

FERNANDO ANTONIO CARNEIRO FEITOSA

- GEÓLOGO -

**"ESTUDO HIDROGEOLÓGICO DO
AQUÍFERO CABEÇAS NO MÉDIO
VALE DO RIO GURGUÉIA/PI"**

VOLUME 1 - TEXTO

Dissertação apresentada ao
Centro de Tecnologia da
Universidade Federal de
Pernambuco, orientada pelo
Prof. Edilton Carneiro
Feitosa, a fim de obter o
grau de Mestre em
Geociências, área de
concentração Hidrogeologia,
defendida e aprovada em 10
de dezembro de 1991.

RECIFE
1990

APRESENTAÇÃO

O Governo Federal, a partir de 1985, adotou uma política de incentivos à irrigação, criando o Ministério da Irrigação, que através do PROINE (Programa de Irrigação do Nordeste), repassou recursos provenientes do Banco Mundial para a implantação e desenvolvimento de projetos de irrigação em todos os estados nordestinos.

O Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS, órgão vinculado ao então Ministério da Irrigação, ficou encarregado do planejamento, implantação e desenvolvimento destes projetos, geralmente já estudados e dimensionados em anos anteriores.

Dentro deste contexto, o DNOCS iniciou a implantação do Projeto de Irrigação do Vale do Rio Gurguéia/PI, que previa inicialmente a irrigação de 30.000 ha com recursos hídricos subterrâneos através de poços captando o Aquífero Cabeças. A área irrigada seria distribuída ao longo de todo o vale na forma de pequenos módulos, a exemplo de um perímetro irrigado com cerca de 2.000 ha, implantado no médio vale desde 1978 e denominado Projeto Piloto do DNOCS.

A CPRM - Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (Residência Especial de Teresina - RESTE) foi contratada pelo DNOCS para realizar as perfurações dos poços tubulares.

O DNOCS, em agosto de 1986, firmou um convênio com a ATEPE - Associação Tecnológica de Pernambuco, com interveniência da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, para o acompanhamento técnico das perfurações dos poços e a execução de estudos hidrogeológicos complementares. Este convênio, encerrado em 31/12/1989, utilizou as dependências e equipamentos do LABHID - Laboratório de Hidrogeologia da UFPE e contou, na sua equipe de trabalho, com a participação de dois professores ligados a área de hidrogeologia e três geólogos contratados pela ATEPE.

A nossa participação como geólogo do convênio, permitiu o desenvolvimento desta dissertação intitulada "Estudo Hidrogeológico do Aquífero Cabeças no Médio Vale do Rio Gurguéia - PI", que representa uma síntese dos resultados alcançados e conhecimentos adquiridos sobre o Aquífero Cabeças, com as perfurações dos poços e os estudos hidrogeológicos complementares realizados.

ABSTRACT

The Gurguéia Irrigation Project started in August, 1986, resulting in the construction of 39 wells (23 production wells and 16 piezometers) exploiting the Cabeças aquifer. The wells are distributed among three bateries between the cities of Cristino Castro and Elizeu Martins, in the south of the state of Piauí. Twenty long term aquifer tests led to the following figures which are accepted as good representatives of the porous media: $T = 1.33 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$; $S = 3.74 \cdot 10^{-4}$; $K = 5.89 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$. Data from the lithology logs and from the aquifer tests suggest the Cabeças sandstones to be markedly homogeneous, even though the occurrence of filled fractures in the INCRA and Projeto Piloto areas and the occurrence of a probable gravity fault north of Núcleo Colonial do Gurguéia act as hydrodynamic barriers. Slight evidence of downward vertical leakage from the Poti/Piauí system was detected, being nevertheless considered as a hypothesis to be tested in further studies. No capture is admitted to occur, at the present state of knowledge of the aquifer, which means that the exploitation regimen is to be admitted as one of depletion. Discharges and drawdown analysis, on the above basis, recommend for the INCRA, Projeto Piloto and UNIFOR bateries, operational discharges of 1800.0, 5277.0 and 2022.0 m^3/h with 8, 13 and 6 pumping wells, respectively.

RESUMO

A programação hidrogeológica do Projeto de Irrigação do Gurguéia, iniciada em agosto de 1986, possibilitou a perfuração de 39 poços (23 produtores e 16 piezômetros) captando o Aquífero Cabeças, distribuídos em três baterias localizadas entre as cidades de Cristino Castro e Elizeu Martins no sul do Estado do Piauí. Ao longo desta programação, foram realizados vinte testes de aquífero de longa duração que permitiram a determinação dos seguintes parâmetros hidrodinâmicos, representativos do Aquífero Cabeças na área estudada: $T = 1,33.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$; $S = 3,74.10^{-4}$ e $K = 5,89.10^{-5} \text{ m/s}$. Os dados dos perfis litológicos dos poços e dos testes de aquífero, permitiram verificar que os arenitos da Formação Cabeças, embora acentuadamente homogêneos em seu conjunto, são afetados por uma tectônica de quebramentos representada por fraturas preenchidas nas áreas do INCRA e do Projeto Piloto e por uma provável falha de gravidade ao norte do Núcleo Colonial do Gurguéia, que funcionam como fronteiras hidráulicas. O Aquífero Cabeças é considerado como confinado e não drenante. Algumas evidências de uma recarga vertical descendente a partir do sistema Poti/Piauí foram detectadas, entretanto, no atual estágio de conhecimentos esta recarga foi considerada apenas como uma hipótese a ser demonstrada em trabalhos posteriores. Não foi considerado nenhum aporte adicional de água (captura), sendo admitido portanto que a exploração é realizada em regime de exaustão. A análise das três baterias operando simultaneamente, resultou no dimensionamento de 8, 13 e 6 poços para as baterias do INCRA, Projeto Piloto e UNIFOR com descargas globais de 1800,0, 5277,0 e 2022,0 m^3/h respectivamente.

SUMÁRIO

	Pag.
APRESENTAÇÃO	
RESUMO	
ABSTRACT	
RELAÇÃO DE ILUSTRAÇÕES	
RELAÇÃO DE TABELAS	
1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Estudos Anteriores.....	11
1.2 Histórico do Projeto de Irrigação do Gurguéia.....	12
1.3 Localização da Área e Acessos.....	15
2. ASPECTOS FISIOGRAFICOS.....	17
2.1 Elementos do Clima.....	17
2.1.1 Pluviometria.....	17
2.1.2 Temperatura, Insolação, Umidade Relativa e Ventos..	17
2.1.3 Evapotranspiração.....	18
2.1.4 Tipos de Clima.....	18
2.2 Morfologia e Drenagem.....	18
2.3 Vegetação.....	18
3. GEOLOGIA REGIONAL.....	21
3.1 Introdução.....	21
3.2 Estratigrafia.....	21
3.2.1 Formação Serra Grande.....	22
3.2.2 Formação Pimenteiras.....	22
3.2.3 Formação Cabeças.....	24
3.2.4 Formação Longá.....	24
3.2.5 Formação Poti.....	25
3.2.6 Formação Piauí.....	25

	Pag.
3.3 Considerações Estruturais.....	26
4. HIDROGEOLOGIA REGIONAL.....	28
4.1 Aquífero Serra Grande.....	28
4.2 Aquífero Cabeças.....	29
4.3 Sistema Poti/Piauí.....	30
5. TRABALHOS REALIZADOS.....	31
5.1 Poços Perfurados.....	31
5.2 Testes de Aquífero e de Produção.....	36
5.3 Monitoramento de Descargas e Níveis.....	37
5.4 Levantamento Geofísico.....	44
6. O AQUÍFERO CABEÇAS.....	45
6.1 Caracterização Litológica e Estrutural.....	45
6.2 Parâmetros Hidrodinâmicos.....	49
6.3 Fronteiras Detectadas.....	53
6.3.1 Considerações Gerais.....	53
6.3.2 Metodologia Utilizada.....	55
6.3.2.1 Cálculo das Distâncias ao Poço Imagem.....	55
6.3.2.2 Mapeamento das Descontinuidades.....	58
6.3.3 Descontinuidades Mapeadas.....	59
6.3.3.1 Região da Colônia do INCRA.....	59
6.3.3.2 Região do Projeto Piloto.....	61
6.3.4 Natureza das Descontinuidades.....	61
6.4 Piezometria e Vazão de Escoamento Natural.....	67
6.5 Alimentação e Exutórios.....	73
6.6 Reservas Permanentes.....	75
6.7 Considerações Sobre as Reservas Explotáveis.....	77
6.8 Análise do Monitoramento de Descargas e Níveis.....	83
6.9 Qualidade Química da Água.....	86

	Pag.
6.10 Capacidade de Produção das Baterias Existentes.....	87
6.10.1 Metodologia Utilizada.....	90
6.10.2 Parâmetros Hidrodinâmicos Adotados.....	92
6.10.3 Distâncias Entre os Poços.....	94
6.10.4 Vazões Máximas Permissíveis.....	94
6.10.5 Eficiência dos Poços.....	98
6.10.6 Resultados Obtidos.....	100
6.10.6.1 Bateria do Projeto Piloto.....	101
6.10.6.2 Bateria do INCRA.....	108
6.10.6.3 Bateria da UNIFOR.....	108
7. CONCLUSÕES.....	110

AGRADECIMENTOS
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

RELAÇÃO DE ILUSTRAÇÕES

Figura	Pag.
01 - Mapa de Localização.....	16
02 - Tipos de Clima.....	19
03 - Coluna Estratigráfica da Bacia do Piauí-Maranhão.....	23
04 - Geologia da Região Estudada.....	27
05 - Localização das Baterias de Poços.....	33
06 - Contorno Estrutural do Topo da Formação Cabeças.....	47
07 - Mapa de Isópacas da Formação Longá.....	48
08 - Perfil Geológico de Correlação de Poços.....	50
09 - Correlação Transmissividade X Espessura.....	54
10 - Curvas de Rebaixamentos (Tranqueira / APP-6).....	56
11 - Curvas de Rebaixamentos (P - 15 / BPP-2).....	57
12 - Fronteiras Mapeadas - Área do INCRA.....	60
13 - Mapa de Condutâncias Longitudinais da Formação Longá...62	
14 - Fronteira Mapeada - Área do Projeto Piloto.....	63
15 - Esboço Tectônico do Sudeste da Bacia do Piauí-Maranhão.66	
16 - Piezometria e Área de Recarga do Aquífero Cabeças.....	68
17 - Subdivisões para Cálculo do Escoamento Natural.....	72
18 - Diferença de Carga entre Serra Grande e Cabeças.....	74
19 - Diferença de Carga entre Poti/Piauí e Cabeças.....	76
20 - Resposta ao Bombeamento do Projeto Piloto.....	85
21 - Bateria do INCRA.....	88
22 - Bateria do Projeto Piloto.....	89
23 - Bateria da UNIFOR.....	91

RELAÇÃO DE TABELAS

Tabela	Pag.
01 - Poços Perfurados pela CPRM (Período: ago/86 - jul/88)...	32
02 - Dados Principais dos Testes de Aquífero.....	36
03 - Correção das Horas de Funcionamento (Horas).....	38
04 - Horas de Funcionamento da Bateria do Projeto Piloto (Informado pelo DNOCS).....	39
05 - Horas de Funcionamento da Bateria do Projeto Piloto (Medição da ATEPE/LABHID - 1988).....	40
06 - Monitoramento de Níveis Piezométricos (NE em metros)...	41
07 - Monitoramento de Níveis Piezométricos (NE em metros)...	42
08 - Monitoramento de Níveis Piezométricos (NE em metros)...	43
09 - Dados para Mapas Estruturais.....	46
10 - Parâmetros Hidrodinâmicos do Cabeças.....	52
11 - Cálculo da Distância - Poço Imagem/Poço Observado.....	59
12 - Razão entre as Transmissividades T_A e T_B	65
13 - Dados para a Piezometria-Poços Antigos do Proj. Piloto..	69
14 - Dados para a Piezometria-Poços da Programação Atual....	70
15 - Dados para a Piezometria-Outros Poços da Região.....	71
16 - Cálculo da Vazão de Escoamento Natural.....	73
17 - Dados para Avaliação das Reservas Permanentes.....	78
18 - Necessidade de Água das Culturas.....	93
19 - Distâncias Entre os Poços (Bateria da UNIFOR).....	95
20 - Distâncias Entre os Poços (Bateria do INCRA).....	95
21 - Distâncias Entre os Poços (Bateria do Projeto Piloto)..	96
22 - Vazões Máximas Permissíveis.....	97
23 - Eficiência dos Poços.....	99

Tabela	Pag.
24 - Profundidade do Topo dos Rotores.....	102
25 - Bateria do P. Piloto (Crivos atuais / Alcance = 1 mês/ Baterias do INCRA e da UNIFOR sem funcionar).....	103
26 - Bateria do P. Piloto (Crivos Programados / Alcance = 5 anos / Baterias do INCRA e da UNIFOR sem funcionar)...	105
27 - Bateria do P. Piloto (Crivos Programados/Alcance = 20 anos / Baterias do INCRA e da UNIFOR sem funcionar)...	106
28 - Bateria do P. Piloto (Crivos Programados/Alcance = 20 anos / Baterias do INCRA e da UNIFOR funcionando).....	107
29 - Bateria do INCRA (Alcance = 20 anos / Baterias do Pro- jeto Piloto e da UNIFOR funcionando).....	109
30 - Bateria da UNIFOR (Alcance = 20 anos/Baterias do Pro- jeto Piloto e do INCRA funcionando).....	109

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 ESTUDOS ANTERIORES

Os primeiros estudos hidrogeológicos realizados no vale do Gurguéia, fizeram parte de um reconhecimento geral da bacia hidrográfica deste rio, contratado pelo DNOCS em 1972 ao consórcio OESA-TECNOSOLO-OTI-EPTISA (BRASIL/DNOCS, 1973).

No âmbito destes estudos, inicialmente foi elaborado um relatório de avaliação dos dados existentes, onde foi verificada a ausência quase que total de informações anteriores. Assim, as investigações hidrogeológicas iniciaram com um inventário de pontos d'água de toda a bacia, seguido de um nivelamento barométrico e geométrico e de um levantamento geofísico (magnetometria e gravimetria). Numa etapa posterior, foram projetados e perfurados seis poços produtores e seis piezômetros, captando os diversos aquíferos da região e locados em função das necessidades verificadas em uma análise preliminar nos dados do inventário. Em seguida, foi desenvolvida uma campanha de ensaios de bombeamento, visando a determinação dos parâmetros hidrodinâmicos de cada aquífero.

As conclusões destes trabalhos indicaram o Aquífero Cabeças como o de maior potencialidade hídrica subterrânea, seguido pelo Aquífero Serra Grande e o Sistema Poti/Piauí.

Dando continuidade aos estudos, o DNOCS contratou a COTEP em 1974, para realizar os Estudos de Viabilidade e Projeto Executivo de uma área com cerca de 2.000 ha entre os riachos Anda Só e Correia, localizada na margem direita do rio Gurguéia entre as cidades de Cristino Castro e Elizeu Martins (BRASIL/DNOCS, 1976). Dentro deste contexto, inicialmente foram perfurados um poço produtor e um piezômetro (poço Bom Lugar) captando o Aquífero Cabeças, e realizados ensaios de bombeamento. Tendo sido confirmada a potencialidade do aquífero, foi dimensionada na área entre os dois riachos (Anda Só e Correia), uma bateria com 15 poços produtores denominada de Projeto Piloto.

Paralelamente, o DNOCS contratou a SCET-SIRAC para a execução do Projeto Executivo de todo o vale do Gurguéia (BRASIL/DNOCS, 1976). No que concerne à hidrogeologia, não houve grandes contribuições em relação aos Estudos de Reconhecimento, sendo, entretanto, realizado o

primeiro modelo numérico em diferenças finitas para o Aquífero Cabeças na região. A maior contribuição, sem dúvida, foi o mapeamento de manchas de solo favoráveis, sendo indicados 30.000 ha de terras irrigáveis ao longo do vale, desde Redenção do Gurguéia, ao sul, até Canavieiras, ao norte.

