

POR

Walter José Pereira Stamford

RESUMO - O estudo hidrogeológico da área Metropolitana de Fortaleza realizado pela Divisão de Geologia do Projeto RADAMBRASIL, teve por objetivo quantificar o Potencial Hídrico Subterrâneo existente, suscetível de ser aproveitado como auxiliar ao abastecimento d'água ou servir como suporte a implantação de atividades que necessitem do mineral água como insumo básico.

A região em foco cinge uma área de 3.483 km<sup>2</sup> e situa-se no litoral N do Estado, sendo constituída pelos municípios de Fortaleza, Caucaia, Maranguape, Pacatuba e Aquiraz. A área mostra duas feições distintas sob o ponto de vista geológico:

- a) Faixa sedimentar costeira com uma largura de 15 km mais ou menos paralela ao litoral, constituído por Dunas e sedimentos do Grupo Barreiras;
- b) Terrenos cristalinos - constituídos predominantemente por gnaisses, granitos, migmatitos e xistos.

A metodologia adotada no estudo do Potencial Hidrogeológico é a clássica, e teve como suporte o pragmático, em trabalho desta natureza.

No ano 2.000 a população da região metropolitana de Fortaleza estará aproximadamente em torno de 3.550.000 hab e a taxa per-capita de consumo atingirá os 390/1/hab/dia e a necessidade diária será de  $1,4 \times 10^7$  m<sup>3</sup>/dia e o volume anual será de  $511 \times 10^7$  m<sup>3</sup>/ano.

De acordo com as informações geradas neste trabalho conclui-se que o potencial subterrâneo por si só não dá para atender a demanda da região metropolitana, sendo apontadas soluções alternativas, racionais, sob o ponto de vista técnico - econômico, a fim de minimizar as deficiências de abastecimento.

## GENERALIDADES

A região Metropolitana de Fortaleza com uma área de 3.483 km<sup>2</sup>, situa-se no litoral N do Estado do Ceará, sendo constituída pelos municípios de Fortaleza, Caucaia, Maranguape, Pacatuba e Aquiraz.

A escassez de recursos hídricos nesta região de alto crescimento demográfico 52,36% verificado na década passada 70/80, justifica o presente estudo.

O problema da falta d'água é complexo e as causas são as mais variadas, aparecendo como principais:

A Explosão Urbana, Ausência de mananciais de superfície na área capaz de atender a demanda, Distribuição pluviométrica espacial e temporalmente incerta, Alta densidade demográfica 450 hab/km<sup>2</sup>.

Do ponto de vista geológico, a região apresenta duas feições distintas:

Faixa costeira sedimentar e abrangendo uma superfície em torno de 1.100 km<sup>2</sup> constituída predominantemente por Dunas e Sedimentos areno-argilosos do Grupo Barreiras.

Faixa de terrenos cristalinos com uma área de 2.383 km<sup>2</sup>, representada por rochas do complexo nordestino.

## ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

### Morfologia

Através de uma análise do comportamento morfológico distingue-se as seguintes feições de relevo:

a) Terrenos Cristalinos - caracterizam-se por apresentarem uma topografia acidentada, cuja cota gira em torno de 1.000 m, representado pelas serras de Maranguape, Dança, Araras, Ponta Fina, Aratanha e outros com direção geral NE-SW.

b) Depressões Intermediárias - são depressões adjacentes às serras com cotas em torno de 300 m, que são normalmente cobertas por Ranãs (cascalhos e seixos de quartzos).

c) Costas Baixas - representado pelas baixadas litorâneas e aluviais - as litorâneas são constituídas pelos cordões de dunas e pelos tabuleiros areno-argilosos do Grupo Barreiras. As baixadas aluviais são constituídas pelas planícies de inundações dos Rios Pacoti, Maranguape, Ceará e Coco ou pelos terraços destes rios que normalmente sofrem influência das marés.

### Hidrografia

O sistema hidrográfico da região é simples, em que os rios de maior importância fluvial são o Cocó, Pacoti, Gavião, Riachão, Cauípe, Maranguape e Ceará que desembocam no litoral N do Estado.

