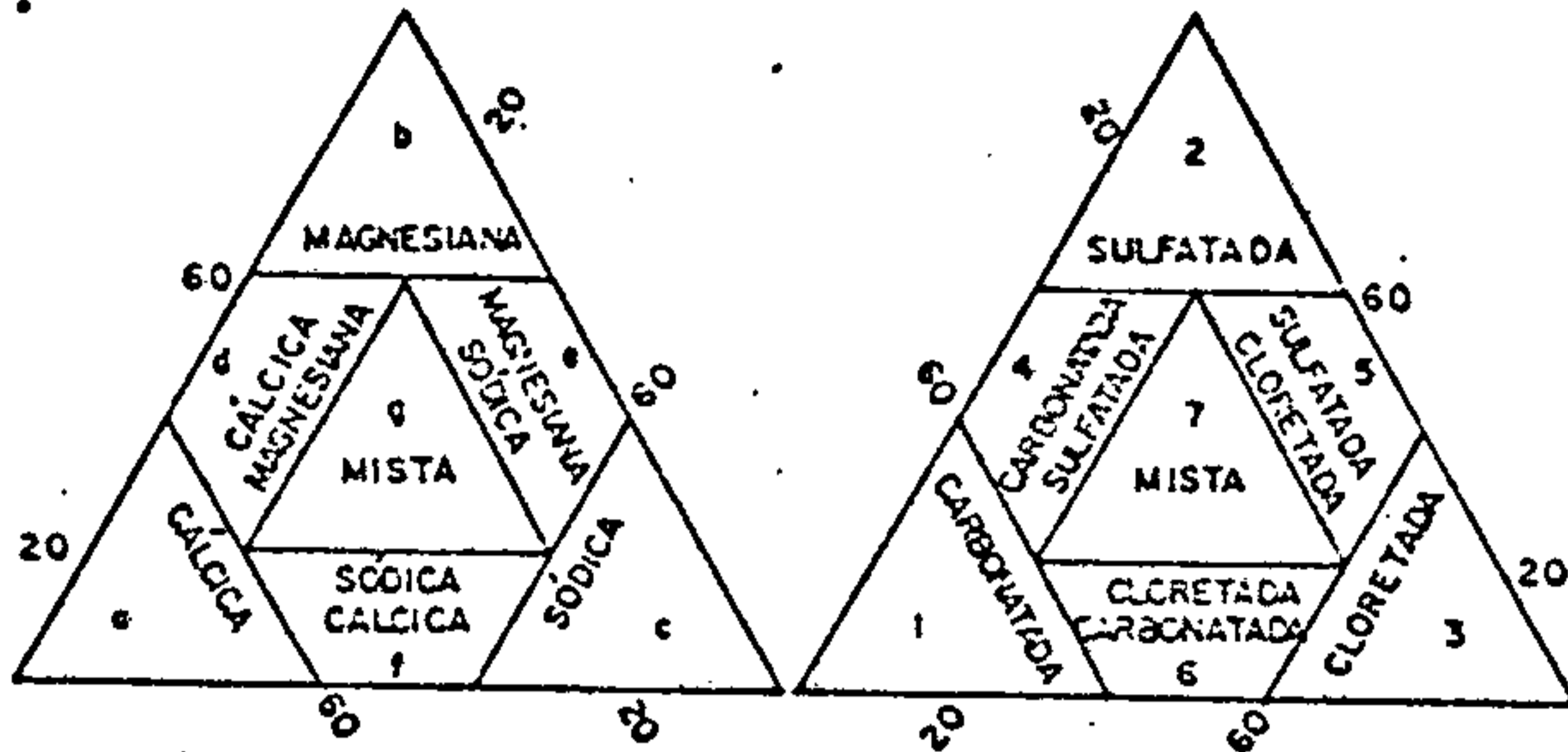
COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA
SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

FÁCIES HIDROQUÍMICAS
DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LANGELIER

FOLHA - 07

FORMAÇÃO TQc

AMOST.	SIM.	FÁCIES
194.07	○	1a
301.07	⊙	3c



Miliequivalentes em Porcentagem

Fig. 5.3.3

ES - 1 - COL - 30 - LANGE - 177

FOLHA - 07
 FORMAÇÃO - Ki

AMOST	SIM.	FACIES
028.07	♂	6c
029.07	⊙	6f
045.07	○	3c
048.07	○	6c
104.07	○	6e
214.07	○	3g
217.07	○	3c
218.07	○	3c
220.07	○	6c

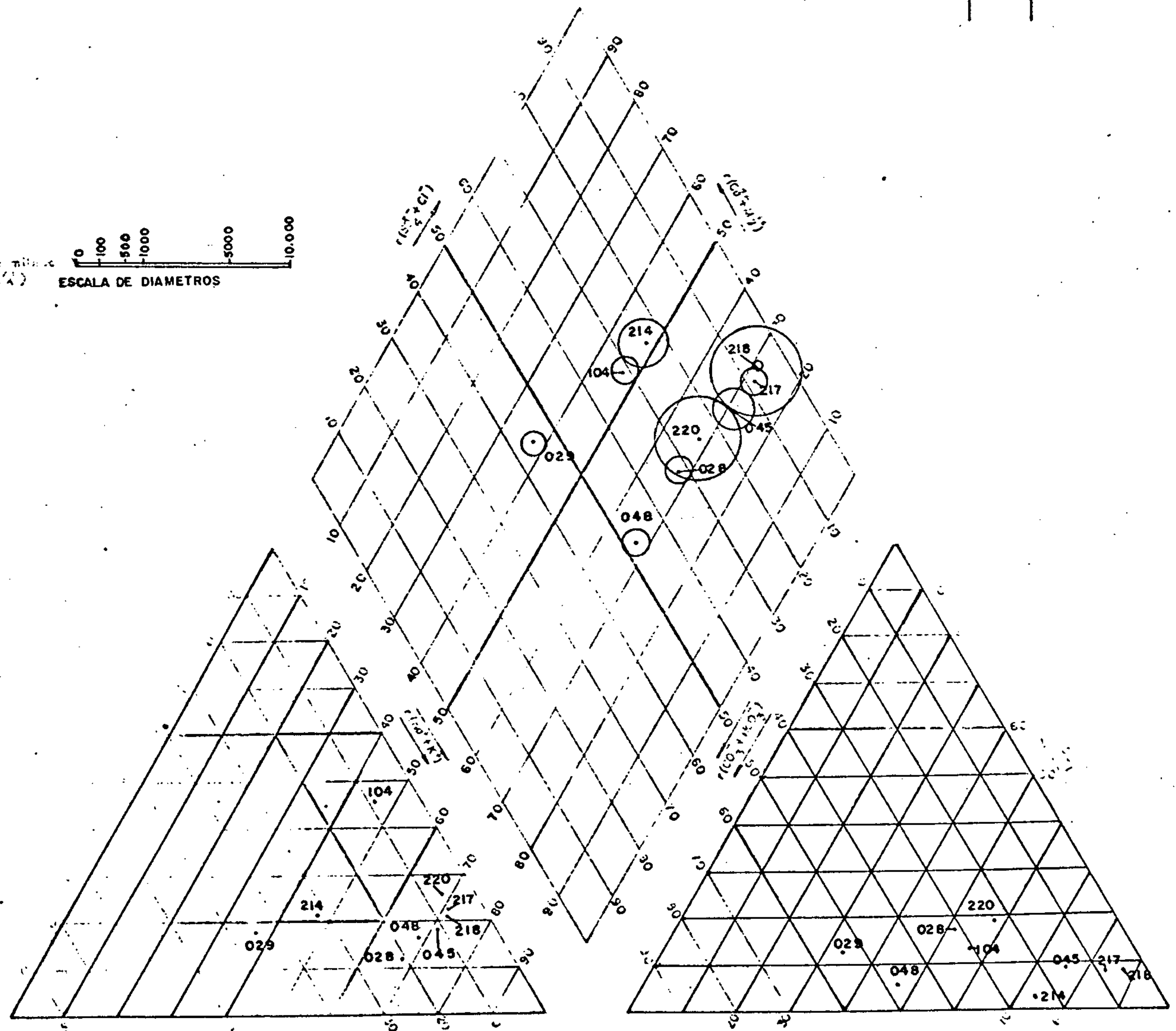
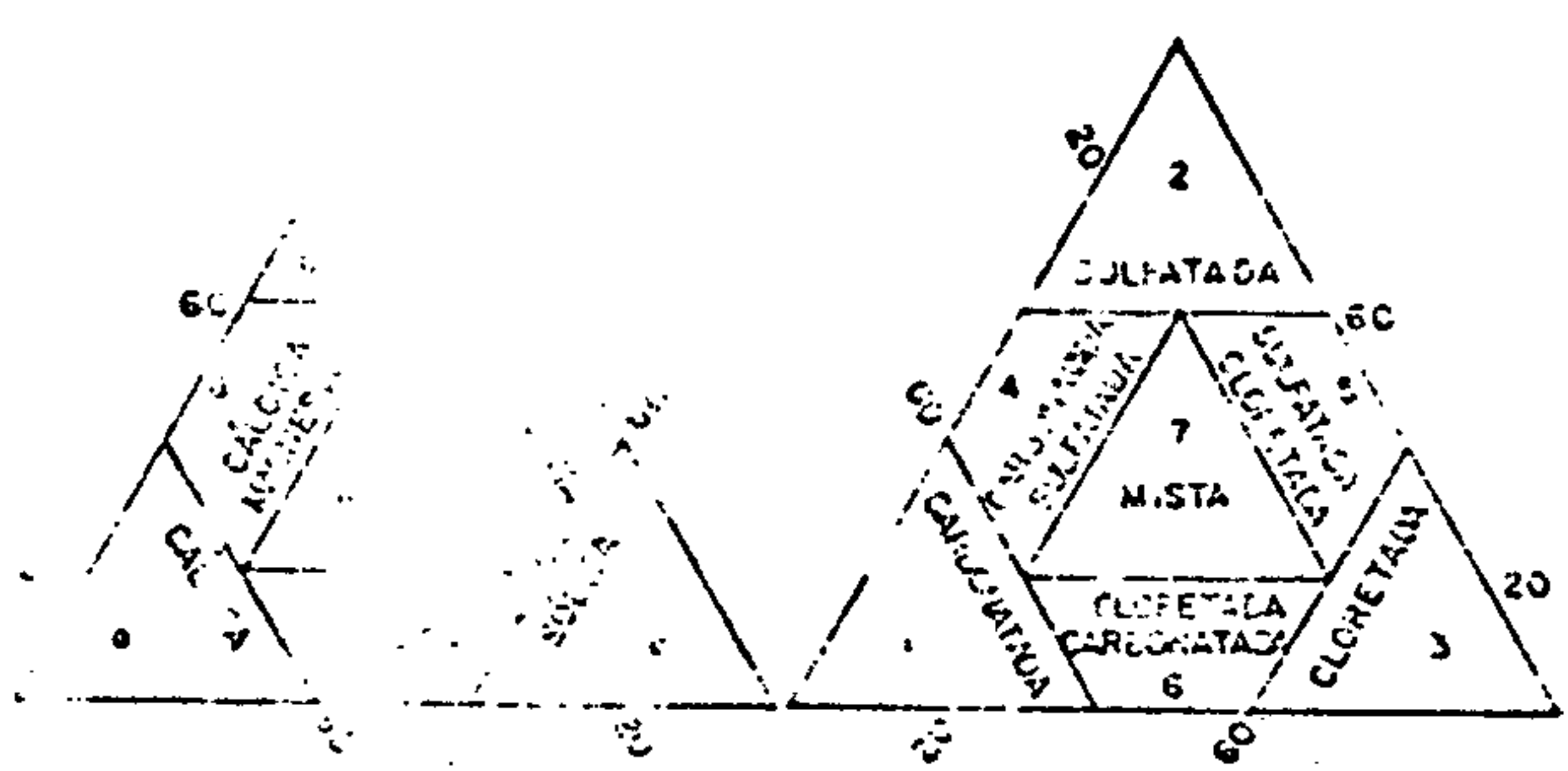


Fig 5.3.4.



CPRM

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

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

FÁCIES HIDROQUÍMICAS
DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LANGELIER

FOLHA - 07

FORMAÇÃO - Ki

AMOST.	SIM.	FÁCIES
050.07	⊙	3c
052.07	○	5c
056.07	○	3c
064.07	⊙	7e
069.07	⊙	1d
074.07	○	7f
075.07	○	3g
083.07	○	5c
085.07	⊙	1d
090.07	○	6g
093.07	○	3c

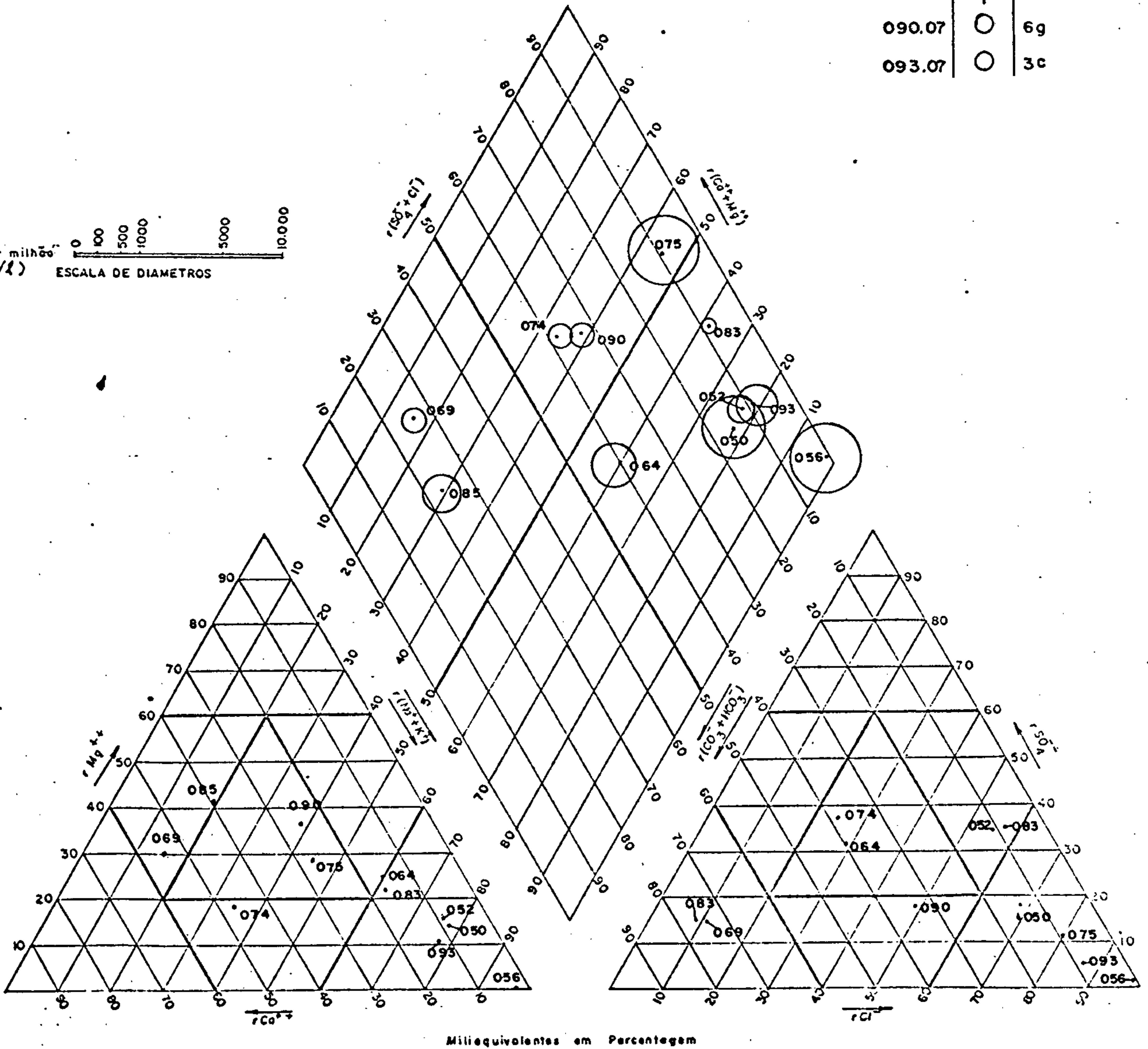
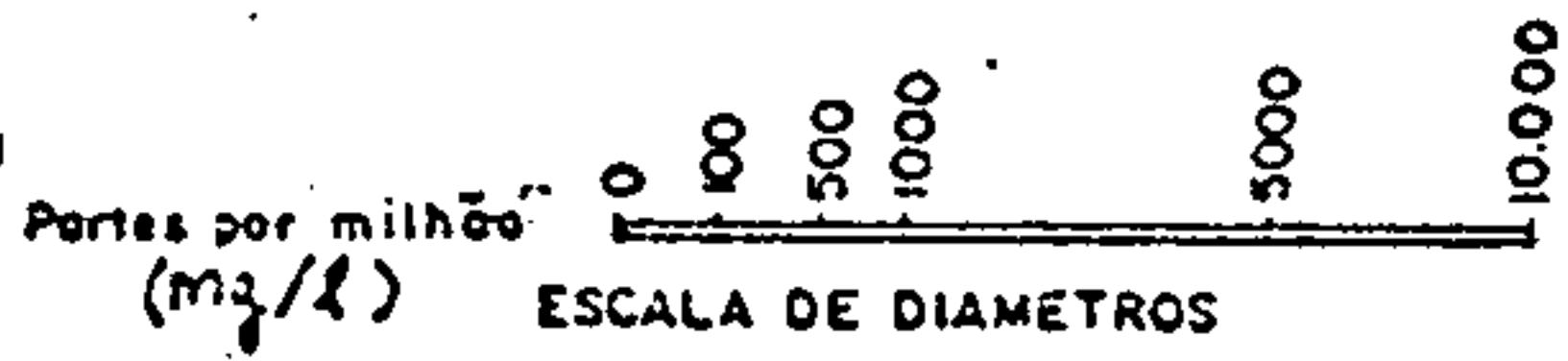
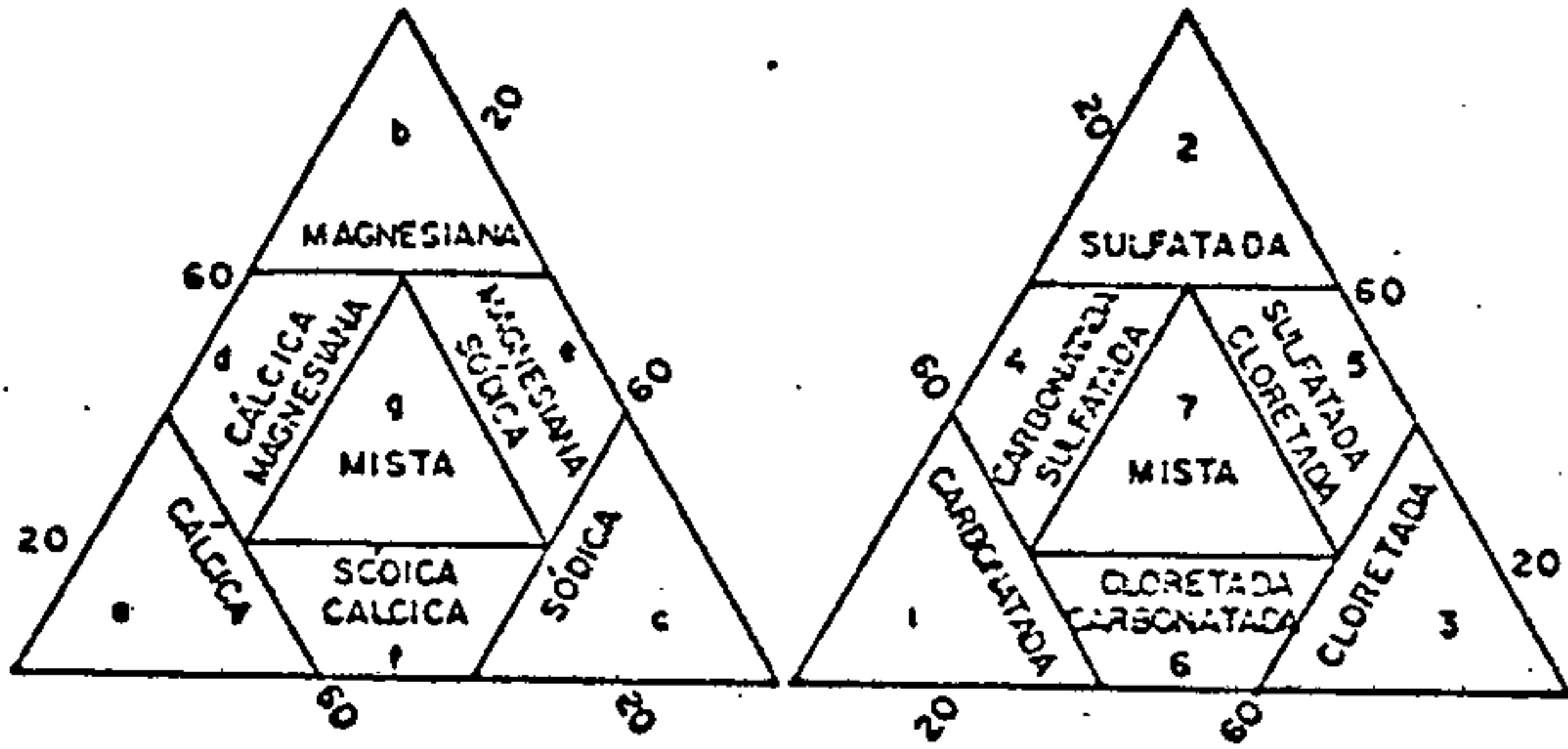