Em 1978 e 1979, a SUDENE publicou o Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste, folhas 13 e 18 respectivamente, que cobrem praticamente toda a extensão do vale do Gurguéia. Este estudo, abrangendo uma área mais ampla que as estudadas anteriormente, complementa o primeiro inventário realizado em 1973, extrapolando os dados para grande parte da região sul/sudeste da bacia do Piauí-Maranhão.

A partir de agosto de 1986, o DNOCS retomou as atividades no vale, iniciando a implantação do Projeto de Irrigação do Gurguéia, com a participação da CPRM como empresa executora dos poços tubulares e da ATEPE/LABHID como consultora para a realização dos estudos hidrogeológicos.

DEMÉTRIO apresentou em janeiro de 1990, na Universidade Federal de Pernambuco, a dissertação de mestrado intitulada "Modelo Numérico em Diferenças Finitas do Aquífero Cabeças no Vale do Gurguéia - PI", elaborada a partir dos dados e resultados conseguidos com os estudos realizados pela ATEPE/LABHID, no âmbito do Projeto de Irrigação do Gurguéia.

1.2 HISTÓRICO DO PROJETO DE IRRIGAÇÃO DO GURGUÉIA

O plano diretor de todo o vale do Gurguéia, realizado pela SCET-SIRAC, indicou 30.000 ha de terras irrigáveis ao longo do vale, os quais, por questões de planejamento, foram divididos em quatro áreas, denominadas Pequenas Regiões Agrícolas (P.R.A.) e abaixo especificadas:

-P.R.A. de Parnaguá: englobando desde as cabeceiras do rio até a localidade de Paus, ao sul da cidade de Redenção do Gurguéia;

-P.R.A. de Redenção do Gurguéia: da localidade de Paus até a cidade de Cristino Castro;

-P.R.A. de Cristino Castro: desta cidade até o riacho Correia, que limita ao norte a área do Projeto Piloto do DNOCS;

-P.R.A. de Canavieiras: do riacho Correia até a cidade de Jerumenha.

A região que compreende o P.R.A. de Parnaguá seria irrigada através de água superficial, represada em barragens, ficando portanto, fora da programação de perfurações de poços iniciada em 1986.

A etapa inicial do Projeto de Irrigação do Gurguéia tinha como meta a locação e perfuração de 22 poços experimentais, que seriam aproveitados posteriormente como poços produtores. De acordo com o planejamento do Projeto, estes poços seriam distribuídos ao longo do vale obedecendo o seguinte esquema:

P.R.A.	Nº de Poços
Redenção	03
Cristino Castro.....	08
Canavieiras.....	11

Cada poço, acompanhado por um piezômetro, seria locado em manchas de solo favoráveis, na encosta da margem direita do rio Gurguéia. Numa segunda etapa, respaldado pelos resultados obtidos com os poços experimentais, seria ampliada a programação de perfurações de poços e iniciada a implantação dos perímetros irrigados.

Em face do exposto, a equipe técnica da ATEPE/LABHID em setembro de 1986, atendendo os requisitos impostos para as locações (Hidrogeologia, Solo e Relevo), efetuou a locação de 30 poços distribuídos em cinco áreas distintas:

Área "A" - P.R.A. de Canavieiras	- 6 poços
Área "B" - P.R.A. de Cristino Castro	- 4 poços
Área "C" - P.R.A. de Cristino Castro	- 8 poços
Área "D" - P.R.A. de Cristino Castro	- 6 poços
Área "E" - P.R.A. de Redenção	- 6 poços

Das áreas acima mencionadas, apenas as áreas "A" e "B" pertenciam ao INCRA e DNOCS respectivamente, sendo a área "A" localizada imediatamente ao sul da Colônia do INCRA e a "B" uma expansão para sul do Projeto Piloto do DNOCS. As outras áreas, pertencentes a particulares, seriam desapropriadas e para isto o Ministro da Irrigação, Dr. Vicente Fialho, designou uma comissão para entendimentos com os proprietários locais.

Entretanto, a complexidade dos problemas legais envolvidos no processo de desapropriação, juntamente com a meta de irrigação a curto prazo de 5.000 ha, levou a uma nova distribuição, com uma concentração de poços nas áreas já pertencentes ao DNOCS ou em áreas já negociadas. Assim, a nova distribuição de poços locados por área ficou a seguinte:

Área de Aliança - localizada ao norte do povoado Aliança do Gurguéia e negociada com os proprietários locais - 7 poços.

Área do INCRA - imediatamente ao sul da Colônia do INCRA, englobando a área "A" com expansão para leste - 10 poços.

Área "B"-Leste - formando uma linha a leste dos 15 poços antigos do Projeto Piloto do DNOCS - 6 poços.

Área "B"-500 ha - expansão do Projeto Piloto do DNOCS, localizada imediatamente ao sul do riacho Anda Só - 4 poços.

Área de Luiz Martins - negociada com o Sr. Luiz Martins e localizada contígua e ao sul da área "B"-500 ha - 5 poços.

Área da UNIFOR - localizada na região nordeste da cidade de Cristino Castro, representa uma expansão da área "C" e, na ocasião, em negociação com os proprietários locais - 28 poços.

A configuração acima foi dividida pela ATEPE/LABHID, para efeito de análise, em três baterias de poços, abaixo especificadas:

Bateria do INCRA (Área A) - englobando as áreas de Aliança e INCRA, totalizando 17 poços.

Bateria do Projeto Piloto (Área B) - englobando as áreas "B" - Leste, "B" -500 ha, Luiz Martins, os 15 poços da bateria original e o poço Bom Lugar, totalizando 31 poços.

Bateria da UNIFOR (Área C) - englobando todos os poços da área da UNIFOR, totalizando 28 poços.

O primeiro poço produtor perfurado na região de Aliança, ao contrário do esperado, mostrou condições hidrogeológicas pouco favoráveis, que aliadas à inadequabilidade para irrigação dos solos desta área, fizeram o DNOCS cancelar as outras perfurações (6 poços). Também foram cancelados, por problemas fundiários, os três poços mais ao sul da área do INCRA, locados inicialmente pela ATEPE/LABHID. Posteriormente, foi perfurado um poço na fazenda Tranqueira, situada entre as áreas do INCRA e Aliança, para atender a solicitação de particulares que teriam seus poços prejudicados pelo funcionamento da bateria do INCRA.

Na bateria do Projeto Piloto, os consultores preocupados com as excessivas interferências advindas da concentração de poços, conseguiram vetar a perfuração de 7 novas unidades (4 na área de Luiz Martins e 3 na área "B"-Leste). Mesmo assim, devido à pressões políticas, foram perfurados 8 novos poços (4 na área "B"-500 ha, 3 na área "B"-Leste e 1 na área de Luiz Martins), nas vizinhanças da bateria original.

Numa etapa posterior, a reavaliação desta bateria mostrou a inviabilidade destes novos poços, em face de se preservar a operação da bateria antiga do DNOCS (15 poços + poço Bom Lugar), já instalada e em funcionamento. Esta constatação, levou o DNOCS a aprofundar experimentalmente um destes poços (BPP-6) para captar o Aquífero Serra Grande. Os resultados, julgados pelos consultores como promissores, indicaram ser esta uma alternativa para viabilizar a irrigação nas áreas circunvizinhas existentes (Área "B"-500 ha, Área "B"-Leste e Área de Luiz Martins, aproveitando, assim, as oito unidades já perfuradas.

No final de 1987, a escassez de recursos redimensionou a política do Ministério da Irrigação, dando prioridade à implantação das áreas irrigadas e suspendendo a programação de perfurações de poços. O Projeto de Irrigação do Gurguéia paralizou as atividades durante as perfurações da bateria da UNIFOR, que ficou com apenas seis poços.

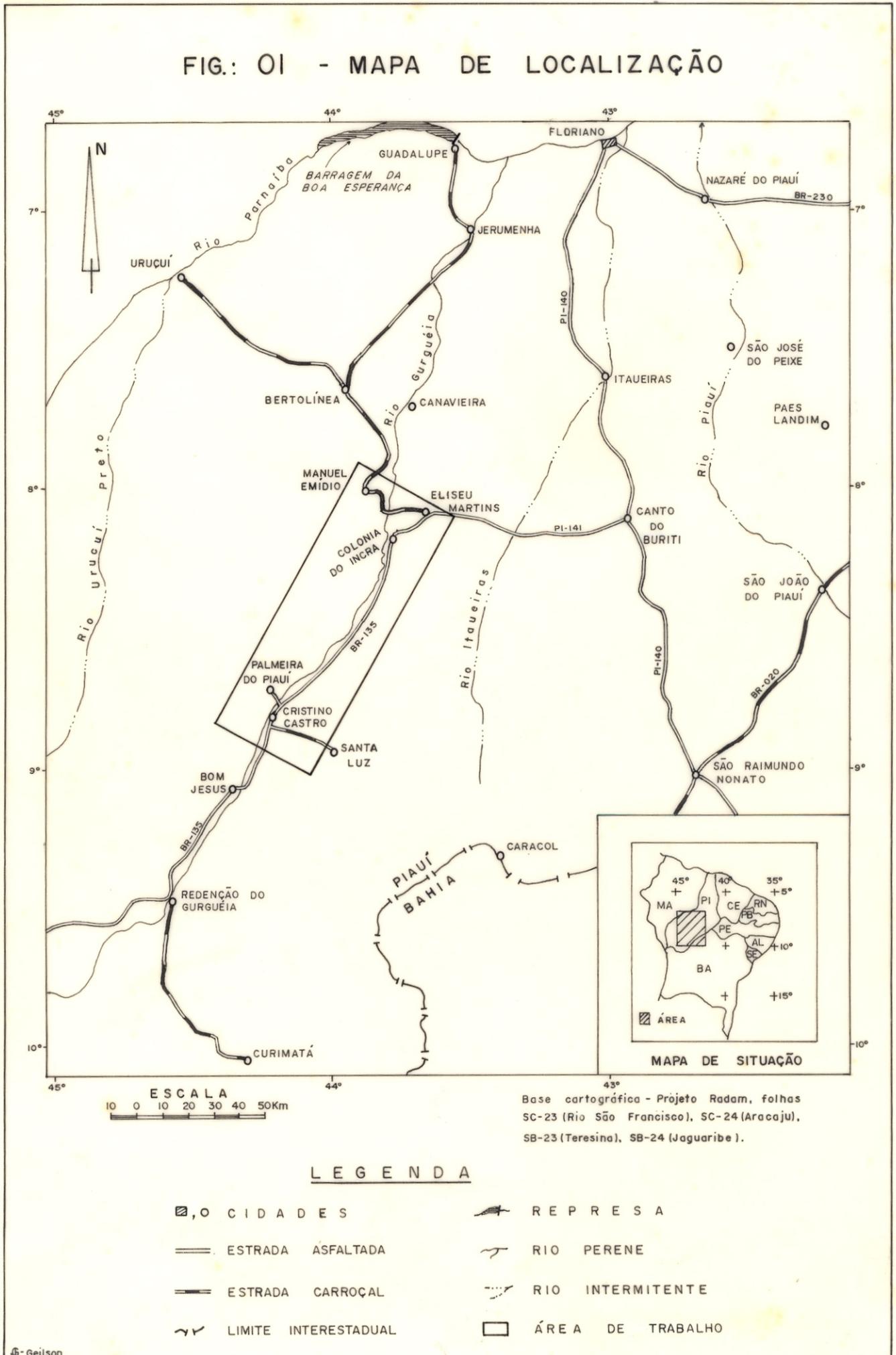
1.3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA E ACESSOS

O rio Gurguéia, afluente pela margem direita do rio Parnaíba, tem suas nascentes nas serras da Tabatinga e Mangabeiras no extremo sul do estado do Piauí. A sua bacia hidrográfica desenvolve-se segundo a direção SW - NE, até desembocar no rio Parnaíba no município de Jerumenha, a jusante da barragem de Boa Esperança.

Os trabalhos de campo foram desenvolvidos no médio vale deste rio, numa área localizada entre as cidades de Cristino Castro e Elizeu Martins (Fig. 01). A área estudada, entretanto, extrapolou a indicada na figura 01, devido a necessidade de uma análise de cunho regional visando uma melhor compreensão dos problemas detectados.

O acesso ao vale é feito, a partir de Floriano, pelas estradas estaduais PI-140 (Floriano-Canto do Buriti) e PI-141 (Canto do Buriti-Elizeu Martins). Partindo daí, a BR-135 corta todo o vale para sul, atravessando toda a área de interesse.

FIG.: 01 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO



Base cartográfica - Projeto Radam, folhas SC-23 (Rio São Francisco), SC-24 (Aracaju), SB-23 (Teresina), SB-24 (Jaguaribe).

LEGENDA

- ◻, O C I D A D E S
- == ESTRADA ASFALTADA
- == ESTRADA CARROÇAL
- ~ LIMITE INTERESTADUAL
- ▬ REPRESA
- ~ RIO PERENE
- ~ RIO INTERMITENTE
- ◻ ÁREA DE TRABALHO

CAPÍTULO 2

ASPECTOS FISIOGRAFICOS

2.1 ELEMENTOS DO CLIMA

Não foram realizados quaisquer estudos climatológicos no âmbito deste trabalho. Sendo assim, e apenas para uma melhor caracterização da região estudada, apresentaremos uma sinopse dos estudos realizados pela SUDENE, para a elaboração do Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste, folha 18 (PESSOA, 1979).

2.1.1 Pluviometria

O regime pluviométrico é caracterizado por dois períodos bem definidos: um seco (verão) e um chuvoso (inverno). Este último, concentrando cerca de 90% de toda a precipitação anual, inicia-se em outubro e estende-se até abril, registrando os maiores índices pluviométricos nos meses de fevereiro e março.

Na região sul do Piauí, a precipitação aumenta de forma geral de leste para oeste, apresentando no vale do Gurguéia, médias em torno de 820 mm/ano (estação de Elizeu Martins).

2.1.2 Temperatura, Insolação, Umidade Relativa e Ventos

As temperaturas médias mensais mantêm-se elevadas durante todo o ano, sendo a amplitude térmica relativamente pequena, não chegando a 5°C a diferença entre o mês mais quente e o mais frio. Na estação de Bom Jesus, para o período de observação 1972/76 a média anual observada foi de 26,3°C com o mês mais quente em setembro (28,7°C) e o mais frio em março (25,3°C).

Ainda para a estação de Bom Jesus, no mesmo período de observação, a insolação média anual foi de 2.846,7 horas, atingindo valores mínimos em fevereiro e março. A umidade relativa do ar aumenta durante a estação chuvosa e diminui no período seco, atingindo valores mínimos em agosto e setembro. Os ventos tem direção dominante sudeste e variam de aragem a brisa fraca na escala de Beaufort.

2.1.3 Evapotranspiração

Os valores obtidos pela SUDENE, calculados utilizando-se a fórmula de Turc, mostraram que mais de 90% dos totais precipitados se perdem por evapotranspiração, o restante, menos de 10%, escoam em superfície e apenas uma pequena quantidade é infiltrada.

A evapotranspiração potencial, decresce ao longo da bacia hidrográfica do rio Gurguéia de norte para sul, ficando com valores médios em torno 1.500 mm/ano na região do médio vale deste rio.

2.1.4 Tipos de Clima

De acordo com a classificação de Köppen, o médio vale do Gurguéia está sob a influência do clima Aw (tropical quente e úmido com chuvas de verão), onde a aridez é menos intensa (Fig. 02). Em direção a sudeste, as condições de aridez ficam mais severas e o clima passa a Bsh do tipo semi-árido, caracterizado pela insuficiência ou escassez de precipitações, temperaturas elevadas e forte evaporação.

2.2 MORFOLOGIA E DRENAGEM

A bacia hidrográfica do rio Gurguéia é formada em sua porção média por sedimentos paleozóicos que se dispõem em extensas chapadas escalonadas, a partir das margens do rio, com altitudes variando de 300 a 600 metros. Os principais cursos d'água são profundamente entalhados e os vales apresentam-se amplos e com encostas suaves, porém sempre em patamares.

