

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**" O AQUÍFERO FISSURAL NA REGIÃO OESTE DE
PERNAMBUCO - ASPECTOS HIDRÁULICOS E HIDROQUÍMICOS "**

AUTOR: JOÃO ALBERTO OLIVEIRA DINIZ
ORIENTADOR: PROF. DR. WALDYR DUARTE
COSTA

RECIFE

- 1987 -

OK

JOÃO ALBERTO OLIVEIRA DINIZ

- Geólogo -

" O AQUÍFERO FISSURAL NA REGIÃO OESTE DE PERNAMBUCO -
ASPECTOS HIDRÁULICOS E HIDROQUÍMICOS "

DÍSSERTAÇÃO APRESENTADA AO CENTRO
DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FE-
DERAL DE PERNAMBUCO, ORIENTADA PE-
LO PROF. DR. WALDYR DUARTE COSTA; A
FIM DE OBTER O GRAU DE MESTRE EM
GEOCIÊNCIAS, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO
HIDROGEOLOGIA, DEFENDIDA E APROVA-
DA EM 28 DE JULHO DE 1987.

RECIFE

-1987-

A meus pais JOSÉ e ZULMIRA
A LOURDES, grande geóloga
amadora.

A minha filha LUCIANA

S U M Á R I O

	Pág.
1 - INTRODUÇÃO	8
1.1 - Apresentação e Justificativa	9
1.2 - Objetivos e Finalidades	11
1.3 - Metodologia de Pesquisa	12
1.4 - Agradecimentos	14
2 - A REGIÃO NORDESTE DO BRASIL - CARACTERÍSTICAS GERAIS	16
2.1 - Situação Geográfica	17
2.2 - Análise Climatológica	17
2.2.1 - Temperatura	17
2.2.2 - Umidade relativa do ar	19
2.2.3 - Precipitações Pluviométricas	22
2.2.4 - Evaporação	24
2.2.5 - Classificação Climática	27
2.3 - Hidrografia	27
2.4 - Relevo	29
2.5 - Solos/Vegetação	30
2.6 - Síntese Geológica e Hidrogeológica	35
2.6.1 - Geologia	35
2.6.2 - Hidrogeologia	39
3.0 - O EXTREMO OESTE DE PERNAMBUCO	41
3.1 - Situação Geográfica	42
3.2 - Análise Climatológica	42
3.2.1 - Temperatura	42
3.2.2 - Umidade Relativa do Ar	42
3.2.3 - Precipitações Pluviométricas	44
3.2.4 - Evaporação	46
3.2.5 - Classificação Climática	46
3.3 - Hidrografia	46

	Pág
3.4 - Relevo	49
3.5 - Solos e Vegetação	49
3.5.1 - Solos	49
3.5.2 - Vegetação	51
3.6 - Aspectos Geológicos	51
3.6.1 - Posicionamento Geotectônico	51
3.6.2 - Os sistemas de Dobramentos	53
3.6.3 - O Maciço Pernambuco-Alagoas	55
3.6.4 - Estruturas	55
4 - O AQUÍFERO FISSURAL	59
4.1 - Introdução - Conceito de Aquífero	60
4.2 - Características Hidrodinâmicas	60
4.3 - Fatores Influentes nas Características dos Poços do Embasa- mento Cristalino	67
4.3.1 - Aspectos Fisiográficos	71
4.3.2 - Aspectos Tectônicos e Estruturais	77
4.3.3 - Aspectos Litológicos	87
4.3.4 - A Análise de Regressão Múltipla	94
4.3.4.1 - Relações Entre Vazão Específica e os Fatores Físicos no Oeste de Pernambuco	96
4.3.4.2 - Análise de Superfícies de Tendências	102
4.3.4.2.1 - Aplicação da Análise de Tendências na Região Oeste de de Pernambuco	105
4.4 - Características Hidroquímicas	107
4.4.1 - Causas e Processos de Salinização	138
4.4.2 - A Análise de Regressão Múltipla Aplicada aos Aspectos Hidroquímicos	142
4.4.2.1 - Relações entre Resíduo Sêco e os Fatores Físico....	142
4.4.2.2 - Relações entre o Resíduo Sêco e os Principais Elementos Químicos	150

	Pág.
4.4.3 - A Análise de Agrupamento (Cluster Analyses).....	166
4.4.3.1 - O Agrupamentos por Resíduos Sêcos.....	
4.4.3.2 - O Agrupamento por Variáveis.....	171
4.4.4 - Análise de Tendência dos Valores do Resíduo Sêco.....	176
4.5 - A Profundidade "Ótima" dos Poços.....	212
5 - CONCLUSÕES.....	219
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	225
A N E X O S	231

R E S U M O

Com a análise do aquífero fissural na região Oeste de Pernambuco, objetiva-se contribuir para o estudo do comportamento deste aquífero na região semi-árida do Nordeste do Brasil. A área estudada compreende uma superfície total de aproximadamente 25.000 km², à qual correspondem diversas feições geológicas e pequena variação climática, constituindo-se em uma zona muito seca, com variações no índice de aridez. Assim a combinação destes elementos naturais, associada à intervenção humana, dão uma composição às suas unidades ambientais bastante representativa de toda a zona cristalina do Nordeste semi-árido. Para o estudo das relações entre as duas principais características quantitativas e qualitativas dos poços - a vazão específica e o resíduo seco - e os fatores influentes aqui considerados - profundidade e número das entradas d'água, tipo litológico, manto de alteração e clima - foram analisados dados de 180 poços e 108 análises químicas. O estudo teve como principal ferramenta a geoestatística, aplicando-se as análises de regressão múltipla e simples, de superfícies de tendência e de agrupamentos. Os resultados obtidos mostram a forte influência do clima nas características do aquífero, do ponto de vista da produtividade dos poços e da qualidade de suas águas. Também fica claro a melhor adequação da regressão múltipla ao invés da regressão simples a este tipo de estudo, bem como, mostra a influência de fatores até então não muito considerados, como o manto de alteração. A profundidade ideal da perfuração é discutida, fixando-se a mesma em 40,00m, tanto do ponto de vista técnico, como do econômico e social. Encerrando, propõe-se a demarcação de zonas homogêneas, do ponto de vista litológico, estrutural e climático em toda a região semi-árida, a partir de

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

das quais se deve efetuar um zoneamento potencial-hidroquímico do aquífero.

A B S T R A C T

With the object to contribute to the study of the behaviour of the fractured aquifer in the semi-arid area of north-east Brazil, this type of aquifer has been studied in detail in the western part of Pernambuco. The studied region, comprising a total area of aprox. 25.000 square kilometers, shows various geological features and small climatologic changes, representing an extremely dry area with some variation in degree of drought. Thus, the combination of these natural elements, associated with human intervention, represents a composition of its environmental units, sufficiently representing all the crystalline rock of the drought polygon of the north-east. 180 hydrogeological well data and 108 hydrochemical analysis have been, to evaluate the relations between the two principal characteristics (quantity and quality) of the groundwater: the specific discharge and the total dissolved solids as measured in the wells. Furthermore determinans factors as well depth, number of water containing fractures, type of rock, desintegrated cover and climate were included in the study. The study is principally based on the application of geo-statistical methods as simple and multiple regression, trend surface analysis and cluster analysis. The results indicate the great influence of the climate in the aquifer characteristics, considered here as the well productions and the quality of the groundwater. Also it has been demonstrated, that the application of multiple regression is more convenient for this type of study than simple regression, as was indicated a.o. by the inclusion of the desintegrated cover in the multiple regression analysis. The ideal well depth has been discussed, resulting in 40m., considering technical, economical as well as social parameters. Finally are proposed homogeneous lithological, structural and climatological zones for the whole semi-arid drought polygon, from which it must be possible to deduce a potential-hydrochemical zoning of the aquifer.

C A P Í T U L O 1

INTRODUÇÃO

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

1.1 - APRESENTAÇÃO E JUSTIFICATIVA

A região Nordeste do Brasil, para efeito da aplicação da política desenvolvimentista da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE, compreende uma área de aproximadamente 1.600.000 km² - 19% da superfície total do país - e é subdividida em duas regiões bastante distintas, o "Polígono das Secas" zona sujeita a grandes estiagens e a faixa costeira úmida.

As regiões costeiras e a parte mais setentrional do Nordeste apresentam um clima tropical úmido, alta umidade relativa do ar e precipitações pluviométricas médias em torno dos 1500mm anuais, possuindo solos normalmente bastante férteis e adaptando-se bem a agropecuária.

Em contraste com esta região tropical úmida, encontramos o "Polígono das secas", com características de clima semi-árido, estendendo-se por mais da metade (aproximadamente 940.000 km²) do Nordeste.

Nesta zona de incidência das secas, flagelo que assola secular e periodicamente a região, problemas advindos de aspectos climáticos - reduzidas precipitações com distribuição muito irregular das chuvas e evaporação superior a pluviometria - e fisiográficos, onde se destaca o caráter temporário e fortemente irregular de quase todas os cursos d'água, têm transformando, principalmente na área de dominância dos terrenos cristalinos, que constituem cerca de 50% da área total, esta região num foco potencial de inquietações sociais.

Apesar disto, a seca atinge sempre ou ao menos

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

preferencialmente a classe trabalhadora sem terra ou os pequenos proprietários. Aos poderosos e grandes proprietários a seca traz uma ampla gama de benefícios, que vão desde os investimentos públicos gratuitos e o perdão de compromissos assumidos, até as manobras eleitoreiras.

Apesar de termos consciência que um problema social por si só não se constitui em um problema de pesquisa, ele o será na medida em que se questione o porque da sua existência ou seja, quais as suas dimensões e como ele se aplica.

Este problema origina-se inicialmente do incentivo dado pelos Governos às medidas de combate as secas no lugar errado. Assim, as obras construídas no sentido de aumentar a oferta de água são comumente feitas sem a obediência a princípios técnicos rigorosos, atendendo-se a pedidos dos poderosos, em detrimento da maioria da população. Desta forma, constroem-se amplos reservatórios para em seguida os abandonar a evaporação e conseqüente salinização por falta de uso, perfuram-se poços locados por determinados Deputados ou Coronéis, etc..

No tocante a perfuração de poços tubulares no embasamento cristalino, o desperdício de recursos é enorme, quer pelo elevado índice de insucessos (dos aproximadamente 50.000 poços perfurados cerca de 40% são secos) que se originam da falta de qualificação dos técnicos nas empresas de perfuração ou da falta de condições de trabalho nas mesmas, quer pela perfuração acima dos limites técnicos viáveis, ou simplesmente por ingerências políticas.

Aliado aos fatores acima enumerados, ocorre o problema da falta de conhecimento de todos os fatores influentes

águas subterrâneas e as relações encontradas, desde que devidamente comprovadas, poderão ser estendidas a regiões semelhantes.

1.3 - METODOLOGIA DA PESQUISA

A pesquisa aqui desenvolvida foi iniciada quase que espontaneamente, a partir de nossos trabalhos profissionais na Companhia Nordeste de Sondagens e Perfurações - CONESP que durante o ano de 1984 atuou intensamente na região Oeste de Pernambuco.

A partir do interesse que se nos despertou os aspectos relativos a locação dos poços, produtividade dos mesmos e qualidade de suas águas, iniciamos a pesquisa propriamente dita, que constou inicialmente na coleta de dados de poços existentes na área e sua análise.

Infelizmente, a análise destes dados nos revelou que, afora os poços perfurados pela CONESP, os demais não mereciam qualquer credibilidade, por neles não serem feitos testes de bombeamento (as vazões são medidas durante a perfuração, em vertedouros, ou obtidos através de testes de caçamba de curta duração), não possuírem descrição litológica ou coordenadas geográficas e frequentemente não haver sido feita análise química das suas águas. Nas diversas viagens de campo feitas a área, tivemos a oportunidade de presenciar a construção de reservatórios para armazenamento de água antes da perfuração do poço, sem se saber ao menos de sua capacidade de produção. A situação chega ao ponto de existirem inclusive poços secos instalados com eletro-bombas ou cataventos.

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

Desta forma, de quase 2.000 poços que tínhamos inicialmente cadastrado, trabalhamos com apenas 180 mas cuja qualidade dos dados julgamos bastante boa. Deste total, com exceção dos mais antigos (cerca de 80 poços), os demais tiveram participação nossa ou de geólogos ainda pertencentes aos quadros da CONESP, os quais tivemos frequentemente oportunidade de entrevistar.

Deste total de 180 poços amostrados, trabalhamos inicialmente com todos, quando procuramos obter parâmetros não comparativos, como p. ex. profundidade de entradas d'água, vazão específica média, etc., ou que não necessitavam de uma posição geográfica bem clara.

Na parte comparativa, isto é, quando tentamos obter correlações entre as principais características dos poços (vazão específica e resíduo seco), trabalhamos apenas com aqueles poços que julgávamos completos, isto é, que possuíam também análise química (108 poços).

Finalmente, na parte da confecção de mapas (de contorno, de tendência e de resíduos, com os respectivos blocos-diagrama), foram utilizados apenas os poços que possuíam coordenadas geográficas bem demarcadas, reduzindo-se nossa amostragem a 84 poços.

Posteriormente, concomitantemente com um amplo estudo da bibliografia pertinente ao aquífero fissural, foi feita uma análise dos principais elementos dos poços e da forma como eles interagem entre si para formar as características principais dos mesmos. Também os fatores externos ao aquífero, tais como o clima foram analisados, usando-se para isto a repetição da análise para a

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

da região e para cada tipo litológico mais comum.

Como era nossa intenção obter parâmetros aplicáveis a regiões semelhantes mesmo que distantes, este trabalho consta de um capítulo inicial no qual se tenta, em linhas gerais, caracterizar o Nordeste brasileiro, seguindo de uma caracterização fisiográfica e geológica local, isto é, da área estudada, analisando-se depois, especificamente o aquífero fissural na região Oeste de Pernambuco. Encerrando o estudo realizado, apresentamos no capítulo 5 as principais conclusões obtidas.

Um fato a ser ressaltado é com relação aos valores dos coeficientes de correlação encontrados. Apesar de serem frequentemente bastante reduzidos os mesmos, via de regra, expressam relações já notadas no dia-a-dia.

Ao nosso ver, mais importante que este valor da correlação (se ela é fraca ou forte), é a expressão da forma de atuação de uma determinada variável sobre a vazão específica ou o resíduo seco dos poços. Se conhecermos a forma desta influência, certamente o planejamento de futuras captações será facilitado, e o trabalho ora apresentado terá fornecido uma importante contribuição ao problema do conhecimento deste aquífero fissural, atendendo amplamente ao objeto de pesquisa levantado.

1.4 - AGRADECIMENTOS

Nossos mais sinceros agradecimentos as seguintes pessoas e entidades, que muito contribuíram para a execução deste trabalho:

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

Ao Prof. Dr. Waldir Duarte Costa, pela contribuição e incentivo como orientador.

Ao Prof. Dr. Wilhelmus Jacobus Honijk pelo constante incentivo e apoio e também por nos ter cedido os programas "Mult", "Q-Grid" e "Clus", sem os quais o presente trabalho não teria sido possível.

Ao estagiário da CONESP e amigo pessoal Alberione Braz da Silva, responsável por toda a parte de computação deste trabalho.

A minha esposa Lourdes, pela constante compreensão e auxílio na revisão final.

A bibliotecária Elsa Maria Pinto de Vasconcelos, pelo auxílio bibliográfico.

À Diretoria da Companhia Nordestina de Sondagens e Perfurações - CONESP, pelo auxílio financeiro e por nos ter cedido os dados de todos os poços aqui analisados.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para que conseguíssemos atingir nosso objetivo.

CAPÍTULO 2

A REGIÃO NORDESTE DO BRASIL

Características Gerais

2.1 - Situação Geográfica

O Nordeste brasileiro, considerado pela administração oficial como uma unidade regional bem definida, é distinto do conceito geográfico de Nordeste pela inclusão do Centro-Norte, Norte e Leste, abrangendo uma área de cercade 1.600.000 km², o que corresponde a aproximadamente 1/5 da superfície total do Brasil (8.500.000 km²). Dentro do Nordeste existem duas áreas geográficas distintas (Fig. 01), oficialmente definidas por:

1. O "Polígono das Sêcas", definido pela lei nº 1.348, de 10 de fevereiro de 1951, com uma área total de 936.993 km², cobrindo total ou parcialmente oito Estados.
2. A área de Jurisdição da SUDENE, definida pela lei nº 3692 de 15 de Novembro de 1959, com uma superfície de 1.606.000 km², cobrindo totalmente nove Estados e a parte Setentrional de Minas Gerais.

2.2 - ANÁLISE CLIMATOLÓGICA

2.2.1 - Temperatura

Devido ao fato de situar-se inteiramente na região tropical, é natural que o Nordeste possua um clima quente, onde a média térmica do mês mais frio é superior a 18°C, atingindo os médios mais baixos apenas onde a altitude é superior aos 1000 metros como em alguns pontos do Planalto da Borborema e da Chapada Diamantina. A temperatura média anual, com excessão daquelas

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

regiões anteriormente citadas é superior aos 25^oC. Na fig. 02 apresentamos um mapa de isotermas anuais do Nordeste.

A amplitude térmica anual é baixa, uma vez que nas regiões intertropicais é normal haver pequenas variações térmicas entre 5^o e 2^oC. A amplitude diurna é bem maior nas regiões distantes da costa, face ao papel regularizador da massa oceânica.

Do acima exposto fica claro que, salvo em condições particulares, a temperatura não é um elemento do clima que tenha grande influência na diferenciação climática entre as várias regiões do Nordeste.

2.2.2 - UMIDADE RELATIVA DO AR

A umidade relativa do ar é elevada na maior parte do território Nordestino, se levarmos em conta as normais/ano. De uma maneira geral, a umidade atinge valores da ordem de 80% em algumas porções do litoral Nordestino. Essa média só ocorre no interior, no Estado do Maranhão. Do Piauí a Alagoas, poucas são as estações que apresentam umidade relativa anual superior a 80%; isto acontece apenas em regiões elevadas, como verificado nas estações de Guaramiranga-CE, Areias-PB, e Garanhuns-PE. Os valores máximos ocorrem no litoral, entre Teresina e Maceió, e oscilam entre 70% e 80%. A medida que nos afastamos do litoral a umidade do ar diminui, atingindo os valores mais baixos na chamada de São Franciscana. Na Fig. 03 apresentamos um mapa de isohiétricas anuais do Nordeste.

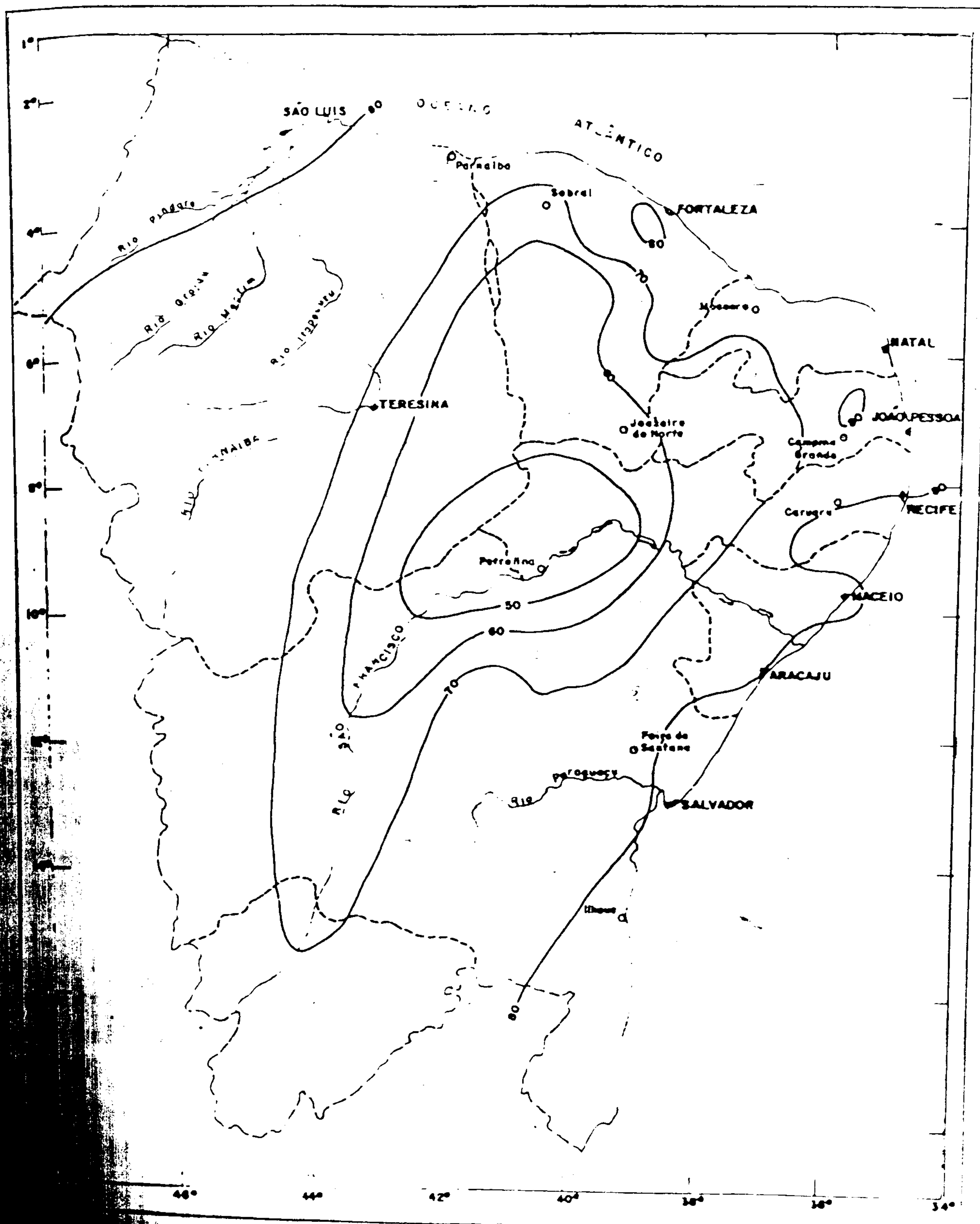


FIGURA 03

ISOHIGRAS ANUAIS DO NORDESTE

SUDENE-Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste do Brasil.

2.2.3 - Precipitações Pluviométricas

As grandes diferenciações climáticas regionais que afetam o Nordeste não são ditadas pelas temperaturas mas sim, principalmente, pelas precipitações pluviométricas, que dependem da dinâmica das massas de ar.

Situada em baixa latitude, a porção Setentrional do Nordeste se encontra sob a influência da Convergência Intertropical (CIT), que se caracteriza por ser uma massa convergente, para onde afluem os alíseos do Nordeste e do Sudeste. Como ela sofre um deslocamento anual, acompanhando o equador térmico, caminha para o hemisfério Sul no período do verão, provocando grandes precipitações no litoral Norte. Só volta para o hemisfério Norte após o outono (abril/maio). Antes do solstício de junho ela penetra pelos vales dos rios que demandam o litoral Setentrional, provocando grandes aguaceiros e trovoadas em áreas sertanejas, até o interior de Pernambuco. Essas precipitações dão-se pelo fenômeno da ascensão de massas de ar quente.

As chuvas de outono-inverno, características do litoral Oriental, são provocadas sobretudo pelo avanço, acompanhando a linha de costa, da Frente Polar Atlântica (FPA). O mecanismo meteorológico é influenciado pela Massa de ar Tropical Atlântica, formada no Atlântico Sul próximo à costa da Namíbia e que se dirige para a costa brasileira, mantendo-se estável devido a temperatura elevada, que impede que caia a umidade relativa e, consequentemente impedindo a condensação do vapor d'água sobre o oceano. A estabilidade desaparece ao galgar a costa brasileira e, mais tarde, ao se defrontar com a escarpa da Borborema, provocando chuvas orográficas. No outono-inverno esta massa de ar é perturbada pelo contato da massa de ar frio que avança (

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

FPA), provocando a queda da temperatura, condensação e queda de chuvas frontais, geralmente demoradas e fortes. Ocorrem, então, os dias cinzentos, de temperatura amena, úmidos e chuvosos, que caracterizam o "inverno" da região.

A última massa de ar responsável pelas chuvas Nordesteiras é a Ec (Equatorial Continental), formada sobre a floresta amazônica e que durante o ano está sujeita a movimentos sucessivos de expansão e contração. Sua expansão se dá na primavera-verão, quando a sua área de influência se estende por quase todo o território brasileiro, fazendo que nele dominem as chuvas de verão. É nessa ocasião que ocupa a porção Ocidental do Nordeste, caminhando do Noroeste do Maranhão para o Sudeste até alcançar, no outono, o sertão semi-árido da Bahia. Como consequência, a estação chuvosa se inicia mais cedo nas áreas próximas à Amazônia e vai caminhando em direção ao sertão baiano, sempre se tornando menor o total das precipitações por ela provocadas.

Na fig. 04 mostramos um mapa de isoeitas anuais do Nordeste. Analisando esta figura, notamos que somente nas regiões maranhenses e em algumas zonas do litoral ocorrem precipitações da ordem dos 2000mm anuais.

Ao nos afastarmos da região maranhense para o Sudeste, sucedem-se as isoeitas abaixo dos 2000mm até cair aos 400mm, quando se alcança a porção ocidental do Rio Grande do Nordeste. Uma grande faixa se estende para o Sudeste até o interior do Estado da Bahia, aproximadamente na altura do paralelo de Salvador. Dentro desta faixa semi-árida encontram-se manchas ainda úmidas, circundadas pela isoietas de 400mm, no Seridó, sertão baiano e no cotovelo do rio São Francisco, penetrando no território pernambucano. Em direção ao Sudeste vão novamente surgindo as

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

isoietas de valores mais altos, chegando a apresentar valores anuais superiores a 2200 mm, como ocorre no extremo Sul de Pernambuco.

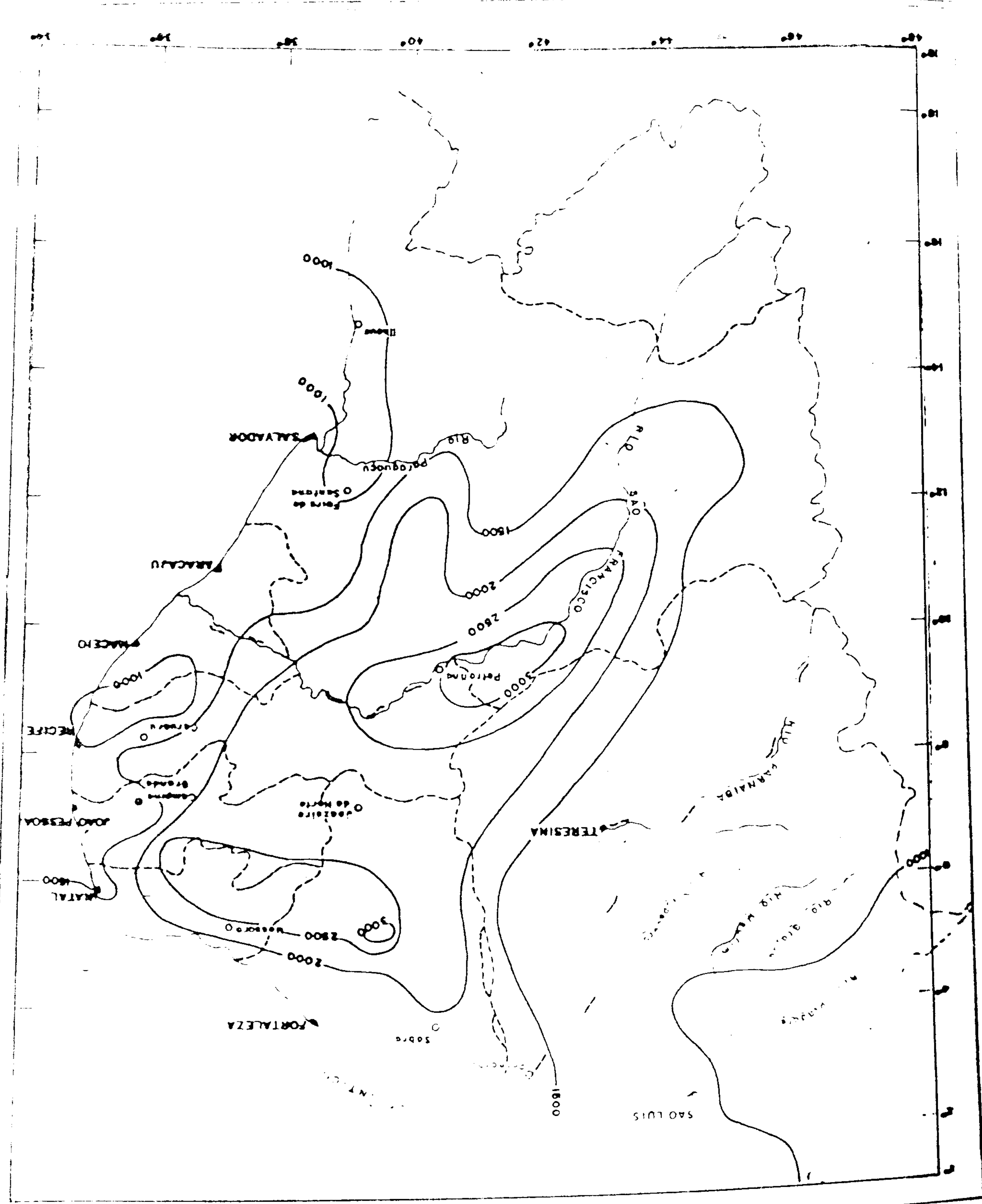
Tão importante quanto a quantidade de chuvas caídas sobre uma região é a forma como elas se distribuem durante o ano. Se as chuvas se concentram em um determinado período, provocando a formação de uma estação úmida que se alterna com uma seca, o clima se torna mais árido quanto mais longo for a estação seca. De uma maneira geral existem três regimes de chuvas na região Nordeste: o de verão-outono na porção Ocidental, estendendo-se desde a fronteira do Pará-Maranhão até o sertão semi-árido, o de chuvas de outono-inverno na faixa litorânea oriental e o de chuvas distribuídas durante todo o ano, no litoral Sul da Bahia.

2.2.4 - EVAPORAÇÃO

É de extrema importância para se caracterizar uma área que se estude, a comparação entre precipitações/capacidade de evaporação. Se observarmos a fig.05 veremos como é elevada a evaporação anual, sobretudo nas áreas mais secas do interior. Assim, no Maranhão e Piauí, onde a umidade do ar é elevada, a evaporação é em média, inferior a 1500mm, repetindo-se este fato na porção úmida oriental. Por outro lado, na região dominada pela caatinga e onde as precipitações são inferiores a 1000mm, a evaporação se eleva até 3000mm.

... Recursos Hídricos do Nordeste do Brasil.

FIGURA 05
EVAPORAÇÃO ANUAL DO NORDESTE



DINIZ, J.A.O. - O Aquífero Fissural...

2.2.5 - CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA

De tudo já exposto podemos concluir que o Nordeste é uma região sem grandes variações climáticas. NIMER (1972), admite a existência de apenas dois tipos de clima no Nordeste: o quente e o sub-quente. O clima quente ocorre em quase toda a superfície regional e o sub-quente ocorre apenas nas regiões mais elevadas. Conforme a duração da estação seca, o clima quente compreende os seguintes sub-tipos:

- a - Super-úmido, com ou sem seca anual ou com sub-sêca
- b - Úmido, com seca de 1 a 2 meses ou seca de 3 meses por ano.
- c - Semi-úmido, com seca de 4 a 5 meses.
- d - Semi-árido, com quatro subtipos, o de seca de 6 meses, o de 7 a 8 meses, o de seca de 9 a 10 meses e, finalmente, o de seca de 11 meses ou sub-desértico.

O clima sub-quente compreende três tipos:

- a - úmido, com seca anual de 3 meses
- b - Semi-úmido, com seca anual de 4 a 5 meses
- c - Semi-úmido, com seca anual de 6 meses.

2.3 - HIDROGRAFIA

O Nordeste é uma região pobre em descarga de rios face às condições climáticas dominantes, que provocam a existência de rios temporários e de rios com regime muito irregular, ape-

sar de permanentes.

Nesta região encontramos centros de dispersão de drenagem de grande importância, como o Planalto da Borborema, de onde partem rios em várias direções, contribuindo para a formação de tributários diretos do Atlântico e de vários afluentes e sub-afluentes do São Francisco; as chapadas e chapadões do Meio Norte, estendendo-se até o Ceará e o Rio Grande do Norte, se constituem em centros de dispersão de drenagem para os rios que desembocam na costa Setentrional e para rios que, pela margem esquerda são tributários do São Francisco em seu médio curso. Finalmente a Chapada Diamantina e a Serra do Espinhaço servem de divisores de águas entre os rios da vertente Oriental Atlântica e os afluentes da margem direita do médio São Francisco.

Dentre os rios da região dois se destacam pela sua extensão e volume d'água: o São Francisco e o Parnaíba. Rios de menor expressão, mas permanentes, são encontrados apenas no Maranhão e na Bahia, enquanto na porção Nordeste que se estende desde o Ceará até a porção setentrional da Bahia, somente encontramos os rios temporários.

REBOUÇAS, et.al.(1972), na tentativa de sistematizar o estudo da hidrografia regional, dividem os rios do Nordeste em quatro grandes grupos:

1. Os rios do Meio Norte, compreendendo aqueles localizados no Maranhão (Gurupi, Tocantins, Mearim, Itapecuru e Munim) e o rio Parnaíba.

2. Os rios da região semi-árida da vertente Atlântica, dentre os quais se destaca o rio Jaguaribe.

- c - Os rios do sistema São Francisco, principal bacia da região.
- d - Os rios da vertente oriental, localizados em Sergipe e na Bahia, abrangendo entre outros os rios Vaza-Barris, Itapecuru, Real, Paraguaçu, Inhambupe, Pardo, Cachoeira, Jequitinhonha e os rios do extremo Sul da Bahia.

2.4 - RELEVO

O território Nordestino sofreu durante a sua evolução geológica, a cobertura do mar durante grandes transgressões. Movimentos epirogenéticos e perturbações tectônicas de menor porte provocaram arrumações sucessivas, erguendo blocos sedimentares como a Chapada do Araripe e provocando o rebaixamento de outros, como a bacia de Tucano. Também os agentes meteorológicos e a erosão fluvial são responsáveis pelo aplainamento geral da região.

Baseando-se nos trabalhos de ANDRADE (1958, 1968), AB'SABER (1962 e 1972) e outros autores, MABESOONE et al. (1975), reconhecem no Nordeste brasileiro duas regiões distintas: o núcleo cristalino do Nordeste Oriental, estendendo-se para o Sul até o Estado da Bahia e a Bacia Sedimentar do Piauí-Maranhão.

Os referidos autores distinguem quatro fases de aplainamento no Nordeste:

1. Aplainamento geral da região, durante o Jurássico inferior e o Cretáceo, antes do início da reativação Wealdeniana, chamada de superfície Gondwana.

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

- Aplainamento desenvolvido entre o albião e o oligoceno, chamado de Superfície Sulamericana, em dois níveis: Cariris Velhos e Borborema.
- Dissecação da superfície Sulamericana e elaboração da superfície geral da região, exumando grandes áreas da Superfície Gondwana, durante o Pleistoceno inferior, chamada de superfície Sertaneja no interior e superfície dos Tabuleiros na costa.
- Encaixamento de um novo ciclo, polifásico, ciclo Paraguassú, com duas fases de pedimentos e terraços.

No quadro 01 apresentamos as feições das diversas fases do desenvolvimento do relevo do Nordeste, segundo KING(1956) DRESCH(1957), DEMANGEOT (1959) e BIGARELLA e AB'SABER(1964), resumidas por MABESOONE et.al.(1975).

2.5 - SOLOS/VEGETAÇÃO

Na fig. 06 mostramos um mapa das Formações Vegetais do Nordeste. Ao analisarmos esta figura, podemos constatar a existência de várias formações florestais no Nordeste, como:

- Florestais
- Complexas ou Degradadas
- Campestres
- Litorâneas

As formações florestais são características das regiões úmidas, onde a umidade relativa do ar se mantém acima de

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

80%, daí ocuparem as porções Norte-Occidental e Oriental do Nordeste.

Dentre estas formações, distinguimos a floresta catifoliada equatorial, ocorrendo no Oeste do MARANHÃO, em região de solos oriundos de rochas sedimentares e clima equatorial úmido. É constituída de árvores de grande porte, botanicamente bastante heterogêneas, onde se destacam espécies como o estopeiro (*Cariniana* sp), caçador (*Courati* sp), o cedro (*Cedrela* sp), além de várias palmeiras como a bacaba (*Denocarpus distichus*), o babaçu (*Orbygenya martiana* Barb. Rodr.), etc.

Na porção Oriental, onde dominam rochas do embasamento cristalino e, onde ocorrem climas úmidos com solos profundos, encontramos a floresta latifoliada tropical, que se subdivide em mata úmida perenifólia e mata seca semi-caducifólia. A mata úmida estende-se ao Sul do vale do Capibaribe, continuando por Alagoas, Sergipe e Bahia. Na sua margem ocidental a mata úmida é sucedida pela mata seca. Dentre os principais espécies encontramos a imbaúba (*Cecropia* spp), a pindoba (*Attalea* sp), a oiticica do mato (*Clarisia recemosa* Ruiz Pav.), etc., A mata seca é típica das áreas de clima menos úmido, estendendo-se desde a bacia do Capibaribe até o Rio Grande do Norte, onde a caatinga chega no litoral. As principais espécies são: catolé (*Suagrus oleracea* Mart.) macaíba (*Accromia intumescens* Mart.), a pindoba (*Attalea* sp), etc...

Em algumas "ilhas" topográficas de clima úmido e em certas regiões mais úmidas do São Francisco e Parnaíba, encontramos restos de formações florestais.

As formações complexas ou degradadas dividem-se em cerrados e caatingas. O cerrado ocorre em grandes áreas do Maranhão Piauí e Oeste da Bahia, em regiões de solos oriundos de rochas

sedimentares e onde existem aquíferos profundos. Caracterizam-se por possuir uma sinúsia herbácea que seca completamente na estação seca e uma arbustiva arbórea, pouco densa, formada por árvores e arbustos que apresentam troncos bastante retorcidos e folhas coriáceas. As principais espécies são a carnaubeira (*Copernicia cerifera* Mart.), o pequi (*Caryocar* sp), o buriti (*Mauritia flexuosa* e *M. vinifera*), etc.

A caatinga é a formação típica da região de clima semi-árido e sub-desértico do Nordeste. Quase toda a sua extensão se encontra em áreas cristalinas, onde o manto de decomposição é pouco espesso e incapaz de reter as águas que sobre ele precipitam. A vegetação se adapta ao clima, formando xilopódios, ou raízes dilatadas, armazenando e perseguindo as águas. As principais espécies são o umbuzeiro (*Spondia tuberosa*), a maniçoba (*Manihot* sp), o xiquexique (*Cereus gounellei*, (weber) Lenz), o facheiro (*Cereus anamosus*), etc...

As formações campestres ocorrem como exceção no Nordeste. A ocorrência mais significativa situa-se na Baixada Maranhense. É uma vegetação herbácea, de ciperáceas e amaralidáceas que é utilizada como pastagem natural pelos criadores da região.

As formações litorâneas caracterizam-se pela influência do cloreto de sódio, quer pelo contato direto, em áreas que são cobertas durante a maré alta, formando os manguesais ou através dos respingos que chegam até a praia formando a vegetação típica das dunas e as restingas, com sua vegetação que se assemelha a dos cerrados e cujas principais espécies são o pau-ferro (*Caesalpineia ferrea*), o angico (*Piptadenea* sp), o cajá (*Spondia* sp) o murici (*Byrsonina* sp). etc...

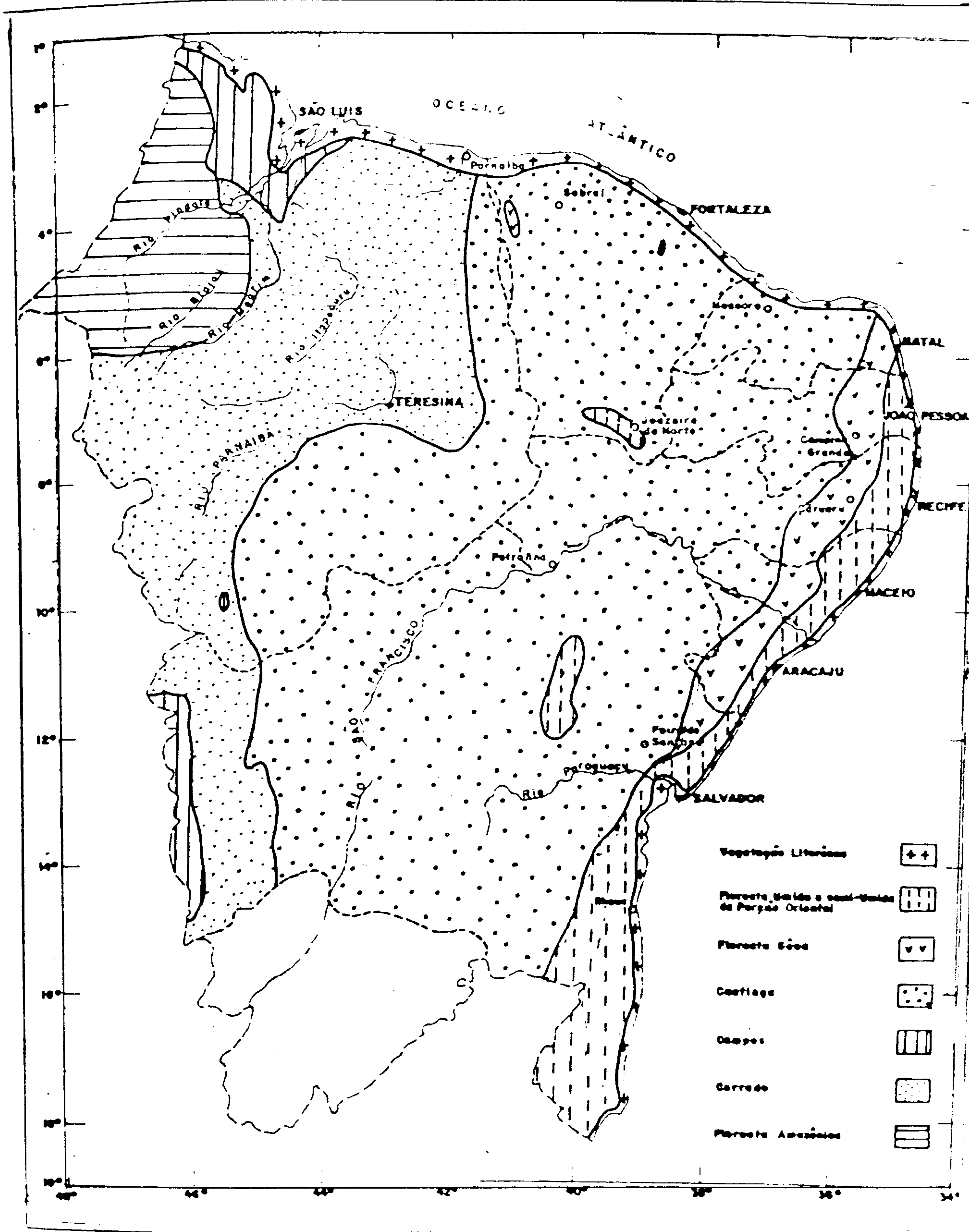


FIGURA 06
FORMAÇÕES FLORESTAIS DO NORDESTE

Fonte: SUPENE-Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste do Brasil, 1980.

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

Quadro 1 - Fases no desenvolvimento do relevo nordestino, segundo os diversos autores.

Relações	King(1956)	Dresch(1957)	Demahgeot	Brigarella & Ab'Sáber(1964)
pedimentos, terraços fluviais e litorâneos	Ciclo polifásico Paraguauçu	(nível do Siriji,	P ₂ , P ₁
"pediplano" geral da região	Superfície Velhas	(superfície baixa		Pd ₁
superfície aplainada e dissecada(chapadas, serras, morros isolados)	Superfície Sulamericana	(superfície infra-couraçada	Superfície de Patos Superfície dos Cariris	Pd ₂
nível cimeiro a grandes altitudes	Superfície Pós-Gondwana	(Superfície de Teixeira	Pd ₃
superfície abaixo da discordância pré-reativação	Superfície Gondwana	(Superfície infra-cretácica	Pd ₄

Fonte: Mabesoone e Castro, 1975.

2.6 - SÍNTESE GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA

2.6.1 - GEOLOGIA

O Nordeste brasileiro é formado em sua porção oriental por um núcleo constituído por rochas ígneas e metamórficas, chamado de embasamento cristalino pré-cambriano - apresentando-se intensamente falhado e dobrado e frequentemente impregnado de eruptivas, principalmente graníticas e granodioríticas. Ocorrem também afloramentos esparsos de basaltos, traquitos, riolitos e outros tipos de rochas extrusivas. Apresenta ainda coberturas sedimentares mais recentes, que se encontram ilhadas em depressões, como p.ex., a Bacia de Tucano-Jatobá ou levantadas sob a forma de chapada, como a Chapada do Araripe.

O escudo cristalino se estende na porção meridional do Nordeste, ao Sul da calha do rio São Francisco, aproximadamente na direção NNE-SSW, distinguindo-se aí cristas em rochas pré-cambrianas onde dominam meta-sedimentos, maciços salientes formados por gnaisses, migmatitos, granitos e rochas básicas e ultra-básicas. Mais para o Sudoeste, nas duas margens do São Francisco, ocorrem cristas rejuvenescidas - serras do Estreito, do Boqueirão e do Espinhaço - com direção N-S e NNW-SSE que se estendem pelo estado de Minas Gerais.

Na porção Norte da calha do rio São Francisco, depois do cotovelo formado pelo mesmo ao separar os estados de Pernambuco e da Bahia, as rochas que formam o escudo cristalino apresentam uma largura muito grande no sentido

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

Leste-Oeste, compreendendo as maiores porções dos estados do Ceará, Paraíba, Alagoas e Sergipe e toda a porção meridional do Rio Grande do Norte, penetrando ainda um pouco na porção Sudeste do estado do Piauí.

Entre os maciços mais salientes, destaca-se o Planalto da Borborema. A direção dominante nas cristas mais elevadas é NE-SW na porção oriental do Rio Grande do Norte, da Paraíba e de Pernambuco, encontrando-se cristas com direção E-W no sertão Paraibano e Norte Sul e Nordeste-Sudoeste no Ceará.

Sobre a plataforma cristalina encontramos formações sedimentares consequentes de transgressões marinhas, ocupando áreas sobre a Chapada Diamantina e na Bacia Reconcavo-Tucano-Jatobá, que se estende desde o sertão pernambucano até a Bahia de Todos os Santos. Aí, pequenas "ilhas" isoladas no sertão pernambucano - entre Afogados da Ingazeira e Floresta - assim como em São José do Belmonte (Pernambuco) e Jati (Ceará) são formadas por depósitos sedimentares que se alteiam sobre as grandes superfícies cristalinas pediplanizadas. A Chapada do Araripe, nas divisas entre o Ceará e Pernambuco, se alteia como uma superfície sedimentar cretácica.

A grande Bacia Sedimentar do Piauí-Maranhão, ou do Parnaíba; apresenta uma superfície superior a 450.000km², sendo drenada para o Atlântico pelos grandes rios maranhenses - Pinaró, Grajaú, Mearim e Itapecuru - e pelo rio Parnaíba. Em alguns pontos apresenta uma espessura sedimentar da ordem dos 3000

As Bacias de São Luis e Barreirinhas ocupam a porção do Estado do Maranhão, separando-se da Bacia do Parnaíba

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

ba pelo arco de Vicente Ferrer. São bacias bastante extensas, com uma superfície da ordem de 50.000km^2 , estendendo-se ainda pela superfície submarina. A espessura dos sedimentos chega a 9000m em Barreirinhas e 6000m em São Luis.

A Bacia Potiguar é formada em seu núcleo básico por arenitos, siltitos, calcários e folhelhos do Terciário, contornados ao Oeste e ao Sul por depósitos do Cretáceo - arenitos siltitos, calcários e folhelhos - e na porção Norte e Leste, próximo ao litoral, por depósitos Terciários e Quaternários.

Na depressão São Franciscana, encontra-se, ao Norte de Minas Gerais e Sul da Bahia - bacia do rio Verde Grande - grandes extensões calcárias. O chamado calcário Bambuí apresenta nestas áreas formas erosivas de dolinas e grutas. Também na Chapada do Apodi, no Rio Grande do Norte, observam-se formas carsticas em menores proporções.

As Bacias Costeiras são formadas por depósitos Cretácicos com espessuras sedimentares variando em torno dos 600 metros e são em número de duas: Rio Grande do Norte-Paraíba-Pernambuco, e Sergipe-Alagoas.

A porção Oriental do Nordeste é contornada por uma franja comprida e estreita, que se estende desde o litoral do Rio Grande do Norte até a Bahia. Aí dominam sedimentos Terciários do Grupo Barreiras, no litoral, quase sempre sucedidos por formações arenosas e cortadas por aluviões do Quaternários.

A fig. 07, mostra um esboço geológico do Nordeste do Brasil, segundo REBOUÇAS, et. al., 1971.

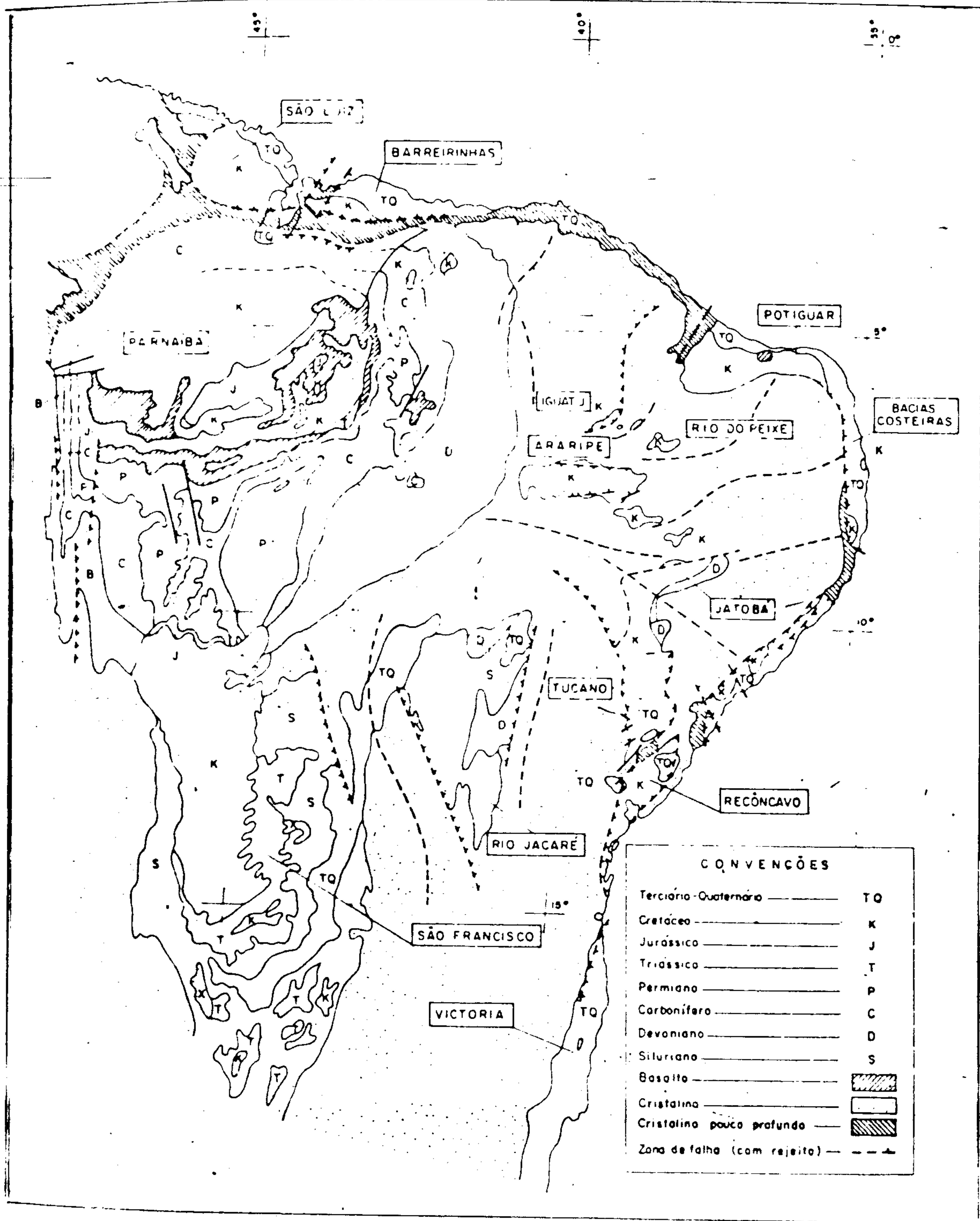


FIGURA 07

ESBOÇO GEOLÓGICO DO NORDESTE DO BRASIL

Fonte: REBOUÇAS, 1981

Escala: 1:100.000.000

2.6.2 - HIDROGEOLOGIA

Analizando-se a "Carta das Condições Hidrogeológicas e Recursos Hídricos do Nordeste", elaborada pela SUDENE (anexo I), observa-se a existência de águas artesianas no eixo formado pelo rio Parnaíba, na bacia sedimentar Potiguar, em sua porção mais próxima do litoral, em pequenos trechos do litoral paraibano, pernambucano e na Bahia, em pequenos trechos dos vales dos rios Vaza Barris, Itapicuru e Salitre.

Essas águas artesianas são encontradas na Bacia do Parnaíba a profundidades que oscilam entre os 50 e 100 metros, ocorrendo até em zonas intermediárias, em níveis inferiores a 50 metros. Elas são importantes sobretudo nas Formações Cabeças, Serra Grande e Poti. No Vale do Salitre, a superfície em que se encontram águas artesianas tem bem menor extensão, ocorrendo principalmente no calcário Bambuí e no Arenito Tombador. Na bacia Potiguar o sistema aquífero confinado se encontra na Formação Açu, que repousa sobre o substrato cristalino.

Águas pouco profundas são encontradas em quase toda a extensão do Estado do Maranhão, em grande parte do Piauí, na faixa litorânea, com pequenas interrupções ao Sul da Bahia, na Bacia Recôncavo-Tucano-Jatobá, em extensa área da Chapada Diamantina, na depressão do rio São Francisco (área drenada pelos rios Jacaré e Verde Pequeno), assim como, pelo alto curso do Paraguaçu e do rio das Contas e ainda em pequeno trecho do Cariri cearense.

As águas profundas de 50 a 100m ocorrem em grandes porções do Oeste (serra de Piracambu) e do Centro Sul do Maranhão, em porções do território piauiense situados nos interflúvios das

bacias dos afluentes do Parnaíba e em pequenas porções do litoral potiguar.

Águas muito profundas, situadas a mais de 100m de profundidade, são encontradas na porção ocidental da Bahia, em alguns trechos do vale do São Francisco, em Minas Gerais, e na porção ocidental da Chapada do Araripe.

Toda a porção ocupada pelas rochas cristalinas é bastante pobre em água subterrânea quando comparada com as áreas sedimentares; são áreas de águas pouco profundas, com condições de artesianismo apenas local, obedecendo ao princípio dos vasos comunicantes, e com armazenamento ligado intimamente ao sistema de fraturamento.

CAPÍTULO 3

O EXTREMO OESTE DE PERNAMBUCO

DINIZ, J.A.O. - O Aquífero Fissural...

3.1 - SITUAÇÃO GEOGRÁFICA

A região do extremo Oeste pernambucano limita-se ao Norte com o Estado do Ceará, através da Chapada do Araripe, a Sul e Sudeste com a Bahia, através do rio São Francisco, a Sudoeste também com a Bahia e a Noroeste com o Estado do Piauí. A área na qual estão incluídos todos os poços que aqui nos servirão como parâmetros de análises é limitada aproximadamente pelos paralelos de $7^{\circ}30'00''$ e $9^{\circ}30'00''$ e os meridianos de $39^{\circ}30'00''$ e $41^{\circ}15'00''$, ocupando uma superfície de aproximadamente 25000 km^2 , como pode ser visto no mapa de situação da fig. 08.

3.2 - ANÁLISE CLIMATOLÓGICA

3.2.1 - TEMPERATURA

A temperatura, conforme já dito anteriormente, não é um elemento do clima que provoque grandes diferenciações, principalmente em uma região relativamente pequena, como esta por nós estudada. A temperatura máxima absoluta em toda a região atinge o valor de $19,1^{\circ}\text{C}$ e a mínima absoluta atinge o patamar de $12,1^{\circ}\text{C}$, ficando a temperatura média anual em torno dos 26°C .

Esta grande variação térmica entre as máximas e mínimas é responsável pela ampla desagregação das rochas.

3.2.2 - UMIDADE RELATIVA DO AR

A umidade relativa do ar é muito baixa, principal -

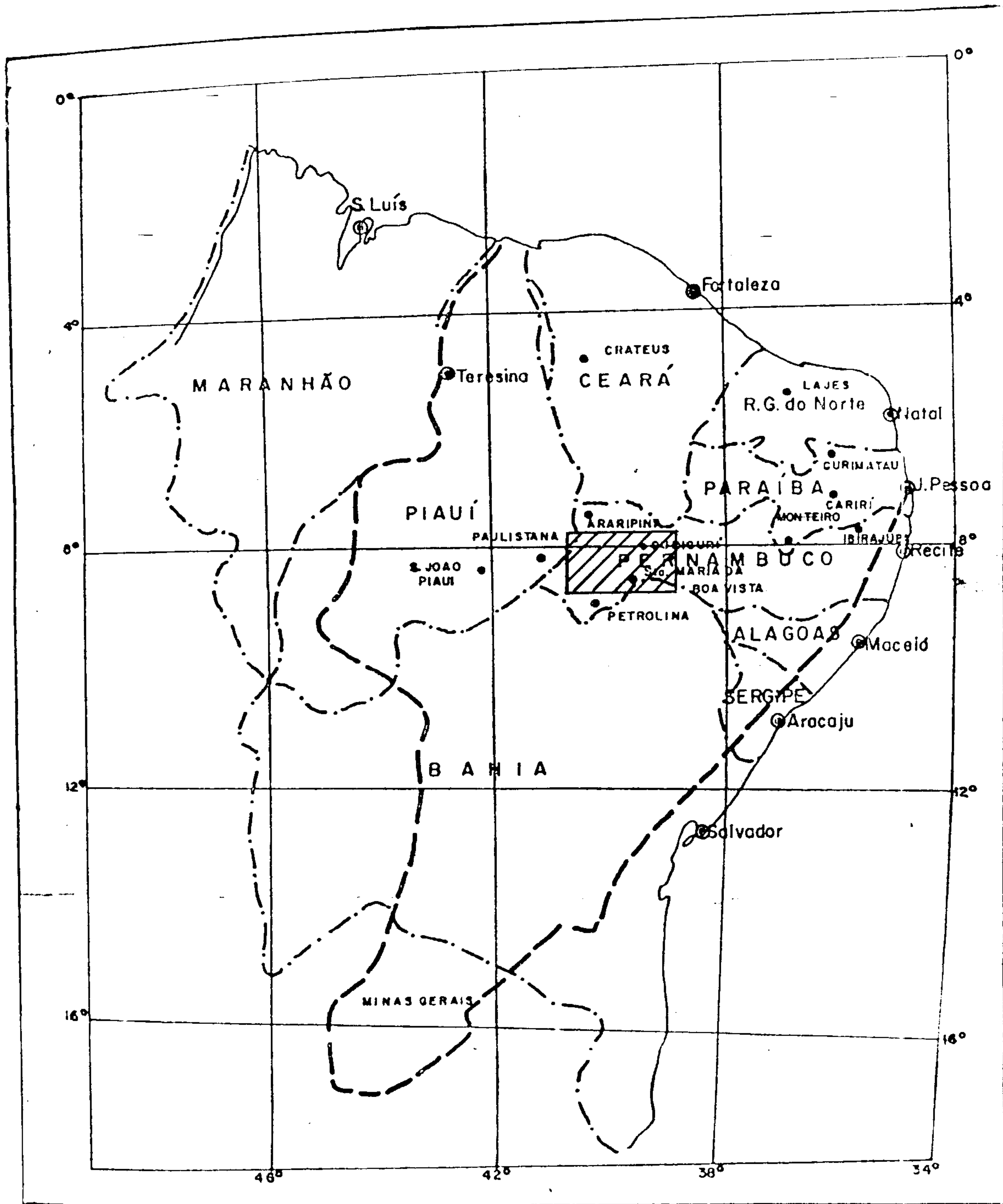


FIGURA - 08

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA
ESCALA 1:10.000.000

mente nas proximidades do rio São Francisco, com valores mínimos da ordem de 44% e máximos em torno dos 65% ; a umidade relativa média anual situa-se em torno dos 56,1%. À medida que nos afastamos das proximidades do rio São Francisco, em direção à Chapada do Araripe, a umidade relativa aumenta, concomitantemente com a variação topográfica.

3.2.3 - PRECIPITAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS

As chuvas desta região são devidas principalmente a Convergência Intertropical (CIT), conforme já referido. Estas chuvas ocorrem de Novembro a Abril, sendo Março o mês de maior pluviometria média. As estações mais secas estão entre os meses de Julho e Agosto.

Na região do São Francisco, as pluviometrias médias anuais situam-se abaixo dos 400mm, enquanto que mais ao Norte, no chamado Sertão do Araripe (municípios de Ouricuri, Bodocó, Exú, Araripina e Parnamirim), estas precipitações médias estão em torno dos 600mm, atingindo valores superiores a esses quando mais nos aproximamos da Chapada do Araripe (fig.09).

No Sertão do São Francisco, a pluviometria não só é escassa como também se caracteriza por apresentar grandes irregularidades, no que diz respeito a variação anual das precipitações, período chuvoso e área atingida pelas mesmas (LEAL, 1971).

No Sertão do Araripe, as precipitações pluviométricas anuais são periodicamente melhor distribuídas que no Sertão do São Francisco, devido principalmente às chuvas orográficas.