Estes rios e outros de menor curso (córregos) afluentes dos acima citados constituem a rede de drenagem da área, em que as anomalias de escoamento se relacionam com as características climáticas e fisiográficas da região.

### Clima

Mediante a classificação climática de Köppen a região Metropolitana de Fortaleza, denota nitidamente dois tipos de clima: AW e AW'.

AW - tropical úmido com chuva de verão

AW' - tropical úmido com chuva de verão, estendendo-se até o outono.

### Pluviometria

De acordo com o balanço hídrico realizado pelo Projeto RADAMBRASIL para os municípios de Fortaleza, Caucaia, Maranguape, Pacatuba e Aquiraz a região apresenta uma pluviometria média anual variando de 1.400 - 1.700 mm com ligeiro decréscimo para o S e Sw da região em estudo.

Mediante uma análise do gráfico climático do balanço hídrico da região, constata-se a existência de duas estações climáticas bem determinadas:

Estação Seca - julho - dezembro, sendo outubro o mês mais seco.

Estação Chuvosa - janeiro - junho, sendo março e abril os meses de chuvas mais elevadas.

## GEOHIDROLOGIA

### Aluvião

São manchas descontínuas de espessura reduzidas, constituídas por sedimentos detríticos inconsolidados em que os afloramentos com melhores expressões areal em extensão e largura acham-se depositadas nas planícies flúvio-marinha e na zona de desembocadura. Nesta área merece destaque os terraços dos rios Cocó, Pacoti e Ceará, além dos depósitos aluvionares descontínuos existentes nos vales dos rios Ceará e Cocó.

As aluviões constituem uma unidade aquífera livre anisotrópica de fraca vocação hídrica.

### Dunas

São depósitos eólicos que se desenvolvem paralelo à linha de costa, ocupando uma faixa de 2,5 km de largura por mais de 190 km de extensão. Estes sedimentos constituem cordões areníticos que orientam-se da costa para o interior na direção E-W, constituindo, às vezes, obstáculos naturais a drenagem superficial. Esta disposição em forma de barreira funciona como divisor da água, direcionando o fluxo de água para o interior do continente e para o mar. As Dunas ocorrem morfologicamente como barcanas ou como espigões de contornos irregulares por toda linha da costa sempre comandadas pela direção dos ventos de SE.

Os cordões areníticos em relação a sua mobilidade podem ser fixos e móveis.

Dunas Fixas - são as mais antigas com distribuição espacial restrita normalmente fixadas por edificações ou por vegetação arbustiva. Litologicamente são sedimentos bem selecionados, friáveis de granulação fina com a cor variando de um branco-acinzentado para cinzento escuro em função da presença de matéria orgânica.



Dunas M6veis - litologicamente s6o id6nticas as fixas, por6m seus dep6sitos s6o mais espessos e migram para o interior sob a6o dos ventos na dire6o SE propiciando a forma6o de anfiteatros onde se desenvolvem pequenas b6cias de recep6o, que s6o em partes alimentadas pelo fluxo das 6guas subterr6neas.

A recarga desta unidade aq6ifera processa-se diretamente atrav6s da precipita6o pluviom6trica. O escoamento das 6guas subterr6neas 6 dire6ionado principalmente para as lagoas localizadas nas depress6es interdunares e para o mar. Contudo, o melhor exut6rio desta unidade aq6ifera 6 a evapotranspira6o.

Tabela 1. Característica Hidrol6gica  
Dados m6dios obtidos pela PLANAT nas localidades de Coc6 e Pec6m

LOCALIDADE	T m <sup>2</sup> /s	K m/s	C m	O m <sup>3</sup> /h
Coc6	1.94 x 10 <sup>-3</sup>	2.5 x 10 <sup>-4</sup>	7.76	6.0
Pec6m	1.08 x 10 <sup>-3</sup>	1.4 x 10 <sup>-4</sup>	7.74	2.44
Valor M6dio	1.51 x 10 <sup>-3</sup>	1.95 x 10 <sup>-4</sup>	7.75	4.22