Fig. 5.3.5

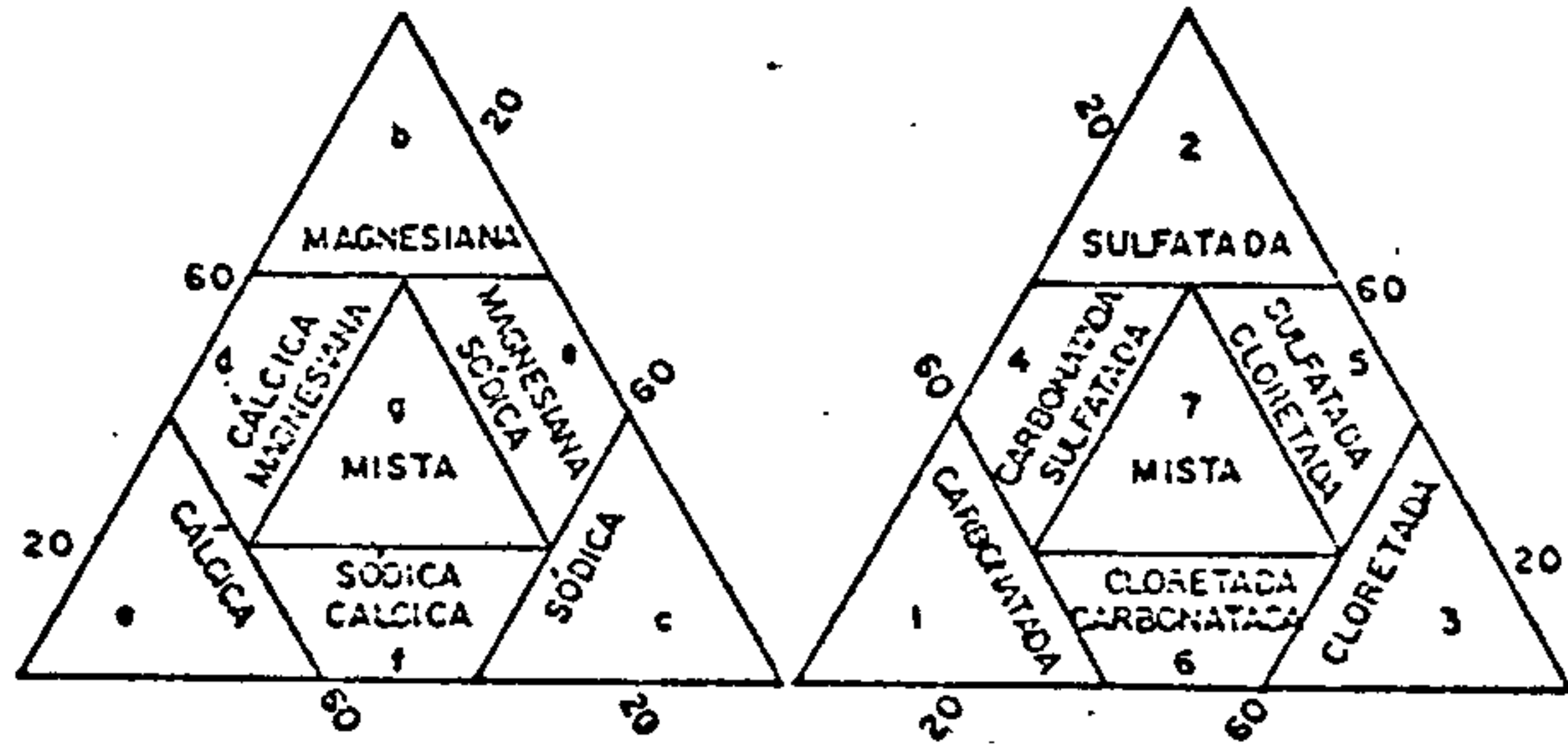


CPRM

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 — 07
FORMAÇÃO — Ki

AMOST.	SIM.	FÁCIES
094.07	○	3c
097.07	⊙	6d
105.07	⊙	6g
110.07	○	5e
120.07	○	4d
124.07	○	3c
127.07	⊙	7g
128.07	⊙	3e
137.07	⊙	7g
148.07	○	3c

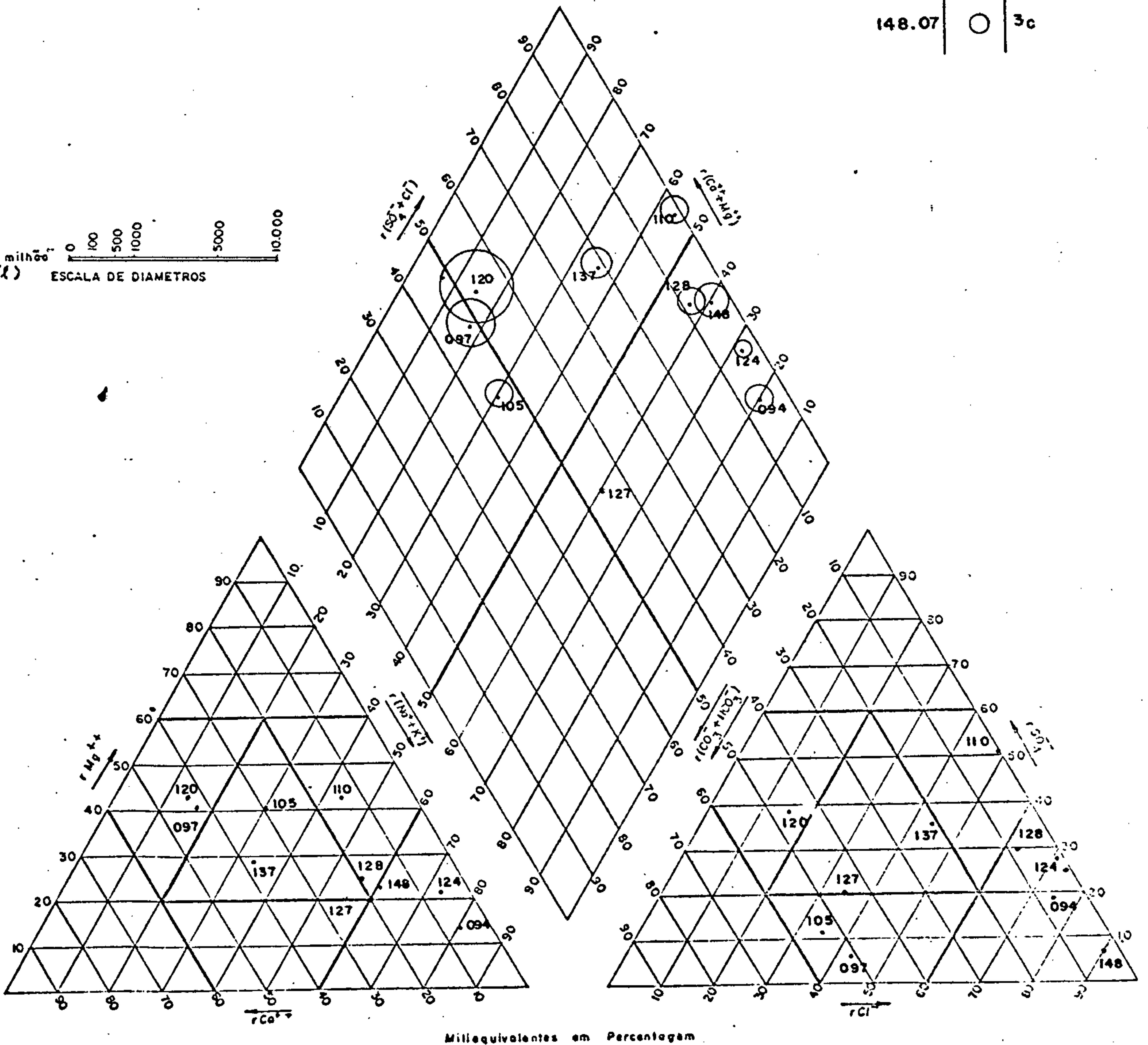
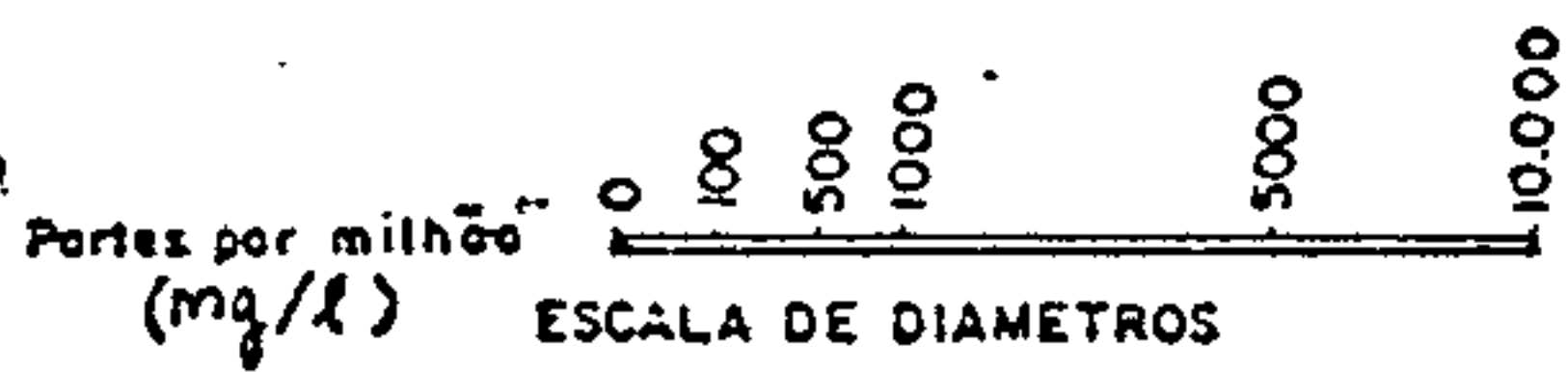


Fig. 5.3.6

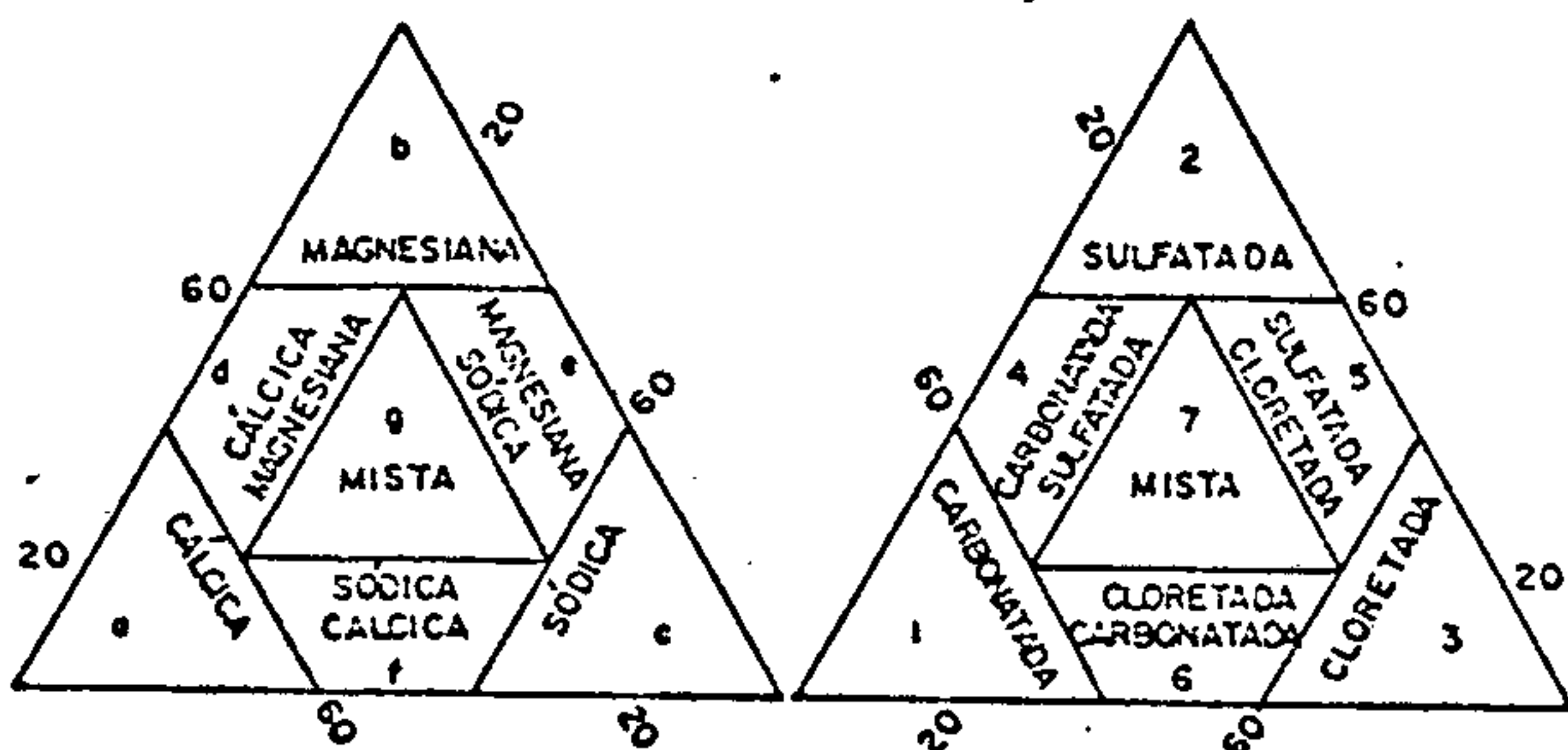


CPRM

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

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

FÁCIES HIDROQUÍMICAS
DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LANGELIER



FOLHA - 07
FORMAÇÃO Ki

AMOST.	SIM.	FÁCIES
152.07	○	7c
154.07	○	3g
155.07	○	3c
156.07	⊙	6f
159.07	○	3g
167.07	○	3g
168.07	○	3c
174.07	⊙	3c
176.07	○	7g
178.07	⊙	3c

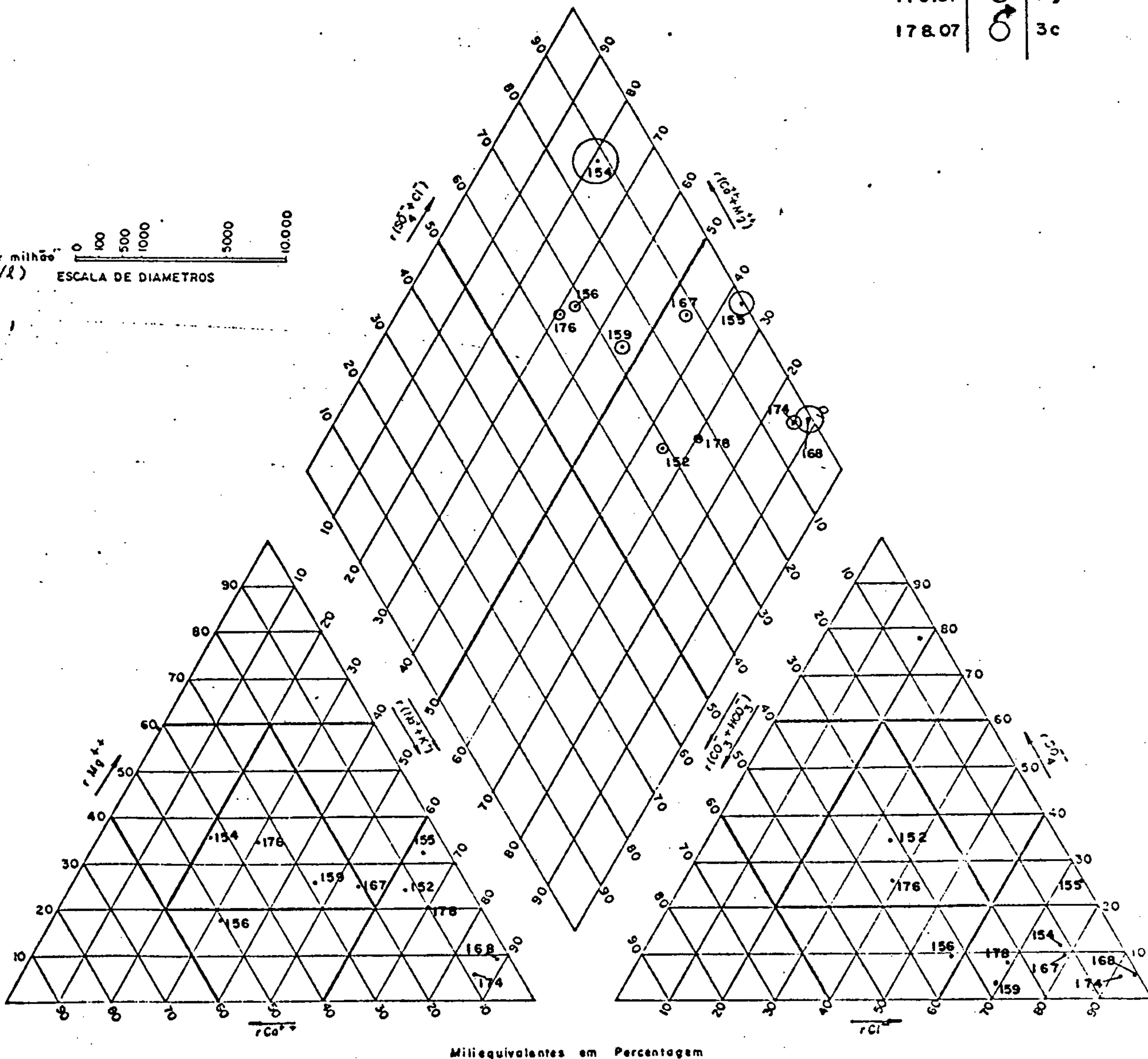


Fig. 5. 3. 7

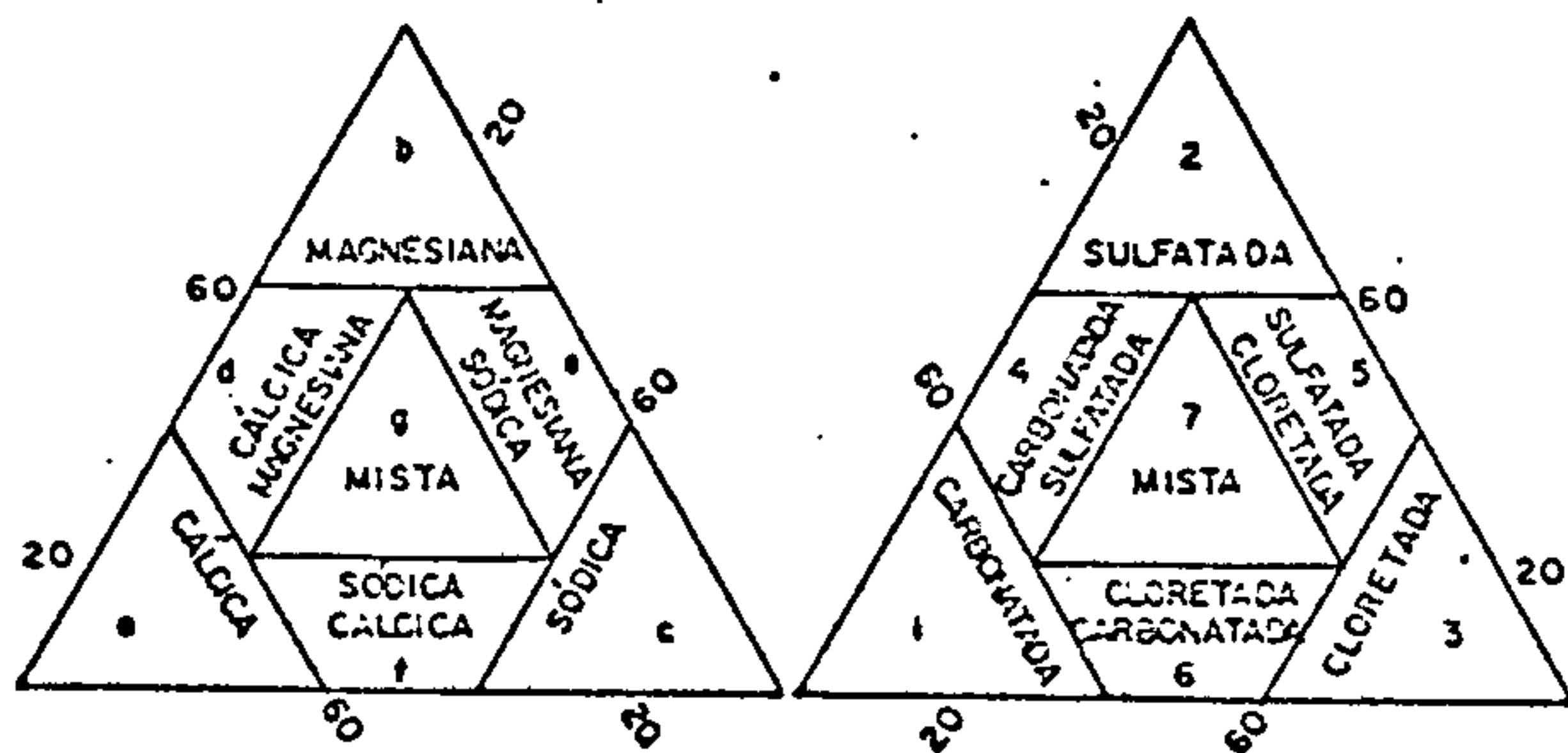


CPRM

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

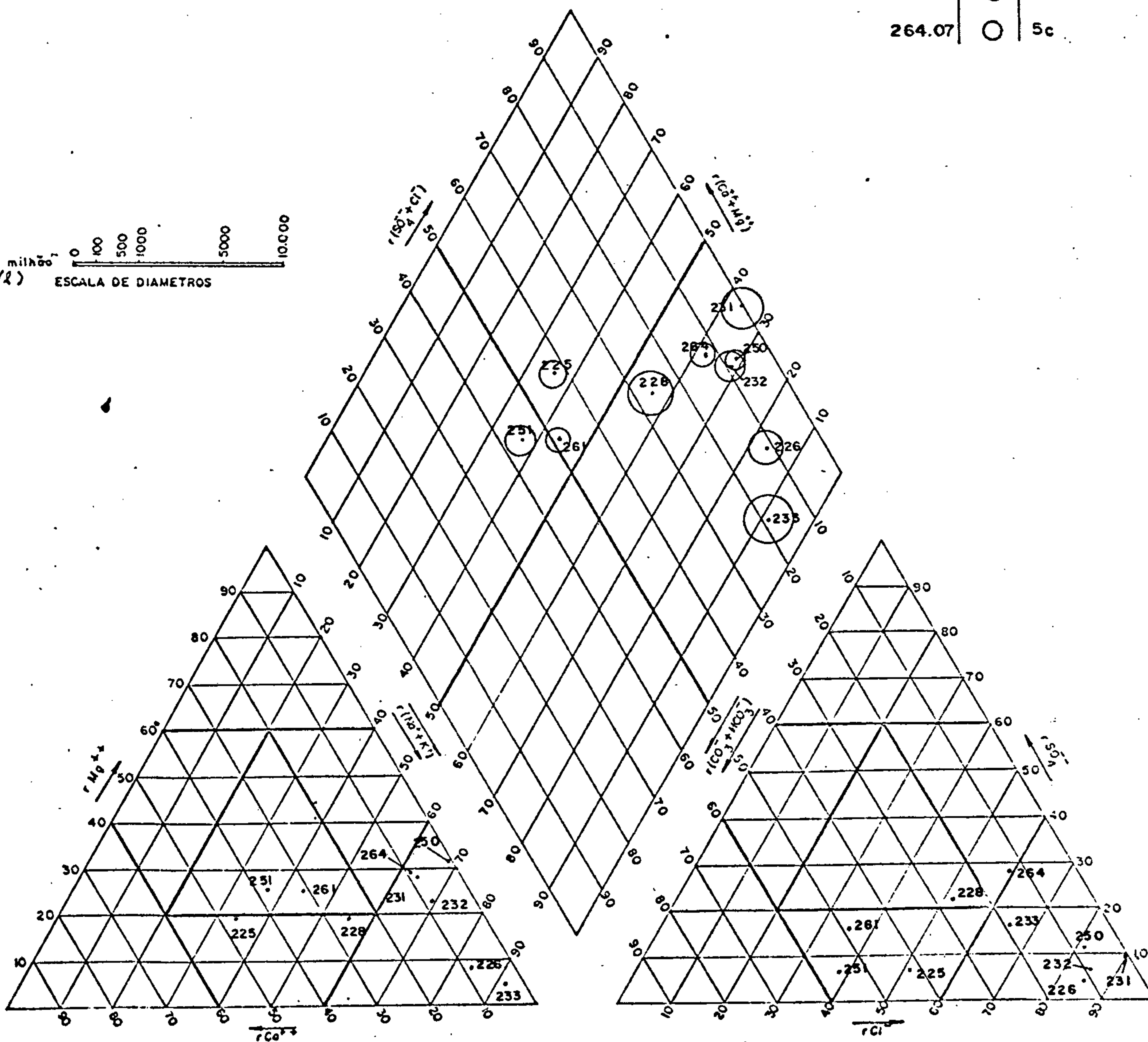
COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA
SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