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

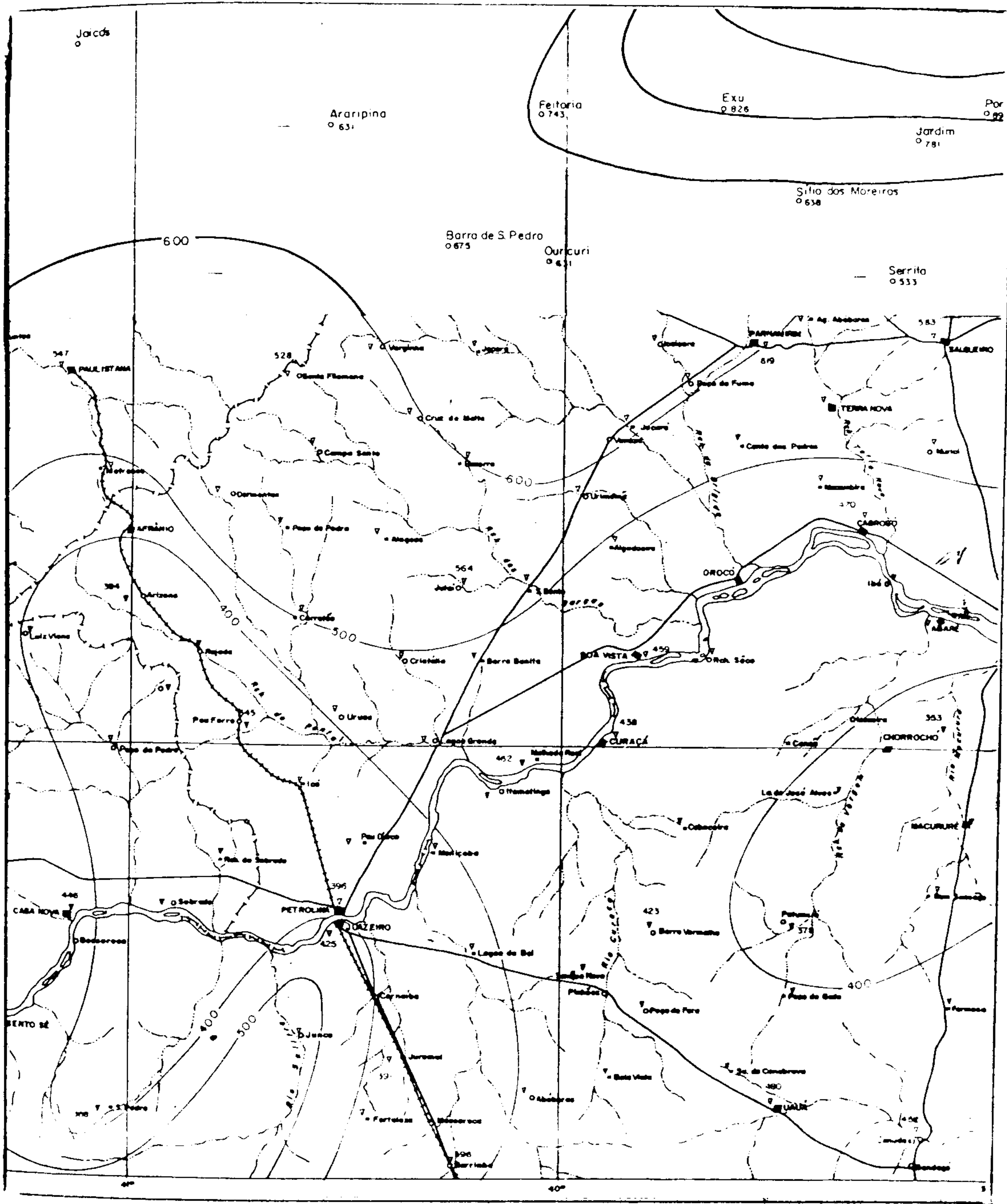


FIGURA 09

ISOIETAS MÉDIAS ANUAIS - DADOS " IN NATURA "
PERÍODO DE OBSERVAÇÃO: 1911-1967

Fonte: Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste.
Folha nº 14 e 19

Escala Aprox: 1.2000.000

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

3.2.4 - EVAPORAÇÃO

A evaporação ocorrente na área é muito elevada , principalmente na região do Sertão do São Francisco onde, segundo LEAL (1971), atinge valores da ordem de 3000mm em Juazeiro-BA e 2500mm em Cabrobó-PE. Segundo este mesmo autor, a evaporação ' em grandes depósitos como açudes, lagoas, etc., é de cerca de 2000 a 2500mm/anuais.

No Sertão do Araripe, devido a melhor distribuição das chuvas, que evita o ressecamento dos solos e a maior umidade relativa do ar, a evaporação ocorre em menor grau que no Sertão do São Francisco.

3.2.5 - CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA

Utilizando-se a classificação de NIMER(1972), ocorre na área apenas o clima quente, com dois subtipos:

- a - No Sertão do São Francisco, semi-árido com seca de 9 a 10 meses
- b - No Sertão do Araripe, semi-árido com seca de 7 a 8 meses.

3.3 - HIDROGRAFIA

A área estudada situa-se integralmente na bacia hidrográfica do rio São Francisco, que tem aí como afluentes o riacho do Pontal, o riacho das Garças e o riacho da Brígida. To

DINIZ, J.A.O. - O Aquífero Fissural...

dos são cursos d'água intermitentes, desenvolvendo um intensa rede de drenagem dendrítica.

O riacho do Pontal nasce no município de Petrolina, ao Norte do povoado de Rajada, originando-se da confluência dos riachos Cachoeira do Roberto, Cabôclo e Caldeirão, ocorrendo no sentido geral Noroeste-Sudeste e apresentando como principais afluentes, pela margem esquerda, o riacho formado pela junção dos riachos do Mundubim, Dormentes, Água Branca e do Poço Danta, e pela margem direita os riachos do Icó, do Tigre e da Caieira, além de outros de menor importância.

O riacho das Garças nasce ao Sul de Cruz de Malta (município de Ouricuri), e é formado pela junção dos riachos das Queimadas e das Piranhas. Tem um curso de direção geral Noroeste-Sudeste e seus principais afluentes são os riachos da Volta e o da Ponta da Serra (margem esquerda), enquanto pela margem direita seu principal afluente é o riacho Verde ou do Periquito.

O riacho da Brígida nasce ao Norte de Exú e deságua no São Francisco, próximo ao município de Orocó; o seu curso apresenta uma direção geral Norte-Sul e tem como principais afluentes, pela margem direita, os riachos Gravatá e Jacaré, enquanto pela margem esquerda recebe vários pequenos riachos.

Além destes, os principais cursos d'água são o riacho Jacaré, que nasce na Chapada do Araripe e é o de maior extensão em toda a área e o riacho Gravatá, ambos afluentes do Brígida pela margem direita. Segundo TEIXEIRA(1967), os riachos obedecem as direções gerais do fraturamento regional. Na figura 10 mostramos um gráfico de descarga dos riachos do Pontal, Jacaré e Brígida, segundo Teixeira (op.cit). Pela simples observação des

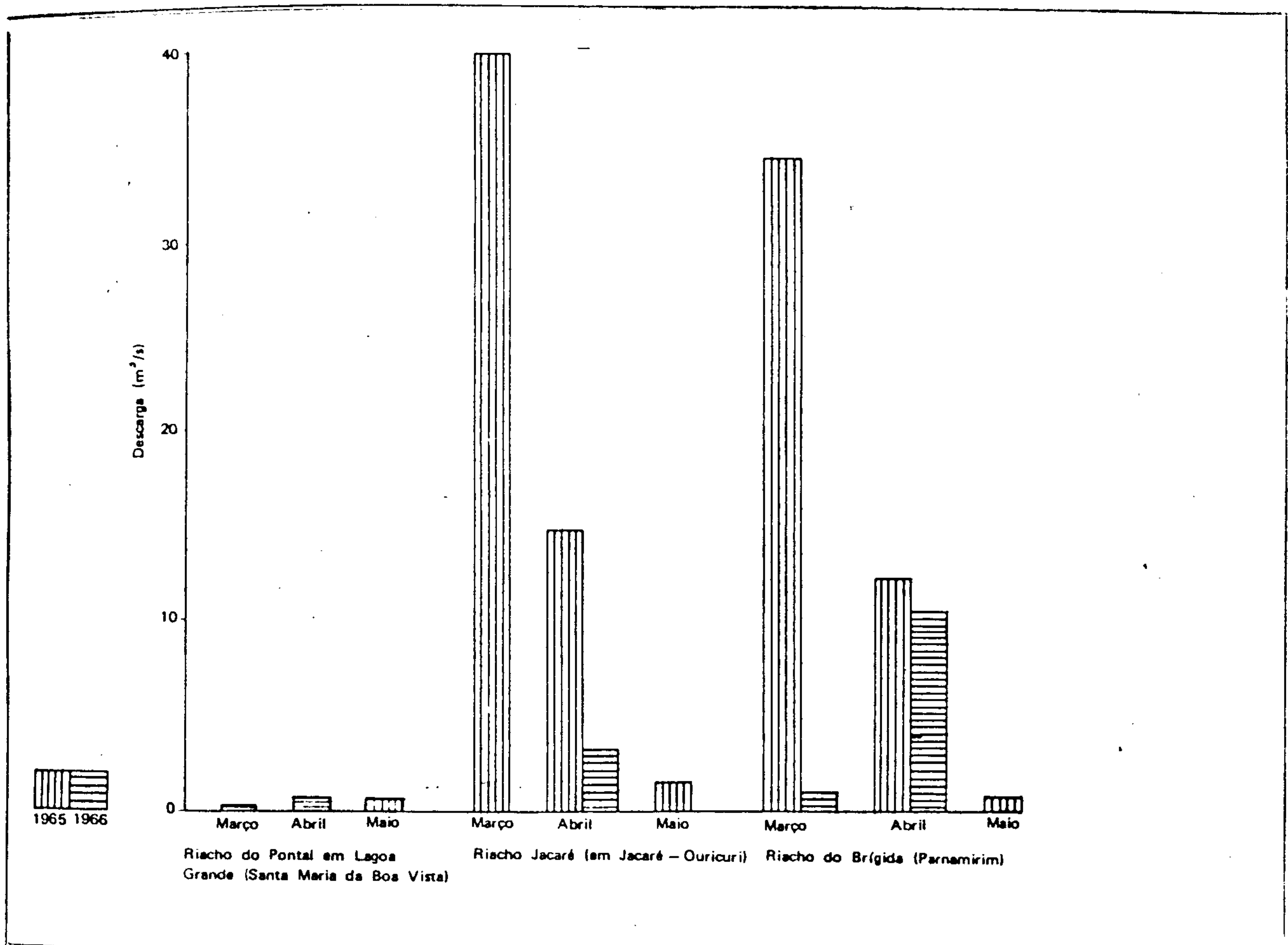


FIGURA 10

DESCARGA MENSAL DOS RIACHOS DA ÁREA

FONTE: TEIXEIRA et. al., 1967;

ta figura já fica clara a distinção entre o Sertão do Araripe e o Sertão do São Francisco.

3.4 - RELEVO

De uma maneira geral, a região apresenta cotas em torno dos 400-500m, situando-se, portanto, na Superfície Sulamericana ou Pd₂ (MABESOONE, et.al., 1975). Apenas nas regiões mais próximas do Rio São Francisco encontramos superfícies pediplanizadas com cotas variando em torno dos 350m, relacionando-se com a Superfície Velhas ou Pd₁ (MABESOONE, et.al., op.cit).

Além destas duas superfícies, vale a pena ressaltar a presença da chapada do Araripe, representada morfologicamente por um planalto com cotas na ordem dos 800 metros, com forma de ângulo reto com vértice em Araripina, apresentando um comprimento total de 200 km e uma largura de aproximadamente 50 km. Devido a ser formada por depósitos sedimentares, não foi efetuado nenhum estudo sobre poços ali existentes.

3.5 - SOLOS E VEGETAÇÃO

3.5.1 - SOLOS

Segundo o Levantamento Exploratório/Reconhecimento dos solos do Estado de Pernambuco (1973), elaborado pela SUDENE, os principais tipos de solos ocorrentes na área em estudo são do tipo RE8, NC3 e LVe6.

DINIZ, J.A.O. - O Aquífero Fissural...

O primeiro tipo, corresponde a uma associação de Regosol Eutrófico com fragipan fase rochosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado, Solos Litólicos Eutróficos, com o horizonte "A" pouco desenvolvido, textura arenosa e/ou média fase pedregosa e rochosa, caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado e ondulado, e SOLONETZ SOLODIZADO, textura indiscriminada fase pedregosa caatinga hiperxerófila relevo plano e suave ondulado. Este tipo de solo deriva de gnaisses, granitos e depósitos aluvionares.

O tipo NC3 corresponde a uma associação de BRUNO NÃO - CALCÍCO, fase pedregosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado e ondulado, SOLOS INDISCRIMINADOS CONCRECIONÁRIO TROPICAIS EUTRÓFICOS textura indiscriminada fase pedregosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado e ondulado. Estes solos ocorrem em áreas referidas ao pré-Cambriano, tendo como material de origem filitos, biotita-xistos, sericita-xistos e muscovita-xisto quartzoso.

O tipo LVe6 corresponde a uma associação de LATO - SOL VERMELHO AMARELO EUTRÓFICO textura média fase caatinga hiperxerófila relevo plano e suave ondulado e PODZÓLICO VERMELHO AMARELO EQUIVALENTE EUTRÓFICO textura média fase caatinga hiperxerófila relevo plano e suave ondulado. São solos desenvolvidos de recobrimento pedimentar pouco espesso de materiais areno-argilosos sobre rochas do pré-Cambriano ou sobre material do Cretáceo, correspondendo aos sucessivos patamares que se iniciam no sopé da Chapada do Araripe e se estendem até as proximidades do Rio Francisco.

Do exposto acima, pode-se concluir que não existem variações importantes do ponto de vista Pedológico na região estu

DINIZ, J.A.O. - O Aquífero Fissural...

dada, encontrando-se, via de regra, solos rasos e pouco desenvolvidos, presença constante de fase pedregosa a rochosa e relevo plano a suave ondulado. A diferenciação mais marcante ocorre no tipo LVe6, que associa-se genêticamente aos depósitos sedimentares da Chapada do Araripe.

3.5.2 - VEGETAÇÃO

Dentro da classificação aqui adotada, no extremo Oeste de Pernambuco, a vegetação nativa é aquela típica das regiões semi-áridas, ou seja, a caatinga hiperxerófila.

As espécies dominantes que vegetam as classes de solos SOLONETZ SOLODIZADO, BRUNO NÃO CÁLCICO E SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS são o pereiro (*Aspidosperme pyrifolium* Mart.), a catinagueira (*Caesalpinia pyramidales* Tul.) a favela (*Cnidoscolus phyllacantus* (Muell. Arg) Paz & Arg) Paz & Hoffm), o xiquexique (*Cereus gounellei* (weber) Lentz), a macambira (*Bromelia laciniosa* Mart.) e o facheiro (*cereus suamosus*).

3.6 - ASPECTOS GEOLÓGICOS

3.6.1 - POSICIONAMENTO GEOTECTÓNICO

Segundo COSTA(1986), do ponto de vista geológico, o Nordeste brasileiro corresponde à Província da Borborema, definida por ALMEIDA et. al.(1977). A Província Borborema encontra-se dividida em cinco domínios, assim denominados, do Sul para Norte(COSTA,

DINIZ, J.A.O. - O Aquífero Fissural...

op.cit.):

- a - Domínio Sergipano, definido por BRITO NEVES, 1975 e ALMEIDA et al., 1977;
- b - Domínio Centro-Oriental, definido por BRITO NEVES, 1975 e ALMEIDA et. al. 1977, ou extremo Nordeste, definido por SCHOBHENHAUSS et.al., 1984
- c - Domínio Central (BRITO NEVES, 1975 e ALMEIDA et.al., 1977) ou Transnordestino (SCHOBHENHAUSS, et.al., 1984)
- d - Domínio Jaguaribeano (BRITO NEVES, 1975 e ALMEIDA et.al., 1977), ou Cearense (SCHOBHENHAUSS et. al., 1984)
- e - Domínio Rio Coreaú (BRITO NEVES, et.al., 1975; e ALMEIDA et.al. 1977) ou Médio Coreaú (SCHOBHENHAUSS et.al. 1984).

Os Domínios externos (Sergipano e Coreaú) coincidem com os limites da província junto aos núcleos cratônicos adjacentes e apresentam como principais características a ausência quase total de rochas granitoides, com domínio exclusivo de sequências metassedimentares dobradas, com baixo grau de metamorfismo e incluindo rochas carbonáticas.

Os Domínios Intermediários (Extremo Nordeste e Cearense), caracterizam-se pelas extensas exposições de terrenos gnáissico-migmatíticos ou migmatíticos-graníticos (os "maciços médios"). Paralelamente ou entremeados com esses maciços, ocorrem faixas ou bandas de metamorfitos dobradas ("sistemas vertigiais"), descontínuos e de pequenas dimensões.

O Domínio Central (ou Transnordestino) atravessa toda a região Nordeste, sendo limitada lateralmente pelos domínios intermediários. Caracteriza-se pelo domínio de metamorfitos epi-

e mesozonais, com estruturas dobradas, cortadas por corpos granitoides descontínuos, de formas variadas e extensões limitadas. Pode ser subdividido em três sub-domínios, chamados (de Sudoeste p/ Nordeste) de:

- Riacho do Pontal, no Estado de Pernambuco
- Piancó-Alto Brígida, nos Estados da Paraíba e Pernambuco
- Seridó, no Estado do Rio Grande do Norte

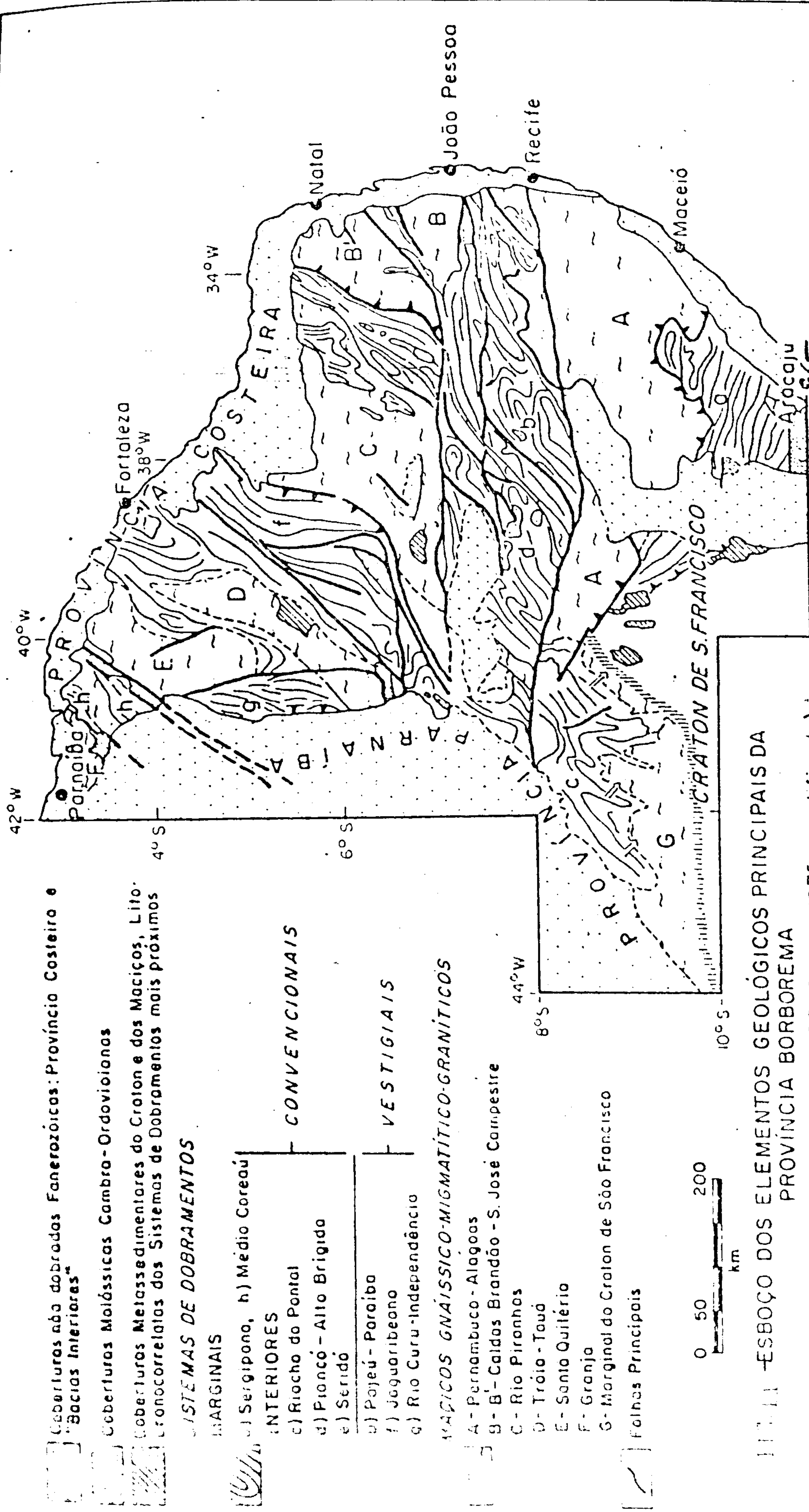
A área aqui estudada situa-se nos domínios Central (sistemas de dobramentos Riacho do Pontal e Piancó-Alto Brígida) e Extremo Nordeste (maciço mediano de Pernambuco-Alagoas), como pode ser visto na fig. 11.

3.6.2 - OS SISTEMAS DE DOBRAMENTOS

Tanto o sistema de dobramentos Piancó-Alto Brígida quanto o Riacho do Pontal, são sistemas de dobramentos convencionais, ou seja, neles ocorre a forte predominância de metassedimentos, dobrados com estratigrafia bem preservada e raras exposições do embasamento.

Também podem ser classificados como sistemas interiores, com litologia à base de metassedimentos psamíticos e pelíticos (micaxistos, filitos, ardósias, etc.) apresentando metamorfismo regional, variando dentro de várias fácies, ocorrendo ainda com frequência o metamorfismo de contato e cataclástico.

Devido a íntima correlação entre a litoestratigrafia



- Coberturas da dobradas Fanerozoicas: Província Costeira e Bacias Interiores
 - Coberturas Molássicas Cambra - Ordovicianas
 - Coberturas Metassedimentares do Cratone dos Maciços, Lito- Cronocorrelatas dos Sistemas de Dobramentos mais próximos
- SISTEMAS DE DOBRAMENTOS**
- MARGINAIS**
 - a) Sergipano, h) Médio Coreau
 - INTERIORES**
 - c) Riocho do Pontal
 - d) Piancó - Alto Brigida
 - e) Seridó
 - CONVENÇIONAIS**
 - VESTIGIAIS**
 - v) Pajeú - Paraíba
 - f) Jaguaribeano
 - g) Rio Curu - Independência
 - MAFICOS GNAISSICO-MIGMATITICO-GRANITICOS**
 - A - Pernambuco - Alagoas
 - B - B' - Caldas Brandão - S. José Campestre
 - C - Rio Piranhas
 - D - Tróia - Touá
 - E - Santa Quitéria
 - F - Granja
 - G - Marginal do Craton de São Francisco
 - Folhas Principais

FIG. 1 - ESBOÇO DOS ELEMENTOS GEOLÓGICOS PRINCIPAIS DA PROVÍNCIA BORBOREMA (Brito Neves, 1975; Almeida et alii, 1977, Santos, 1975 - modificado)

DINIZ, J.A.O. - O Aquífero Fissural...

destes dois sistemas, e também devido ao caráter informal das suas diversas "unidades litoestratigráficas", apresentamos no quadro 2 a seção colunar completa para o sistema Piancó-Alto Brígida que, ao menos litologicamente, se assemelha à seção semelhante do sistema Riacho do Pontal.

3.6.3 - O MACIÇO PERNAMBUCO-ALAGOAS

COSTA(1986), baseado em BRITO NEVES(1983), afirma que litologicamente este maciço é constituído de terrenos gnáissico-migmatíticos orto e para-derivados e por grandes maciços migmatíticos-graníticos(granodioríticos). Intrusivas calco-alcalinas associadas ao vulcanismo dos sistemas confinantes ocorrem de maneira esparsa e, em alguns locais como em Garanhuns-PE, encontram-se restos de doberturas metassedimentares.

As rochas predominantes são migmatíticas com estruturas variadas, principalmente flebíticas, sucedidas por estruturas estromatíticas, oftalmíticas e nebulíticas, com composição modal mais comum granodioríticas, além de graníticas, tonalíticas, quartzo-dioríticas e até dioríticas. Além de gnaisses e migmatitos, tem-se encontrado nessas faixas, esporádicas ocorrências de anfibolitos e rochas do fácies granulito.

3.6.4 - ESTRUTURAS

De uma forma geral, o caráter primário dos dobramentos geossinclinais encontra-se obliterado, tanto pela superposição dos deslocamentos, quanto pela ocorrência extensa de corpos graní-

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

Formação Iara : Siltitos, Grauvacas e brechas polimi-
ctas.

Grupo Cachoeirinha : Filitos diversos. Sericita-clorita-
xistos; Muscovita xistos; micaxistos fi-
nos. Intercalações calcáreas, itabiríti-
cas e quartzíticas.

Grupos

Salgueiro/

Seridó: Bioti

ta-granada xistos. Xistos

bimicáceos; intercalações quartzíticas.

Quartzitos descontínuos.

Metaconglomerados locais.

Grupos Uauá/Cabrobó/Caicó:

Localmente micaxistos com intercalações
carbonáticas.

Biotita-Gnaisses, Hornblenda-Gnaisses, Gnaiss
es bandeados e gnaisses graníticos.

Corpos orto-anfibolíticos. intercalações
de xistos, quartzíticos e rochas carboná-
ticas.

Migmatização frequente.

— ? — ? — ? — ? — ? — ? — ? — ? — ? — ? — ? — ? —

"Pré-Caicó" ou não especificadas:

Complexos migmatíticos, granitóides di-
versos.

ticos intrusivos, que interceptam as estruturas de suas encaixantes de forma brusca, impingindo movimentos diapíricos nas imediações de seus contatos.

A área estudada pode ser geológico e geotectonicamente dividida em duas porções, através do lineamento Pernambuco.

A porção meridional corresponde ao Sertão do São Francisco e, segundo TEIXEIRA et. al. (1967), mostra evidências de ter sofrido um grande esforço no sentido Noroeste, fato este manifestado pela virgação das estruturas, que passam de direção geral Nordeste-Sudoeste para aproximadamente Este-Oeste, e também pelos fortes megulhos apresentados nas proximidades desta grande falha, que em alguns pontos se tornam praticamente verticais, formando frequentemente pequenas estruturas sinclinais em leque e anticlinais. Além desta grande falha, representada pelo lineamento Pernambuco, ocorrem outras duas, uma de direção geral Noroeste-Sudeste, estendendo-se desde o rio São Francisco, entre Santa Maria da Boa Vista e Orocó, até além da Serra de Acauã, de rejeito direcional, principalmente dextral, e uma outra que ocorre entre Rajada (Petrolina) e Afrânio.

Ainda na porção meridional, temos uma região estruturalmente mais simples (maciço mediano de Pernambuco-Alagoas), formada por terrenos gnáissicos-migmatíticos com estruturas bastante variadas, apresentando-se comumente falhada na direção NO-SE, falhas predominantemente de rejeito direcional.

A porção Setentrional apresenta xistosidades de direção NE-SW (predominante), ENE-WSW e NW-SE.

Também aí nota-se a existência de uma grande falha de direção geral Nordeste-Sudoeste, direcional e de rejeito dextral

DINIZ, J.A.O. - O Aquífero Fissural...

(DINIZ, 1981). O fraturamento ocorre de forma intensa, com direções gerais ENE-WSW, NE-SW e SW, constando desde pequenas fraturas até outras de dimensões quilométricas.

DINIZ (1981), estudando a região de Parnamirim, afirma a existência de três fases de dobramentos na área:

- 1ª Geração de dobras isoclinais isópacas e anisópacas, de xistosidade plano-axial;
- 2ª Dobras isópacas e anisópacas abertas de xistosidade dobrada
- 3ª Redobrimento das dobras de 2ª fase, formando dobramentos de grandes dimensões, com planos axiais de direção E-W, vergando para Nordeste.

Uma quarta fase de dobramentos ainda é sugerida pelo autor, pelo provável redobrimento das estruturas de terceira geração, formando novas dobras que apresentam planos axiais de direção NE-SW.

No anexo II apresentamos um esboço geológico do extremo Oeste de Pernambuco, segundo TEIXEIRA et. al., 1967.

CAPÍTULO 4

O AQUÍFERO FISSURAL

4.1 - INTRODUÇÃO - CONCEITO DE AQUÍFERO

O meio aquífero do tipo fissural, comumente designado por "cristalino" ou ainda "maciço rochoso", é caracterizado pela inexistência ou presença muito reduzida de espaços intergranulares na rocha. Nesse meio, a água se encontra em espaços representados por fissuras ou fraturas, juntas ou ainda em falhas e, em casos particulares, em vesículas, aberturas de dissolução, zonas de decomposição, etc. (COSTA, 1986).

Segundo TEIXEIRA, et al (1967), este aquífero fissural não tem configuração plenamente definida, podendo ser considerado como um todo descontínuo, caracterizado por um fraturamento local, alimentado pela infiltração direta do manto de intemperismo ou através dos vários riachos próximos. É constituído por uma sequência de fendas mestras mais ou menos alinhadas, configurando reservatórios alongados, consecutivos e interconectados, segundo uma direção preferencial, que em conjunto representa uma unidade hidrogeológica.

4.2 - CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS

Segundo STRELTSOVA-ADAMS (1977), análises realizadas em diversos corpos de rocha existentes na natureza têm demonstrado que a permeabilidade primária de rochas compactas não fraturadas é comumente muito baixa, variando entre 0,001 a 0,5 milidarcys, enquanto que a permeabilidade de uma fratura varia de poucos a vários milidarcys. A porosidade de uma rocha porosa não fraturada varia de 2 a 27%, enquanto que a porosidade de fraturas é estimada como inferior a 1%, comumente variando entre 0,1-0,4%.

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

Assim, uma fratura aumenta a permeabilidade da rocha em várias vezes o seu valor original. Uma fissura, mesmo de tamanho muito reduzido, aumenta em muito a capacidade de fluxo. Segundo BAKER(1955), uma fissura de 0,01" (0,254mm) é equivalente a 136,5 mts de formação compacta tendo uma permeabilidade uniforme de 10 md, ou 13,65m de formação tendo uma permeabilidade de 100md enquanto uma fissura de 0,05" (1,27) é equivalente a 170m de formação de 100md de permeabilidade".

Uma rocha fraturada, possuindo uma porosidade primária mesmo que incipiente, deve ser imaginada como dois conjuntos distintos, os blocos sólidos originais, individualizados pelos planos de fraturamento, e o conjunto adjacente da rocha fraturada. Cada um destes conjuntos têm características próprias de permeabilidade e porosidade. Assim, as suas propriedades de fluxo são quase que inteiramente associadas com a presença do fraturamento, enquanto o armazenamento e transmissão do fluído se liga com a porosidade intergranular. Servindo como verdadeiros canais sub-superficiais de permeabilidade, as fraturas controlam a distribuição de pressão do fluído na massa rochosa e o comportamento do fluxo (STRELTSOVA-ADAMS,1977).

Resumindo, as propriedades ligadas a condutividade de formações compactas são relacionadas diretamente com a permeabilidade das fraturas, enquanto as propriedades de armazenamento são relacionadas com a porosidade da rocha. No estudo de reservatórios fraturados e de acordo com a relação nas características dos blocos individuais e as fraturas, as formações fraturadas podem ser divididas em puramente fraturadas, se ela consiste somente de porosidade e permeabilidade de fratura e em formações porosas-fraturadas ou um meio de dupla-porosidade, se tanto as fraturas como as propriedades porosas dos blocos individuais estão presentes.

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

As fraturas, como já visto anteriormente, modificam fortemente o comportamento de fluxo nas rochas, influenciando decisivamente no seu comportamento. Quaisquer aproximações estatísticas aplicadas às rochas porosas, leva em conta a sua geometria interna, considerando que o fluxo é uniforme através de qualquer seção do meio poroso. No caso de reservatórios fraturados, as propriedades hidromecânicas são diferentes, as quais respondem a qualquer influência externa de maneira diversa daquelas do meio homogêneo.

A razão de distribuição de uma variação de pressão em um meio elástico é proporcional ao coeficiente de difusividade hidráulica, k , definido por (STRELTSOVA-ADAMS., op.cit.):

$$k = K/S_s$$

onde K é a permeabilidade média (condutividade hidráulica) e S_s é o coeficiente de armazenamento, considerando-se uma pressão unidimensional. O coeficiente de armazenamento, S_s , pode ser aproximadamente expresso por

$$S_s = pg(\alpha + nB)$$

onde p representa a densidade do fluido, B a sua compressibilidade, g a aceleração da gravidade, n a porosidade do meio e α a compressibilidade vertical.

Uma vez que a permeabilidade de fratura é muito maior que a permeabilidade de meios porosos sólidos ($K_{frt} \gg K_{por}$), apesar da porosidade do meio fraturado ser menor que a porosidade de meios porosos ($n_{frt} < n_{por}$), e ainda devido ao fato de que a compressibilidade das fraturas ser um pouco maior que a compressibilidade de

volume poroso ($B_{frt} > B_{por}$), o coeficiente de difusividade hidráulica das fraturas é muito maior que o dos blocos porosos ($k_{frt} > k_{por}$).

Uma vez que o reservatório seja sujeito a uma variação externa de pressão, a diferença na redistribuição interna de pressões, rápida ou mesmo instantânea no caso das fissuras, e a lenta ou retardada resposta do meio poroso, resulta em uma pressão diferencial, a qual, no caso do reservatório fraturado possuir blocos porosos individuais, deriva um fluxo subsequente dos blocos para as fissuras.

Neste caso, o fluxo meio poroso-fissuras é um processo que depende do tempo, causado pelo reajuste das pressões entre os dois meios, e a sua duração dependerá das propriedades elásticas de cada um, juntamente com suas permeabilidades e dimensões.

A resposta de reservatórios fraturados sujeitos a uma variação de pressão originada por um bombeamento, mostra um comportamento específico, exibindo uma ou mais das feições abaixo (STRELTSOVA - ADAMS, 1977).

- 1 - Forte evidência de comunicação de fluídos entre poços muito próximos, resultando em respostas algumas vezes instantâneas no tocante a rebaixamentos.
- 2 - Uma fraca inclinação na curva tempo - rebaixamento, quando comparada com aquelas oriundas de formações homogêneas (fig. 12).
- 3 - Aparecimento de duas linhas assintóticas fortes na curva tempo-rebaixamento, se plotada em coordenadas semi-logarítmicas, ou de duas curvas assintóticas se plotada em coordenadas loga

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

rítmicas (fig. 13).

- 4 - No caso de existirem blocos porosos, um aumento inicial da pressão nos poros, pode ocorrer em resposta ao bombeamento, originando rebaixamentos maiores a grandes distâncias do poço que aqueles verificados nas suas proximidades (fig. 14).
- 5 - Uma forte variação na resposta hidráulica de um determinado poço pode ocorrer tão logo seja iniciado o rebaixamento ou a recuperação como se pode ver pela forte variação na inclinação da curva tempo-rebaixamento da fig. 15 (coordenadas semi-logarítmicas).

FALCÃO (1980), com base em dados obtidos com o uso de linígrafos colocados em poços perfurados no embasamento cristalino no município de Betânia-PE, verificou que "a resposta entre as quedas pluviométricas e a elevação do nível estático nos poços é quase imediata e medida em poucas horas". Como em todos os bombeamentos de poços nos terrenos cristalinos do Nordeste brasileiro conduzidos pelas mais diversas empresas, a saída de água é colocada a no máximo dois metros da boca do mesmo, essas feições particulares das curvas tempo-rebaixamento ficam mascaradas pela recarga induzida da própria água que está sendo retirada do poço pelo bombeamento e temos nas curvas a falsa impressão da estabilização do nível dinâmico.

Da análise precedente fica claro a estreita relação entre a condutividade hidráulica nos meios fraturados e as fissuras. A condutividade destas por sua vez depende de vários fatores (COSTA, 1986), como:

- 1 - Amplitude das fissuras
- 2 - Abertura das mesmas
- 3 - Forma e rugosidade de suas paredes

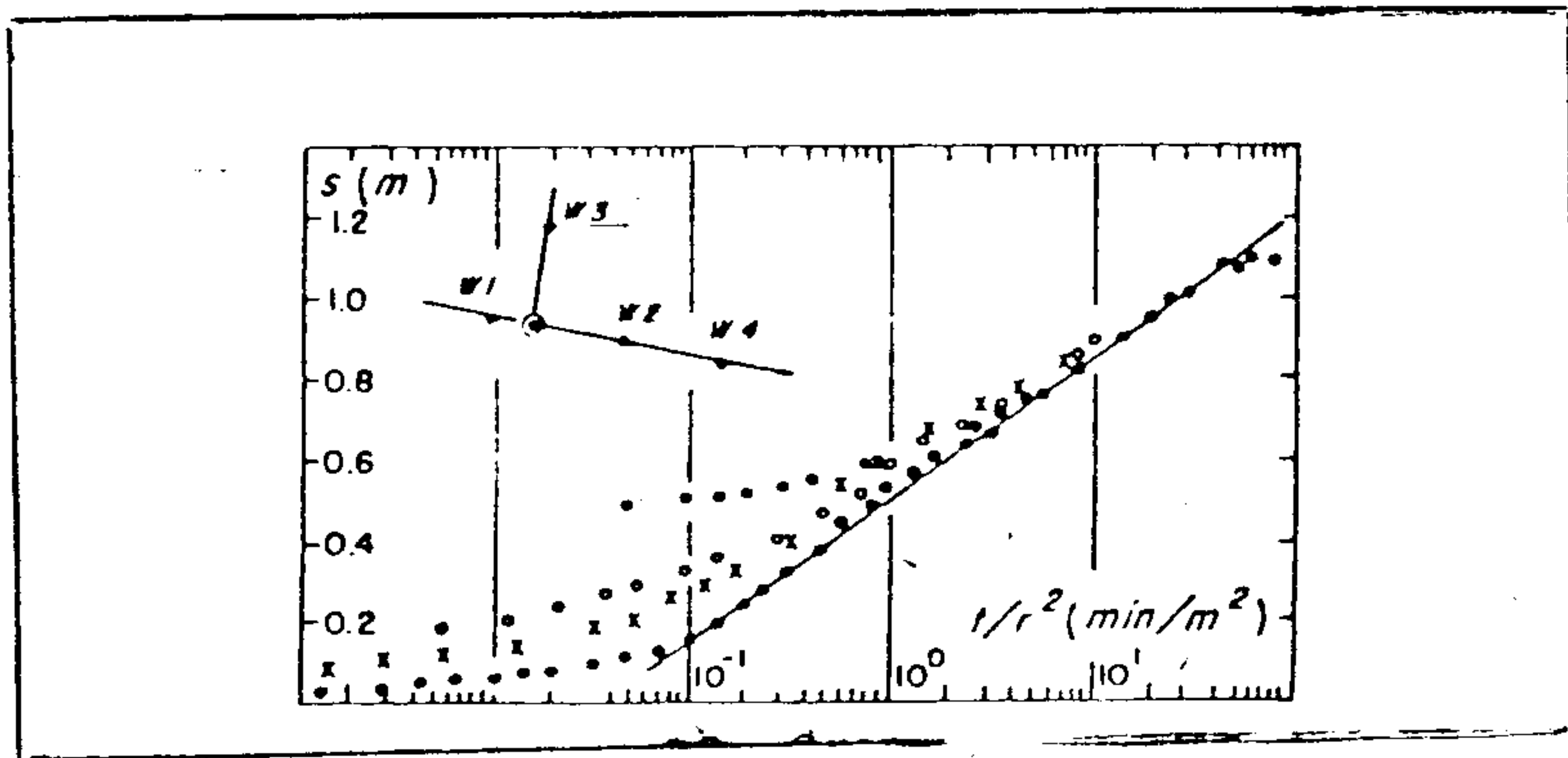


FIGURA 12

CURVA TEMPO-REBAIXAMENTO PARA O FLUXO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM UMA ROCHA ÍGNEA FRACTURADA (SEGUNDO STRELTSOVA-ADAMS, 1977).

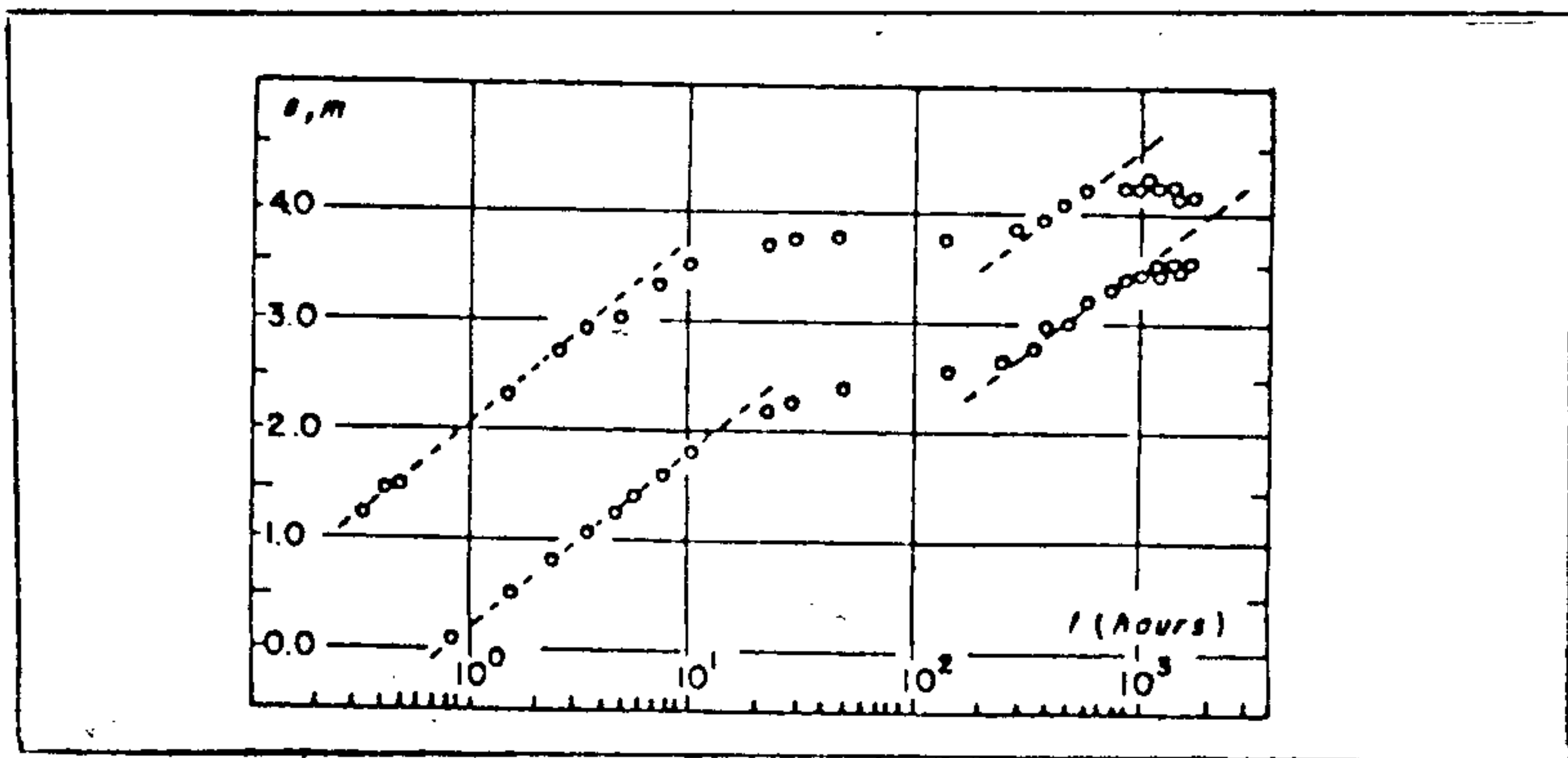


FIGURA 13

CURVA TEMPO-REBAIXAMENTO PARA O FLUXO EM UM CALCÁRIO FRATURADO
SEGUNDO (STRELTSOVA-ADAMS, 1977)

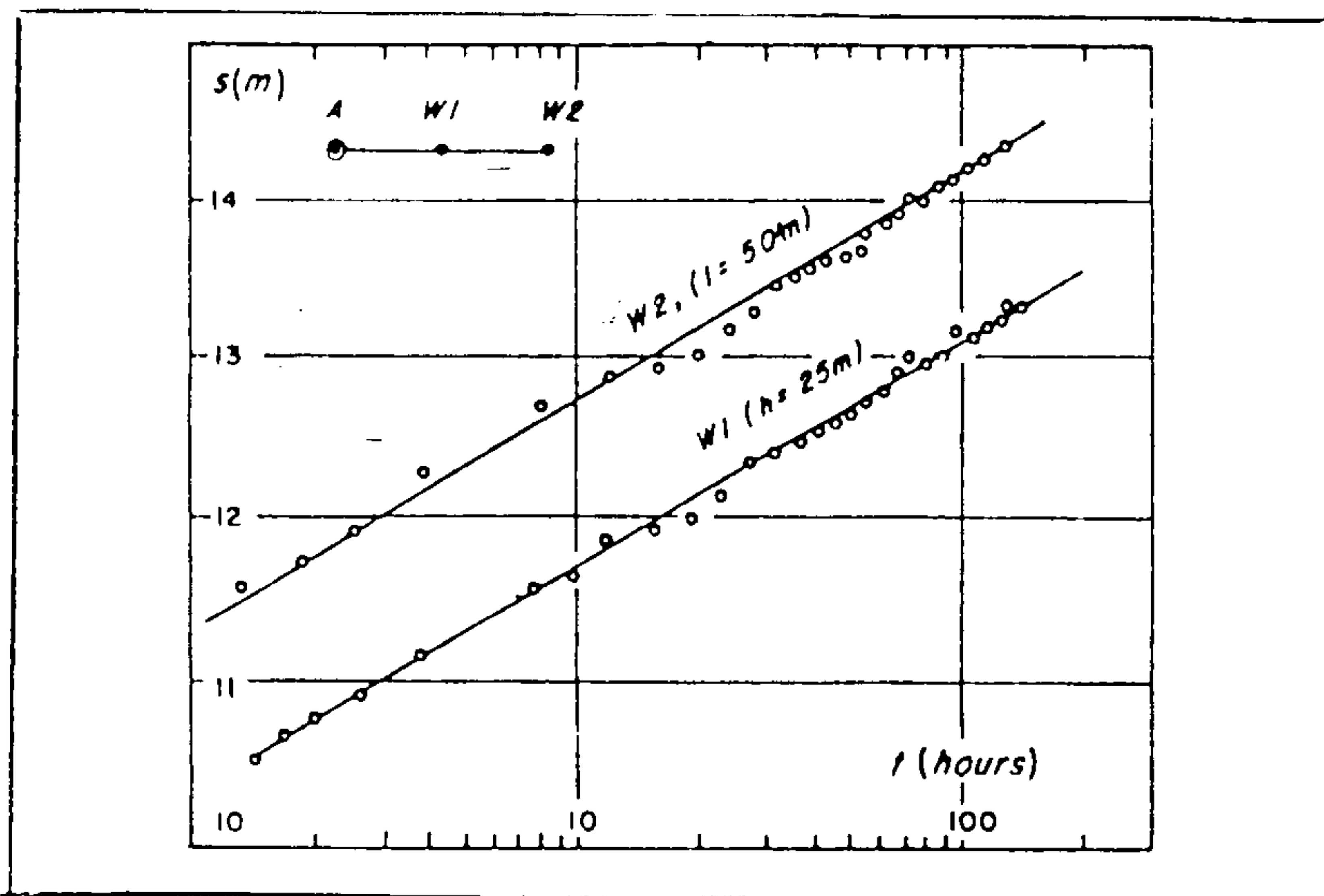


FIGURA 14

CURVA TEMPO-REBAIXAMENTO PARA O FLUXO EM UMA ROCHA METAMÓRFICA DE ALTO GRAU
(SEGUNDO STRELTSOVA-ADAMS, 1977)

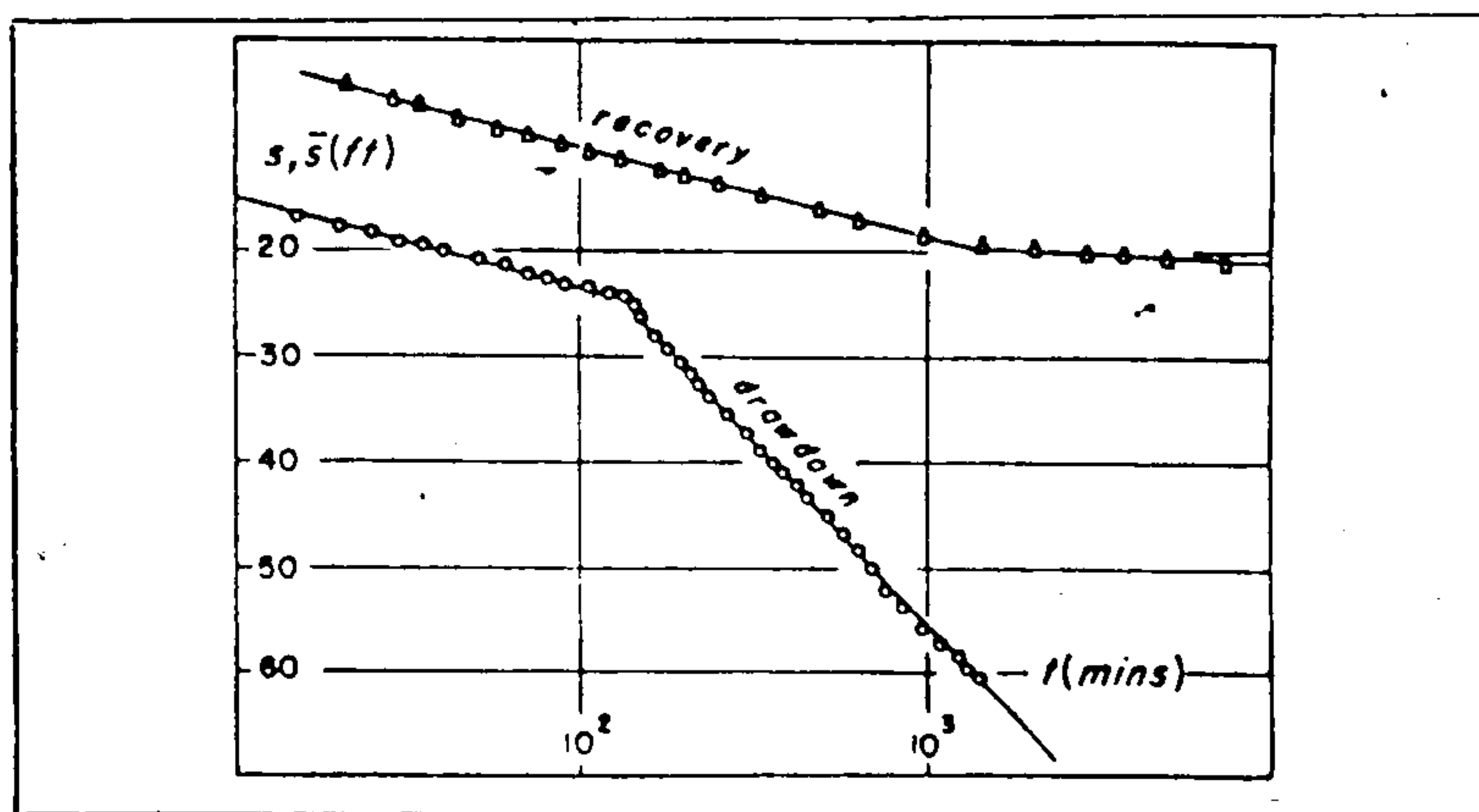


FIGURA 15

CURVAS DE REBAIXAMENTO E RECUPERAÇÃO EM
UMA ROCHA CARBONÁTICA FRATURADA.
(SEGUNDO STRELTSOVA-ADAMS, 1977)

- 4 - Frequência ou espaçamento das mesmas
- 5 - Número de família ou sistemas de fraturas
- 6 - Orientação e posição (direção e mergulho) das principais fissuras
- 7 - Propriedades hidráulicas do material de preenchimento
- 8 - Distribuição e amplitude da fissura no sistema, que determina a heterogeneidade e anisotropia.

4.3 - FATORES INFLUENTES NAS CARACTERÍSTICAS DOS POÇOS DO EMBA-SAMENTO CRISTALINO.

O trabalho do hidrogeólogo do cristalino, no que tange a análise regional de poços é composto por várias incógnitas difíceis de avaliar.

Enquanto os reservatórios porosos constituem um sistema condutor aquífero homogêneo e tridimensional, as rochas compactas formam um aquífero apenas aproximadamente ou excepcionalmente tridimensional: apenas em casos excepcionais, uma zona de rochas cristalinas se apresentará tão intensamente fraturada que possa ser considerada um corpo tridimensional, condição na qual teríamos válida a lei de Darcy.

Normalmente a rocha é atravessada por sistemas de juntas de densidade variável e que se ramificam de várias formas. Mesmo em uma zona litologicamente homogênea e com as mesmas características mecânicas, estes sistemas nem sempre têm ligação hidráulica. No caso de sistemas de juntas que cortam zonas litologicamente diferentes, onde cada rocha responde de uma maneira diferente aos esforços aos quais foram submetidas, esta ligação hidráulica é ainda menos provável.

Reafirmando o que já foi citado anteriormente, podemos dizer que não existe um corpo de água subterrâneo contínuo nas rochas cristalinas; primeiro pelo seu comportamento anisotrópico e segundo pela variação das características mecânicas dos diversos corpos de rocha. Os condutores de água são espacialmente reduzidos a estreitos canais ou faixas fraturadas nos diversos complexos litológicos e, como já afirmado, os conceitos da hidráulica subterrânea comumente aplicados às rochas porosas não devem ser utilizados.

Neste tipo de sistema aquífero, a superfície de água subterrânea é uma superfície imaginária que interliga as colunas de água dos diversos sistemas de juntas, condicionadas à pressão hidrostática. As diversas zonas de juntas equilibrarão hidráulicamente as suas colunas d'água, segundo o princípio dos vasos comunicantes. Isto explica a ocorrência de zonas de surgência ("artesianismo") em rochas do embasamento cristalino. Apesar disto, esta comunicação hidráulica é na prática muito imperfeita, verificando-se níveis muitos variáveis d'água em um mesmo corpo de rocha.

A tabela 01 é uma tabela de frequência acumulada relativa, confeccionada a partir de dados de níveis estáticos de 131 poços situados na região Oeste do Estado de Pernambuco. A partir da mesma, foram calculados os valores da média aritmética ($X=6,87m$) do desvio padrão aritmético ($S=8,000$) e do coeficiente de variação ($V=116,44\%$); da análise destes dados fica clara a forte irregularidade de ocorrência destes níveis. Na fig. 16 mostramos um histograma e o respectivo polígono de frequência, construídos a partir dos mesmos dados.

Desta forma, a dificuldade encontrada pelo hidrogeólogo na localização dos diversos sistemas de fraturas é superada em

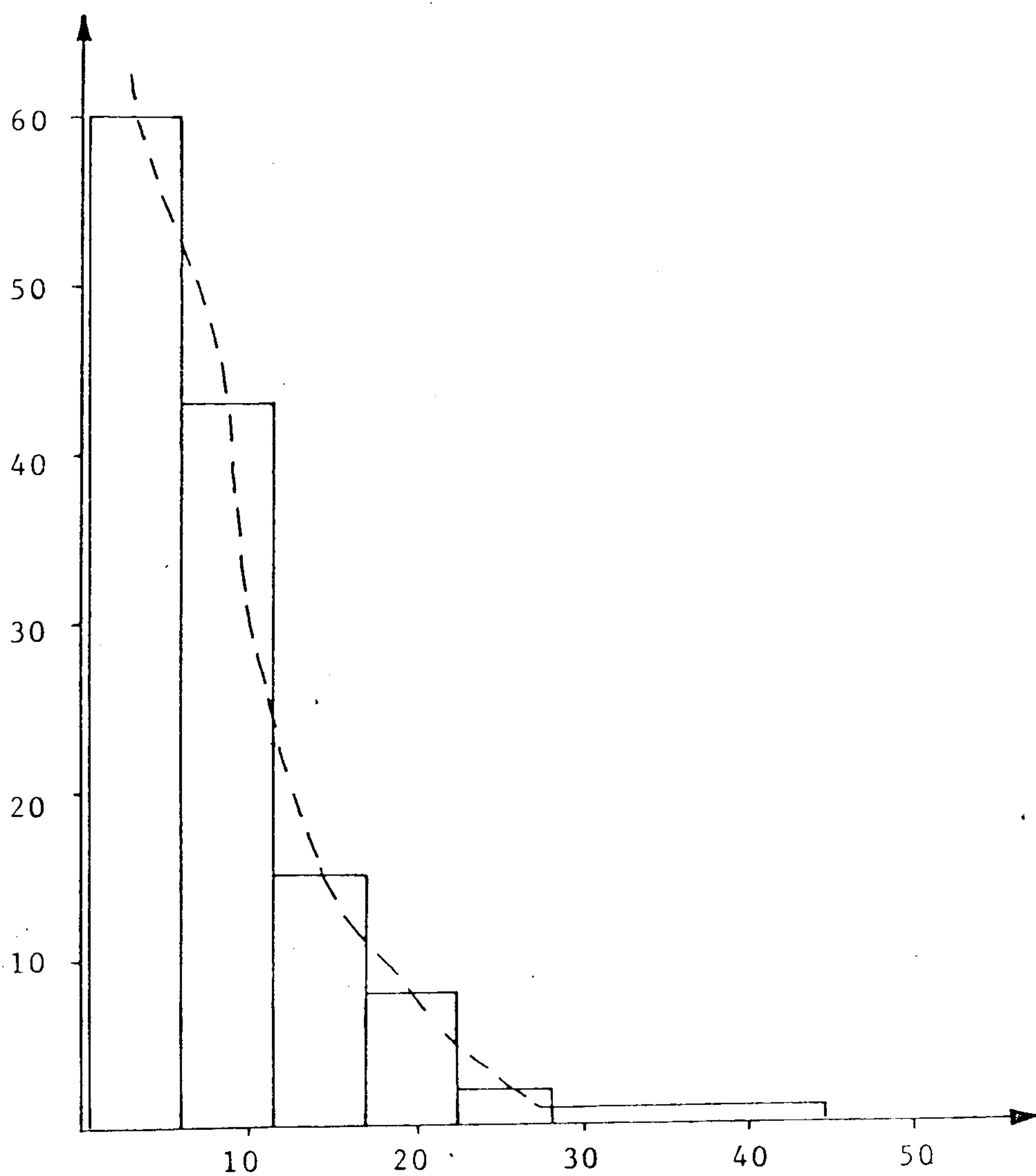


FIGURA - 16

Histograma e Polígono de frequência dos dados de Níveis Estáticos (131 valores)

T A B E L A 01
 Distribuição Estatística dos Níveis Estáticos de 131 Poços situados na Região Oeste do Estado de Pernambuco.

TEORES EXTREMOS	FREQUÊNCIA	FREQUÊNCIA ACUMULADA	FREQUÊNCIA ACUMULADA RELATIVA
0,5 - 5,85	60	131	100%
5,85 - 11,15	43	71	54,20%
11,15 - 16,45	15	28	21,37
16,45 - 21,75	8	13	9,92%
21,75 - 27,05	2	5	3,81%
27,05 - 32,35	1	3	2,29%
32,35 - 37,65	1	2	1,53%
> 37,65	1	1	0,76%

Maior Valor - 43,00m

Menor Valor - 0,50 m

Amplitude - 42,50 m

Nº informações- 131

Intervalo de classe - 5,3

muito por outra, ou seja, de estender as relações hidráulicas entre os sistemas vizinhos e com isto avaliar a influência recíproca sobre produtividade de poços, características físico-químicas etc...

Resumindo, podemos dizer que é difícil, senão impossível, a elaboração de princípios de validade regional sobre produtividade, características físico-químicas, etc.; apenas observações generalizadas são possíveis, pois o conjunto dos condutores aquíferos no cristalino se compõe de um número infinito de sistemas isolados com comportamentos hidráulicos frequentemente diferentes.

Para se tentar regionalizar as características de sistemas aquíferos fissurados, vários fatores devem ser levados em conta, cada um dele influenciando decisivamente na formação dos depósitos de água subterrânea. Os fatores a serem analisados são de ordens as mais diversas, devendo ser considerados aspectos fisiográficos, tectônicos, estruturais e litológicos, os quais passaremos a analisar separadamente.

4.3.1 - ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

Dentro deste item serão analisados os aspectos relativos ao clima, com seus componentes temperatura, umidade relativa do ar, precipitação e evapotranspiração. A hidrologia será analisada no tocante ao regime fluvial, infiltração e escoamento superficial. Além destes aspectos, procuraremos discutir a influência da vegetação e do relevo.

O clima é sem dúvida um dos agentes mais ativos

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

na formação dos depósitos hídricos subterrâneos, não só no tocante a qualidade química da água, mas também em relação à produtividade dos poços.

Além de disciplinar o tipo de intemperismo que irá afetar as rochas, tendo consequência direta na salinização das águas, o clima é, em última análise, o formador das reservas de água subterrânea, através das componentes precipitação e evapotranspiração.

Se analisarmos, p.ex., a área do sertão pernambucano situada próxima ao "cotovelo" do rio São Francisco, encontraremos baixos índices de precipitação pluviométrica, baixa umidade relativa do ar e, como consequência, elevada taxa de evaporação (ver fig. 09). Em decorrência disto temos uma região de baixa vocação hidrogeológica, de há muito conhecida pelos geólogos. À medida que caminhamos, p. ex., para o Norte, em direção à Chapada do Araripe, onde já são menores as taxas de evaporação e maiores os índices de precipitação e umidade relativa do ar, mesmo em território pernambucano, no sopé da Chapada como nos municípios de Boqueirão, Exú, etc, já notamos uma sensível melhora nas condições hidrogeológicas. Se extrapolarmos nossa comparação para regiões ainda mais distintas, como p.ex., a região do "cotovelo" do São Francisco e a zona da mata úmida de Pernambuco com altas precipitações e umidades e menores taxas de evaporação, esta diferença se tornará ainda mais patente.

Da mesma forma que a altura das precipitações, é de fundamental importância a sua distribuição temporal. Na região semi-árida, como já citado anteriormente, as chuvas caem nas estações de verão-outono, tendo uma influência negativa sobre o tempo de permanência na superfície das precipitações caídas, devido a

TABELA 02

Quadro Comparativo entre Poços situados em várias Regiões Representativas do Nordeste Brasileiro

REGIÃO (Município)	VAZÃO (M ³ /h)	RESÍDUO SECO (ppm)	Nº de POÇOS
Crateús - CE	5,673	1645	10
Petrolina - PE	1,540	3585	56
Monteiro - PB	3,647	3488	35
Bodocó-Exú-St. Moreiras-Arari- pina-PE	2,818	1878	12

TABELA 03

Relação entre Vazão e o Tipo de Fratura (Segundo COSTA, W.D., 1980)

TIPO DE FENDA	VAZÃO (l/h)	RESÍDUO SECO (mg/l)	Nº DE POÇOS
Transversal	5139	2091	23
Angular	2583	3966	24
Longitudinal	4400	1210	3

Os rios ditos efêmeros são aqueles originados unicamente do escoamento superficial, secando logo após o fim das precipitações; devido ao baixo coeficiente de infiltração das rochas cristalinas, a sua contribuição para as reservas de água subterrânea é muito limitada.

Os rios intermitentes são alimentados pelo escoamento superficial e pelo fluxo de base ou "under - flow", que se mantêm ao nível do seu leito durante os períodos chuvosos, rebaixando durante os períodos de estiagem, quando secam esses rios. Dentro da região semi-árida são os mais importantes como formadores de reservas de águas subterrâneas.

Os rios permanentes ou perenes recebem uma contínua alimentação do "under-flow", razão pela qual nunca secam. Devido a sua praticamente inexistência na zona semi-árida, não são muito importantes como formadores de reservas.

Na fig. 17 mostramos a distribuição da água na superfície da terra desde a sua precipitação até o final de seu ciclo de escoamento (Segundo GHOSE, 1973).

Segundo SAMPAIO, 1981, cerca de 90% das águas precipitadas no Nordeste semi-árido são perdidas por evaporação (aquí entendida como retenção superficial, com todos os demais componentes), 7% escoam pelos rios (escoamento direto) e apenas 3% delas são retidas, formando o escoamento subterrâneo ou de base. Logo, é de fundamental importância para formação de reservas subterrâneas a existência conjunta de fatores estruturais (intenso fraturamento, facilitando a infiltração), pedológicos (pouca ou nenhuma cobertura de solos impermeáveis) e topográficos (regiões de relevo moderado, com regular declividade).