O rio Gurguéia, único perene na região, a partir da cidade de Redenção assume um caráter subsequente apresentando um vale assimétrico. A drenagem secundária, quase sempre consequente, é encravada em verdadeiros "cânions" nas cabeceiras, que se alargam gradativamente em direção ao vale principal.

2.3 VEGETAÇÃO

A vegetação da região é do tipo caatinga, caracterizada predominantemente por xerófitas que refletem condições climáticas rigorosas aliadas a solos pouco desenvolvidos.

Luetzelburg classificou as caatingas do Piauí em dois tipos principais: a "caatinga baixa" encontrada em chapadas e planaltos com vegetação densa sem claros entre os

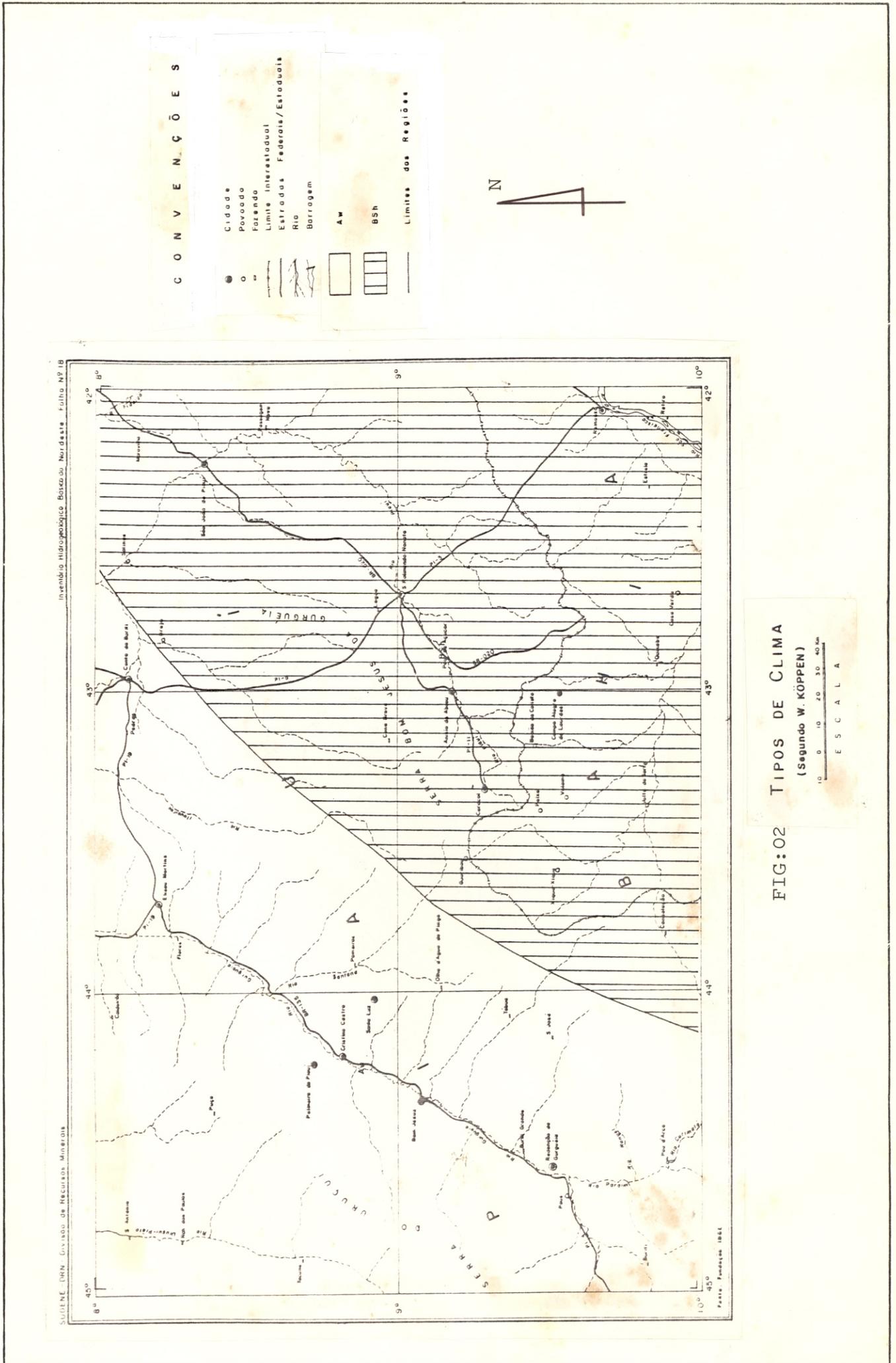


FIG:02 TIPOS DE CLIMA
(Segundo W. KÖPPEN)

ESCALA
0 10 20 30 40 km

indivíduos, e a "caatinga alta" ocupando os vales entre as serras e colinas, mais rica em elementos arbóreos e com sensível diminuição das cactáceas e bromeliáceas.

CAPÍTULO 3

GEOLOGIA REGIONAL

3.1 INTRODUÇÃO

A descrição da geologia aqui apresentada, é baseada quase que exclusivamente na documentação bibliográfica e cartográfica existente, com algumas contribuições dos poços perfurados na área de trabalho. Tem como objetivo básico a caracterização dos principais parâmetros necessários ao conhecimento da hidrogeologia em termos regionais.

O vale do rio Gurguéia, na quase sua totalidade, está inserido na porção sul da bacia sedimentar do Piauí-Maranhão. Esta bacia, classificada como um geossinclinal, cobre uma área aproximadamente poligonal com dimensões da ordem de 600.000 Km² e espessuras de sedimentos pouco superiores a 3.000 metros.

3.2 ESTRATIGRAFIA

O embasamento da bacia, na sua porção sul, de idade pré-siluriana é composto basicamente por três grandes grupos litológicos, abaixo discriminados:

I) Complexo Granítico-Migmatítico - grupo de rochas correspondente ao Pré-Cambriano mais antigo da região.

II) Rochas Ectiníticas de Baixo Grau de Metamorfismo (Fácies Xisto Verde) - representadas por micaxistos e filitos como rochas predominantes e tendo secundariamente calcários cristalinos, quartzitos e anfibolitos.

III) Rochas Epimetamórficas - representadas por filitos, arenitos quartzíticos, conglomerados, folhelhos e calcários pretos.

A evolução sedimentar da bacia iniciou com uma seqüência clástica continental/marinha do Paleozóico Inferior (Siluriano ao Carbonífero Inferior), seguida por uma seqüência clástica predominantemente

continental (Carbonífero Inferior ao Terciário) com episódios esparsos de atividades vulcânicas.

A coluna estratigráfica proposta por AGUIAR (1971) para a bacia do Piauí-Maranhão é apresentada na figura 03.

No vale do rio Gurguéia, esta bacia é representada quase que exclusivamente pelos sedimentos da seqüência clástica continental/marinha do Paleozóico Inferior, tendo apenas nas chapadas, principalmente na margem esquerda do rio, a ocorrência dos sedimentos do Carbonífero Superior, representantes do início da seqüência clástica continental. Aqui, nos limitaremos a descrever sumariamente as Formações geológicas existentes no vale, da mais antiga para a mais nova, analisando seu comportamento na região sul da bacia e sua ocorrência dentro da nossa área de trabalho.

3.2.1 Formação Serra Grande

Representando o Siluro-Devoniano, a Formação Serra Grande repousa discordantemente sobre o embasamento cristalino, sendo formada por uma seqüência essencialmente clástica. É caracterizada, na porção basal, por conglomerados e arenitos conglomeráticos caulínicos, bem consolidados, de coloração creme a esbranquiçada, seguida, na porção média, por arenitos creme esbranquiçados finos a médios, localmente arcoseanos, com desenvolvimento subordinado de níveis conglomeráticos. Encerrando a seqüência, predominam os clásticos finos, aparecendo em algumas regiões (principalmente na porção mais ao sul) siltitos e folhelhos arroxeados.

A área de afloramentos desta Formação, ocupa uma faixa muito estreita no sudeste da bacia com direção geral NE-SW e largura variando de 2 a 15 Km, estando as camadas mergulhando suavemente para NW (Fig. 04).

No vale do Gurguéia, esta unidade ocorre em subsuperfície com o topo aproximadamente aos 750 metros e espessura média de 430 metros (poços Violeto e BPP-6).

3.2.2 Formação Pimenteiras

Esta formação, representando o Devoniano Inferior a Médio, é superposta concordantemente sobre os arenitos da Formação Serra Grande, é caracterizada litologicamente por apresentar variações faciológicas laterais de modo gradativo, predominando no conjunto clásticos finos, onde os sedimentos pelíticos estão presentes em toda a seqüência. Na seção inferior, os clásticos finos são constituídos por arenitos finos, argilosos, de coloração cinza a creme, com intercalações de folhelhos de cores variegadas e siltitos argilosos arroxeados, cinzas e róseos. Na

FIG: 03 - COLUNA ESTRATIGRÁFICA

ERA	UNIDADES				LITOLOGIA TIPO	
	CRONOSTRATIGRÁFICAS		LITOSTRATIGRÁFICAS			
	SISTEMA	SÉRIE	GRUPO	FORMAÇÃO		
CENOZOICA	QUATERNÁRIO				AREIAS E ARGILAS	
	TERCIÁRIO	MIOCENO INFERIOR		BARREIRAS PIRANHAS	ARENITOS BR. ROS. VERM. FIN. A GROS., ARG. C/INTERC. ARGILA ROS. VERM. CALCÁRIOS, MARGAS E FOLHELHOS.	
MESOZOICA	CRETÁCEO	SUPERIOR		ALCANTARA	FOLHELHOS CZ-ESVERD-VERM., SILIC. C/ LENTES DE CALC.	
				ITAPICURU URUCUIA	ARENITOS CZ-ESBRANQ.-ESVERD. E VERM-MARR. FN-MD. BEM CLASS. ARG. FELDSP. CALCIF. FRIAV. C/MIN ESC. C/ INTERC. DE FOLHELHOS PRETOS OU CZ-ESVERD./VERM C/ ABUND. RESTOS DE CACÁRIO	
		INFERIOR		CODÓ	FOLHELHOS PRETOS BETUMINOSOS C/LEITOS DE CALCÁRIOS OU MARGAS BR. CZ. ESVERD. E ANIDRITAS.	
				GRAJAU	ARENITOS BR-AMAR. CONGL. NA BASE, FN-GROSS. NO TOPO ESTR. CRUZ LAM DE ALTERN. DE GR. FN. E GR. ARR. E ESF. BL.	
	JURÁSSICO			SARDINHA	BASALTO PRETO GERAL ALT. P/ARROX. AMIGDALOIDE	
	TRIÁSSICO	SUPERIOR	MEARIM		CORDA	ARENITOS CREMES A CINZA-ARROX. OU MARRON- AVERM. FN.-GROSS. ARG. ESTRAT. CRUZ. LAM. DE ALTERN. DE GR. FN. E GROSS. ARRED. INTERC. FOLHELHOS ARROX. E LEITOS DE SILEX.
					PASTOS BONS	ARENITOS CZ. ESVERD. AMAR. ROS. ARG. BIMODAIS. C/ GR. GROSS. ARRED. E ESF. INTERC. C/ "MUDSTONES" E SILTITOS DAS MESMAS CORES, LENTES DE CALCÁRIO E CONGL.
		MÉDIO		MOSQUITO	BASALTO PRETO GERALMENTE ALT. P/ARROX. A AMIGDALOIDE C/INTERCALAÇÕES DE ARENITO VERM. E SILTITOS C/BANCOS DE SILEX.	
	PERMIANO	?	?		SAMBAIBA	ARENITOS ROS-VERM. AMAR. OU BR. GR. MD. ARRED. CAOL. FRIÁVEIS, ABUND. ESTRAT. CRUZ. INTEC. OCAS. DE SILEX LAM. C/ ESTRUT. DE ESCORREGAMENTO.
					MOTUCA	SILTITOS VERM. TIJOLO C/MANCHAS ESVERD. INTERC. C/ CALCÁRIOS ROS. A CZ. ESV. E ANIDRITAS. ARENITOS VERM. MARR. FN. ARG. CAOL. CALCIFERO.
PALEOZOICA	CARBONÍFERO			PEDRA DE FOGO	SILTITOS E FOLHELHOS ARROX-ESVERD-ROS. C/INTERC. DE SILEX E CALCÁRIOS ARG. ARENITOS AMAR. FN-MD, ARG. CALCIF.	
				PIAUI	ARENITOS VERM-AMAR. FN-MD. ARG. CAD. ABUND. ESTRAT. CRUZ. C/INTERC. DE FOLHELHOS VERM.-ROS, LAMIN E SILEX. CONGL. OU "MUDSTONES" NA BASE.	
	DEVONIANO	SUPERIOR			POTÍ	ARENITOS BR. CREMES-ROS, FN-MD-GROS. GR. SUBANG, ARG. OU LIMPOS, MC, CALCIF. C/INTERC. DE "MUDSTONES" NA PARTE SUP. E DE CONGL. NA INF.
					LONGÁ	FOLHELHOS E SILTITOS CZ-ESVERD. E CZ. ESC. LAM, MIC. C/ INTERC. DE ARENITOS BR.-CREMES, FN, ARG. OU GROSS NA PARTE MEDIA
		MÉDIO			CABEÇAS	ARENITOS BR-AMAR, FN-GROSS, GR SUBANG. C/INTERC. NO TOPO DE PARACOMGLON AMAR- NARRONS, C/ABUND. ESTRUT. DE ESCORREGAMENTO.
					PIMENTEIRAS	FOLHELHOS E SILTITOS CZ-ESVERD A CZ-ESC. LAM, MIC, C/LEITOS DE ARENITOS CREME-ESVERD. FN. ARG. E ODITOS PIRITOSOS.
	SILURIANO	INFERIOR			SERRA GRANDE	ARENITOS AMAR. FN-MD, ARG. SILICIF. C/INTERC. DE FOLHELHOS AMAR. FN-MD, ARG. SILICIF. COM INTERC. DE FOLHELHOS CZ-ESC. A ARROX. E GROSS. A CONGL. BRANCOS, CAOL. NA PARTE BASAL.
					TOMBADOR	SEDIMENTOS PRÉ-SILURIANOS
PRÉ-CAMBRIANO	CAMBRO ORDOVICIANO			BAMBUÍ IND LAVRAS		
				MINAS OU GU- RUPI OU TO- CANTINS	ROCHAS DO PRÉ-CAMBRIANO	

seção superior, predominam arenitos finos, esbranquiçados, localmente conglomeráticos e calcíferos, com folhelhos cinza escuro a preto subordinados. Ocorrem com frequência, distribuídos por todo o conjunto, principalmente na porção inferior, óólitos ferruginosos.

A área de afloramento desta unidade (Fig. 04) ocorre numa estreita faixa contínua, ladeando a da Formação Serra Grande, com largura máxima de 25 Km e direção geral NE-SW, tendo as camadas mergulhos suave para NW.

No vale do Gurguéia, a Formação Pimenteiras aparece em subsuperfície com o topo aproximadamente aos 400 metros e uma espessura média de 360 metros (poços Violeto e BPP-6).

3.2.3 Formação Cabeças

Sotoposta concordantemente aos finos da Formação Pimenteiras e considerada de idade devoniana média, é formada por uma seqüência clástica média-grosseira caracterizada por arenitos grosseiros a médios, cremes e esbranquiçados, frequentemente conglomeráticos e muito pouco argilosos. Subordinadamente aparecem intercalações, por todo o conjunto, de siltitos e folhelhos de coloração cinza e avermelhada, e paraconglomerados apenas no topo da seqüência.

Apresenta uma extensa área aflorante, numa faixa de direção aproximada NE - SW, alcançando largura de até 60 Km ao sul de Canto do Buriti e estreitando-se para sudeste onde apresenta largura de cerca de 20 Km ao sul da cidade de Redenção do Gurguéia (Fig. 04). Todo o pacote mergulha suavemente para noroeste apresentando no vale do Gurguéia, espessuras médias entre 230 e 300 metros com o topo variando entre 100 e 150 metros, exceto na região ao norte do povoado Aliança do Gurguéia onde o topo fica em torno de 300 metros (poços APP-11 e APZ-8).