FÁCIES HIDROQUÍMICAS
DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LANGELIER



FOLHA - 07
FORMAÇÃO - Ki

AMOST.	SIM	FÁCIES
225.07	○	6 f
226.07	⊗	3 c
228.07	○	7 f
231.07	○	3 c
232.07	○	3 c
233.07	⊗	3 c
250.07	○	3 c
251.07	⊗	6 g
261.07	○	6 g
264.07	○	5 c



Miliequivalentes em Porcentagem

Fig. 5.3.8



CPRM

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

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

FÁCIES HIDROQUÍMICAS
DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LANGELIER

FOLHA - D7
FORMAÇÃO - K1

AMOST.	SIM.	FÁCIES
269.07	⊙	5c
270.07	○	3c
271.07	⊙	3c
273.07	⊙	1c
276.07	⊙	1c
278.07	○	6c
292.07	○	3c

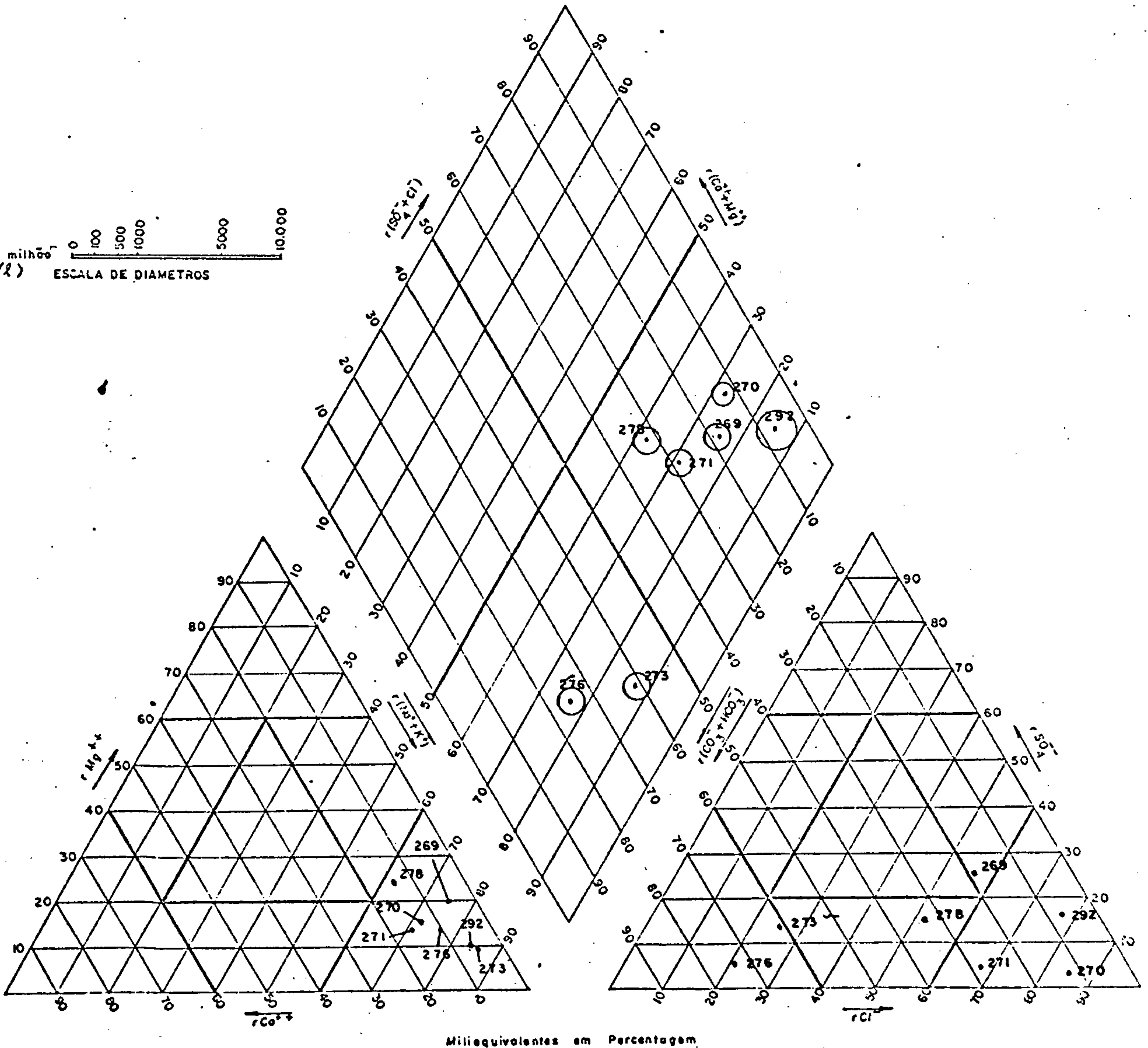
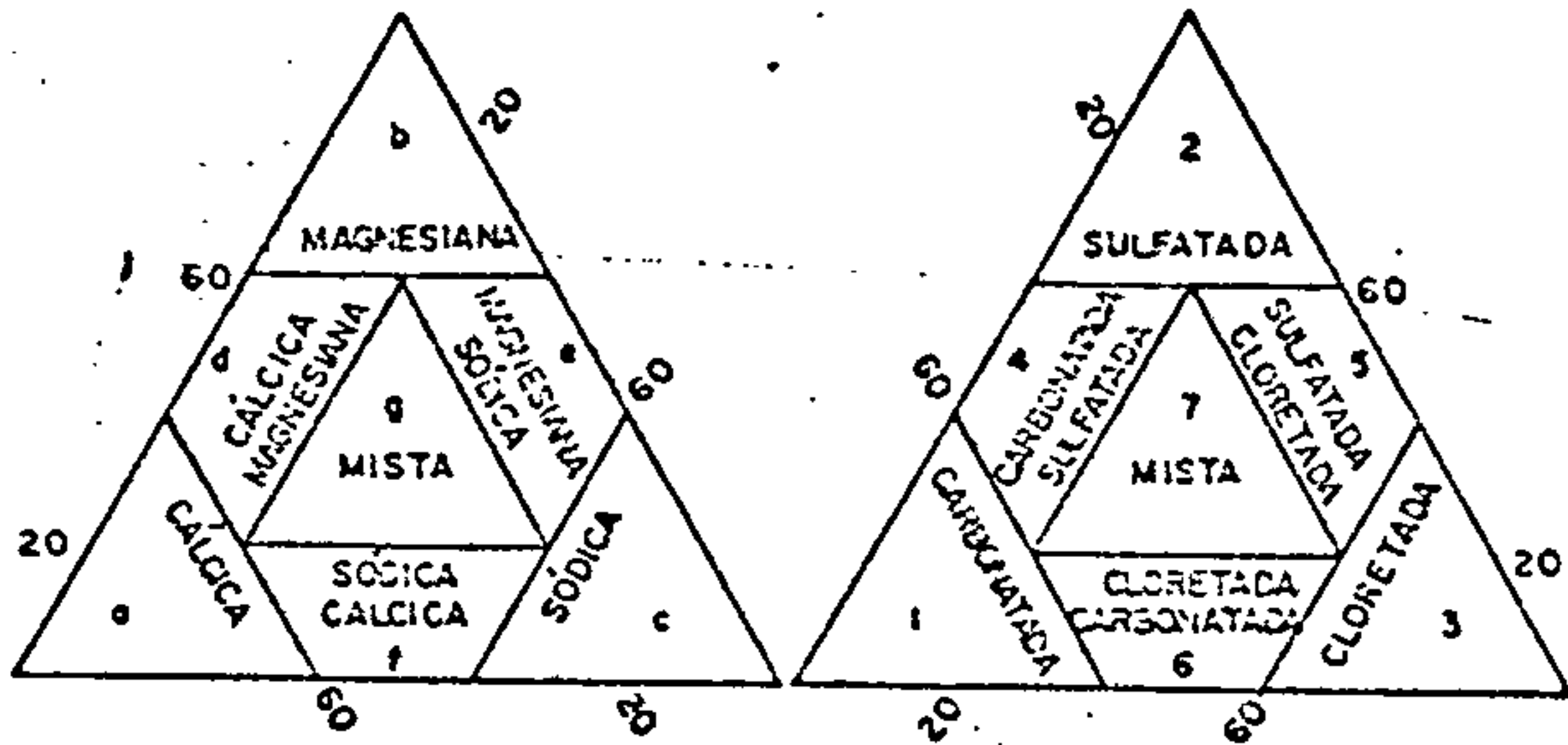


Fig. 5. 3.9

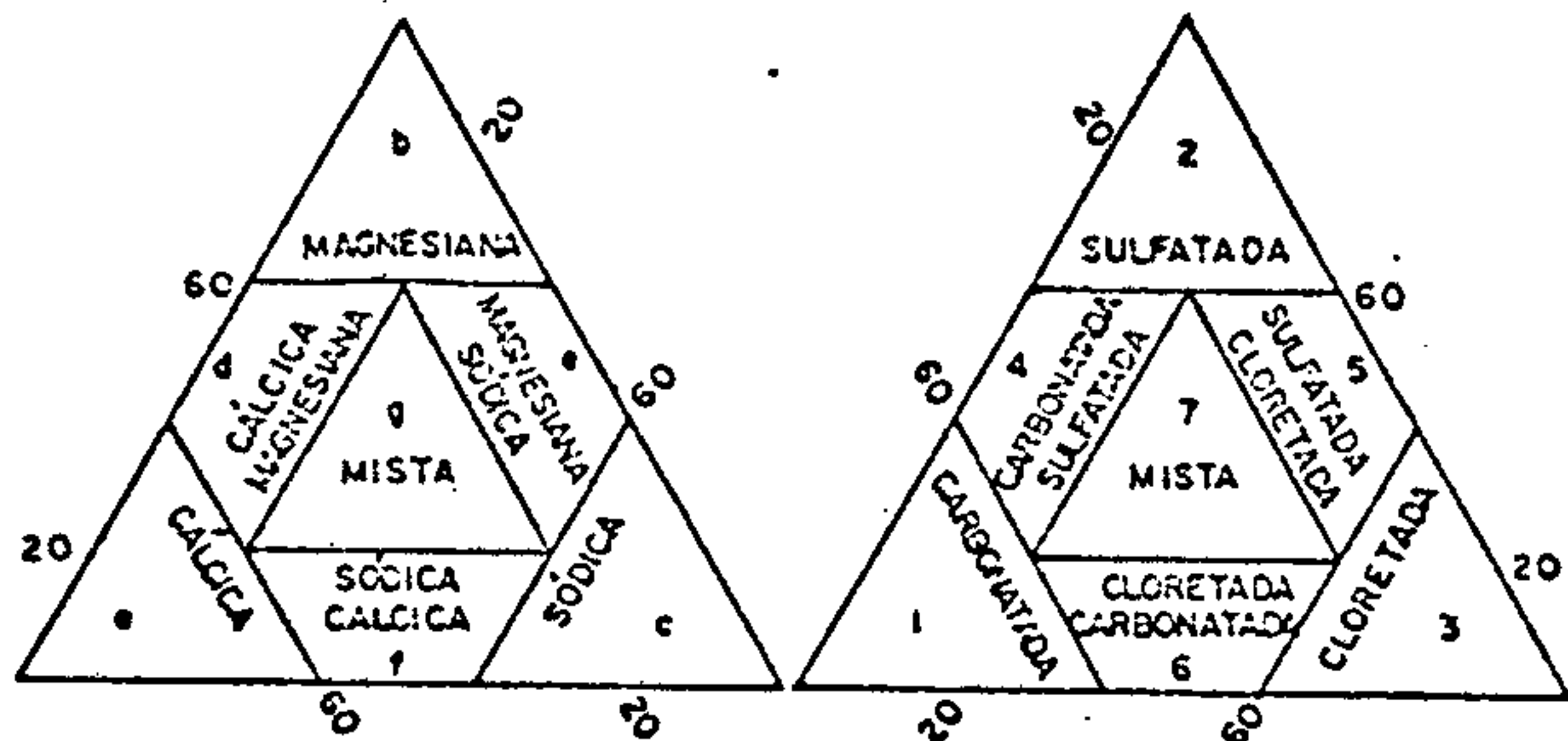


CPRM

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

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

FÁCIAS HIDROQUÍMICAS
DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LANGELIER



FOLHA - 07		
FORMAÇÃO - Ki		
AMOST.	SI M.	FÁCIAS
179.07	⊙	6g
211.07	○	6c
212.07	○	3e
243.07	⊙	7b
272.07	○	3c
299.07	○	3c
303.07	○	6e
304.07	○	6c
305.07	○	6f

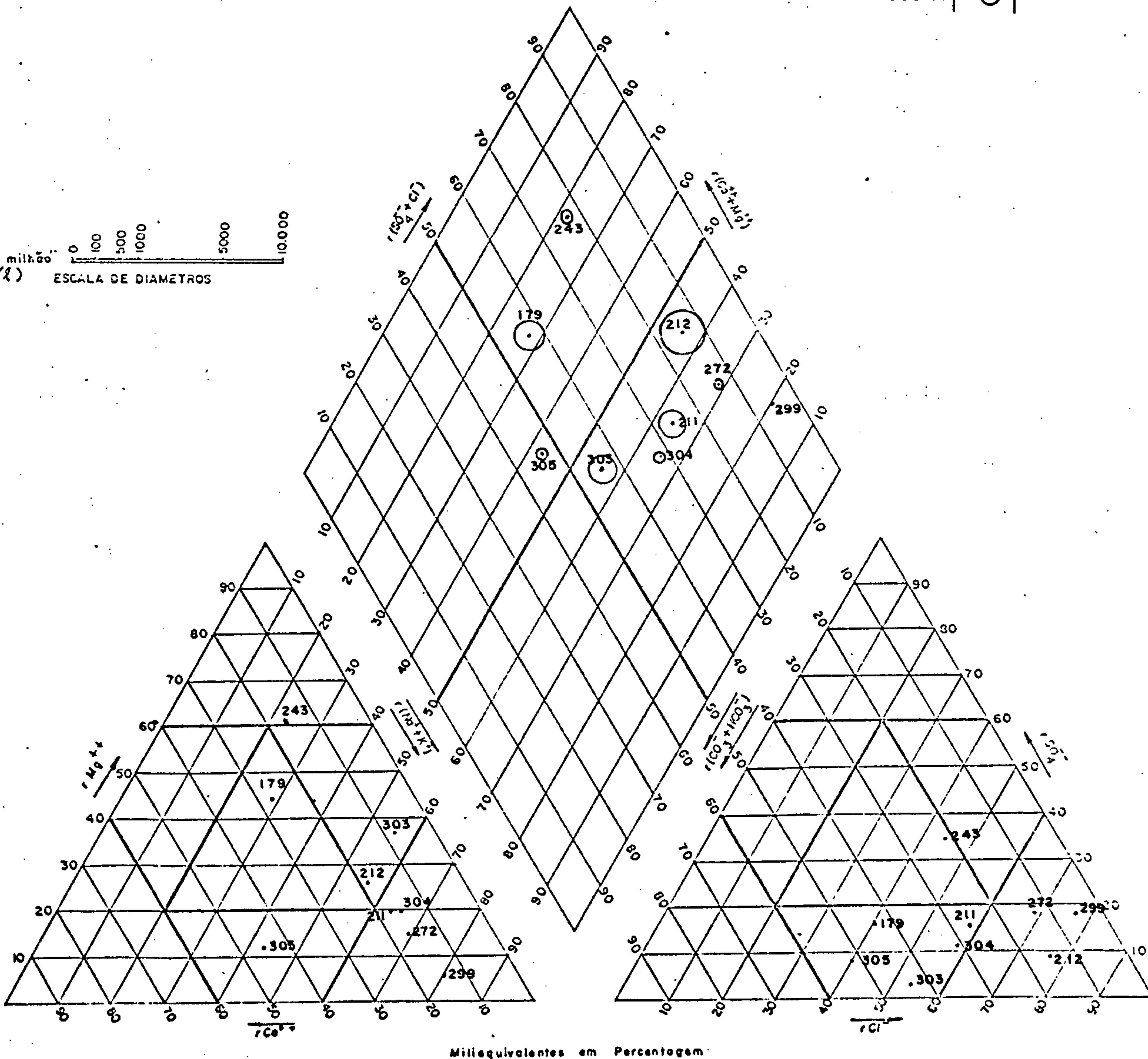
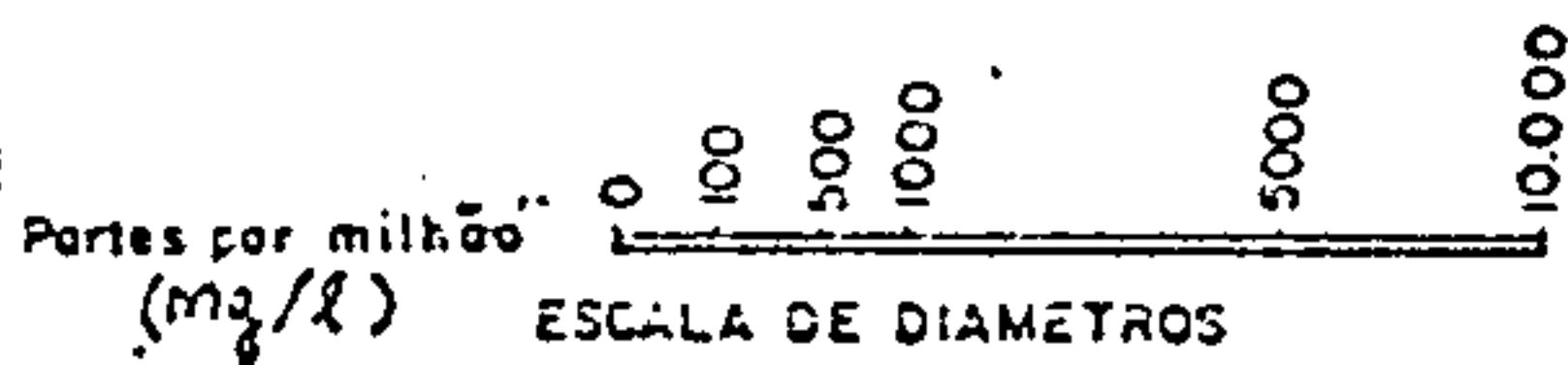


Fig. 5.3.10



CPRM

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA

SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

FÁCIES HIDROQUÍMICAS
DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LANGELIER