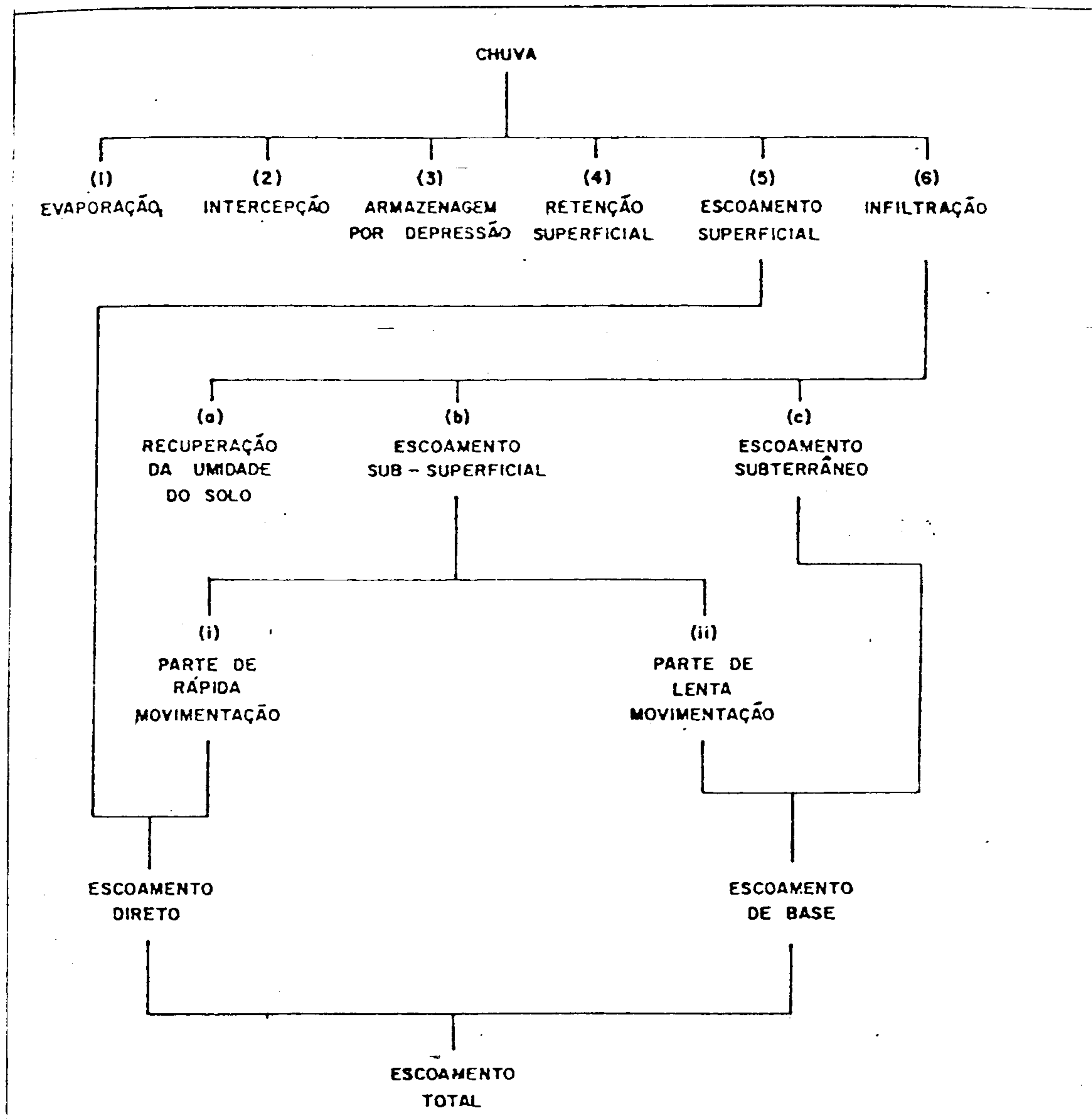


FIGURA 17
DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA
(SEGUNDO GHOSE, 1977)

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

Os dois primeiros fatores já são, por si sós, bastante claros e o terceiro se justifica pela necessidade de, por um lado, evitar a componente da retenção superficial "armazenagem por depressão (fig.17), que facilita sobremaneira a evaporação e por outro, criar condições de infiltração, tanto no sentido vertical como no lateral.

Em áreas de relevo muito acidentado, o escoamento superficial se faz de forma muito rápida, e devido ao baixo coeficiente de infiltração das rochas, a recarga não acontece. Já em regiões de regular declividade, o escoamento se faz de forma mais lenta, dando tempo para que a infiltração se processe tanto no sentido vertical, diretamente através das fraturas, ou permeando os solos e aluviões, como no sentido horizontal, de um corpo para outro ou no sentido aluvião/rocha, etc...

A vegetação tem importante papel na formação dos depósitos de águas subterrâneas, quer como agente do intemperismo, aumentando as fendas nas rochas pela ação de suas raízes, quer como parte ativa nos processos de evapotranspiração.

4.3.2 - ASPECTOS TECTÔNICOS E ESTRUTURAIS

O Nordeste do Brasil sofreu, durante a sua evolução geológica, a influência de várias fases de deformação, que mascaram ou obliteram suas feições originais. Em face disto, para se estudar uma área do ponto de vista de sua vocação hidrogeológica, faz-se necessário um estudo de âmbito regional, seguido por um detalhamento local. Somente assim, poderemos chegar a indícios que nos levem a zonas com um maior volume de vazios, com

Desta forma, é fundamental que se tenham classificações genéticas das fraturas, nos aspectos relacionados com o metamorfismo recrystalizante e quando as mesmas apresentam-se relacionadas com dobramentos.

Do ponto de vista genético e em função do tempo, as fraturas podem ser classificadas como pré-cristalinas, sin-cristalinas e pós-cristalinas, de acordo com o pico do metamorfismo regional recrystalizante. Para a pesquisa de águas subterâneas interessam somente aquelas pós-cristalinas.

Quando as fraturas são relacionadas geneticamente com dobras, elas se classificam da seguinte forma (LADEIRA, 1985):

1. Fraturas transversais ou de extensão, em geral perpendiculares aos eixos dos dobramentos e da xistosidade regional. Descritivamente são o mesmo que juntas transversais.
2. Fraturas de relaxamento ou de alívio, formadas paralelamente aos eixos dos dobramentos. Descritivamente são chamadas de juntas longitudinais.
3. Fraturas de cisalhamento, normalmente ocorrendo conjugadas, cada uma formando um ângulo de 60° com a direção da charneira da dobra, ou seja, aproximadamente 30° com a direção dos esforços. Descritivamente são chamadas de juntas diagonais.

Costa, 1980, apresenta um quadro comparativo de vazões e resíduos sêco (tab.03), obtido em poços locados nos tipos de fraturas acima mencionados. Segundo este autor os dados

obtidos encontram fácil explicação na mecânica das rochas, e apenas os valores obtidos com as juntas longitudinais podem parecer anômalos. Ainda segundo Costa (op.cit.), isto pode ser explicado pelos alívios de tensões ocorrentes nos fenômenos epirogenéticos positivos em áreas antigamente submetidas a elevadas tensões compressivas tangenciais à crosta, com os quais estariam relacionadas este tipo de fraturas.

O embasamento cristalino préCambriano do Nordeste foi submetido a uma tectônica de quebramento intensa desde o início de sua consolidação. Devido a isto, uma relação genética entre essas fraturas e o dobramento já não mais existe de forma clara. Assim, no nosso ponto de vista, a classificação das juntas em transversais, longitudinais e de cisalhamento, não têm forte significado hidrogeológico, salvo em situações particulares. Acreditamos ainda que, devido a tendência ao soerguimento apresentada pelo escudo cristalino do Nordeste já desde o Paleozóico, a tectônica de quebramento jovem seja mais influente.

Na tabela 04 mostramos a distribuição estatística das entradas d'água (285 medições) em poços na região do extremo Oeste pernambucano. Pela simples análise destes dados já notamos a grande predominância (aproximadamente 86% do total) de fendas situadas até os 50m de profundidade. Este fato, vem corroborar de forma muito forte a nossa afirmação quanto a importância da tectônica de quebramento jovem, visto que, no caso de fendas originadas por processos epirogenéticos positivos, devido a própria tendência de soerguimento da área e a consequente erosão das partes superiores, o fraturamento restante deve ser de pequena profundidade. Também a afirmação de COSTA, (1980), ao explicar a origem das fendas ditas longitudinais, reforça essa nossa tese. Na fig. 18 mostramos o histograma e respectivo polígono de frequência construídos a partir dos mesmos dados.

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural

TABELA 04

Distribuição Estatística dos Valores de Entradas d'água em Poços da Região Oeste do Estado de Pernambuco.

TEORES. EXTREMOS	FREQUÊNCIA	FREQUÊNCIA ACUMULADA	FREQUÊNCIA ACUMULADA RELATIVA
06,00 - 21,00	117	285	100%
21,10 - 36,00	84	168	58,95%
36,10 - 51,00	43	84	29,47%
51,00 - 66,00	24	41	14,39%
66,10 - 81,00	11	17	5,96%
81,00	6	6	2,10%

Maior Valor - 94,00m

Menor Valor - 00,60m

Nº de dados - 285

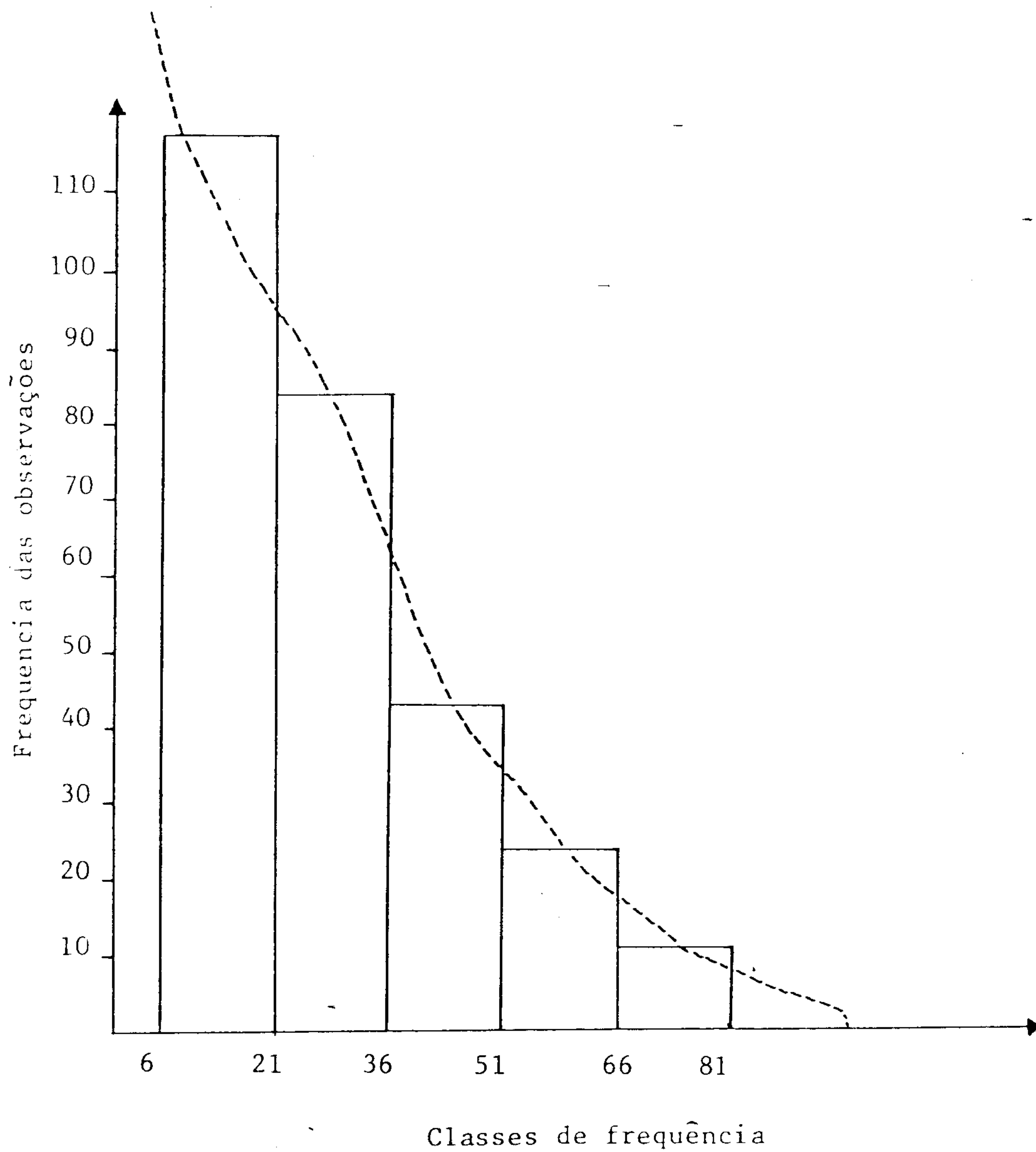


FIGURA - 18

HISTOGRAMA E POLÍGONO DE FREQUÊNCIA DOS DADOS DE ENTRADAS D'ÁGUA
(285 medições)

Também a intensidade do fraturamento é de fundamental importância. Com os dados de poços no extremo Oeste de Pernambuco, tentamos encontrar um coeficiente de correlação entre o número de entradas d'água e a vazão dos poços. Inicialmente tentamos encontrar uma correlação linear entre estas duas variáveis, e obtivemos um valor (coeficiente de correlação linear de Pearson) de 0.35, o que já nos mostra que existe uma correlação, apesar de fraca. A partir daí, tentamos encontrar correlações em relação a uma curva exponencial e uma curva logarítmica. A curva exponencial revelou um coeficiente de correlação com valor de 0,37, ou seja, há uma melhor correlação entre o número de fraturas e as vazões dos poços através de uma curva exponencial. A equação que melhor se ajusta a este tipo de correlação é do tipo

$$Y = a \cdot e^{bx}, \text{ que pode ser linearizada para a forma}$$

$$\ln Y = \ln a + bx$$

Calculando-se os valores dos coeficientes "a" e "b", encontramos $a = 0,38$ e $b = 0,59$. Inserindo estes dois valores na equação acima, temos a expressão final relacionando vazão com número de entradas d'água:

$$\ln Y(\text{vazão}) = 0,59x(\text{N}^\circ \text{ de entradas d'água}) - 0,97$$

Apesar do valor relativamente reduzido do coeficiente de correlação, os valores obtidos têm significado estatístico a um nível de confiança de 99%, visto que o "t" de student calculado (127 graus de liberdade) é bastante superior ("t" calculado=4,48) ao valor crítico tabelado.

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

Esta expressão não pode de forma alguma ser encarada de maneira conclusiva ou usada para fins de previsão de vazões.

O seu uso neste sentido, somente seria possível se conhecessemos a influência relativa de cada fenda, cujas condutividades são funções dos vários fatores já enumerados por COSTA (1986). Importante é sabermos da sua existência, conhecermos que a vazão tende a aumentar exponencialmente com o número de entradas d'água. Este fato se reveste de grande destaque, principalmente no tocante a locação de poços.

Na tabela 05 mostramos os dados obtidos com cinco poços perfurados pela CONESP e nos quais foi realizado um bombeamento em cada entrada d'água. Nela fica clara a grande influência do número de entradas d'água na vazão final do poço. No caso de poços com duas fendas, o aumento médio da vazão (para os cinco poços) é de 114,23% e no caso de poços com três fendas é de 114,29%, entre a primeira e a terceira fenda, e de 150% (se considerarmos a "vazão líquida" = 6000 l/h da segunda) entre a segunda e terceira fratura, ou de 15,38% se considerarmos a vazão final do poço e a vazão intermediária (poço com duas fendas).

Além disto, nota-se que o nível estático sofre uma diminuição de 64,92% no caso de poços com duas fendas e, no caso de poços com três fendas, sofre um aumento de 25% entre a segunda e a terceira fendas.

Os valores do nível dinâmico sofrem um aumento médio (poço c/duas fendas) de 87,85%, enquanto que, no caso de poços com três fendas aumenta de 242,86% entre a primeira e a terceira fenda e de 4,45% da terceira para a segunda.

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

A vazão específica (Q/s) sofre uma diminuição de 16,30% para o caso de poços com duas fendas, e no caso de três entradas d'água diminui de 92,19% entre a primeira e a terceira e de 14,28% entre a segunda e a terceira.

Esta diminuição da vazão específica com o número de entradas d'água, ou seja, com a profundidade do poço, foi notada por COSTA, (1986) e é explicada pela hidráulica subterrânea. Quando tratamos das características hidrodinâmicas do meio fissurado (ver item 4.2) afirmamos que em rochas cristalinas tanto a permeabilidade quanto a porosidade são funções exclusivas das fraturas, visto que, este é um meio puramente fraturado. Também foi dito que a influência do fraturamento sobre a permeabilidade é muito grande, enquanto que a porosidade por ela causada é bastante limitada.

O coeficiente de Armazenamento representa, em rochas porosas, a quantidade de água que sai ou que entra em um aquífero por unidade da área horizontal e por unidade de rebaixamento, relacionando-se pois, diretamente com a porosidade e com a vazão específica. Já o coeficiente de transmissividade, é definido como a vazão de água que escoar através de uma faixa vertical de largura unitária e espessura igual a da camada saturada, quando o gradiente hidráulico for igual a 1. Relaciona-se diretamente com a permeabilidade e a vazão.

No caso dos aquíferos fissurados do embasamento cristalino, à medida que aumentamos o número de fendas, aumentamos também de forma bastante rápida a permeabilidade e a vazão, aumentando, conseqüentemente a transmissividade do meio. Por outro lado, o aumento da porosidade (do coeficiente de armazenamento) não é tão grande, resultando em grandes rebaixamentos,

que provocam a super-exploração do poço, pois está sendo retirada mais água do que ele pode produzir, e causa diminuição na vazão específica.

É importante se atentar que na discussão acima não estamos afirmando que o número de entradas d'água sempre prejudica a vazão específica final do poço. Isto somente acontece, quando a fenda é de pequena importância, não contribuindo efetivamente para a vazão final do poço e, devido a ser interligada com outra produtora, aumenta muito a permeabilidade do meio, que sem a contrapartida do aumento da porosidade (coeficiente de armazenamento), aumenta cada vez mais os rebaixamentos.

Embora não haja uma correlação nítida entre a profundidade das fraturas e a vazão, com base em dados de poços no Oeste de Pernambuco, notamos que dos poços com apenas uma entrada d'água, os que apresentam vazões entre $1 - 4M^3/h$ possuem 87,5% das mesmas localizadas até os 40,00m de profundidade e naqueles com vazões superiores a $5M^3/h$, 100% dos poços possuem entradas d'água até 40,00m. Logo, para profundidades reduzidas (até 40,00m), a tendência de Q/s é aumentar com o aumento do número de fendas.

Já afirmamos anteriormente que os princípios da hidráulica subterrânea comumente aplicados aos aquíferos porosos não devem ser utilizados no meio fissural. No nosso raciocínio anterior nos deparamos com uma aparente contradição, pois notamos que ainda que seja de forma obscura, o coeficiente de armazenamento se relaciona com a vazão. Se por um lado, a simples ocorrência de uma fenda sem recarga (não influenciando consideravelmente na vazão do poço) diminui o coeficiente de armazenamento por provocar maiores rebaixamentos, por outro, se a mesma possuir boa vazão o valor de Q/s deve aumentar.

Esta influência do número de fendas nas entradas d' água explica o tão corriqueiro temor dos sondadores ao continuarem a perfuração de um poço já bom produtor de água - " É melhor pararmos logo a perfuração, antes que se pegue uma fenda sêca e a água vá toda embora". Isto ocorre devido ao súbito aumento na permeabilidade do meio, sem incremento na vazão, com conseqüente queda vertiginosa do rebaixamento, provocada por uma fratura sêca altamente permeável, interligada com aquelas produtoras de água.

4.3.3 - ASPECTOS LITOLÓGICOS

Embora tenhamos em mente que a constituição mineral das rochas é a responsável pela grande variedade de sais presentes nas águas subterrâneas, devemos sempre lembrar que do ponto de vista quantitativo, sua contribuição é superada pela de outro agente, o clima, como veremos adiante, ao tratarmos da salinização dessas águas.

A influência dos tipos litológicos na salinização total das águas subterrâneas parece estar mais diretamente relacionada com a maneira como eles respondem aos esforços tectônicos a que foram submetidos; assim, as rochas mais incompetentes (as que

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

TABELA 05

Comparação entre os valores obtidos pela análise de cinco poços com mais de uma entrada d'água

Localidade	1ª FENDA					2ª FENDA					3ª FENDA					Prof. do Poço	Rocha	% Variação
	N.E.	N.D.	Q	Q/s	Prof.	N.E.	N.D.	Q	Q/s	Prof.	N.E.	N.D.	Q	Q/s	Prof.			
Coira	16	60	3	0,07	40	8	60	3	0,06	65	-	-	-	-	-	80	Gn	100% diminui N.E. 16,67% diminuição em Q/s.
	13	43	4,2	0,14	25	13	63	7,2	0,14	47	-	-	-	-	-	80	Gn	46,5% aumento N.D. 71,43% aumento Q
f	5	26,5	2	0,09	27	4,9	60	10,3	0,19	55	-	-	-	-	-	70	Gr	2,04% diminui N.E. 126,41% aumenta N.D. 415% aumenta Q 111,11% aumenta Q/s
ca	6,10	27	1105	0,50	13,00	6,25	37,2	1	0,062	19	-	-	-	-	-	40	GN	2,46 aumento N.E. 37,78% aumento N.D. 1,05% diminui Q 56,25 diminui Q/s
Indicô	1,3	7,0	7,1	1,23	12	0,4	23	13	0,56	31	0,5	24	15	0,64	45	55	GN	225% diminui N.E da 2º p/1º fd. 160% diminui N.E. da 3º p/1º fd. 25% aumento N.E. da 3º p/2º fd. 228,57 aumento N.D. da 2º p/1º fd. 242,86% aumento N.D. da 3º p/1º fd. 4,45% aumento N.D da 3º p/2º fd. 85,71% aumento Q. da 2º p/1º fd. 114,29% aumento Q. da 3º p/1º fd. 15,38% aumento Q. da 3º p/2º fd. 119,64% diminui Q/s da 2º p/1º fd. 92,19% diminui Q/s da 3º p/1º fd. 14,28% aumento Q/s da 3º p/2º fd.

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

se acomodam aos esforços, dobrando-se) formam verdadeiras "lentes aquíferas, de extensão limitada e circulação restrita, favorecendo em muito sua salinização. Por outro lado, as rochas ditas competentes (que se quebram quando submetidas aos esforços), formam uma densa rede de fraturas que facilita o fluxo subterrâneo e inibe a salinização.

Também do ponto de vista de produtividade dos poços perfurados, a maneira como as rochas respondem aos esforços parece exercer decisiva influência. Vários autores, entre os quais SIQUEIRA(1967), COSTA(1965), DUARTE(1965), SILVEIRA(1966), TEIXEIRA et.al.(1967), KREYSING et.al(1973), HONIJK(1979), COSTA(1979-80) e COSTA(1985/6), têm estudado sistematicamente esta relação.

Segundo CUSTÓDIO(1976), o fraturamento pode ocasionalmente apresentar-se de forma tão intensa, tridimensional, que se poderá considerar o meio como homogêneo ou próximo dele; de outras vezes, as fraturas podem ser de extensão limitada e sem conexão, ocorrendo que uma captação aí localizada somente extraia água de uma fenda, a qual seca logo após o início do bombeamento. O grau de fraturamento se dá de forma semelhante em zonas homogêneas, as quais podem ser aproximadamente coincidentes com zonas litológicas homogêneas.

COSTA(1986), baseado na mecânica das rochas afirma que, nas rochas competentes, apesar da intensidade do fraturamento ser menor, as fraturas são mais abertas, o que melhora as características hidráulicas do meio, conforme já discutido anteriormente. Segundo este mesmo autor, também a orientação da rocha tem significativa influência na sua potencialidade hídrica, sendo os planos de fraturamento melhor desenvolvidos nas rochas orientadas, principalmente naquelas que exibem orientação planar, que nas não orientadas.

DINIZ, J.A.O. - O Aquífero Fissural...

Continuando o seu raciocínio, COSTA(op.cit.) sugere que também a granulação da rocha (dos cristais) exerce influência, pois quanto maiores e mais desenvolvidos forem os seus minerais constituintes, mais quebradiça será a rocha. Outra situação considerada por ele favorável a acumulação subterrânea de água é na superfície de contato entre duas unidades petrográficas distintas.

Para se planejar corretamente captações de água subterrânea em rochas cristalinas, é importante que se identifique bem as diferentes rochas que ocorrem na região e, entre elas se tente agrupar todas as fácies litológicas e metamórficas mostradas. Feita esta seleção, deverá se proceder a um estudo do fraturamento regional, e a partir daí, se estabelecer zonas homogêneas quanto ao padrão de fraturamento. Estas "zonas homogêneas" somente poderão ser estabelecidas uma vez bem definidos os tipos litológicos(com possíveis variações de fácies bem demarcadas) e os respectivos graus de metamorfismo, pois, cada conjunto de rochas assim demarcado, deverá responder da mesma forma a quaisquer esforços tectônicos que sobre elas atuem, desde que seja comum a todas.

Infelizmente, este procedimento é, nos dias de hoje, relegado a segunda plano, não sendo levado em conta nem transposto nos relatórios técnicos dos poços, razão pela qual a sua análise só pode ser feita de forma empírica.

As mudanças entre os vários graus ou fácies de metamorfismo ocorrem dentro de uma ampla gama de pressões, ou seja, entre um grau e outro, as variações de pressão comumente não são muito importantes, mas em compensação, o limite entre cada grau é definido prioritariamente pela temperatura (fig.19). Assim, com o aumento do grau de metamorfismo (e da temperatura), a tendência é de se destruir as associações minerais pré-existentes, formando-se nova associação mineral, coexistente nas novas condições de (pres-

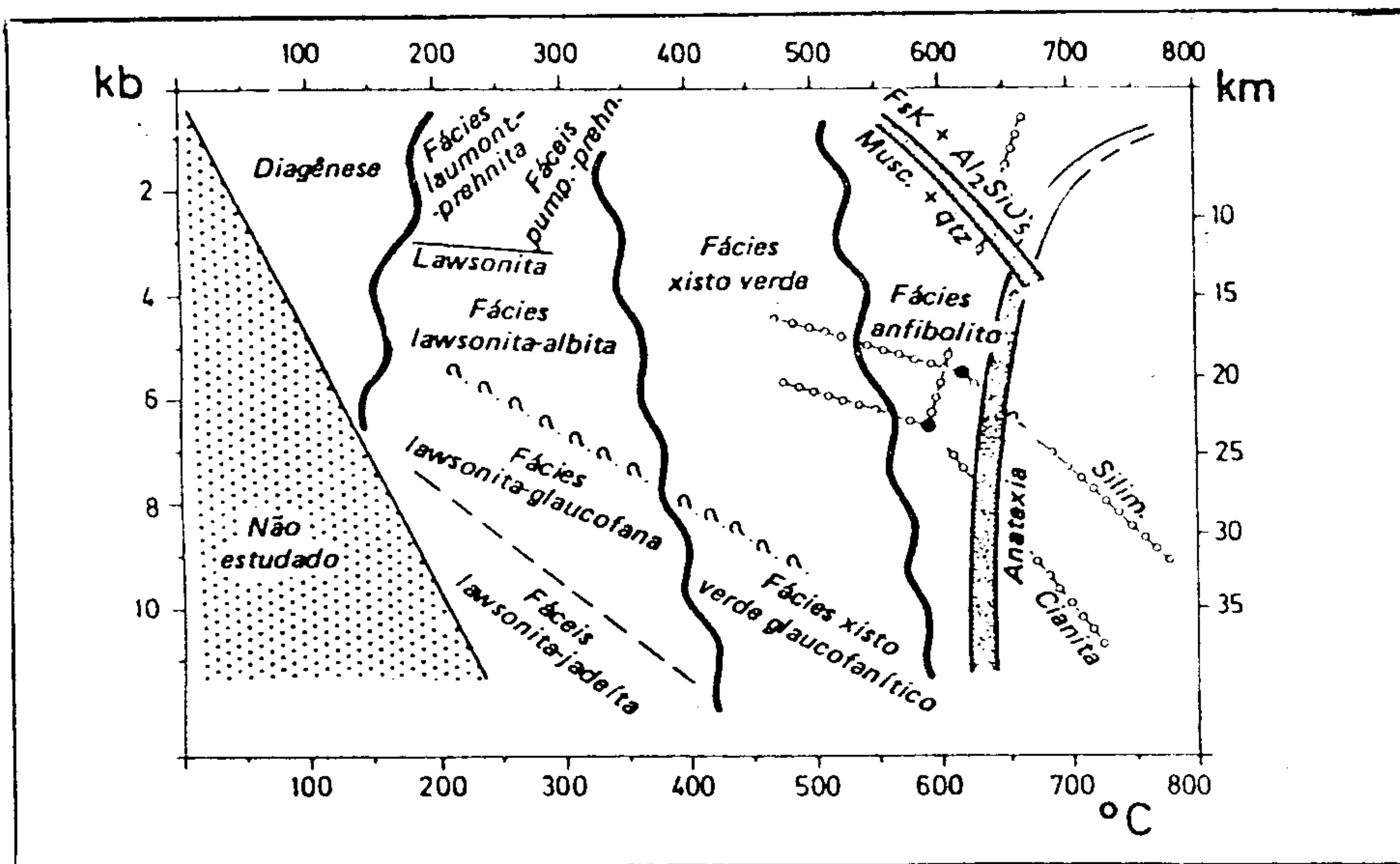


FIGURA 19
AS DIVISÕES DO GRAU METAMÓRFICO

Fonte: WINKLER, 1977.

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

são) e temperatura. Com esta "recristalização generalizada", a rocha deverá se tornar mais dura e quebradiça e se comportará, quando submetida a esforços, de forma diversa da original ou de outras litologicamente semelhantes, mas de diferente grau metamórfico.

Na área em estudo, calculou-se a "vazão específica média" por tipo de rocha, encontrando-se os seguintes valores:

Granito - Vazão específica média $0,25M^3/h/m$ com coeficiente de variação 200%

Xisto - Vazão específica média $0,14M^3/h/m$ com coeficiente de variação 158%

Gnaisse - Vazão específica média $0,09M^3/h/m$ com coeficiente de variação 164%

Devido ao elevado valor dos coeficientes de variação, vemos logo que os resultados não merecem confiança; assim, adotamos como vazão específica "normal" qualquer valor situado no intervalo entre 0.01 e 0.09, que correspondem a 54,1% dos valores do gnaisse 50% dos valores para o xisto e 54,5% da vazão obtida nos granitos. Da população total, este intervalo representa 53% do número de dados. Desta forma, encontramos os seguintes resultados:

Xistos - $Q/s = 0,038m^3/h/m \pm 0,01$ - Coeficiente de variação=57,8%

Gnaisse - $Q/s = 0,035m^3/h/m \pm 0,01$ - Coeficiente de variação=68,5%

Granito - $Q/s = 0,032m^3/h/m \pm 0,01$ - Coeficiente de variação=68,7%

Todos os valores acima estão referidos a um nível de confiabilidade de 99%.

COSTA(1986), enumerou uma sequência de acordo com a "aptidão" para armazenamento e fornecimento de água subterrânea, a qual seria:

1º Gnaisses, quartzitos e pegmatitos

2º Micaxistos

3º Granitos e rochas granulares magmáticas, além de migmatitos não orientados

DINIZ, J.A.O. - O Aquífero Fissural...

4º filito, ardósia e xisto verde

HONIJK (1979), ao propor a sua "produção potencial" do poço (P_p), sugere uma sequência da seguinte forma (ordem decrescente):

1. Gnaisse
2. Xisto
3. Quartzito
4. Filito
5. Migmatito

Esta sequência foi determinada pelo uso de um coeficiente exponencial adotado segundo COSTA(1986), de forma empírica, razão pela qual este autor a considera falha. Ao nosso ver, o grande problema da sequência acima está na colocação do quartzito, reconhecidamente um bom produtor de água, tão baixo na hierarquia de fornecimento do líquido.

LEGRAND(1959) e SEVER(1964) encontraram a seguinte relação (decrescente): Micaxisto-granito-diorito-ardósia. Os mesmos autores, trabalhando na região de Pittsylvânia e Halifax, obtiveram a sequência: gnaisses variados-gnaisse granítico-micaxisto-xisto verde-ardósia.

Novamente COSTA(1979), apresentou a seguinte sequência: micaxisto-gnaisse-migmatito-granito.

Como podemos ver, a sequência aqui encontrada não difere em muito daquelas propostas pelos diversos autores. Os outros tipos litológicos não aparecem nessa nossa sequência por não terem representatividade estatística. As pequenas discrepâncias encontradas devem-se a grande diversidade de classificação das rochas utilizadas pelos geólogos.

Outra importante característica da litologia na formação dos aquíferos subterrâneos fissurais é a forma de alteração das rochas. Apesar dos vários estudos já desenvolvidos tentando correlacionar o manto de alteração com as diversas características dos poços, até hoje não há uma definição clara sobre a forma desta influência,

Ao nosso ver, a principal causa deste insucesso está em se fazer uma correlação simples, considerando os demais fatores envolvidos (grau de fraturamento, profundidade das fendas, etc.) como estanques ou não influentes. Assim, no item seguinte, analisaremos a influência relativa dos principais fatores físicos atuantes nas características dos poços com a ajuda da análise de regressão múltipla.

4.3.4 - A ANÁLISE DE REGRESSÃO MÚLTIPLA

Ao analisarmos, p.ex. as variações dos valores da vazão específica em uma determinada região, sempre deveremos ter em mente que estes valores dependem de vários outros, como a profundidade das entradas d'água, a quantidade destas entradas no(s) poço(s), a espessura da camada alterada sobrejacente, do clima, etc. As três primeiras variáveis são facilmente mensuráveis em um poço, enquanto que a última delas, por suas dimensões regionais, não pode ser enquadrada juntamente com as primeiras. Também a variável "tipo de rocha" não pode ser estudada conjuntamente com as demais, em virtude de não poder ser expressa matematicamente. Assim, inicialmente foi estudada a regressão múltipla entre a vazão específica e as variáveis profundidade das entradas d'água, número de entradas e manto de alteração. A variação entre a vazão específica com o tipo de rocha e com o clima foi feita através de inferências, repetindo-se a análise de regressão para cada tipo de rocha e para cada município.

Desta forma, se os coeficientes de regressão obtidos na análise parcial forem diferentes daqueles obtidos no estudo global, ficará clara a influência relativa da rocha e/ou da região (do clima).

DAVIS(1973), afirma que uma variável dependente de várias outras, pode ser aproximadamente expressa por um polinômio do tipo

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n$$

onde $b_1 \dots b_n$ são os coeficientes de regressão parciais das variáveis independentes $X_1 \dots X_n$; são chamados de coeficientes de regressão parciais devido a expressarem a variação causada por cada variável independente na variável dependente. Normalmente esses coeficientes devem diferir dos coeficientes de regressão totais, os quais são simples regressões de cada X individual sobre a variável Y.

Ainda segundo DAVIS(1973), a influência relativa de cada variável independente sobre a dependente não pode ser obtida pelo exame direto dos coeficientes $b_1 \dots b_n$, devido as suas magnitudes serem dependentes das magnitudes das próprias variáveis, ou seja, quando p.ex., fazemos um regressão múltipla englobando profundidade das entradas d'água, número de entradas d'água e manto, se não houver um meio de padronizarmos estes coeficientes, a influência relativa da profundidade as entradas d'água nos parecerá muito grande, visto que a sua dimensão é medida em dezenas de metros, enquanto que as demais são expressas como unidades (uma entrada d'água, duas entradas, etc.), ou, pelo menos no Nordeste semi-árido do Brasil, dificilmente superará uma dezena de metros (no caso do manto de alteração).

Esta padronização dos coeficientes de regressão parciais pode ser obtida (DAVIS.op.cit.) convertendo-os para unidades

de desvio padrão, através da seguinte expressão:

$$B_k = b_k (S_k/S_y)$$

onde B_k é o coeficiente de regressão padronizado da variável "k", S_k é o desvio padrão desta variável e S_y é o desvio padrão da variável dependente "Y".

A seguir, discutiremos a aplicação deste método com os dados de poços na região Oeste de Pernambuco.

4.3.4.1 - RELAÇÕES ENTRE VAZÃO ESPECÍFICA E OS FATORES FÍSICOS NO OESTE DE PERNAMBUCO

Por "fatores físicos" estamos chamando aqui todas aquelas variáveis relacionadas diretamente com a dinâmica da deformação tais como: profundidade das entradas d'água, número de entradas d'água e, embora não se relacionando de forma tão estreita com a deformação, o manto de alteração. É importante frisar que não estamos aqui considerando apenas os horizontes "A" e "B" do solo; levamos em conta também o horizonte "C", formado pela rocha parcialmente decomposta, contendo eventualmente blocos de rocha fresca. A espessura deste manto pode ser facilmente obtida, visto que, coincide com a parte revestida de um poço perfurado em terrenos cristalinos.

A análise de regressão múltipla conduzida com as variáveis acima, nos revelou os seguintes valores:

1. coeficiente de regressão parciais

$$b_1 = -0,2137 \quad b_2 = 1,48 \quad b_3 = 0,19$$

sendo b_1 , b_2 e b_3 os coeficientes parciais para as variáveis profundidade das entradas d'água, número de entradas d'água e manto

de alteração respectivamente.

O coeficiente de correlação foi de 0,38. Apesar de relativamente baixo, ainda é muito confiável, visto que para um nível de significância de 99%, o valor do "teste-F" calculado (6,00) é bastante superior ao valor do "F" crítico (graus de liberdade $v_1 = 3$ e $v_2 = 106$).

Os coeficientes de regressão parciais padronizados para unidades de desvio padrão foram $B_1 = -0,086$; $B_2 = 0,40$ e $B_3 = 0,08$, enquanto que o valor do termo constante do polinômio, b_0 , foi de - 3,59.

Assim, a vazão específica está relacionada inicialmente (de forma mais forte) com o número de entradas d'água, aumentando sempre que este número se tornar maior; relaciona-se diretamente também com o manto de alteração, ou seja, sempre que tivermos maiores espessuras de manto deveremos esperar melhores vazões específicas; a relação entre a vazão específica e a profundidade das entradas d'água é mais forte que a existente entre ela e o manto, só que ocorre em sentido inverso, ou seja, quanto mais profundas forem as entradas d'água, menores deverão ser os valores da vazão específica.

A título de ilustração, vamos mostrar os resultados obtidos aplicando-se a regressão simples ao mesmo conjunto de dados. É importante salientar que apenas a relação entre a vazão específica e o número de entradas d'água tem significado estatístico, visto que em um grau de confiabilidade de 90%, o valor do "t" de Student calculado (1,56) é superior ao valor crítico tabelado. Os resultados obtidos foram: -

- entre a vazão específica e a profundidade das entradas d'água obteve-se um coeficiente de correlação de 0,06, muito baixo, e a

dependência entre as duas variáveis é expressa através de uma função hiperbólica, do tipo:

$$Y = B/X+A$$

Y = vazão específica

X = profundidade das entradas d'água

B = 0,017

A = 30,50

A dependência entre as variáveis é estudada através dos seus limites; assim:

$$\text{Lim } (B/X+A) \rightarrow \infty$$

$$X \rightarrow 0$$

$$\text{Lim } (B/X+A) \rightarrow A$$

$$X \rightarrow \infty$$

Então, quando a profundidade das entradas d'água diminui, a vazão específica cresce, ocorrendo o inverso no caso de entradas d'água muito profundas. A interdependência entre as duas variáveis é idêntica a encontrada anteriormente, sendo que neste caso, o nosso nível de confiança é bem menor.

-Entre a vazão específica e o número de entradas d'água, a dependência é expressa através de uma função logarítmica, como

$$Y = A + B \log X$$

sendo A=2,34, B=0,20 e o coeficiente de correlação tornando-se igual a 0,15. O estudo dos limites desta expressão é:

$$\text{Lim}(A+B \log X) \rightarrow \infty$$

$$X \rightarrow \infty$$

ou seja, para X maior que 1 (o que já ocorre obrigatoriamente), a vazão específica aumenta com o número de entradas d'água.

-Entre a vazão específica e o manto, obteve-se o mais baixo coeficiente de correlação, com valor de 0,03; a equação que melhor se ajusta aos pontos é do tipo exponencial:

DINIZ, J.A.O. - O Aquífero Fissural...

$$Y = A.E^{B/X}$$

cujos limites são:

$$\lim_{X \rightarrow 0} (A.E^{B/X}) \rightarrow \infty \quad \text{e} \quad \lim_{X \rightarrow \infty} (A.E^{B/X}) \rightarrow A$$

sendo, $A = 6,68$ e $B = -0,0004$; devido ao valor negativo de B e considerando-se que X será sempre positivo, a equação acima pode ser reescrita como:

$$Y = A.E^{-(B/X)} = A/E^{(B/X)},$$

cujos limites são:

$$\lim_{X \rightarrow 0} (A/E^{(B/X)}) \rightarrow 0 \quad \text{e} \quad \lim_{X \rightarrow \infty} (A/E^{(B/X)}) \rightarrow A$$

ou seja, a vazão específica também tende a aumentar com o incremento da espessura do manto de alteração.

Na aplicação da análise de regressão múltipla para cada tipo de rocha, encontramos os seguintes valores:

Para os Gnaisses, os coeficientes de regressão parciais foram - 3,88 (profundidade das entradas d'água), 0,92 (número de entradas d'água) e 0,12 (manto de alteração), sendo o termo constante do polinômio (b_0) igual a -2,80, o coeficiente de correlação 0,25 e o valor do teste F igual a 1,35.

O valor crítico de F ($v_1=6$ e $v_2=17$) é superior ao valor calculado, mesmo a um nível de confiança de 95%. Os coeficientes de regressão parciais padronizados foram -0,17, 0,24 e 0,05, respectivamente, para a profundidade das entradas d'água, número de entradas e espessura alterada.

No caso dos xistos, os coeficientes de regressão padronizados foram de -0,05 (E.A.), 2,88 (Nº E.A.) e 0,47 (manto), sendo o termo constante do polinômio -5,41, o coeficiente de correlação 0,73 e o valor de " F " ($v_1=3$ e $v_2=11$), sendo bastante inferior ao

DINIZ, J.A.O. - O Aquífero Fissural...

valor do "F" crítico, mesmo a um nível de confiança de 95% (F crítico = 5,53). Os coeficientes de regressão parciais padronizados foram: -0,12 , 0,80 , 0,19 , correspondendo a profundidade das entradas d'água, número dessas entradas e manto de alteração, respectivamente.

Para os granitos, os coeficientes de regressão parciais foram 0,47, 1,34 e 0,92, sendo o termo constante igual a -6,78, o coeficiente de correlação 0,57 e o valor do teste F de 3,28. O valor crítico de F, para um nível de confiabilidade de 95% (v1=3 e v2=20) é de 3,10 , inferior , portanto, ao valor calculado. Os coeficientes de regressão parciais padronizados foram 0,15(E.A.) , 0,38(NºE.A.) e 0,29(manto).

Comparando estes resultados com aqueles obtidos ao tratarmos o conjunto de dados sem distinção, notamos que a variação relativa, ou seja, a forma como cada um deles influi na variável dependente "vazão específica" é a mesma, havendo variações apenas nas intensidades desta influência. Assim, nos gnaiesses e xistos a profundidade das entradas d'água afeta a vazão específica de forma mais efetiva, diminuindo a mesma.

Nos granitos esta relação aparece de forma inversa, isto é, a profundidade das entradas d'água parece aumentar a vazão específica. De todas as rochas analisadas os granitos são , sem dúvidas, as que apresentam o maior grau de abertura de fendas quer pelo seu posicionamento tectônico(normalmente estes corpos graníticos são pós-tectônicos), possuindo fraturas de alívio geradas durante o seu movimento ascendente, as quais não sofreram metamorfismo posterior(com recristalização), quer porque, pela sua própria textura(principalmente aqueles de granulação mais grosseira), oferecem um meio favorável ao desenvolvimento do fraturamento.

Também a gênese do seu fraturamento mais raso, via de regra provocadas por fatores exógenos (provocando esfoliação esferoidal, etc.), já indica a pouca aptidão dessas fendas como armazenadoras de água subterrânea. Apesar de tudo, reafirmamos que, para profundidades muito elevadas, até mesmo pelo peso do material rochoso sobrejacente, a tendência do fraturamento é diminuir.

No caso do número de entradas d'água novamente os valores dos coeficientes obtidos são muito semelhantes, excessão feita aos xistos. Sendo uma rocha muito incompetente, os xistos apresentam um alto grau de fraturamento, embora essas fraturas sejam, via de regra, bastante fechadas. Devido a isto, a capacidade de armazenamento de cada fenda é muito reduzida, necessitando de várias delas para se formar um reservatório de certo porte. Isto explica a maior dependência da vazão específica com o número de entradas d'água verificada para os xistos.

Com relação ao manto de alteração, o maior valor do coeficiente obtido para os granitos já era de se esperar, visto que de sua alteração deve surgir um material mais arenoso que os demais. O valor mais anômalo é, ao nosso ver, com relação aos xistos, pois, de sua alteração deve ocorrer um material onde a fração pelítica seja superior a psamítica, prejudicando a vazão específica, ao menos em relação as demais rochas, devido à cobertura impermeável.

Ao efetuarmos a regressão múltipla por região, infelizmente só obtivemos valores confiáveis para o município de Parnaímirim, conforme mostrado abaixo (nível de confiabilidade de 95%) :

MUNICIPIO	Coef.Regres.Padronizados	Coef.Correl.	F-Teste	F-Crítico
Afrânio	0,24;0,00;0,27	0,41	0,07	10,13
Ouricuri	-0,53;0,30;0,02	0,28	1,14	2,86

MUNICIPIO	Coef.Regres.Padronizados	Coef. Correl.	F-Teste	F-Crítico
Parnamirim	- 0,38;0,94;0,21	0,71	6,64	3,10
Petrolina	- 0,15;0,10;-0,11	0,21	0,26	3,20
Sta. M ^a Boa Vista	- 0,20;0,52;0,20	0,45	0,93	3,53

Os valores obtidos para o município de Parnamirim, apesar de mais elevados, indicam a mesma influência relativa entre a profundidade das entradas d'água, o número de entradas e manto de alteração na vazão específica final do poço, que os obtidos para toda a região.

Apesar de não ter significado estatístico, o valor negativo do coeficiente obtido entre o manto e a vazão específica no município de Petrolina parece indicar que neste local o manto de alteração prejudica a vazão específica. Se isto ocorre, é provavelmente causado pela menor pluviometria aí verificada, que torna os solos bastante ressecados, fazendo que qualquer água aí infiltrada se destine primeiramente à recuperação da sua umidade, impedindo a alimentação subterrânea mais profunda. Na tabela 06 apresentamos todos os valores obtidos para os coeficientes de regressão parciais padronizados, bem como, os valores dos coeficientes de correlação e teste "F" (crítico e calculado).

4.3.4.2 - ANÁLISE DE SUPERFÍCIES DE TENDÊNCIAS

A análise de superfície de tendência é, segundo DAVIS(1973), um método matemático que permite separar o conjunto de dados de um mapa em dois sub-conjuntos, sendo um regional, nos indicando o "trend" ou tendência regional, e outro que corresponde às flutuações locais, indicando possíveis anomalias localizadas, o

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

TABELA 6

RESUMO DAS RELAÇÕES OBTIDAS NA APLICAÇÃO DA REGRESSÃO MÚLTIPLA ENTRE A VAZÃO ESPECÍFICA E OS FATORES FÍSICOS NO OESTE DE PERNAMBUCO.

1. ANÁLISE POR REGIÃO (MUNICÍPIO)	B ₁ (E.A.)	B ₂ (NºE.Ao)	B ₃ (MANTO)	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO	F-TESTE *	
					CALC.	CRÍTICO
a. AFRÂNIO	0,24	0,00	0,27	0,41	0,07	10,13
b. PETROLINA	-0,15	0,10	-0,11	0,21	0,26	3,20
c. SANTA M ^a DA BOA VISTA	-0,20	0,52	0,20	0,45	0,93	3,53
d. OURICURI	-0,53	0,30	0,02	0,28	1,14	2,86
e. PARNAMIRIM	-0,38	0,94	0,21	0,71	6,64	3,10
2. ANÁLISE TIPO DE ROCHA						
a. GNAISSE	-0,17	0,24	0,51	0,25	0,35	2,76
b. XISTO	-0,12	0,80	0,19	0,73	4,29	5,53
c. GRANITO	0,15	0,38	0,29	0,57	3,28	3,10
3. ANÁLISE DA REGIÃO TOTAL	-0,08	0,40	0,08	0,38	6,00	2,71

* Os valores críticos referem-se a um nível de confiabilidade de 95%.

DINIZ, J.A.O. - O Aquífero Fissural...

mapa de resíduos.

Se forem posicionados em mapa os valores de uma variável qualquer (a vazão específica em vários poços de uma região, os valores do resíduo seco, etc.), é possível calcular a superfí - cie que melhor se ajusta aos pontos no espaço tridimensional. Esta superfície de melhor ajuste, corresponde ao trend regional, enquan - to que a partir dos valores residuais (Y da amostra menos Y calculado) é possível desenhar o mais corretamente possível o mapa re - sidual, ou mapa de anomalias.

A equação da superfície de tendência pode ser ex - pressa por um polinômio (DAVIS, 1973), de forma :

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2,$$

para uma superfície de primeiro grau, representada por um plano ; uma superfície de segunda ordem tem uma forma parabólica, e o poli - nômio que a expressa é bem mais complexo, e assim sucessivamente.

O valor do coeficiente de correlação mostra a ade - rência da população ao polinômio; apesar disto, algumas vezes fica difícil definir se esta correlação é boa ou má, baseando-se somente neste coeficiente. Normalmente, o coeficiente de correlação para ' superfícies de primeira ordem é bastante reduzido, visto que uma superfície originalmente ondulada (o espaço representado pelas va - riáveis) é transformada em um plano. Quando esse valor for muito baixo na superfície de primeiro grau, ficando evidenciada uma fra - ca correlação, a tendência deve ser procurada em ordens mais eleva - das (2^a , 3^a , etc.). No nosso caso, normalmente os coeficientes de correlação se apresentaram bastante reduzidos mas, considerando-se que as nossas superfícies de tendência foram todas de primeira or - dem e que estávamos interessados principalmente nos aspectos regi -

DINIZ, J.A.O. - O Aquífero Fissural...

onais, usando os mapas de tendência para analisarmos variações causadas por fatores externos aos poços, já nos satisfizeram.

4.3.4.2.1 - APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE TENDÊNCIAS NA REGIÃO OESTE DE PERNAMBUCO

Nas figuras seguintes (20 a 48) analisamos o comportamento da vazão específica na área estudada, inicialmente para cada município e depois para toda a região. Se observarmos bem os mapas de contorno(ou de valores reais) e os blocos-diagrama construídos a partir dos mesmos (figs. 20, 23, 24, 28, 29, 33, 34, 39, 40, 44 e 45) já teremos uma primeira ideia do caráter fortemente irregular deste corpo aquífero. Os pontos de máximos e mínimos de vazão específica ocorrem normalmente isolados, não se constituindo nunca um corpo contínuo com características semelhantes. A semelhança existente é em relação a tendência apresentada em todos os mapas, de apresentarem valores mais elevados na direção Norte. As únicas exceções, municípios de Petrolina e Parnamirim, representam casos isolados, não afetando o "trend" regional.

No caso do município de Petrolina, situado no extremo Sul da área, os valores da vazão específica são muito baixos, e os valores mais elevados ao Sul são apenas pontos acima do background local, estando, contudo, abaixo das principais anomalias regionais. Em Parnamirim, situado a Norte da região, ocorre o inverso: sendo um município que apresenta normalmente valores acima da média regional, os altos valores encontrados na sua porção Sudeste(ver fig. 42) representam um local muito favorável, dentro de uma área já de boa vocação hidrogeológica relativamente às demais.

É fundamental se notar (fig.48), que os valores anômalos máximos em toda a área ocorrem na sua porção Norte, nas proximidades da Chapu

da do Araripe.

Se examinarmos as superfícies de tendência caso a caso, isto é, por município, várias observações nos aparecerão de forma clara:

- 1.No município de Afrânio, os valores da vazão específica são relativamente elevados e apresentam uma tendência decrescente clara na direção Sudeste ; estes valores elevados não devem ser considerados, primeiro por ter sido construído o mapa de tendência com dados de apenas cinco poços, e também porque sabemos por experiência própria que esta não é uma boa região do ponto de vista da água subterrânea. O importante a se notar aí é a forma do trend , ou seja, é se verificar a tendência da região em apresentar menores valores de vazão específica no sentido Sudeste.
- 2.No município de Petrolina, encontramos valores de vazão específica bastante baixos, quando comparados à média regional. No bloco diagrama da fig. 26, aparece de forma clara a forte tendência' decrescente da área no sentido ESE.
- 3.No caso do município de Santa Maria da Boa Vista, encontramos os valores de tendencia mais baixos de toda a região. A tendência geral da diminuição é nos sentidos Sudoeste e Sudeste(principalmente), como pode ser visto no bloco diagrama da fig. 31.
- 4.Em Parnamirim, os valores médios da tendência já são bem elevados, se considerarmos a média regional. O valor fortemente anômalo ocorrente a Este-Sudeste da área mascara um pouco o trend regional, mas ainda assim, podemos ver (fig.42) que na direção Sudoeste a sua tendência é diminuir. Isto também pode ser visto no mapa de resíduos da fig.43.
- 5.Ouricuri é o município que apresenta os valores médios mais elevados de toda a região. A tendência decrescente para Sul-Sudeste' é facilmente vista no bloco diagrama da fig.36 e no mapa de resíduos da fig.37. Isto já era de se esperar , visto que, este é o

município mais Setentrional de toda a área, situado-se, mais que todos os outros, próximo à Chapada do Araripe.

Se analisarmos a área como um todo (figs.44,45,46, 47 e 48), encontramos a sua "tendência regional"; de uma maneira geral, os valores diminuem fortemente de Norte para Sul, ocorrendo um autêntico "vale" de baixos valores, limitado pela curva de $9,8 \cdot 10^{-2}$ no Centro Sul ou Sudoeste, aproximadamente entre os municípios de Petrolina e Santa Maria da Boa Vista. O mapa de resíduos mostra a forma altamente irregular de comportamento deste "aquífero fissural", apresentando fortes anomalias localizadas, cada uma aparentemente não guardando qualquer relação com as demais.

Na fig.49 mostramos o "Zoneamento Árido" desta região, estabelecido a partir do índice de MARTONE (LEAL, 1971). Este índice de aridez é expresso (LEAL, op.cit.), por:

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

sendo

P a pluviometria média anual

T a temperatura média anual

A posição da zona mais árida (fig.49) coincide aproximadamente com a posição do "vale" dos valores da vazão específica, ficando, assim, clara a influência do clima na formação dos depósitos subterrâneos do meio fissural. Esta coincidência entre as duas zonas fica ainda mais clara no bloco diagrama da fig.47.

4.4 - CARACTERÍSTICAS HIDROQUÍMICAS

Neste parágrafo, faremos inicialmente uma rápida ex-

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...

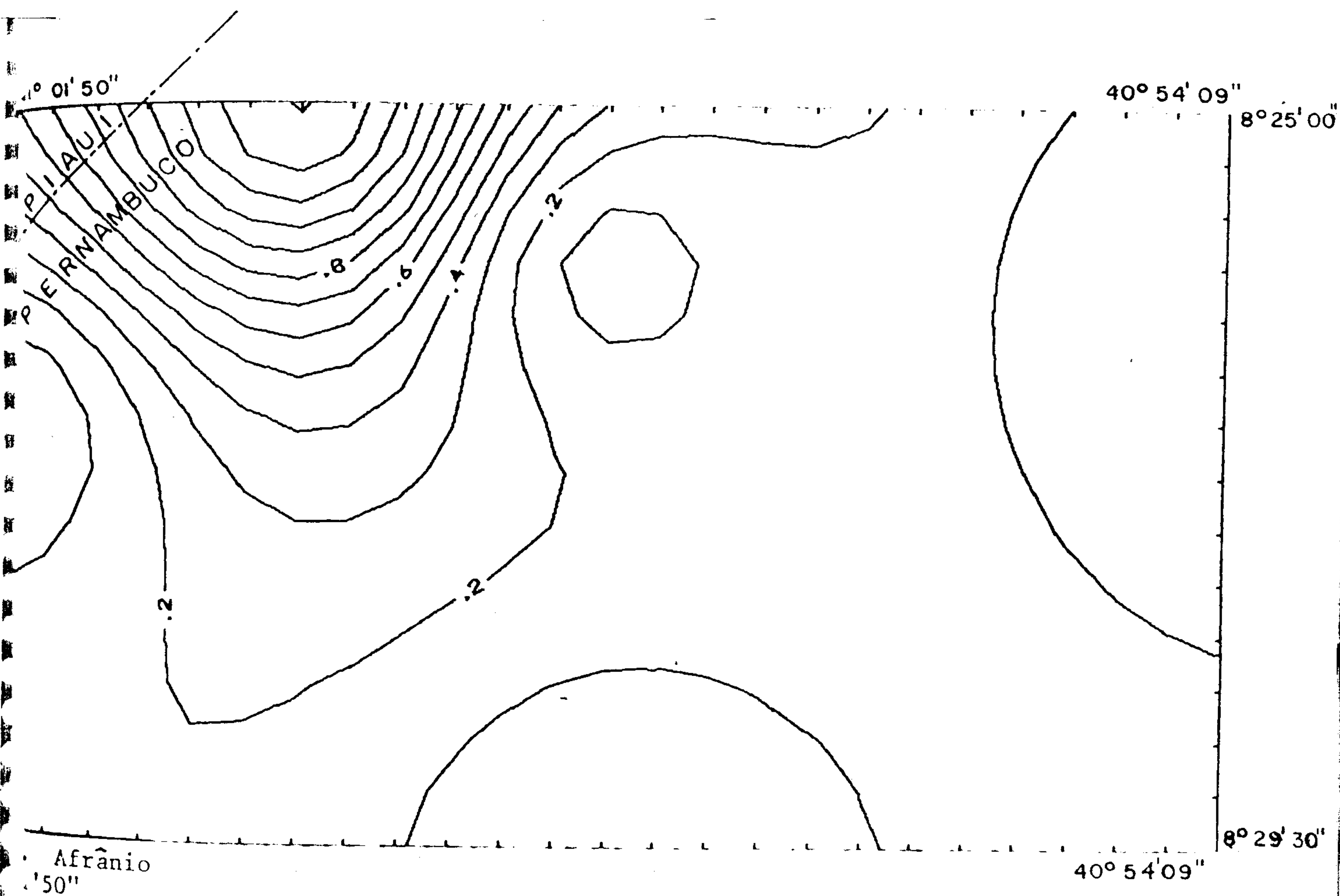


FIGURA - 20

MAPA DE CONTORNO DOS VALORES DA VAZÃO ESPECÍFICA

- MUNICÍPIO DE AFRÂNIO -

Coefficiente de correção 0,82

DINIZ J.A.O.- O AQUÍFERO FISSURAL...

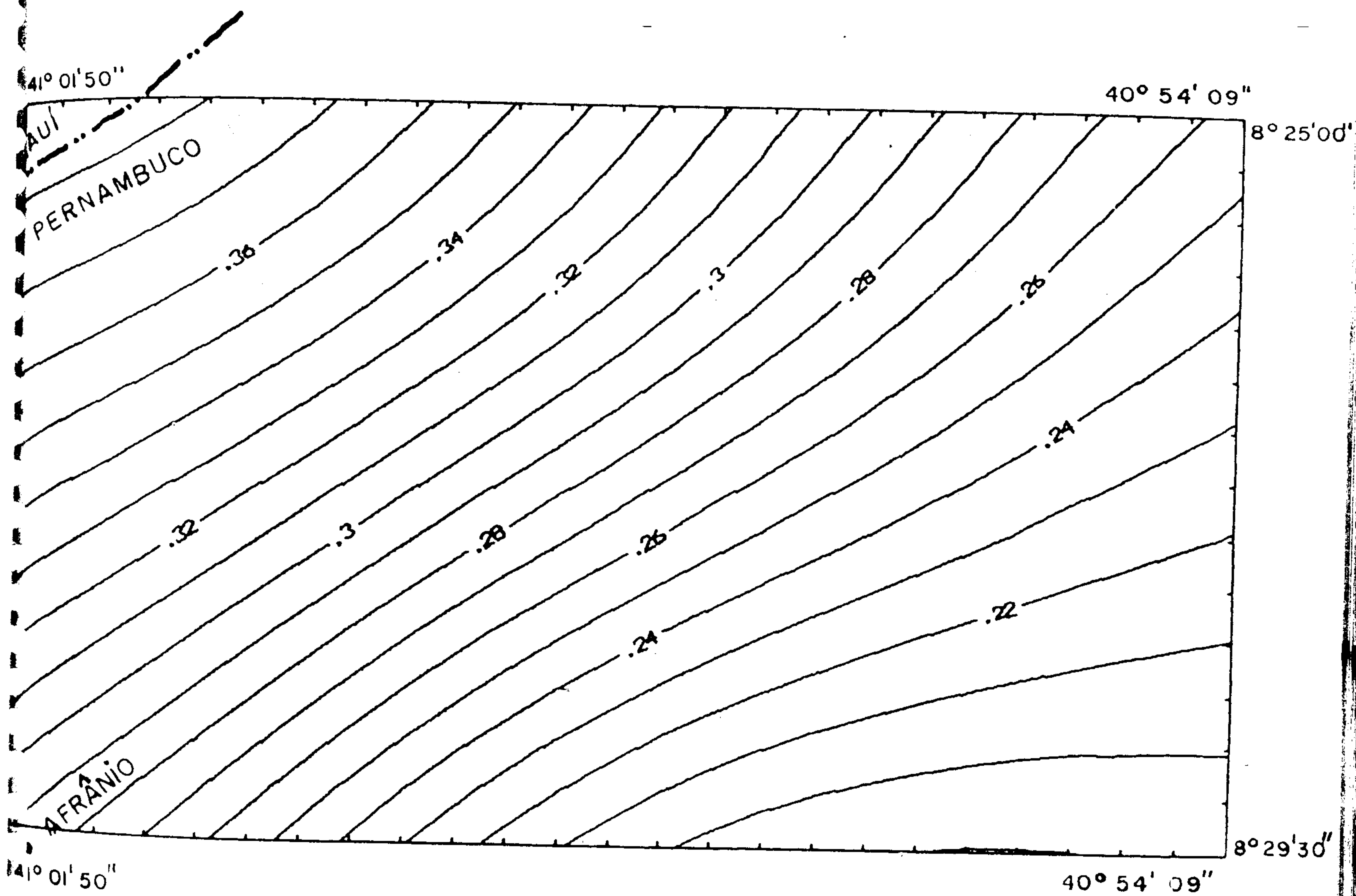


FIGURA - 21

MAPA DE TENDÊNCIA DE VAZÃO ESPECÍFICA
-MUNICÍPIO DE AFRÂNIO-

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...