3.2.4 Formação Longá

Posicionada estratigraficamente entre os arenitos da Formação Cabeças e os da seção inferior da Formação Poti, esta unidade constitui o Devoniano Superior da bacia e é formada predominantemente por uma seqüência pelítica constituída de folhelhos cinza escuros, pretos, esverdeados e até arroxeados, bem laminados, localmente calcíferos, e secundariamente por siltitos argilosos variegados. Subordinadamente, na porção média, desenvolvem-se arenitos bem selecionados de coloração creme, esbranquiçada e rósea. Próximo ao contato com a Formação Poti aparecem níveis descontínuos de arenito grosseiro a conglomerático, ferrificado, de coloração ocre.

Concordantemente com a Formação Cabeças, mergulha suavemente para noroeste e aparece em superfície, a exemplo das anteriores, como uma estreita faixa contínua com largura média de 13 Km e direção geral NE - SW (Fig. 04). Não apresenta grandes áreas de exposição e devido ao seu caráter pelítico, encontra-se geralmente aflorando nas calhas de drenagem. No vale do Gurguéia, aparece desde Redenção até as proximidades da Colônia do INCRA com espessuras médias da ordem de 100 metros.

3.2.5 Formação Poti

Considerada do Carbonífero Inferior e repousando concordantemente sobre a Formação Longá, é formada basicamente por dois intervalos, sendo o inferior caracterizado por sedimentos arenosos e o superior por clásticos finos com sedimentos arenosos subordinados. As variações faciológicas, tanto horizontais como verticais, são uma das características mais marcantes deste pacote sedimentar.

Os sedimentos arenosos do intervalo inferior são constituídos por arenitos finos e médios, creme e esbranquiçados, com níveis conglomeráticos principalmente na porção basal. O intervalo superior é formado por uma alternância entre siltitos cinza e arenitos finos a médios, esbranquiçados e amarelados, com níveis subordinados de folhelhos e siltitos pretos contendo restos vegetais e finas laminações de carvão.

A zona de afloramento desta unidade se estende para E/SE a partir da margem direita do rio Gurguéia, formando uma extensa faixa descontínua, aproximadamente paralela a da Formação Longá (Fig. 04), com espessuras muito variáveis, no vale, devido aos processos erosivos.

3.2.6 Formação Piauí

Datada do Carbonífero Superior e repousando discordantemente (discordância erosiva) sobre os sedimentos da Formação Poti, representa o início da seqüência clástica continental. É constituída por um intervalo inferior essencialmente arenoso com níveis de siltitos, seguido por uma seção predominantemente pelítica com calcários subordinados.

Os sedimentos arenosos do intervalo inferior são formados por arenitos finos a grosseiros, argilosos, localmente arcoseanos, avermelhados, róseos e amarelados com níveis ocasionais de siltitos argilosos vermelhos. A seção superior é constituída por uma litologia mais diversificada, com seqüências alternadas de siltitos, argilitos, arenitos finos e folhelhos, apresentando

intercalações episódicas de calcários e bancos de sílex.

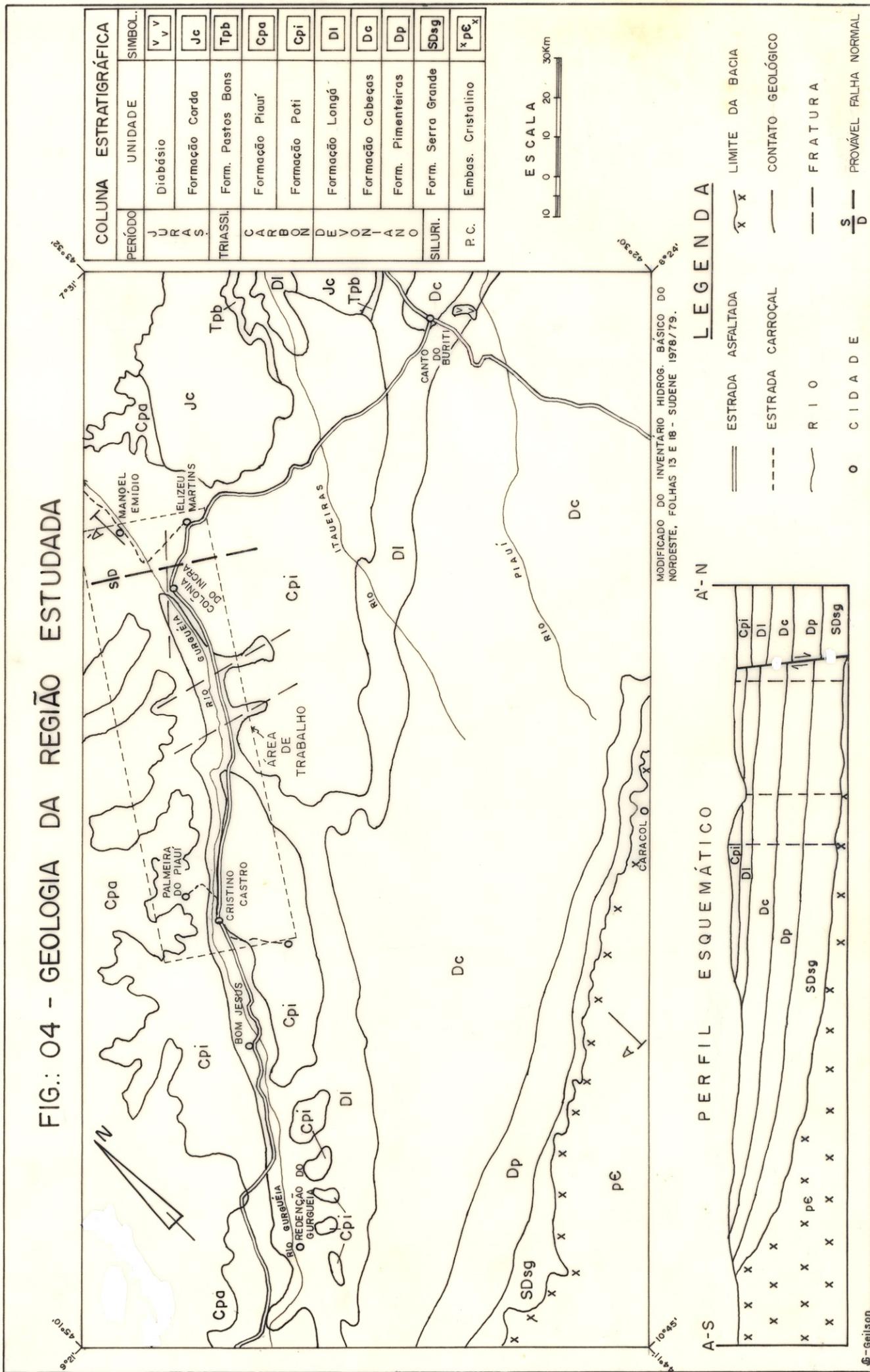
É representada em superfície pelos amplos chapadões que se estendem a oeste do vale do Gurguéia, com raras evidências de sua presença em sua parte oriental, como por exemplo a leste de Jerumenha e nordeste de Elizeu Martins (Fig. 04).

3.3 CONSIDERAÇÕES ESTRUTURAIS

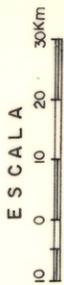
A estruturação da seqüência sedimentar acima descrita é simples e monótona, configurando um amplo monoclinal, com as formações mergulhando suavemente 1 a 8 graus para noroeste, como pode ser observado no perfil esquemático do mapa geológico apresentado na figura 04. Todas as formações são afetadas por um intenso diaclasamento e pequenos falhamentos dispostos em duas direções preferenciais: NE - SW e SE - NW.

De acordo com o Projeto RADAM (1973) esta monotonia é quebrada, na região sul-sudeste da bacia, pela existência de grandes falhamentos de gravidade (falhas de Barreiras, Curimatá, Rio das Balsas, Rio Canindé) que parecem impor à região um sistema de blocos escalonados (Fig. 15)

FIG.: 04 - GEOLOGIA DA REGIÃO ESTUDADA



PERÍODO	UNIDADE	SÍMBOLO
JURASSICO	Diabásio	V V
TRIASSICO	Formação Corda	Jc
CARBONIFERO	Form. Pastos Bons	Tpb
DEVONIANO	Formação Piauí	Cpa
DEVONIANO	Formação Poti	Cpi
DEVONIANO	Formação Longá	DI
DEVONIANO	Formação Cabeças	Dc
DEVONIANO	Form. Pimenteiras	Dp
SILURIANO	Form. Serra Grande	SDsg
P.C.	Embas. Cristalino	x p _x

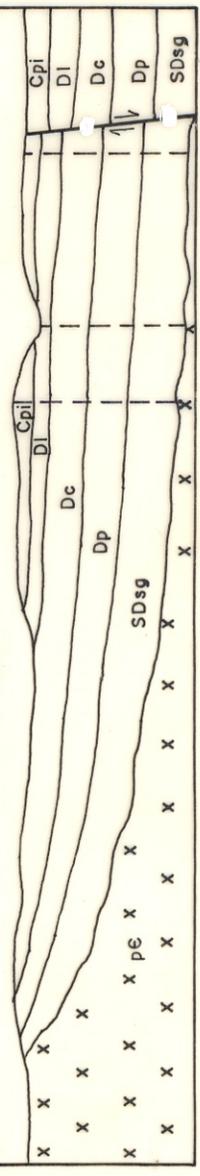


LEGENDA

- == ESTRADA ASFALTADA
- ESTRADA CARROÇAL
- ~ R I O
- o C I D A D E
- ~ x ~ LIMITE DA BACIA
- CONTATO GEOLÓGICO
- FRATURA
- $\frac{S}{D}$ PROVÁVEL FALHA NORMAL

A'-N

PERFIL ESQUEMÁTICO



CAPÍTULO 4

HIDROGEOLOGIA REGIONAL

O desenvolvimento sedimentar da bacia do Piauí-Maranhão, condicionou a deposição cíclica de seqüências arenosas e argilosas, proporcionando a formação de sistemas aquíferos que se desenvolvem de baixo para cima separados por espessas camadas semipermeáveis ou impermeáveis, que se comportam como "aquitards".

Assim, como foi visto no capítulo anterior, no vale do Gurguéia destacam-se três sistemas aquíferos de extensão regional, Serra Grande, Cabeças e Poti/Piauí, entre os quais intercalam-se os "aquitards" Pimenteiras e Longá. Neste capítulo apresentaremos uma rápida descrição dos sistemas aquíferos regionais, baseada nas informações dos estudos anteriores realizados.

4.1 AQUÍFERO SERRA GRANDE

O Aquífero Serra Grande, predominantemente clástico, apresenta espessuras muito variáveis em sua faixa aflorante devido a movimentação tectônica que ocorreu nas bordas da bacia. Na zona de confinamento, a espessura aumenta progressivamente para noroeste, tendo no médio vale do Gurguéia valores em torno de 430 metros. O limite inferior é bastante irregular devido à grande movimentação do substrato cristalino, enquanto que o limite superior é relativamente uniforme e gradativo para a seqüência pelítica da Formação Pimenteiras, que funciona como camada confinante.

Durante os Estudos de Reconhecimento, os parâmetros hidrodinâmicos determinados no poço Violetto (Transmissividade e Permeabilidade) e estimados a partir de determinações feitas no vale do Fidalgo e na região de Picos (Armazenamento e Restituição), foram os seguintes:

$$T = 2,27.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K = 9,10.10^{-4} \text{ m/s}$$

$$S = 6,00.10^{-4}$$

$$N = 1,40.10^{-2}$$

Posteriormente, durante o Projeto de Irrigação do Gurguéia, a ATEPE/LABHID realizou um teste de

produção em um poço aprofundado para captar o Aquífero Serra Grande (Poço BPP-6). Os parâmetros hidrodinâmicos, determinados a partir deste teste (Transmissividade = $1,29 \cdot 10^{-2}$ m²/s e Permeabilidade = $2,70 \cdot 10^{-5}$ m/s), revelaram condições hidrogeológicas bem mais favoráveis que aquelas encontradas anteriormente. Este fato deve-se, provavelmente, a maior espessura de Serra Grande atravessada no poço BPP-6 (430,0 metros) em relação ao poço Violeto (250,0 metros) que foi parcialmente penetrante.

A alimentação é processada quase que exclusivamente pela infiltração do contingente precipitado na zona de afloramento, não tendo-se dados para avaliar a existência de recarga por filtração vertical dos aquíferos superiores.

As águas são incluídas na classe C₂-S₁, não existindo restrições na sua adequabilidade para irrigação.

4.2 AQUÍFERO CABEÇAS

A Formação Cabeças, confinada entre os "aquitards" Pimenteiras e Longá, apresenta na faixa aflorante espessuras que variam desde 40-60 metros, nas vizinhanças do limite inferior (Formação Pimenteiras), até 100-150 metros nas proximidades do limite superior (Formação Longá). As espessuras aumentam progressivamente para o interior da bacia, ficando em torno de 250-300 metros na região do médio vale do Gurguéia.

As características hidrodinâmicas do aquífero, determinadas nos Estudos de Reconhecimento (op. cit.) em quase toda a extensão do vale, são resumidas abaixo:

Localidade	T (m ² /s)	K (m/s)	S
Paus	$1,35 \cdot 10^{-2}$	$5,56 \cdot 10^{-5}$	$2,66 \cdot 10^{-5}$
Col. INCRA	$1,95 \cdot 10^{-2}$	$7,05 \cdot 10^{-5}$	$1,96 \cdot 10^{-5}$
Violeto	$1,79 \cdot 10^{-2}$	$6,70 \cdot 10^{-5}$	$1,38 \cdot 10^{-5}$
Santa Luz	$9,90 \cdot 10^{-3}$	$4,30 \cdot 10^{-5}$	-
L. Comprida	$5,00 \cdot 10^{-3}$	$1,09 \cdot 10^{-5}$	-

Estes dados permitiram estabelecer um aumento gradual da permeabilidade do Aquífero Cabeças, na direção do interior da bacia.

A área de recarga caracteriza-se por grandes chapadas escalonadas e entrecortadas por uma rede de drenagem incipiente e pouco densa, sendo a alimentação do sistema procedida quase que exclusivamente por infiltração direta, a partir da pluviometria. Embora as condições de pressão favoreçam uma recarga a partir dos processos de filtração vertical, não

existem evidências suficientes para a comprovação desta contribuição.

As águas são de excelente qualidade físico-química, com baixíssimos teores de sais, sendo enquadradas na classe C_1-S_1 da classificação americana (U.S. Salinity Laboratory).

4.3 SISTEMA POTI-PIAUI

Ao longo da zona central do vale, desde Monte Alegre até as cercanias de Elizeu Martins, este sistema apresenta espessuras muito variáveis, em geral não ultrapassando 100 metros. Apenas na região mais ocidental, especialmente a noroeste de Elizeu Martins, as espessuras atingem valores mais elevados.

Em quase todo o vale, o sistema Poti-Piauí mantém condições de aquífero livre, com exceção apenas no extremo sudoeste onde é recoberto pelas Formações Areado e Pedra de Fogo.

Os parâmetros hidrodinâmicos, determinados no âmbito dos Estudos de Reconhecimento (op. cit.) em sete testes de aquíferos realizados ao longo de quase toda a extensão do vale, mostraram os seguintes valores médios:

$$T = 6,54 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

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

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

$$N = 4,91 \cdot 10^{-2}$$

A recarga deste sistema também é processada, em quase sua totalidade, pela infiltração a partir das precipitações, existindo ainda alguma contribuição do rio Gurguéia e seus principais afluentes. A água apresenta variações de salinidade, sendo na maior parte enquadrada, segundo a classificação americana, na classe C_1-S_1 , chegando porém a evoluir até a classe C_2-S_1 .

CAPÍTULO 5

TRABALHOS REALIZADOS

5.1 POÇOS PERFURADOS

No período compreendido entre agosto/86 e julho/88 a CPRM perfurou 39 poços, 23 produtores e 16 piezômetros, agrupados em três baterias como mostrado na tabela 01. A localização destas baterias é apresentada na figura 05 enquanto que a distribuição dos poços em cada uma delas será discutida detalhadamente no item 6.10.