FOLHA - 07

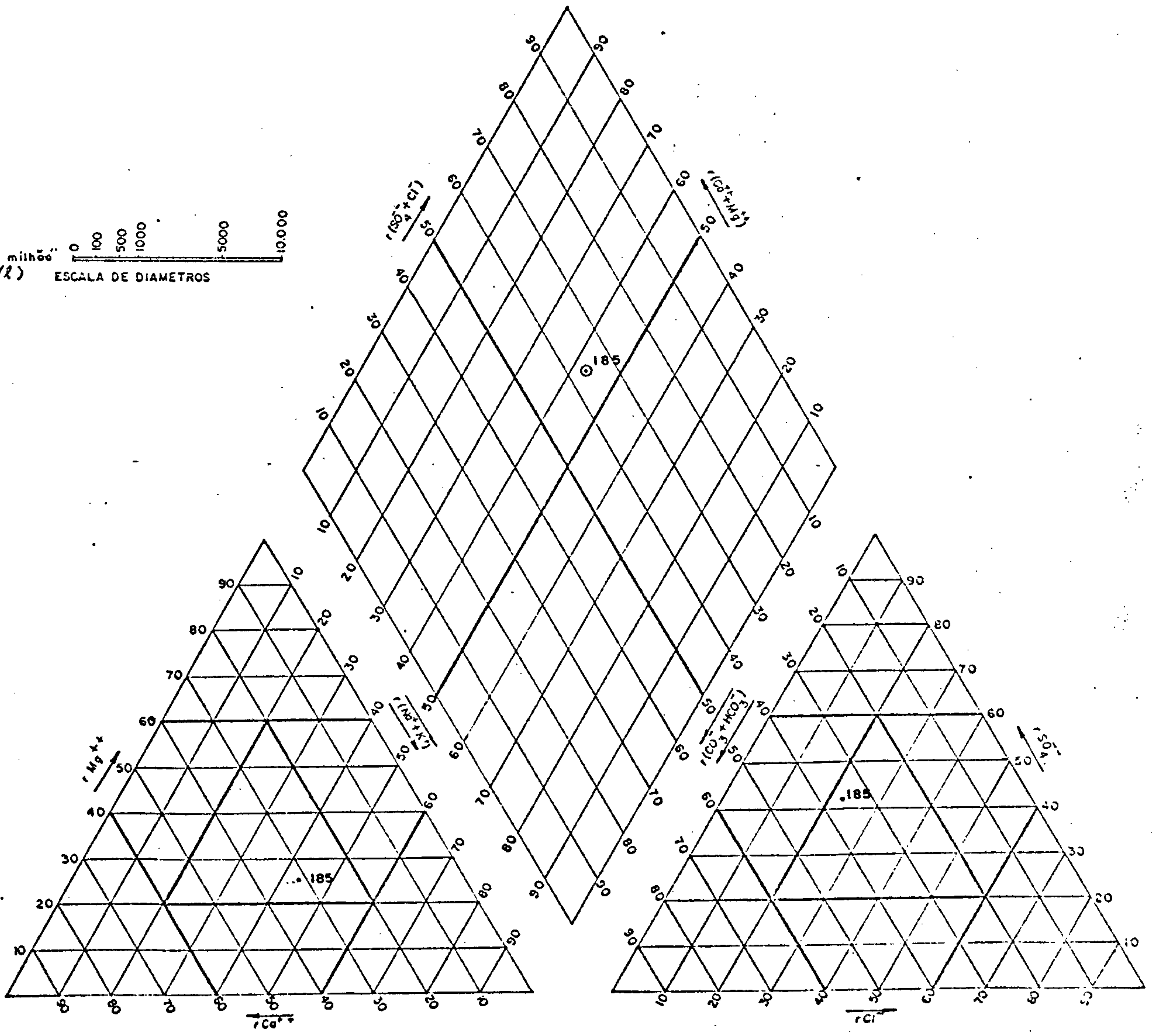
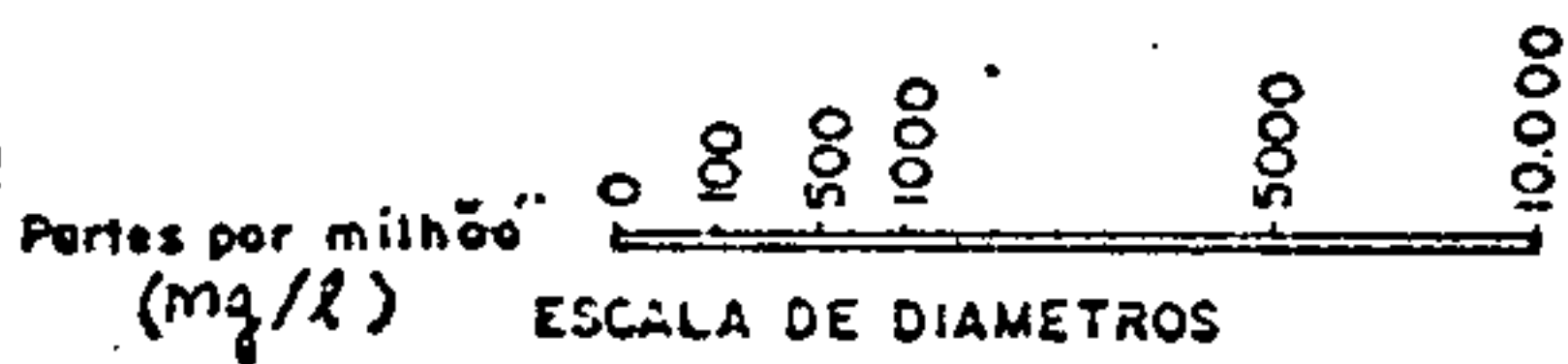
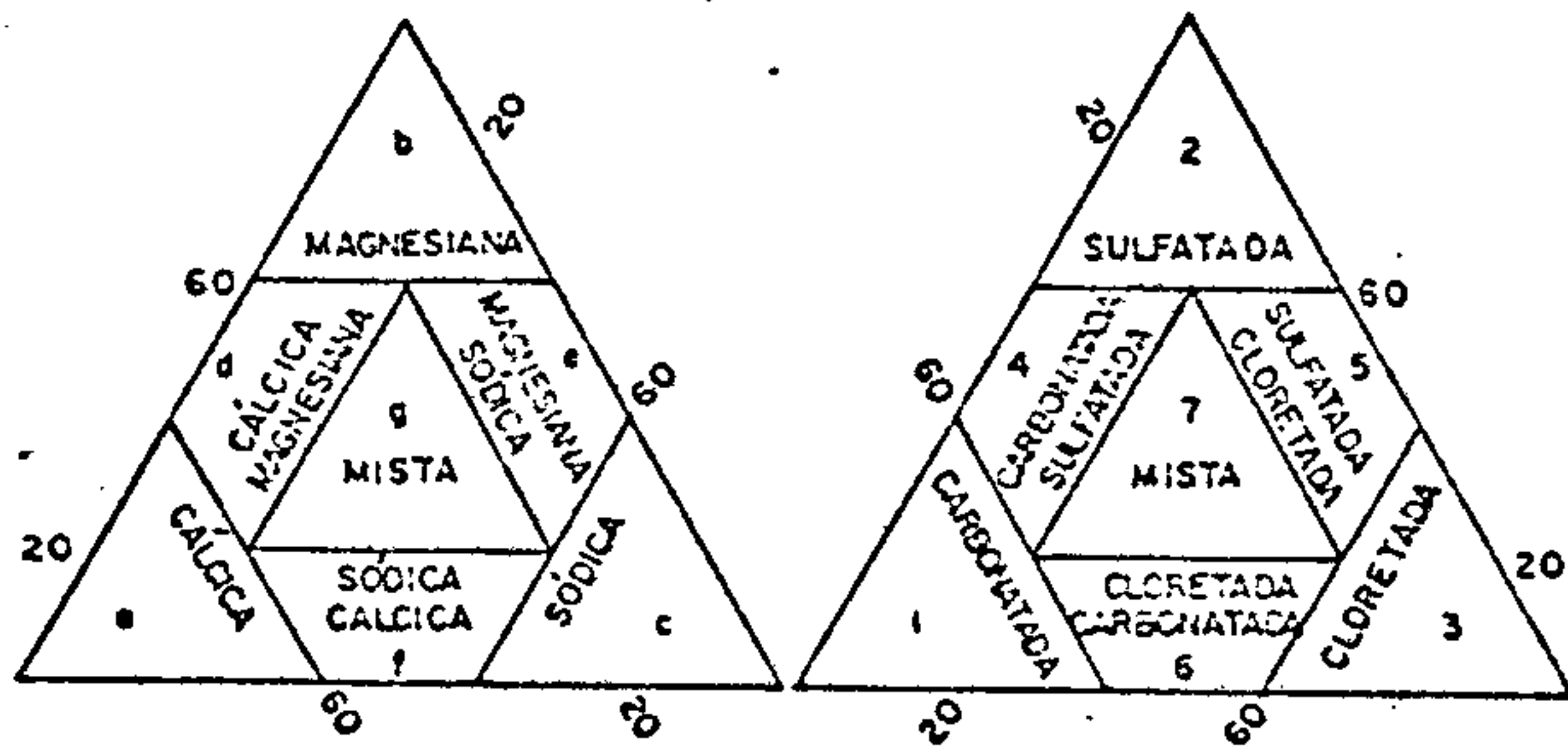
FORMAÇÃO - Kc

AMOST. | SIM. | FÁCIES

185.07

○

7g



Millequivalentes em Percentagem

Fig. 5.3.11



CPRM

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

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

FÁCIES HIDROQUÍMICAS
DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LANGELIER

FOLHA - 07

FORMAÇÃO - Kg

AMOST.	SIM.	FÁCIES
051.07	♂	5c
058.07	♂	3e
059.07	♂	3c
079.07	♂	3c
113.07	♂	7g
151.07	♂	7c

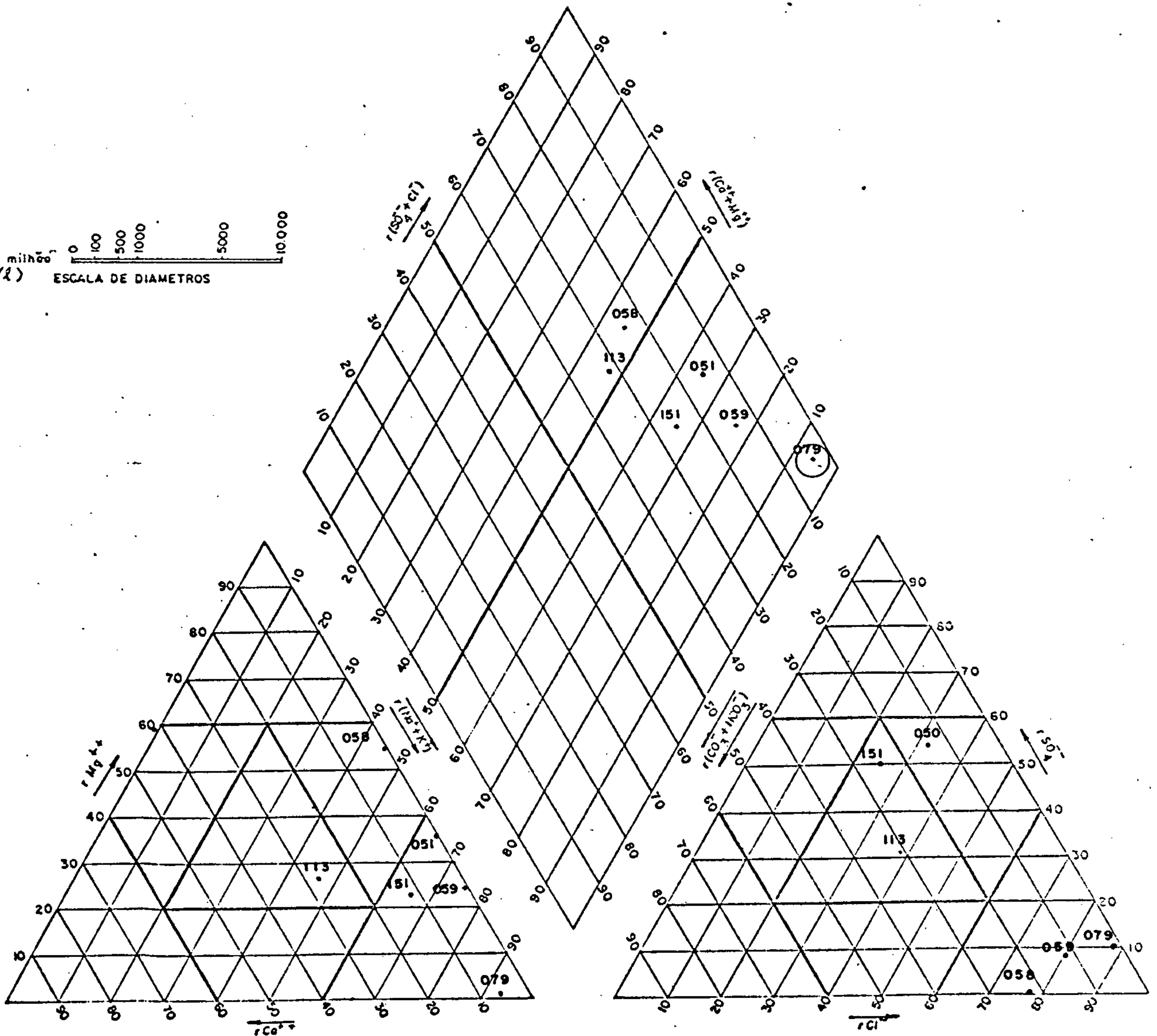
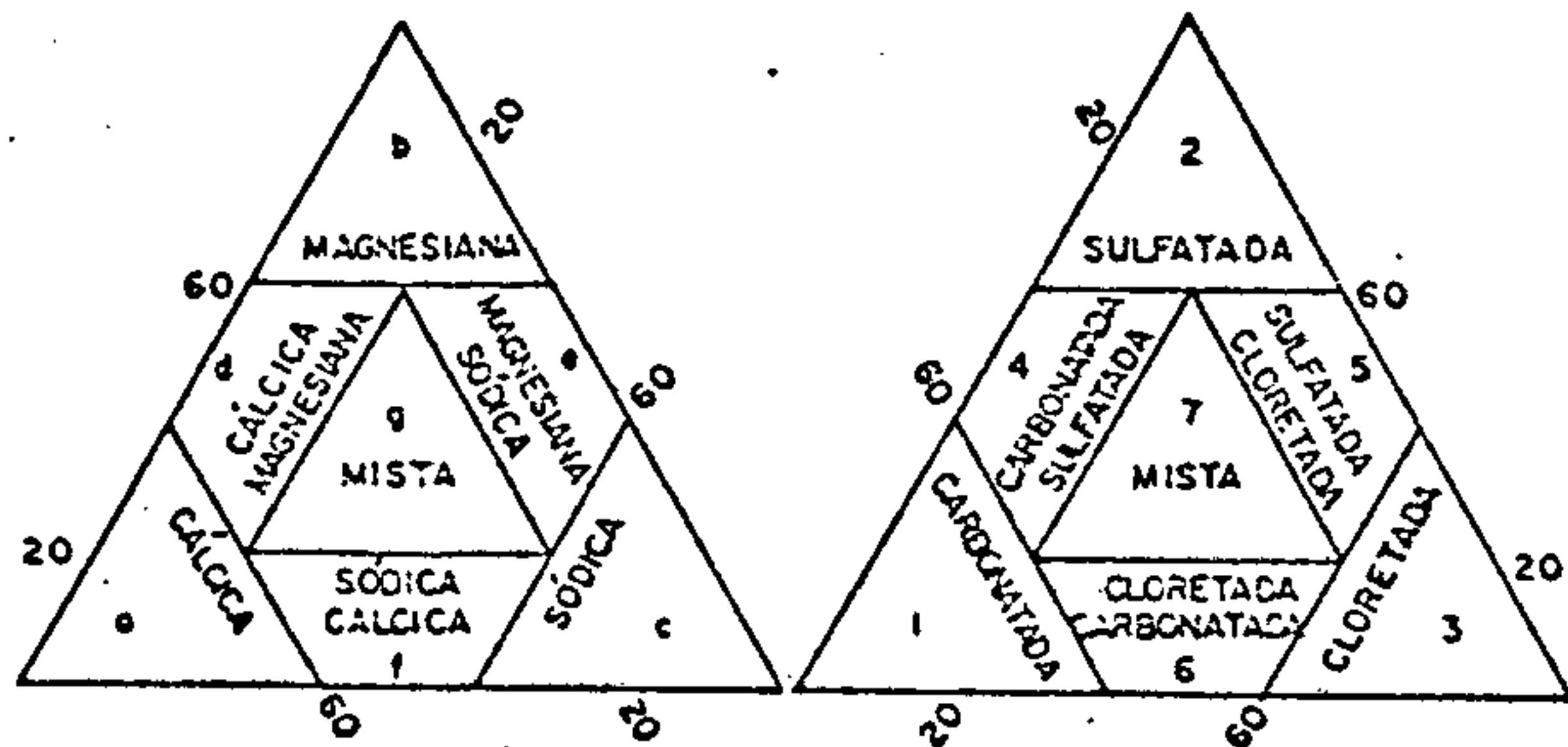


Fig. 5.3.12



CPRM

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

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

FÁCIES HIDROQUÍMICOS
DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LANGELIER

FOLHA - 07
FORMAÇÃO - Jc

AMOST.	SIM.	FÁCIES
224.07	○	3c

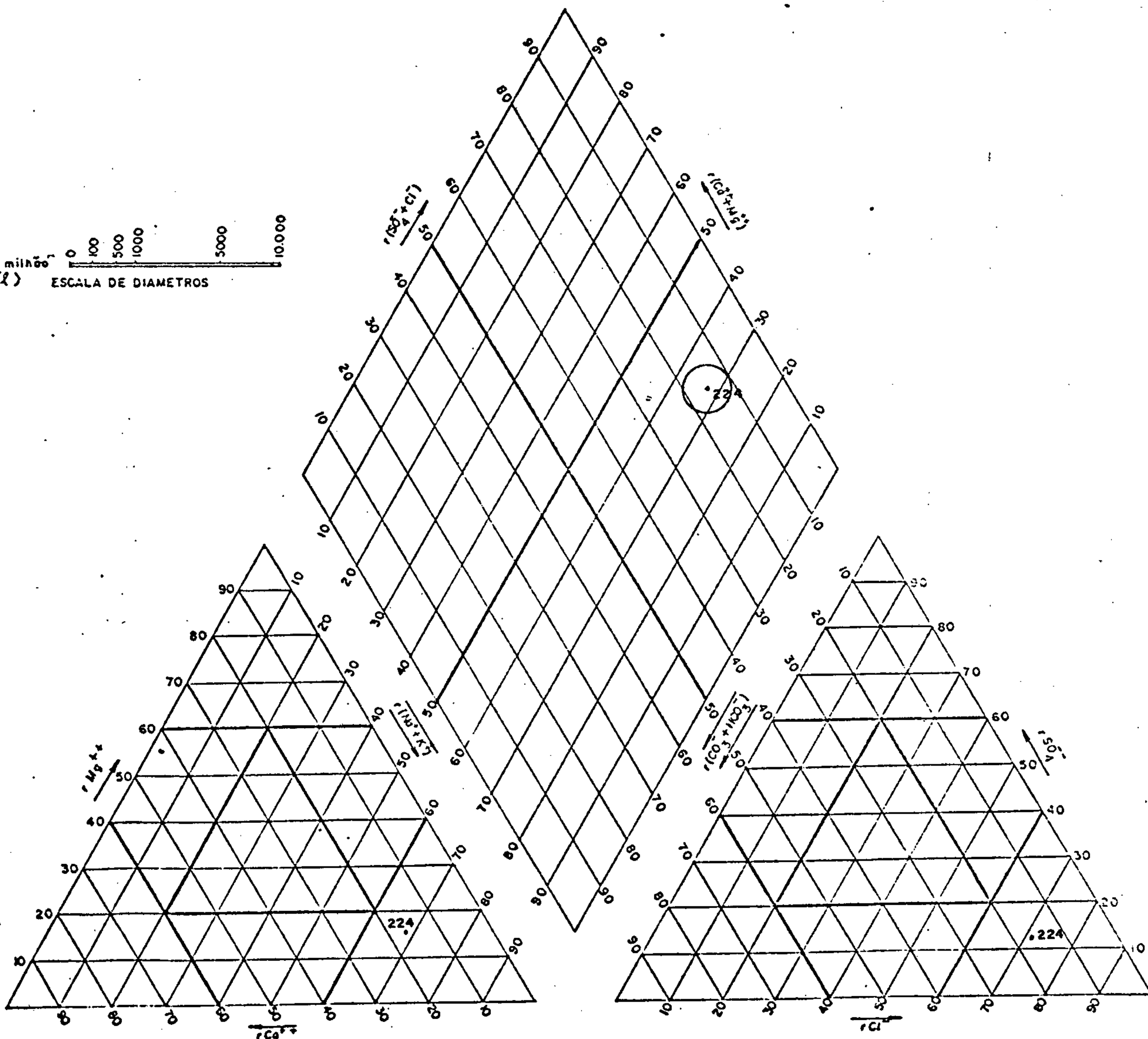
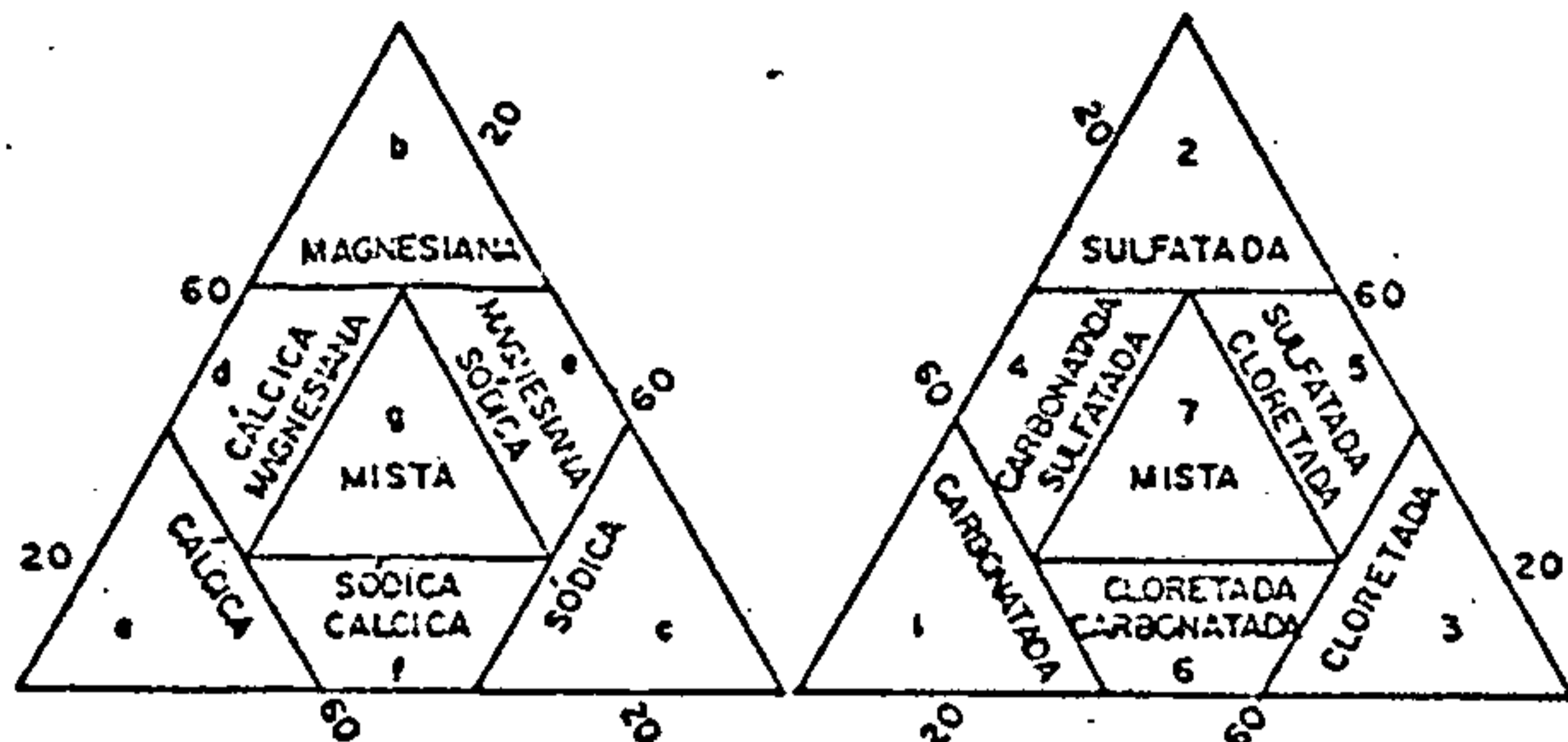
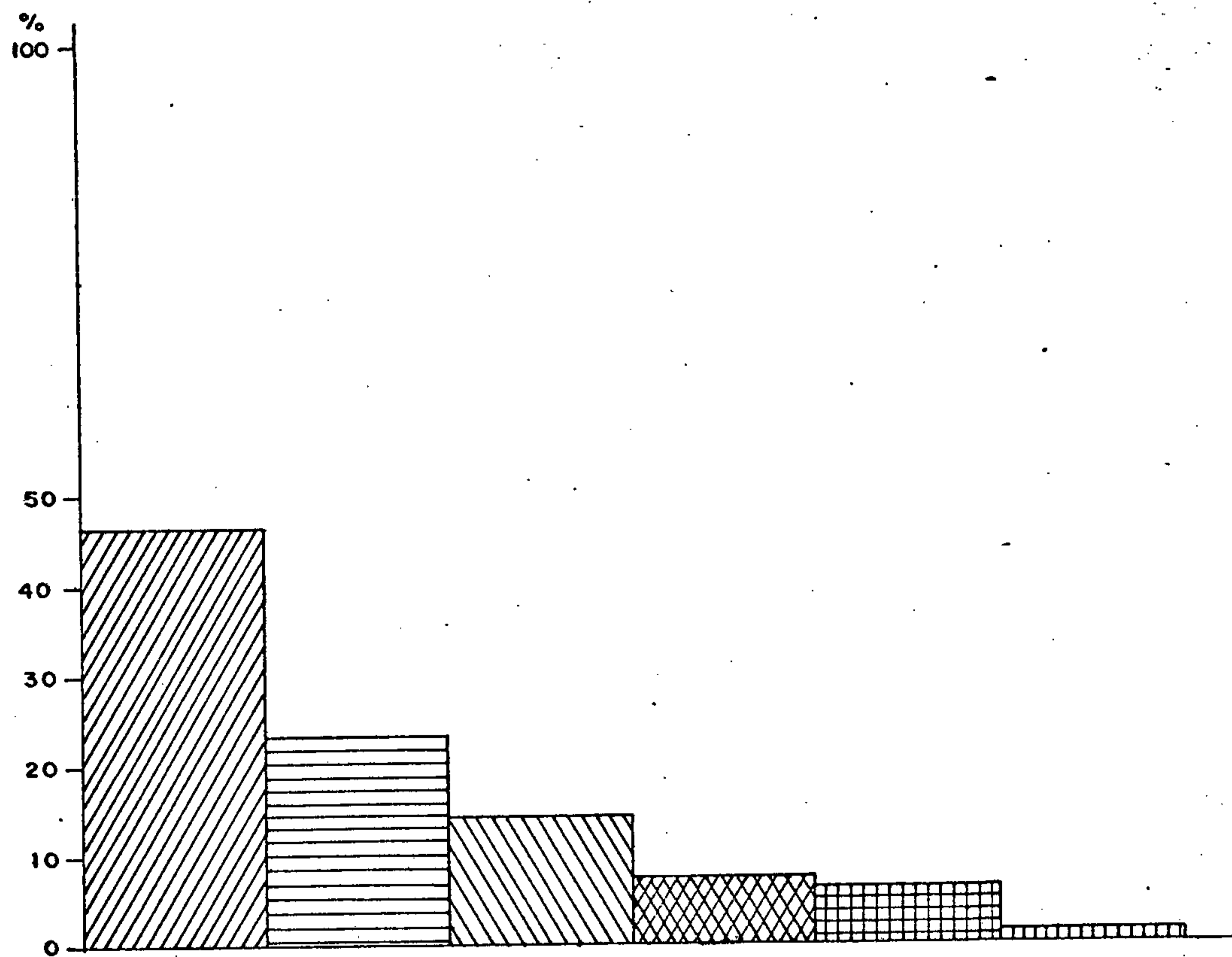