T = transmissividade

U = 44% = porosidade efetiva

K = permeabilidade

C = espessura saturada do aq6ifero

Q = vaz6o

A = 6rea

Reserva Permanente

$$R_p = 475 \times 10^6 \times 7.75 \times 0.44 = 1.62 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A = 2.5 x 190

L = 190 km

Reserva Explor6vel

$$R_E = 540 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

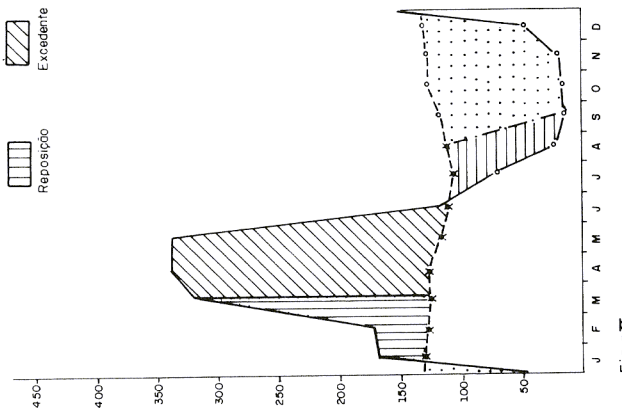
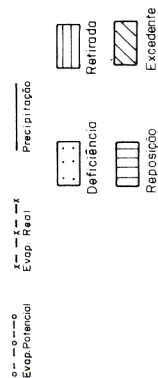
### Grupo Barreiras

S6o coberturas continental que se desenvolvem paralelas 6 linha da costa, repousando direta e discordantemente sobre as rochas do Complexo Nordestino e em algumas 6reas de regi6o metropolitana s6o sobrejacentes a rochas vulc6nicas alcalinas. "Fonalitos", morfologicamente o relevo apresenta declives fracos com interfl6vios tabulares retrabalhados pela drenagem ou exibindo su perf6cie de aplainamento com 6reas aplainadas resultantes da acumula6o de processo fluvial.

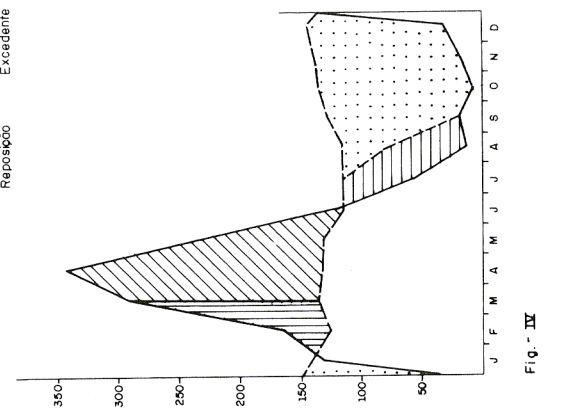
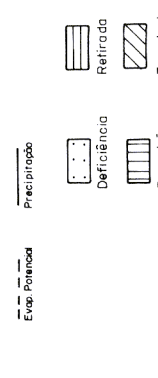
Litologicamente s6o sedimentos cl6sticos, pouco consolidados de cores variadas, havendo sempre uma predomin6ncia da cor vermelha em virtude da forte oxida6o existente na regi6o, que variam desde conglomerado at6 aren6s s6ltico argilosos com larga varia6o de facies horizontal e vertical que reflete a heterogenidade litol6gica. A espessura destes sedimentos 6 bastante vari6vel, tendo maior possan6a a medida que se aproxima do litoral (30 m) e