Posteriormente, um destes poços (BPp-6) foi aprofundado para captar, simultaneamente, os Aquíferos Serra Grande e Cabeças e perfurado um novo poço para o abastecimento do povoado central do perímetro irrigado (Poço Povoado).

A ATEPE/LABHID, adotou para os poços perfurados pela CPRM a nomenclatura constituída conforme os seguintes exemplos: App-1, APz-1, onde A representa a área onde se localiza o poço (item 1.2), Pp representa o poço produtor, Pz representa o piezômetro e a numeração corresponde ao número de ordem do poço em cada área. Aqui, por simplificação, manteremos esta mesma nomenclatura.

A CPRM utilizou na perfuração dos poços quatro sondas rotativas, sendo uma de pequeno porte (Failling-1500), duas de médio porte (01 Failling-2500 e 01 Failling-3000) e uma de grande porte (STRATMASTER-100). Devido ao alto grau de litificação dos arenitos da Formação Cabeças, comprovado nos estudos anteriores, não foram utilizados filtros na seção produtora, sendo revestido apenas o intervalo superior correspondente às Formações Longá e Poti.

A metodologia empregada pela CPRM na construção dos poços, pode ser dividida em cinco etapas distintas: Instalação do Tubo Condutor; Perfuração; Perfilagens Geofísicas; Revestimento/Cimentação e Limpeza.

Instalação do Tubo Condutor - O tubo condutor ou tubo de boca como também é chamado, é colocado nos primeiros metros da perfuração para isolar a parte de solo existente, evitando o perigo de desmoronamentos. Na região, os solos são muito pouco desenvolvidos, logo, foram colocados apenas alguns metros (6,0 a 12,0 em média) de tubo condutor com diâmetro de 28" OD nos poços produtores e 9 5/8" OD nos piezômetros.

TABELA 01

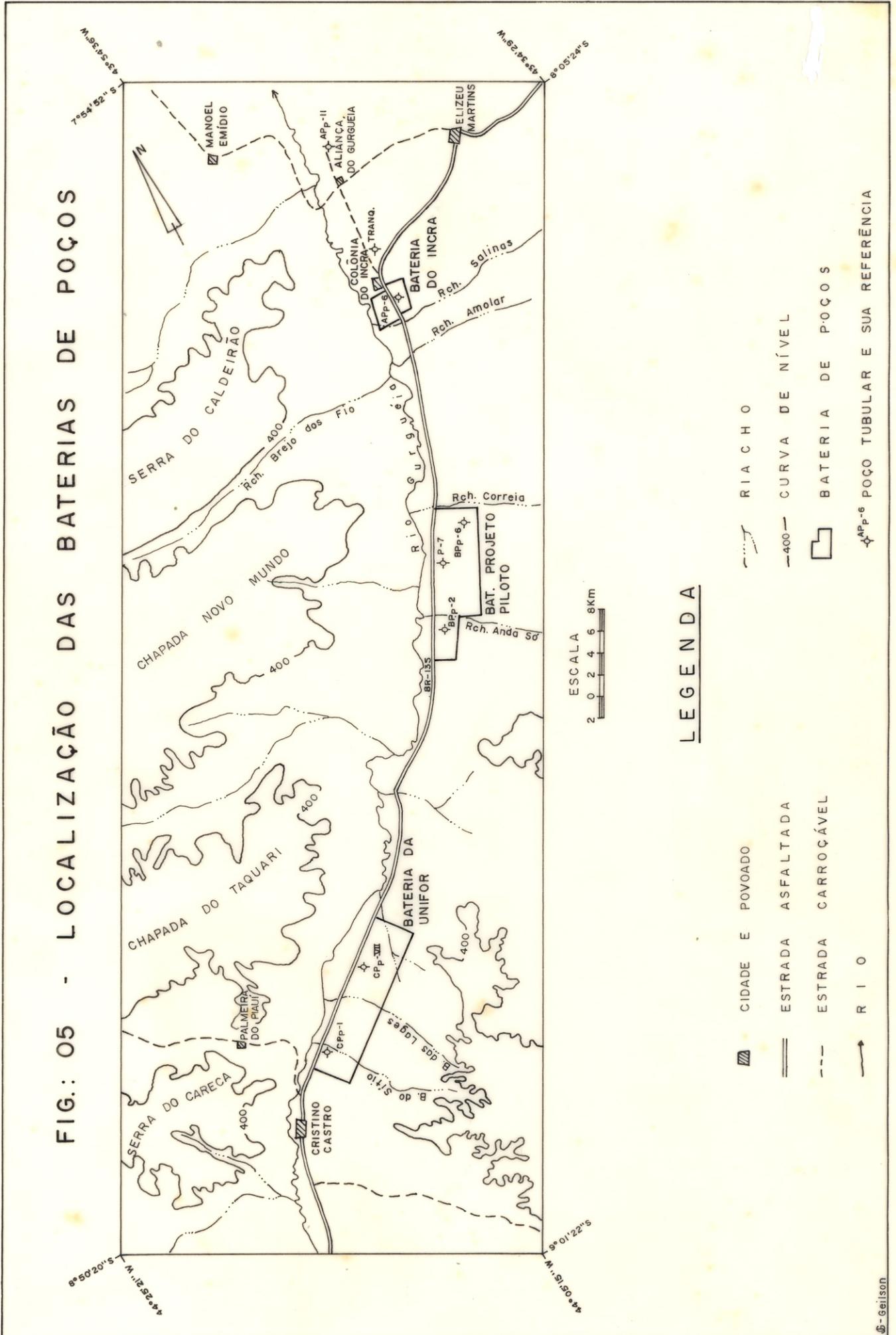
POÇOS PERFURADOS PELA CPRM (Período ago/86 - jul/88)

BATERIA	POÇO PRODUTOR		PIEZÔMETROS		TOTAL PROD.	TOTAL PIEZ.	TOTAL POÇOS
	REF. ATEPE	REF. CPRM	REF. ATEPE	REF. CPRM			
INCRA	Tranq.	4-CC-52-PI	-	-	09	08	14
	APp-1	4-CC-18-PI	APz-1	4-CC-15-PI			
	APp-2	4-CC-16-PI	-	-			
	APp-3	4-CC-14-PI	APz-3	4-CC-13-PI			
	APp-4	4-CC-32-PI	APz-4	4-CC-25-PI			
	APp-5	4-CC-30-PI	-	-			
	APp-6	4-CC-34-PI	-	-			
	APp-7	4-CC-36-PI	APz-7	4-CC-27-PI			
	-	-	APz-8	4-CC-29-PI			
APp-11	4-CC-42-PI	-	-				
PROJETO PILOTO	BPp-1	4-CC-05-PI	BPz-1	4-CC-06-PI	08	07	15
	BPp-2	4-CC-08-PI	BPz-2	4-CC-10-PI			
	BPp-3	4-CC-11-PI	BPz-3	4-CC-07-PI			
	BPp-4	4-CC-12-PI	BPz-4	4-CC-09-PI			
	BPp-5	4-CC-20-PI	BPz-5	4-CC-17-PI			
	BPp-6	4-CC-24-PI	-	-			
	BPp-7	4-CC-22-PI	BPz-7	4-CC-19-PI			
	BPp-10	4-CC-26-PI	BPz-10	4-CC-21-PI			
UNIFOR	CPp-1	4-CC-40-PI	CPz-1	4-CC-31-PI	06	04	10
	CPp-6	4-CC-38-PI	-	-			
	CPp-7	4-CC-44-PI	CPz-7	4-CC-33-PI			
	CPp-12	4-CC-48-PI	-	-			
	CPp-14	4-CC-28-PI	CPz-14	4-CC-23-PI			
	CPpVII	4-CC-46-PI	CPz-VII	4-CC-35-PI			
T O T A I S					23	16	39

Perfuração - A lama de perfuração utilizada pela CPRM variou de acordo com a litologia atravessada. Os arenitos Poti e folhelhos Longá, foram perfurados com uma lama apenas à base de Bentonita, enquanto que na perfuração dos arenitos aquíferos da Formação Cabeças foi utilizada uma mistura entre Bentonita e Polysafe/Nalco.

Em reuniões técnicas que antecederam o início da programação de perfurações de poços, com participação do DNOCS, CPRM e ATEPE/LABHID, foram elaborados projetos padrões para os poços produtores e piezômetros. Todos os poços perfurados tiveram como base estes projetos, sendo os intervalos de perfuração e a extensão das câmaras de bombeamento quantificadas no campo pela equipe técnica da ATEPE/LABHID.

FIG.: 05 - LOCALIZAÇÃO DAS BATERIAS DE POÇOS



- ▨ C I D A D E E P O V O A D O
- == E S T R A D A A S F A L T A D A
- E S T R A D A C A R R O Ç Á V E L
- R I O
- ~ R I A C H O
- 400- C U R V A D E N Í V E L
- B A T E R I A D E P O Ç O S
- ⋈ APP-6 P O Ç O T U B U L A R E S U A R E F E R Ê N C I A

LEGENDA

Aqui, apresentaremos resumidamente as características gerais correspondentes às perfurações dos poços.

Poços Produtores:

<u>Diâmetros</u>	<u>Extensão Perfurada</u>
30" ou 35"	- Variando de 6,0 a 12,0 metros para a colocação do tubo condutor
26"	- Variando de 100,0 a 190,0 metros, com extensão média de 142,0 metros, para a colocação da câmara de bombeamento.
17 1/2"	- Variando de 20,0 a 70,0 metros, com extensão média de 35,0 metros, para a colocação do revestimento complementar (14" OD), quando necessário.
12 1/4"	- Variando de 50,0 a 110,0 metros, com extensão média de 85,0 metros, representa a parte superior da seção produtora.
9 1/2"	- Variando de 70,0 a 210,0 metros, com extensão média de 130,0 metros, compreende toda a parte média/basal da seção produtora, indo geralmente até o topo da Formação Pimenteiras.

Piezômetros:

<u>Diâmetros</u>	<u>Extensão Perfurada</u>
12 1/4"	- Com extensão média de 7,0 metros, para a instalação do tubo condutor.
8 1/2"	- Com extensão média de 260,0 metros, indo da base do tubo condutor a parte mediana da Formação Cabeças.

Os poços APz-4, APz-8, BPz-10, CPz-1 e CPz-14 além de piezômetros, também foram utilizados como poços estratigráficos, atravessando toda a seqüência sedimentar até o topo da Formação Pimenteiras.

Em geral, a CPRM paralizava a perfuração dos poços produtores para realizar as operações de revestimento e cimentação, e em seguida continuar a

perfurar por dentro do revestimento. Este procedimento foi decorrente dos seguintes fatores de ordem operacional:

. Necessidade da redução do volume de lama dentro do poço, para um melhor funcionamento da bomba de lama.

. Isolamento da Formação Longá, sujeita à frequentes desmoronamentos e estreitamentos.

Perfilagens Geofísicas - Concluída a perfuração, a CPRM realizava a perfilagem do poço, utilizando um aparelho marca WIDCO, modelo 3.200, e, em geral, correndo os seguintes perfis: SP, Raios Gama, RTC, Normal 16", Normal 64" e CALIPER.

Revestimento/Cimentação - Como não é necessária a utilização de filtros, o revestimento tem como finalidade compor a câmara de bombeamento e isolar as litologias indesejáveis (Formações Poti e Longá). É composto por tubos lisos de aço preto, chanfrados, com diâmetros de 18" OD (Câmara de bombeamento) e 14" OD (Revestimento complementar) nos poços produtores e de 5 1/2" OD nos piezômetros. Os poços foram cimentados em toda a extensão revestida, sendo para isto, injetado através de um "plug" valvulado, construído na base do revestimento, uma pasta de cimento e água até esta chegar na superfície do terreno.

Limpeza - Após a perfuração, é iniciada a operação de limpeza, que é constituída basicamente pela retirada da lama existente no poço e por um jateamento sob pressão de toda a seção produtora.

Geralmente a metodologia de construção de poços inclui processos de desenvolvimento, cuja finalidade é a retirada dos finos nas circunvizinhanças do poço para provocar um aumento da permeabilidade e da seleção dos grãos em direção ao mesmo, facilitando assim o afluxo de água. No caso do Cabeças, entretanto, devido ao elevado grau de litificação dos arenitos, os métodos de desenvolvimento utilizados, "air lift" e superbombeamento, tiveram como meta apenas a complementação da limpeza do poço, tentando-se assim retirar todos os resíduos da lama de perfuração ("reboco"). Posteriormente verificou-se que estes métodos, em alguns casos, foram insuficientes para realizar uma limpeza satisfatória, sendo esta deficiência refletida diretamente no rendimento dos poços.

As fichas técnicas e os perfis litológicos e construtivos de todos os poços são apresentadas, sob a forma de anexos, no volume 2 desta dissertação.

5.2 TESTES DE AQUÍFERO E DE PRODUÇÃO

Foram realizados, pela equipe técnica da ATEPE/LABHID, 20 testes de aquífero de longa duração cujos principais dados estão sintetizados na tabela 02.

O equipamento de bombeamento utilizado, pertencente à CPRM, consistiu de uma bomba turbina de eixo prolongado, marca ESCO, modelo 16 GEB/5, acionada por um motor MWM diesel de 12 cilindros. As vazões foram medidas e controladas através de um escoador de orifício circular, tendo acoplado no tubo de descarga um medidor de areia tipo centrifugador. Em cada teste, a vazão foi mantida satisfatoriamente constante com o auxílio de regulagens no acelerador do motor. A produção de areia registrada em cada poço, como já era de se esperar devido a alta litificação da Formação Cabeças, revelou-se insignificante para as vazões utilizadas.

TABELA 02

DADOS PRINCIPAIS DOS TESTES DE AQUÍFERO

BATERIA	POÇO	DURAÇÃO DO TESTE (Horas)	DATA	VAZÃO DO TESTE (m ³ /h)	Nº DE Pz. OBS.	OBS.
INCRA	TRANQ.	48:00	21/11-23/11/88	453,00	3	
	App-1	72:00	24/02-27/02/87	493,40	2	
	App-2	72:00	03/05-06/05/87	600,00	2	
	App-3	27:30	28/03-29/03/87	496,00	2	
	App-4	72:00	25/10-29/10/87	559,00	2	
	App-5	64:03	22/06-25/06/87	551,00	3	(!)
	App-6	72:00	20/05-23/05/88	368,33	7	(!)
	App-7	72:00	27/05-30/05/88	330,70	7	(*)(!)
	App-11	26:40	04/06-06/06/88	320,00	1	(!)
PROJETO PILOTO	BPP-1	24:00	02/11-03/11/86	502,57	2	
	BPP-2	49:23	13/02-15/02/87	406,00	4	(*)
	Pp-5	48:00	17/03-19/03/88	262,70	2	(!)
	BPP-10	48:00	19/04-21/04/88	515,90	5	(*)(!)
	P-15	24:00	24/09-25/09/87	536,30	1	(!)
UNIFOR	CPP-1	72:00	13/02-16/02/88	537,10	1	(!)
	CPP-6	48:00	02/03-04/03/88	451,20	1	(!)
	CPP-7	72:00	26/04-29/04/88	502,50	2	(!)
	CPP-12	24:00	13/05-14/05/88	356,80	1	(!)
	CPP-14	72:00	10/06-13/06/87	536,56	1	(!)
	CPPVII	57:15	04/05-06/05/88	341,20	2	(!)

OBS: (*) - O poço bombeado não foi observado

(!) - Coletada amostra de água para análise química

Foi realizado apenas um teste de produção no poço BPP-1 através do método escalonado de vazões crescentes, utilizando o mesmo equipamento citado acima. Devido à similaridade construtiva dos poços produtores e às pequenas perdas envolvidas (ausência de filtros), os resultados alcançados com este teste foram, a princípio, considerados como representativos de todos os outros poços perfurados nesta progamação.

Foi ainda realizado um teste de produção no poço BPP-6, aprofundado para captar o Aquífero Serra Grande. Na impossibilidade da utilização do equipamento de bombeamento usado nos outros testes, o poço foi bombeado com um compressor de ar, sendo a vazão medida através de um vertedouro retangular improvisado com os tanques de lama (caixas de aço) da sonda STRATMASTER - 100.