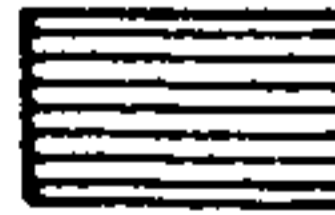


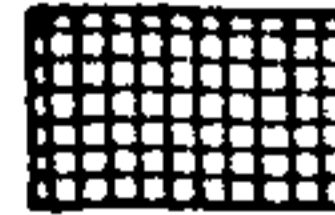



Fig. 5.3.13

DIAGRAMA DE FREQUÊNCIA DAS CLASSES HIDROQUÍMICAS DE ÁGUAS — FOLHA 07



LEGENDA

-  ÁGUAS CLORETADAS
-  ÁGUAS CLORETADAS CARBONATADAS
-  ÁGUAS MISTAS
-  ÁGUAS SULFATADAS CLORETADAS
-  ÁGUAS CARBONATADAS
-  ÁGUAS CARBONATADAS SULFATADAS

classes hidroquímicas relaciona as seis classes diferentes, onde predominam as cloretadas com 40,05%, seguida das cloretadas carbonatadas, 23,7%, mistas 14,5%, sulfatadas cloretadas, 7,9%, carbonatadas 6,6% e, finalmente, as carbonatadas sulfatadas com 1,3%, cujo percentual corresponde a apenas uma amostra.

5.3.1 - Grupos de Água Mais Frequentes

5.3.1.1 - Águas Cloretadas

Este grupo compõe a maioria das águas desta área e é caracterizado pela presença do ion Cl^- em percentagem igual, ou maior, do que 60% do total de ânions.

A sua salinidade é relativamente baixa; o resíduo seco médio para 35 amostras é de 356 miligramas/litro, com pH 6,55. A maior parte é classificada como água "muito mole" (dureza média = $5,9^\circ\text{F}$).

Estas águas são encontradas nos principais aquíferos da área em estudo, predominantemente na Formação Itapecuru e, subordinadamente, nas formações Grajaú, Corda e Coberturas terciárias-quaternárias. A maior percentagem é de águas cloretadas sódicas seguidas pelas cloretadas mistas, e cloretadas magnesianas sódicas, como pode ser verificado no Quadro 5.3.2, bem como nos gráficos 5.3.3 a 5.3.13.

5.3.1.2 - Águas Cloretadas Carbonatadas

Situa-se este grupo segundo lugar com 23,7% das amostras analisadas, destacando-se por apresentar os íons SO_4^- menor do que 20% (Quadro 5.3.2).

São águas com pH médio de 7,25, provenientes de poços tubulares, cacimbas e fontes. Sua dureza média é de 4,14, as quais foram classificadas como água "muito mole", segundo Klut Olszewski.

O resíduo seco médio é de 243 miligramas/litro, o que indica ser uma área de salinidade relativamente baixa. Neste grupo, também ocorreu a menor média de condutividade elétrica, 181 micromho/cm.

Esta classe ocorre predominante na Formação I tapecuru.

5.3.1.3 - Águas Mistas

São águas provenientes, predominantemente, de fontes, cacimbas e, subordinadamente, poços tubulares, distribuídos dispersamente por toda área, sendo a maior percentagem localizada na Formação Itapecuru, seguida pelas formações Grajaú e Codó. São levemente alcalinas, apresentando um pH médio de 7,56. Sua salinidade é relativamente baixa, com um resíduo seco médio da ordem de 141,5 miligramas/litro; a dureza média é muito baixa, 3,97 graus franceses classificadas, segundo Klut Olszewski, como água "muito mole".

O Quadro 5.3.2 mostra a predominância dos íons

que formam esta classe.

5.3.1.4 - Águas Sulfatadas Cloretadas

Estão compreendidas nesta classe, as águas que possuem os íons SO_4^{--} e Cl^- , com percentagem compreendida entre 20% e 60% e os íons $(\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^-)$ inferiores a 20% do total dos anions, como pode ser observado no Quadro 5.3.2.

São, estas águas, as únicas da área que são ligeiramente ácidas, o seu pH médio é igual a 5,92. O grau de salinização por classe, é a mais baixa, com um resíduo seco médio de 106,3 miligramas/litro. Quanto à dureza, são tidas como águas "muito mole", seguindo o comportamento geral da região e, especificadamente para este caso, o valor médio é de 2,37, o menor de todas. Estas águas são provenientes de cacimbas e de fontes, e estão dispersas nas formações Itapecuru e Grajaú.

5.3.1.5 - Águas Carbonatadas

As águas pertencentes a esta classe, possuem os íons $(\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^-)$ em uma percentagem superior a 60% do total de anions.

Sua salinidade é baixa, com um resíduo seco mé

dio, para apenas 5 amostras, de 157,8 miligramas/litro, tendo sido coletadas em poços tubulares e cacimba, na Formação Itapecuru e nas coberturas terciárias quaternárias respectivamente. O valor médio do pH é de 7,96 sendo as mais básicas da área. De acordo com a sua dureza média de 7,02 graus franceses, são classificadas como água "mole".

5.3.1.6 - Águas Carbonatadas Sulfatadas

Esta classe encontra-se representada por apenas uma amostra analisada, se caracterizando por possuir íons de SO_4^{--} e $(\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^-)$, situada entre os 20% e 60% e os íons Cl^- em quantidades inferiores aos 20%.

Esta água, com pH médio 8,00, apresenta uma salinidade razoável, sendo o resíduo seco da ordem de 1.250 miligramas/litro. Segundo Klut Olszewski esta água é classificada como "muito dura" (dureza maior que 20°F). A amostra foi colhida em uma cacimba localizada na Formação Itapecuru.

5.4 - QUALIDADE DAS ÁGUAS PARA O CONSUMO HUMANO

O conhecimento das características físicas, químicas e biológicas das águas, são parâmetros determinan

tes de suas respectivas qualidades, quando esta se destina ao consumo humano.

A potabilidade foi determinada através da utilização do diagrama de Schoeller-Berkaloff. Este método é baseado em valores expressos em miligramas/litro dos seguintes elementos: cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloretos, sulfatos e carbonatos, em combinação com a dureza total, expressa em graus franceses ($^{\circ}\text{F}$), e com o pH. Os respectivos teores, encontrados em miligramas/litro, são plotados nas suas correspondentes escalas dos diagramas. Após todos os pontos definidos, traça-se uma linha unindo-os uns aos outros. Esta linha representa a composição química da água de determinado local. O Quadro 5.4.1 é demonstrativo da distribuição de frequência da potabilidade e foi elaborado baseado na classificação de Schoeller. Foram classificadas como de boa potabilidade 88,1% das águas analisadas; entre passável e medíocre se situam 10,6% das águas e, finalmente, apenas 1,3% apresentou uma potabilidade má. Diante deste quadro, pode-se concluir que estas águas são, de uma maneira geral, boas para o consumo humano.

QUADRO 5.4.1
DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DA POTABILIDADE

POTABILIDADE		RESÍDUO SECO	AMOSTRAS	FREQUÊNCIA	
				RELATIVA (%)	ACUMULADA (%)
Permanente	Boa	0- 500	67	88,15	88,15
	Passável	500-1000	4	5,27	93,43
	Medíocre	1000-2000	4	5,27	98,68
	Má	2000-4000	1	1,31	100,00
Momentânea		4000-8000	0	0,00	-
T O T A L			76	100,00	100,00

Nos diagramas logarítmicos de Berkaloff (Figuras 5.4.2 a 5.4.15) estas águas foram agrupadas em 06 (seis) diferentes fácies químicas:

- As águas cloretadas apresentam 35% de suas amostras com pH inferior a 6,5 (limite de água potável; pH 6,5 a 8,5; Logan op. cit.); estas, provenientes de poços tubulares, cacimbas e fontes colhidas, principalmente, na Formação Itapecuru e também nas formações Grajaú, Corda e coberturas terciárias-quaternárias, constituem o grupo de maior número de amostras analisadas (Figuras 5.4.2 a 5.4.7).
- As águas cloretadas carbonatadas, também provenientes dos três tipos de pontos de água amostrados (poços tubulares, cacimbas e fontes), todas originárias da Formação Itapecuru, são, de uma maneira geral, classificadas como de boa potabilidade. As águas dos poços 156.07 e 303.07 apresentam pH 5,70 e 3,40 respectivamente, e portanto, fora dos limites adotados para água potável.
- As águas mistas apresentam-se com boa potabilidade, seus valores de pH distribuídos entre 6,7 a 8,5, portanto, dentro da faixa tolerada (Fig. 5.4.11/12).
- As águas sulfatadas cloretadas encontram-se, todas, classificadas como de boa potabilidade, com a ressalva feita para os valores de pH, de uma maneira geral menor que 7, encontrando-se abaixo do limite mínimo tolerado (Fig. 5.4.13).



CPRM

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

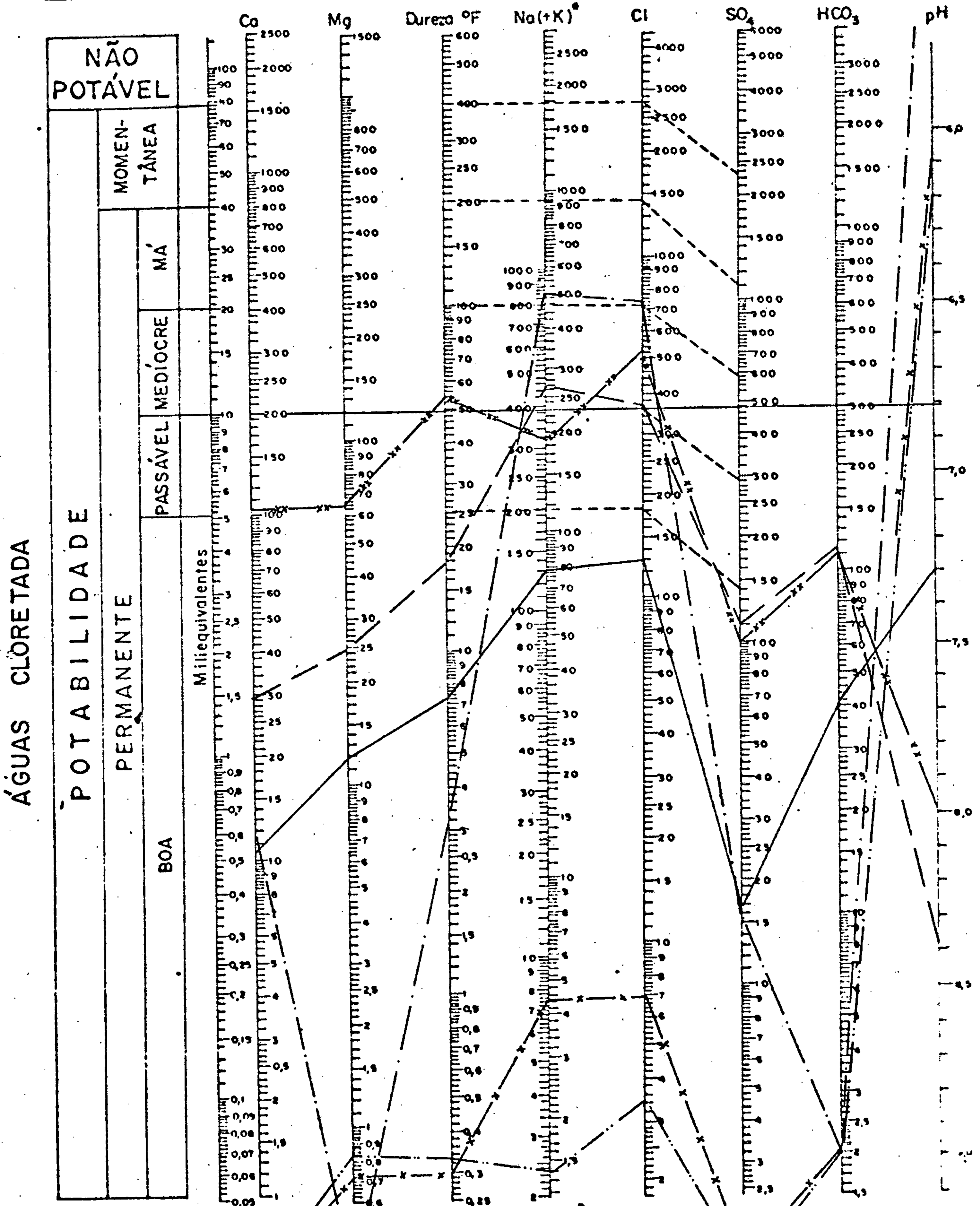
COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

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	RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra
363,00	045.07 ———	1.250,00	056.07 ———	18,00	059.07 —x—
856,00	050.07 ———	10,00	058.07 ———	1.136,00	075.07 —xx—

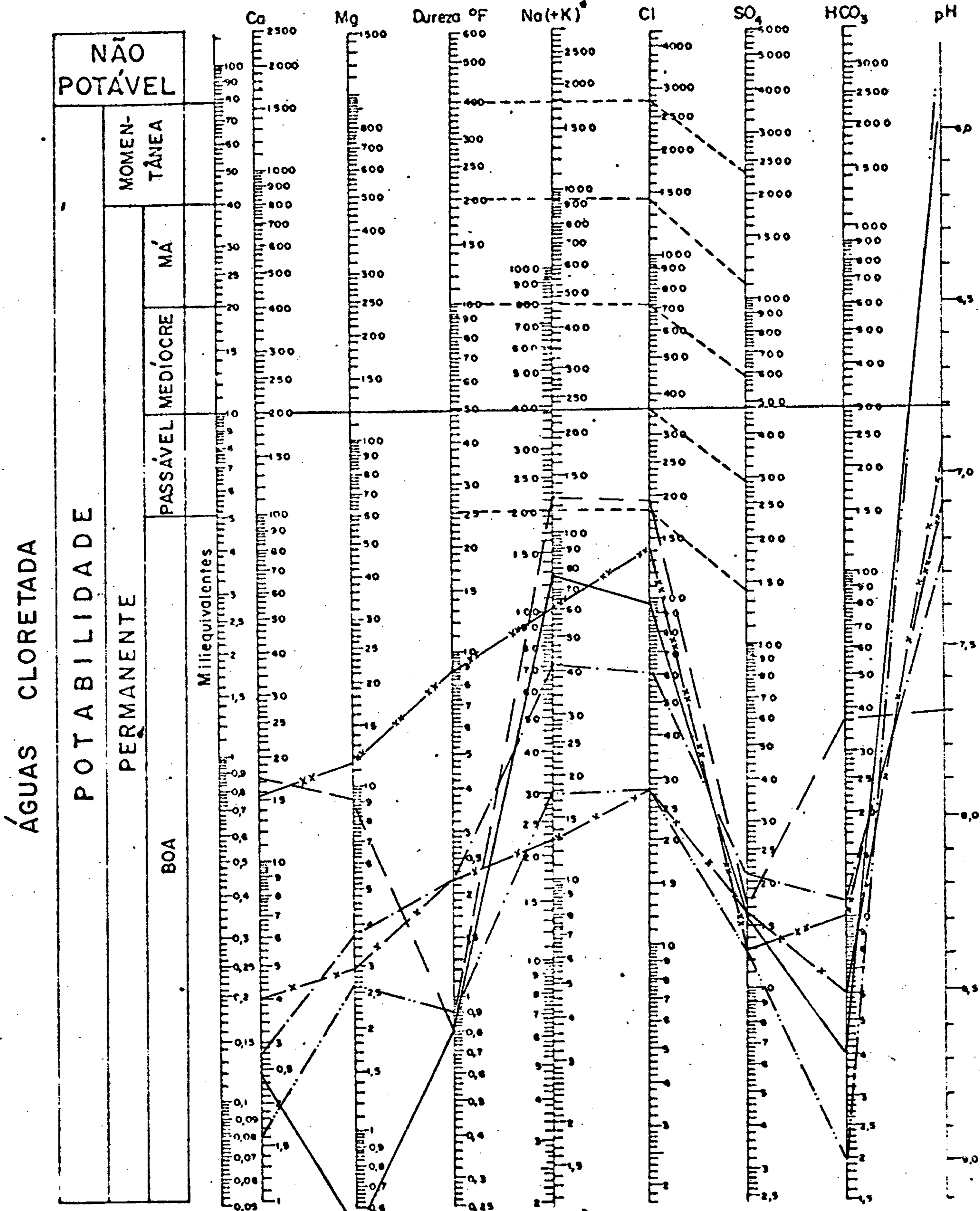
Fig. 5.4.2



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
180,00	079.07	169,00	094.07	168,00	128.07 —x—
410,00	093.07	69,00	124.07	287,00	148.07 —xx—

Fig. 5.4.3

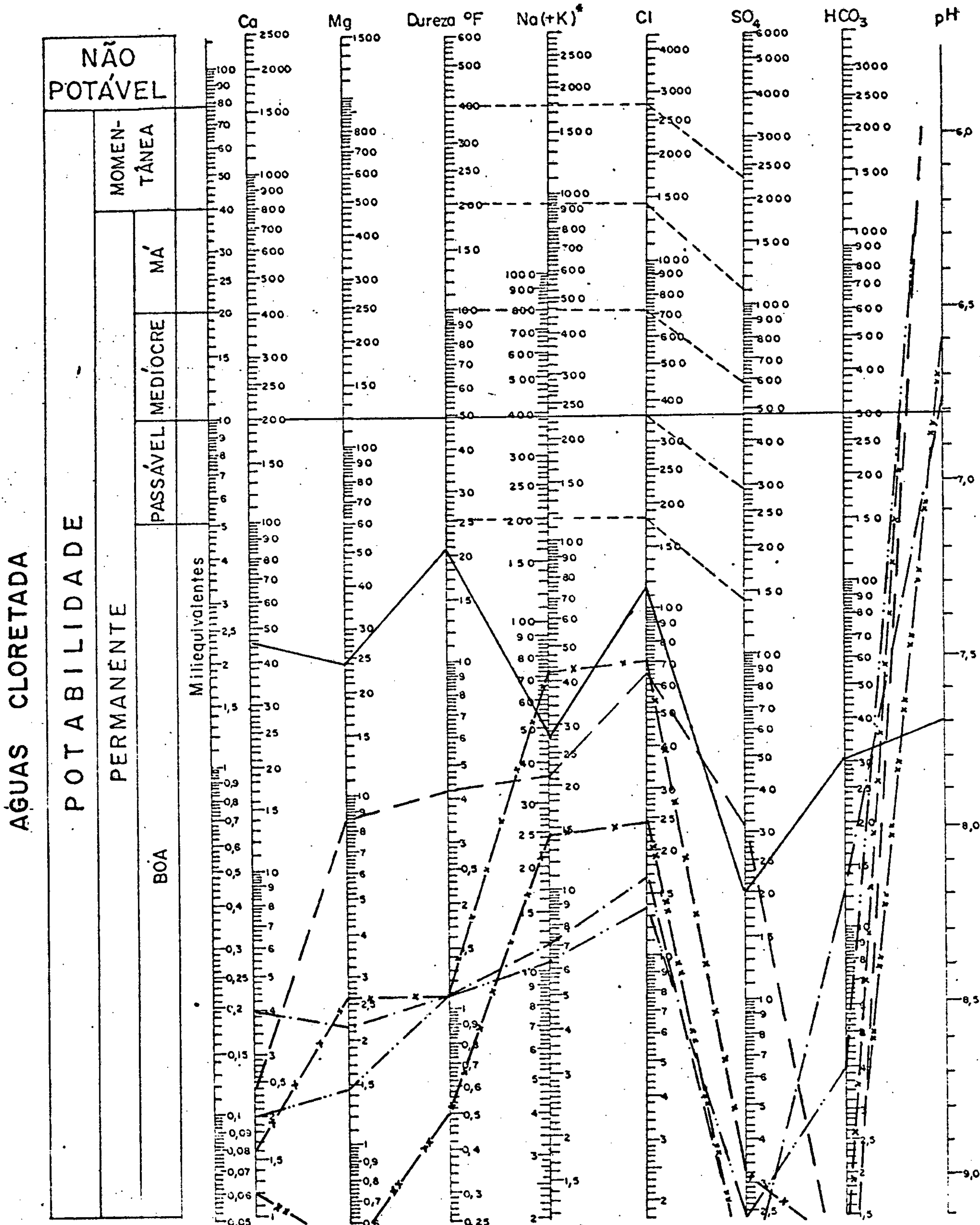


CPRM

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

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

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
439,00	154.07	65,00	159.07	185,00	168.07 —x—
145,00	155.07	55,00	167.07	55,00	174.07 —xx—