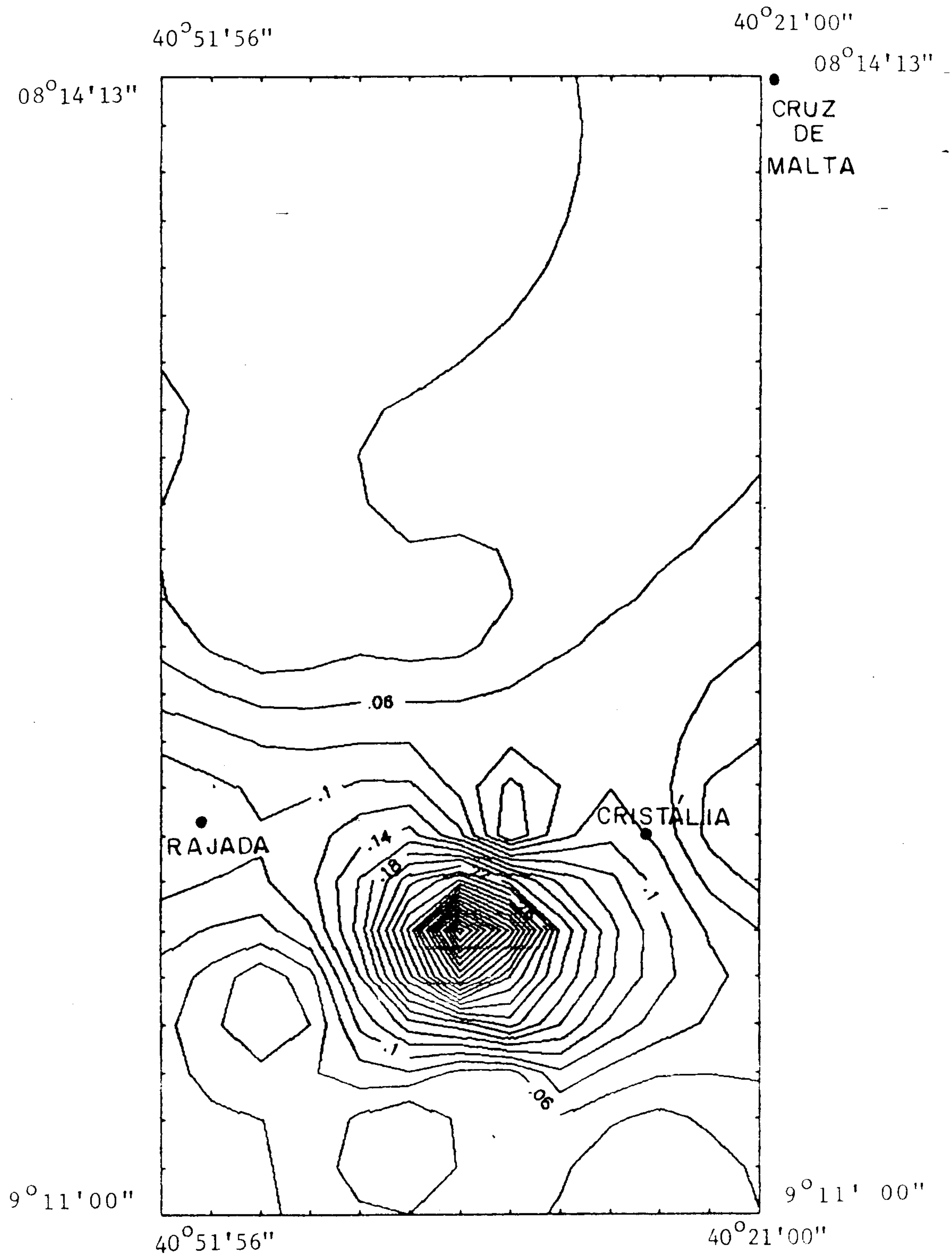


FIGURA - 23

PETROLINA

MAPA DE CONTORNO DOS VALORES DA VAZÃO ESPECÍFICA

-MUNICÍPIO DE PETROLINA-

Coefficiente de correlação: 0,15

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...

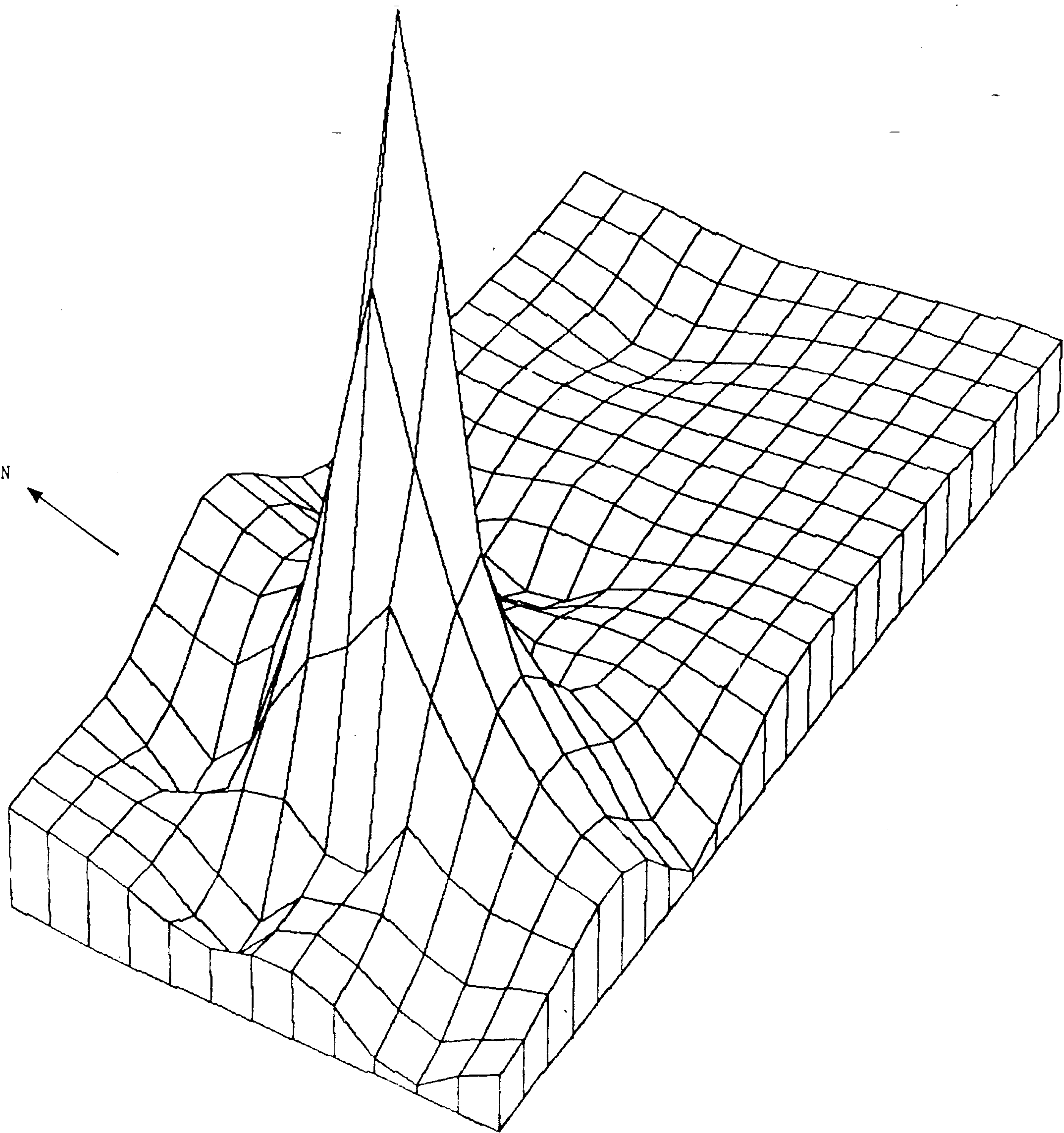
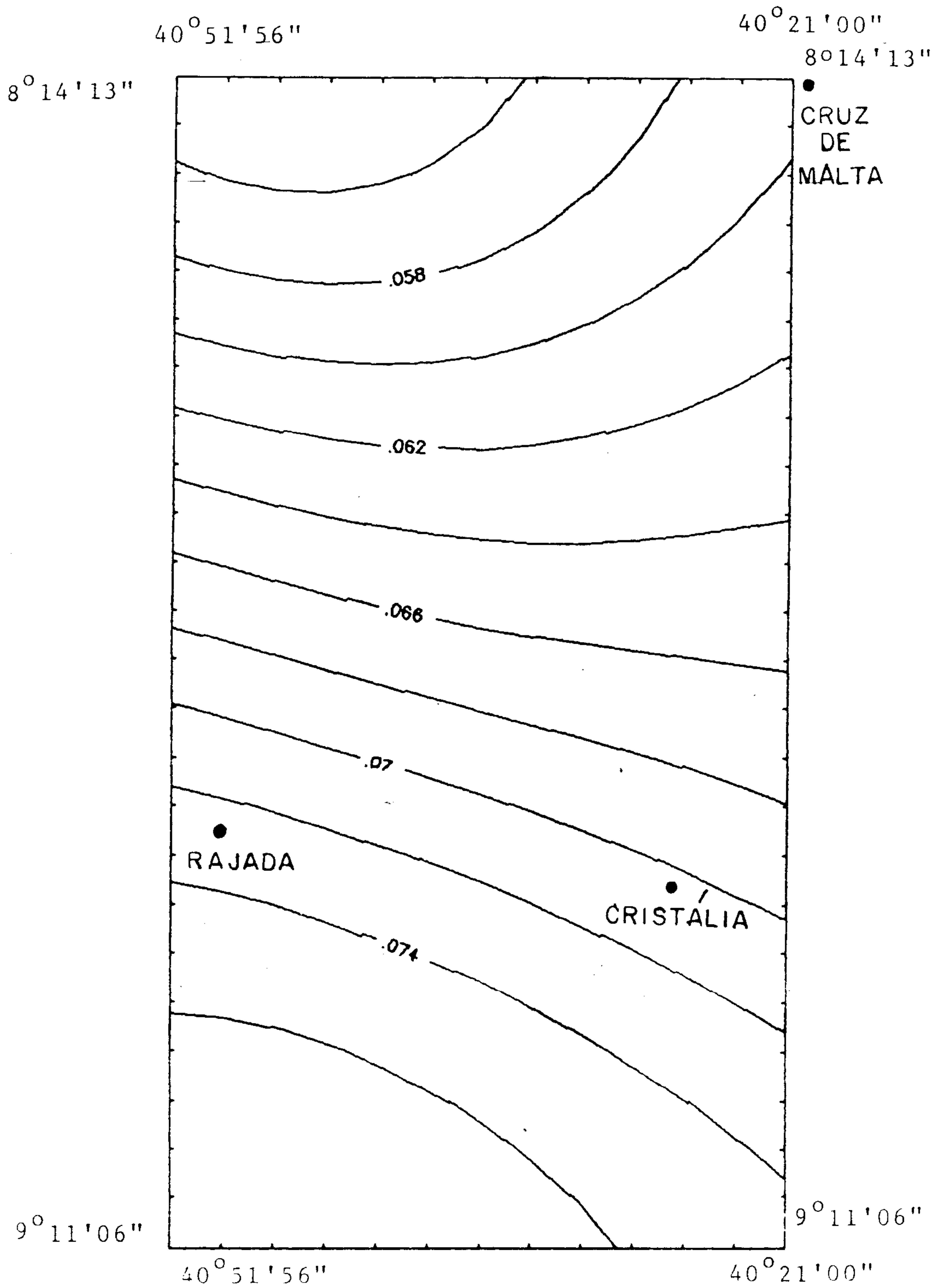


FIGURA - 24

BLOCO DIAGRAMA DOS VALÔRES DA VAZÃO ESPECÍFICA
-MUNICÍPIO DE PETROLINA-

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...



PETROLINA
FIGURA - 25

MAPA DE TENDÊNCIA DA VAZÃO ESPECÍFICA
- MUNICÍPIO DE PETROLINA -

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...

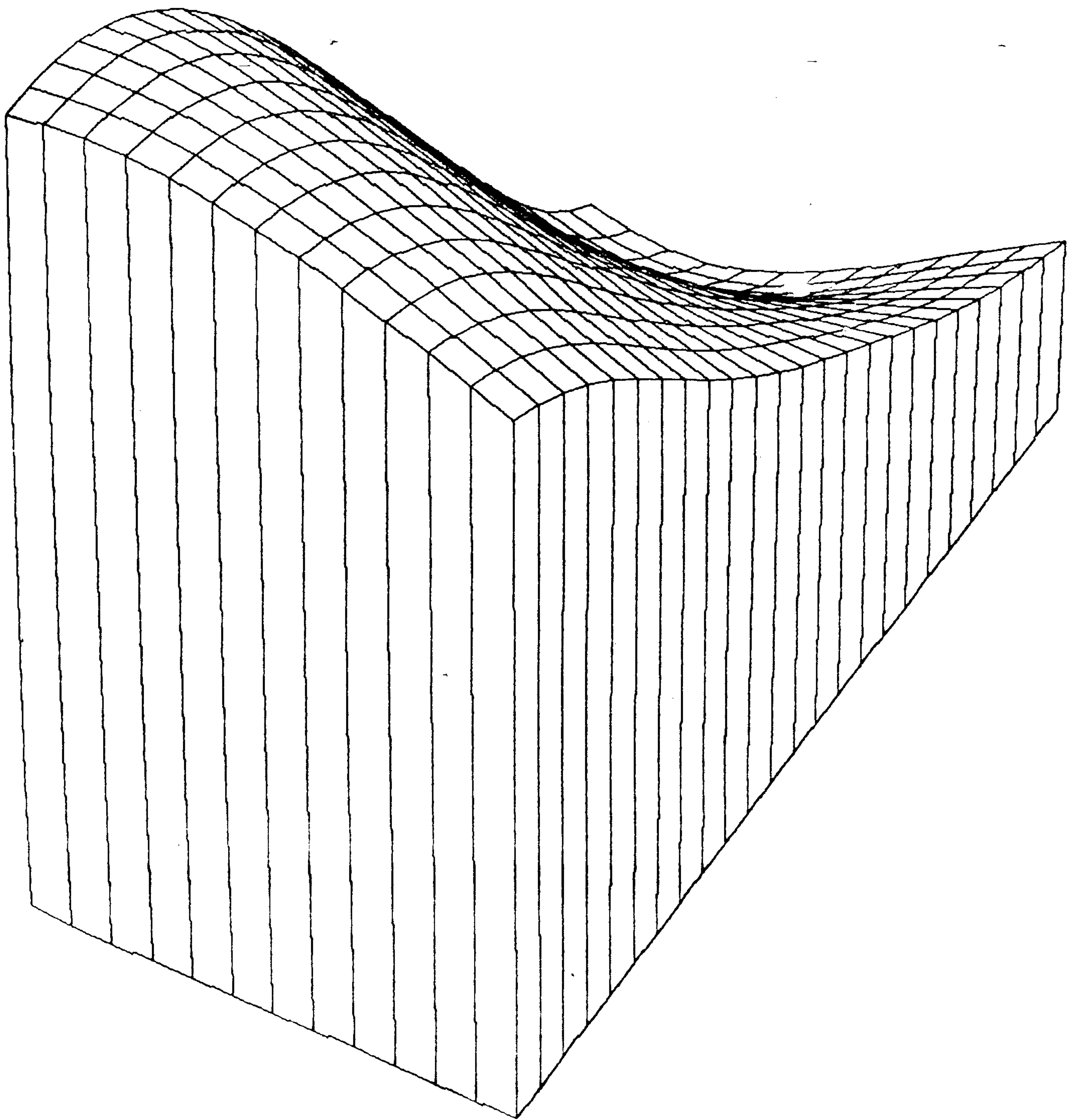
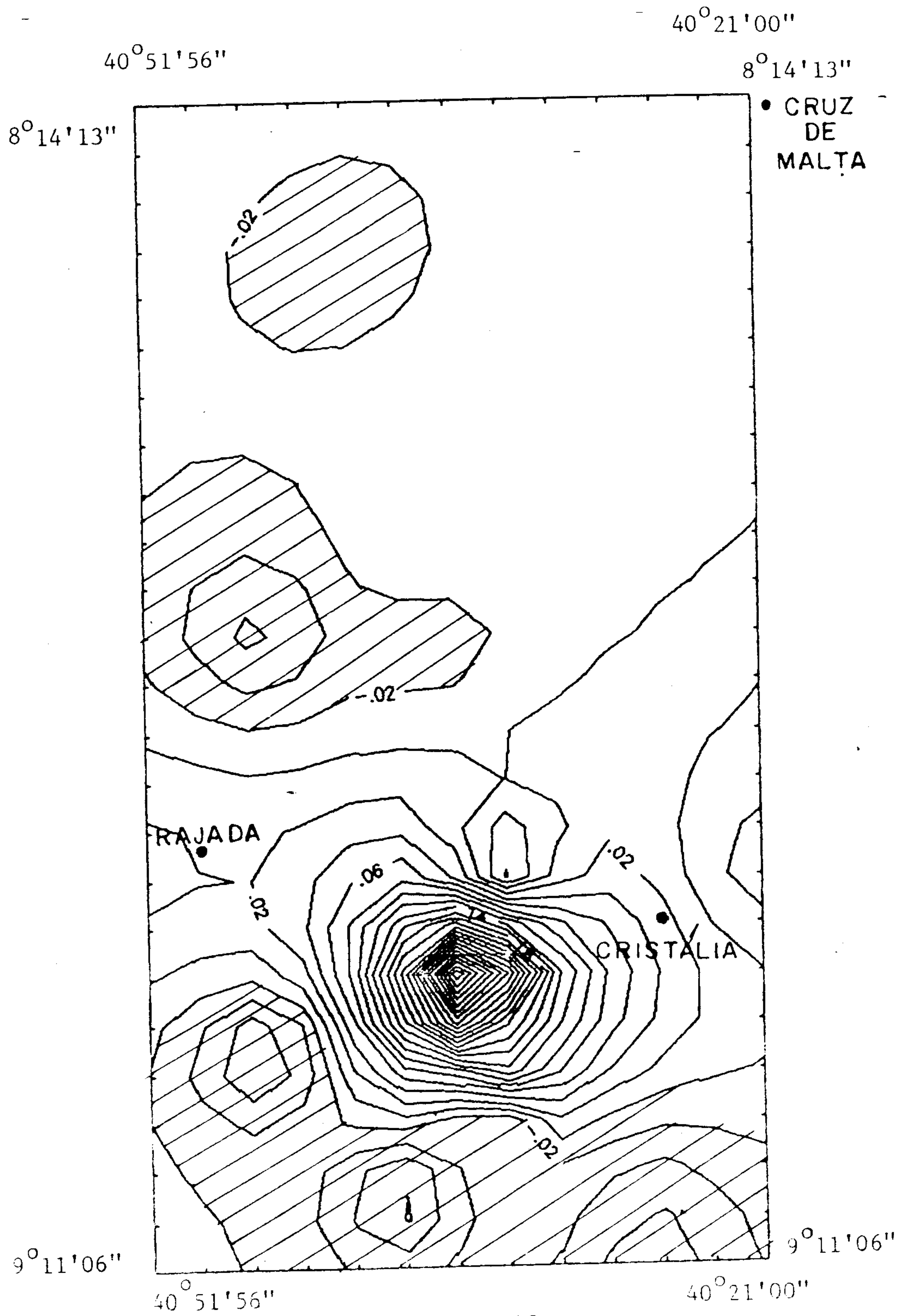


FIGURA-26

BLOCO DIAGRAMA DA TENDÊNCIA DA VAZÃO ESPECÍFICA

-MUNICÍPIO DE... FISSURAL...

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...




 Anomalia Negativa

FIGURA - 27
MAPA DE RESÍDUOS DOS VALORES DA VAZÃO ESPECÍFICA
- MUNICÍPIO DE CRISTALIA -

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...

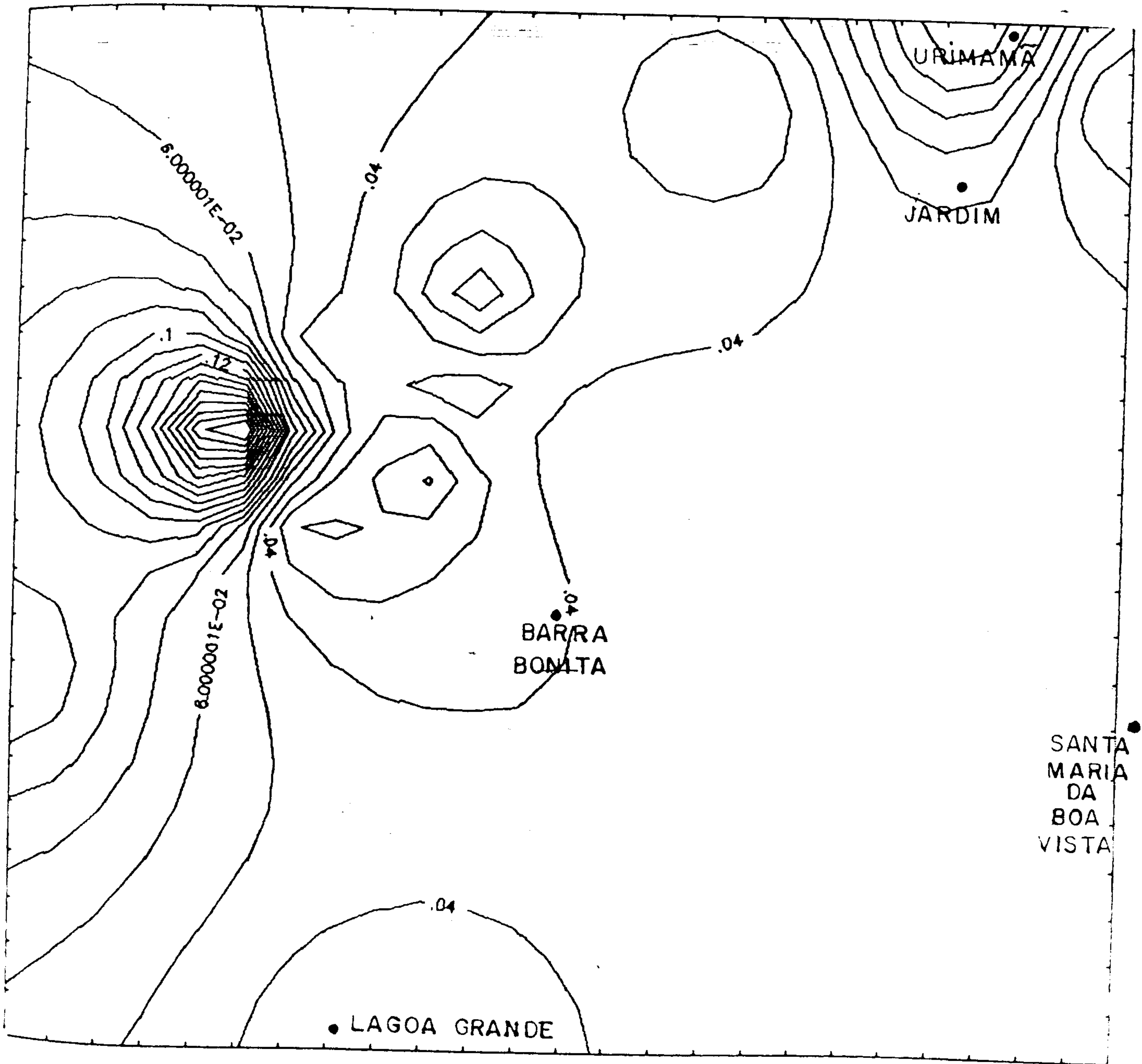


FIGURA - 28

MAPA DE CONTORNO DOS VALORES DA VAZÃO ESPECÍFICA
-MUNICÍPIO DE SANTA MARIA DA BOA VISTA-

Coefficiente de correlação: 0,32

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...

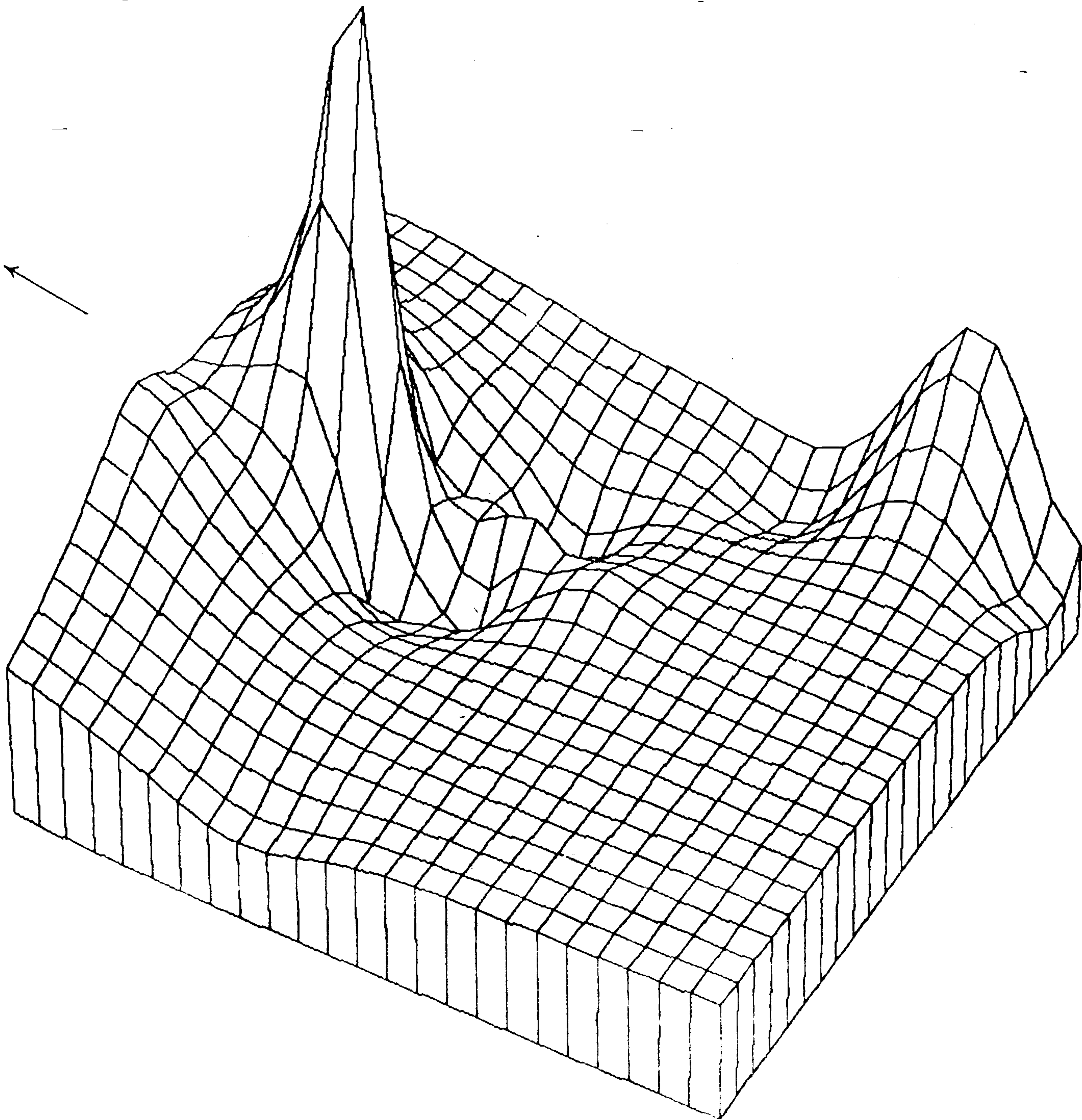


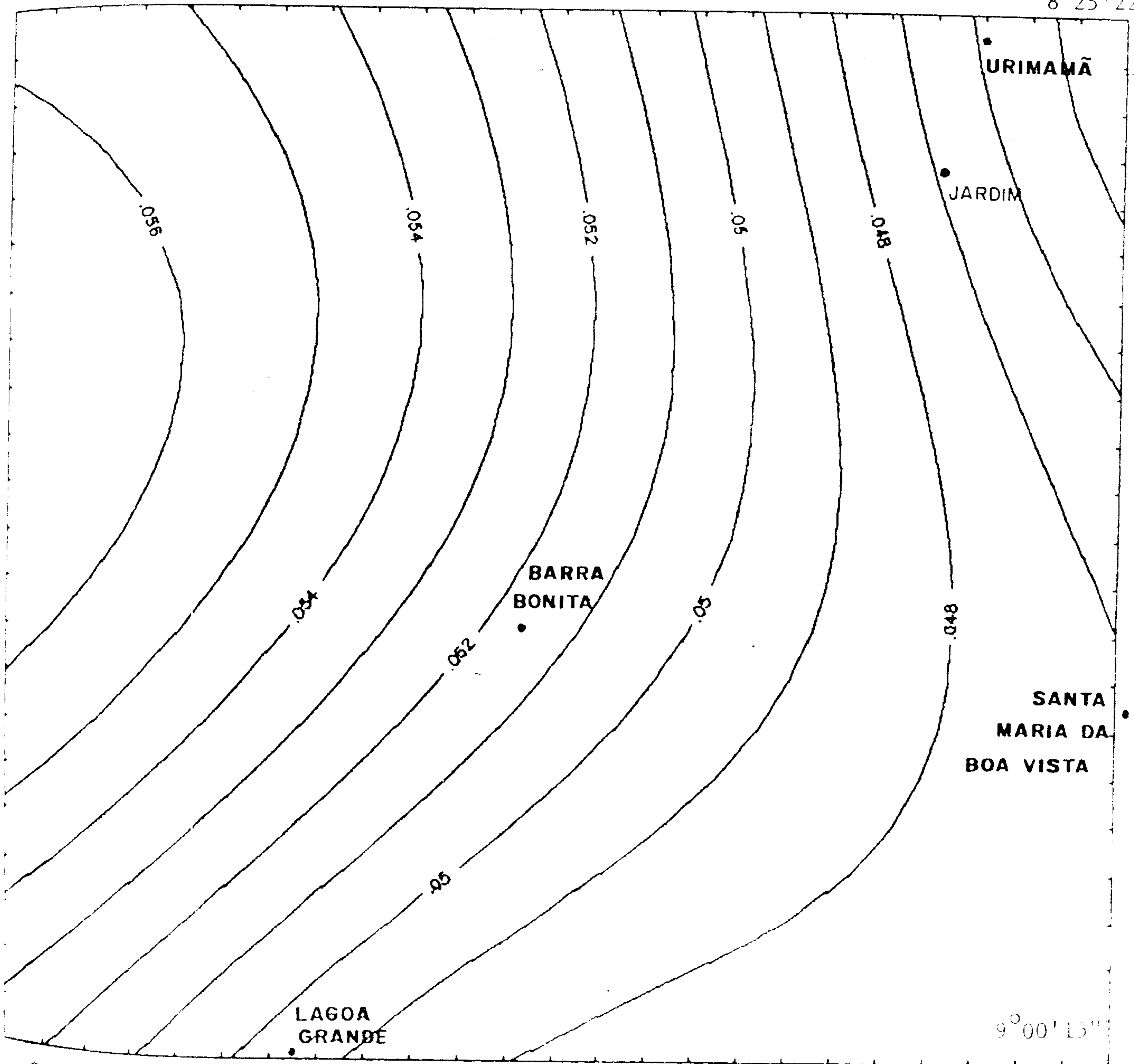
FIGURA - 29

BLOCO DIAGRAMA DOS VALORES DA VAZÃO ESPECÍFICA
-MUNICÍPIO DE SANTA MARIA DA BOA VISTA-

30°29'10"

39°50'43"

8°25'22"



9°00'15"

30°29'10"

39°50'43"

FIGURA - 30

MAPA DE TENDÊNCIA DA VAZÃO ESPECÍFICA
MUNICÍPIO DE SANTA MARIA DA BOA VISTA-

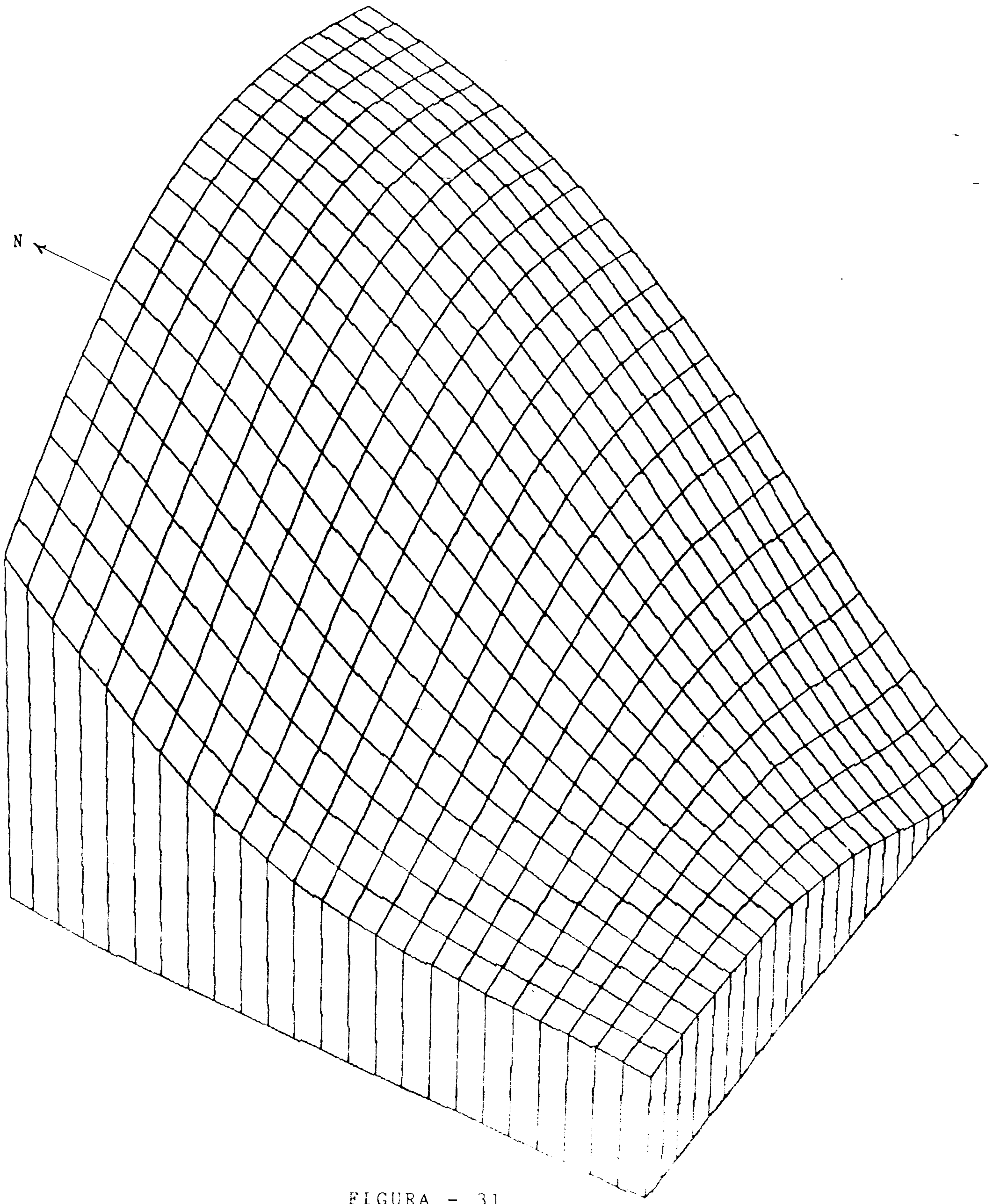


FIGURA - 31

BLOCO DIAGRAMA DA TENDÊNCIA DA VÁZUA CAPACITADA
DE UM POÇO DE VÁZUA

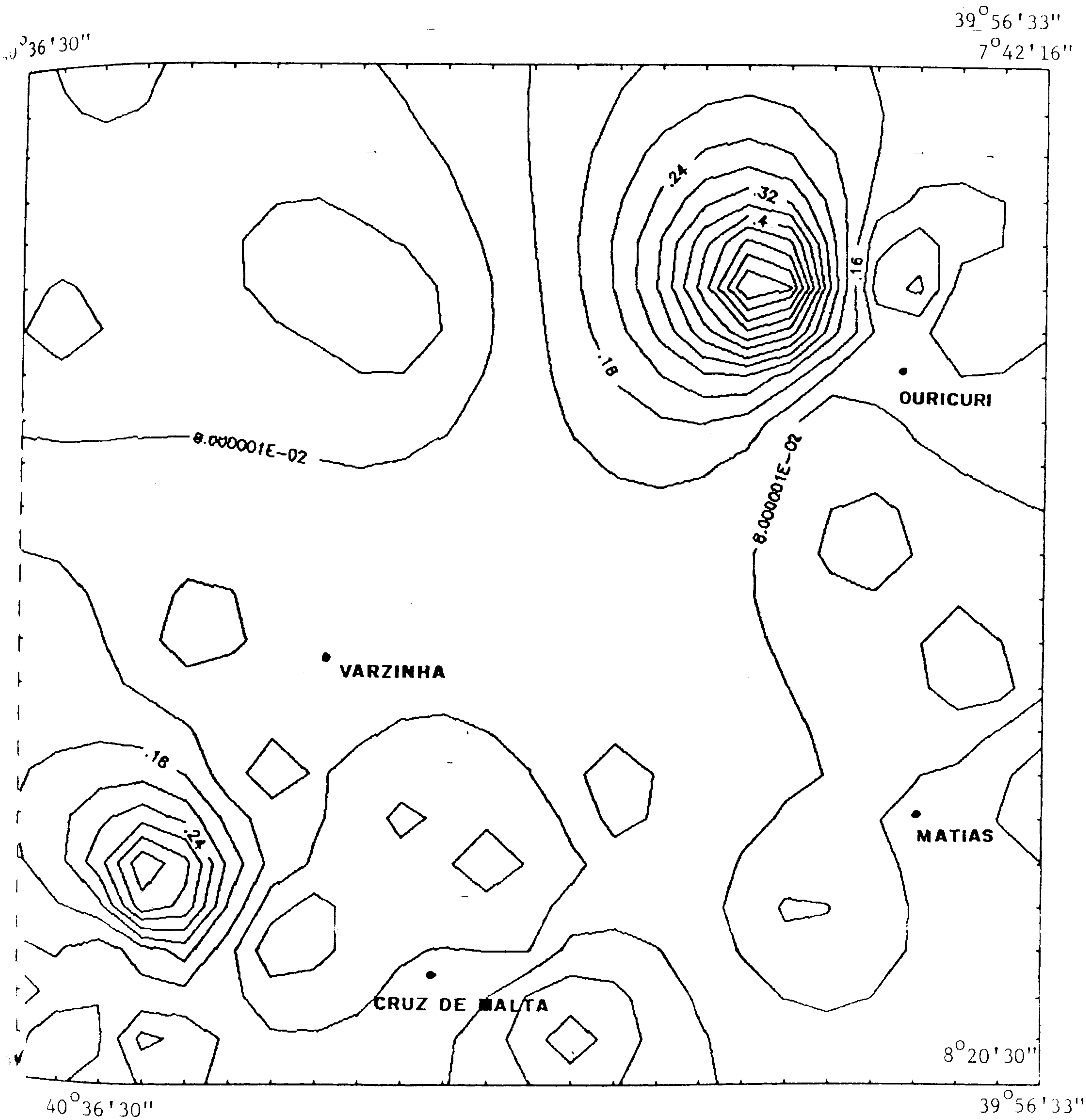


FIGURA - 33

MAPA DE CONTORNO DOS VALÔRES DA VAZÃO ESPECÍFICA
-MUNICÍPIO DE OURICURI-

Coefficiente de correlação: 0,30

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...

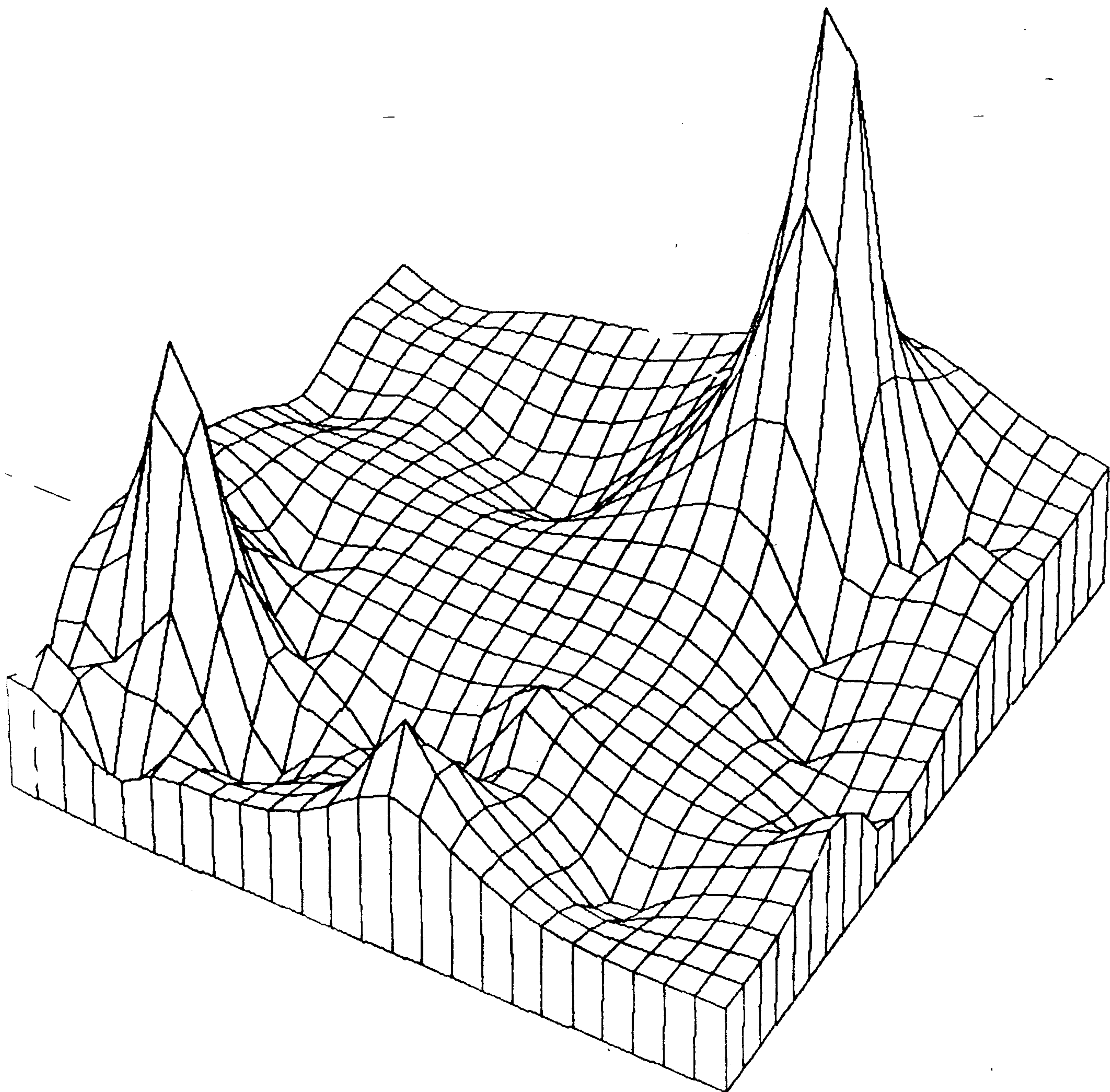


FIGURA - 34

BLOCO DIAGRAMA DAS MEDIDAS DE VAZÃO ESPECÍFICA
-MUNICÍPIO DE OURICURI-

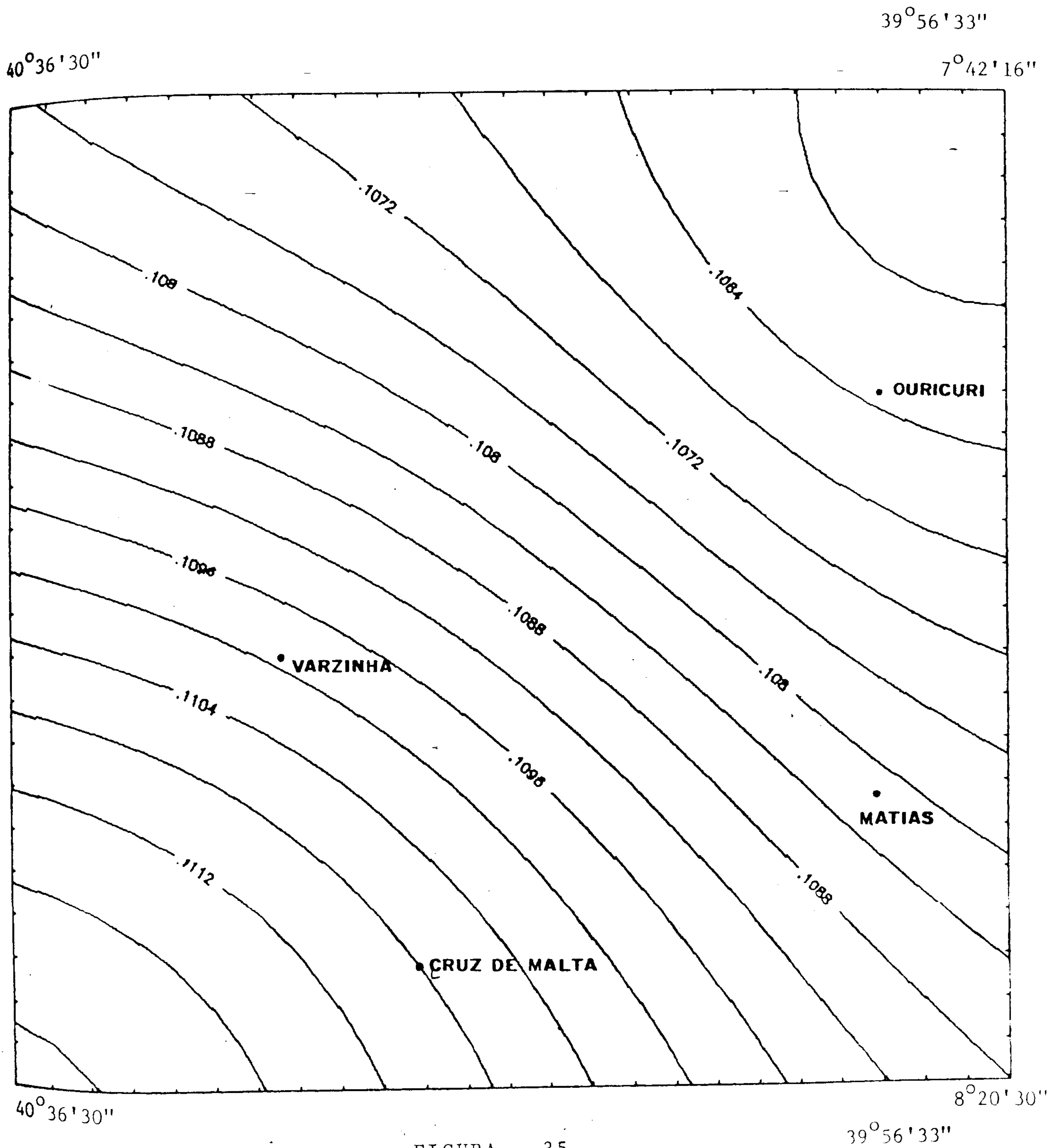


FIGURA - 35

MAPA DE TENDÊNCIA DA VAZÃO ESPECÍFICA
-MUNICÍPIO DE OURICURI-

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...

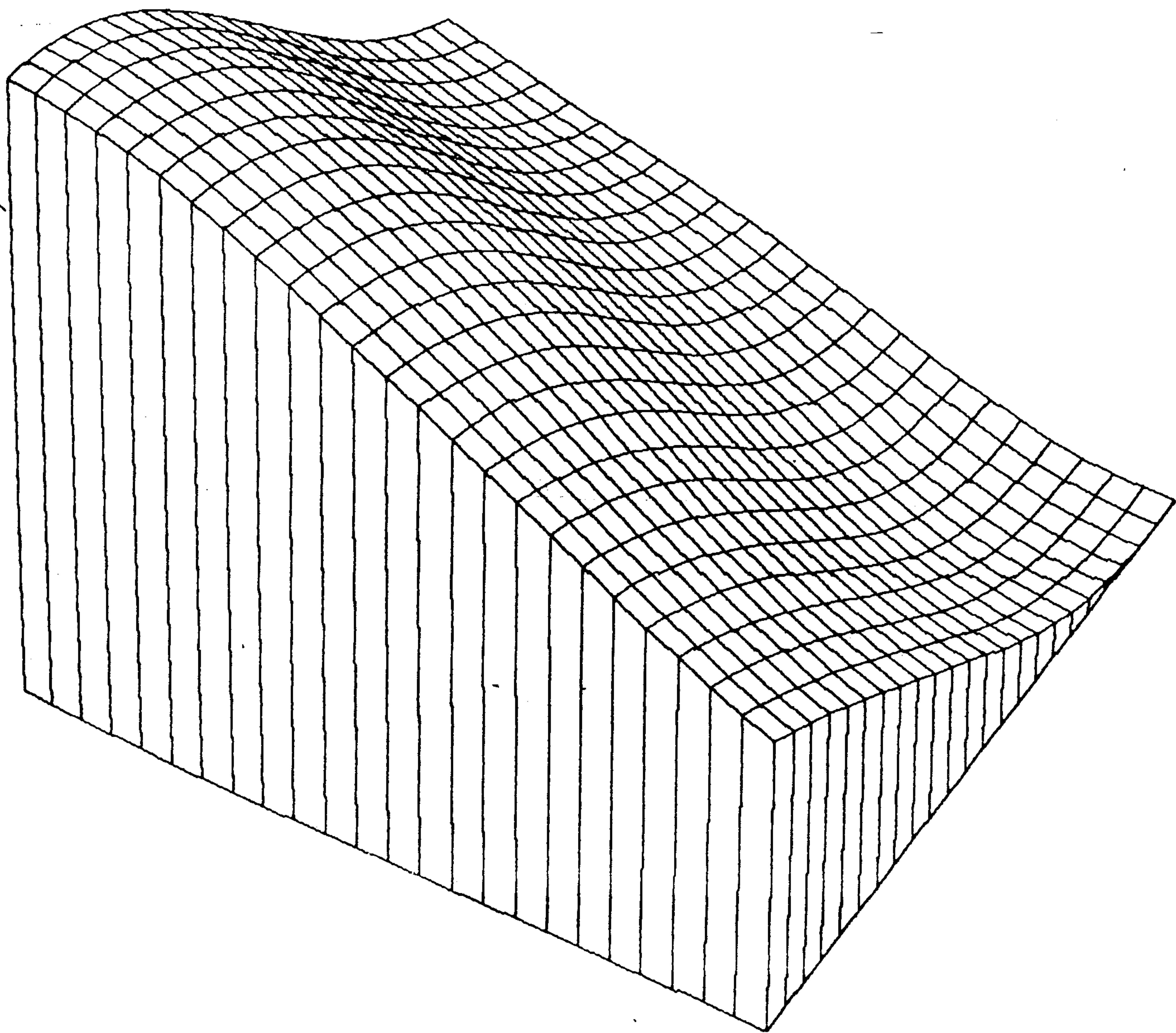


FIGURA - 36

BLOCO DIAGRAMA DA TENDÊNCIA DA VAZÃO ESPECÍFICA
-MUNICÍPIO DE OURICURI-

40°36'30"

39°56'33"

7°42'16"

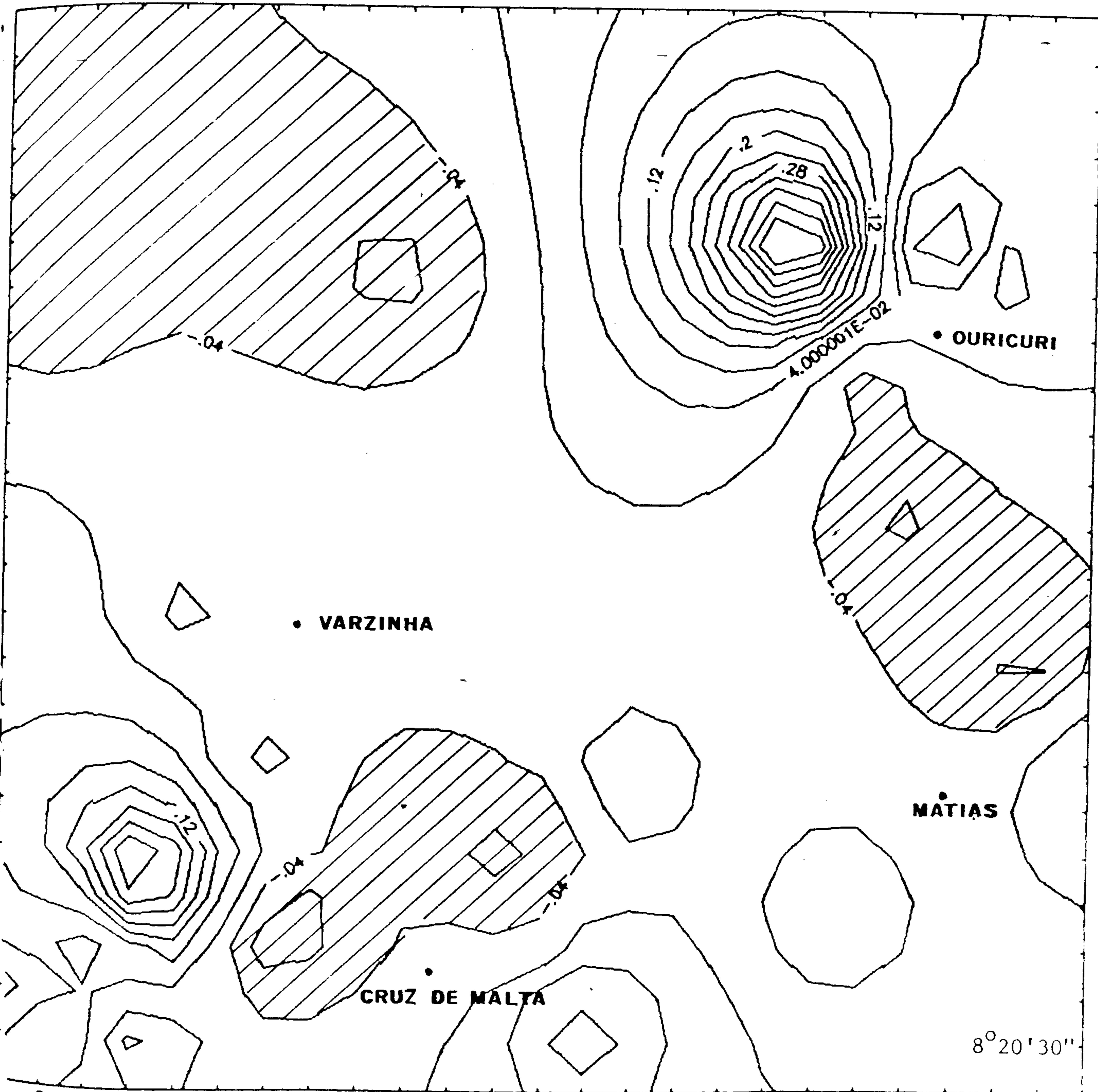


FIGURA - 37

MAPA DE RESÍDUOS DOS VALÔRES DA VAZÃO ESPECÍFICA
-MUNICÍPIO DE OURICURI-

Anomalia Negativa

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...

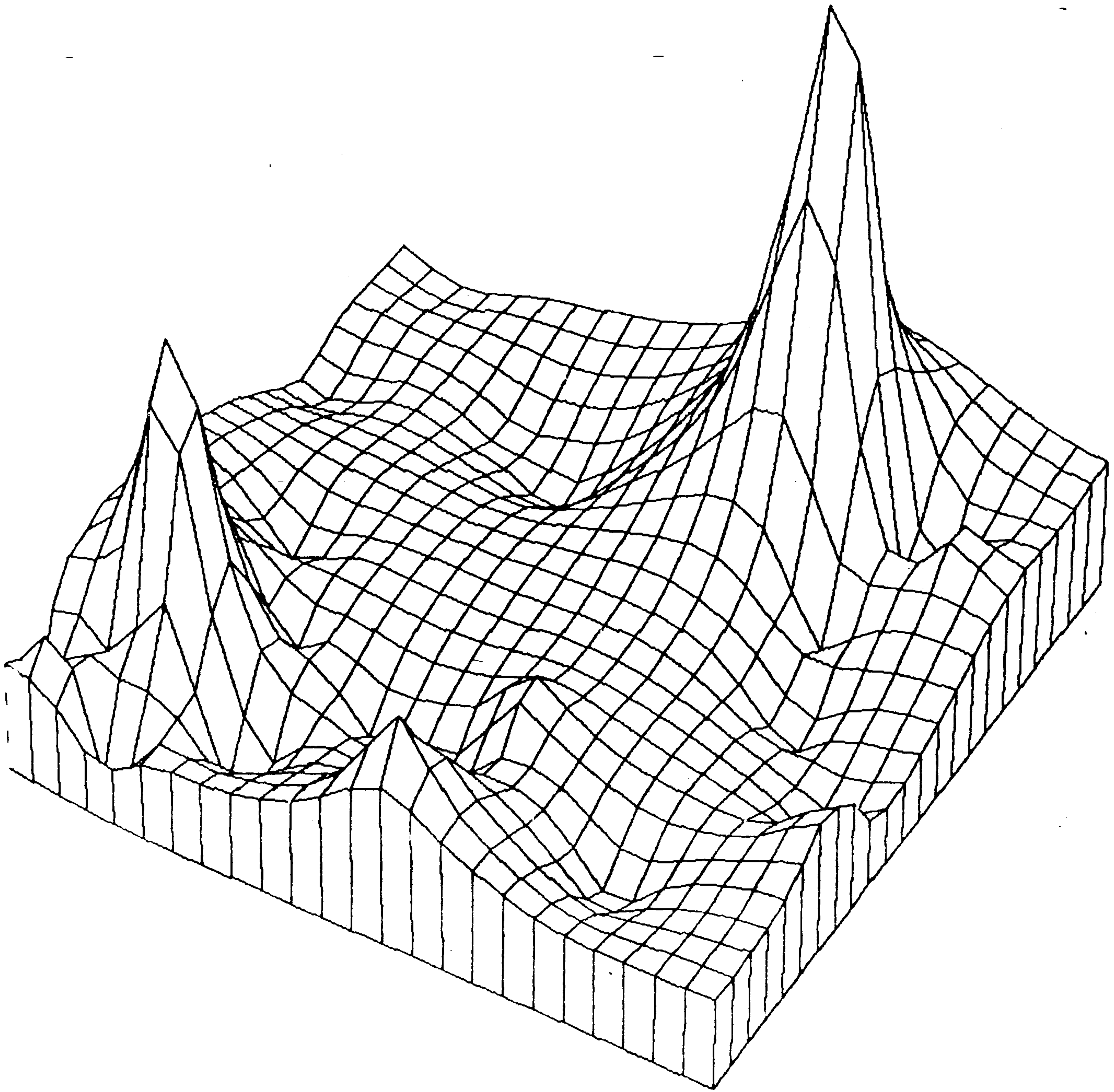


FIGURA - 38

BLOCO DIAGRAMA DOS RESÍDUOS DA VAZÃO ESPECÍFICA
-MUNICÍPIO DE OURICURI-

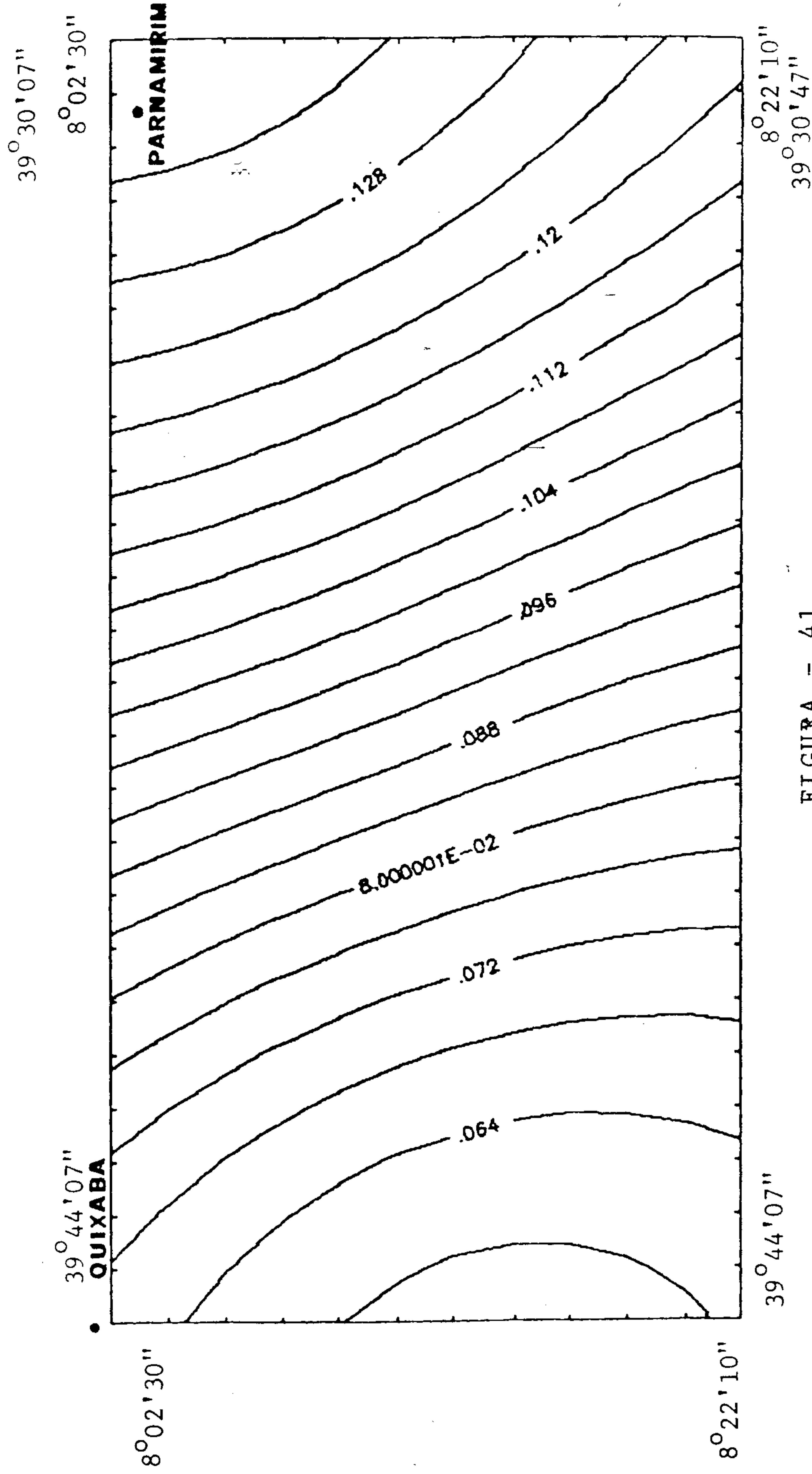


FIGURA - 41

MAPA DE TENDÊNCIA DA VAZÃO ESPECÍFICA
-MUNICÍPIO DE PARNAMIRIM-

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...