### Balanco H6drico (Comportamento da pluviometria nas esta6es)

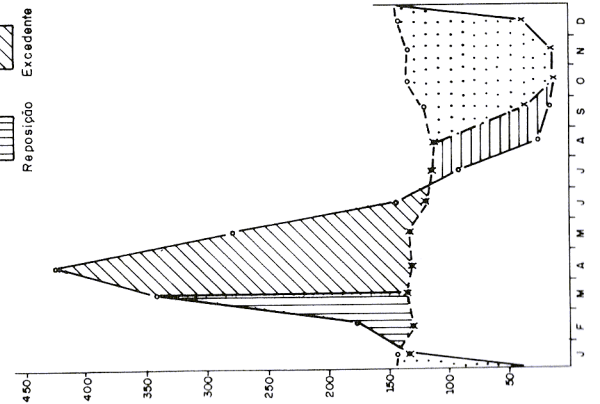
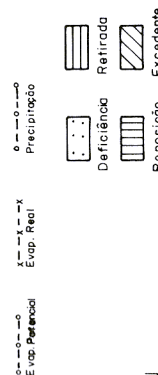
Maranguape (CE)  
03°53' / 36°41' WGr.-Alt. 67m



Caucaia (CE)  
03°44' / 38°39' WGr.-Alt. 32 m



Aquiraz (CE)  
03°54' / 38°23' WGr.-Alt. 30m



Balanco Hídrico ( Comportamento da pluviometria nas estações )

Pacatuba (CE)  
3°59' / 38°37' WGr. - Alt. 54 m.

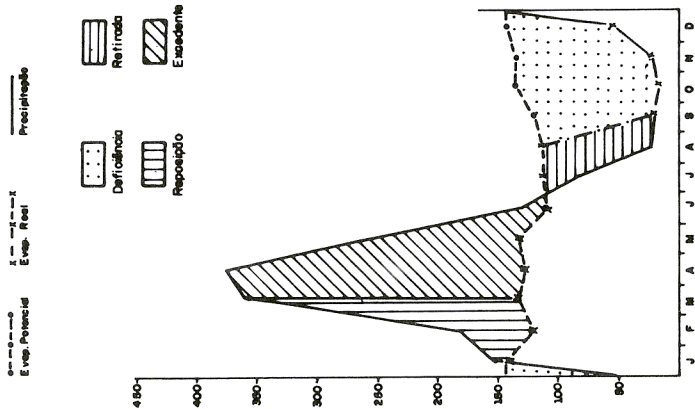


Fig. - I

Fortaleza (CE)  
03°44' / 38°32' WGr. - Alt. 32 m.

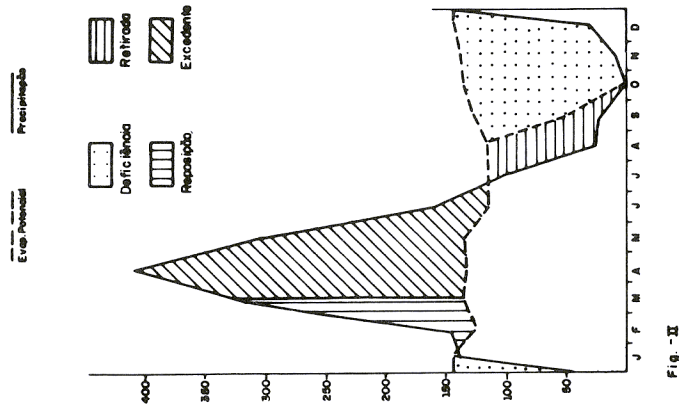


Fig. - II

diminui sensivelmente para o interior.

Através de uma análise do comportamento tectônico destes sedimentos constatam-se: que as camadas têm uma disposição horizontal ou subhorizontal com leve mergulho para costa e a drenagem estruturada apresenta-se com arran\_jamento subparalelo.

Tais fatos acima observados são reflexos do comportamento litoestrutu\_ral das rochas do complexo nordestino, que constituem o substrato em área. O meio aquífero é definido por uma camada arenosa inserida na seqüência sílti\_ca com uma espessura em torno de 10 m.

Estes sedimentos constituem um aquífero livre ou suspenso, heterogêneo e anisotrópico em que a vazão varia de ponto a ponto na área de afloramento. A recarga desta unidade aquífera processa-se diretamente pelas precipitações pluviométricas, havendo também contribuição lateral dos rios na época de pleirose.

O escoamento das águas subterrâneas processa-se normalmente para os ní\_vois de bases regionais (rios, riachos, lagos e fontes) e para o mar, sendo a evapotranspiração o exutório principal.