As tabelas com os dados de rebaixamento e recuperação, bem como as interpretações de todos os testes realizados, são apresentadas como anexos no volume 2 desta dissertação.

5.3 MONITORAMENTO DE DESCARGAS E NÍVEIS

Embora tenha sido recomendado na época (1976) pelos consultores (COTEP), os quinze poços da bateria original do Projeto Piloto foram instalados sem hidrômetros e acessos para medidor de nível, impossibilitando, assim, a determinação da descarga real produzida por esta bateria, desde a sua implantação.

Na tentativa de quantificar esta descarga, foi feito um levantamento das horas trabalhadas de todas as bombas, desde o início da operação da bateria até novembro de 1988. Este levantamento, apresentado nas tabelas 04 e 05, foi dividido em duas etapas, abaixo especificadas:

- No período de maio/82 a fevereiro/88 as horas de funcionamento da bateria (Tabela 04) foram informadas pelo DNOCS, com base no registro diário das horas de funcionamento dos motores elétricos das bombas.

- No período compreendido entre março e novembro de 1988, a equipe técnica da ATEPE/LABHID realizou leituras mensais nos horímetros das bombas, para avaliar com maior precisão a descarga produzida pela bateria neste intervalo, correspondente ao período de produção mais intensa desde a sua instalação. A tabela 05 mostra os resultados alcançados com este acompanhamento.

Entretanto, devido à horímetros quebrados de alguns poços, foi necessário realizar uma correção para se chegar a um total de horas de funcionamento mais próximo da realidade. Esta correção, mostrada na tabela 03, foi baseada no

regime de bombeamento médio de cada poço, conseguido através de um período de observação do funcionamento de todos os poços com relógio convencional, e extrapolado para os outros períodos de observação. As correções foram feitas apenas no intervalo de máximo bombeamento, onde, com certeza, os poços envolvidos (P-2, P-3, P-4 e P-7) estavam funcionando sistematicamente.

Com base na avaliação do total das horas de funcionamento e considerando a vazão nominal das bombas, foram determinados valores globais de descarga para a bateria do Projeto Piloto, discutidos no item 6.8.

A partir de outubro de 1987, foi iniciado, pela ATEPE/LABHID, o monitoramento regional de níveis piezométricos nos poços perfurados nesta programação. As leituras, inicialmente realizadas quinzenalmente, passaram a ser mensais a partir de março/88, indo até a data de encerramento das atividades de campo (abril/89). Os poços de particulares existentes na região, não foram incluídos no monitoramento devido basicamente a dois problemas operacionais: falta de acesso para medidor de nível e dificuldade de medição dos poços jorrantes.

As tabelas 06, 07 e 08 mostram em ordem cronológica, além dos dados do monitoramento regional, todas as informações de níveis obtidas ao longo do período de trabalho.

TABELA 03

CORREÇÃO DAS HORAS DE FUNCIONAMENTO (Horas)

POÇOS		P-2	P-3	P-4	P-7	TOTAL
REGIME BOMB. (Hs/Dia)		13,00	13,02	14,02	10,74	
P E R I O D O	02/05-07/06 (36 Dias)	468,00	468,72	504,72	386,64	1.828,08
	07/06-07/07 (30 Dias)	390,00	390,60	420,60	322,20	1.523,40
	07/07-08/08 (32 Dias)	416,00	416,64	448,64	343,68	1.624,96
	08/08-30/09 (53 DIAS)	689,00	690,06	743,06	569,22	2.691,34
	30/09-01/11 (32 Dias)	416,00	416,64	448,64	343,68	1.624,96

TABELA 04

HORAS DE FUNCIONAMENTO DA BATERIA DO PROJETO PILOTO (INFORMADO PELO DNOCS)

MESES	1982		1983		1984		1985		1986		1987		1988	
	HORAS	HS/D												
JAN	(*)	(*)	24	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1280	42,7	70	2,3
FEV	(*)	(*)	40	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1520	50,7	199,4	6,6
MAR	(*)	(*)	61	2,0	32	1,1	203	6,8	0,0	0,0	620	20,7	-	-
ABR	(*)	(*)	274	9,1	72	2,4	305	10,2	1366	45,5	315	10,5	-	-
MAI	304	10,1	290	9,7	396	13,2	361	12,0	928	0,9	1344	44,8	-	-
JUN	543	18,1	290	9,7	481	16,0	0,0	0,0	390	13,0	2106	70,2	-	-
JUL	323	10,8	273	9,1	355	11,8	362	12,1	1271	42,4	2187	72,9	-	-
AGO	362	12,1	564	18,8	58	1,9	450	15,0	1923	64,1	2170	72,3	-	-
SET	284	9,5	220	7,3	434	14,5	813	27,1	1746	58,2	1717	57,2	-	-
OUT	272	9,1	259	8,6	277	9,2	0,0	0,0	299	10,0	1400	46,7	-	-
NOV	308	10,3	0,0	0,0	28	0,9	0,0	0,0	210	7,0	25	0,8	-	-
DEZ	218	7,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	468	15,6	207	6,9	-	-

OBS: (*) - Não informado

TABELA 05

HORAS DE FUNCIONAMENTO DA BATERIA DO PROJETO PILOTO (MEDIÇÃO DA ATEPE/LABHID)

POÇOS	PERÍODO								PERÍODO (*)
	14/03 A 07/04	07/04 A 02/05	02/05 A 07/06	07/06 A 07/07	07/07 A 08/08	08/08 A 30/09	30/09 A 01/11	01/11 A 30/11	18/08 A 31/08
P-1	122,35	132,56	154,65	P	P	685,10	115,40	46,70	209,30
P-2	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	195,05
P-3	P	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	195,30
P-4	Q	P	Q	Q	Q	Q	Q	Q	210,30
P-5	P	48,34	400,32	421,50	395,90	706,60	269,70	210,70	209,50
P-6	86,78	106,25	415,96	391,00	396,10	716,10	171,40	P	208,30
P-7	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	161,15
P-8	102,21	111,32	401,47	39,00	153,50	709,80	222,50	67,10	214,80
P-9	69,21	126,58	474,48	425,90	378,40	694,20	174,20	P	216,10
P-10	P	Q	247,91	431,10	385,30	708,30	149,60	47,60	164,50
P-11	P	1,23	3,01	365,60	384,00	592,10	P	P	166,50
P-12	P	P	55,39	7,00	P	P	P	17,70	P
P-13	P	P	P	P	P	499,40	71,50	P	95,00
P-14	P	P	P	P	P	P	P	P	P
P-15	203,00	99,47	25,07	136,80	250,50	943,70	196,90	36,90	275,30
B. Lugar	P	39,09	221,89	146,00	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
TOTAL BATERIA	583,50	664,80	3994,00 (!)	3761,00 (!)	3790,00 (!)	8681,00 (!)	3585,00 (!)	427,00	2521,10
HS/DIA	25,40	26,60	114,10	125,40	122,20	166,90	115,60	14,70	166,10

OBS: (*) - Medição com relógio convencional

(!) - Totais corrigidos em função dos regimes dos poços P2, P3, P4 e P7

(+)- Poço não medido

P - Poço paralizado

Q - Poço com horímetro quebrado

TABELA 06

MONITORAMENTO DE NÍVEIS PIEZOMÉTRICOS (NE em metros)

POÇOS OBSER.	1986		1987									
	02/01 T. BP-1	13/02 T. BP-2	24/02 T. AP-1	28/03 T. AP-3	28/04 Mon.	03/05 T. AP-2	10/06 T. CP14	22/06 T. AP-5	01/10 Mon.	14/10 Mon.	25/10 T. AP-4	30/10 Mon.
APz-1	-	-	2,882	3,006	-	3,016	-	3,302	3,345	3,360	3,697	5,855
APp-2	-	-	-	-	-	6,680	-	-	7,153	7,176	-	9,420
APz-3	-	-	4,310	4,563	-	4,396	-	-	4,866	4,877	-	6,633
APp-4	-	-	-	-	-	-	-	-	7,400	7,456	7,745	9,538
APz-4	-	-	-	-	-	-	-	10,671	10,890	10,923	11,150	12,449
APp-5	-	-	-	-	-	-	-	21,200	-	21,407	-	23,752
APp-6	-	-	-	-	-	-	-	-	26,182	26,217	-	28,450
APp-7	-	-	-	-	-	-	-	30,568	30,745	31,268	-	33,327
BPp-1	12,242	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,390
BPz-1	8,361	8,332	-	-	8,200	-	-	-	9,827	9,579	-	9,415
BPz-2	-	20,945	-	-	21,010	-	-	-	22,548	22,265	-	22,090
BPz-3	13,558	13,435	-	-	13,407	-	-	-	13,576	13,333	-	-
BPz-4	-	18,645	-	-	18,673	-	-	-	-	19,849	-	-
BPz-5	-	-	-	-	40,622	-	-	-	43,299	42,767	-	42,013
BPp-6	-	-	-	-	-	-	-	-	64,120	63,140	-	62,155
BPz-7	-	-	-	-	43,315	-	-	-	47,057	45,950	-	44,935
BPz-10	-	-	-	-	7,728	-	-	-	-	-	-	8,908
CPz-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,925
CPp-6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31,150
CPz-7	-	-	-	-	-	-	-	-	4,795	4,763	-	-
CPp-12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CPz-14	-	-	-	-	-	-	27,220	-	27,249	27,262	-	27,297
CPzVII	-	-	-	-	-	-	-	-	33,028	32,981	-	33,038

OBS: Leituras em relação as bocas dos poços

T. = Leituras feitas no teste de aquífero do poço especificado

Mon. = Leituras feitas no monitoramento regional

TABELA 07

MONITORAMENTO DE NÍVEIS PIEZOMÉTRICOS (NE em metros)

POÇOS OBSER.	1987	1988										
	14/11 Mon.	30/01 Mon.	11/02 Mon.	26/02 Mon.	02/03 T. CP-6	17/03 T. BP-5	22/03 Mon.	08/04 Mon.	19/04 T. BP10	26/04 T. CP-7	02/05 Mon.	04/05 TCPVII
APz-1	3,782	3,271	3,225	3,255	-	-	3,185	3,185	-	-	3,125	-
APp-2	7,625	7,102	-	-	-	-	-	7,000	-	-	6,972	-
APz-3	5,325	4,763	4,721	4,713	-	-	4,657	4,650	-	-	4,610	-
APp-4	8,000	7,510	7,471	7,520	-	-	7,445	7,433	-	-	7,487	-
APz-4	11,273	10,908	10,850	10,881	-	-	10,810	10,797	-	-	10,740	-
APp-5	21,768	-	21,330	21,376	-	-	21,305	21,294	-	-	21,210	-
APp-6	26,610	26,230	26,153	26,191	-	-	26,111	26,096	-	-	26,012	-
APp-7	31,657	30,796	30,758	30,760	-	-	30,683	30,636	-	-	30,570	-
BPp-1	13,029	11,687	11,690	11,543	-	-	11,426	11,951	-	-	12,422	-
BPz-1	9,060	-	7,715	7,572	-	-	7,403	8,000	8,230	-	8,465	-
BPz-2	21,345	20,350	20,350	20,221	-	-	20,140	20,718	20,878	-	21,143	-
BPz-3	-	12,836	12,842	12,719	-	-	12,593	13,110	13,330	-	13,575	-
BPz-4	-	18,132	-	-	-	-	-	18,378	18,642	-	18,836	-
BPz-5	41,260	39,410	39,685	39,270	-	39,492	39,427	41,637	-	-	41,157	-
BPp-6	60,923	58,400	58,660	58,214	-	58,118	58,098	61,955	-	-	61,310	-
BPz-7	43,470	40,835	40,984	40,635	-	-	40,636	44,837	-	-	44,367	-
BPz-10	9,580	7,292	7,296	7,171	-	-	7,041	-	7,850	-	7,969	-
CPz-1	7,913	7,754	7,764	7,998	-	-	7,787	7,618	-	-	8,042	-
CPp-6	31,095	31,096	31,060	31,301	31,216	-	31,083	30,968	-	31,038	31,235	-
CPz-7	-	4,696	-	4,915	4,850	-	4,715	4,575	-	4,746	4,727	-
CPp-12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26,923	-
CPz-14	27,283	27,332	27,260	27,205	-	-	27,221	-	-	-	27,260	27,260
CPzVII	33,035	33,110	32,987	-	-	-	33,110	33,005	-	-	33,130	33,384

OBS: Leituras em relação as bocas dos poços

T. = Leituras feitas no teste de aquífero do poço especificado

Mon. = Leituras feitas no monitoramento regional

TABELA 08

MONITORAMENTO DE NÍVEIS PIEZOMÉTRICOS (NE em metros)

POÇOS OBSER.	1988									1989		
	13/05 T. CP12	20/05 T. AP-6	27/05 T. AP-7	07/06 Mon.	07/07 Mon.	08/08 Mon.	30/09 Mon.	01/11 Mon.	30/11 Mon.	31/01 Mon.	14/02 Mon.	11/04 Mon.
APz-1	-	3,351	4,373	4,040	3,589	3,775	4,024	4,581	4,831	-	4,360	3,820
APp-2	-	7,189	8,240	7,907	7,452	7,650	8,504	8,455	8,738	-	8,244	7,724
APz-3	-	4,820	5,755	5,550	5,182	5,400	6,272	6,215	6,590	-	5,955	5,400
APp-4	-	-	-	-	-	8,169	-	8,957	9,170	-	-	-
APz-4	-	10,893	11,538	-	11,180	11,395	12,000	12,117	12,310	-	-	11,526
APp-5	-	1,540	22,560	22,212	21,700	21,883	22,688	22,626	23,810	-	22,490	22,035
APp-6	-	26,340	27,323	27,037	26,534	26,724	27,526	27,454	28,720	-	27,340	26,910
APp-7	-	30,861	31,792	31,800	31,110	31,305	32,085	32,013	32,336	-	31,950	31,520
BPp-1	-	-	-	14,066	14,710	15,033	15,893	14,628	13,872	12,045	-	11,301
BPz-1	-	-	-	10,090	10,715	11,041	11,895	10,657	9,932	8,096	-	7,422
BPz-2	-	-	-	23,000	23,645	23,966	24,851	23,363	22,510	20,742	-	20,157
BPz-3	-	-	-	15,155	15,774	16,105	16,930	15,726	15,010	13,204	-	12,556
BPz-4	-	-	-	20,374	20,983	21,317	22,108	20,930	20,063	18,505	-	17,885
BPz-5	-	-	-	47,636	49,470	50,102	52,060	45,825	42,920	40,015	-	39,566
BPp-6	-	-	-	71,085	73,138	-	-	-	-	-	-	-
BPz-7	-	-	-	55,000	56,588	57,548	59,377	49,589	45,020	41,165	-	40,740
BPz-10	-	-	-	9,155	9,765	10,110	10,915	10,029	9,450	7,767	-	7,115
CPz-1	-	-	-	7,960	7,975	8,230	8,613	8,444	8,584	8,636	-	8,522
CPp-6	-	-	-	31,186	31,275	31,465	31,745	31,668	-	-	-	31,910
CPz-7	-	-	-	4,550	4,710	5,011	5,285	5,155	5,192	5,300	-	-
CPp-12	27,136	-	-	26,982	27,101	27,230	27,532	27,509	-	27,537	-	27,565
CPz-14	27,506	-	-	27,290	27,425	27,550	27,865	27,820	27,866	27,826	-	27,838
CPzVII	-	-	-	33,203	33,361	33,523	33,819	33,705	33,757	33,775	-	33,827

OBS: Leituras em relação as bocas dos poços

T. = Leituras feitas nos testes de aquíferos dos poços especificados

Mon. = Leituras feitas no monitoramento regional

5.4 LEVANTAMENTO GEOFÍSICO

O DNOCS firmou com a Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial (NUTEC) um convênio para a execução de um levantamento geofísico na área compreendida entre a Colônia do INCRA e o povoado Aliança do Gurguéia.