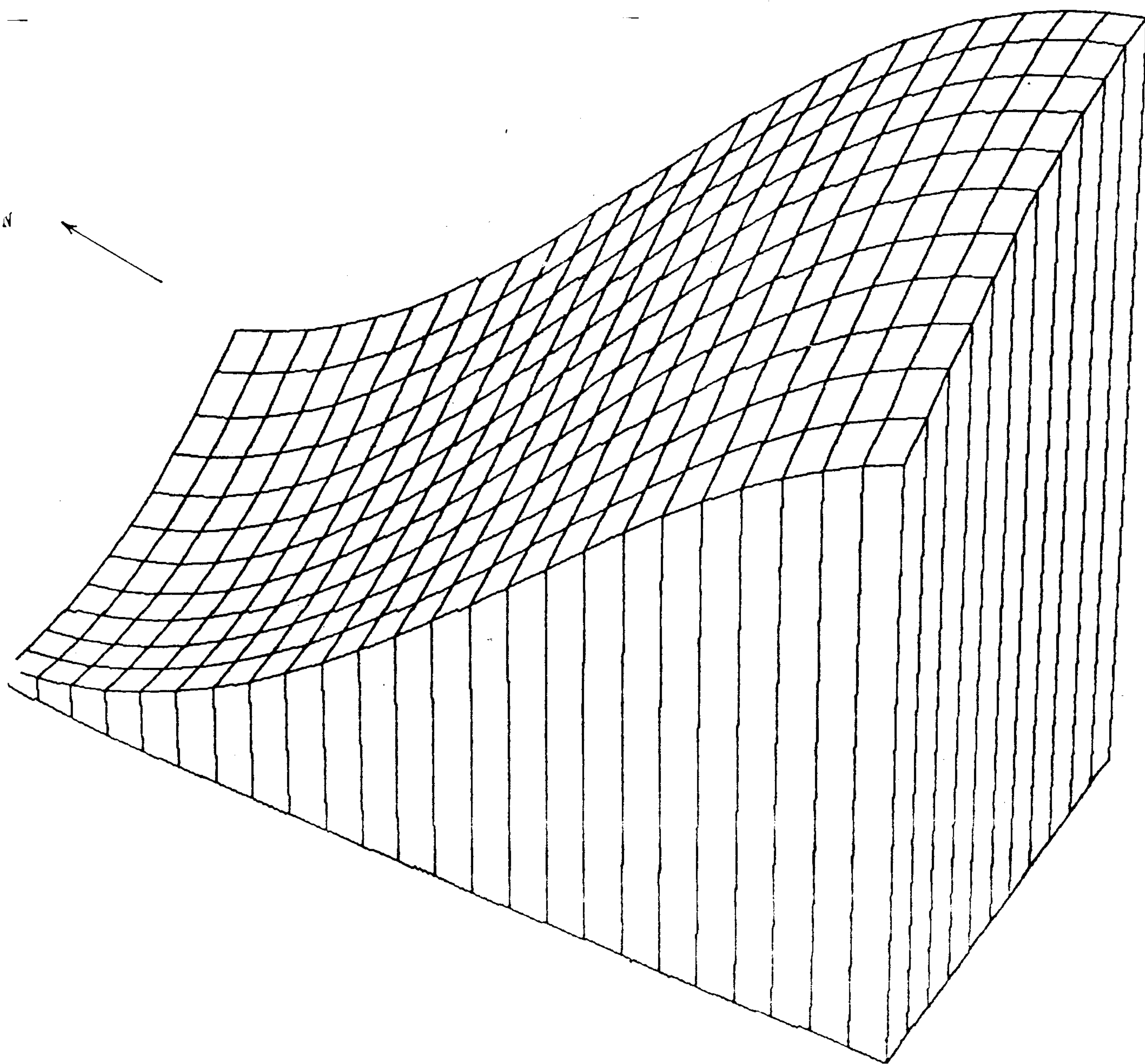


FIGURA - 42

BLOCO DIAGRAMA DA TENDÊNCIA DA VAZÃO ESPECÍFICA
-MUNICÍPIO DE PARNAMIRIM-

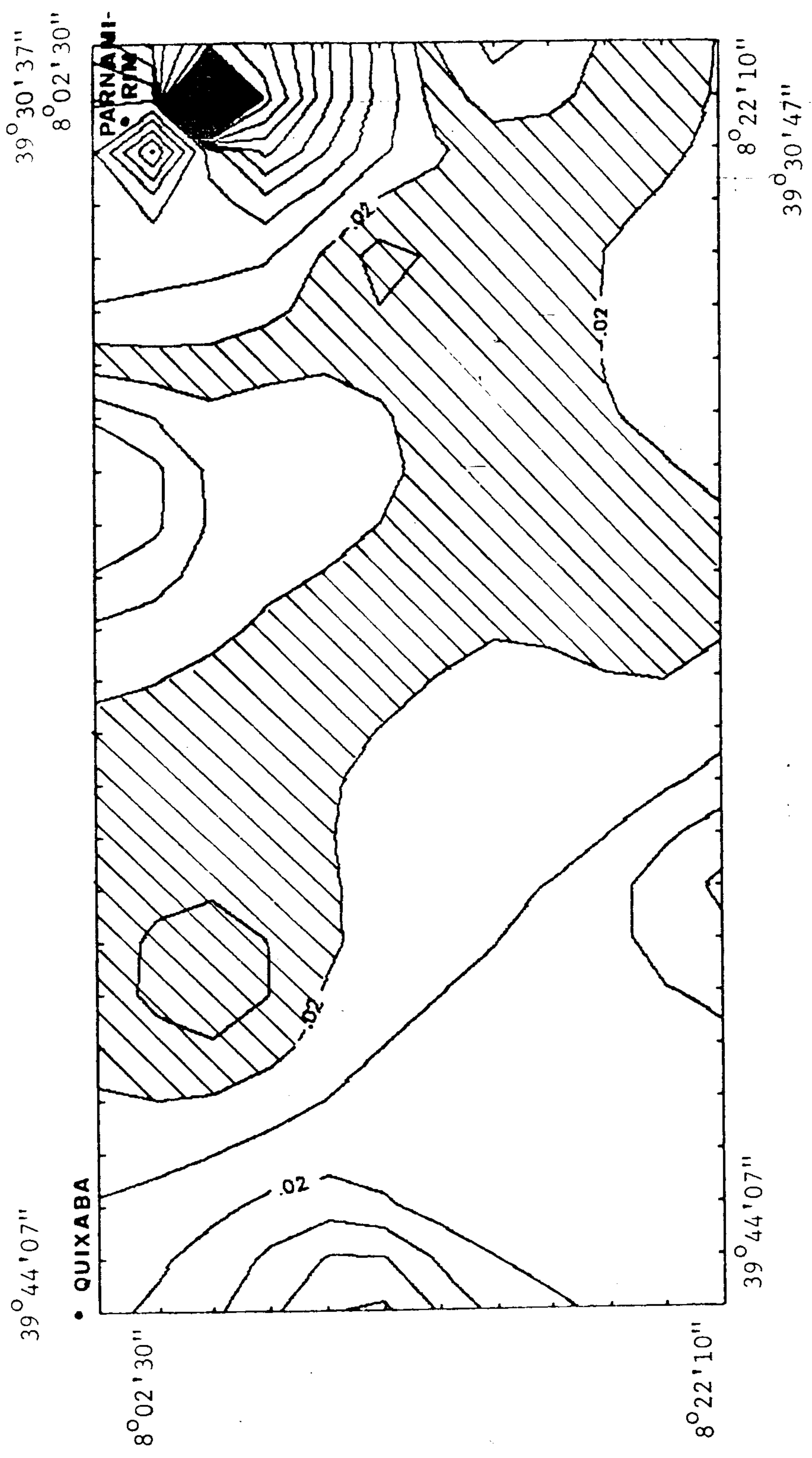



FIGURA - 43

MAPA DE RESÍDUOS DOS VALÓRES DA VAZÃO ESPECÍFICA
 -MUNICÍPIO DE PARNAMIRIM-

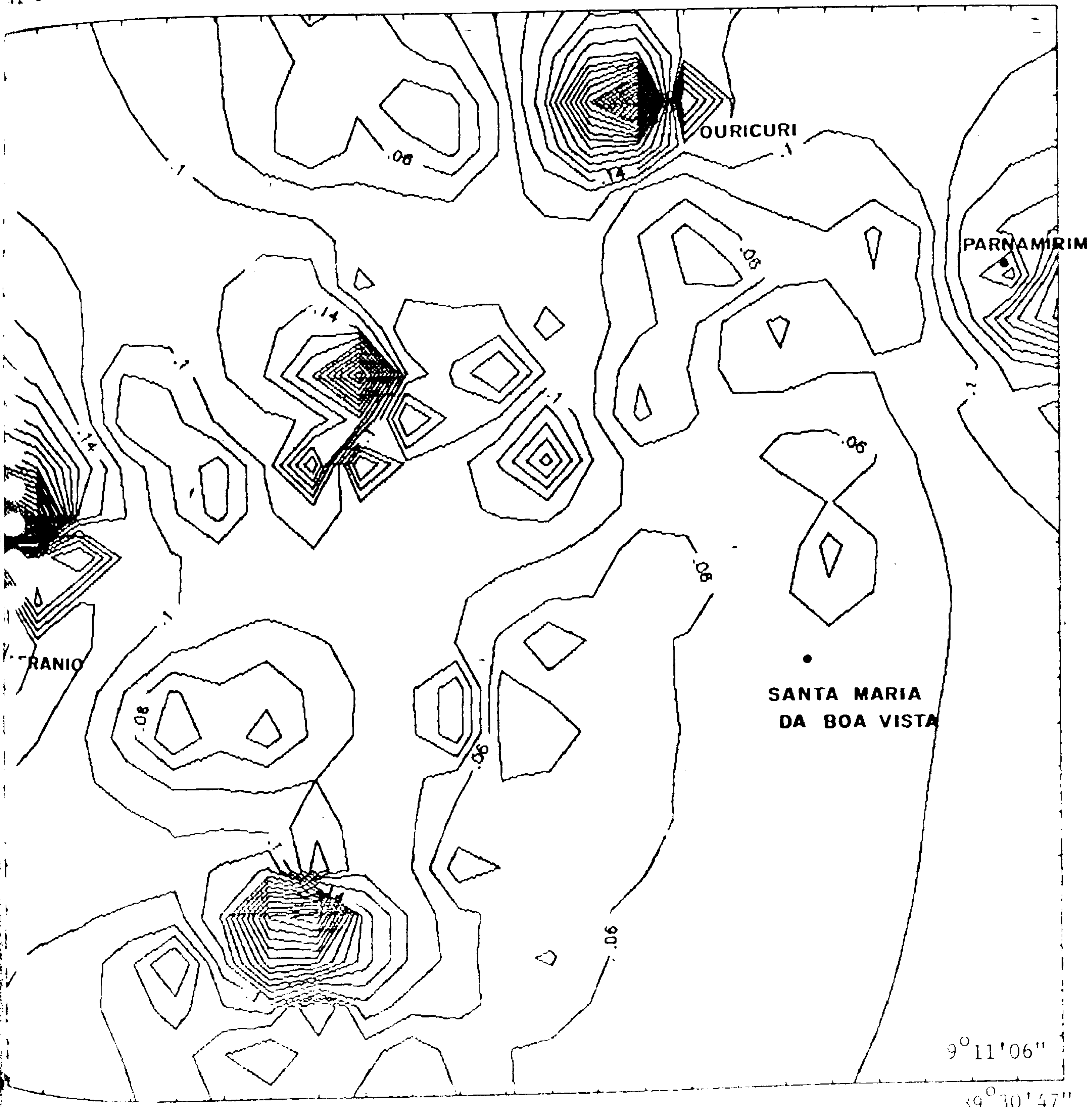
 Anomalia Negativa

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...

39°30'47"

7°42'16"

11°01'05"



9°11'06"

39°30'47"

11°01'05"

FIGURA - 44

MAPA DE CONTOREO DOS ALTOS DA FAZÃO ESPECÍFICA
- REGIÃO OESTE DE PERNAMBUCO -

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...

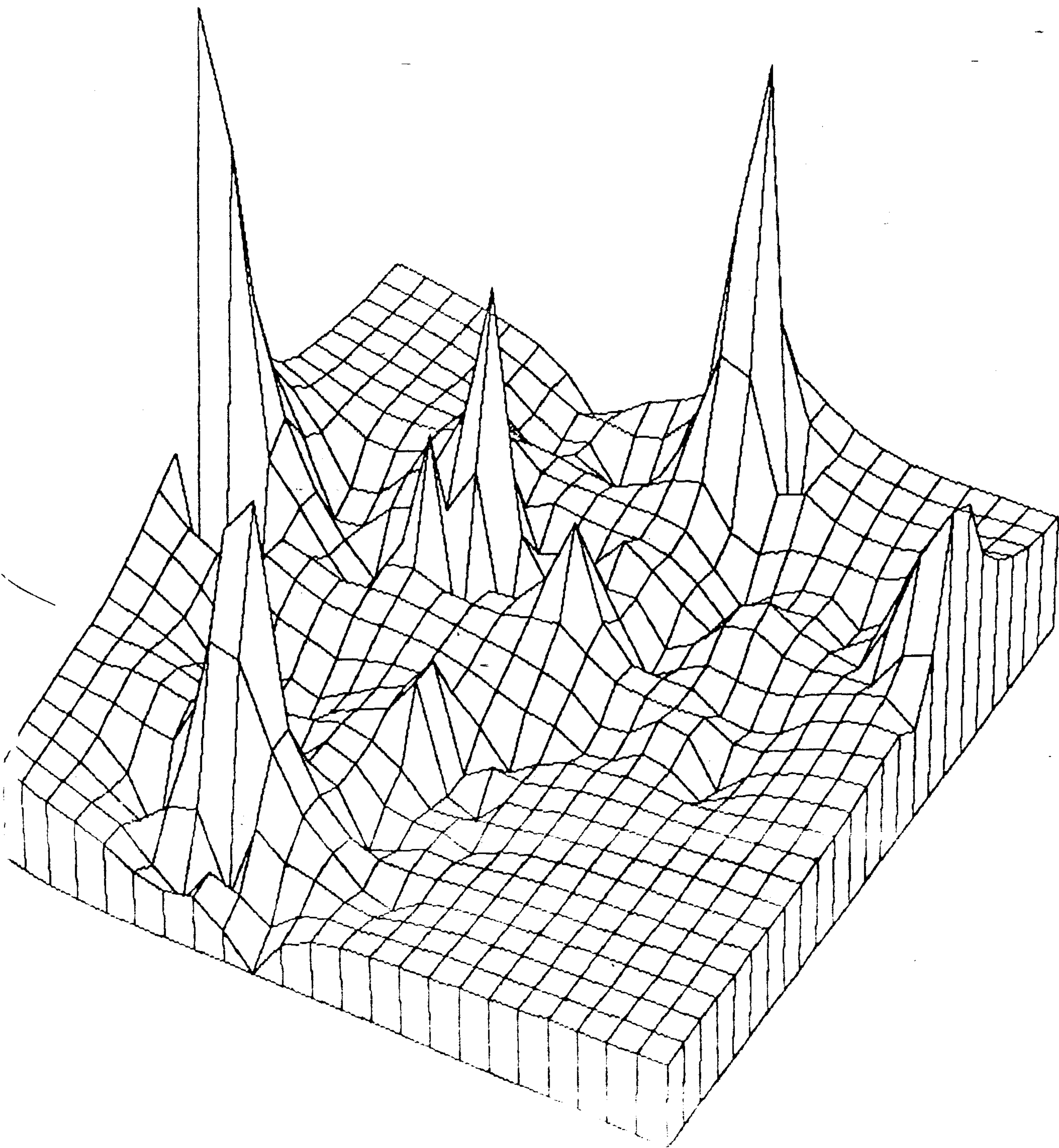
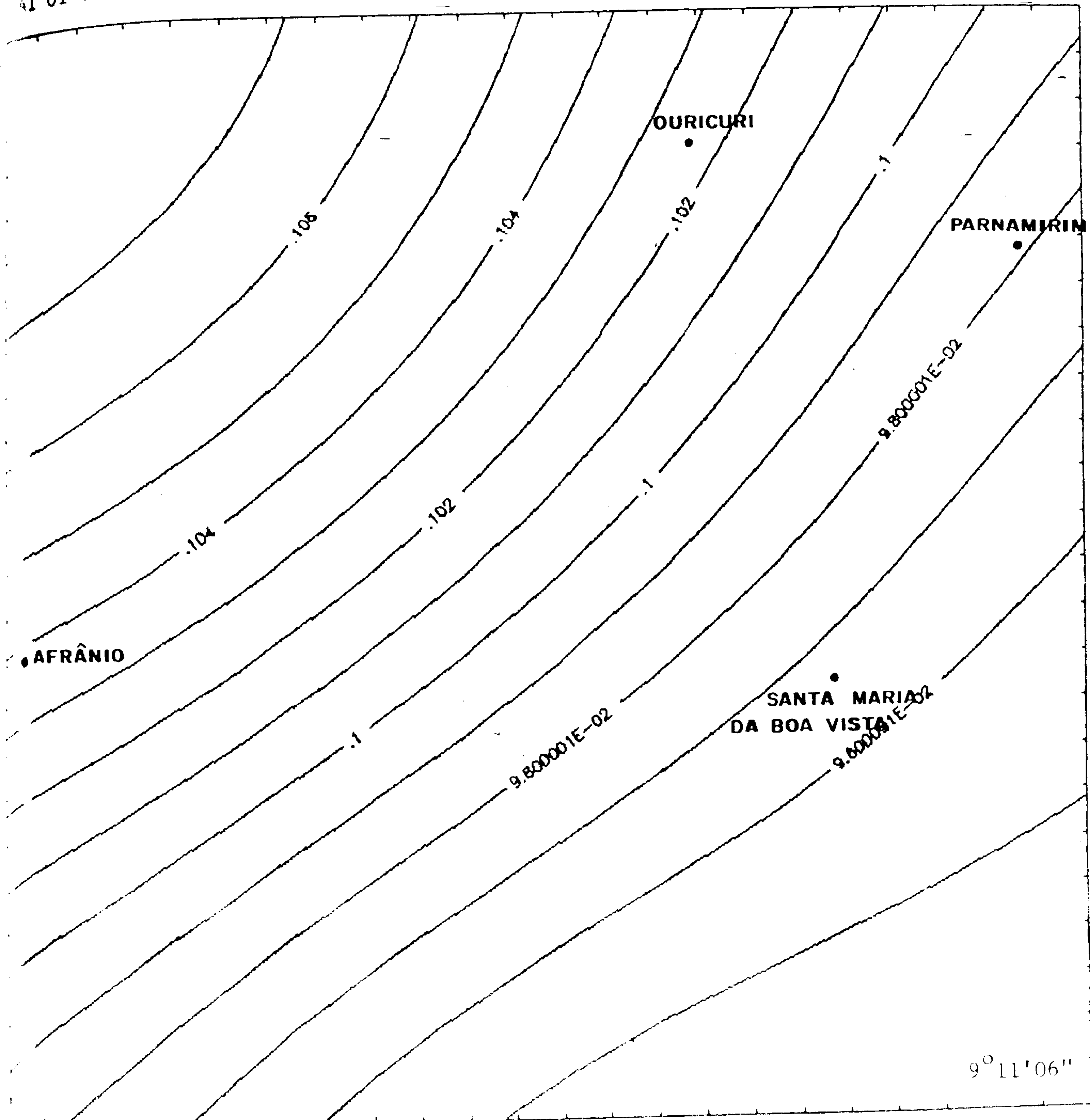


FIGURA - 45

BLOCO DIAGRAMA DOS VALORES DA VAZÃO ESPECÍFICA
-REGIÃO OESTE DE PERNAMBUCO-

39° 30' 47"
7° 42' 16"

41° 01' 05"



41° 01' 05"

FIGURA - 46

9° 11' 06"

39° 30' 47"

MAPA DE TENDÊNCIA DA VAZÃO ESPECÍFICA
-REGIÃO OESTE DE PERNAMBUCO-

•
PETROLINA

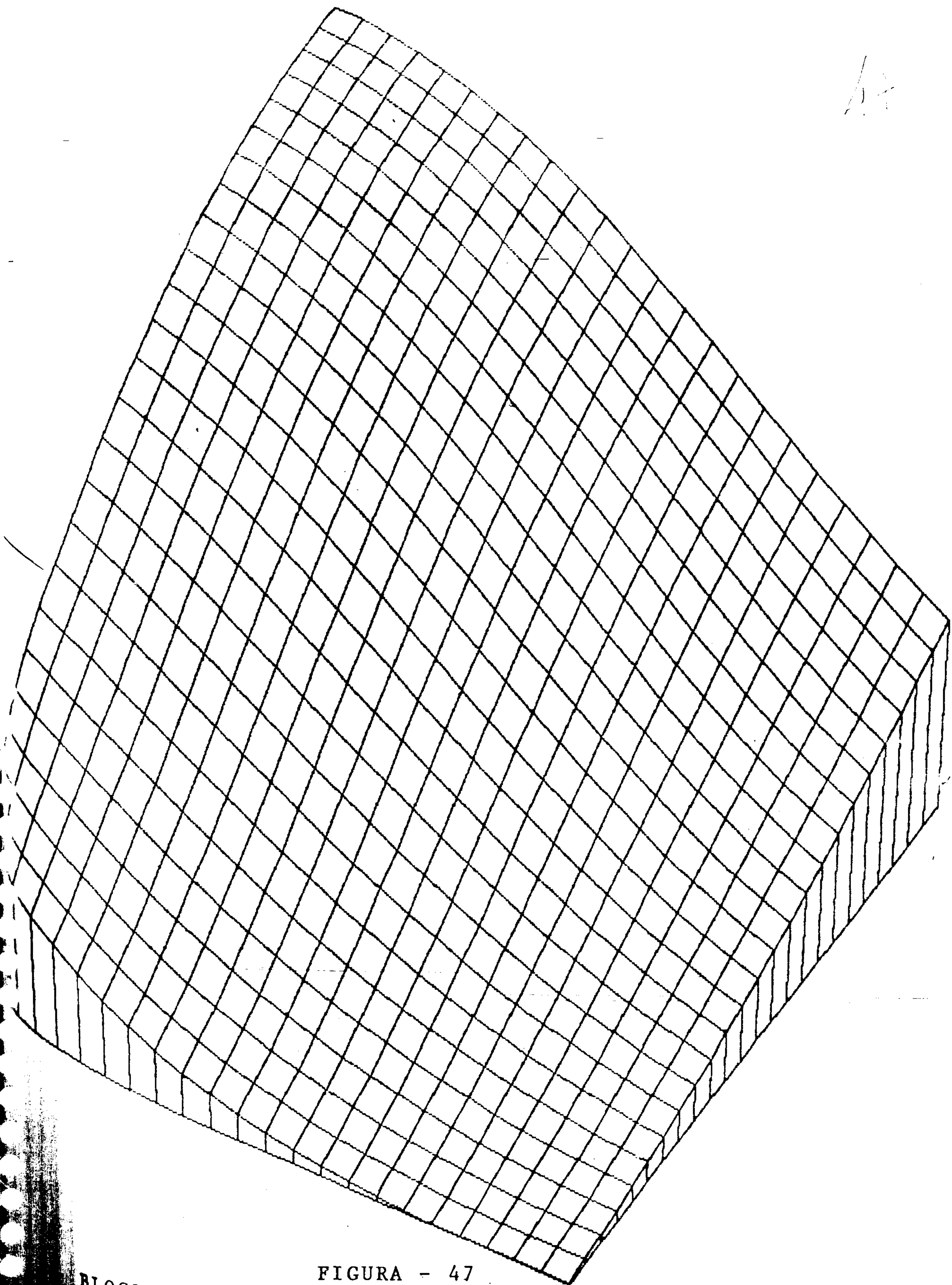


FIGURA - 47
BLOCO DIAGRAMA DA TENDÊNCIA DA VAZÃO ESPECÍFICA
-REGIÃO OESTE DE PERNAMBUCO-

01'05"

39°30'47"
7°42'16"

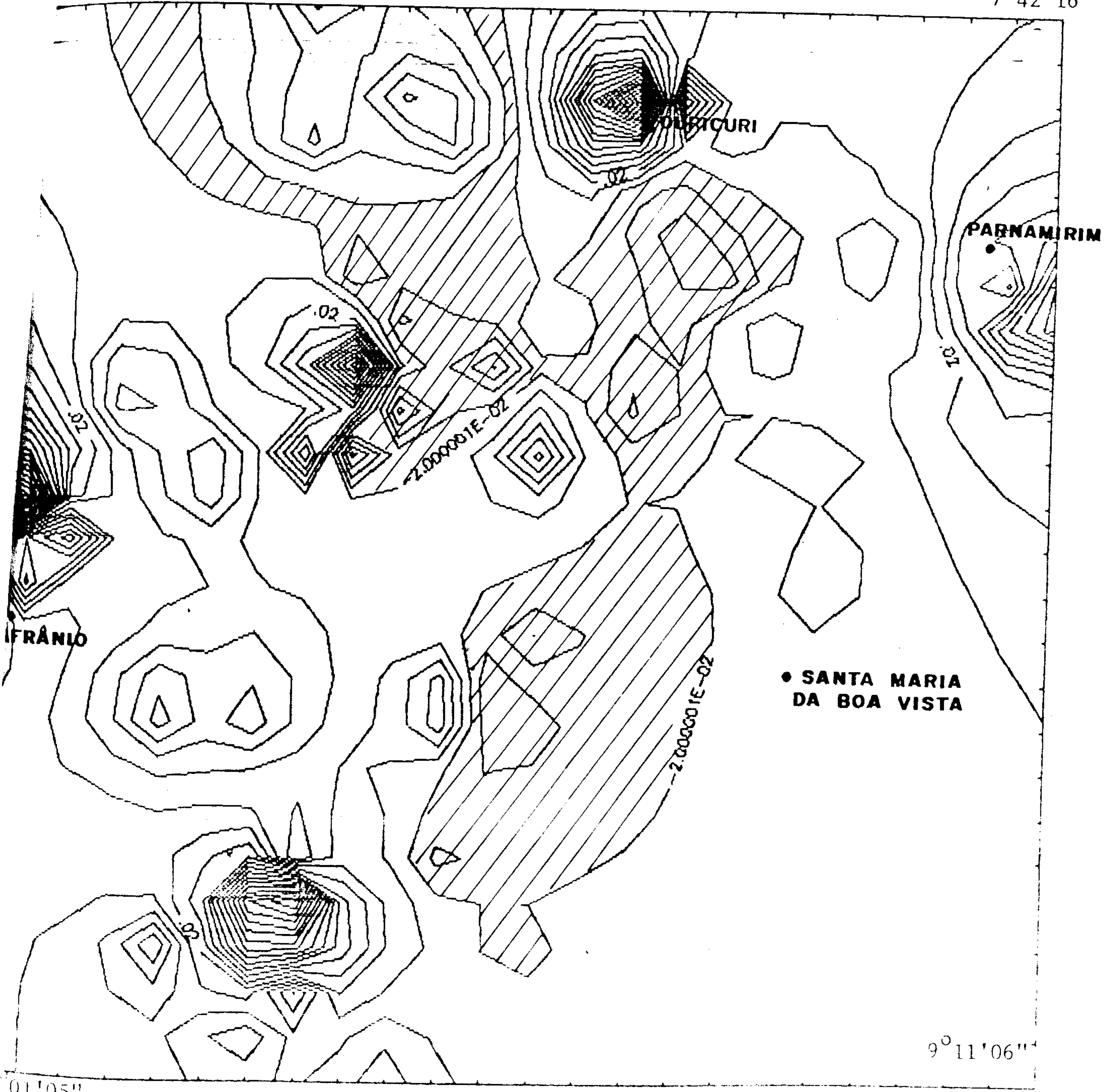


FIGURA 43

MAPA DE RESÍDUOS DOS VALORES DA VAZÃO ESPECÍFICA

- REGIÃO OESTE DE PERNAMBUCO -

PETROLINA

39°30'47"

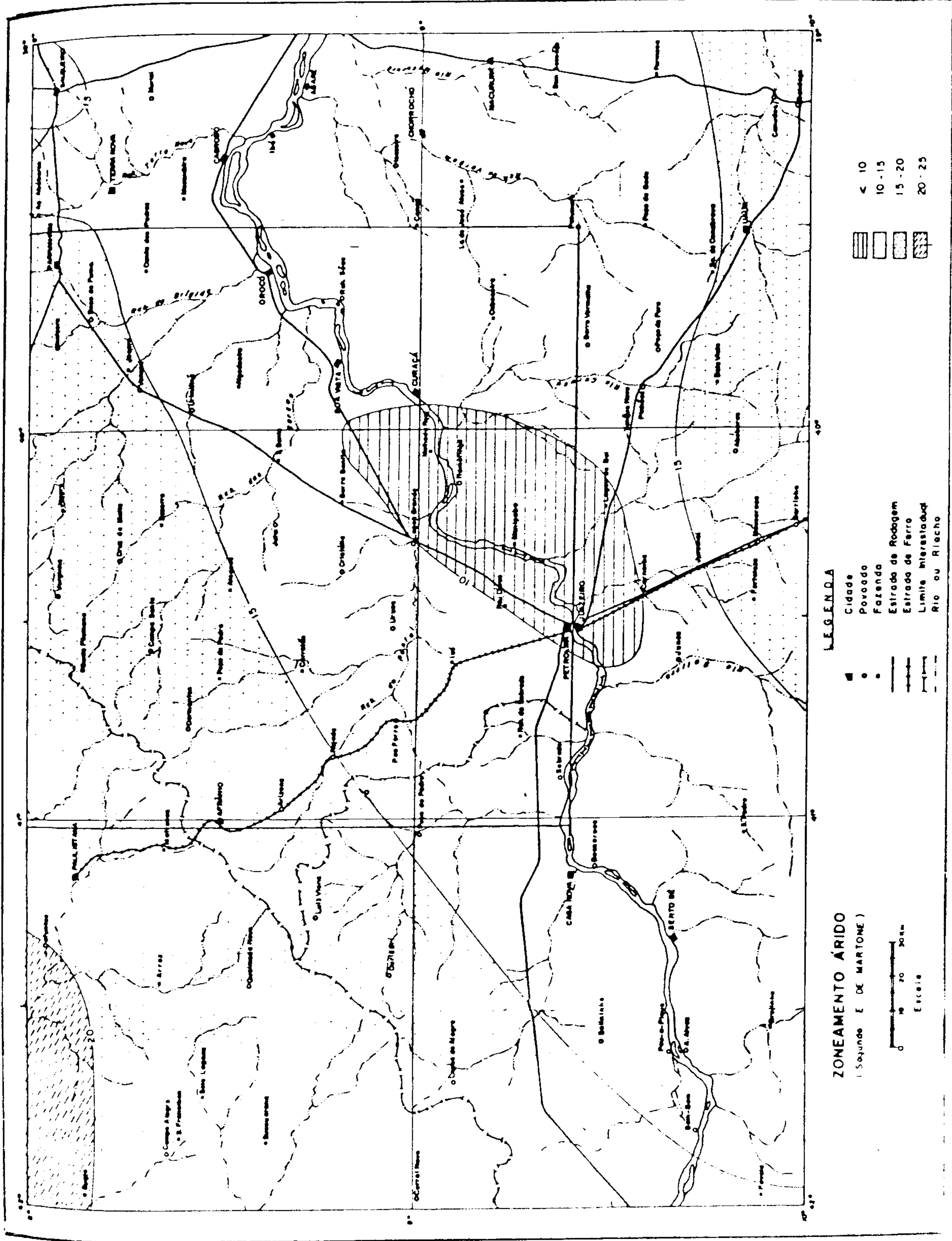


FIGURA 49

Fonte: Inventário Hidrogeológico do Nordeste
Folha nº 19.

DINIZ, J.A.O. - O Aquífero Fissural...

planação sobre as causas e mecanismos da salinização das águas subterrâneas nos meios fissurados. Acreditamos que uma análise prévia desta "gênese" da salinização nos ajudará a compreender o significado das correlações que tentaremos encontrar.

4.4.1 - CAUSAS E PROCESSOS DE SALINIZAÇÃO

É válido se afirmar que todo processo de salinização de águas subterrâneas, principalmente em meios fissurados, tem como causa, ainda que remota, o clima. A sua ação se estende desde os processos externos ao meio, como a evaporação, precipitação, etc., até aos fatores mais íntimos do sistema aquífero, através das reações de climatização ou intemperismo das rochas.

Como primeira causa, a climatização envolve os processos mecânicos, que afetam as características físicas dos corpos rochosos, como a expansão da água ao congelar, dilatação e contração dos minerais e rochas devido as fortes variações térmicas, desenvolvimento de raízes nas fendas, etc. Seguindo-se a estes fatores físicos, encontramos os processos químicos, envolvendo uma série de reações entre minerais e água, das quais a principal, sem dúvida, é a hidrólise dos silicatos.

Assim, a influência do clima na salinização das águas fica patente, processando-se a mesma através das reações de climatização das rochas, que significa, em síntese, a procura do equilíbrio pelo sistema formado por rocha-ar-água.

Na fig.50 mostramos os fatores que influem na evolução química das águas subterrâneas, segundo CRUZ,1985(modificada).

Nesta figura, os fatores externos já representam o

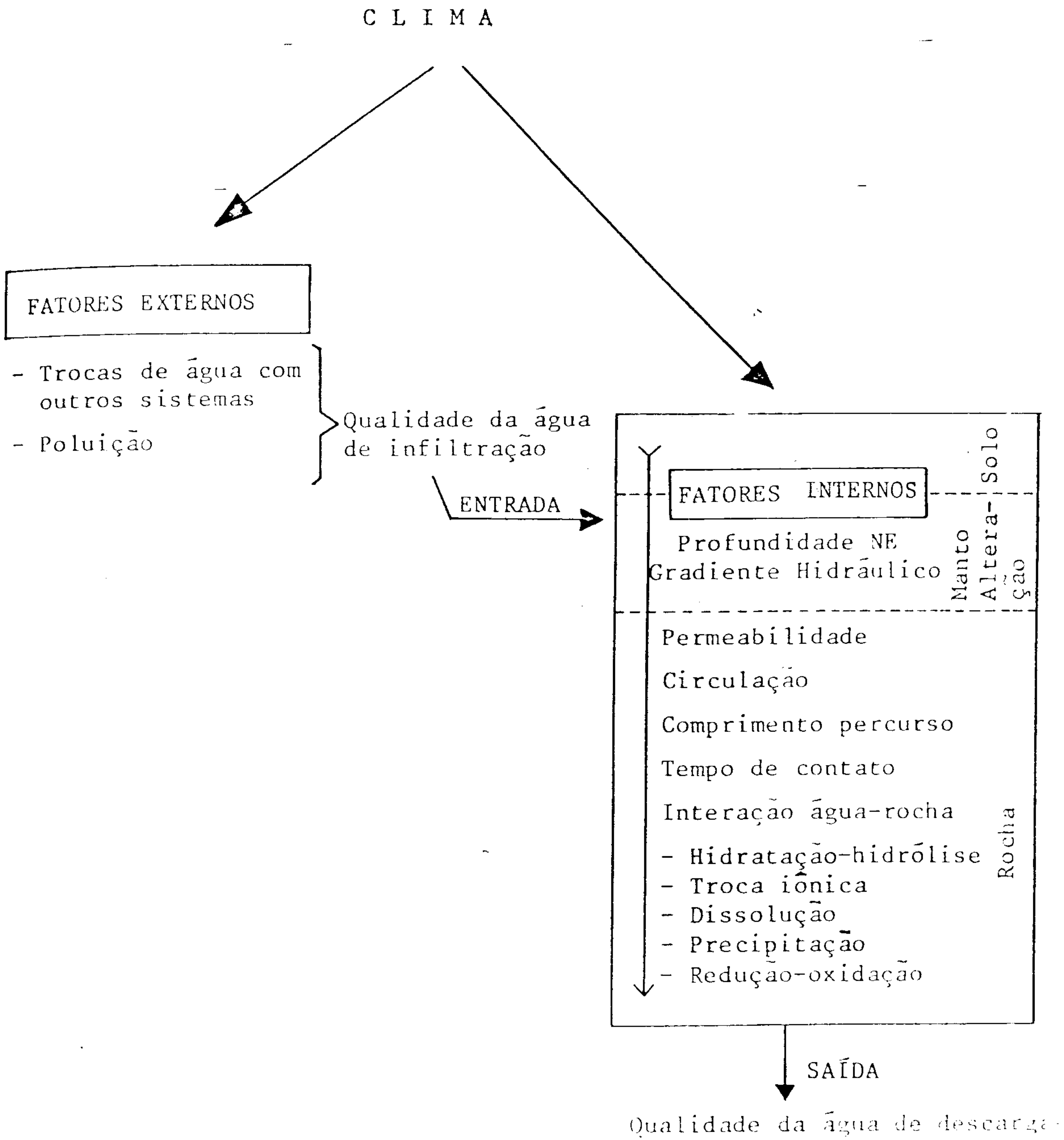


FIGURA - 50

Fatores que influem na evolução química das águas subterrâneas
(segundo CRUZ - 1985 - modificado)

DINIZ, J.A.O. - O Aquífero Fissural...

depende, portanto, da disponibilidade dos ânions(CRUZ,op.cit.)

Segundo KRAUSKOPF(1972), os minerais mais comuns das rochas ígneas podem ser dispostos em duas séries paralelas, de acôrdo com sua taxa de climatização:

Minerais Ferromagnesianos

Olivina
Piroxênio
Anfibólio
Biotita

Minerais Feldspáticos

Plagioclásio Ca-Na
Plagioclásio Na-Ca
K- feldspatos
Muscovita
Quartzo

Esta séries representam generalização aplicáveis a maioria das rochas mas,segundo KRAUSKOPF(op.cit.) , não devem ser tomadas como regras universais, visto que as excessões são muito comuns.

Esta série coincide com a ordem da cristalização dos minerais magmáticos, ou seja, os primeiros minerais formados são também os que mais rapidamente sofrem os processos da climatização.

Na tabela 07, mostramos os teores médios mundiais dos principais elementos químicos em diversos tipos de rochas; como pode ser visto aí, os elementos mais comuns são :

Si^{4+} , Al^{3+} , Fe^{3+} e Fe^{2+} , Ca^{2+} , Na^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} .

Com excessão dos quatro últimos íons, os demais não são importantes no processo de salinização das águas subterrâneas, quer pela alta estabilidade de seus compostos, que pela sua baixa solubilidade, que provoca a precipitação dos mesmos na forma de argilo-minerais tais como caolinita, illita e montmorilonita, ou ainda através da oxidação, como é comum nos compostos de ferro, precipitados na forma de óxidos.

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

Raios mínimos Å	Médias mundiais				Lavas terciárias do NE da Irlanda				Rochas intrusivas de Skaggaard				Lavas do Havaí				
	Rochas ultra- máficas	Rochas máficas	Rochas interme- diárias	Rochas básicas	Basalto olivínico	Basalto toleítico	Quartzo traquito	Riólito	Gabro- picrita	Hipo- livina gabro	Ferro- gabro	Grano- fira	Picrito basalto	Basalto	Andesina andesita	Oligo- clase andesita	Traquito
0.42	19.0	24.0	26.0	32.3	21.1	24.3	30.0	35.2	19.3	21.6	20.3	31.2	22.3	24.0	23.7	24.4	29.0
0.51	0.5	8.8	8.9	7.7	7.8	7.5	7.5	6.5	4.6	8.9	7.7	6.7	4.9	6.8	8.7	8.8	9.9
0.64	0.9	8.6	5.9	2.7	1.9	1.8	3.2	0.6	1.9	1.1	2.3	2.6	1.0	1.2	4.1	2.2	3.0
0.74					6.7	6.5	2.2	0.3	8.2	8.1	17.1	3.9	8.1	7.3	4.8	5.7	0.1
0.66	25.9	4.5	2.2	0.6	6.8	3.5	0.5	0.1	16.3	5.8	1.5	0.3	11.4	4.6	2.6	1.9	0.2
0.99	0.7	6.7	4.7	1.6	7.1	7.1	1.5	0.6	4.7	8.1	6.5	2.0	5.5	7.5	4.6	4.5	0.6
0.97	0.6	1.9	3.0	2.8	1.5	1.9	3.1	2.0	0.5	1.8	2.1	3.0	1.2	1.5	3.5	4.1	5.1
1.33	0.03	0.8	2.3	3.3	0.2	0.9	3.5	3.8	0.1	0.2	0.3	2.6	0.3	0.3	1.8	1.8	4.1
0.15	170	1400	1600	700	970	1260	535	90	90	260	5000	1500	1000	1140	740	4060	1050
0.62	2	18	20	20	33	35	40	43	8	19	20	33	18	23	20	23	25
0.63	2000	200	50	25	1600	150	50	< 1	1500	230	< 1	11	1750	450	< 1	< 1	20
0.68	< 1	15	20	40	8	18	65	80	2	2	3	20	1	2	15	20	30
0.69	2000	160	55	8	900	50	65	13	1000	120	< 2	9	950	85	7	13	15
0.72	200	45	10	5	140	110	8	2	90	48	20	5	75	35	14	6	2
0.74	40	200	100	40	630	750	55	2	120	220	4	9	250	280	70	19	5
0.76	300	9000	8000	2300	7000	6700	3200	700	9000	5000	15000	5000	12000	20000	16000	15000	2000
0.79	30	100	260	200	180	700	3000	2000	30	33	20	1200	75	100	350	1250	1500
0.80	1500	2000	1200	600	1380	1360	1200	130	1200	700	3300	800	860	1010	1710	1010	1170
0.81	5	24	3	3	19	25	25	< 10	< 10	20	10	< 10	< 10	10	< 10	< 10	< 10
0.96	20	100	35	20	400	180	50	66	100	67	400	200	150	170	< 10	< 10	< 10
1.12	10	440	800	300	680	1250	650	170	100	600	400	450	300	800	2500	3500	100
1.20	< 1	8	15	20	< 20	25	43	43	não há dados				não há dados				
1.34	1	300	650	830	310	1350	2000	2300	10	18	60	1100	110	120	600	1000	800
1.47	2	45	100	200	3	90	1000	930	< 20	< 20	< 20	110	< 20	< 20	35	55	300

TABELA 07

TEOR MÉDIO DE ELEMENTOS PRINCIPAIS E SECUNDÁRIOS
EM DIVERSOS TIPO DE ROCHA

Fonte: KRAUSKOPF, 1982.

O cálcio é o metal alcalino mais comum das rochas, ocorrendo principalmente nos feldspatos cálcicos.

O sódio vem imediatamente após o cálcio em ordem de abundância nas rochas e, segundo COSTA(1968), é o mais comum de todos os cátions nas águas subterrâneas; esta sua abundância deve-se principalmente a três fatores:

- a.vasta distribuição dos minerais que lhe dão origem
- b.fraca estabilidade química destes minerais, razão pela qual são facilmente decompostos.
- c.solubilidade rápida e intensa de todos os seus compostos.

Além destes fatores, poderíamos acrescentar que, relativamente ao cálcio e magnésio, o sódio é mais abundante também devido aos fenômenos de adsorção química, que afeta principalmente, apesar de que nem sempre, os cátions bivalentes, como cálcio e magnésio.

A principal fonte de sódio está nos feldspatos plagioclásios sódicos.

O magnésio tem como maiores fornecedores a biotita (principalmente) seguida por hornblenda, granada e clorita. Ainda que se dissolva mais lentamente é mais solúvel que o Ca, tendendo a permanecer em solução quando este precipita.

O potássio é encontrado principalmente nos K-feldspatos, seguindo-se da biotita. Segundo COSTA(op.cit.), apesar de ocorrer de forma muito abundante nas rochas ígneas, pouco contribui para a salinização das águas subterrâneas, devido principalmente aos seguintes motivos:

1. alto índice de estabilidade química dos minerais que o contém

2. os sais de potássio formados são largamente utilizados pelas plantas
3. o potássio é facilmente adsorvido pelos minerais argilosos.

Assim, como podemos verificar, cátions são bastante abundantes, ficando os processos de salinização das águas subter-
râneas na dependência da disponibilidade dos ânions, conforme refe-
rido anteriormente.

CUSTÓDIO(1976), afirma que os três principais ânions encontrados nas águas subterrâneas, provêm de:

a. Ion Cloro

- Lixiviação de terrenos de origem marinha; as águas cogênicas e fósseis podem apresentar grandes quantidades;
- águas de chuva e sua concentração no terreno;
- mistura com águas marinhas em regiões costeiras;
- ataque de rochas, ainda que em geral o aporte seja muito pequeno por ser um elemento escasso na crosta da terra; muito localmente, no caso de depósitos evaporíticos ou através do ataque de certos minerais associados às rochas ígneas e metamórficas - sodalita , apatita, etc. - o aporte pode se tornar mais significativa;
- gases e líquidos associados a emanações vulcânicas;
- resíduos industriais.

b. Ion Sulfato:

- lixiviação de terrenos formados em ambientes de grande aridez ou em ambiente marinho;
- oxidação de sulfetos de rochas ígneas, sedimentares ou metamór-
ficas
- dissolução de gipsita e anidrita;
- concentração no solo da água de chuva;
- atividades urbanas , industriais e agrícolas.

DINIZ, J.A.O. O Aquífero Fissural...

c. Íon Bicarbonato

- dissolução do CO_2 atmosférico ou do solo;
- dissolução de calcários e dolomitos, ajudados pelo CO_2 e/ou ácidos naturais (húmicos, oxidação de sulfatos, etc.)
- hidrólise de silicatos, com ajuda do CO_2

No caso da concentração do íon cloro, no Nordeste do Brasil, de uma maneira geral, e principalmente na região Oeste de Pernambuco, sua única fonte possível seria pela concentração a partir da água de chuva.

Com relação aos sulfatos, somente os aportes oriundos da oxidação de sulfetos e dissolução de depósitos de gipsita, se existem, ocorrem de forma muito localizada. A sua principal fonte, ou pelo menos a de abrangência mais regional, é a concentração no solo da água da chuva. Como a sua concentração na água do mar, que é o ponto de partida de todo o ciclo hidrológico, é muito inferior à do cloro, a sua concentração na água da chuva também o será, até porque sua solubilidade é menor que a dele. Além do mais, um dos compostos solúveis que mais facilmente poderia ser formado por este íon, a gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), tem sua solubilidade fortemente diminuída na presença do cloro, pelo efeito do íon comum (CUSTÓDIO, 1976).

Devido a relativamente elevada pressão parcial do CO_2 no solo, as águas de precipitação adquirem aí um caráter ácido e são capazes de retirar dele produtos solúveis. Assim, as águas subterrâneas adquirem, em geral, uma composição bicarbonatada com maiores ou menores variações de salinidade, devido a disponibilidade e ao equilíbrio do CO_2 e com variações no conteúdo catiônico, devido ao tipo de rocha (CRUZ, 1985).

DINIZ, J.A.O. - O Aquífero Fissural...

- Segundo CUSTÓDIO(1976), se no aquífero não existem aportes de CO_2 (redução de sulfatos, redução de ferro e aportes magmáticos) o conteúdo em carbono dissolvido total ($\text{CO}_2 + \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$) permanece constante e muitas vezes o conteúdo em HCO_3^- é quase constante, visto que frequentemente este é o íon principal. Seus compostos são facilmente precipitáveis por concentração, por variação na pressão parcial do CO_2 , ou por efeito do íon comum.

Assim, na ausência de fatores externos, as águas subterrâneas, de uma maneira geral, não deveriam se apresentar tão fortemente mineralizadas. As causas que conduzem a esta mineralização acentuada, são (CRUZ, 1985):

1. descarga de poeira da terra pelos ventos na atmosfera
2. suprimento de sais do mar e superfície oceânica no ar atmosférico
3. atividades vulcânicas recentes
4. contaminação artificial da atmosfera por resíduos industriais

No caso do Nordeste brasileiro, especificamente no extremo Oeste de Pernambuco, somente os dois primeiros fatores devem ser considerados.

Segundo SILVA(1984), os processos deste aumento de salinização podem ser resumidos da segunda maneira:

Se a pluviometria é maior que a taxa de evapotranspiração haverá uma lixiviação contínua do solo e todos os sais existentes passam para o aquífero em graus de concentração tanto maior quanto menor for esta diferença, que depende do tipo de terreno.

DINIZ, J.A.O. - O Aquífero Fissural...

Quando a evapotranspiração real for maior que a pluviometria, a água da chuva não alcança os aquíferos subjacentes e os sais trazidos pela chuva se acumulam no terreno, podendo formar potentes crostas. Em alguns casos, com chuvas intensas, a água pode chegar ao aquífero, mas com uma concentração de sais muito elevada, uma vez que leva os sais acumulados por outras chuvas anteriores. Assim, existem variações nas salinidades das águas infiltradas de um ano a outro, segundo seja a variação pluviométrica anual.

Naqueles aquíferos onde o nível freático é profundo (grande espessura do solo para reter sais) e a permeabilidade é moderada, a água da chuva pode demorar alguns meses para atingir o aquífero. Neste caso, existe um efeito regulador que diminui as variações estacionais de concentração.

Se o nível freático é raso, não há tempo para este efeito regulador. Finalmente, se for muito raso, a água freática vai ser evaporada diretamente e produzir acumulação de sais no aquífero, uma vez que a água se evapora e os sais ficam no aquífero ou são retidos pelas plantas na superfície e depois devolvidos ao aquífero, quando estas morrem.

Afirma ainda SILVA (1984) que nos meios fissurados sem cobertura de solo, a água de chuva penetra com facilidade até grandes profundidades, evitando às vezes evaporação posterior.

Neste raciocínio de SILVA (op.cit.) há, ao nosso ver, uma clara contradição, pelo menos se formos aplicá-lo ao aquífero fissural ora em estudo; se os solos funcionam como uma "membrana de retenção de sais" e não ocorrem concentrações de sais no aquífero oriundas de sua própria evaporação, além de recarga direta através

DINIZ, J.A.O. - O Aquífero Fissural...

das fendas, a tendência dessas águas seria de diminuir progressivamente suas salinizações, o que não acontece.

A experiência nos tem mostrado que nos interregnos entre os finais do período chuvoso e as estiagens ocorre uma nítida queda nos níveis estáticos dos poços, que segundo ALBUQUERQUE (1970), baseado em dados obtidos na região dos Cariris Velhos-PB, é da ordem de 0,78 metros em média. Segundo este mesmo autor, acompanhando esta variação da profundidade do nível estático, corresponde uma variação média do resíduo seco 40% superior aos valores anteriores. Após o reinício da estação chuvosa, os valores do resíduo seco tendem a diminuir.

No item anterior, ao tratarmos das relações entre o manto de alteração e vazão específica, mostramos que existe uma relação direta entre estas duas variáveis, ou seja, o fluxo subterrâneo se processa também através deste manto.

Assim, onde não há uma boa cobertura do manto de alteração, devido aos níveis estáticos rasos (valor médio de 6,87m, com 60% das medidas apresentando valores situados até os 5,85 metros, no Oeste de Pernambuco), a evaporação direta ocorre e é muito importante. De qualquer forma, não se deve desprezar o papel salinizador do manto, através dos fenômenos de capilaridade e/ou através de sua lixiviação. Acreditamos apenas, que esta influência negativa é superada em muito por outra, ou seja, pela sua atuação como elemento de proteção a evaporação direta do aquífero.

Desta forma, como veremos no item a seguir, o manto de alteração das rochas apresenta uma influência inversa com o resíduo seco, ou seja, sua presença faz que os sólidos totais dissolvidos diminuam.

DINIZ, J.A.O. - O Aquífero Fissural...

Assim, os processos da progressiva salinização da água neste tipo de aquífero, tem gênese principalmente na evaporação direta do mesmo, com conseqüente enriquecimento de sais, e no nulo fluxo subterrâneo aí verificado, que aumenta a interação água-rocha, fornecendo cátions a uma solução aquosa já fortemente mineralizada em ânions trazidos de fontes externas.

Feita esta análise prévia, passaremos agora a discutir as relações encontradas na nossa área de trabalho, através da análise de regressão múltipla.

4.4.2 - A ANÁLISE DE REGRESSÃO MÚLTIPLA APLICADA AOS ASPECTOS
HIDROQUÍMICOS

4.4.2.1 - RELAÇÕES ENTRE RESÍDUO SECO E OS FATORES FÍSICOS.

Inicialmente vamos examinar as possíveis relações existentes entre o resíduo seco e os fatores físicos, sendo aqui incluídos a profundidade das entradas d'água, o número de entradas d'água, a vazão específica e o manto de alteração.

O valor do coeficiente de correlação encontrado na regressão múltipla foi de 0,37, enquanto que através do "F-test" ($v_1=4$ e $v_2=103$), podemos considerar os resultados seguros a um nível de significância de 99%. Os coeficientes de regressão parciais padronizados foram os seguintes:

$$B_1(\text{E.A.}) = 0,06$$

$$B_2(\text{N}^\circ \text{ E.A.}) = -0,13$$

$$B_3(Q/s) = -0,14$$

$$B_4(\text{manto}) = -0,28$$

No caso das profundidades das entradas d'água, o valor positivo, apesar de baixo, indica que o resíduo sêco, deve aumentar quanto mais profundas forem as fendas. Isto se explica facilmente, visto que para grandes profundidades, as fendas se apresentam via de regra mais fechadas, dificultando sobremaneira o fluxo subterrâneo e aumentando o tempo de contato água-rocha.

Conforme já visto anteriormente, para entradas d'água profundas a vazão específica apresenta-se reduzida, o contrário sucedendo para entradas d'água mais rasas. Esta relação aqui se apresenta inversa, ou seja, para fendas profundas temos altos resíduos sêcos e baixos valores da vazão específica. Dizendo de outro modo, a relação entre a vazão específica e o resíduo sêco, da mesma forma que entre a primeira e a profundidade das entradas d'água é inversa: aumentando uma a outra deve diminuir.

Entre o resíduo sêco e o manto de alteração, encontramos a mais forte correlação desta série. O valor negativo indica que, para elevadas espessuras do manto, o resíduo sêco deve diminuir. Apesar desta diminuição ser pequena, fica claro o papel deste manto de alteração na área, que é o de reduzir a salinização das águas e, como visto anteriormente, aumentar a vazão específica.

Após esta análise foi efetuada uma regressão simples entre o resíduo sêco e os fatores acima referidos, encontrando os seguintes resultados:

1. Entre o resíduo sêco e a profundidade das entradas d'água, a

so (B menor do que zero), a relação é direta, variando entre
 $] A - \infty [$.

Nos três casos acima, os valores do "t" de student calculado (0,36 no primeiro e terceiro e 0,93 no segundo), foram inferiores ao valor crítico tabelado para um nível de confiabilidade de 90% ("t" crítico = 1,29).

Na regressão entre o resíduo sêco e o manto, o coeficiente de correlação obtido foi de 0,11, sendo o valor do "t" de student calculado igual a 1,14, enquanto que o valor crítico de "t" (90% de confiabilidade) é de 1,29.

A curva que melhor se ajusta aos pontos é :

$$Y = B/X + A, \text{ sendo } A = 6,41 \text{ e } B = 2197,78$$

cujos limites são

$$\lim_{X \rightarrow 0} (B/X + A) \rightarrow \infty$$

e

$$\lim_{X \rightarrow \infty} (B/X + A) \rightarrow 0$$

Nestes casos, a relação possível é somente inversa, variando entre
 $] A - \infty [$ e nos mostra claramente que, mesmo que o manto cresça muito, sempre haverá salinização, enquanto que se o mesmo desaparecer, o resíduo sêco será fortemente aumentado.

A seguir, foi aplicada a regressão múltipla entre o resíduo sêco e os três tipos litológicos mais comuns, estudando-se também, as quatro variáveis acima (E.A., N° E.A., Q/s manto). Os resultados obtidos foram:

1. para os gnaisses, o coeficiente de correlação foi de 0,52, o teste "F" 5,40, mostrando que os valores são confiáveis a um nível de 99% ($v_1 = 4$ e $v_2 = 59$, sendo F-crítico = 5,05). Os coeficientes de regressão parciais padronizados foram:

DINIZ, J.A.O. - O Aquífero Fissural...

$$B_1(\text{E.A.}) = -0,07$$

$$B_2(\text{N}^\circ\text{E.A.}) = -0,12$$

$$B_3(\text{Q/s}) = -0,12$$

$$B_4(\text{manto}) = -0,47$$

Apesar da boa correlação, o valor negativo obtido para a profundidade das entradas d'água não parece confiável, devido a indicar uma correlação inversa entre esta variável e o resíduo seco.

No caso do número de entradas d'água a correlação tanto poderia ser negativa (diminuindo o resíduo seco por melhorar o fluxo subterrâneo) como direta, visto que, com o aumento de fendas, estamos aumentando a profundidade do poço (das entradas d'água). De qualquer forma, os valores são fortemente influenciados pela não separação das fendas dentro de dois intervalos, o primeiro até os 40 metros, e o segundo para valores superiores a esse.

Os valores negativos obtidos para os coeficientes parciais da vazão específica e do manto de alteração, concordam com os anteriormente encontrados, não merecendo maiores considerações, a não ser destacar os maiores valores (em módulo) obtidos.

2. No caso dos xistos, encontrou-se um coeficiente de correlação de 0,39 e um valor para o F-teste de 0,44, indicando que os resultados obtidos não tem significado estatístico ($v_1=4$ e $v_2=10$) os coeficientes de regressão parciais encontrados foram:

$$B_1(\text{E.A.}) = 0,37$$

$$B_2(\text{N}^\circ\text{E.A.}) = -0,20$$

$$B_3(\text{Q/s}) = -0,22$$

$$B_4(\text{manto}) = -0,47$$

Apesar de não ter significado estatístico, a relação direta entre resíduo sêco e profundidade nas entradas d'água nos parece mais real que a anteriormente encontrada.

3. Para os granitos, o coeficiente de correlação foi de 0,55, e o valor do F-teste de 2,10 ($v_1=4$ e $v_2=19$), estando muito próximo do valor crítico para um nível de confiabilidade de 95%, que é de 2,90. Os valores dos coeficientes de regressão parciais padronizados, foram:

$$B_1(\text{E.A.}) = 0,31$$

$$B_2(\text{N}^\circ\text{E.A.}) = 0,28$$

$$B_3(\text{Q/s}) = -0,29$$

$$B_4(\text{manto}) = -0,38$$

Como se pode ver, estes valores são concordantes com os demais já analisados.

É interessante notar que em todas as relações até agora analisadas, ficou patente a relação inversa apresentada entre o resíduo sêco e as variáveis vazão específica e manto de alteração.

A tabela 08 resume todas estas relações entre o resíduo sêco e os fatores físicos.

TABELA 08

RESUMO DAS RELAÇÕES OBTIDAS NA APLICAÇÃO DA REGRESSÃO MÚLTIPLA ENTRE O RESÍDUO SECO E OS FATORES FÍSICOS NO OESTE DE PERNAM - CO.

1. Análise por tipo de Rocha.	B ₁ (E.A.)	B ₂ (NºE.A.)	B ₃ (Q/s)	B ₁ (MANTO)	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO	F - TESTE *	
						Calc.	Crítico
a. Gnaisse	-0,07	-0,12	-0,12	-0,47	0,52	5,40	3,65
b. Xisto	0,37	-0,20	-0,22	-0,48	0,39	0,44	5,99
c. Granito	0,31	0,28	-0,29	-0,38	0,55	2,10	4,50
2. Análise da Região Total	0,06	-0,13	-0,14	-0,28	0,37	3,74	3,54

* Os valores críticos referem-se a um nível de confiabilidade de 99%.

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

4.4.2.2 - RELAÇÕES ENTRE O RESÍDUO SÊCO E OS PRINCÍPAIS ELEMENTOS QUÍMICOS

As relações existentes entre cada elemento químico analisado e o resíduo sêco total, via de regra apresentaram-se muito complexas, mostrando resultados comumente controversos, sem que houvesse qualquer causa aparente.

Inicialmente efetivamos uma regressão múltipla entre o resíduo sêco total e os principais íons (Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Na}^{2+} + \text{K}^+$, Cl^- , SO_4^- e HCO_3^-). O íon sódio foi analisado juntamente com o potássio devido a aparecerem frequentemente determinados conjuntamente nas análises químicas. De qualquer forma, isto não deve alterar significativamente os resultados obtidos, visto que os teores do potássio são frequentemente muito reduzidos.

Os coeficientes de regressão parciais padronizados obtidos foram:

$B_1(\text{Ca})$	=	0,314
$B_2(\text{Mg})$	=	0,203
$B_3(\text{Na+K})$	=	0,337
$B_4(\text{Cl})$	=	0,174
$B_5(\text{SO}_4)$	=	0,09
$B_6(\text{HCO}_3)$	=	0,017

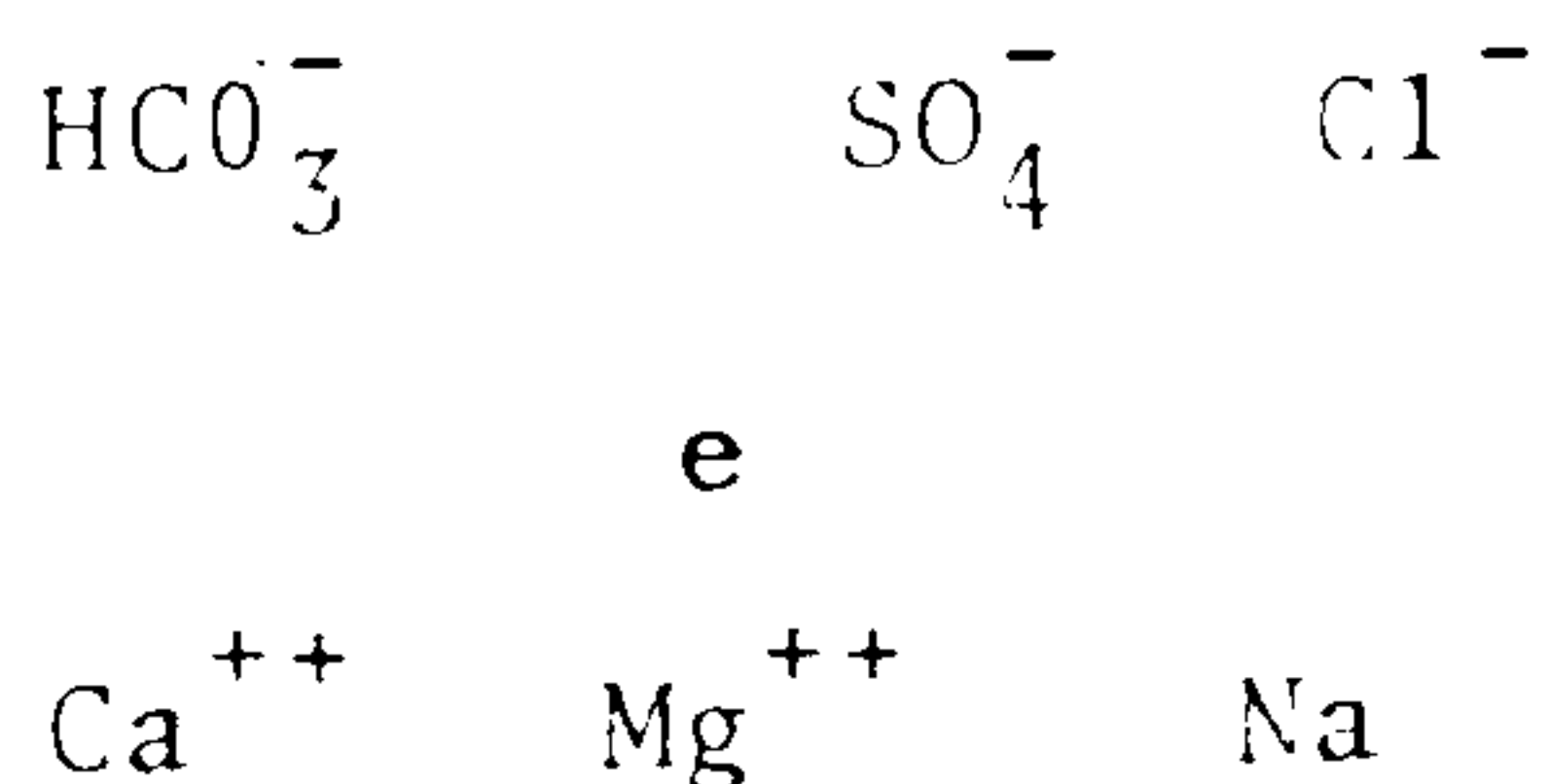
O coeficiente de correlação encontrado foi de 0,99 enquanto que através do teste de significância (F-teste) obteve-se um valor de 762,45, muito superior ao valor crítico (nível de confiabilidade de 99%) tabelado com 6 e 101 graus de liberdade, respectivamente.

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

Segundo CUSTÓDIO(1976), as águas subterrâneas tendem a aumentar sua mineralização até ir se saturando os diferentes íons. Entre os ânions inicialmente satura-se o HCO_3^- , que já se encontrava presente desde o início da infiltração, posteriormente satura-se o SO_4^- , enquanto que o íon cloro normalmente nunca chega a saturar. Entre os cátions, inicialmente ocorre a saturação do íon cálcio, mais dificilmente o magnésio, enquanto o sódio não chega a saturar normalmente.

Assim, a água subterrânea pode adquirir uma composição diferente daquela da rocha pela qual circula, sendo esta diferença tanto maior, quanto mais longe se encontre do local de infiltração ou área de recarga; assim, rochas originalmente muito pobres em cloro e ricas em outros sais solúveis podem dar origem a águas predominantemente cloretadas, desde que se tenha passado tempo suficiente para atingir a saturação destes sais, permanecendo a sua concentração constante, enquanto que a concentração do cloro aumenta progressivamente.

Desta forma, a evolução normal das águas subterrâneas seria (CUSTÓDIO,1976):

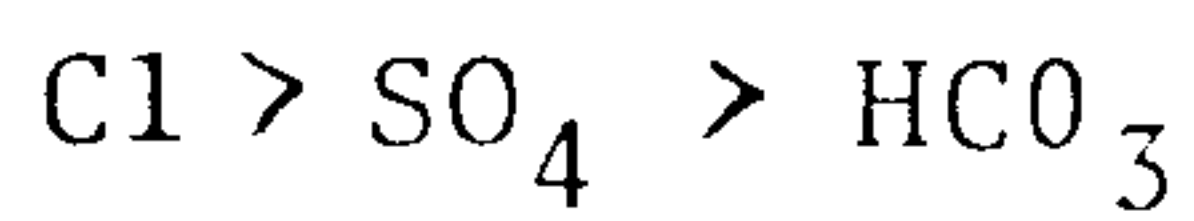


Ao se ir aumentando a concentração de sais aumenta também a força iônica, provocando um incremento das solubilidades, e aqueles íons que já se apresentavam saturados podem aumentar ligeiramente nas concentrações.