Balanco Hidrológico

Utilizamos os parâmetros hidrodinâmicos calculados pela SONDOTÉCNICA.

Assim tem-se:

A = 917 km<sup>2</sup>  
 T = 4 x 10<sup>-4</sup>  
 K = 4 x 10<sup>-5</sup>  
 U = 12 x 10<sup>-2</sup>  
 C = 10 m

Reserva Permanente

R<sub>p</sub> = V.U

V = A x C

R<sub>p</sub> = 1.10 x 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>

Reserva Explorável

R<sub>E</sub> = 360 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano

Dados Estatísticos da Região Metropolitana de Fortaleza

Profundidade Média (m)	FORTALEZA	AQUIRAZ	MARANGUAPE	CAUCAIA	PACATUBA
	51.00	47.35	50.80	38.4	41.46
Nível Estático Médio (m)	11.15	8.81	8.35	8.08	10.61
Nível Dinâmico Médio (m)	30.66	28.93	38.70	20.00	27.94
Vazão Média ℓ/s/m	1.15	1.01	0.58	1.09	0.64



## Balço Hídrico

P = 1616 mm/ano = 100%  
E = 1529 mm/ano = 94,6%  
I = 62 mm/ano = 0,4%  
R = 80.8 mm/ano = 5,8%

### Conclusões

1. infiltração quase nula em relação aos de mais componentes do balanço hídrico.
2. evapotranspiração alta cerca de 94,6% da precipitação pluviométrica.
3. run-off alto - para bacias hidrográficas muito próximas à costa. Regime de chuva torrencial superconcentrada.

## Cristalino

As rochas cristalinas na região metropolitana de Fortaleza, pertencem ao Complexo Nordeste (Nascimento, 1981), sendo representado na área em estudo por gnaisses, gnaisses xistificados, migmatitos diversos, migmatitos de composição granítica e vulcânicas alcalinas (fenólitos).

Os diferentes litotipos que ocorrem na região abrangem uma área de 2091 km<sup>2</sup> e são heterogeneamente distribuídos.

No município de Fortaleza, predominam rochas alteradas resultantes da ação conjunta da erosão e intemperismo (elúvios) que são sedimentos argiloso ou argilo-arenoso inconsolidados ou parcialmente consolidados de espessura variável 0,1 - 4,5 m, é comum nos afloramentos menos alterados a presença de veios de quartzo ou nódulos de hematita nestas rochas. A única ocorrência de rocha sã neste município é observada a margem da Lagoa de Sapiranga em que emerge um gnaise exibindo uma incipiente lineação estrutural na direção N-S com mergulho para costa.

As diferentes unidades litológicas que ocorrem nos municípios de Caucaia, Maranguape, Pacatuba e Aquiraz repartem-se em faixas orientadas em que os gnaisses a biotita e os gnaisses xistificados predominam por toda porção E, SE e NE da região metropolitana, sendo o limite na porção ocidental a Rodovia CE-021. Estas rochas na área são em parte mascaradas por sedimentos do Grupo Barreira e por dunas.

Os gnaisses e os xistos gnaissificados apresentam um trend direcional na direção N-S ou NE-SW e o mergulho é para SE. Contudo, na região de Pavuna os gnaissificados apresentam mergulhos sub-verticais para W.

Os migmatitos diversos e os migmatitos de composição graníticas, ocorrem em faixas em direção NE-SW e por toda porção central, ocidental e meridional da região metropolitana. Os migmatitos de composição granítica constituem os principais acidentes topográficos (serras) que funcionam como divisor entre as bacias.

O vulcanismo alcalino apresenta-se na região como serrotes isolados de forma circulares ou elipsoidais, que ocorrem preenchendo fratura de tensão como neck na seqüência gnaissica ou migmatítica do complexo nordestino. É normal a presença de juntas de resfriamento nestes corpos alcalinos resultantes do alívio de tensão.

Meio Aquífero desta unidade cristalina que tem uma área de 2.091 km<sup>2</sup> é definido pelas descontinuidades existentes nas rochas do complexo nordestino

produzidos pela ação das estruturas diruptivas (dobramentos, falhamentos e fraturamentos), gerando assim, um aquífero livre com retenção por fenda.