Fig. 5.4.4



CPRM

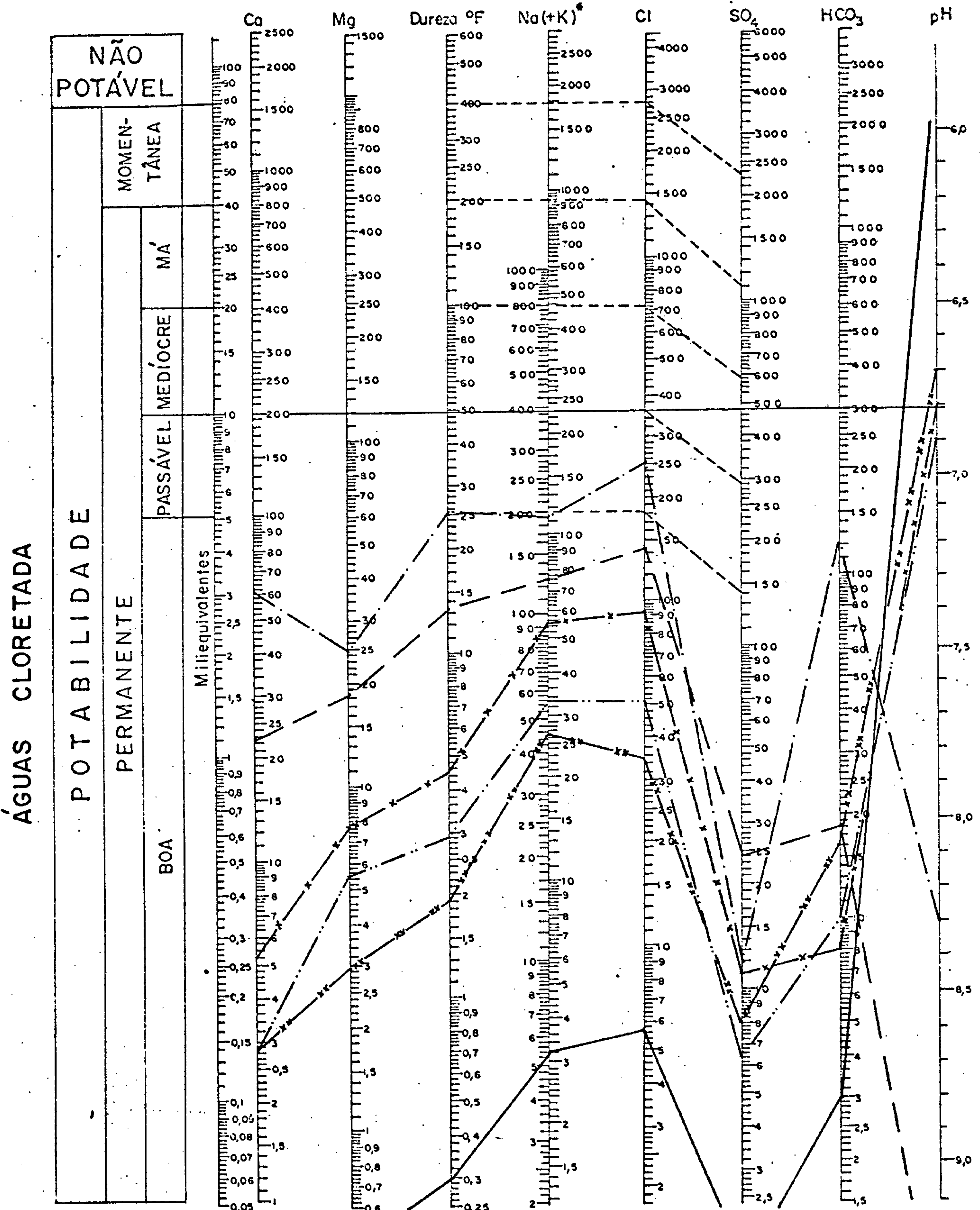
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

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



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
5,00	178.07	730,00	214.07	2.206,00	218.07 — x —
466,00	212.07	180,00	217.07	653,00	224.07 — xx —

Fig. 5. 4. 5



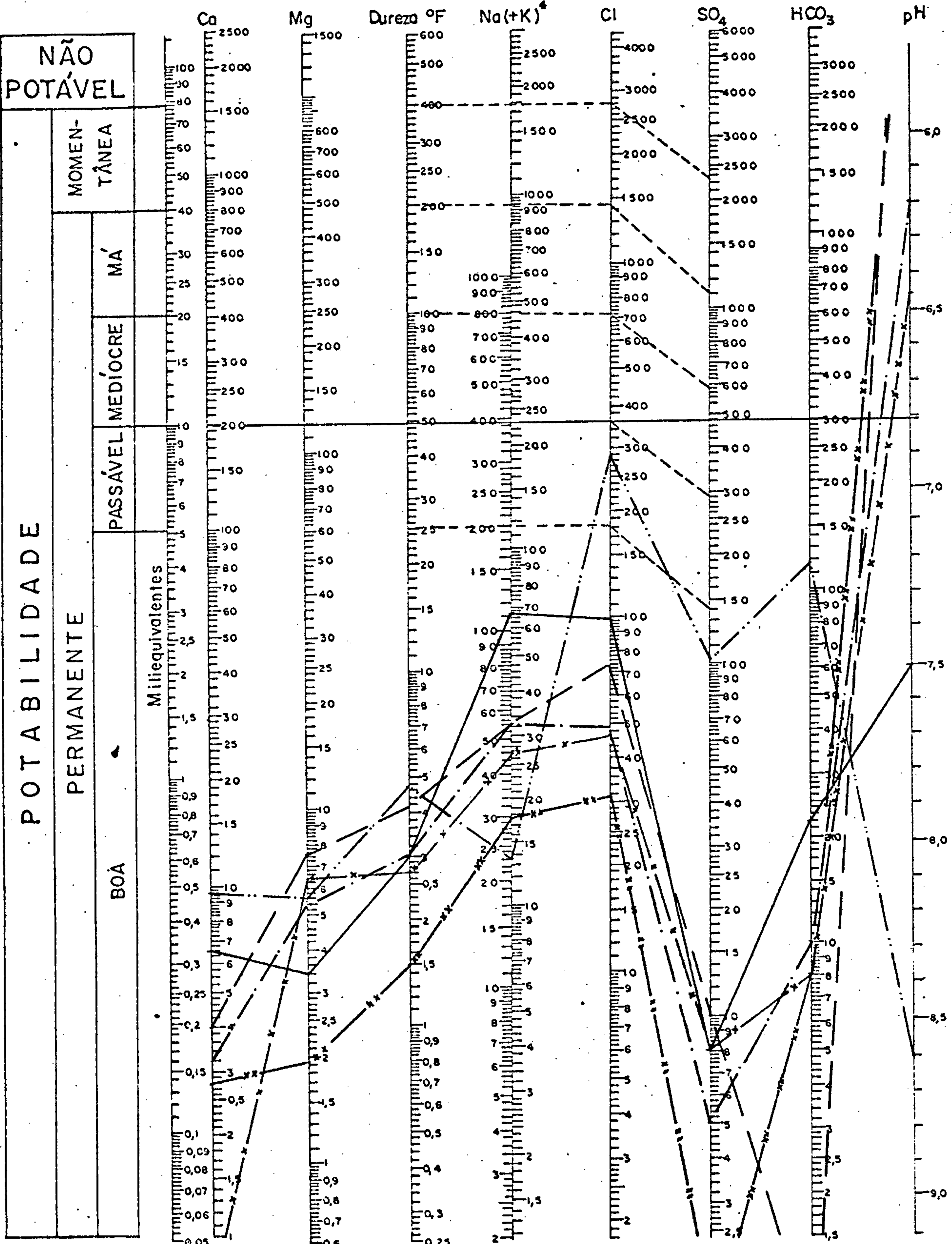
CPRM

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 CLORETADA



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

RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra
253,00	226.07 ———	151,00	232.07 — · —	120,00	250.07 — x —
336,00	231.07 — — —	748,00	233.07 — · · —	102,00	270.07 — xx —

Fig. 5.4.6



CPRM

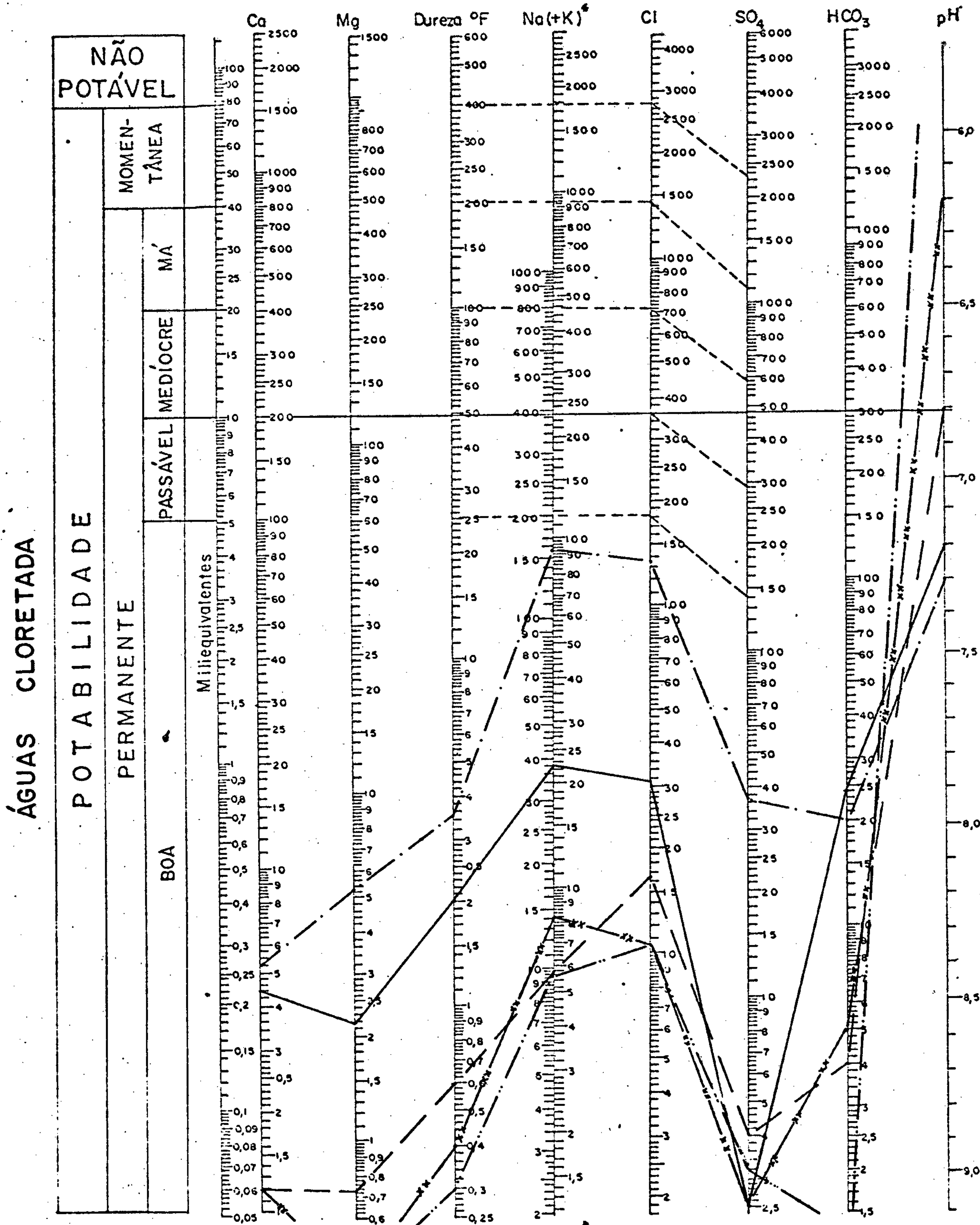
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS
MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAIBA

SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA TEORES EM MILIGRAMAS POR LITROS



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

RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra
176,00	271.07	339,00	292.07	30,00	301.07 —xx—
33,00	272.07	25,00	299.07		

Fig. 5.4.7



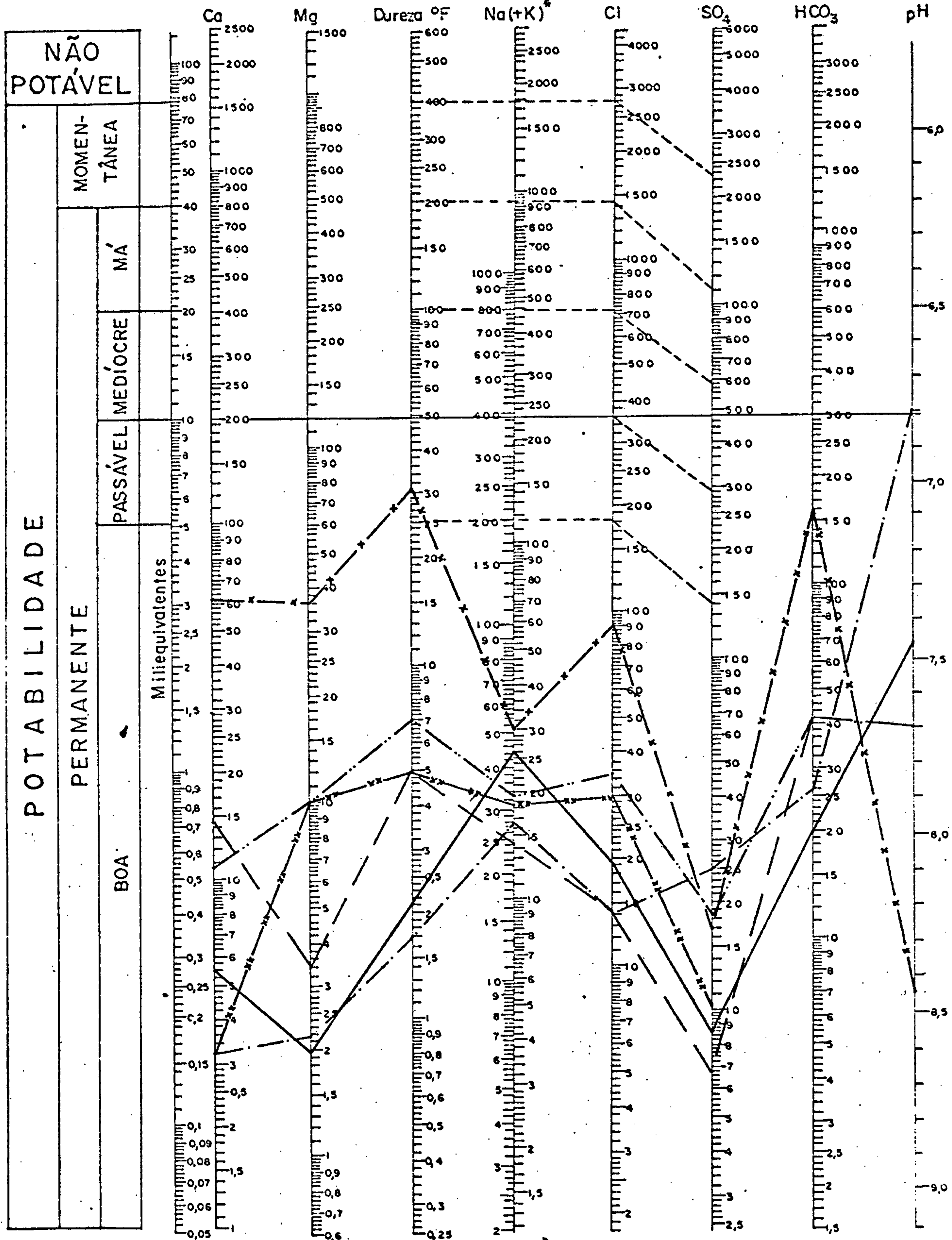
CPRM

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 CLORETADA CARBONATADA



Na(+K) Transformar K em equivalente Na e sc.na.

RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra
94,00	028.07 ———	130,00	048.07 ———	490,00	097.07 —x—
110,00	029.07 — — —	141	090.07 — — —	200,00	104.07 —xx—

Fig. 5.4.8



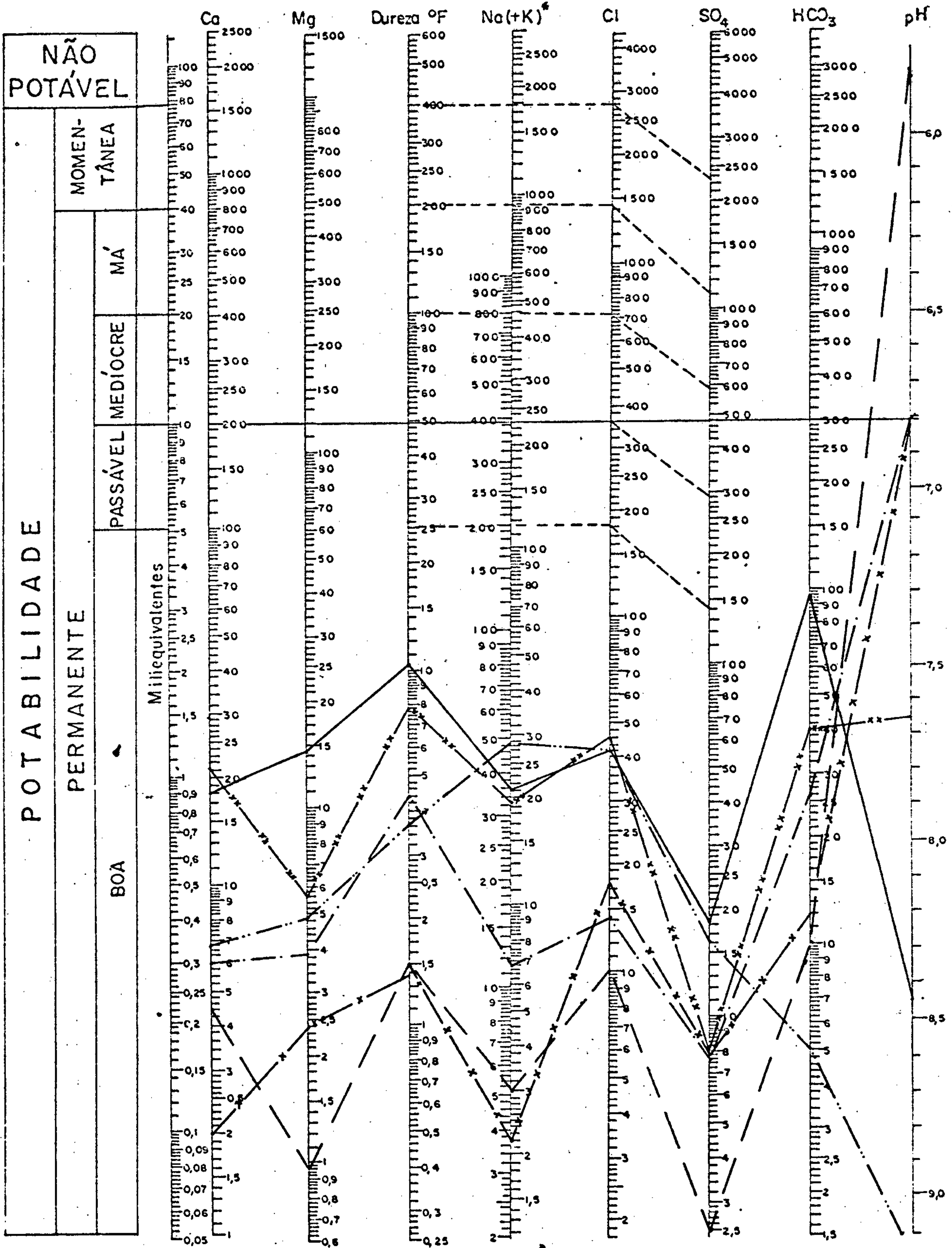
CPRM

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 CLORETADA CARBONATADA



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
211,00	105.07 —	178,00	179.07 —	1.691,00	220.07 —x—
40,00	156.07 —	188,00	211.07 —	224,00	225.07 —xx—