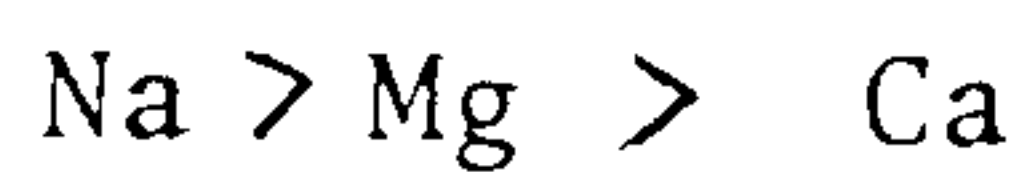
DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

íons mais facilmente precipitáveis por concentração, apesar de nunca crescerem muito, não se mantêm constantes.

SCHOELLER(1962), afirma que para um conteúdo total de íons inferior a 60 meq/l, sempre se têm que o ânion mais abundante é o HCO_3^- , e que acima dos 360 meq/l sempre se têm:

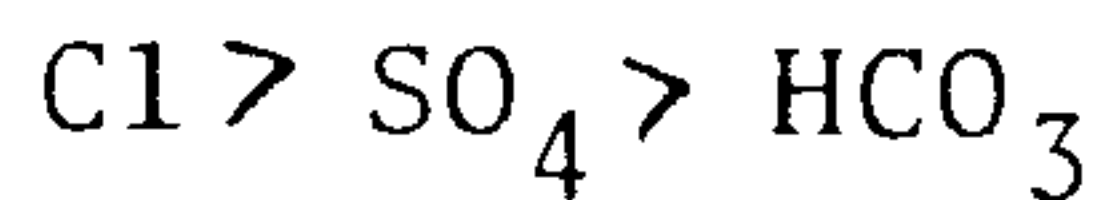


e



Na regressão múltipla aqui efetuada, as sequências seriam as seguintes:

1. Para os ânions:



2. Para os cátions



A sequência aniônica apresenta-se perfeitamente concordante com as anteriores, enquanto que na sequência catiônica a única discrepância é com relação a posição dos íons Ca e Mg.

O índice de desequilíbrio entre cloretos e alcalinos ou índice de variação de bases (icb) é dado por(CUSTÓDIO, 1976):

$$\text{icb} = \frac{r\text{Cl} - r(\text{Na} + \text{K})}{r\text{Cl}}$$

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

Segundo CUSTÓDIO (op.cit.), um aumento do valor do icb indica uma variação de bases de endurecimento de água, enquanto que uma diminuição indica uma variação de bases de abrandamento. Segundo este mesmo autor, esta relação é quase sempre negativa em águas relacionadas com terrenos plutônicos, em especial com terrenos graníticos.

No caso da região Oeste de Pernambuco, esta relação será via de regra positiva, devido as altas concentrações apresentadas pelo cloro.

Esta relação positiva (e sempre crescente com o aumento do resíduo sêco), nos mostra a tendência de endurecimento das águas desta região, a qual está associada principalmente a Ca e Mg.

Ainda segundo CUSTÓDIO (op.cit.), as variações de bases podem alterar a evolução dos cátions, mudando a posição do Ca^{++} e do Mg^{++} nas sequências de abundância dos íons.

Assim, a sequência catiônica obtida para a região Oeste de Pernambuco apresenta, em relação as outras sequências descritas, uma alteração nas posições relativas entre o Ca^{++} e o Mg^{++} , originada pelo fenômeno de variação de bases.

Posteriormente, os valores do resíduo, sêco foram divididas em intervalos de classes com intervalos de 1000 ppm, com a finalidade de se estudar a evolução geoquímica destas águas. Nossa intenção era a de obter coeficientes de regressão parciais que nos indicassem a contribuição relativa de cada íon nas diversas classes de resíduo. Assim, esperávamos encontrar, p.ex., coeficientes parciais crescentes para o cloro, a medida que aplicássemos a regressão múltipla em crescentes classes de resíduo.

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

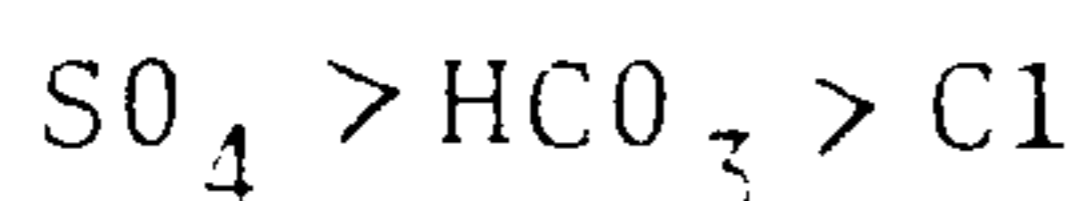
Se o resultado obtido no geral foi bom, o mesmo não se deu em particular, ou seja, entre a primeira e a última classe de resíduo os valores são crescentes, mas nos intervalos intermediários frequentemente nos deparamos com valores contraditórios, ora obtendo-se uma forte correlação positiva para um determinado elemento, enquanto que na classe seguinte este valor se invertia, apresentando-se fortemente negativo. Isto ocorreu devido aos valores de cada intervalo apresentarem-se muito influenciados por causas externas, advindas da localização do poço (clima, tipo de rocha etc.), ou então devido a regressão múltipla não se ajustar bem à análise química (HONIK, informação verbal).

Assim, vamos discutir os resultados obtidos com a regressão múltipla aplicada no primeiro intervalo de resíduo seco (0,0-1000 ppm) e compará-la com o resultado final, já mostrado anteriormente.

Os coeficientes de regressão parciais (intervalo de resíduo entre 0,0 - 1000 ppm) foram:

B_1 (Ca)	=	0,43	COEF. CORRELAÇÃO:	0,96
B_2 (Mg)	=	0,33	F - Teste:	Calc.: 35,96
B_3 (Na+K)	=	0,46	(99% confiabilidade) Crítico:	3,87
B_4 (Cl)	=	-0,08		
B_5 (SO ₄)	=	0,10		
B_6 (HCO ₃)	=	0,09		

A sequência aniônica forma-se :



ca importância do íon cloro no início da salinização.

É importante se notar como esses valores parecem confirmar a afirmação de SCHOELLER(1962) de que para valores muito baixos de resíduos sêco o íon dominante é o HCO_3^- .

Com nossos dados, para resíduos sêcos inferiores a 1000 ppm o HCO_3^- é o ânion dominante em 92,6% dos casos, enquanto que para resíduos sêcos até 500 ppm ele é o ânion superior em 100% dos casos.

Assim, com os cátions já disponíveis nas rochas, a mineralização das águas subterrâneas se inicia através do bicarbonato; com o aumento no grau de salinização destas águas, este íon (como também o sulfato) atinge rapidamente a saturação na solução (a menos que ocorram aportes de CO_2 ou fenômenos de oxidação de sulfatos), e a mesma se enriquece progressivamente em cloro, atingindo os altos valores de resíduo sêco observados.

Continuando as nossas investigações sobre os processos de salinizações destas águas subterrâneas, aplicamos o programa de regressão múltipla aos valores do resíduo sêco em cada município, visto que, se houvesse modificações oriundas do clima, estas deveriam ser esboçadas nos coeficiente de regressão, ao menos em termos mais regionais (entre o Sertão do Araripe e o Sertão do São Francisco). Infelizmente os resultados não nos pareceram reveladores de qualquer influência, mostrando valores aparentemente não relacionáveis, conforme mostramos abaixo:

1. Sertão do Araripe:

a. Município de Curicuri

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

B₁ (Ca) = 0,248
B₂ (Mg) = 0,316
B₃ (Na+K) = 0,361
B₄ (Cl) = 0,125
B₅ (SO₄) = -0,006
B₆ (HCO₃) = -0,003

COEF. CORRELAÇÃO = 0,99
F-Teste: Calc = 551,86
Crítico = 3,47

b. Município de Parnamirim

B₁ (Ca) = 0,475
B₂ (Mg) = 0,274
B₃ (Na+K) = 0,245
B₄ (Cl) = 0,076
B₅ (SO₄) = -0,10
B₆ (HCO₃) = 0,039

COEF. CORRELAÇÃO = 0,99
F-Teste: Calc.: 136,56
Crítico: 4,10

2. Sertão do São Francisco

a. Município de Petrolina

B₁ (Ca) = 0,320
B₂ (Mg) = 0,059
B₃ (Na+K) = 0,337
B₄ (Cl) = 0,281
B₅ (SO₄) = 0,070
B₆ (HCO₃) = 0,008

COEF. CORRELAÇÃO = 0,98
F-Teste: Calc: 67,49
Crítico: 4,46

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

b. Município de Santa Maria da Boa Vista

B ₁ (Ca) =	0,413	
B ₂ (Mg) =	0,276	COEF. CORRELAÇÃO= 0,99
B ₃ (Na+K) =	0,512	F - Teste: Calc.: 662,65
B ₄ (Cl) =	-0,189	Crítico: 6,37
B ₅ (SO ₄) =	0,026	
B ₆ (HCO ₃) =	-0,014	

Como se pode ver, esses valores pouco nos dizem sobre prováveis variações advindas do clima, principalmente porque as águas já estão fortemente mineralizadas e a atuação relativa de cada íon deve ser a mesma, ou seja, o cloro deve ser o ânion dominante, enquanto entre os cátions deve prevalecer o Na.

Para o valor negativo do coeficiente de regressão parcial encontrado para o cloro no município de Santa Maria da Boa Vista não encontramos explicação satisfatórias; todos os demais valores nos parecem normais, apenas devendo-se destacar os mais altos valores dos coeficientes parciais do Ca e Mg sobre Na+K encontrados no município de Parnamirim; também neste município o valor do coeficiente do HCO₃ é relativamente elevado, se comparado com o restante da área. Assim, nos parece possível supor que neste local as águas subterrâneas se apresentem com dureza mais elevada que o restante da região.

Na análise por tipo litológico, encontramos os seguintes valores para os coeficientes de regressão parciais padronizados:

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

1. Para os gnaisses

B₁ (Ca) = 0,30
B₂ (Mg) = 0,22
B₃ (Na+K) = 0,35
B₄ (Cl) = 0,17
B₅ (SO₄) = -0,008
B₆ (HCO₄) = 0,0034

COEF. CORRELAÇÃO = 0,99
F - Teste Calc.: 613,64
Crítico: 3,12

2. Para os Xistos

B₁ (Ca) = 0,14
B₂ (Mg) = 0,11
B₃ (Na+K) = 0,22
B₄ (Cl) = 0,53
B₅ (SO₄) = 0,03
B₆ (HCO₃) = 0,007

COEF. CORRELAÇÃO = 0,99
F - Teste Calc.: 118,47
Crítico: 6,37

3. Para os Granitos

B₁ (Ca) = 0,50
B₂ (Mg) = 0,25
B₃ (Na+K) = 0,38
B₄ (Cl) = -0,11
B₅ (SO₄) = 0,031
B₆ (HCO₃) = -0,027

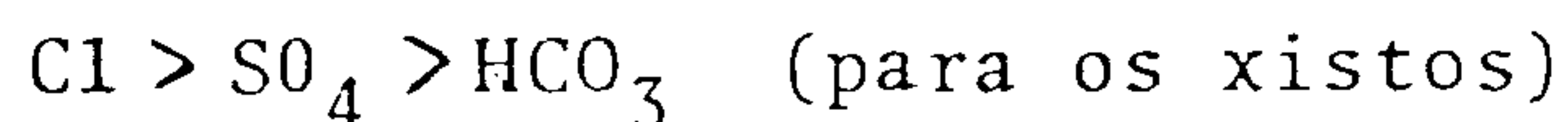
COEF. CORRELAÇÃO = 0,99
F - Teste Calc.: 213,40
Crítico: 4,10

Para os gnaisses e xistos a sequência catiônica obtida foi:

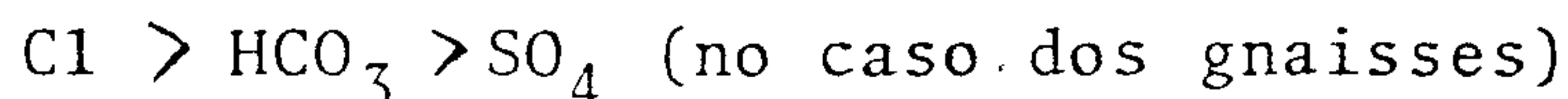
Na Ca Mg

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

e a sequência aniônica é:



e



Como se pode ver, as mesmas apresentam uma evolução semelhante àquela obtida anteriormente, ao tratarmos os dados totais. As variações nas posições relativas do SO_4 e do HCO_3 representam apenas variações locais não merecendo maiores considerações.

No caso dos granitos, a sequência catiônica é:



enquanto que a sequência aniônica tornou-se:



Se compararmos esta sequência com aquela já obtida no intervalo de resíduos secos entre 0,0-1000 ppm, ou com a sequência de evolução normal das águas subterrâneas (CUSTÓDIO, 1976), veremos a grande semelhança existente entre elas.

Isto nos mostra a proximidade existente entre as águas dos granitos e as águas de salinização "primária", ou seja, as águas cujas mineralizações ainda não evoluíram a ponto de praticamente perderem as relações com as rochas que as contém.

Este resultado apenas tem corroborar o fato de que

DINIZ, J.A.O. - O Aquífero Fissural...

de amplo conhecimento entre aqueles que trabalham com águas subter-
râneas, de que as rochas ígneas (principalmente aquelas de constitui-
ção ácida e granulometria mais grosseira), normalmente fornecem
águas menos salinizadas.

Isto ocorre devido a um fraturamento mais aberto (ad-
vindo do seu posicionamento tectônico e de sua maior granulome-
tria), que facilita o fluxo subterrâneo e inibe a salinização.

A tabela 09 mostramos de forma resumidas todas as
relações discutidas neste ítem.

Para arrematar nossas conclusões, lançamos mão de
análise de agrupamentos ou cluster analyses.

4.4.3 - A ANÁLISE DE AGRUPAMENTO (CLUSTER ANALYSES)

Segundo DAVIS (1973), neste tipo de análise a clas-
sificação é feita pelo agrupamento de objetos ou variáveis dentro
de grupos mais ou menos homogêneos, de modo que as relações entre
os mesmos seja revelada.

Desta forma, se tivermos uma série de medidas de
resíduo seco (objetos), sobre cada uma delas poderemos medir diver-
sas características (variáveis). Assim, se tivermos "n" objetos e
medirmos "m" variáveis, os dados formam uma matriz "n x m". Entre
cada par de objetos (ou de variáveis) podemos efetuar várias medi-
das de semelhança, como o coeficiente de correlação ou o coeficien-
te de distância.

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

Para melhor entendermos este coeficiente de distância, devemos imaginar os dados como coordenadas espaciais presentes em um espaço imaginário definido como o "espaço das variáveis". Assim, quando o coeficiente de distância for pequeno entre dois valores, significa que suas coordenadas são próximas, ou seja, que há uma semelhança entre eles.

Este coeficiente de distância pode ser padronizado no espaço Euclídeo (DAVIS, 1973) e escrito como:

$$d_{ij} = \sqrt{\frac{(X_{ik} - X_{jk})^2}{m}}$$

sendo

X_{ik} a k -ésima, a variável medida no objeto "i"

X_{jk} a k -ésima variável medida no objeto "j"

Ao todo, "m" variáveis são medidas sobre cada objeto e diz-se que " d_{ij} " é a distância entre o objeto "i" e o objeto "j".

Como já referido, uma baixa distância indica semelhança, enquanto que uma grande distância indica dissimilaridade

Logo após ter iniciado o agrupamento (ao se formar o primeiro par de alta semelhança), a semelhança é procurada entre este primeiro grupo formado e novos elementos, ou entre eles e novos grupos, de forma que todas as possíveis correlações entre os objetos (ou variáveis) sejam encontradas.

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

4.4.3.1 - O AGRUPAMENTO POR RESÍDUOS SÊCOS

Este tipo de análise, agrupando os dados por resíduos sêcos (objetos), foi feito apenas na classe de resíduos mais baixo, visto que esperávamos encontrar quais as características mais semelhantes nessas águas de "salinização primária" ou inicial.

No dendograma da fig. 51 encontra-se o resultado deste agrupamento. Na escala de abscissas estão os objetos (resíduos sêcos), enquanto que no eixo das ordenadas estão os coeficientes de distância.

Neste dendograma, são facilmente distinguíveis três famílias de águas, duas relativamente próximas (lado esquerdo e central da figura), relacionando-se através de um coeficiente de distância da ordem de aproximadamente 142 e a terceira (lado direito do dendograma), que relaciona-se com as outras duas a um nível de cerca de 186 (coef. de distância).

Logo acima do número do objeto (eixo das abscissas) estão as indicações do tipo de rocha, município, entradas d'água, vazão específica, manto de alteração e o número do poço. Estas variáveis foram colocadas aí na tentativa de descobrir quais delas seria agrupada juntas, ou seja, quais seriam importantes nas salinizações iniciais dos poços.

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL ...

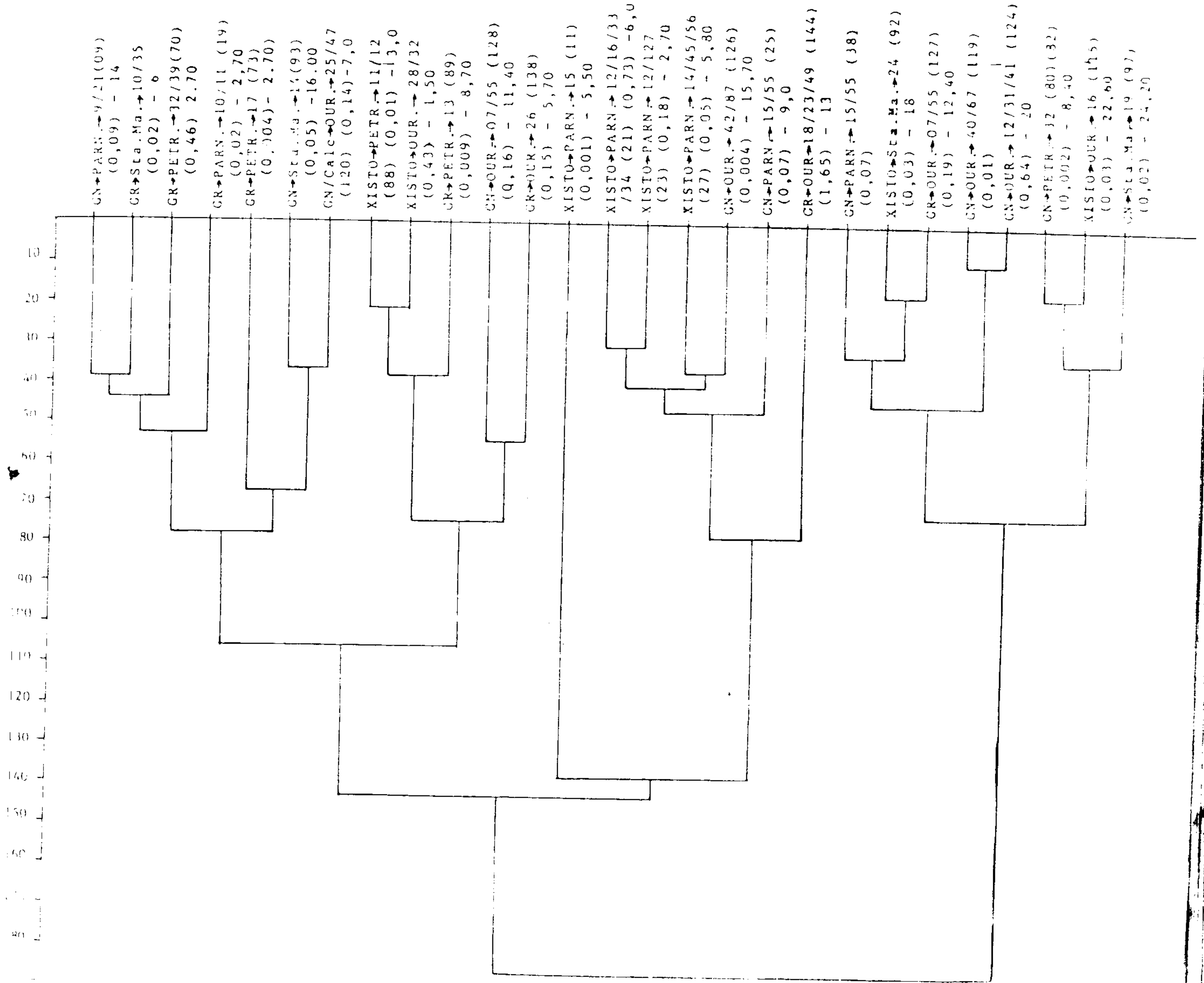


FIGURA - 51

Geologia - Diniz J.A.O. (in?) paper
 Geologia - Diniz J.A.O. (in?) paper

PROGRAMA DE CORRELACAO

AGRICULTURA - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
 INSTITUTO DE GEOLOGIA

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

Dentre todos os fatores acima, o que mais aparece correlacionado em pequenas distâncias é o tipo de rocha. Esta observação é clara pela análise da figura 51, e o resultado não poderia ser diferente, visto que, para baixas salinizações, se considerarmos a afirmação feita anteriormente sobre a dominância de um único ânion (HCO_3), a mineralização se dará em função dos cátions disponíveis, os quais se relacionam essencialmente com o tipo de rocha.

Assim, para valores baixos de resíduos seco, a água subterrânea deve adquirir uma composição bicarbonatada e a salinização relaciona-se com o tipo de cátion disponível, os quais dependem fundamentalmente do tipo de rocha. Dizendo de outra forma: "Se, em classes baixas de resíduo seco, quisermos estabelecer um zoneamento hidroquímico de águas subterrâneas em termos de similaridade destas águas, este zoneamento deve seguir preferencialmente por zonas litológicas semelhantes .

4.4.3.2 - O AGRUPAMENTO POR VARIÁVEIS

Este tipo de análise foi efetuada em todos os dados de análise química, com o intuito de se verificar quais dos elementos químicos eram similares em termos do coeficiente de distância. Pela inclusão na análise dos valores de resíduo seco, teremos uma idéia de qual ou quais dos íons mais se aproximam da salinização total. O dendograma da fig. 52 mostra essas feições.

Como se pode ver nesta figura, os íons mais comuns (Mg.HCO_3 , Na+K e SO_4) relacionam-se a uma pequena distância. O que nos mostra a frequência ou a importância dos íons na sa-

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

linização das águas subterrâneas.

Logo após a este agrupamento inicial, a maior similaridade obtida é entre o cálcio e o conjunto formado anteriormente.

De todos os íons presentes, o cloro é o que apresenta um maior coeficiente de distância em relação aos demais, fato este, que reflete uma concentração posterior, quando a solução já se encontrava saturada dos outros elementos.

É interessante se notar nesta figura, o relacionamento do resíduo seco total com cada elemento químico.

Como já era de se esperar, o resíduo seco total mantém uma distância relativamente grande entre si e qualquer elemento químico analisado.

Se observarmos a tabela 10 poderemos verificar o valor do coeficiente da distância entre cada elemento químico e o total de sólidos dissolvidos. Assim, o resíduo seco relaciona-se inicialmente com o SO_4 , seguindo-se o Na+K, Mg, HCO_3 , Ca, por último o cloro.

Isto nos mostra a importância ou constância de cada um destes elementos na mineralização final das rochas. O maior coeficiente de distância obtido entre o resíduo seco e o cloro, mais uma vez nos vem mostrar a importância secundária do cloro na salinização das águas subterrâneas, isto é, este não é um elemento constante em todos os níveis de salinização, encontrando-se apenas fortemente concentrado em altos valores

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...

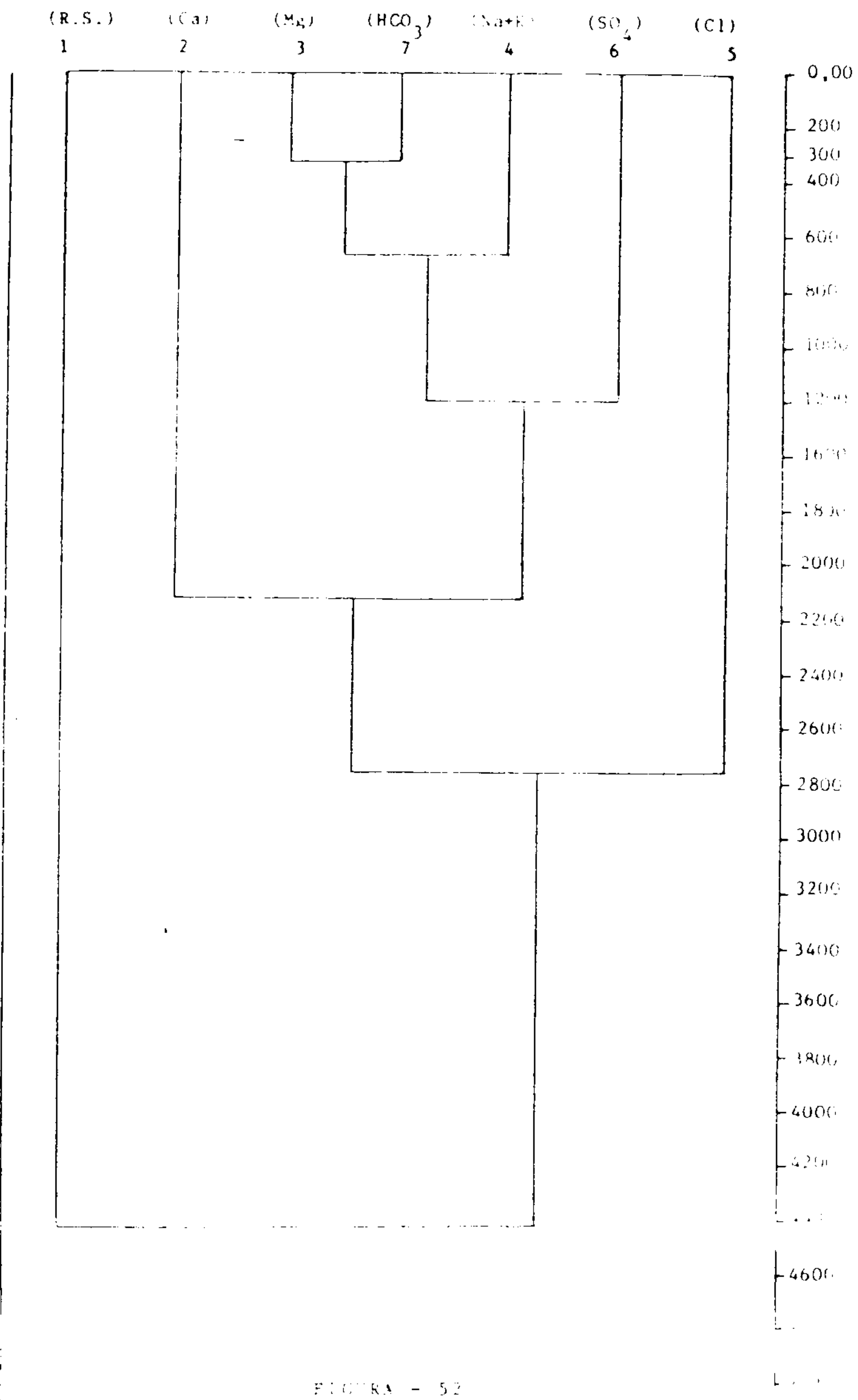


FIGURA - 52

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

TABELA 10

MATRIZ DE SIMILILARIDADE DO AGRUPAMENTO
POR VARIÁVEL

R.S.	Ca 2	Mg 3	Na+K 4	SO ₄ 5	Cl 6	HCO ₃ 7
R.S.	5123.8560	5053.4310	4636.8770	3364.2930	5136.6740	5123.0810
Ca	.0000	2334.2440	2499.2130	3022.6730	1411.2400	2518.4920
Mg	5053.4310	2334.2440	.0000	2023.1390	995.5035	320.1577
Na+K	4636.8770	2499.2130	641.7845	0000	1298.9420	681.7228
SO ₄	3364.2930	2023.1390	1572.1860	.0000	2373.0590	2083.3100
Cl	5136.6740	1411.2400	1298.9420	2373.0590	.0000	1171.8740
HCO ₃	5123.0810	2518.4920	681.7228	2083.3100	1171.8740	.0000

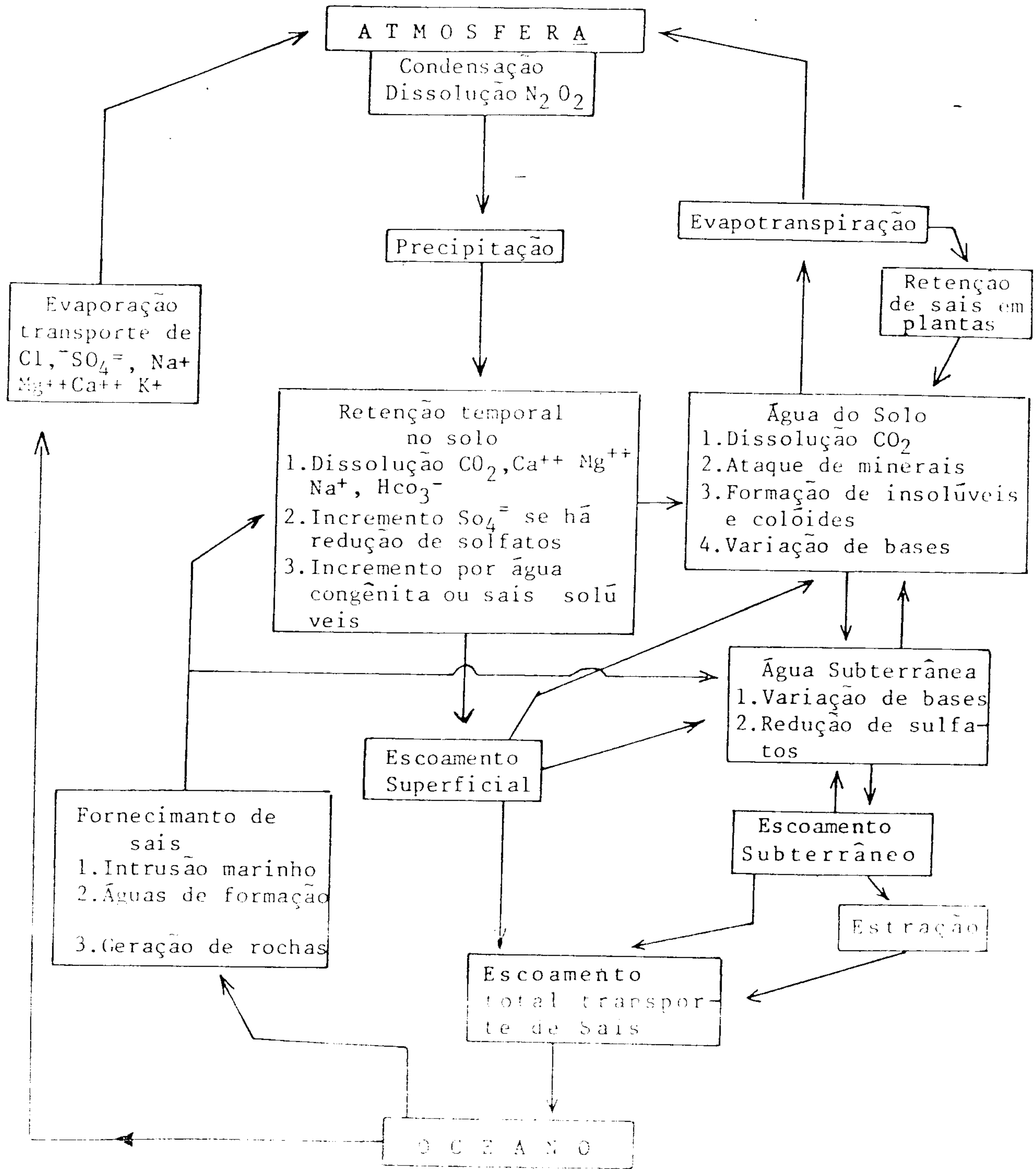


FIGURA - 33

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

do resíduo sêco, como consequência de sua elevada solubilidade.

Para finalizar, apresentamos na fig. 53 o esquema do ciclo geoquímico conjunto das águas superficiais e subterrâneas na crosta da terra, que mostra de forma resumida tudo que foi aqui discutido.

4.4.4 - ANÁLISE DE TENDÊNCIA DOS VALORES EM RESÍDUO SÊCO

Nas figuras seguintes (54 a 84) estudamos as variações regionais dos valores do resíduo sêco, inicialmente para cada município e a seguir em toda a região.

De uma maneira geral, os valores apresentam - se irregularmente distribuídos, de forma semelhante as variações apresentadas pelas vazões específicas. Nas figuras 54, 59, 64, 69, 74 e 79 e nos respectivos blocos-diagrama (figs. 55, 60, 65, 70, 75 e 80), mostra-se esta feição. Assim, o caráter fortemente heterogêneo do "aquífero fissural" fica patente, quer no tocante à produtividade dos poços, quer em relação a qualidade de suas águas. Apesar disto, algumas observações de caráter mais amplo, regional, podem ser feitas, conforme veremos a seguir.

Se analisarmos as superfícies de tendência caso a caso teremos.

1. No município de Afrânio, de uma maneira geral os valores apresentam-se crescentes na direção E-W, como pode ser

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

visto no mapa de tendência da fig. 56 e no bloco diagrama da fig. 57. Esta variação apresenta-se de forma geral, aproximadamente contrária à variação apresentada pela vazão específica. Enquanto que aqui os valores apresentam-se crescentes na direção ESE, os valores da vazão específica diminuem nesta mesma direção. Apesar disto, esta correlação não é perfeita, como pode ser visto pela comparação das figs. 21 e 56, que mostram direções quase perpendiculares entre suas linhas de isoteor. Isto, de qualquer forma, já poderia ser esperado, pois através de todos os testes feitos anteriormente para se correlacionar estas duas variáveis (regressão múltipla e simples) os coeficientes obtidos foram geralmente baixos, indicando que a correlação de fato existe, mas geralmente não é muito forte.

No mapa de resíduos da figura 58 nota-se uma região Central apresentando baixos valores, sendo o mínimo absoluto obtido no Centro-Norte do município. Apesar de mostrar-se no geral contrário à variação dos valores da vazão específica (fig. 22) nota-se que a maior anomalia negativa (menores valores de resíduo seco) corresponde aproximadamente a região de menores vazões específicas da fig. 2.2. Isto nos mostra que a correlação não é muito forte entre as duas variáveis, como também reflete a alta heterogeneidade do aquífero.

2. No caso do município de Petrolina, novamente encontramos uma forte heterogeneidade na distribuição dos valores do resíduo seco, sendo estes os mais elevados de toda a região (figs. 59 e 60). O mapa de tendência (figs. 61 e 62) mostra-se decrescente de NW para SE, com mesma direção que a vazão específica. Apesar disto, entre este município e o de Afrânio, as variações da vazão específica e do resíduo seco são semelhantes.

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

obtendo-se no primeiro altas vazões específicas e baixos resíduos secos, enquanto no segundo caso as situações se invertem.

O mapa de resíduos (fig. 63) reflete a irregularidade já citada na distribuição dos valores, mas apresenta o ponto máximo de resíduo seco no centro Sul da região.

3. No município de Santa Maria da Boa Vista os valores do resíduo seco são, juntamente com aqueles verificados em Petrolina, os mais elevados de toda a região, como pode ser visto na fig. 64 e bloco-diagrama correspondente (fig. 65).

A tendência geral dos valores é diminuir de NE para SW (fig 66 e 67).

No mapa de resíduos da fig. 68 nota-se a existência de uma porção central apresentando altos valores parcialmente coincidentes com a região de baixas vazões específicas, mostrada na fig. 32.

4. A distribuição das principais áreas de forte salinização de águas subterrâneas no município de Ouricuri é muito heterogênea mas, como pode ser visto nas figuras 74 e 75, os valores mais altos ocorrem preferencialmente a SW. É interessante se notar que, tanto na fig. 74 como na fig. 33 (vazão específica), parece haver uma divisão da área em duas partes. Esta divisão ocorre por um alinhamento das curvas de isoteores (linha de 3200 ppm na fig. 74 e linha de $9.10^{-2} M^3/h/m$ na figura 33).

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

A tendência geral (figs 76 e 77) destes valores é diminuir para Este, ficando as demais porções com valores aproximadamente homogêneos.

No mapa de resíduos da fig. 78, encontramos duas porções da área apresentando anomalias negativas de resíduos secos, a NE e a SSE. A anomalia negativa situada a NE na fig. 77, coincide aproximadamente com o "máximo" de vazões específicas obtidas neste município (fig. 37).

5. No município de Parnamirim, os valores do resíduo seco são relativamente baixos, se comparados com o restante da área apresentando-se a exemplo das demais regiões, irregularmente distribuídos (figs. 69 e 70).

A tendência geral de diminuição é no sentido NW como pode ser visto nos figs. 71 e 72.

No mapa de resíduos da fig. 73 notamos dois pontos de mínimos do resíduo seco, a NE e Sul da área. A anomalia negativa a NE correspondente a área de maiores valores de vazões específicas da fig. 43.

Ao analisarmos os mapas de contorno da região total (fig. 79 e bloco diagrama da fig. 80), veremos que aos pontos máximos de resíduos secos sempre correspondem no mapa de contorno das vazões específicas (fig. 44), áreas de baixas vazões específicas. Apesar disto, são frequentes ocorrerem áreas de baixas vazões específicas sem que elas correspondam baixos teores de sólidos totais. Isto reflete a forte heterogeneidade deste aquífero, que provoca a ocorrência de pontos de altos e baixos condutividades em certas condições locais, com um maior grau de variabilidade.

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

um corpo litológico diferente etc...

De qualquer forma, os mapas de tendência obtido com as duas variáveis (fig. 81 - resíduo seco e fig. 46 - vazão específica), mostram um comportamento inverso, o primeiro aumentando de Norte para Sul, enquanto que o segundo (vazão específica), diminui neste mesmo sentido. Isto nos mostra a correlação inversa entre as duas variáveis que, embora não sendo tão forte, existe de fato.

No mapa de resíduos da fig. 83 notamos a ocorrência de uma região de mínimos valores de resíduo seco, em uma área onde era de se esperar águas mais salinizadas, visto situar-se parcialmente incluída na região de extrema aridez descrita na fig. 49.

Como pode ser visto na fig. 11, a área acima referida situa-se principalmente nos domínios do maciço mediano de Pernambuco-Alagoas que, devido a sua constituição é base de migmatitos e granitos, não oferece um meio muito propício da salinização.

Embora este fato por si só talvez não seja capaz de provocar um efeito tão forte na redução da salinização, deve ser considerado como um dos mais influentes.

Os outros fatores influentes não foram aqui detectados, visto que aparentemente são aspectos locais, não se enquadrando em qualquer das situações analisadas durante todo este trabalho.

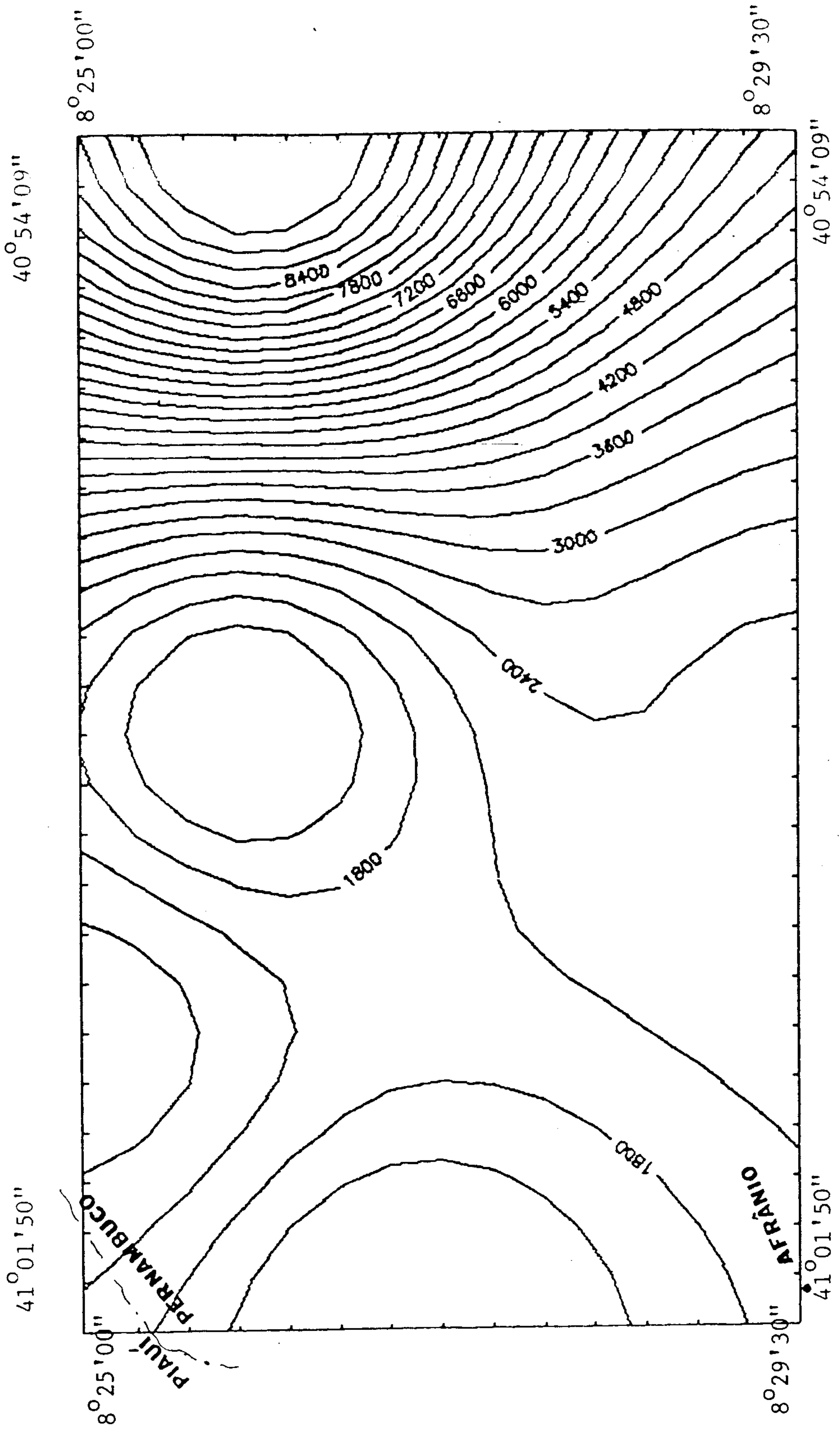


FIGURA - 54

MAPA DE CONTORNO DOS VALÔRES DE RESÍDUO
SÊCO
-MUNICÍPIO DE AFRÂNIO-

Coefficiente de correlação: 0,85

DINIZ J:A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL ...

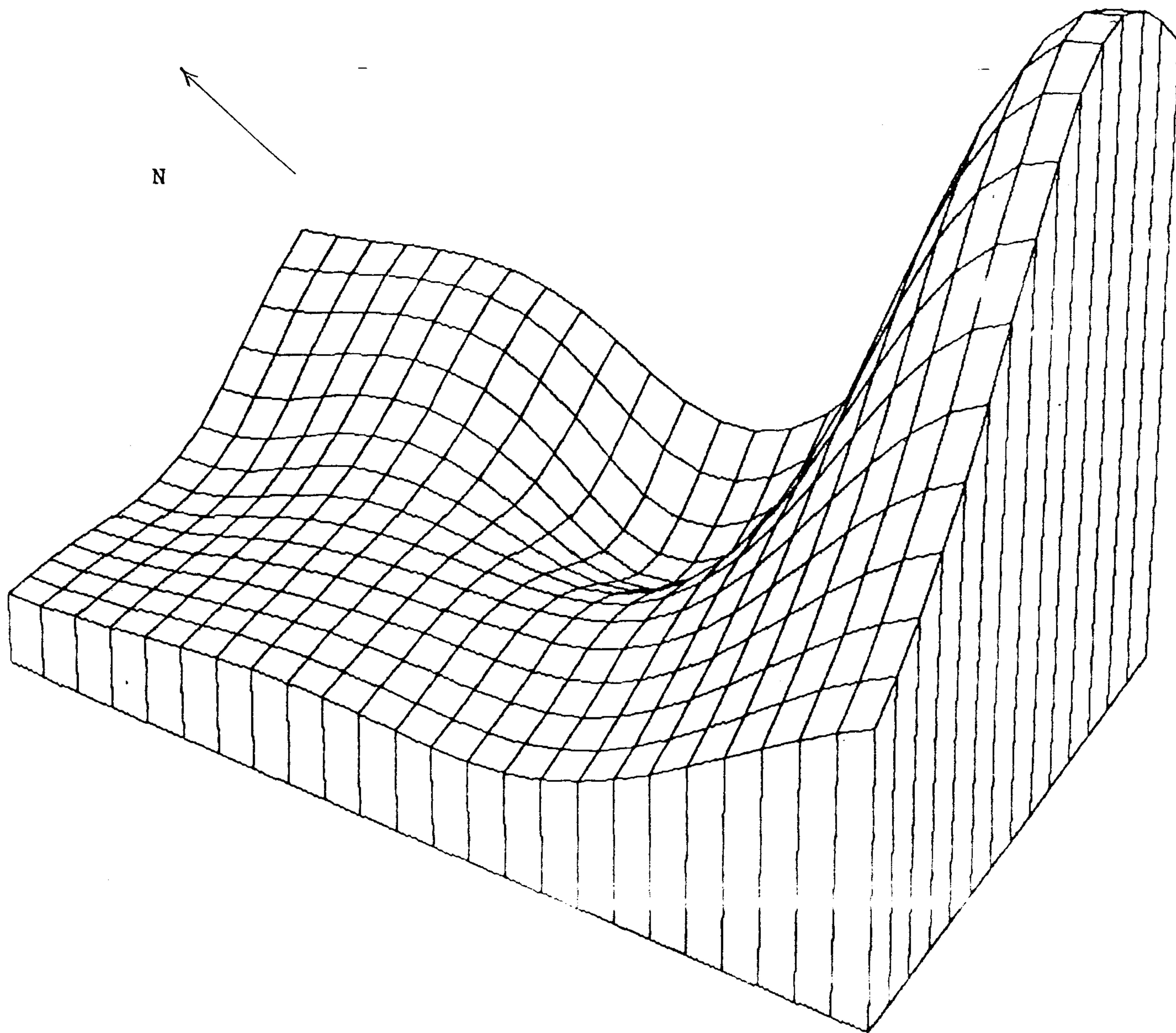


FIGURA - 55

BLOCO DIAGRAMA DAS MEDIDAS DE RESÍDUO SÊCO
-MUNICÍPIO DE ALFÂNIO-

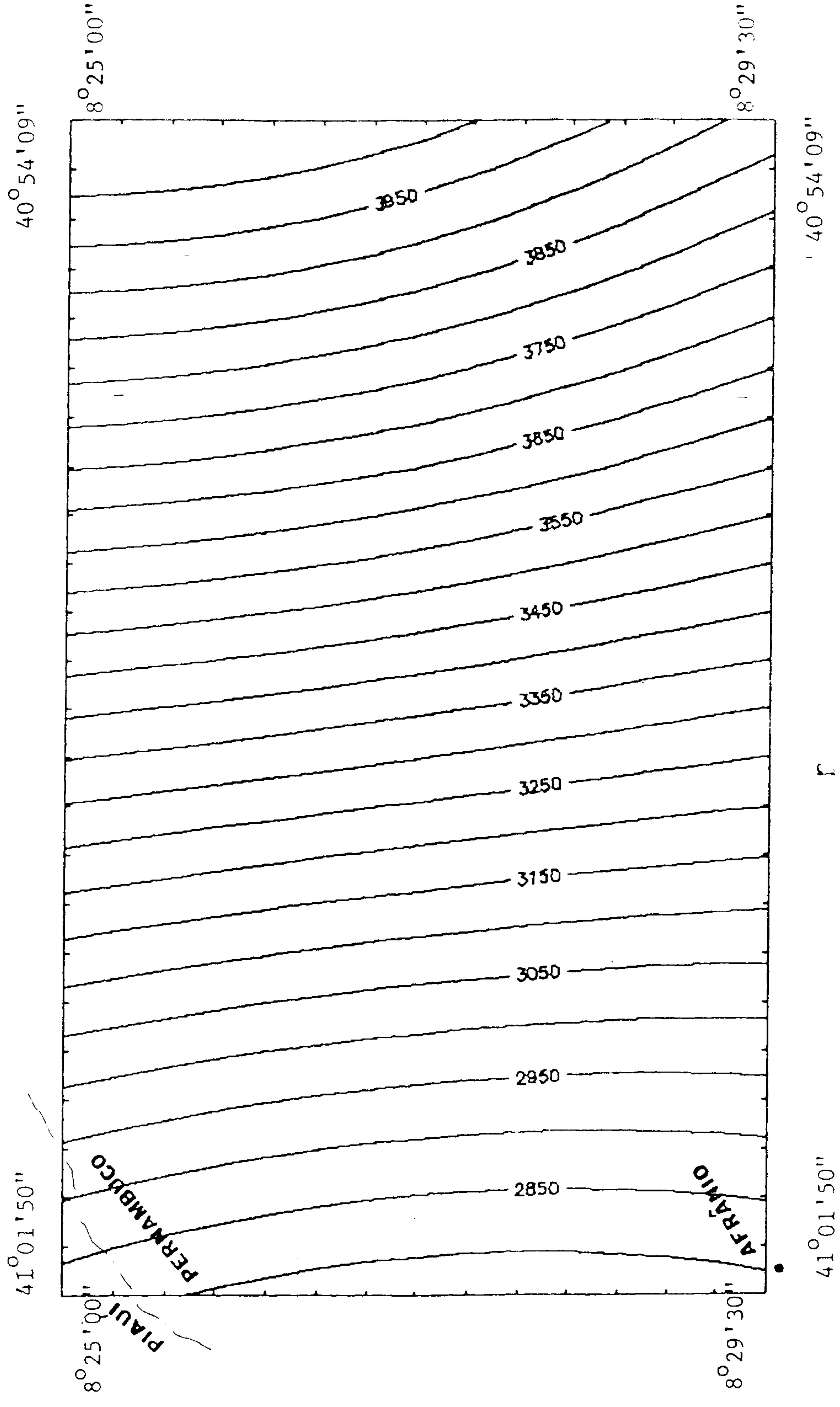


FIGURA - 56

MAPA DE TENDÊNCIA DO RESÍDUO SECO
 -MUNICÍPIO DE AFRÂNIO-

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...

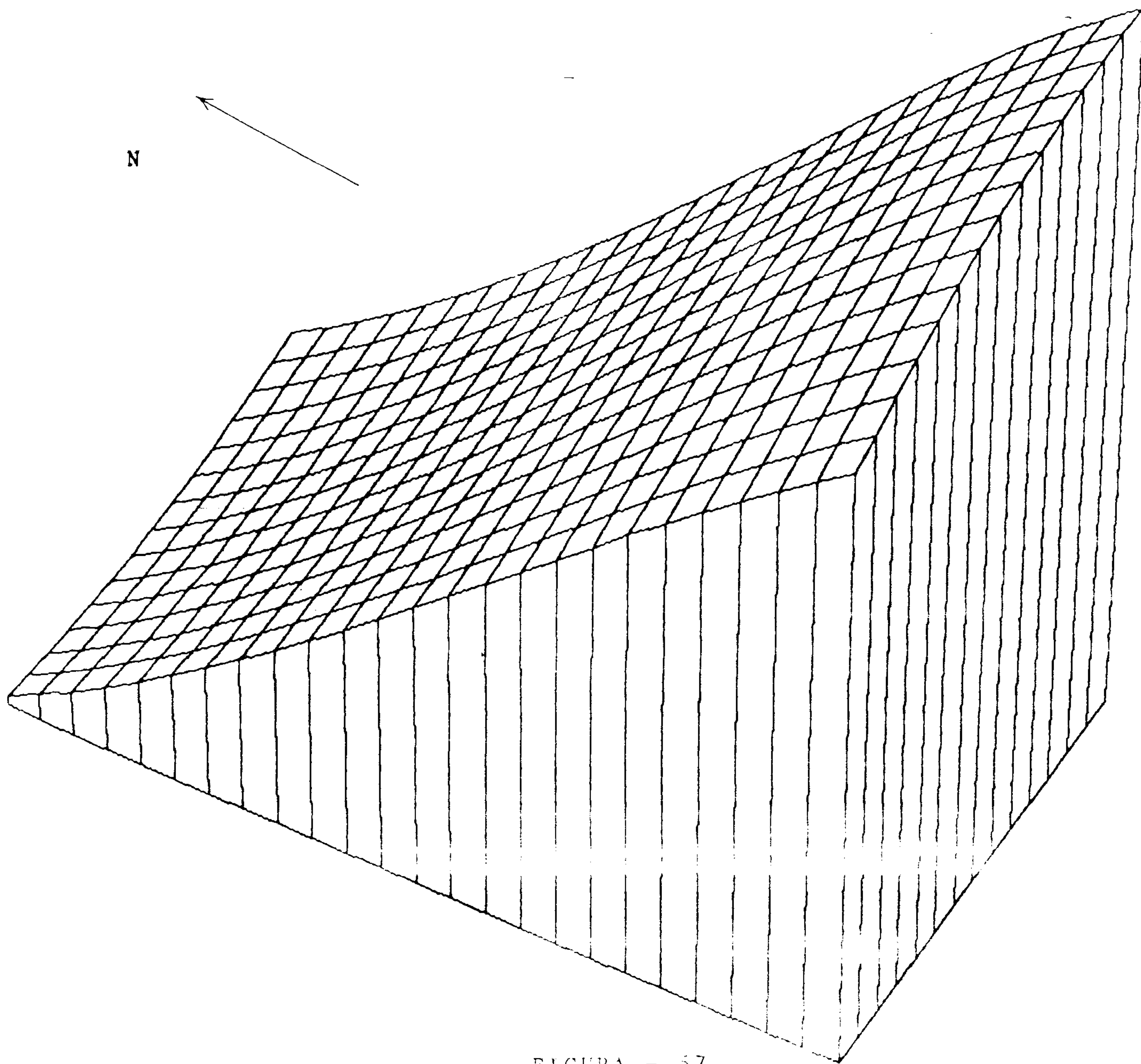


FIGURA - 57

BLOCO DIAGRAMA DA TENDÊNCIA DO RESÍDUO SÓCO
-SUJEITO DE APLICAÇÃO-

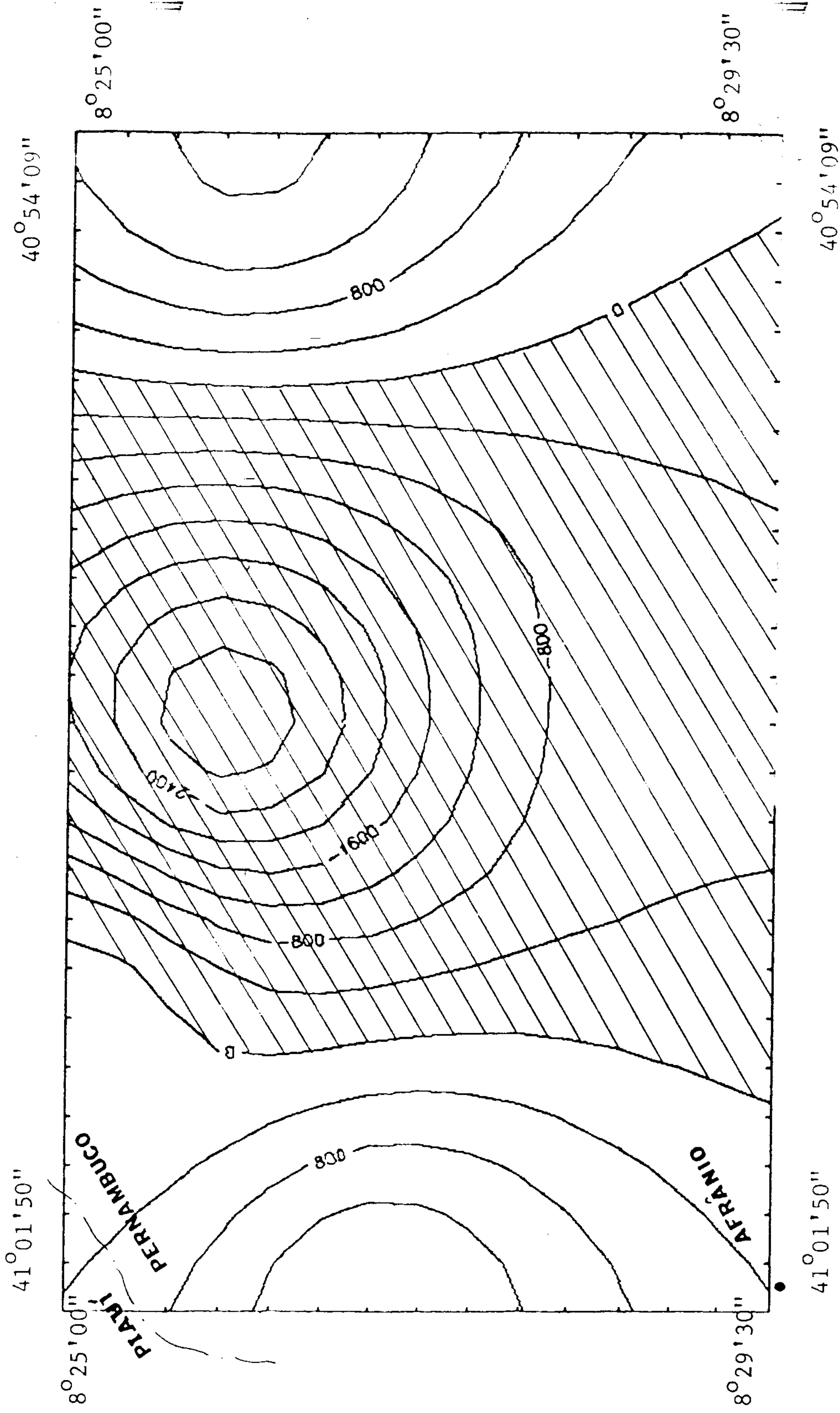



FIGURA - 58
 MAPA DE RESÍDUOS DOS VALORES DO RESÍDUO SECO
 -MUNICÍPIO DE AFRÂNIO-

 Anomalias negativa

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...