A presença quase constante, de um manto de decomposição (elúvios ou manto de intemperismo) sobreposto aos diferentes litotipos do complexo nordestino, aumenta a permeabilidade primária desta rocha em torno de 15%, facilitando, deste modo, a recarga e o escoamento para os níveis de base.

Através de uma análise do arcabouço tectônico destas rochas, constata-se que as estruturas diruptivas sintectônicas predominam sobre as post-tectônicas.

As linhas estruturais representadas pelas falhas e diaclases longitudinais de expressão cartográfica na escala de trabalho, são sintectônicas e incidem com a direção do amplo sinclínio, segundo a qual ocorrem as grandes dorsais gnaissicas da área, essas estruturas são normalmente regeladas, em virtude da natureza dos esforços distróicos gerado (compressão e cisalhamento).

As estruturas post-tectônicas são representadas na área, pelas fraturas longitudinais e diagonais orientadas em relação ao eixo dos dobramentos ou lineares, foram consumados pelo alçamento dos movimentos epirogenéticos. Tais descontinuidades, são geralmente abertas e bastante favorável à infiltração, principalmente quando são coincidentes com a drenagem (1ª e 2ª ordem), constituindo os riachos fendas.

Uma avaliação quantitativa do comportamento das características e aquífero tendo por suporte os dados estatístico dos poços perfurados revela a seguinte tendência média.

Prof. = 40 a 50 metros

NE = 05 a 15 metros

ND = 20 a 35 metros

Vazão específica = 0,4 a 1,2 l/s/m

## Avaliação Quantitativa

Varição Sazonal 0,45 - 0,80 m

$$S = 4 \times 10^{-3}$$

$$A = 2019 \text{ km}^2$$

Vazão de Escoamento Natural, ou seja:

Reserva explorável de =

$$R_{EM} = 6,46 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$R_{E \text{ média}} = 5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Através de uma análise das unidades aquíferas existentes na região Metropolitana de Fortaleza, constata-se que os diversos aquíferos vem sendo explorados há muitos anos por uma densa rede de poços tubulares e amazonas.

Estes poços funcionam como uma grande bateria, em que cada poço é captado



do individualmente sem haver nenhum controle por parte dos poderes competentes, tornando, deste modo, impossível a quantificação dos volumes d'água retidos.

Mediante o estudo hidrogeológico da área chegamos aos seguintes resultados de caráter geral:

Os mananciais de superfície analisados a partir das séries históricas dos dados hidrométricos dos principais postos da região, mostra através do balanço hídrico os seguintes resultados de caráter geral:

- a - precipitação média anual = 1615,6 mm;
- b - excedente hídrico ( $H = I + R$ ) = 536 mm;

Este valor corresponde a 33,17% da precipitação média da área sendo que 80% deste potencial infiltra-se na região das Dunas e região dos sedimentos do grupo barreira é de 10,3%;

- c - evapotranspiração potencial = 1528,6 mm, o que corresponde a 94,6% da precipitação;
- d) evapotranspiração real = 1079,6 mm, o que corresponde a 66,83%.

A deficiência hídrica regional é de 27,77%.

O potencial de superfície na região é representado por rios ou riachos que constituem bacias ou sub-bacias que tem como peculiar respostas imediatas às precipitações atmosféricas em virtude do escoamento ser influenciados diretamente pelos fatores fisiográficos e climáticos. Tais fatos determinam para bacias a presença constante de secas e cheias, cuja solução é alcançada pela construção de barragens regularizadoras de vazões.

Os dados pluviométricos mostram que a região está subordinada a um regime climático de pluviometria incerta em que qualquer atraso nas chuvas da região superior a 60 dias acarreta um colapso no abastecimento e a solução mais eficaz de minimizar os efeitos da falta de água é alcançada através da perenização dos rios por barragens sucessivas com transferência do excedente hídrico para as bacias adjacentes.