Este levantamento, tinha como meta auxiliar na determinação de uma provável descontinuidade detectada nesta região. Os trabalhos foram realizados pelos técnicos do NUTEC em dois períodos (14/09-05/10/88 e 28/11-02/12/88), sendo aplicados os métodos de eletroresistividade e magnetometria. Os resultados obtidos constam de um relatório técnico enviado ao DNOCS pelo NUTEC/DIGEO em março/89.

CAPÍTULO 6

O AQUÍFERO CABEÇAS

6.1 CARACTERIZAÇÃO LITOLÓGICA E ESTRUTURAL

Não foram feitos estudos geológicos de superfície no contexto deste trabalho, sendo as informações litológicas do Aquífero Cabeças aqui apresentadas, baseadas exclusivamente nas análises das amostras de calha dos poços perfurados e das perfilações geofísicas realizadas.

Na região estudada, o Aquífero Cabeças é representado por arenitos quartzosos, de granulometria grosseira a média, com porções finas e intercalações siltico-argilosas subordinadas. Em geral, apresenta uma seleção média, grãos arredondados a subarredondados e coloração esbranquiçada a creme-esbranquiçada, mostrando-se bastante homogêneo em seu conjunto. Os arenitos são fortemente litificados, em função do esforço confinante das camadas superiores, com o cimento quase que exclusivamente a base de sílica. De uma maneira geral, nota-se uma tendência de diminuição da granulometria e um enriquecimento do teor de argila com a profundidade. Em particular na região da Colônia do INCRA, onde este enriquecimento é mais evidente, ocorre, na porção basal do aquífero, uma intercalação argilosa contínua com cerca de 20 metros de espessura, detectada nos poços APp-1 (337,0 a 357,0 metros) e APz-4 (338,0 a 357,0 metros) que atravessaram esta intercalação e captaram cerca de 40,0 metros adicionais de arenitos, antes de atingirem os finos da Formação Pimenteiras.

Considerando a não utilização de filtros, os poços produtores da região do INCRA, à exceção do APp-1, tiveram a perfuração encerrada no topo desta intercalação, de modo a evitar os riscos de desmoronamentos e estreitamentos. Nestas condições, os poços APp-1 e APz-4 exibem provavelmente pressões adicionais, acarretando níveis estáticos e dinâmicos mais elevados como foi observado no campo. Este fato, deve explicar os pequenos rebaixamentos sofridos por estes poços (APp-1 e APz-4) durante os testes de aquífero realizados na área do INCRA, o que resultou na avaliação de transmissividades muito elevadas, principalmente os valores correspondentes ao piezômetro APz-4 que foram descartados como anômalos.

A Formação Cabeças apresenta localmente uma estrutura homoclinal com direção geral nordeste-sudoeste e mergulhos suaves para noroeste. No médio vale do Gurguéia esta Formação exhibe espessuras variáveis, atingindo valores máximos na região do Projeto Piloto (300,0 metros) e diminuindo tanto

para norte quanto para sul, com valores médios em torno de 230,0 metros na área do INCRA e de 260,0 metros na região da bateria da UNIFOR.

O contato com a Formação Longá, sobrejacente, forma uma superfície irregular e é muito bem definido na área, com exceção da região do Projeto Piloto, onde esta Formação apresenta uma fácies essencialmente arenosa, com ausência quase que completa dos siltitos e folhelhos predominantes nas outras regiões. O contato com a Formação Pimenteiras, subjacente, também é muito bem definido e extremamente uniforme, formando uma superfície quase plana (Fig 08).

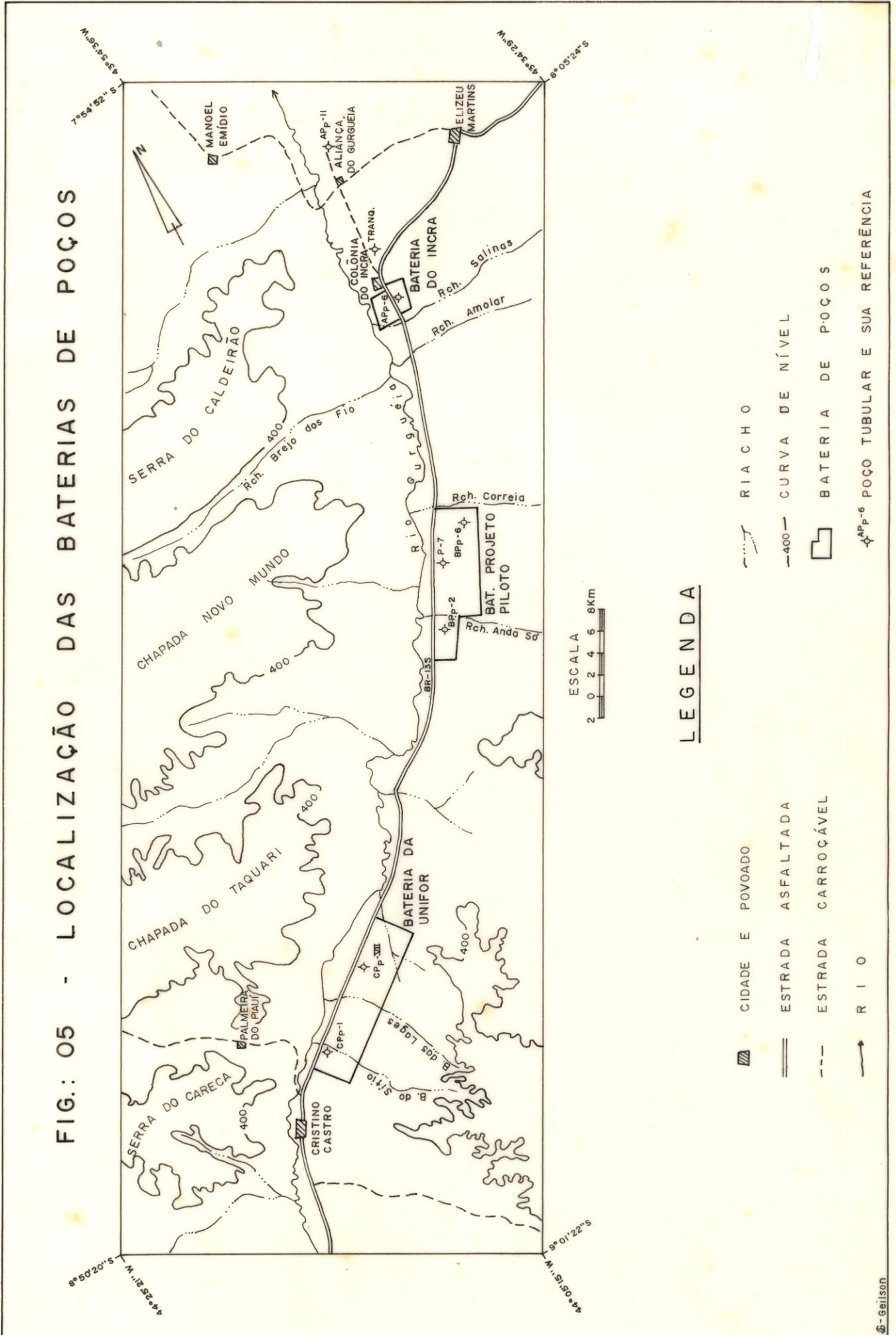
Os mapas de contorno estrutural do topo de Cabeças e isópacas de Longá, elaborados a partir dos dados da tabela 09 são apresentados nas figuras 06 e 07 respectivamente. No mapa da figura 06, é possível notar claramente um aumento brusco do gradiente a partir da Colônia do INCRA, refletindo um abaixamento acentuado do topo de Cabeças para noroeste. As isópacas de Longá mostram um aumento gradativo da espessura desta Formação em direção ao interior da bacia, também acentuado a partir da região do INCRA.

TABELA 09

DADOS PARA OS MAPAS ESTRUTURAIS

POÇO	COTA DA BASE (m)	PROF. TOPO F. CABEÇAS (m)	COTA TOPO F. CABEÇAS (m)	ESPESSURA DE LONGÁ (m)	OBSERV.
LB-009	230,0	384,0	-154,0	182,0	M. Emidio
LB-007	260,0	297,0	-37,0	177,0	E. Martins
L. Cerc.	294,0	175,0	119,0	80,0	L. Cercada
APp-11	245,4	309,0	-63,6	159,0	Aliança
TRANQ.	243,0	193,0	50,0	133,0	Faz. Tranq
APp-3	236,0	158,0	78,0	101,0	Bat. INCRA
APz-4	242,4	160,0	82,4	127,0	Bat. INCRA
APp-8	267,7	166,0	91,7	127,0	Bat. INCRA
P-15	230,9	82,0	148,9	82,0	Bat. P. Pil
P-10	243,1	91,0	152,1	91,0	Bat. P. Pil
P-4	243,6	93,0	150,6	93,0	Bat. P. Pil
B. Lugar	214,2	92,2	122,0	92,2	Bat. P. Pil
BPp-2	252,2	105,0	147,2	105,0	Bat. P. Pil
BPp-8	279,3	133,0	146,3	94,0	Bat. P. Pil
BPp-10	242,4	102,0	140,4	102,0	Bat. P. Pil
Violeto	234,0	95,0	139,0	95,0	Faz. Viol.
CPp-1	264,7	132,0	132,7	84,0	B. UNIFOR
CPp-8	289,0	143,0	146,0	89,0	B. UNIFOR
CPz-7	261,8	132,0	129,8	-	B. UNIFOR
CPp-VII	289,8	163,0	126,8	88,0	B. UNIFOR

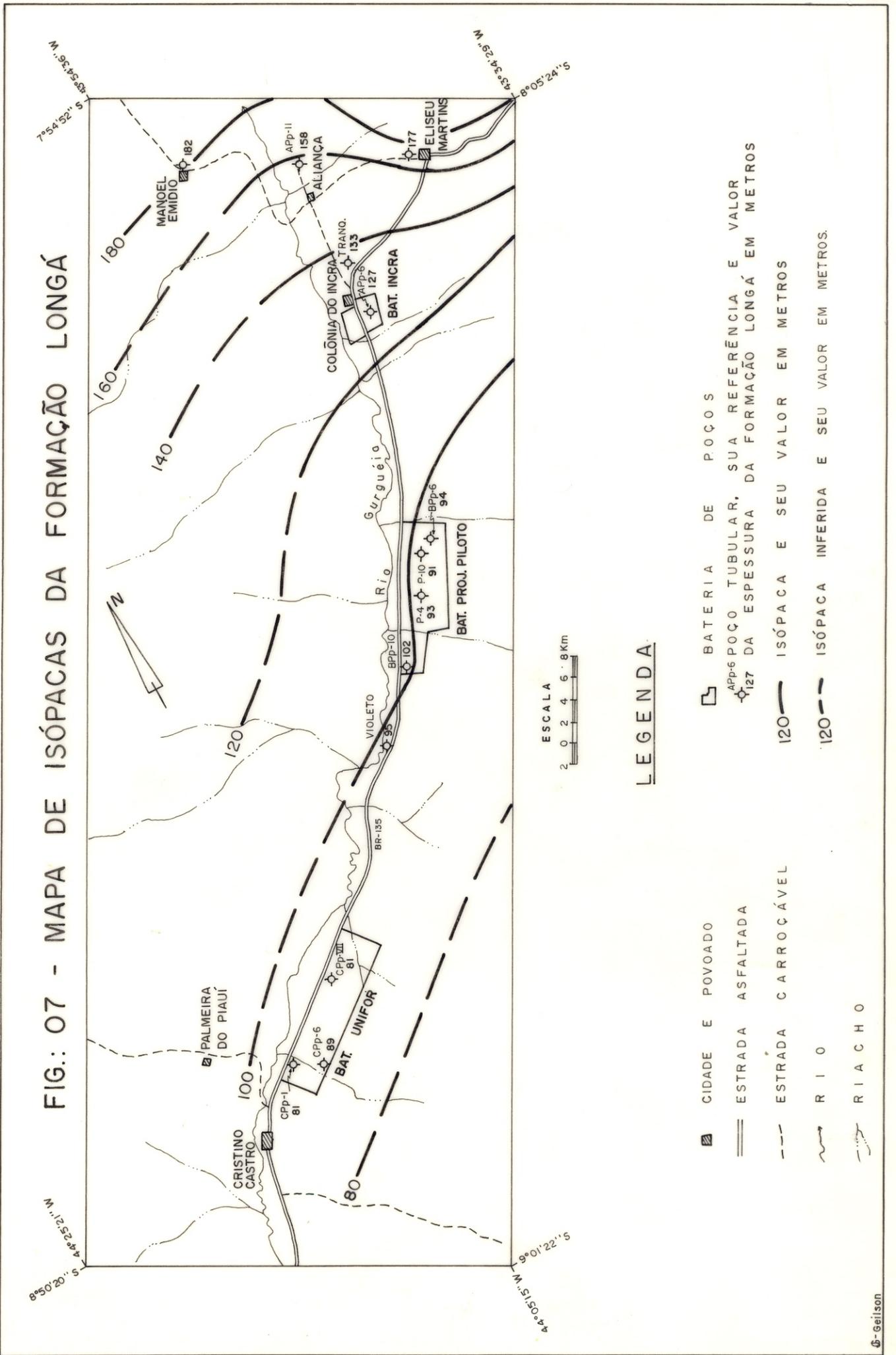
FIG.: 05 - LOCALIZAÇÃO DAS BATERIAS DE POÇOS



- ▣ C I D A D E E P O V O A D O
- == E S T R A D A A S F A L T A D A
- - - E S T R A D A C A R R O Ç A V É L
- R I O
- ⊠ R I A C H O
- 400- C U R V A D E N Í V E L
- B A T E R I A D E P O Ç O S
- ⋈ APP-6 P O Ç O T U B U L A R E S U A R E F E R Ê N C I A

LEGENDA

FIG.: 07 - MAPA DE ISÓPACAS DA FORMAÇÃO LONGÁ



LEGENDA

- CIDADE E POVOADO
- ▭ BATERIA DE POÇOS
- == ESTRADA ASFALTADA
- APP-6 POÇO TUBULAR, SUA REFERÊNCIA E VALOR
- APP-6 127 DA ESPESSURA DA FORMAÇÃO LONGÁ EM METROS
- - - ESTRADA CARROÇÁVEL
- 120 ISÓPACA E SEU VALOR EM METROS
- ~ R I O
- ~ R I A C H O
- 120 ISÓPACA INFERIDA E SEU VALOR EM METROS.

As feições descritas no parágrafo anterior devem estar associadas a um provável falhamento de gravidade, que ocorre logo ao norte da Colônia do INCRA, entre os poços Tranqueira e APp-11, e cujo resultado é o aprofundamento em mais de 100 metros do topo de Cabeças e um considerável aumento da espessura de Poti, e em menor escala de Longá, na região de Aliança do Gurguéia como mostrado no perfil da figura 08. Os poços perfurados no bloco rebaixado desta provável falha (APp-11 e APz-8), revelaram características litológicas do Aquífero Cabeças bem diferentes do restante da área. Apenas os 80,0 metros superiores, são formados pelos arenitos grosseiros a médios ("típicos") descritos anteriormente, sendo o resto da sequência constituída por uma alternância entre arenitos muito finos, siltitos e folhelhos. Esta variação faciológica, que condicionou apenas os 80,0 metros superiores do aquífero como zona produtora, é refletida diretamente nas características hidrodinâmicas, com valores de transmissividade e permeabilidade bem abaixo da média regional.

6.2 PARAMETROS HIDRODINAMICOS

O comportamento das curvas de rebaixamento aliado às características litológicas da sequência perfurada, permitem considerar o Aquífero Cabeças como confinado e não drenante. Nos testes, não foram constatadas quaisquer evidências de recarga e, pelo contrário, os níveis dinâmicos tendiam a evoluir normalmente no final do bombeamento.