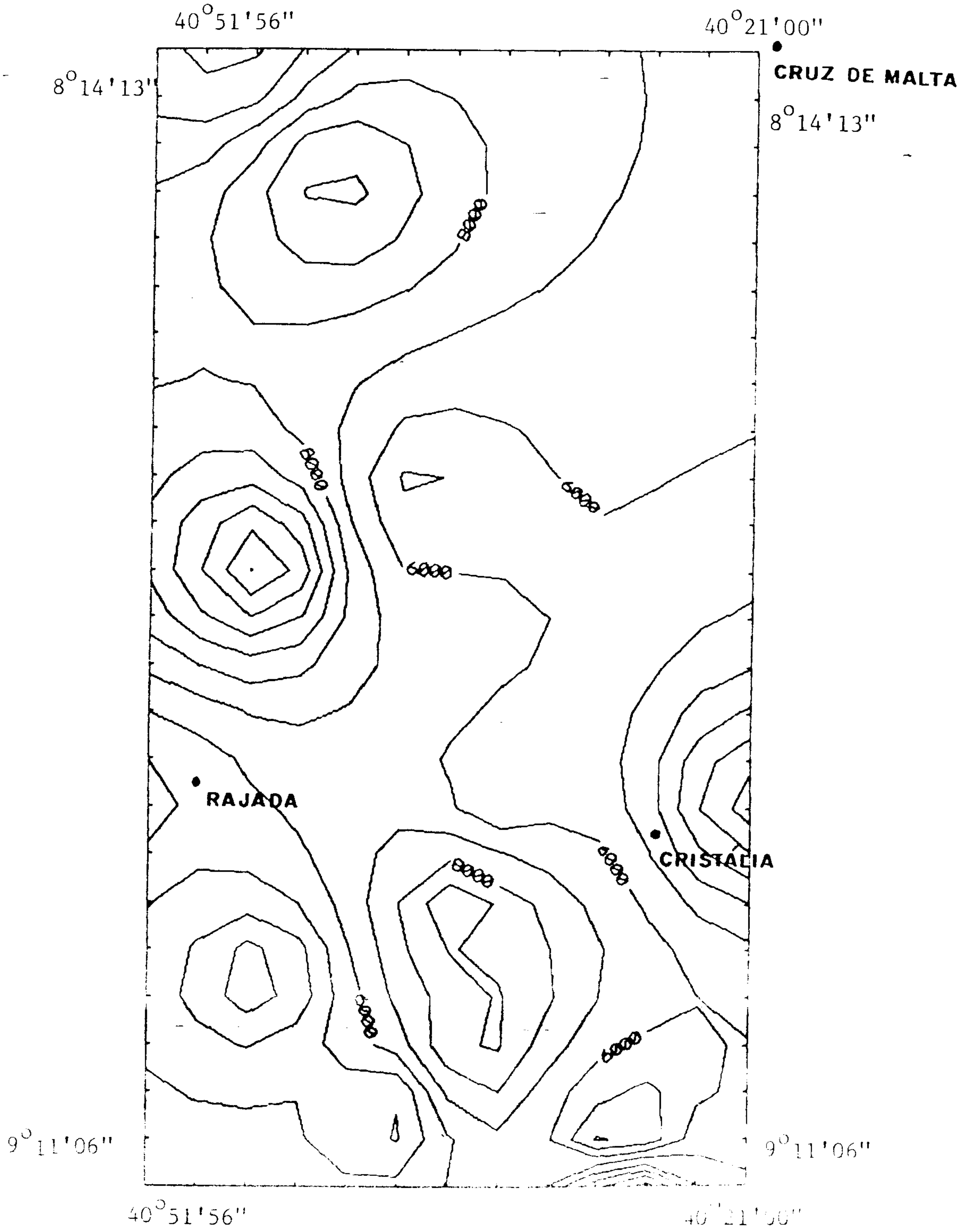


FIGURA - 79
PETROLINA

-MUNICÍPIO DE PETROLINA-

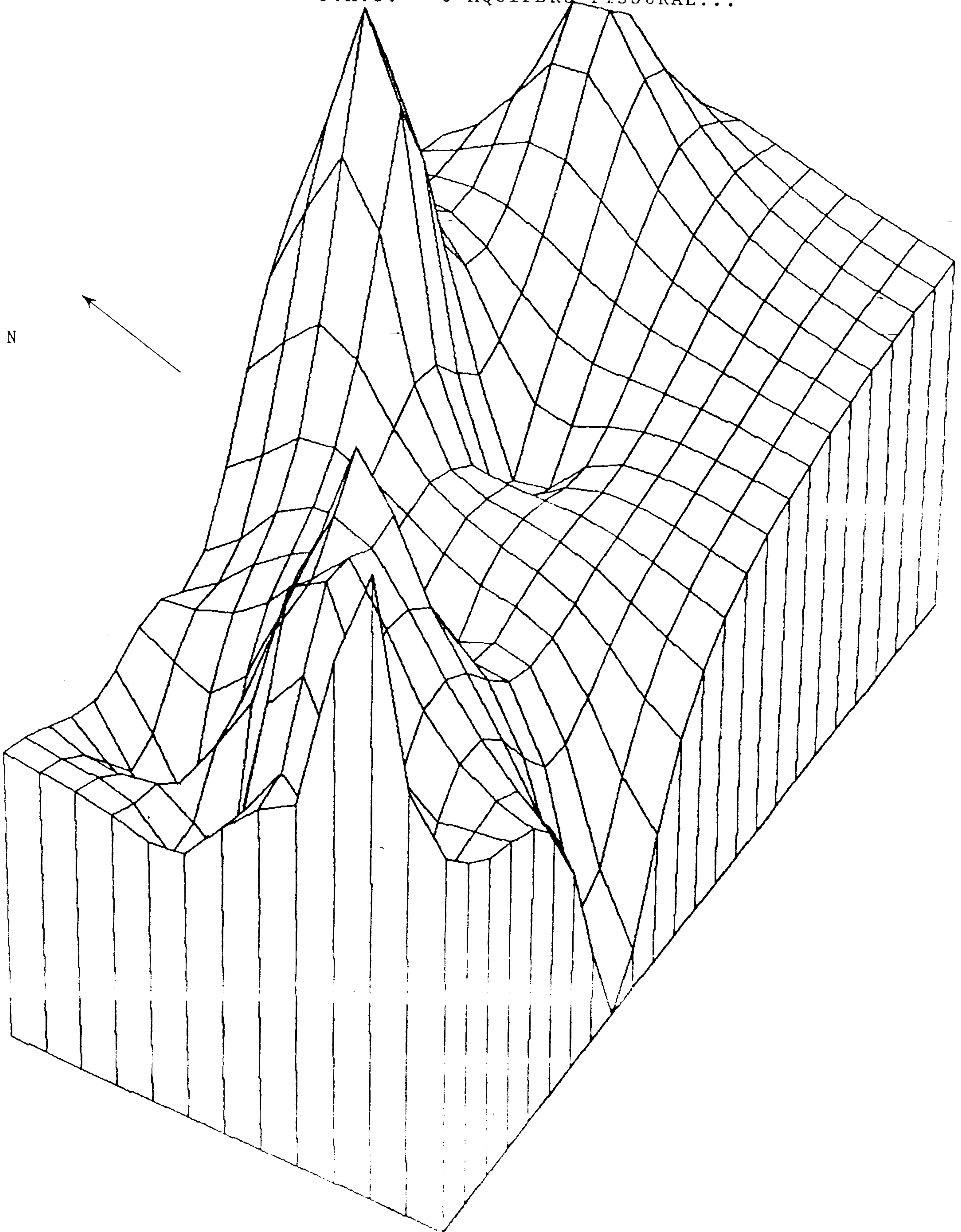
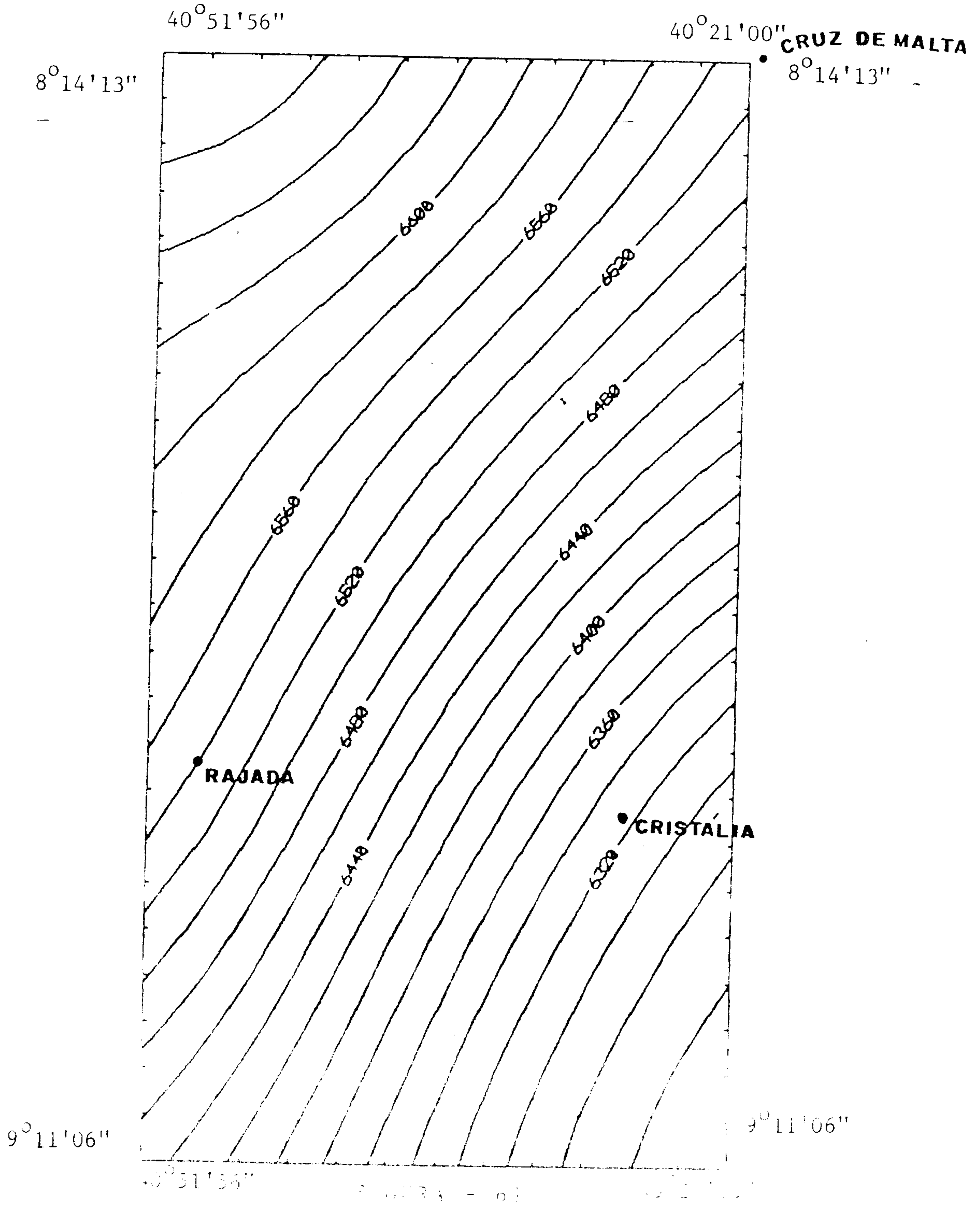


FIGURA - 60

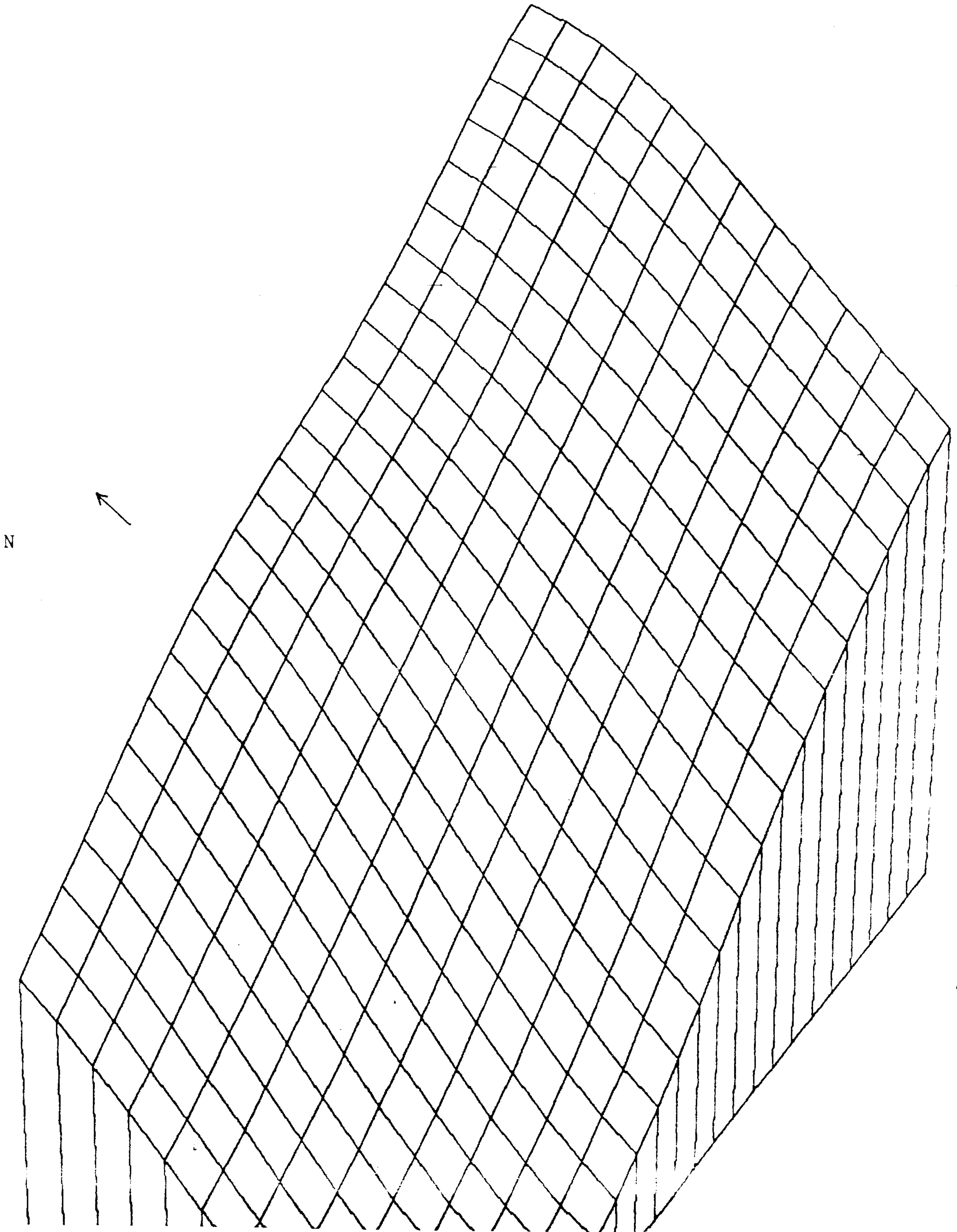
BLOCC DIAGRAMA DOS VALÓRES DOS RESERVÓRIOS

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...



MAPA DE TENDÊNCIA DOS VALORES DO RESÍDUO SECO
PETRÓLIA

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...



DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...

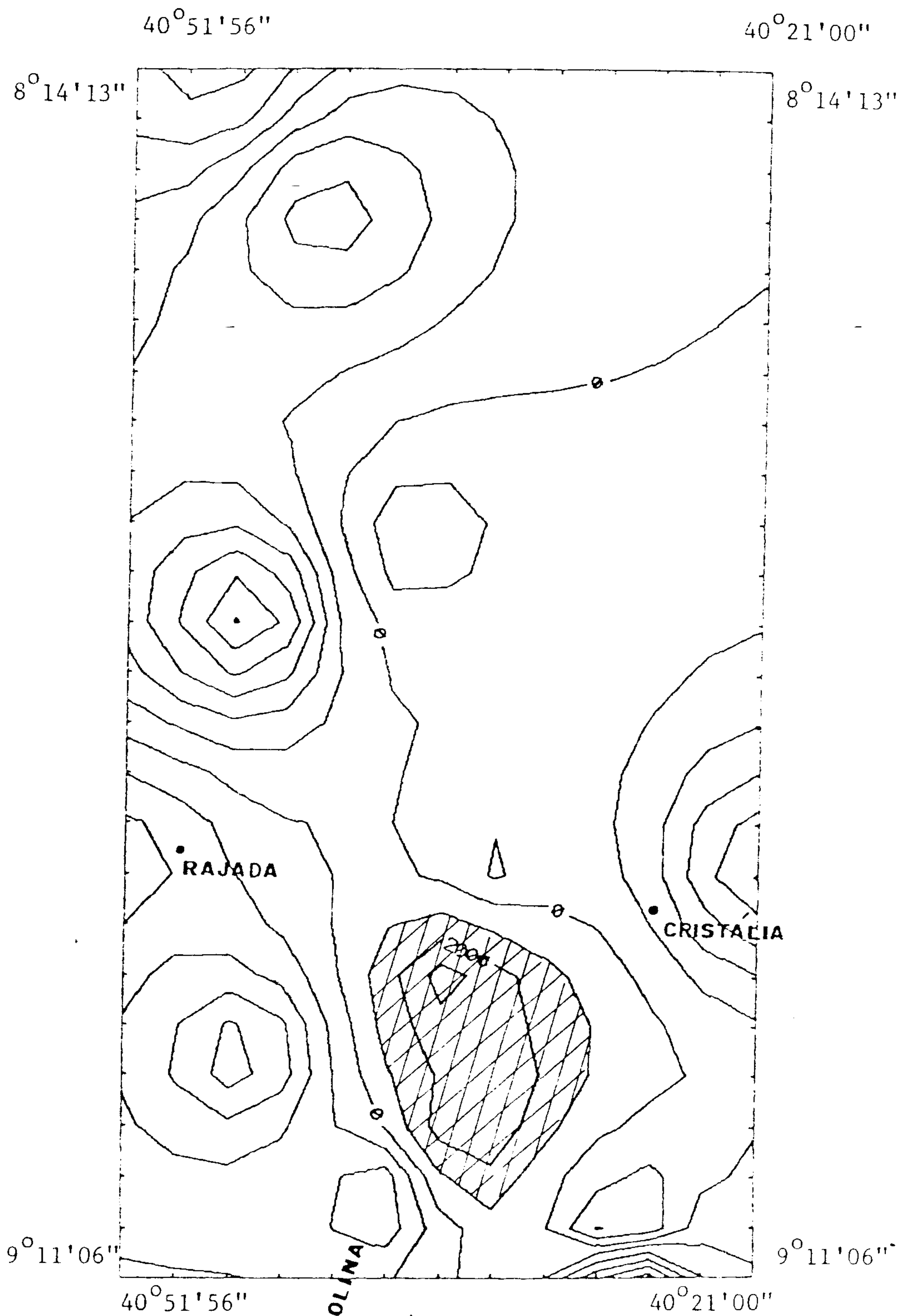


FIGURA - 63

MAPA DE RESÍDUOS DOS VALÔRES DO RESÍDUO SÊCO
-MUNICÍPIO DE PETROLINA-

Anomalia positiva

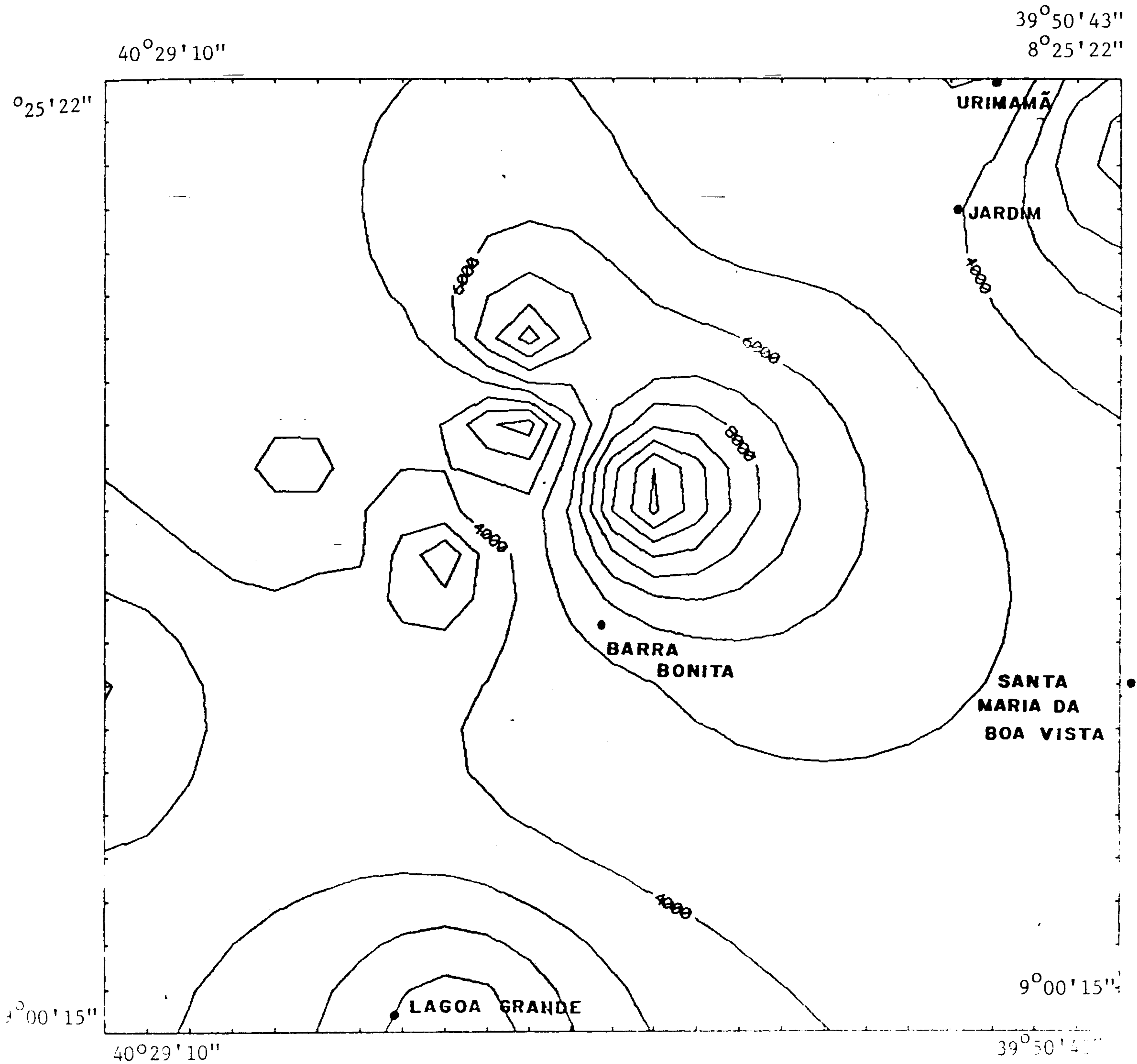


FIGURA - 64

MAPA DE CONTORNO DOS VALORES DO RESÍDUO SECO
-MUNICÍPIO DE SANTA MARIA DA BOA VISTA-

Coefficiente de correlação: 0,23

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...

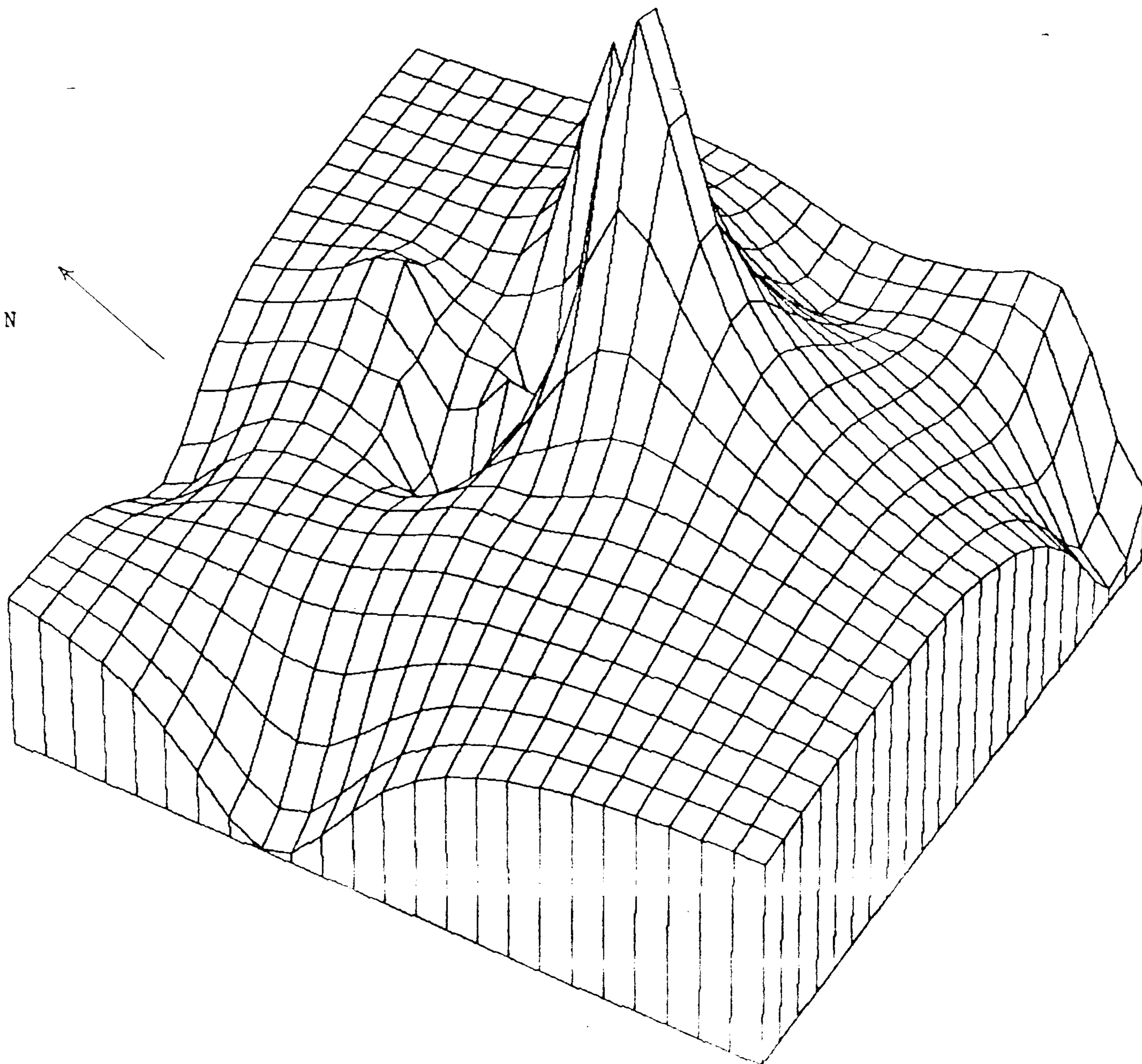


FIGURA - 65

-MUNICÍPIO DE SANTA MARIA DA BOA VISTA-

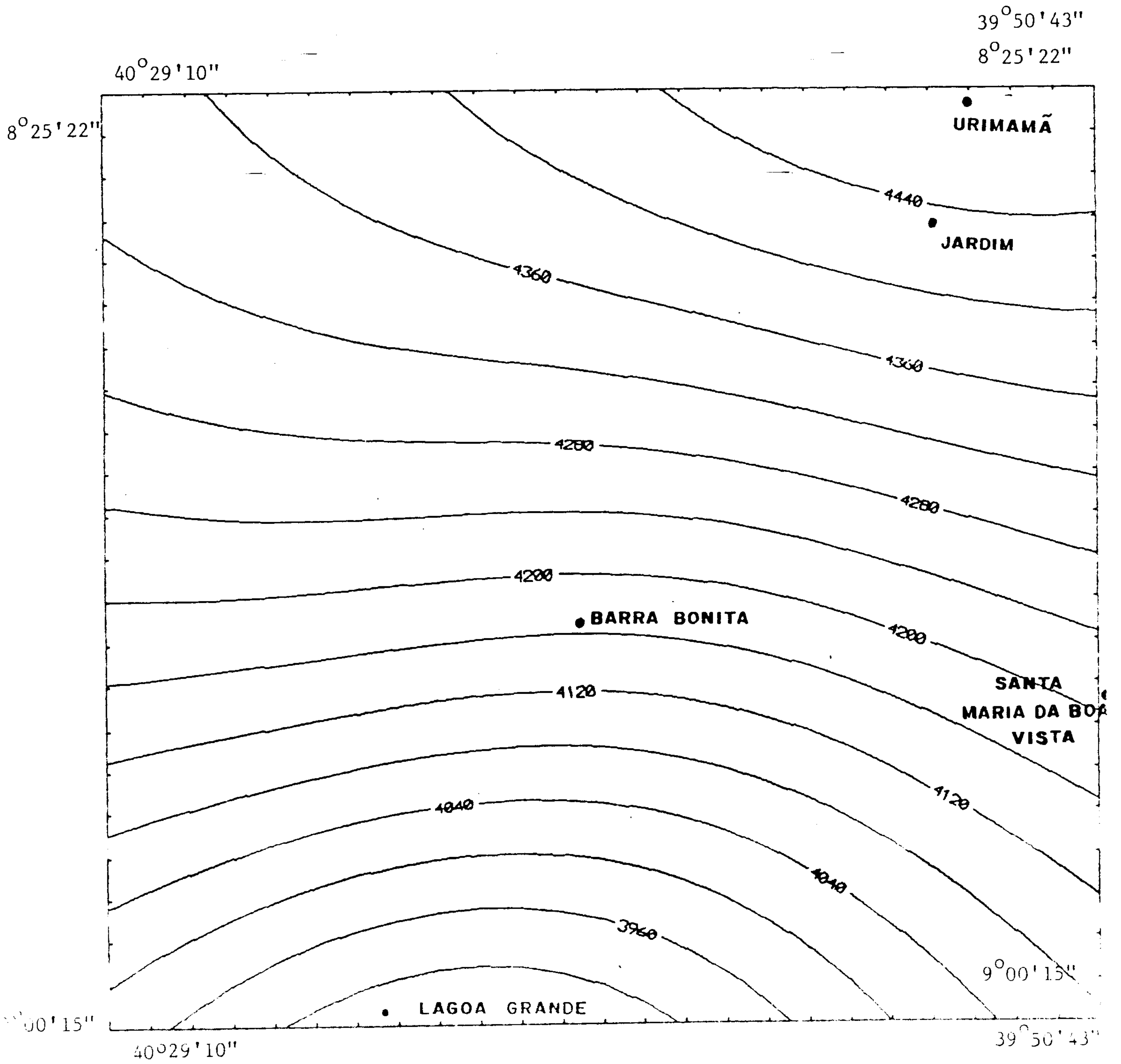


FIGURA - 66

MAPA DE TENDÊNCIA DOS VALORES DO RESÍDUO SÊCO
-MUNICÍPIO DE SANTA MARIA DA BOA VISTA-

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...

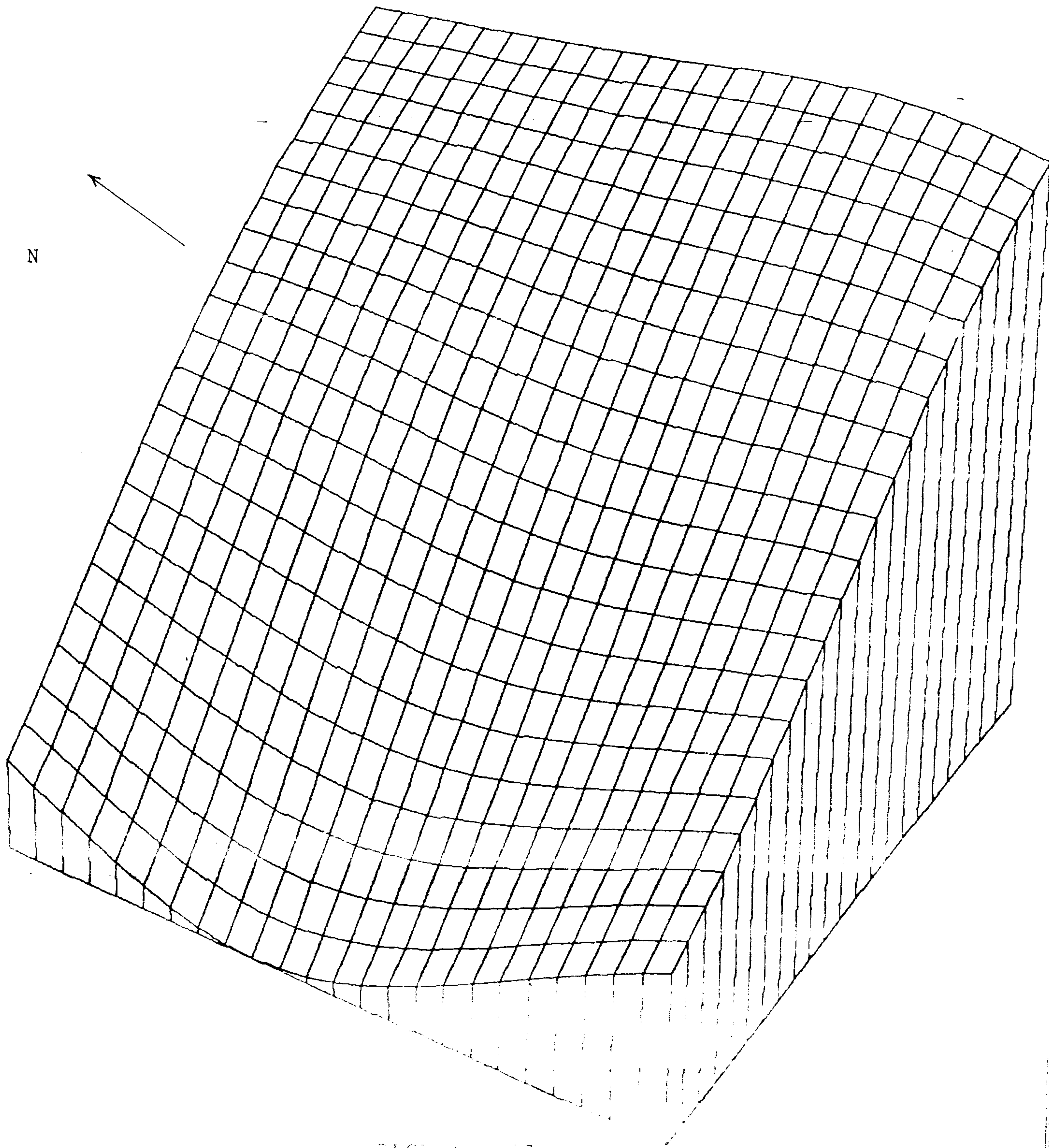


FIGURA - 37

BLOCO DIAGRAMA DA TENDÊNCIA DO RESÍDUO SECO

EXEMPLO DA TENDÊNCIA DA TENDÊNCIA DO RESÍDUO SECO

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...

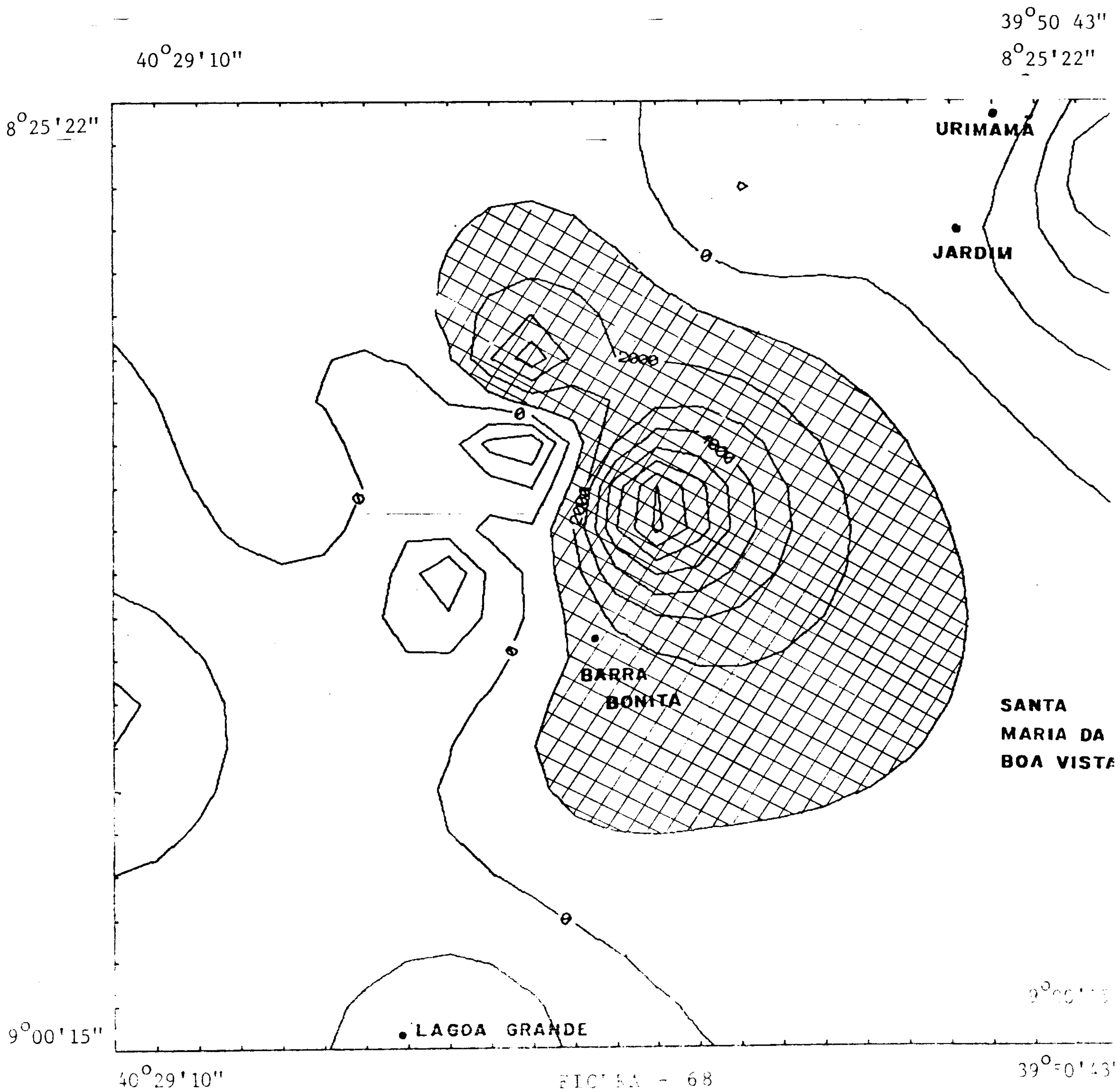


FIGURA - 68

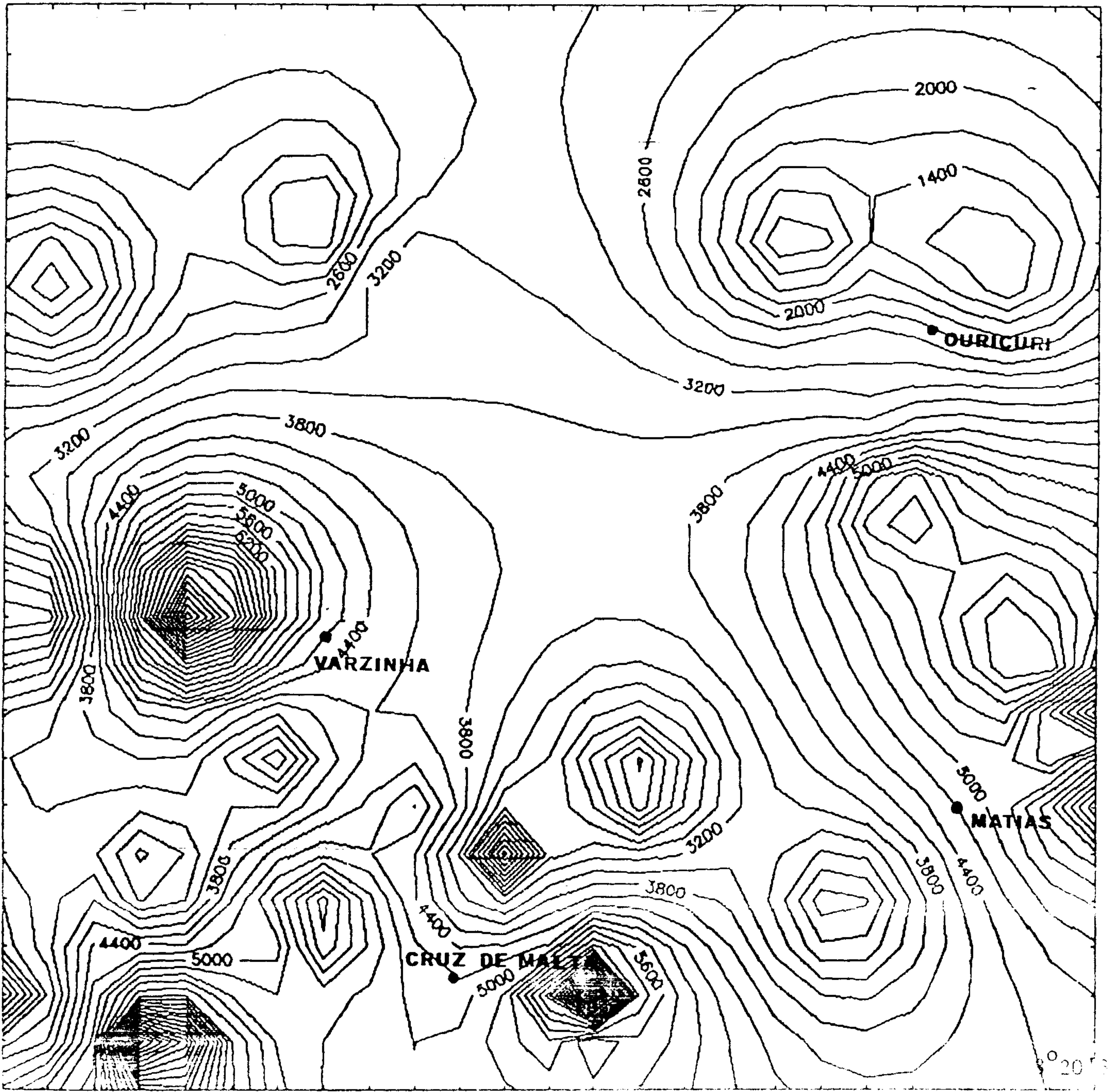
MAPA TOPOGRÁFICO DA REGIÃO DE SANTA MARIA DA BOA VISTA
-MUNICÍPIO DE SANTA MARIA DA BOA VISTA-

40° 36' 30"

39° 56' 33"

7° 42' 16"

40° 42' 16"



40° 20' 30"

40° 36' 30"

39° 56' 33"

FIGURA - 69

MAPA DE CONTORNOS DOS VALORES DO RESÍDUO SÍTICO
-MUNICÍPIO DE OURICURI-

Coeficiente

escala: 1:50.000

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...

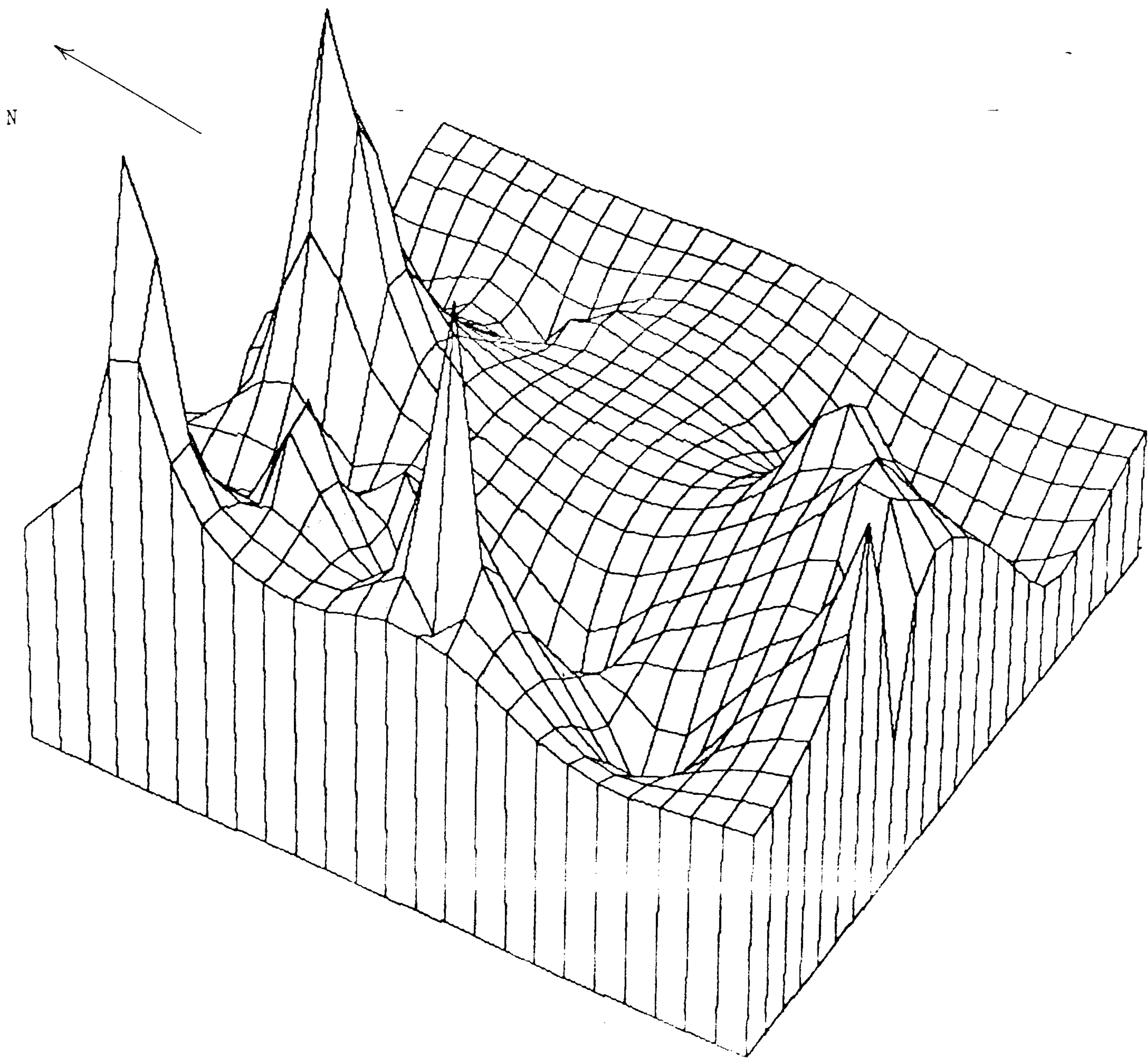


FIGURA - 70

MAPA DA ZONA DAS MEDIDAS DE RESERVA - 1900

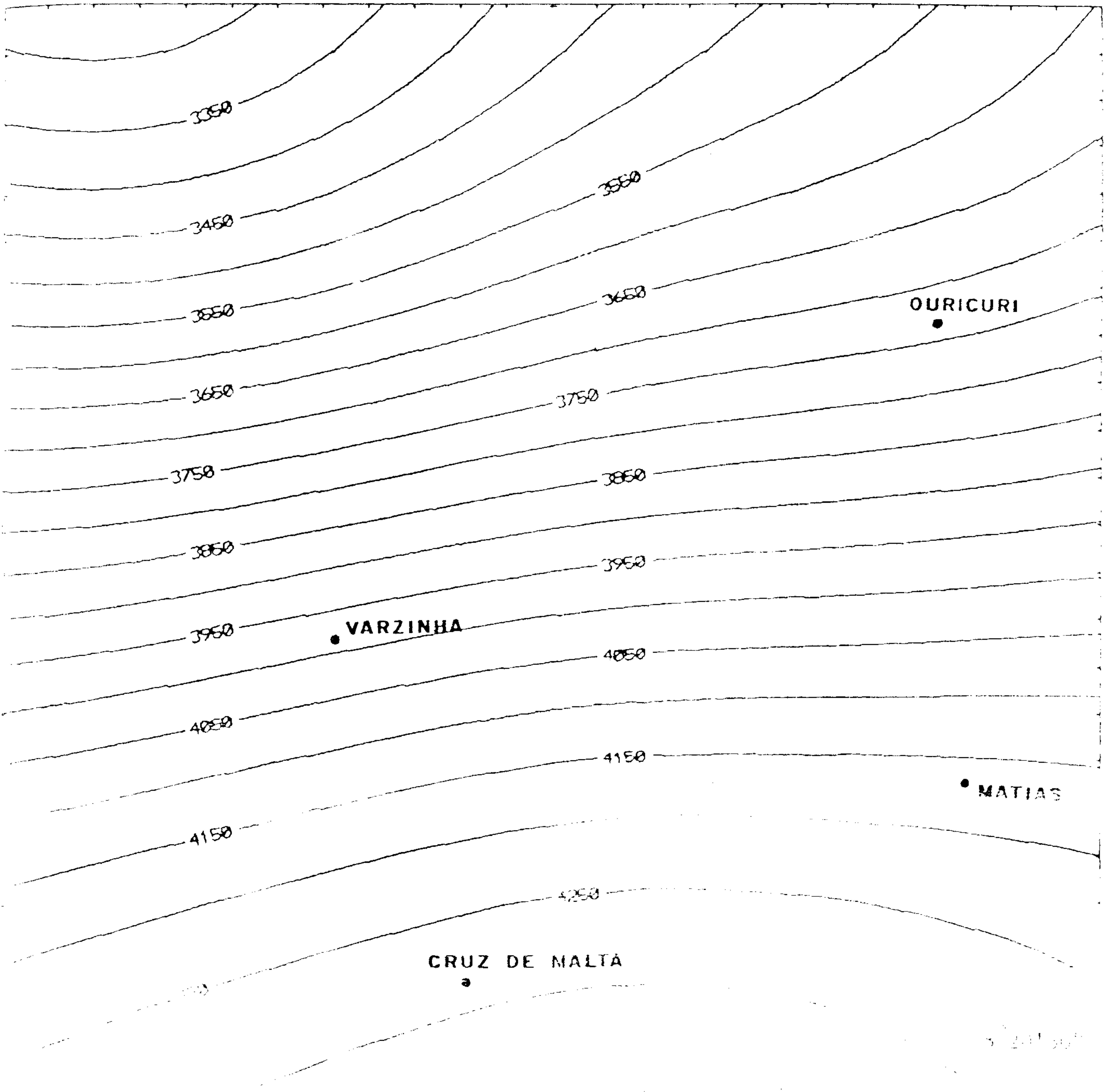
...

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...

40° 36' 30"

39° 56' 33"

7° 42' 16"



DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...

N

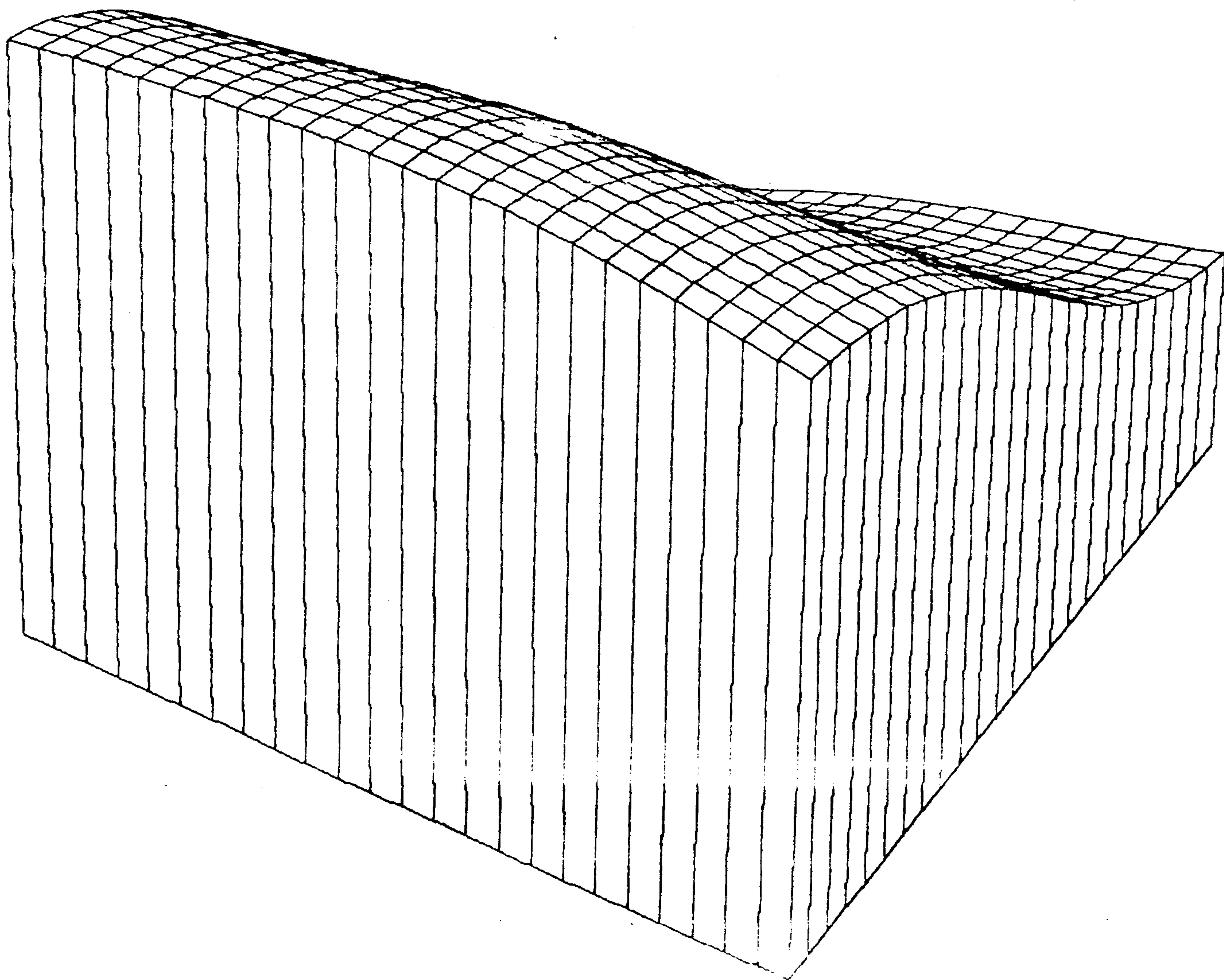


FIGURA - 72

BLOCC DIAGRAMA DA TENDÊNCIA DO RESÍDUO SECO
- MUNICÍPIO DE VITÓRIA -

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...

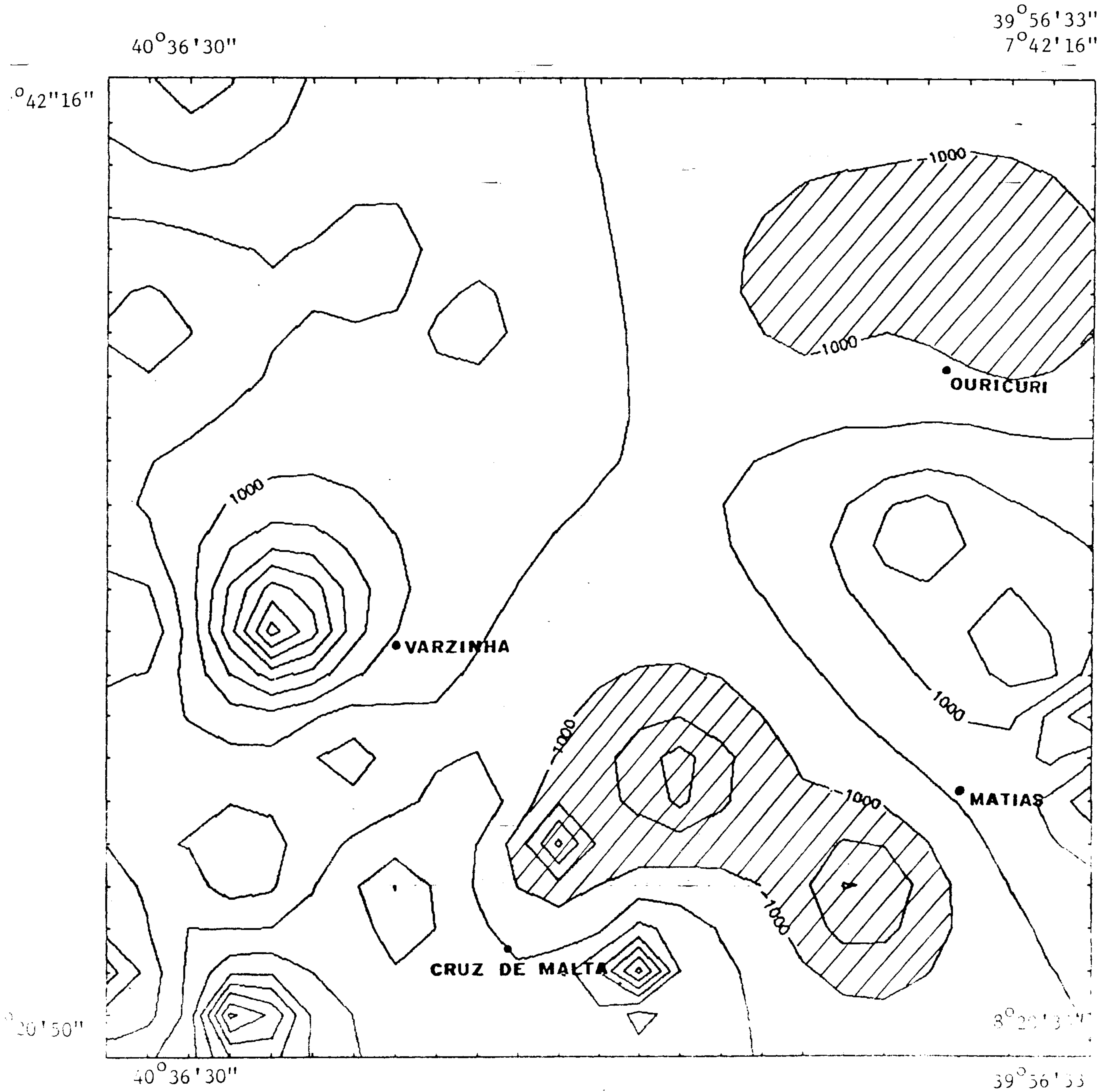


FIGURA - 73

MAPA DE RESÍDUOS DOS VALORES DO RESÍDUO SECO
-MUNICÍPIO DE OURICURI-

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...

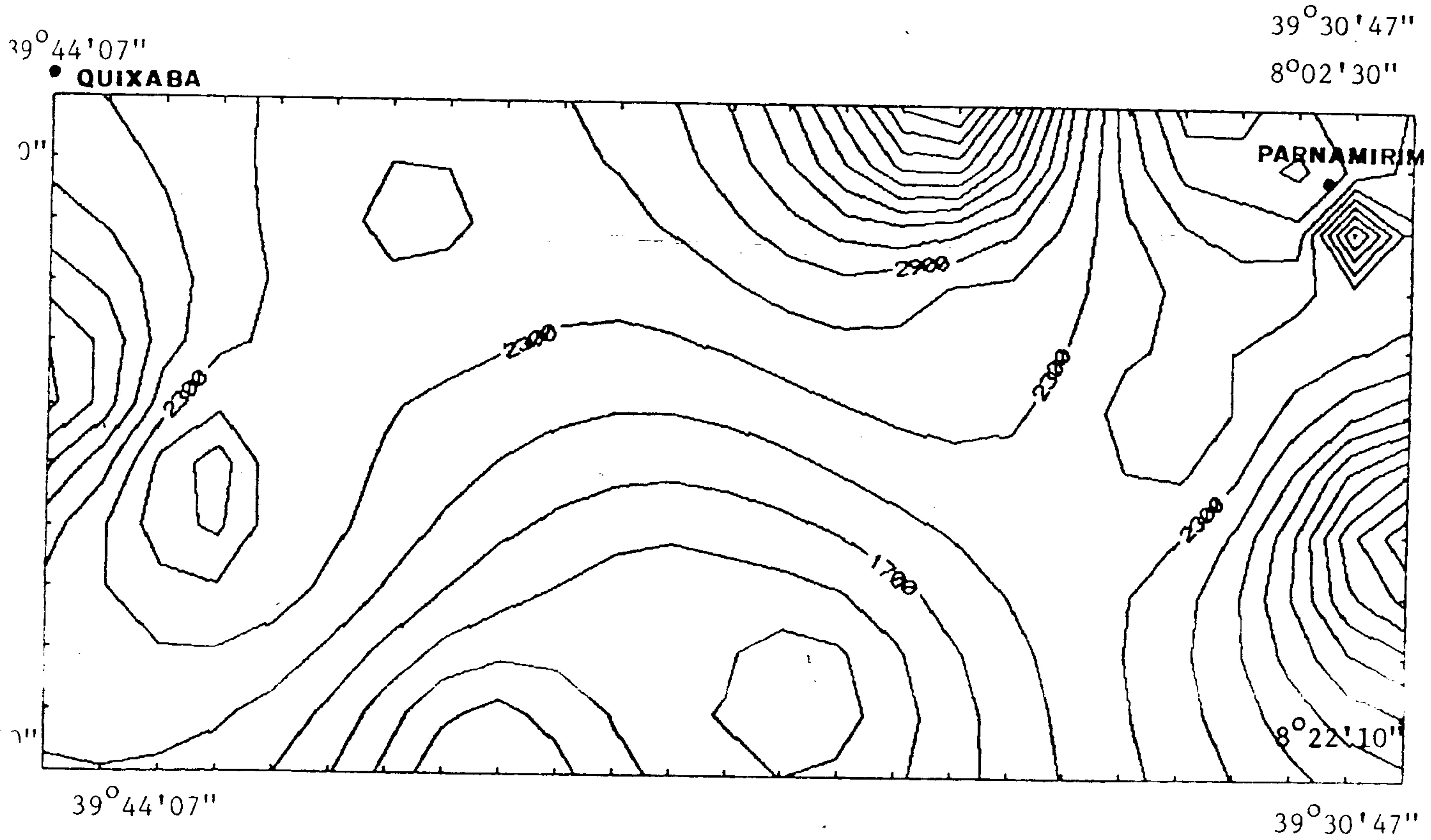


FIGURA - 74

MAPA DE CONTORNO DOS VALÔRES DO RESÍDUO SECO
-MUNICÍPIO DE PARNAMIRIM-

Coefficiente de correlação: 0,23

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...

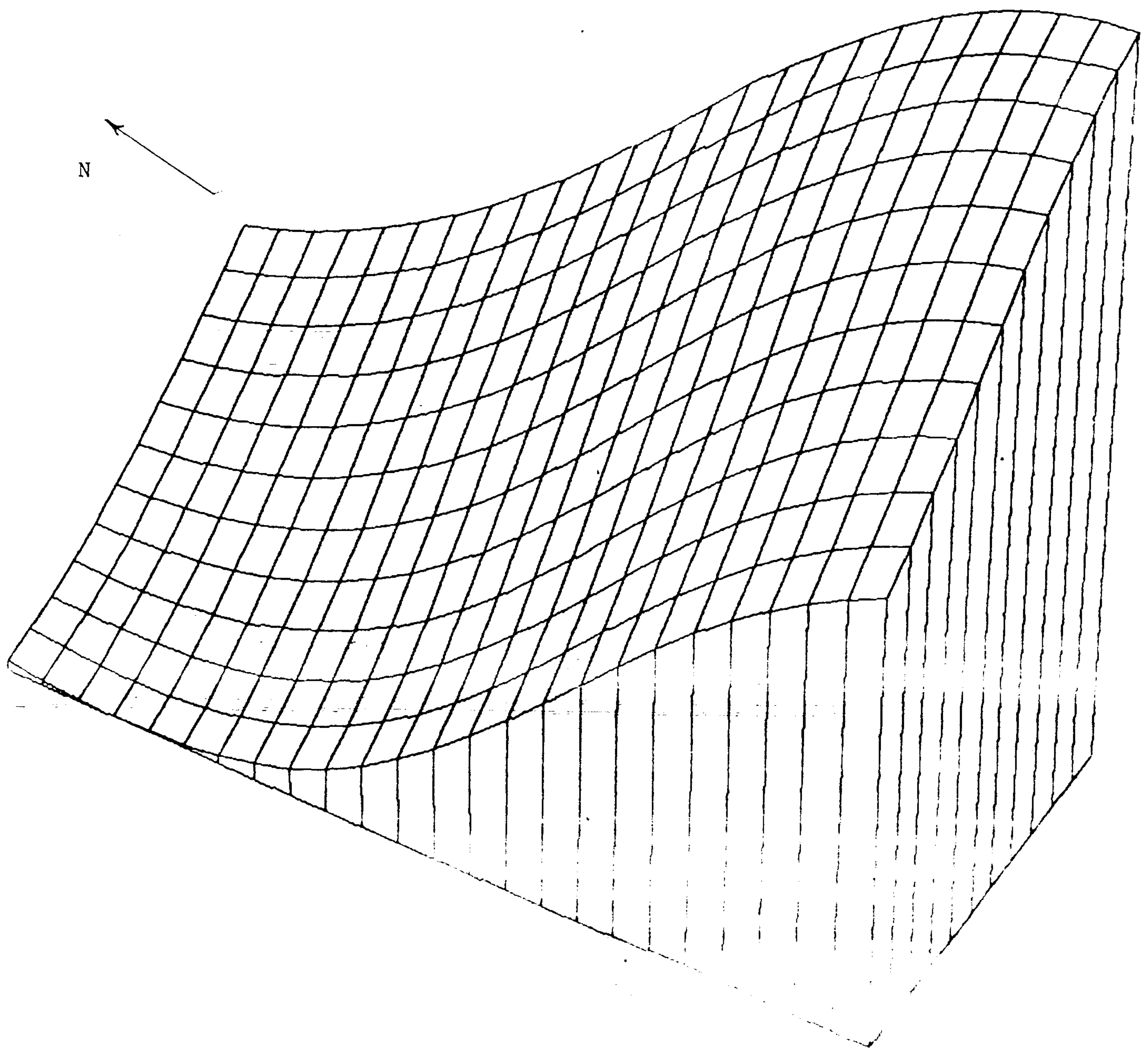


FIGURA - 77

ESQUEMA DIAGRAMA DA TENDÊNCIA DO RESÍDUO SECO
- FISSURAS - DE DRENAGEM -

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...