O potencial subterrâneo mostra-se incapaz de solucionar isoladamente o problema da região Metropolitana no tocante a abastecimento, em virtude da baixa vocação apresentada pelas unidades aquíferas. De acordo com o exposto o potencial hidrogeológico deve ser utilizado como solução alternativa para o abastecimento de pequenas comunidades através de poços tendo em vista que trata-se de uma solução permanente de baixo custo.

Nas comunidades situadas na zona sedimentar próxima ao litoral os poços devem ser localizados nas áreas de predominância das Dunas principalmente no sopé das mesmas ou no domínio das mini-bacias que são encontradas próximo aos anfiteatros produzidos pelas dunas móveis. Também devem ser evitadas as áreas de barreiras próximo a costa.

Nas comunidades situadas no domínio cristalino as áreas mais favoráveis são:

Os dobramentos secundários e terciários de natureza post-tectônica bem evidenciada em imagem de radar e landsat e em campo por baixos mergulhos mostram que as fraturas diagonais em relação ao eixo de tais dobramentos, são fa-

voráveis à percolação, havendo retenção nos baixos estruturais e nos vértices dos sinclinais mormente quando predominam gnaisses e migmatitos.

Os fraturamentos longitudinais bem evidenciados em campo e através de imagem de radar relacionados a lineação ou ao eixo dos dobramentos são normalmente regelados ou de baixa aptidão.

Os depósitos de fanglomerados (pedimento detrítico) que ocorrem no sopé dos dorsais graníticos (serras de Maranguape, Dança, Juá e Araras) são favoráveis à infiltração havendo amplas condições de exploração dos poços.

#### BIBLIOGRAFIA

- AGUIAR, F.G., 1939 - Estudos hidrométricos do nordeste brasileiro - *Boletim do IFOCS, Rio de Janeiro.*
- BELTRÃO, A.E. - 1971 - Inventário hidrogeológico básico do nordeste. Folha nº 6, Fortaleza-SE, série hidrogeologia, nº 28, SUDENE, Recife.
- BELTRÃO, A.E., e MANOEL FILHO, J. - 1973 - Abastecimento de água da área metropolitana da cidade de Fortaleza, série hidrologia, nº 44, SUDENE, Recife.
- MANOEL FILHO, J. - 1971 - Inventário hidrogeológico básico do nordeste, Folha nº 10, série hidrogeologia, nº 30, SUDENE, Recife.
- NASCIMENTO, D.A., et al, FOLHA SA.24 Fortaleza. Projeto RADAMBRASIL. 1982 - Levantamento de Recursos Naturais, volume 21. p.23-133.
- STAMFORD, W.J.P., et al. FOLHA SA.24 Fortaleza. Projeto RADAMBRASIL - 1982 - Levantamento de Recursos Naturais, volume 21. p.163-212.

# HIDROGEOLOGIA DA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA

## ABSTRACT

The hydrogeological study of Fortaleza metropolitan area realized by Geology Division from RADAMBRASIL Project had as goal to quantify the under ground hydric resource that exists and that is susceptible of being used as a help on water supply or to serve as a support for the implantation of activities that needs water as basic insume.

The region on case involves an area of 3.484 square kilometers and is situated on the northern coastline of Ceará state, being constituted by the Fortaleza, Caucaia, Maranguape, Pacatuba and Aquiraz counties. The area shows two distinct features under the geological point of view:

- a) Sedimentary coastline band with a width of 15 kilometers more or less parallel to the littoral, constituted by dunes and Barreiras Group sediments;
- b) Crystalline terrains - constituted mainly by gneisses, granites, migmatites and schists.

The adopted methodology on the Hydrogeological Resource study in the classic one, and had as a support the pragmatic on works of this kind.

On the 2.000 year the Fortaleza metropolitan region population will be near of 3.550.000 inhabitants and the daily demand for each shall be about 390 liters which give an amount of  $1,4 \times 10^9$  m<sup>3</sup>/day or  $511 \times 10^9$  m<sup>3</sup>/year.

With the informations generated on this work appears the conclusion that the underground resource by itself will not be able to support such a demand, and some solutions, alternative ones, are pointed, since reasonable under technical and economic point of view, in order to minimize the deficiency on water supply.