Fig. 5.4.9



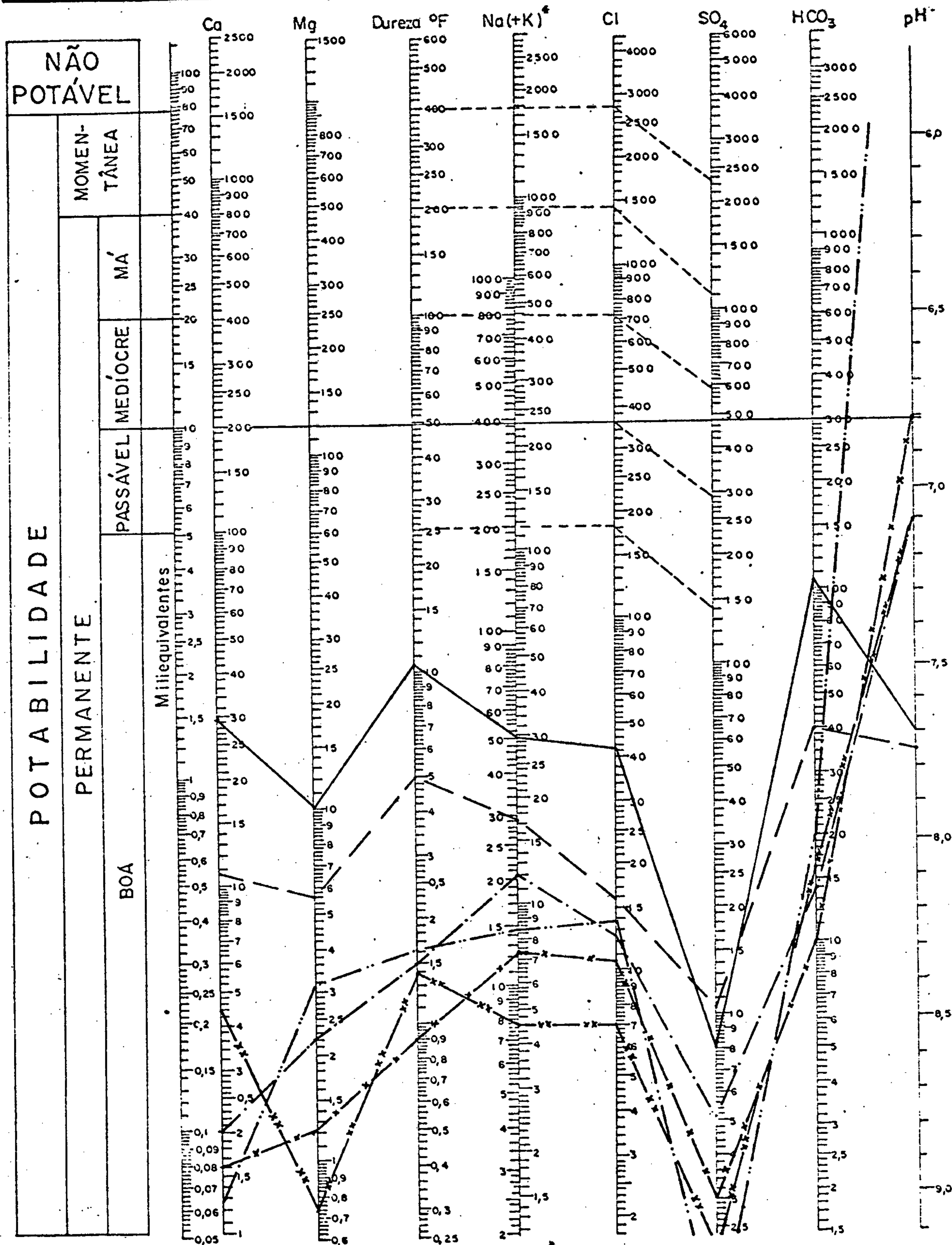
CPRM

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

ÁGUAS CLORETADA CARBONATADA



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
204,00	251.07 ———	166,00	278.07 ———	40,00	304.07 —x—
139,00	261.07 ———	103,00	303.07 ———	33,00	305.07 —xx—

Fig. 5.4.10



CPRM

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

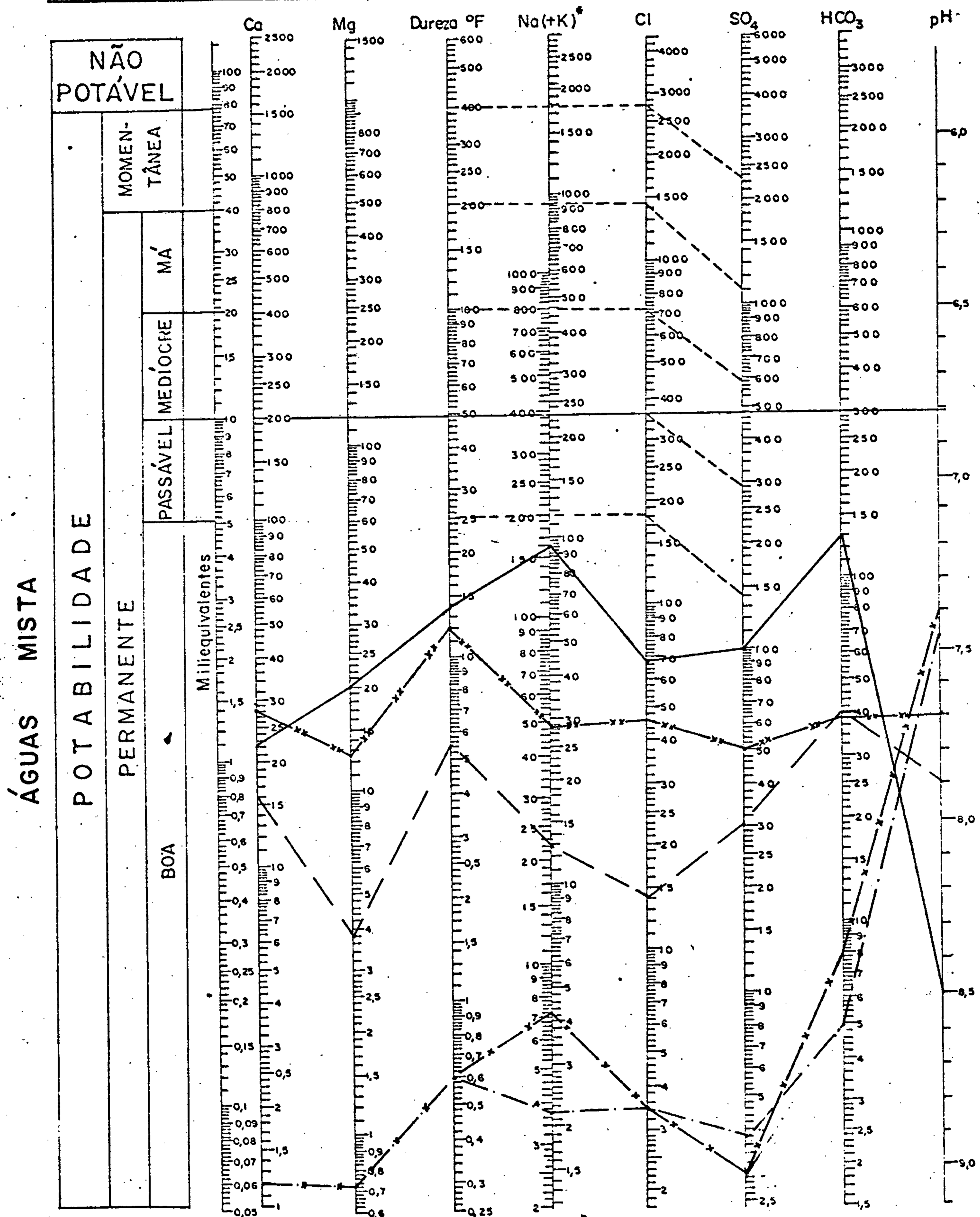
COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

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 K em equivalente Na e somar.

RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra
454,00	064.07 ———	17,00	113.07 ———	300,00	137.07 —xx—
118,00	074.07 - - - -	19,60	127.07 —x—		

Fig.5.4.II



CPRM

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

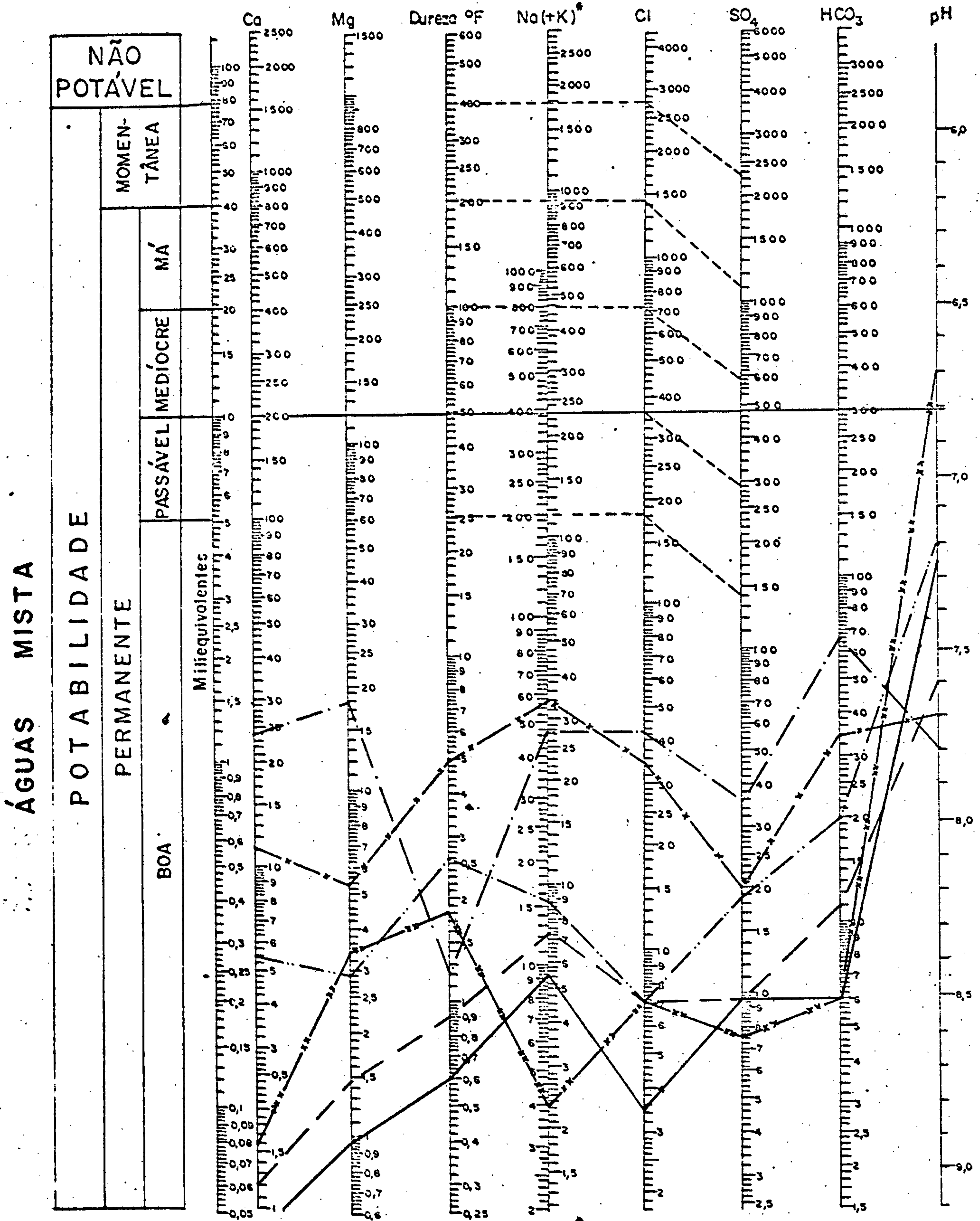
PROJETO ESTUDO GLOBAIS DOS RECURSOS

MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA

SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA

TEORES EM MILIGRAMAS POR LITROS



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

RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra	RS mg/l	Nº da Amostra
25,00	151.07	32,00	176.07	489,00	228.07 —x—
39,00	152.07	49,00	185.07	14,00	243.07 —xx—

Fig. 5.4.12



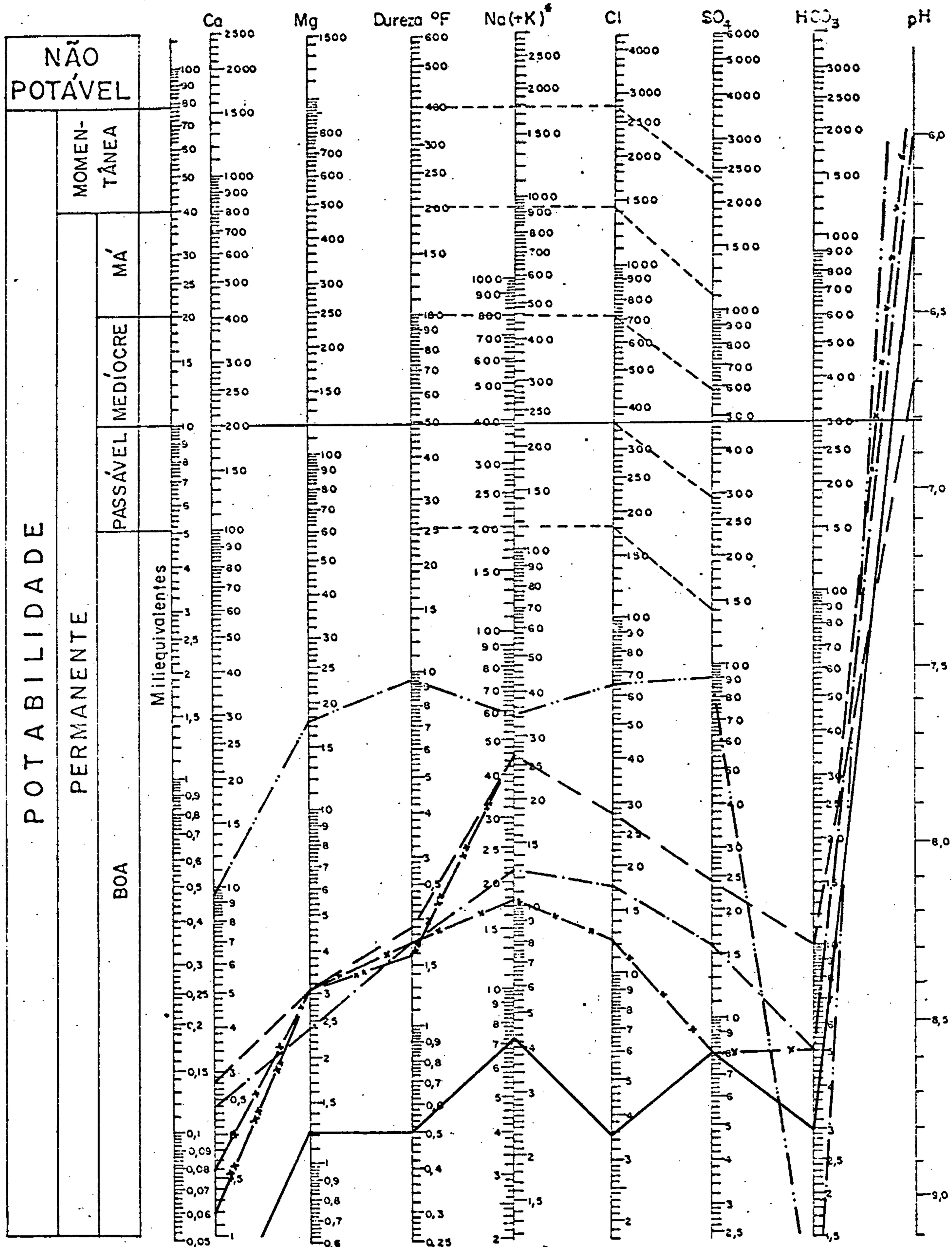
CPRM

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

ÁGUAS SULFATADA CLORETADA



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
19,00	051.07 ———	56,00	083.07 ———	103,00	264.07 —x—
97,00	052.07 ———	229,00	110.07 —··—	134,00	269.07 —xx—

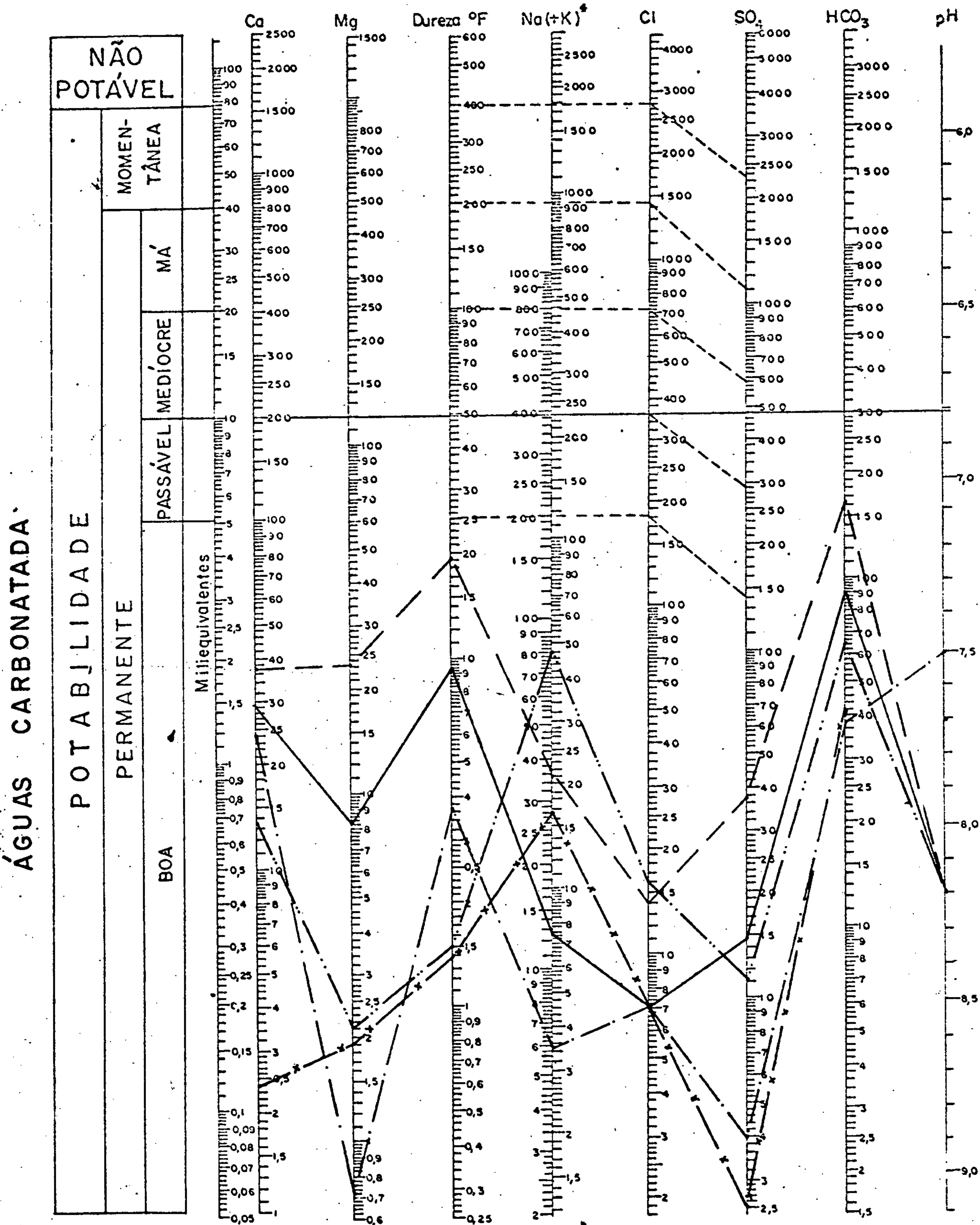
Fig. 5.4.13



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
136,00	069.07 —	65,00	194.07 —	108,00	276.07 —x—
306,00	085.07 —	174,00	273.07 —		

Fig. 5. 4. 14



CPRM

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL
RECIFE

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

PROJETO ESTUDO GLOBAL DOS RECURSOS

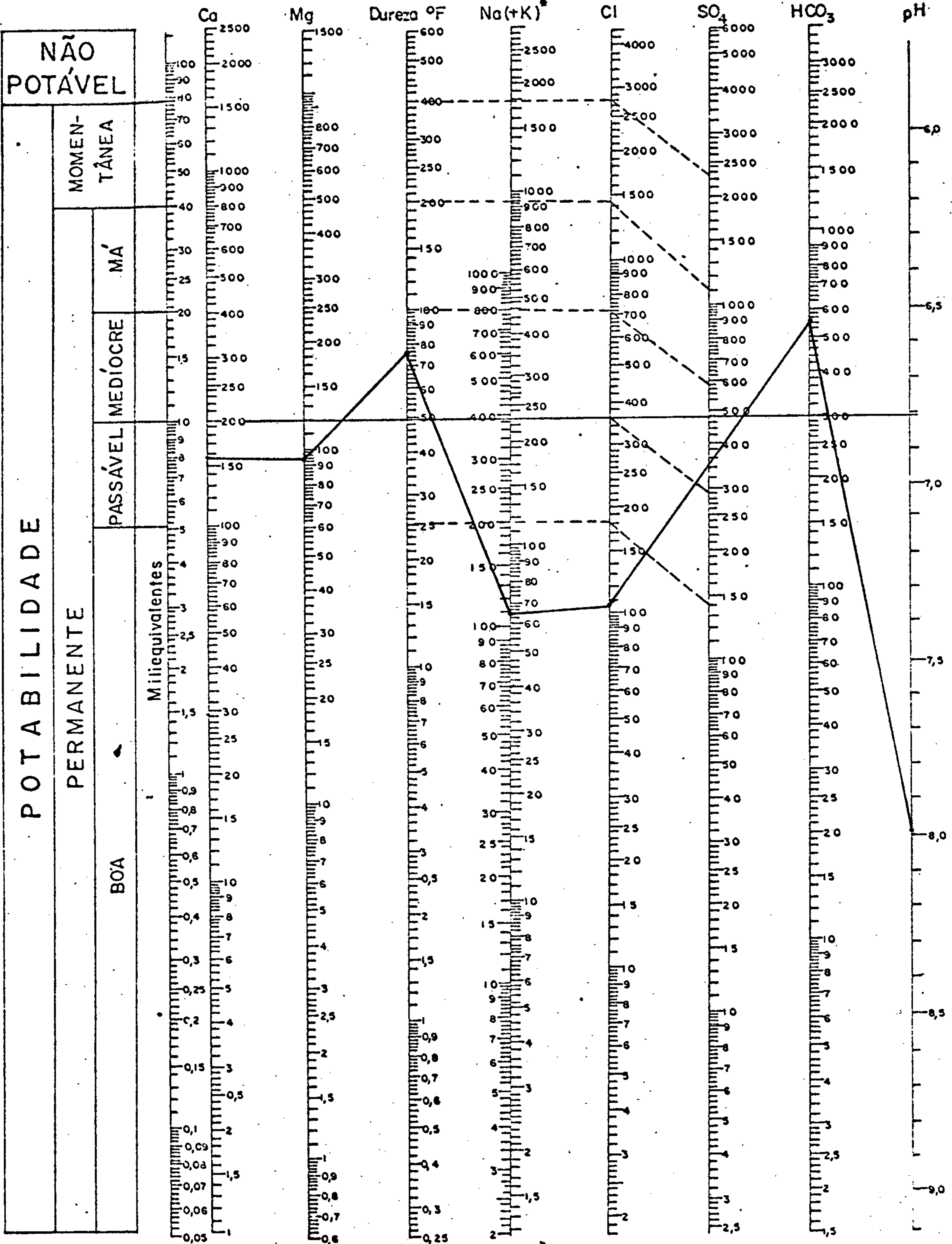
MINERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA

SUB-PROJETO HIDROGEOLOGIA

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA

TEORES EM MILIGRAMAS POR LITROS

ÁGUAS CARBONATADA SULFATADA



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
1.250,00	120.07				

Fig. 5.4.15

- As águas carbonatadas possuem potabilidade permanente boa, dentro de todos os parâmetros exigidos, como pode ser constatado na Figura 5.4.14.
- As águas carbonatadas sulfatadas, representadas apenas pela amostra 120.07, apresentam uma potabilidade de passável a medíocre, apesar do pH encontrar-se dentro dos limites aceitáveis, como pode ser visto na Figura 5.4.15.