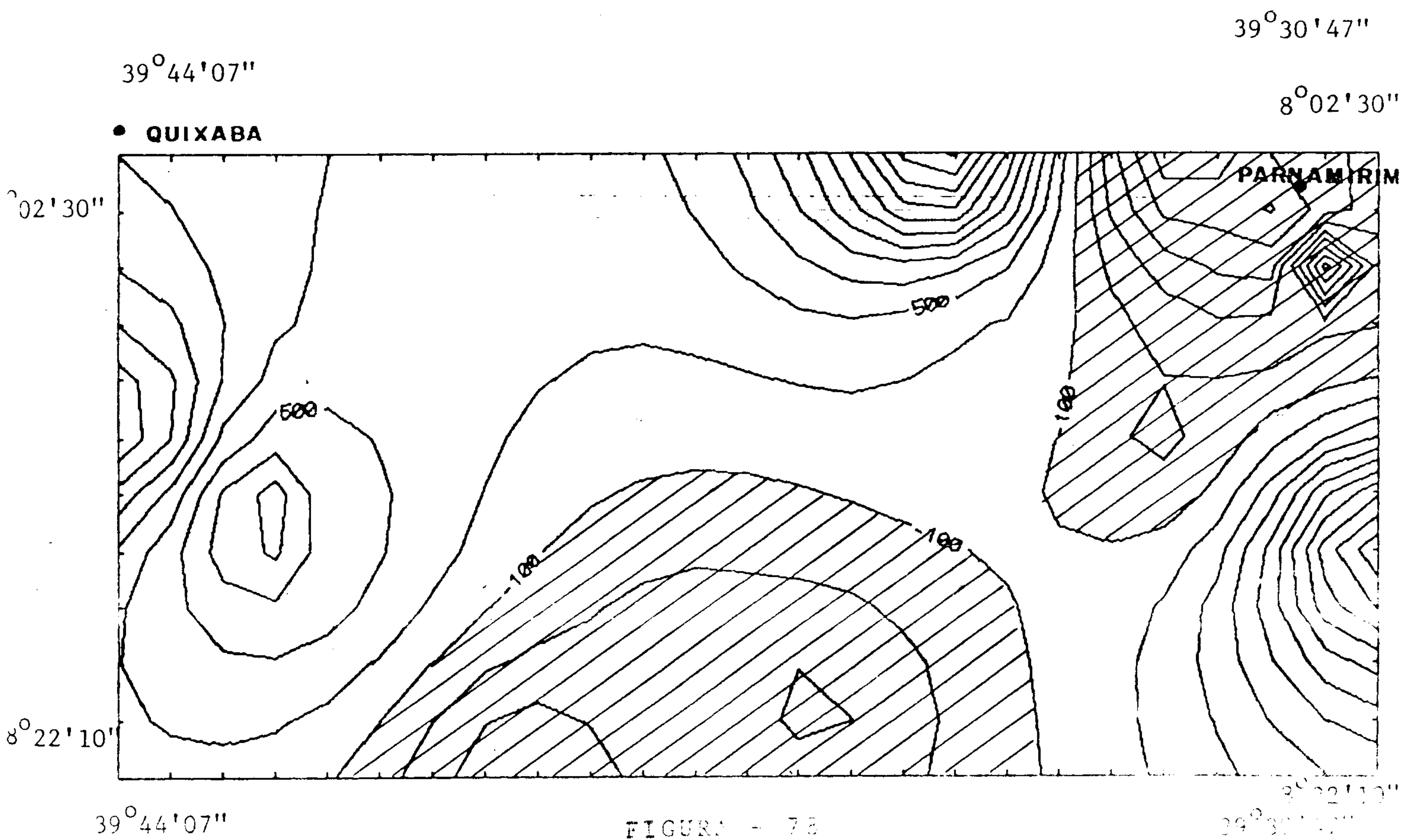



FIGURA - 78

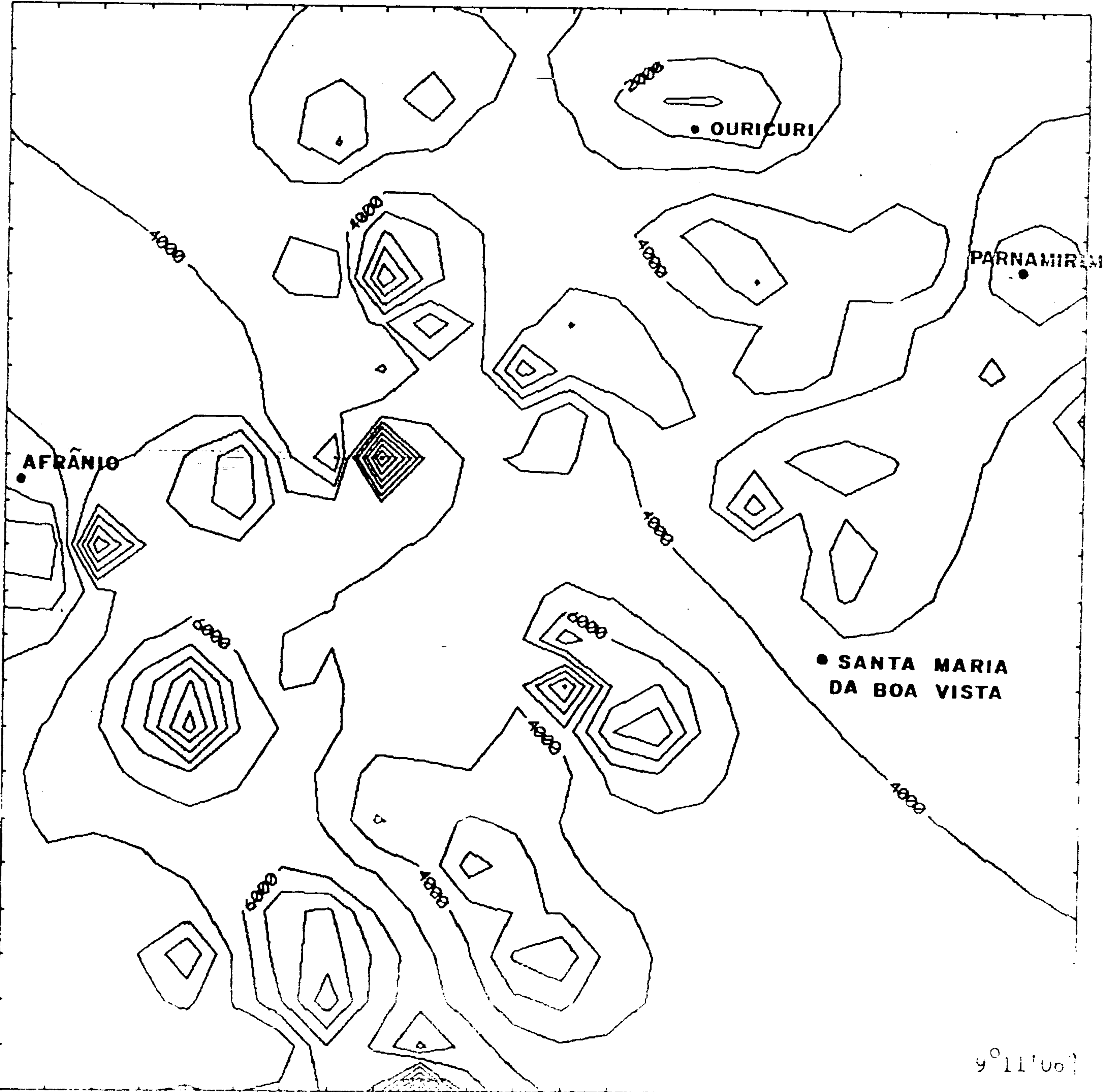
MAPA DE RESÍDUOS DOS VALORES DO RESÍDUO SECO
-MUNICÍPIO DE PARNAMIRIM-

 Anomalia Negativa

41°01'05"

39°30'47"
7°42'16"

7°42'16"



9°11'06"

9°11'06"

41°01'05"

FIGURA - 79

MAPA DE CONTORNO DOS VALORES DO RESÍDUO SECO
- REGIÃO DE SANTA MARIA DA BOA VISTA -

DINIZ J.A.O. -- O AQUÍFERO FISSURAL...

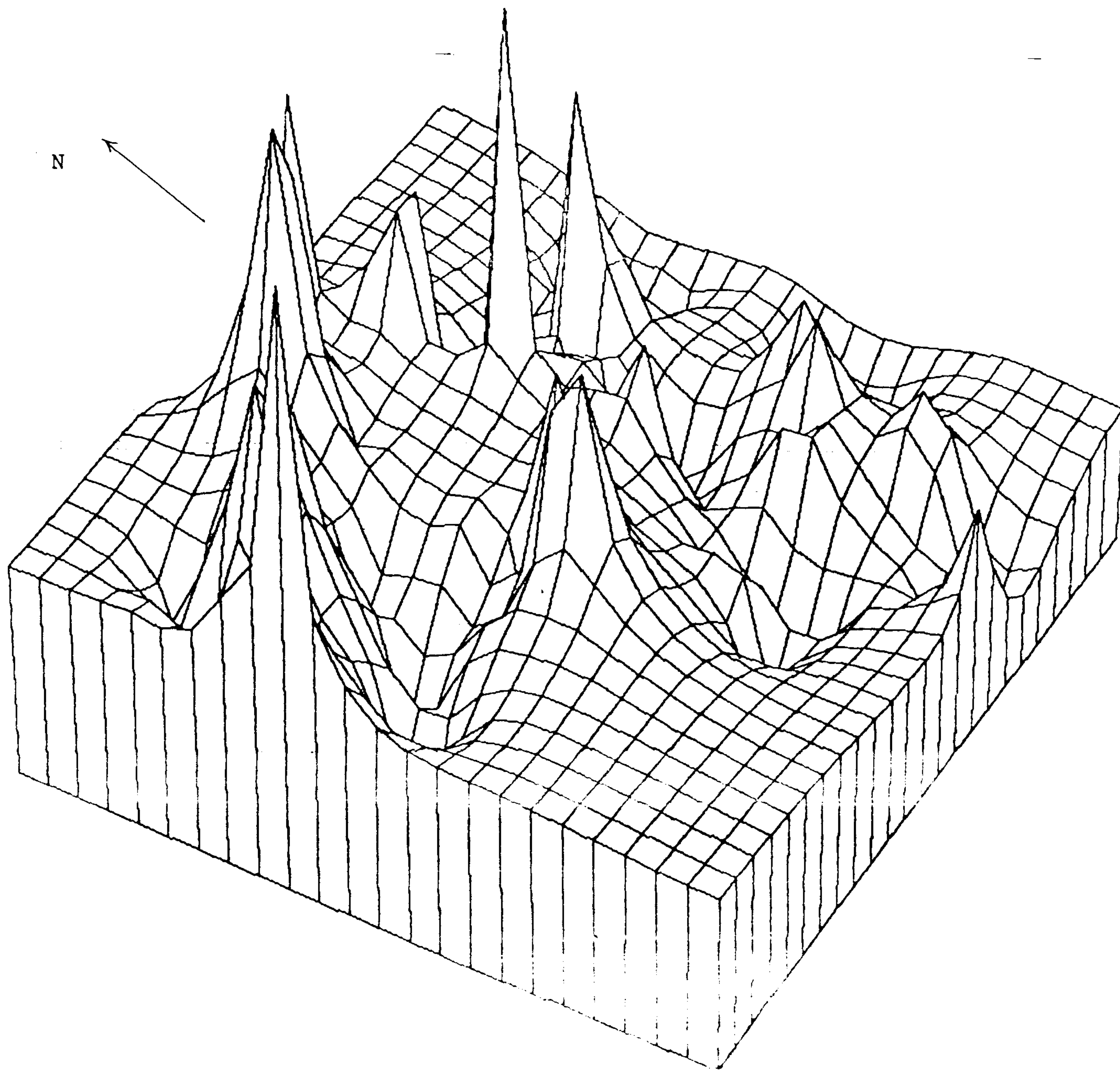


FIGURA - 30

BLOCO DIAGRAMA DOS VALÔRES DO RESÍDUO SECO
-REGIÃO OESTE DE PERNAMBUCO-

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...

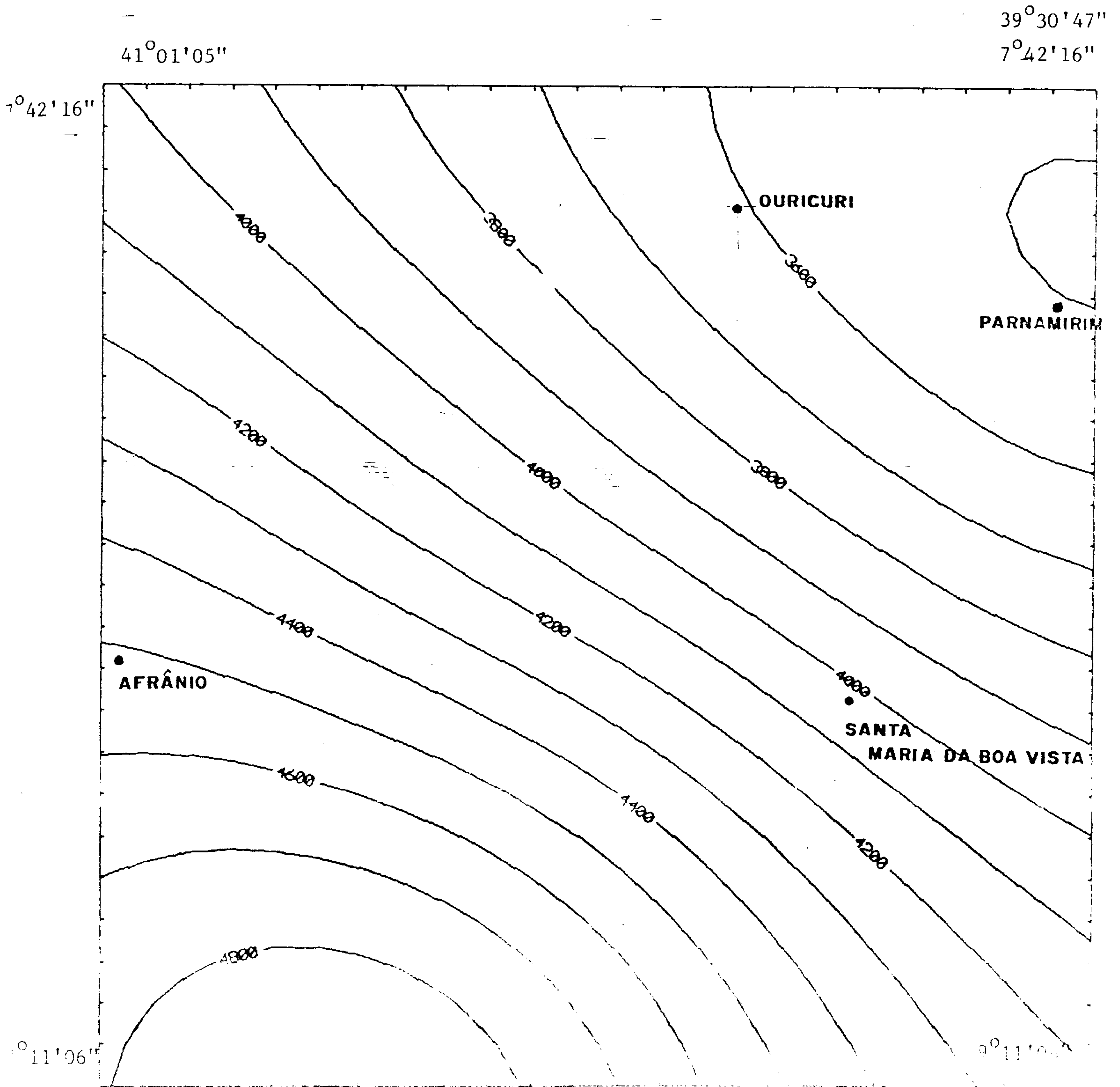


FIGURA - 81

MAPA DE TENDÊNCIA DOS VALORES DE ...

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...

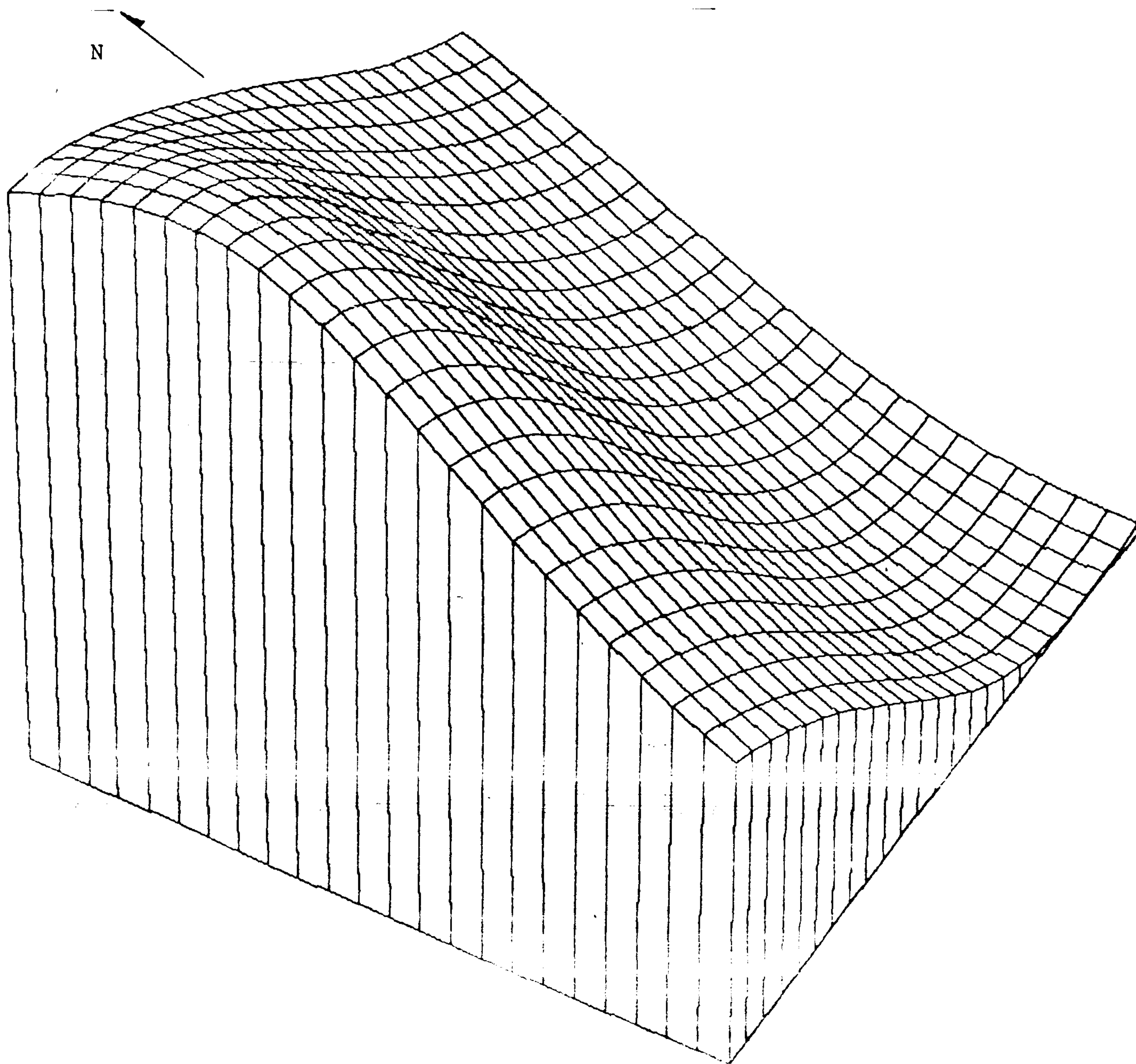


FIGURA - 32

BLOCO DIAGRAMA DA TENDÊNCIA DO RESÍDUO SECO

-REGIÃO NORTE DE PERNAMBUCO-

41°01'05"

39°30'47"

7°46'16"

7°42'16"

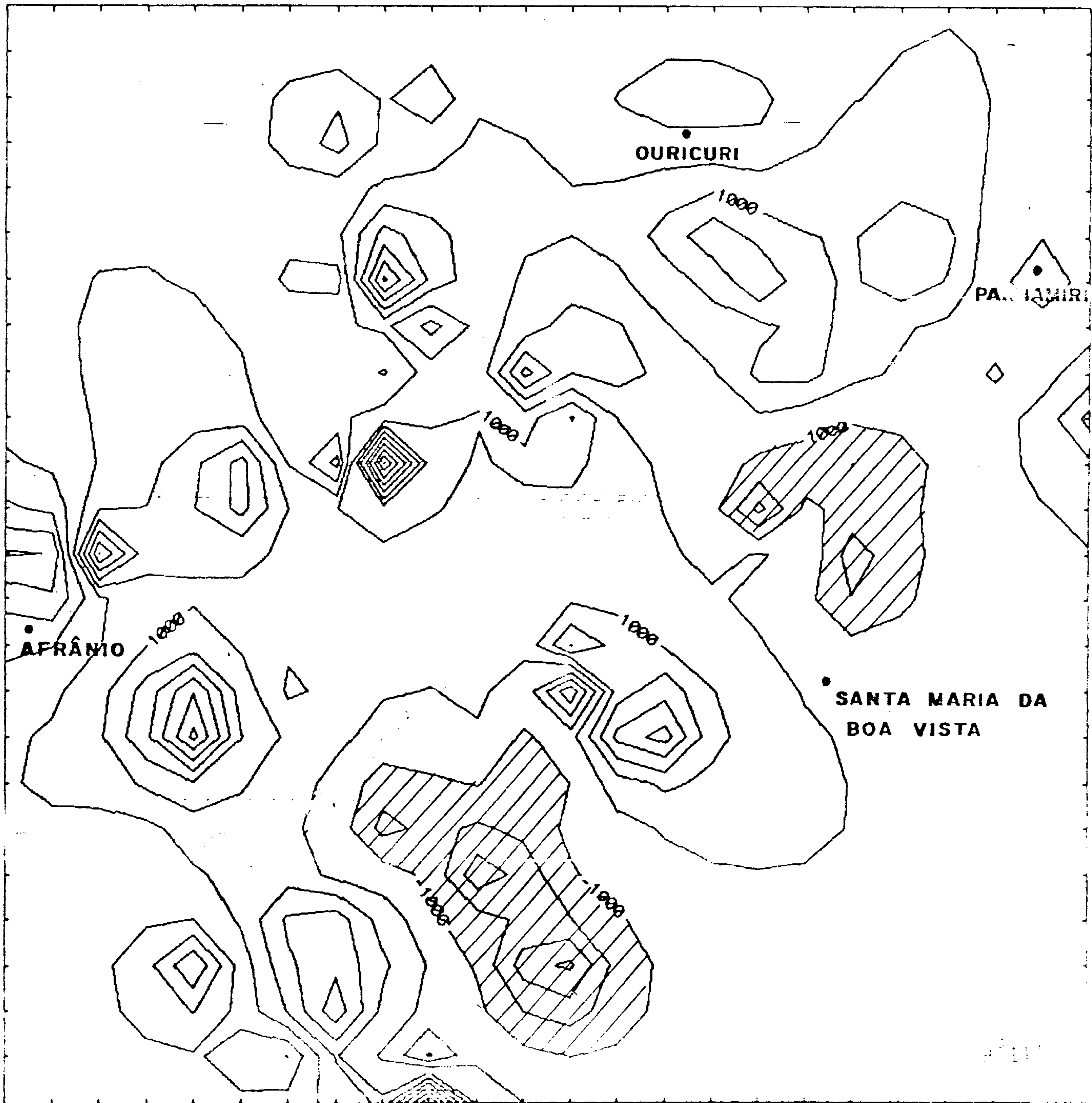


FIGURA - 10

MAPA DE RESÍDUOS DOS VALORES DO RESÍDUO SECO
-REGIÃO OESTE DE PERNAMBUCO-

▨ Anomalia Negativa (Atracção)

DINIZ J.A.O. - O AQUÍFERO FISSURAL...

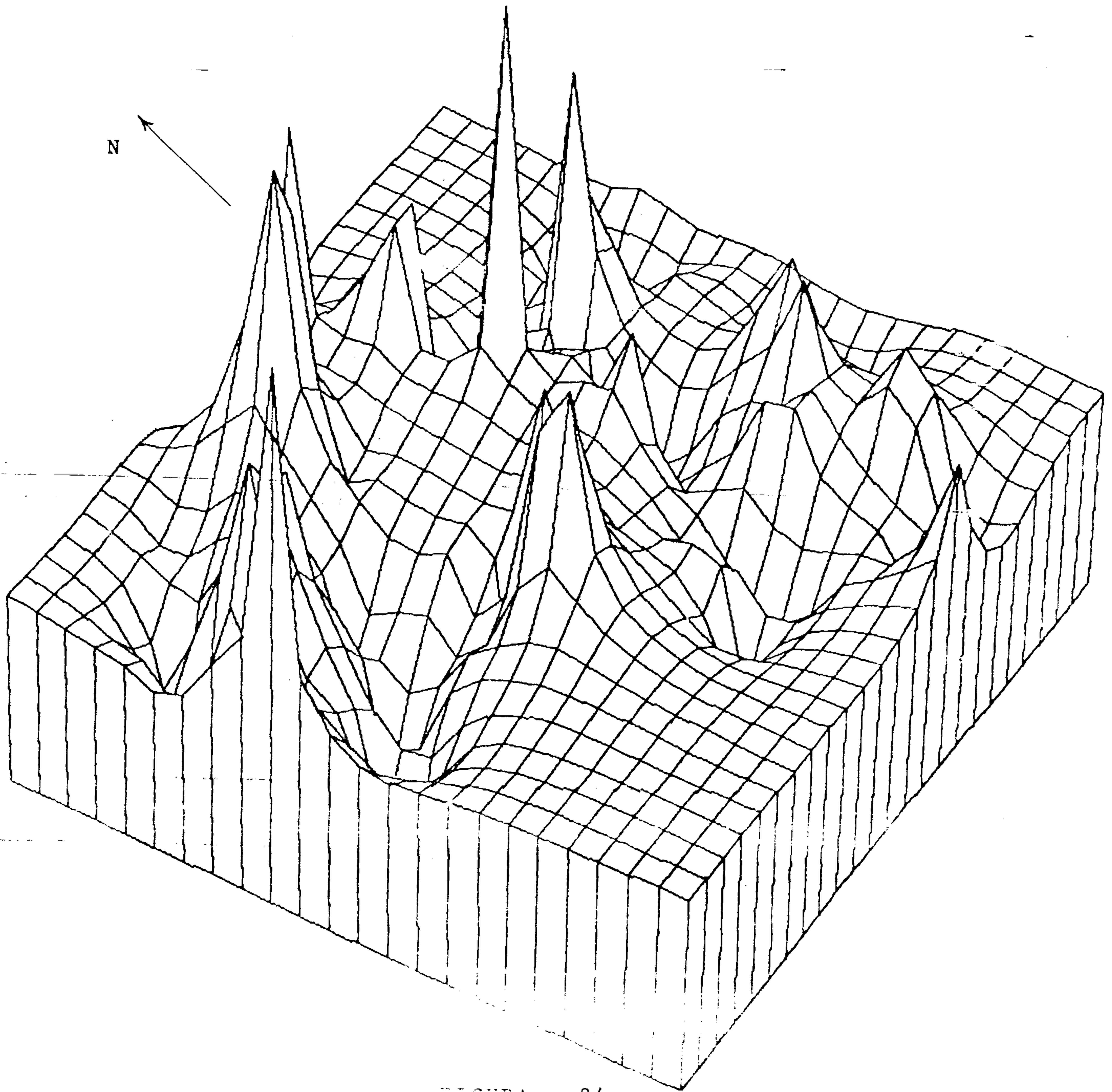


FIGURA - 84

BLOCO DIAGRAMA DOS RESÍDUOS DOS VALORES DO RESÍDUO DE W
- 1953 DO OESTE DO PERNAMBUCO -

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

4.5 - A PROFUNDIDADE "OTIMA" DOS POÇOS

GIAMPÁ(1980 e 1982), desenvolve uma interessante análise sobre custos de perfuração de poços através dos vários métodos comumente utilizados no Brasil. Efetuando-se algumas adaptações de caráter local, esta análise pode ser aplicada ao Nordeste, o que tentaremos fazer a seguir, considerando unicamente os custos de perfuração no embasamento cristalino.

De uma maneira geral, existem apenas dois métodos básicos de perfuração de poços tubulares em rochas cristalinas comumente usados no Nordeste do Brasil, o de percussão de baixa frequência ou simplesmente percussão, e o de percussão com alta frequência ou pneumático, visto operar com a ajuda de um compressor de ar.

O método de perfuração a percussão é o de uso mais tradicional na região, quer pela sua adequação a quase todas as situações, pelo baixo custo de aquisição das perfuratrizes, existindo até fabricos artesanais das mesmas, quer pela simplicidade de sua operação, podendo-se treinar um operador (sondador) em curto espaço de tempo. São equipamentos de acionamento mecânico, baixa manutenção e extrema robustez. Como o seu funcionamento baseia-se na percussão obtida através do impacto originado entre a composição total (trépanos e haste) com o solo, a altura da torre dá a medida da velocidade da perfuração, isto é, quanto mais alta for a torre mais fortes serão os golpes da ferramenta de perfuração nas rochas, o que acelerará o avanço.

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

camente através de dois tipos de equipamento:

1. Perfuratriz roto-pneumática de mesa fixa, constando de um equipamento essencialmente mecânico, possuindo uma mesa rotativa fixa, que se adapta ao trabalho com lama (em sedimentos) ou com ar comprimido (cristalino).
2. Perfuratriz roto-pneumática com mesa móvel, representando a faixa mais moderna de perfuratrizes, possuindo acionamento totalmente hidráulico, apresentando sobre as demais a vantagem da rapidez da operação, que lhe permite superar a desvantagem do maior custo de aquisição. Entre essas, ainda é possível se distinguir as puramente pneumáticas, as quais não possuem bomba de lama, perfurando apenas em rochas compactas e as roto-pneumáticas propriamente ditas, as quais, através da incorporação do sistema de uma bomba de lama, permitem a perfuração em terrenos não-consolidados, com o auxílio da fluído em lama da perfuração.

Atualmente, a tendência geral é de se utilizar as perfuratrizes rotativas de mesa fixa, apenas em poços de sedimentos, devido as vantagens de maior torque de rotação, que permite se perfurar maiores diâmetros e grande profundidades, enquanto que as percussoras são utilizadas na perfuração de médias profundidades (até 100 metros) em terrenos brandos, ou usadas para fins especiais (descida de revestimentos, equipamentos de bombeio, limpeza e desobstrução de poços, etc.) A perfuração em rochas compactas duras do embasamento cristalino é feita preferencialmente através das perfuratrizes roto-pneumáticas de mesa móvel, com auxílio de um compressor de ar. Desta forma, as considerações que serão aqui feitas sobre os custos de perfuração serão válidas para a perfuração com uma perfuratriz com um compressor de ar de alta pressão.

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

Através de uma série de considerações de ordem econômica, que fogem ao escopo do presente trabalho, GIAMPÁ(1980), quantifica os custos horários de cada elemento que constitui uma parcela do custo final de um poço. Após se fazer algumas adaptações que julgamos necessárias, inicialmente em relação a profundidade média dos poços, que consideramos como 50,00m ao invés de 100,00m como o autor acima, em relação a taxa de avanço da perfuração(aqui considerada de 8m/h), nos tempos perdidos com deslocamentos (aqui considerado de 10:00hs) e nas instalações da sonda em cada poço (5:00 hs), chegamos aos seguintes custos horários:

1. Custo Horário do Capital Investido	Cz\$ 1,64 SM/h
2. Depreciação	Cz\$ 0,38 SM/h
3. Mão de Obra	Cz\$ 0,71 SM/h
4. Consumo de Materiais	Cz\$ 0,29 SM/h
5. Desgaste de Ferramentas	Cz\$ 1,00 SM/h
6. Manutenção	Cz\$ 0,23 SM/h
7. Apoio	Cz\$ 0,07 SM/h
<hr/>	
T O T A L	Cz\$ 4,32 SM/h

O custo total por metro é obtido dividindo-se o custo horário pelo rendimento horário (8m/h), obtendo-se 0,54SM/h,

A unidade SM refere-se ao valor do salário mínimo vigente no país em março/87, que é Cz\$ 1.368,00.

Normalmente, quando se perfura um poço tubular no subsolo, a profundidade desse poço varia até 200m, caso se

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

seja, se o poço é sêco, a perfuração prossegue até se atingir uma fenda saturada. Este aumento na profundidade do poço é muito variado, mas normalmente atinge os 72,00 metros, que corresponde a quantidade total de hastes conduzidas no comboio da sonda (normalmente transportam-se 12 hastes de perfuração cada uma com 6 metros de comprimento ou 24 hastes de 3 metros, no caso das sondas de torre menor).

Como já vimos anteriormente, as entradas d'água neste tipo de aquífero situam-se preferencialmente (cerca de 80% do total) até os 40,00m de profundidade. Também já tivemos a oportunidade de verificar que a vazão específica diminui consideravelmente para profundidades superiores aos 40 metros e que o resíduo sêco tende a se tornar mais elevado com o incremento da profundidade das entradas d'água. Desta forma, uma perfuração que se estenda além dos 40m apresenta um elevado custo técnico e social. O custo técnico é expresso nas reduzidas possibilidades de existirem fendas, as quais são 80% menos prováveis de ocorrer além dos 40m e, mesmo que a perfuração as atinja, os poços devem apresentar baixas vazões específicas e elevados índices de salinização.

Os custos sociais são expressos na medida em que se deixa de atingir uma maior fatia da população, devido a concentração dos recursos em um só local.

Apesar disto, as empresas de perfuração de poços insistem neste expediente, quer por ignorância técnica, quer pela ânsia da produção.

SAMPAIO (1981), propõe que, quando forem enviados geólogos ao campo para efetuar locação de poços, se dê preferência à perfuração de poços rasos, até 40 metros de profundidade, para evitar os custos técnicos e sociais mencionados.

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

se até os 40m o primeiro poço se apresentar sêco, deve-se deslocar a sonda para a locação vizinha e perfurar-se mais 40m.

Segundo este autor, este procedimento, além de aumentar muito as chances da nova locação obter sucesso, evita custos adicionais com possível retorno do geólogo para efetuar nova locação, o que é muito comum, principalmente se a localidade foi indicada (como em 90% dos casos) pela força política dominante.

Além disto, na perfuração sem grande deslocamento da sonda (na segunda opção locada), o tempo perdido é quase que totalmente reduzido. O tempo de deslocamento (aqui considerado como 10:00 hs) é totalmente eliminado, perdendo-se apenas as 5:00 hs necessárias para se posicionar a sonda na nova locação.

No custo da hora parada pela sonda, deve ser adicionado integralmente o custo do capital investido, pois este valor refere-se à reposição do capital utilizado na aquisição da mesma; visto que em uma hora parada ele não foi adquirido, o mesmo deve ser totalmente desembolsável. No deslocamento (ou nas horas paradas da sonda) incidem também os salários e demais encargos sociais das equipes de campo, os quais perfazem 0,21 SM/h. Os gastos com apoio devem aumentar, mas como fica difícil se quantificar em quanto, visto que o seu valor será função da distância percorrida, vamos considerá-los iguais aos anteriores, ou seja, 0,07 SM/h.

Desta forma, o custo total da hora parada será de 1,92 SM/h. É importante se salientar que o valor real da hora parada deve ser o dobro deste, pois o custo do capital investido deve ser considerado em dobro.

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

Assim, se considerarmos o custo de um poço de 40m (21,6 SM) e o de outro de 72m (38,88), veremos que, no caso de se perfurarem dois poços próximos, se a economia de tempo for de pelo menos 03:00 hs, o custo dos dois poços será inferior ao de um de 72 metros com posterior deslocamento.

Se planejarmos programas de perfurações de poços limitando a profundidade dos mesmos aos 40,00m e admitindo uma taxa de penetração média de 8m/h, gastando-se 10:00 hs úteis nos deslocamentos poço a poço e 05:00 hs úteis em cada instalação, no mês teremos 60:00 hs efetivamente gastas na perfuração, o que significa 480 metros perfurados (12 poços) e um faturamento total (a preço de custo) de 259,20 SM. A média de tempo é de 20:00 hs úteis por poço.

No caso de poços com 72,00m, mantendo-se todas as demais condições idênticas, perfura-se-ão 720 metros, (10 poços), com um faturamento total (a preço de custo) de 388,80 SM, gastando-se com isto, 24:00 hs úteis por poço.

Se considerarmos uma taxa de risco ou de insucessos de 30%, a perfuração deve aumentar neste mesmo valor, visto que a cada poço sêco corresponde a perfuração de outro vizinho (no caso de poços com 40,00m de profundidade). Assim, perfuraremos em média 624 metros, fraturando 336,96 SM.

Ainda que não esteja aqui quantificado quanto mais se aumenta a profundidade dos poços, devido ao aumento na dureza da rocha, aumenta o desgaste das ferramentas de perfuração (martelos, down-the-hole, bits, hastes, etc.), além de aumentar o consumo de óleo diesel da máquina e do compressor.

Além do mais, se em pelo menos um dos poços de

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

72,00m perfurados for necessário o retorno do geólogo para efetuar nova locação, o custo total será de 7SM (custo de salário+ encargos sociais+km rodado do geólogo, considerando-se uma distância de 500 km e três dias de campo). correspondente ao geólogo e mais 30,72 SM, que correspondem ao tempo mínimo gasto para se efetuar nova locação e posicionamento da máquina (16:00hs úteis).

Assim, abatidos estes 37,72 SM do faturamento total (poços de 72,00m), chegou-se ao valor final de 351,16SM. A diferença entre o faturamento final (poço de 72,00m) e o faturamento em poços de 40,00m, reduz-se então a 14,20 SM, que podem ser compensados pelo menor desgaste e consumo nos poços mais rasos.

Ainda deve ser levado em conta que, nos poços de 40,00m, o tempo gasto de perfuração por poço é de apenas 05:00hs o que nos deixa margem para tentar otimizar a perfuração, atingindo-se os 16 ou 17 poços por mês (680 metros), o que é comum de ocorrer com perfuratrizes pneumáticas.

De tudo visto, fica claro que a profundidade ideal de perfuração de poços neste tipo de aquífero é de 40,00m.

C A P Í T U L O 5

CONCLUSÕES

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

O encaminhamento que foi dado ao tema, tendo em vista o nosso objeto de pesquisa, parece-nos válido, enquanto permitiu uma ampla análise das principais características do aquífero fissural

Desta forma, neste capítulo tentaremos responder aquelas perguntas do "como" e do "porque", formuladas na introdução do presente trabalho.

A salinização das águas subterrâneas, evolui a partir de valores iniciais, ou de uma salinização primária, à qual correspondem sais formados pelos cátions mais comuns em cada tipo de rocha, tendo como principais ânions o bicarbonato e o sulfato.

A partir destas concentrações iniciais a salinização progride, sendo que, a forma como esta evolução se processa, está ligada mais diretamente a fatores externos ao aquífero relacionando-se com a concentração posterior de determinados íons principalmente sodio e cloro.

Também a gênese desta salinização, ou porque a sua tendência é sempre crescente, relaciona-se com os fatores externos, ressaltando-se a forte influência do clima.

Em regiões semi-áridas, com evaporação maior que a pluviometria, uma solução qualquer, exposta a esta evaporação, tende a se apresentar constantemente enriquecidas em sais, visto que as perdas de água por evaporação são intensas, ficando a solução paulatinamente mais concentrada.

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

rica em sólidos dissolvidos, até que comece a saturar nos diferentes íons. A medida que cada íon vai se tornando saturado na solução, inicia-se a precipitação de sais por eles formados; os primeiros íons a saturarem, são também os primeiros que se encontravam presentes ou seja, o bicarbonato e o sulfato entre os ânions e o magnésio e o cálcio entre os cátions.

A partir deste ponto, a água subterrânea começa a perder quaisquer relações que ainda guarde com as rochas nas quais circule, adquirindo uma composição predominantemente cloretada.

O enriquecimento da solução em sódio e cloro é explicado pela forte solubilidade destes elementos, os quais nunca chegam a saturar.

Assim, a concentração secundária do cloro nas águas deste tipo de aquífero deve-se principalmente a forte solubilidade deste elemento e a sua principal fonte é a água meteórica.

Do acima exposto, fica nítida a atuação do clima como principal agente responsável pela salinização das águas subterrâneas do meio fissurado no Nordeste semi-árido. Contudo, se o considerarmos como único fator atuante, dentro de regiões climaticamente homogêneas deveremos ter, obrigatoriamente, águas semelhantes, o que não acontece.

A atuação do clima é mais ampla, envolvendo as águas subterrâneas características de outros locais. Desta forma, os valores médios do resíduo seco, ou o "background" regional podem ser atribuídos ao clima.

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

dem ser entendidas se analisarmos aspectos mais íntimos do meio fissural, devendo-se considerar aqui as características litológicas e estruturais.

Os aspectos estruturais dizem respeito a permeabilidade do meio onde circulam as águas, devendo o fluxo ser mais intenso onde maior for o fraturamento e mais abertas se encontrarem as fendas.

Em um meio intensamente fraturado, a água circula mais facilmente, evitando a estagnação, responsável direta por forte incremento na salinização final.

No tocante a abertura das fendas, quanto mais abertas se apresentarem as mesmas, mais facilmente se processará o fluxo. A abertura de cada fenda individual é uma função inversa da profundidade que esta se encontra da superfície, quer devido ao peso do material sobrejacente que tende a fechá-la, quer devido à própria gênese do fraturamento, além das características físicas da própria rocha, conforme discutido no item 3.2 do capítulo 4.

Assim, quanto mais profundas forem as fendas, mais salinizadas devem se apresentar as águas.

Os aspectos litológicos, relacionam-se com a maneira como cada corpo de rocha responde aos esforços tectônicos a que foi submetido e com a sua forma de alteração.

As rochas competentes (as que mais se quebram

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

de melhor qualidade e poços de maior produção.

A forma de alteração das rochas, como visto, influi consideravelmente na qualidade das águas subterrâneas contidas nas mesmas.

De uma maneira geral, o manto de alteração inibe a evaporação direta a partir do aquífero (das fendas), diminuindo o resíduo seco total. Isto é particularmente verdadeiro em coberturas arenosas mas, de uma maneira geral, aplica-se a qualquer tipo de situação, conforme discutido anteriormente.

No caso da vazão específica, a influência do clima é clara, visto que este é, em última instância, o formador das reservas de água subterrânea.

O aumento das profundidade das entradas d'água normalmente diminui a vazão específica, visto que as fendas mais profundas, devido a se encontrarem mais fechadas, pouco contribuem na produção final.

O número de entradas d'água aumenta a vazão específica final, embora para maiores profundidades (aqui consideradas como superior a 40,00m) tal regra se constitua em exceção.

A espessura do manto de alteração, principalmente aqueles de maior fração psamítica, aumenta a vazão específica.

Como se pode ver, a relação apresentada entre a vazão específica e cada um destes fatores físicos (E.A.; M.A. e manto), é contrário à relação entre eles e o resíduo seco.

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

é inversa, como demonstrado em todas as correlações desenvolvidas anteriormente com estas duas variáveis.

Apesar disto, é importante se ter em mente que o valor desta correlação não é muito forte, como pode ser visto nas regressões múltiplas e simples conduzidas entre estas duas variáveis, ou pela análise das várias superfícies de tendências apresentadas.

Com referência à profundidade dos poços, admitimos como ideal aquela situada em torno dos 40,00m, por razões técnicas, econômicas e sociais.

Concluindo, deve-se ressaltar a importância de, em trabalhos de prospecção de água subterrânea, efetuar-se um zoneamento da região do ponto de vista climático, litológico e estrutural, pois somente assim, reúnem-se elementos suficientes para um bom planejamento de um programa de perfuração.

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, J. do P. T. Inventário hidrogeológico básico do nordeste ; folha nº 15, Jaguaribe-SE. Recife, SUDENE, 1971. 187 p. (Hidrogeologia, 32).
- ALMEIDA, F.F.M. de; BRITO NEVES, B.B. de; FUCK, R.A. Províncias estruturais brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8., Campina Grande, 1977. Atas... Recife Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Nordeste, 1977. p. 363-91.
- ANDRADE, G.O. Gênese do relevo nordestino; estado atual. Recife, Universidade Federal de Pernambuco, 1968. 13. p. Separata de Estudos Universitários, Recife (2/3), 1968.
- BAKER, W.J. Flow in fissured formations. In: CONGRESSO MUNDIAL DE PETROLOGIA, 4., Roma, 1955 Proceedings... Roma, 1955. p. 379-93 (Section II)
- BRITO NEVES, B.B. de. O mapa geológico do nordeste oriental do Brasil; escala 1/1.000.000. São Paulo, 1983. 177p. (Tese Livre Docência. USP. Inst. Geociências)
- BRITO NEVES, B.B. de. Regionalização geotectônica do pré-cambriano nordestino.
São Paulo, 1975. 198p. (Tese de Doutorado. USP. Inst. Geociências)
- COSTA, W.D. Análise dos fatores que atuam no aquífero fissural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 4., Brasília, 1986.
Atas...
p. 175-302.

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

DUARTE, E.W. Aspectos hidrogeológicos de Santa Maria da Boa Vista - Pernambuco. Água Subterrânea, Recife, 1(4):1-12, set./dez. 1965.

FALCÃO, T.C.C. & LEAL, J. de M. Estudo hidroquímico da Bacia do Riacho do Navio-PE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS I., Recife, 1980. Anais... Recife, Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, Núcleo Nordeste, 1980. p. 603-21.

GHOSE, S.K. Princípios de hidrologia aplicada e previsão fluvial. Recife, SUDENE, 1973. 94 p.

GIAMPÁ, C.E.Q. Custos comparativos dos diversos métodos de perfuração de poços tubulares empregados no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, I., Recife, 1980. Anais... Recife, Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, Núcleo Nordeste, 1980. p. 487-503.

———. Custos de poços tubulares no estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2., Salvador, 1982. Anais... Salvador, Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, Núcleo Bahia, 1982 p. 421-46.

HONIJK, W.J. Proposta de uma unidade de produção de poços nas rochas cristalinas. Recife, UFPE, 1979. 25 p.

KING, L.C. A geomorfologia do Brasil oriental. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro. 147-265, 1956.

MEYERSON, A.P. Introdução à hidrologia. São Paulo, 1971. 2v.

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

- KREYSING, K.; LENZ, R.; RIBEIRO, G.F. Salinização das águas no centro do polígono das secas no nordeste brasileiro; estudo hidrogeológico no oeste de Pernambuco e norte da Bahia. Recife, SUDENE, 1973. v. I (Hidrogeologia, 46).
- LADEIRA, E.A; Contribuição da geologia estrutural à pesquisa de águas subterrâneas em rochas fraturadas. Águas Subterrâneas, São Paulo (9):7-34, dez. 1985.
- LEAL, A. de S; Inventário hidrogeológico básico do nordeste; folha nº 19, Aracaju-NO. Recife, SUDENE, 1971. 242 p. (Hidrogeologia, 33).
- LEGRAND H; Yield of Weels - Div. Mineral Resources, (Bull nº 75) 1959. USA.
- MABESOONE, J.M. & CASTRO, C. de; Desenvolvimento geomorfológico do nordeste brasileiro.
Boletim do Núcleo do Nordeste da Sociedade Brasileira de Geologia. Recife (3):5-36, 1975.
- NIMER, E; Climatologia da região nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, 34(2), 1972.
- REBOUÇAS, A. da C. & GASPARY, J; As águas subterrâneas do nordeste - estimativas preliminares. Recife, SUDENE, 1971. 48 p. (Hidrogeologia, 6)
- & MARINHO, M.E; Hidrologia das secas. Recife, SUDENE, 1972.
- SCHOBENHAUS, C; Campos, D. de A; Derze, G.G.; ASMUS R.F. Geologia do Brasil. Brasília, 1981. 341 p.

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

- SCHOELLER, H. Les eaux souterraines. Paris, Masson, 1962.
- SAMPAIO, G. da M.P. Estudo Estatístico de Poços no Estado do Ceará. In: ENCONTRO NACIONAL DOS PERFURADORES DE POÇOS, 1., Curitiba, 1981. Resumo... São Paulo, Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 1981. p.18
- SEVER, C.W. Geology and Ground - Water Resources of crystalline rocks - Dawson Country, Georgia. Geological survey, Information circular 30. Atlanta, Georgia. 1964. USA.
- SILVA, A.B. da. Evolução química das águas subterrâneas. Águas Subterrâneas,
- SILVEIRA, R. Apreciação hidrogeológica da região de Lages (RN). Água Subterrânea, Recife, 2(6): 1-14, abr./jun. 1966.
- SIQUEIRA, L. Contribuição da geologia à pesquisa de água subterrânea. Água Subterrânea, Recife, 2(9): 1-29, Jan/mar. 1967.
- STRELTSOVA-ADAMS, T.D. Well hydraulics in heterogeneous aquifer formations. Journal of Hydrology, 35-357-418, 1977.
- SUDENE. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado de Pernambuco. Recife, 1972/73. 2.v. (Boletim técnico, 26)
- SUDENE. Plano de aproveitamento integrado dos recursos hídricos do nordeste do Brasil-fase I. Análise do meio físico e regionalização. Recife, 1980. v.1.

DINIZ, J.A.O - O Aquífero Fissural...

SUSZCZYNSKY, E.F.; L'hydrogeologie des terrains cristallins du "nordeste" brésilien. Bulletin du Bureau de Recherches Géologiques et Minières. Ser.2, Section 3. Hydrogeologie, Paris(3): 83-95, 1968.

TEIXEIRA, J.A.; DUARTE, E.W.; BEZERRA, M.A. Informe hidrogeológico do extremo oeste de Pernambuco. Recife, CONESP, 1967. (Relatório, 20).

WINKLER, H.G.F. Petrogênese das rochas metamórficas. 4. ed. Porto Alegre, E. Blucher; Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1977. 254 p.

A N E X O S

A.I CARTA DAS CONDIÇÕES HIDROGEOLÓGICAS E RECURSOS HÍDRICOS DO
NORDESTE

A.II ESBOÇO GEOLÓGICO DO EXTREMO OESTE DE PERNAMBUCO

A.III CADASTRO GERAL DOS POÇOS TRABALHADOS

A N E X O I I I

CADASTRO GERAL DOS POÇOS TRABALHADOS

Nº	LOCAL	MUNICÍPIO	RO- CHA	E.A. (m)	N.E. (m)	N.D. (m)	s(m)	Q/s (m³/h/m)	PROF. (m)	NANTO (m)	ANÁLISE QUÍMICA (mg/l)						COORDENADAS		
											Ca	Mg	Na-K	Cl	SO4	HCO3	R.S.	x	y
01	Fabril- rião	Afrânio	gn	28,80	22,80	25,00	2,20	1,31	30,00	5,20	256	140,94	136,00	856,25	10,57	439,20	2.605	41°00'00"	8°25'00"
02	Tamburim	"	gn	29,00	14,00	70,00	56,00	0,02	80,00	10,40	56,80	35,96	163,60	178,75	6,24	488,60	1.022	41°01'50"	08°27'00"
03	Morada Nova	"	gn	34,00	24,00	66,00	42,00	0,06	80,00	11,00	120	41,31	86,75	235,00	28,83	290,40	1.035	40°58'00"	08°26'00"
04	Palácio	"	x	25,00	6,00	72,00	66,00	0,003	80,00	3,00	532	607,50	1.387,50	4.075	613,74	557,54	9.940	40°54'09"	08°26'06"
05	Famoso	"	qz	37,00	33,00	61,00	28,00	0,03	80,00	3,60	244	99,63	135,00	600,00	5,28	619,67	2.291	40°58'00"	08°29'30"
06	Sítio Simpática	Parnamirim	G	12/26	3,90	15,90	12,00	0,71	50,00	5,30	312	241,00	621,76	1.810	100,02	449,00	3.537	39°32'38"	08°05'54"
07	Favela	"	gn	02,00	5,51	39,86	34,35	0,06	60,00	6,00	632	117,00	412,85	2.050	21,60	132,00	3.380	-	-
08	Feiça	"	gn	16,00	5,20	46,70	41,50	0,01	50,00	13,70	447	282,00	251,80	1.505	308,00	453,80	3.630	40°06'38"	08°14'02"
09	Feço do Fumo	"	gn	09/21	7,10	35,70	28,60	0,09	40,00	14,00	81,44	23,00	48,80	51,34	25,06	373,30	650	39°44'07"	08°10'50"
10	Veneza	"	gn	15/46	4,40	44,00	39,60	0,04	50,00	22,00	49,90	38,37	180,90	117,66	26,93	483,10	1.126	39°53'20"	08°18'20"
11	Caldeirão- II	"	x	15,00	7,30	47,35	40,05	0,001	66,00	05,50	65,60	30,72	65,71	266,35	38,88	96,38	657	39°33'46"	08°05'00"
12	Faz. Melada Velha	"	gn	07,00	2,25	46,33	44,08	0,008	60,00	05,70	240	97,20	138,00	1.250	42,60	268,40	2.669	39°41'03"	08°06'06"
13	Fazenda Jacuibe	"	G	18,00	6,35	41,65	35,30	0,012	60,00	08,70	112	87,48	334,00	450	182,00	385,52	1.551	-	-
14	Faz. Rumo Torto	"	gn	55/62	30,77	50,32	19,55	0,009	65,00	08,70	880	320,76	288,00	2.700	220,00	323,08	5.950	-	-
15	Faz. Lagoa do Meio	"	G	13/15 22/16	5,85	15,22	9,37	1,13	50,00	05,50	280	285,99	514,00	1.750	72,00	175,68	3.911	-	-
16	Faz. Ber- nardo	"	G	19/29/ 41/43	3,30	41,60	38,30	0,06	60,00	02,80	792	245,43	1.171	3.900	80,00	146,00	6.589	-	-
17	Faz. Cipau- ba	"	gn	13/23/ 30/33	2,15	29,08	26,93	0,09	46,00	02,40	108	133,65	416	900	64,00	109,92	1.765	39°37'54"	08°11'16"
18	Faz. Ico	"	G	19/21 46	6,18	40,22	34,04	0,07	60,00	07,50	376	262,44	621,40	1.950	370,00	292,80	4.583	-	-

Nº	LOCAL	MUNICÍPIO	RO- CHA	E.A. (m)	N.E. (m)	N.D. (m)	a(m)	Q/s (m³/h/m)	PROF. (m)	MANTO (m)	ANÁLISE QUÍMICA (mg/l)						COORDENADAS		
											Ca	Mg	Na-K	Cl	SO4	HCO3	R.S.	X	Y
55	Faz. Tigre	Parnamirim	gn	-	-	-	-	-	70,0	3,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
56	Faz. Mandassara	"	gn	-	-	-	-	-	66,0	8,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
57	St. Cincinba Grande	Petrolina	gn	13/14	6,48	40,17	33,69	0,02	70,0	10,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
58	Baixa da Aroeira	"	gn	-	-	-	-	-	70,0	2,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
59	Fazenda Linda	"	x	-	-	-	-	-	70,0	5,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60	Bom Conselho	"	gn	-	-	-	-	-	70,0	7,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
61	Lagoa Comprida	"	Mi	17/18	4,76	37,53	32,77	0,02	60,0	2,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
62	Faz. Uburana	"	gn	46/65	7,73	39,15	31,42	0,10	70,0	5,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
63	Baixa de S. Pedro	"	gn	-	-	-	-	-	70,0	3,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
64	Sítio Emparedado	"	x	-	-	-	-	-	70,0	2,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
65	Alagoinha	"	G	-	-	-	-	-	70,0	2,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
66	Faz. Baixa do Mundo Novo	"	G	-	-	-	-	-	70,0	2,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
67	Buenos Aires	"	Mi	-	-	-	-	-	60,0	5,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-
68	Caldeirão-zinho	"	Mi/G	-	-	-	-	-	62,0	2,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
69	Baixa do Curral	"	x	-	-	-	-	-	60,0	16,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
70	St. Tigre	"	G	37/38	6,46	41,19	34,73	0,01	73,0	3,60	168	121,50	335,20	700	218	531,90	2.142	40°46'06"	09°00'41"
71	St. Novo	"	G	32/39	32,87	38,24	5,37	0,46	56,0	2,70	49,6	59,30	80,10	98	27,20	458,50	632	-	-
72	Fazenda Estrela	"	G	32	18,40	33,56	15,16	0,13	48,0	2,70	92	58,32	305,60	590	32,40	317,20	1.504	-	-

Nº	LOCAL	MUNICIPIO	RO-CHA	E.A. (m)	N.P. (m)	N.D. (m)	s (m)	Q/s (m³/h/m)	PROF. (m)	MANTO (m)	ANÁLISE QUÍMICA (mg/l)							COORDENADAS	
											Ca	Mg	Na-K	Cl	SO4	HCO3	R.S.	X	Y
73	Aranzel	Petrolina	G	18	3,91	41,65	37,74	0,01	94,0	2,70	620	668	437,00	2.475	1.435	297,70	6.048	40°38'03"	08°40'00"
74	Miradouro	"	G	17	5,76	52,70	46,94	0,004	72,0	2,70	25,60	22,35	148,60	15	72	458,72	807	-	-
75	Boi Morto	"	gn	12/13	5,60	43,00	37,40	0,03	60,0	3,00	642	255	939,66	2.961	112,32	353,80	5.725	-	-
76	Angico	"	x	25	12,00	55,00	43,00	0,12	61,0	6,20	462	1.115,42	290,50	11,75	44,20	502,64	4.754	40°51'56"	08°51'31"
77	Angical	"	gn	61	43,00	98,00	55,00	0,0005	110,0	2,30	736	568,26	2.112,5	5.740	516,27	141,52	13.240	40°46'06"	08°40'00"
78	Santo Antonio	"	gn	47	10,00	30,00	20,00	0,03	50,0	5,80	408	170,01	500,00	1.600	94,57	492,88	4.618	40°48'19"	08°14'13"
79	Riacho Sansão	"	gn	30	10,00	50,00	40,00	0,01	60,0	5,10	332	165,24	700,00	2.075	10,61	175,68	5.020	40°33'52"	08°51'23"
80	Urais	"	gn	42	26,00	30,00	4,00	0,58	63,0	2,40	760	729,00	707,50	2.675	559,97	329,40	10.104	40°35'50"	08°57'29"
81	Farto	"	gn	43	10,50	30,00	19,50	0,21	48,0	2,90	1016	520,00	1.100,0	4.750	35,70	444,08	9.086	40°33'52"	09°01'23"
82	Bom Jardim	"	gn	78	14,00	75,00	61,00	0,01	90,0	2,30	424	398,52	1.750,0	3.875	501,80	385,52	9.706	40°35'00"	09°04'25"
83	Cacimba do Baltazar	"	gn	32	8,00	80,00	8,40	0,002	90,0	8,40	16	94,37	45,75	32	10,61	104,92	255	40°27'46"	09°08'27"
84	Jardim	"	gn	20/94	10,00	70,00	5,60	0,001	92,0	8,50	326	355,99	265,00	1.775	6,72	412,36	3.359	40°39'23"	09°07'29"
85	Lagoa Nova	"	gn	35	20,00	73,00	4,30	0,05	80,0	4,30	226	147,01	2.092,50	3.650	111,86	228,64	6.380	40°29'09"	09°07'46"
86	Capim	"	gn	35	6,00	70,00	1,80	0,002	82,0	1,80	456	311,04	3.475,0	6.700	7,72	658,80	13.186	40°27'13"	09°11'06"
87	Malhadinha	"	gn	70	17,00	72,00	2,60	0,002	95,0	8,60	558	626,94	1.292,0	4.400	175,63	446,56	10.335	40°42'46"	08°21'00"
88	Baixa da Boa Vista	"	gn	45	20,00	61,00	3,10	0,05	90,0	3,10	442	207,69	360,0	1.600	5,76	402,60	4.445	40°38'06"	08°36'04"
89	Fogo Danta	"	x	11/12	16,00	86,00	3,00	0,01	130,0	3,00	60	14,58	98,30	74	9,65	380,64	446	40°21'00"	08°51'40"
90	Alcgre	"	G	15	5,25	50,13	8,70	0,009	90,0	8,70	32	27,20	66,00	16	15,50	370,90	426	-	-

Nº	LOCAL	MUNICÍPIO	RO-CHA	E.A. (m)	N.E. (m)	N.D. (m)	a (m)	Q/s (m³/h/m)	PROF. (m)	MANTO (m)	ANÁLISE QUÍMICA (mg/l)							COORDENADAS	
											Ca	Mg	Na-K	Cl	SO₄	HCO₃	R.S.	x	y
109	Caldeirão-zinho	Sta. Maria da B. Vista	gn/MI	-	-	-	-	-	70,0	4,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
110	Baraúna	"	gn	-	-	-	-	-	62,0	6,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
111	Gentio	Ouriburi	gn	31	02,00	58,00	54,00	0,03	70,00	3,70	328	233,60	1.104	25,50	291,40	292,80	5.010	48°21'15"	8°10'38"
112	Antonica	"	gn	28	02,00	12,00	10,00	0,25	70,0	5,20	176	230,80	905,70	1.750	331,60	663,70	4.165	40°15'00"	8°18'07"
113	Mandacarú	"	gn	32	02,20	62,00	58,80	0,04	70,0	13,00	284	187,10	421,70	1.400	111,90	370,90	3.046	40°16'15"	8°11'32"
114	Alegre	"	gn	40	5,00	45,00	40,00	0,18	60,00	7,00	920	597,80	1.508,6	5.300	220,00	402,60	10.552	40°15'18"	8°17'30"
115	Caldeirão	"	gn	30/33	9,00	60,00	57,00	0,01	70,0	6,70	488	408,2	528,10	2.700	88,80	175,70	4.881	40°26'30"	8°15'27"
116	Campina	"	x	16	5,80	55,70	49,90	0,03	60,0	22,60	20	9,20	43,70	26	27	144	270	40°34'48"	7°52'03"
117	Pajeú.	"	gn	08	3,00	50,00	47,00	0,03	60,0	0,70	256	189,5	321,4	975	549,40	207,40	2.848	40°33'00"	7°42'16"
118	Pau-D'Arco	"	gn	15/46	2,50	56,00	53,50	0,04	70,0	5,00	300	456,8	1.614,50	3.700	694,80	239,10	7.395	40°25'04"	8°14'39"
119	Exu	"	gn	25	3,50	52,00	48,50	0,01	70,0	9,00	580	281,9	3.178	6.100	301,10	732	12.342	40°30'58"	8°19'03"
120	Fazenda São José	"	gn	40/65	5,00	27,00	22,00	0,01	70,0	20,0	22,40	16,50	68,50	102,5	36,70	109,80	375	40°18'02"	8°12'20"
121	Abobreira	"	gn	18/28	8,00	60,00	52,00	0,06	80,0	4,00	320	301,3	681	2.300	84,90	226,90	4.365	40°17'02"	8°15'01"
122	Água Podre	"	gn/af	18/28	13,00	48,00	35,00	0,06	109,0	6,00	408	349,9	679,30	2.400	189,30	429,30	4.727	40°32'30"	8°15'03"
123	Baixio	"	gn	18	06,00	73,00	67,00	0,01	80,0	9,76	336	165,20	281	1.400	21,20	161,00	2.774	40°31'05"	8°13'00"
124	Lagoa do Pedro	"	af	35/56	14,00	70,00	56,00	0,05	80,0	7,00	145	61,35	425	425	32,81	366	1.029	40°33'15"	8°17'10"
125	Pradico	"	gn	12/31/41	00,50	24,00	23,50	0,64	55,0	6,80	26,40	10,70	79,50	102,50	38,60	119,50	393	40°07'30"	7°50'31"
126	Pinga	"	gn/ca	25/47	13,00	63,00	50,00	0,14	80,0	7,00	90,40	19,40	134,60	116	40,50	402,60	869	40°35'40"	8°03'46"

Nº	LOCAL	MUNICÍPIO	RO- CHA	E.A. (m)	N.E. (m)	N.D. (m)	s(m)	Q/s (m³/h/m)	PROF. (m)	MANTO (m)	ANÁLISE QUÍMICA (mg/l)							COORDENADAS	
											Ca	Mg	Na-K	Cl	SO4	HCO3	R.S.	X	Y
127	Tranqueira	Ouricuri	gn	42/87	26,00	70,50	44,50	0,004	100,0	15,70	76,80	35,50	7850	210	27	224,50	885	40°02'05"	7°50'15"
128	Caracuí	"	G	07/55	4,90	60,00	55,10	0,19	70,0	12,40	28,00	21,90	27,80	30	21,20	190,30	382	-	-
129	Limoeiro	"	gn	07/55	3,00	21,00	18,00	0,16	60,0	11,40	31,20	21,90	119,80	115	32,80	283	666	40°00'03"	7°51'23"
130	Ribeira	"	gn	17/23 /30	3,30	36,50	33,20	0,06	40,0	6,20	888	714,40	722,10	4,500	86,90	348,9	10.597	40°29'30"	8°03'35"
131	Campo Santo	"	gn	30	6,00	33,50	27,50	0,22	40,0	21,00	40	121,5	345,90	650	119,70	344	1.969	40°34'15"	8°19'52"
132	Tabuleiro	"	gn	09	2,00	50,00	48,00	0,03	60,00	8,20	680	269,7	1.106,5	3.100	549,4	302,6	1743	39°59'58"	8°03'45"
133	Barra de Sao Pedro	"	gn	18	4,50	52,50	48,50	0,01	70,0	10,80	464	252,7	247,20	1.750	36,70	278,20	3.488	40°22'12"	7°51'40"
134	Pedra Branca	"	gn	11	6,00	40,00	34,00	0,12	50,0	21,00	128	52,2	143	400	38,60	190,30	1.324	39°57'00"	8°08'02"
135	São Felix	"	gn	18/33	2,00	43,00	41,00	0,15	50,0	7,72	244	264,9	258,3	1.250	98,40	448,70	2.896	40°36'30"	8°13'52"
136	Favela	"	gn	16	13,20	37,40	24,20	0,01	40,0	8,60	624	466,6	1.074,6	3.050	1.119,4	422,10	7.192	39°59'00"	8°05'35"
137	Caraibas	"	gn	11/18	7,20	26,64	19,44	0,15	30,0	20,25	976	5.152	1.232,6	4.400	563,6	539,20	8.665	39°56'33"	8°09'40"
138	Floresta	"	gn	13/19	6,25	37,20	30,95	0,03	40,0	30,70	176	136,10	185,50	760	34,7	358,70	1.973	40°05'52"	8°14'02"
139	Lopes	"	gn/G	14	9,50	31,00	21,50	0,03	50,0	14,60	168	68,04	161,75	600	34,59	180,56	1.336	-	-
140	Rch.doCurral	"	G	26	10,79	33,98	23,19	0,15	50,0	5,70	48	46,20	60,00	105	7,50	285,50	540	40°13'30"	8°09'40"
141	Campo Santo -II	"	gn	16	6,29	35,49	29,20	0,06	60,0	08,70	800	631,80	445,30	3.600	262	80,50	6.870	40°34'05"	8°20'30"
142	Faz.Patos	"	G	25/26	5,00	38,16	33,16	0,01	46,0	8,70	800	631,80	431,30	3.530	244	87,80	6.727	40°03'38"	7°57'15"
143	Faz.Limoeiro	"	x	23/24 40	6,80	31,40	24,60	0,16	50,0	5,50	84	157,95	308,50	900	16	355,02	2.038	-	-
144	Pov.Jurema- II	"	G	33/56 58	20,20	47,80	27,60	0,04	66,0	3,40	304	332,91	145,00	1.650	16	244	3.012	40°04'42"	7°55'42"