5.5 - QUALIDADE DAS ÁGUAS PARA IRRIGAÇÃO

A concentração salina das águas destinadas à irrigação, é de suma importância, em razão dos efeitos destes constituintes minerais, dissolvidos na água, sobre o solo e as culturas.

A qualidade das águas para irrigação foi determinada de acordo com a classificação proposta pelo U.S. Salinity Laboratory. Para a aplicação deste método é necessário o conhecimento do RAS, razão de adsorção de sódio, que é conhecido através da aplicação da fórmula:

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

Os teores dos íons de sódio, cálcio e magnésio são expressos em meq/l. Os valores do RAS e da condutivi

dade elétrica são apresentados no Quadro 5.5.1, sendo, também, indicada a formação em que foi coletada a amostra de água.

De posse destes dados utilizou-se o gráfico semi-logarítmico (Fig. 5.5.2) onde a abcissa corresponde aos valores da condutividade elétrica, em micromho/cm a 25°C, e a ordenada, os valores da RAS (razão de adsorção de sódio).

A partir destes dados foi elaborado o quadro 5.5.3, da distribuição de frequência relativa e acumulada dos diferentes tipos de água para a irrigação, baseada na classificação adotada.

QUADRO 5.5.3
FREQUÊNCIA DOS TIPOS DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

T I P O S	Nº DE AMOSTRAS	F R E Q U Ê N C I A	
		RELATIVA (%)	ACUMULADA (%)
C ₀ - S ₀	21	27,6	27,6
C ₀ - S ₁	4	5,3	32,9
C ₁ - S ₁	30	39,5	72,4
C ₂ - S ₁	12	15,8	88,2
C ₂ - S ₂	2	2,7	90,9
C ₃ - S ₁	4	5,2	96,1
C ₃ - S ₃	1	1,3	97,4
C ₄ - S ₁	1	1,3	98,7
C ₄ - S ₄	1	1,3	100,0
T O T A L	76	100	

Existem nesta área, nove tipos diferentes de águas para irrigação, verificando-se que a maioria das



CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS PARA IRRIGAÇÃO

- FOLHA 07 -

FORMAÇÃO	AMOSTRA	CE	SAR	CLASSE	FORMAÇÃO	AMOSTRA	CE	SAR	CLASSE
Cobertura	194.07	79,38	0,15	Co-Si	Itapecuru	179.07	84,24	0,27	Co-So
II	301.07	37,26	0,24	Co-Si	II	211.07	230,85	1,01	C1-S1
Itapecuru	028.07	127,00	1,34	C1-S1	II	212.07	613,17	2,27	C1-S1
II	029.07	139,00	0,54	C1-S1	II	214.07	1.229,70	2,73	C1-S1
II	045.07	526,50	3,33	C2-S1	II	217.07	198,45	1,69	C1-S1
II	048.07	46,00	0,58	Co-Si	II	218.07	320,00	2,52	C2-S1
II	050.07	1.528,40	0,67	C3-S1	II	220.07	73,00	0,99	Co-So
II	052.07	158,76	2,47	C1-S1	II	225.07	239,76	0,68	C1-S1
II	056.07	2.300,00	36,24	C4-S4	II	226.07	381,00	4,38	C1-S1
II	064.07	672,30	3,35	C2-S1	II	228.07	231,66	1,05	C1-S1
II	069.07	194,40	0,25	C1-S1	II	231.07	316,00	1,64	C1-S1
II	074.07	170,10	1,69	C1-S1	II	232.07	216,00	1,82	C1-S1
II	075.07	1.911,60	1,69	C3-S1	II	233.07	1.272,00	17,12	C3-S3
II	083.07	92,56	1,21	Co-Si	II	243.07	15,88	0,21	Co-So
II	085.07	450,00	0,59	C2-S1	II	250.07	198,00	1,69	C1-S1
II	090.07	208,98	0,85	C1-S1	II	251.07	352,00	1,01	C2-S1
II	093.07	765,45	5,70	C3-S1	II	261.07	171,00	0,25	C1-S1
II	094.07	253,13	3,90	C2-S1	II	264.07	88,29	0,65	Co-So
II	097.07	705,00	0,70	C2-S1	II	269.07	124,74	1,52	C1-S1
II	104.07	187,42	0,71	C1-S1	II	270.07	117,45	1,21	C1-S1
II	105.07	303,75	0,89	C2-S1	II	271.07	131,22	1,05	C1-S1
II	110.07	352,79	1,24	C2-S2	II	272.07	42,93	0,90	Co-So
II	120.07	1.950,00	0,96	C3-S1	II	273.07	147,64	4,18	C1-S1
II	124.07	111,78	1,91	C1-S1	II	276.07	100,44	1,84	C1-S1
II	127.07	29,57	0,61	Co-So	II	278.07	67,23	0,77	Co-So
II	128.07	111,25	1,15	C1-S1	II	292.07	575,00	6,24	C2-S1
II	137.07	370,00	0,56	C1-S1	II	299.07	33,62	0,27	Co-So
II	148.07	522,45	2,72	C2-S1	II	303.07	134,46	0,87	C1-S1
II	152.07	50,73	0,67	Co-So	II	304.07	49,41	0,87	Co-So
II	154.07	567,00	0,33	C2-S1	II	305.07	42,93	0,24	Co-So
II	155.07	211,85	1,53	C1-S1	C o d ó	224.07	145,00	1,29	C1-S1
II	156.07	52,24	0,33	Co-So	Grajaú	051.07	24,00	2,47	Co-So
II	159.07	78,48	0,69	Co-So	II	058.07	10,50	1,04	Co-So
II	167.07	61,39	0,51	Co-So	II	059.07	28,59	1,04	Co-So
II	168.07	259,20	4,72	C2-S1	II	079.07	317,52	9,62	C2-S2
II	174.07	71,28	0,27	Co-So	II	113.07	24,01	3,67	C4-S1
II	176.07	366,53	0,52	C1-S1	II	151.07	34,63	0,86	Co-So
II	178.07	16,44	0,52	Co-So	C o r d a	185.07	39,29	0,51	Co-So

CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS PARA IRRIGAÇÃO

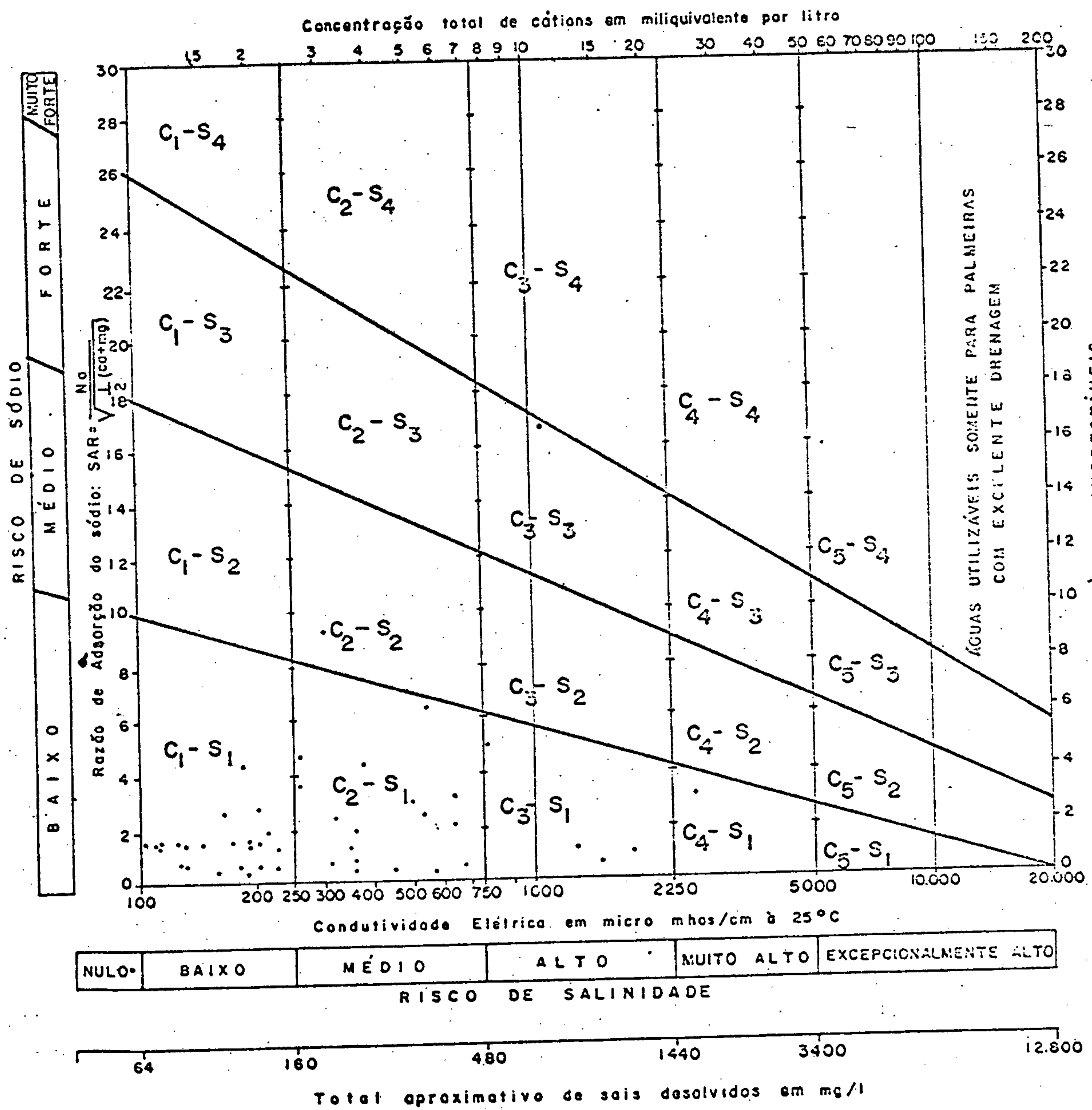


Fig. 5.5.2

guas, (72,4%), são fracamente sódicas e podem ser utilizadas em quase todos os solos, com fraco risco de surgimento de teores nocivos de sódio susceptível de trocas, apresentando salinidade fraquíssima ($C_0 - S_0/S_1$) a salinidade fraca ($C_1 - S_1$), as quais podem ser utilizadas sem restrições na irrigação da maior parte das culturas e na maioria dos solos. As águas tipo $C_2 - S_1$ e $C_2 - S_2$ são 18,5% do total. O primeiro tipo só pode ser utilizado se houver uma lixiviação moderada do solo e as culturas forem de fraca tolerância salina; no segundo tipo, o sódio é perigoso, para os solos de textura fina e forte capacidade de troca de cations; para a sua utilização, o solo tem que ter textura grosseira, ou ser rico em materiais orgânicos, com boa permeabilidade. Os tipos $C_3 - S_1$ e $C_3 - S_3$ representam 6,5% das águas analisadas; no primeiro caso, as águas só podem ser utilizadas em solos bem drenados, e em culturas de boa tolerância salina; a utilização do segundo tipo exige todas as especificações da primeira e se o solo for gipsífero, deverá haver boa lixiviação e presença de material orgânico. Os restantes, 2,6%, são correspondentes aos tipos $C_4 - S_1$ que são águas de alcalinidade muito forte e, geralmente, não servem para irrigação; excepcionalmente, podem ser utilizadas em solos permeáveis bem cuidados e abundantemente irrigados, onde só podem ser cultivados, plantas de altíssima resistência salina. O tipo $C_4 - S_4$, são imprestáveis para a irrigação.

6 - CONCLUSÃO

Dos estudos hidrogeológicos realizados na Folha Teresina-NO, pode-se concluir:

- 1) A área a que corresponde a Folha 07 está totalmente incluída na Bacia Sedimentar do Parnaíba. Suas rochas aflorantes são de idade paleozóica (Formação Sambaiba), mesozóica (formações Mosquito, Pastos Bons, Corda, Sardinha, Grajaú, Codó e Itapecuru), terciária, quaternária, além de aluviões recentes.

As formações Mosquito e Sardinha correspondem a derrames basálticos intercalados no pacote sedimentar.

- 2) A estrutura tectônica, segue um padrão homoclinal de direção aproximadamente N-S, com suas camadas mergulhando suavemente para o centro da bacia, no sentido E e NW. Os falhamentos de grandes destaques, são normais e, em parte, foram aproveitados pelos cursos de água, e os falhamentos de pequena amplitude se concentram na Formação Itapecuru e são falhas de acomodação.

- 3) Sob o ponto de vista hidrogeológico, a área apresenta perspectivas favoráveis, já que a mesma é constituída por espessos pacotes arenosos, e em igual proporções siltico-arenosos, os quais oferecem ótimas condições de armazenamento e liberação de águas subterrâneas.

- 4) As formações Sambaiba, Corda e Grajaú são predominantemente arenosas. A Formação Itapecuru, que

constitui um espesso pacote, é siltico arenoso. A Formação Codó é essencialmente pelítica e os basaltos Mosquito e Sardinha, funcionam, respectivamente, como aquitardo e aquícludes, os quais, confinam e deixam sob carga, os aquíferos soto postos de modo que rumo ao centro da bacia, ocorre um aumento da pressão artesianas, nos aquíferos que são por eles confinados.

- 5) Os principais aquíferos são constituídos pelas formações Piauí, totalmente confinado a grande profundidade e, as formações Sambaiba, Corda, Grajaú, parcialmente confinados. A unidade Itapecuru, é um aquífero livre, siltico arenoso, que, ocasionalmente, apresenta nível estático profundo. Os aquíferos Corda e Grajaú possuem extensa área de recarga e espessuras razoáveis, oferecendo ótimas condições de jorro.
- 6) Das unidades geológicas que ocorrem em subsuperfície, em parte, de idade mesozóica e de toda sequência paleozóica, só se tem informações através dos furos estratigráficos, realizados pela Petrobrás em Imperatriz e Grajaú (MA). Os pontos de água inventariados, principalmente as fontes e os poços manuais, refletem de uma maneira precária, as condições hidrogeológicas das unidades mais superficiais. Existem alguns poços tubulares mais profundos, situados na Formação Itapecuru. A maioria dos poços tubulares, relativamente rasos, são alimentados pelas formações Corda e Grajaú, sendo as unidades inferiores praticamente desconhecidas.
- 7) Dada a impossibilidade de efetuar testes de aquíferos, não se podem tecer maiores considerações

sobre o comportamento hidrodinâmico dos aquíferos desta área.

8) Pelas características dimensionais avaliadas e pelos parâmetros hidráulicos admitidos, estimaram-se as reservas permanentes totais armazenadas na ordem de $405.588 \times 10^6 \text{ m}^3$. As reservas exploráveis, dos principais aquíferos foram avaliadas, em $451 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, admitindo a utilização integral dos volumes de escoamento natural anual e parte das reservas permanentes, levando em conta, a existência de um rebaixamento uniforme dos níveis de água, nas zonas livres e confinadas dos aquíferos.

9) No que se refere a qualidade das águas, observa-se que existe uma marcante predominância das águas cloretadas e cloretadas carbonatadas. Das amostras analisadas, 73,6% apresentam resíduo seco inferior a 300 miligramas/litro, enquanto que o pH médio, para toda área, foi de 6,91, portanto, de uma maneira geral ácido. A utilização destas águas para consumo humano e irrigação, apresenta-se sem restrições na sua maioria, apenas pequeno percentual se classifica como não potável e inadequado para irrigação.

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

- AGUIAR, Guanahyro Antunes de - Bacia do Maranhão, geologia e possibilidades de Petróleo. Rio de Janeiro, PETROBRÁS, 1969. 55p. il. (Relatório 371).
- ANDRADE, Valdomir Alves de - Geologia e Aspectos Hidrogeológicos da região sul de Imperatriz-MA. Relatório de Graduação em Geologia. Recife, UFPe/Escola de Geologia, 1972. 56p. il.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL - 1976 - Rio de Janeiro, Secretaria de Planejamento da Presidência da República. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1976. 813p.
- ARAÚJO, C. Carvalho de & MIRANDA, J.L. Fortunato de - Inventário Hidrogeológico do Nordeste; Folha 17 - Rio São Francisco-NO (Relatório Preliminar Inédito, CPRM). Recife, DNPM/CPRM, 1979. il.
- BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Divisão de Concessão de Recursos Hídricos. Sistema de Codificação das Estações Hidrológicas. Brasília, DNAEE, 1976. 22p. Anexos. il.
- BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Divisão de Concessão de Recursos Hídricos. Inventário das Estações Pluviométricas. Brasília, DNAEE, 1976. 192p. il.
- BRASIL. MINTER/DNOCS. Estudo de reconhecimento Vale do Gurguéia. Teresina, OESA-TECNOSOLO-OTI-EPTISA, 1973. 3v. il.
- BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. Proje

- to Estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimen-
tar do Parnaíba (Relatório Preliminar, CPRM). Recife,
DNPM/CPRM, 1975. 3v. il.
- BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. Proje-
to Leste do Tocantins/Oeste do Rio São Francisco. Rela-
tório Final. Rio de Janeiro, CPRM/PROSPEC, 1976.
- BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. Proje-
to RADAM. Folha SC.23-Rio São Francisco - Geologia, geo-
morfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra.
Rio de Janeiro, RADAM, 1973. il.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO INTERIOR. Superintendência de Desen-
volvimento do Nordeste. Arquivo Controle Pluviométrico
Piauí, Maranhão. Recife, SUDENE. 5v.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO INTERIOR. Superintendência de Desen-
volvimento do Nordeste. Elementos de hidrogeologia-prá-
tica. 2ª ed. Recife, SUDENE. Divisão de Documentação,
1971. 353p. il.
- BRASIL. SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE.
Divisão de Recursos Naturais. Normas climáticas da Á-
rea da SUDENE. Recife, 1963. 83p. il.
- BRASIL. FUNDAÇÃO IBGE. Geografia do Brasil. Região Nor-
deste. Rio de Janeiro, 454p. il.
- BRASIL. FUNDAÇÃO IBGE. Geografia do Brasil. Região Norte.
Rio de Janeiro, 1977. 466p. il.
- BRASIL. SECRETARIA DE PLANEJAMENTO DA PRESIDÊNCIA DA REPÚ-
BLICA. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Es-
tatística. Produção Agrícola Municipal. Região centro-
-oeste. Rio de Janeiro, Fundação IBGE, 1974. vol. 4.

161p. il.

BRASIL. SECRETARIA DE PLANEJAMENTO DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Pecuária Municipal. Região sul e centro-oeste. Rio de Janeiro, Fundação IBGE, 1974. vol. 4. 237p. il.

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

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

BRITO, Paulo Bezerra de - Estudo Geológico e Hidrológico Preliminar da Região de Imperatriz-MA. Relatório de Graduação em Geologia. Recife, UFPE/Escola de Geologia, 1972. 81p. il.

CAMPBELL, Donald F., AIMEIDA, 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.

CARNEIRO, Raul Guimarães - Mapeamento Estrutural entre Grajaú - Imperatriz. Rio de Janeiro, PETROBRÁS, 1974 (mapa in bolso). 42p. il. (Relatório 398).

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

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

- CRUZ, Waldemar Barbosa da & MELO, Francisco - Estudo Geoquímico Preliminar das Águas Subterrâneas do Nordeste do Brasil. Recife, SUDENE, Div. Documentação, 1974. 128p. il. Mapas (in bolso) (Brasil. SUDENE. Hidrogeologia, 19).
- CUSTÓDIO, Emílio & LLAMAS, Manoel Ramon - Hidrologia subterrânea. Barcelona, Omega, 1976. 2v. il.
- DAVIS, Stanley N. & DEWIEST, Roger J.M. - HIDROGEOLOGY, New York, John Wiley & Sons, Inc., 1966. 463p. il.
- DEWIEST, Roger J.M. - GEOHYDROLOGY. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1965. 366p. il.
- GALVÃO, Ivo Vieira - Estudo Hidrogeológico Preliminar da Área de Montes Altos - MA. Relatório de Graduação em Geologia. Recife, UFPE/Escola de Geologia, 1972. 72p. il.
- LEAL, Antonio de Sousa - Legenda para mapas hidrogeológicos. Recife, SUDENE, 1973. 72p. (Brasil. SUDENE. Divisão de Hidrogeologia, série hidrogeológica, 48).
- LOGAN, John - The interpretation of chemical analyses of water. Recife, USAID, 1965. 65p. graf.
- MAIO, Celeste Rodrigues - Considerações Gerais sobre a semi-aridez do nordeste do Brasil. Rio de Janeiro, Fundação IBGE, Rev. Bras. Geogr. Out./Dez., 1961.
- MARANHÃO. Secretaria de Planejamento. Instituto de Pesquisa Econômica Sociais Informática. Realidade e Perspectiva. São Luis, SEPLAN, 1972. 178p. il.
- PESSOA, Mário Dias - Inventário Hidrogeológico do Nordeste; Folha 13 - Teresina-SE. Recife, SUDENE. Div. Docu-

mentação, 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. Ol mapa (in bolso) (Brasil, SUDENE, Hidrogeologia, 27).

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

SILVA, Juraci Xavier da - Geologia e Elementos de Hidrogeologia da Região Oeste de Montes Altos-Ma. Relatório de Graduação em Geologia. Recife, UFPE/Escola de Geologia, 1972. 41p. il.

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