Desta forma, as análises e interpretações de todos os testes de aquífero, foram realizadas utilizando-se os métodos de Theis e Jacob através das seguintes expressões:

$$\text{Theis:} \quad T = \frac{Q \cdot W(u)}{4 \cdot \pi \cdot s_w} \quad (1) \quad S = \frac{4 \cdot T \cdot t \cdot u}{r^2} \quad (2)$$

$$\text{Jacob:} \quad T = \frac{0,183 \cdot Q}{\Delta s} \quad (3) \quad S = \frac{2,25 \cdot T \cdot t_0}{r^2} \quad (4)$$

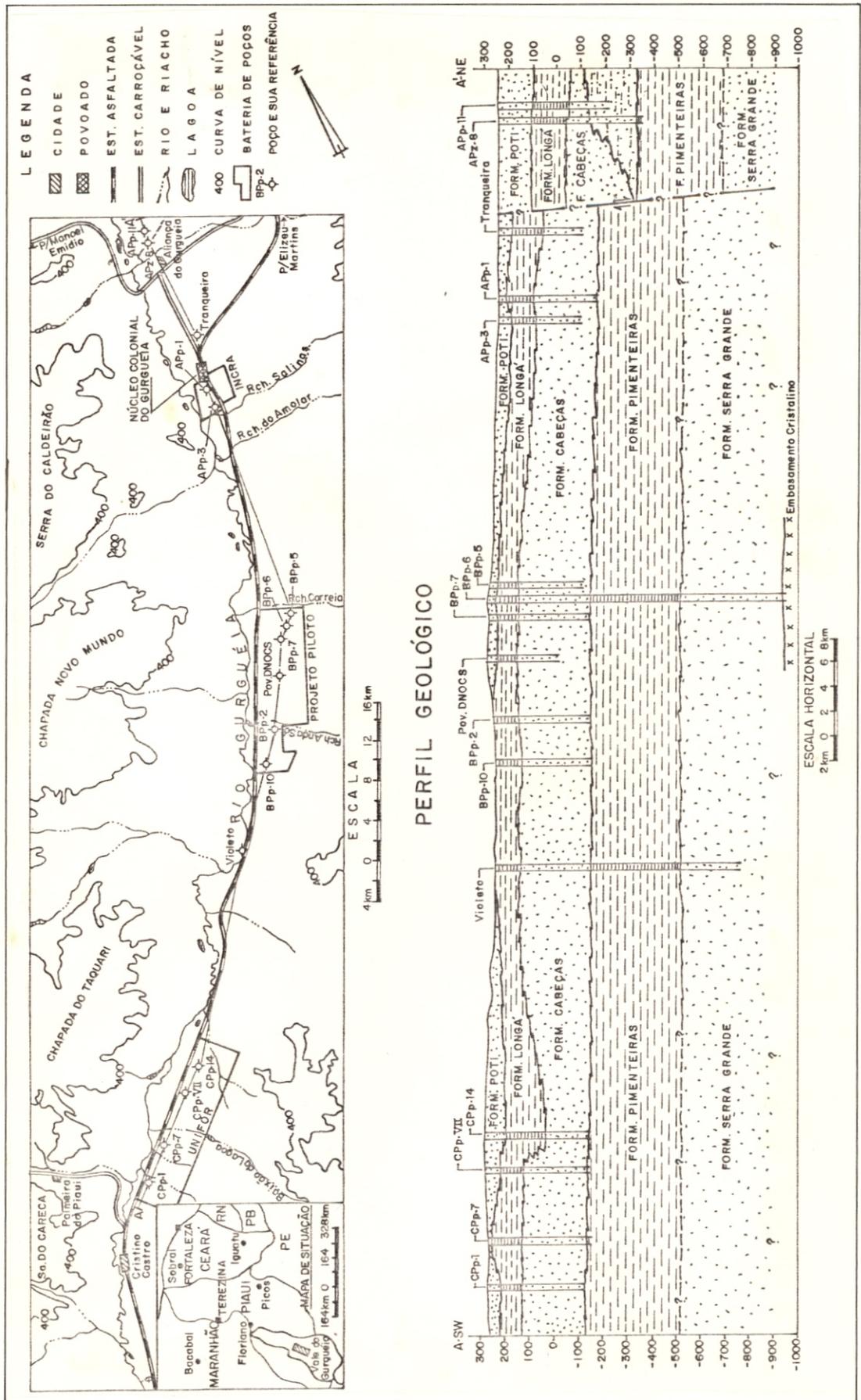
onde:

Q = vazão do teste

W(u) = ordenada do ponto de superposição na curva teórica 1/u X W(u)

u = inverso da abscissa do ponto de superposição na curva teórica 1/u X W(u)

FIG.08 - PERFIL GEOLÓGICO DE CORRELAÇÃO DE POÇOS



- t = abscissa do ponto de superposição na curva experimental
 s_w = ordenada do ponto de superposição na curva experimental (rebaixamento)
 r = distância do poço observado ao poço bombeado
 Δs = variação do rebaixamento por ciclo logarítmico
 t_0 = tempo para rebaixamento nulo

As permeabilidades foram avaliadas com o auxílio da expressão abaixo:

$$T = K \cdot b \quad (5)$$

onde:

- T = transmissividade (m^2/s)
 K = permeabilidade (m/s)
 b = espessura captada do aquífero (m)

Os valores de transmissividade (T), coeficiente de armazenamento (S) e permeabilidade (K) considerados representativos em cada teste de aquífero, bem como as médias regionais, estão resumidos na tabela 10. A análise destes resultados permite tecer as seguintes considerações:

A permeabilidade praticamente não apresenta variações ao longo de toda a área, ficando com um valor médio de $5,43 \cdot 10^{-2} m/s$.

Existe uma variação regional da transmissividade, com um valor máximo na região do Projeto Piloto ($1,51 \cdot 10^{-2} m^2/s$) e mínimo na região do INCRA ($1,16 \cdot 10^{-2} m^2/s$). Como a permeabilidade não varia, esta variação de transmissividade está condicionada diretamente a variação de espessura do aquífero, citada no item anterior. O valor médio regional é $1,33 \cdot 10^{-2} m^2/s$.

O coeficiente de armazenamento decresce de sudoeste para nordeste, apresentando um valor máximo na região da bateria da UNIFOR ($5,59 \cdot 10^{-4}$) e mínimo na área da Colônia do INCRA ($2,01 \cdot 10^{-4}$). Este fato, foi verificado no campo por ocasião dos testes de

TABELA 10

PARAMETROS HIDRODINAMICOS DO CABEÇAS

BATERIA	POÇO	b (m)	T (m ² /s)	S	K (m/s)	MÉDIAS		
						T (m ² /s)	S	K (m/s)
INCRA	Tranq.	178	0,0100	0,000154	0,0000568	0,0116	0,000201	0,0000577
	APp-1	283	0,0150(*)	-	0,0000570			
	APp-2	201	0,0150	0,000255	0,0000746			
	APp-3	192	0,0107	0,000385	0,0000557			
	APp-4	202	0,0100	0,000200	0,0000495			
	APp-5	184	0,0100	0,000230	0,0000543			
	APp-6	194	0,0110	0,000234	0,0000567			
	APp-7	196	0,0112	0,000151	0,0000571			
APp-11	158	0,0034(+)	0,000339(+)	0,0000215(+)				
PROJETO PILOTO	BPp-1	290	0,0200	0,000295	0,0000589	0,0151	0,000354	0,0000523
	BPp-2	292	0,0147	0,000323	0,0000503			
	BPp-5	262	0,0100(!)	-	0,0000381			
	BPp-10	287	0,0160	0,000445	0,0000557			
	P-15	302	0,0147(*)	-	0,0000486			
UNIFOR	CPp-1	268	0,0130	0,000702	0,0000485	0,0133	0,000569	0,0000524
	CPp-6	267	0,0130	0,000426	0,0000486			
	CPp-7	263	0,0156	0,000450	0,0000593			
	CPp-12	251	0,0124(*)	-	0,0000494			
	CPp-14	217	0,0130	0,000289	0,0000599			
	CPp-VII	267	0,0130	0,000980	0,0000486			
MÉDIAS						0,0133	0,000374	0,0000541

OBS: (*) - No poço bombeado

(+) - Valor não considerado na média

(!) - Valor obtido pela análise da vazão específica

b - Espessura captada

aquífero, onde a menor expansão do cone de rebaixamentos na região da UNIFOR indica melhores condições de armazenamento. O valor médio regional é $3,74.10^{-4}$.

Foi feito um estudo de correlação entre os valores de transmissividade (T) e espessura captada do aquífero (b) com os dados dos 20 poços testados, o qual é mostrado na figura 09. Fundamentado no fato de que para espessuras nulas teremos transmissividades também nulas, foram incluídos cinco pontos fictícios próximos a zero para satisfazer esta condição e forçar, assim, a obtenção de uma correlação linear mais próxima da realidade. O alto coeficiente de correlação obtido (0,96) foi induzido pelos cinco pontos fictícios utilizados. Se por um lado este procedimento pode ser questionável, por outro lado, o valor da permeabilidade alcançado através deste processo ($5,89.10^{-5}$) foi muito próximo do valor obtido pela média regional ($5,43.10^{-5}$), podendo assim ser considerado como representativo do aquífero regionalmente. O ponto considerado anômalo (Fig. 09), e não levado em conta na correlação, é referente ao poço APp-11 que apresenta valores de transmissividade ($3,40.10^{-3}$) e permeabilidade ($2,15.10^{-5}$) abaixo dos valores médios regionais, refletindo condições litológicas e hidráulicas diferentes do restante da área.

6.3 FRONTEIRAS DETECTADAS

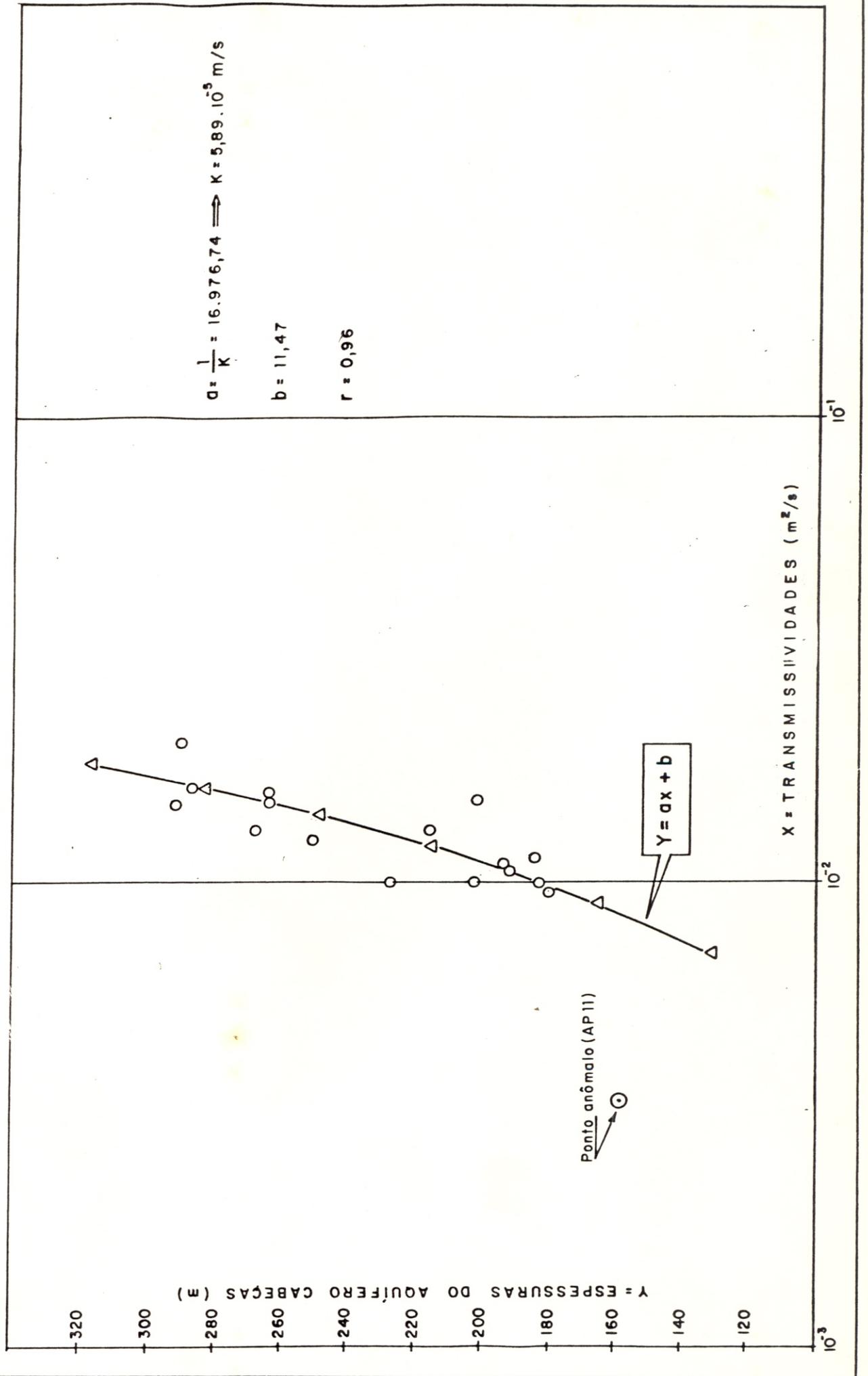
6.3.1 Considerações gerais

Um fato comum nas curvas de rebaixamento dos testes de aquífero realizados nas regiões do Projeto Piloto e INCRA, é a presença de nítidas reflexões indicativas da existência de descontinuidades hidráulicas. Por outro lado, em nenhum teste realizado na região da bateria da UNIFOR foi evidenciada a existência de anomalias nas curvas de rebaixamento.

Na tentativa de mapear estas descontinuidades, foram selecionados os testes dos poços Tranqueira, APp-6 e BPp-2. Esta seleção se deu, no caso do Tranqueira, devido a existência na região do poço de um levantamento geofísico feito pelo NUTEC (item 5.4), que forneceu informações adicionais. Para os outros dois poços, a escolha foi condicionada pelo elevado número de piezômetros observados, 7 e 4 respectivamente.

A observação sistemática dos 7 poços envolvidos no teste de aquífero do poço APp-7, também permitiria a análise e locação da descontinuidade existente na área do INCRA. Entretanto, como o teste do APp-7 foi iniciado apenas quatro dias após ter sido encerrado o bombeamento do teste do APp-6, ocorreu uma superposição de efeitos, com o cone de rebaixamentos do APp-7 superpondo-se ao efeito de recuperação do APp-6, falseando assim os resultados do teste.

FIG. 09 - CORRELAÇÃO TRANSMISSIVIDADE x ESPESSURA CAPTADA



Da mesma forma, o teste de aquífero do poço BPP-10, com cinco piezômetros observados, não pôde ser utilizado na determinação da descontinuidade do Projeto Piloto, por ter sofrido forte influência do bombeamento dos poços da bateria antiga do DNOCS.

Nas figuras 10 e 11, são apresentadas as curvas de rebaixamento em função do tempo dos poços selecionados, mostrando as nítidas reflexões em seus ramos terminais.

6.3.2 Metodologia Utilizada

A metodologia utilizada para o mapeamento das descontinuidades consistiu na aplicação prática da teoria das imagens. Logo, foi determinada a posição de um poço imagem em relação ao poço bombeado, sendo a descontinuidade representada pela mediatriz do segmento de reta que une estes dois poços. Devemos salientar, que é necessário pelo menos três poços observados num teste de aquífero, para que se possa determinar com segurança a posição do poço imagem, daí a escolha dos testes com elevado número de piezômetros.

6.3.2.1 Cálculo das Distâncias ao Poço Imagem

As distâncias de cada piezômetro observado ao poço imagem foram determinadas através do seguinte procedimento:

Inicialmente, são calculados valores para a transmissividade (T) e coeficiente de armazenamento (S), no trecho inicial da curva de rebaixamentos não afetada pelo efeito da descontinuidade.

Em seguida, mantendo-se as curvas superpostas (curva teórica de Theis e curva de campo) é avaliado, no trecho onde existe a reflexão, um valor para o acréscimo de rebaixamento (s_1) em um certo tempo (t_1). Este valor (s_1), representa o rebaixamento causado pelo "bombeamento do poço imagem" ou seja, o efeito da descontinuidade.

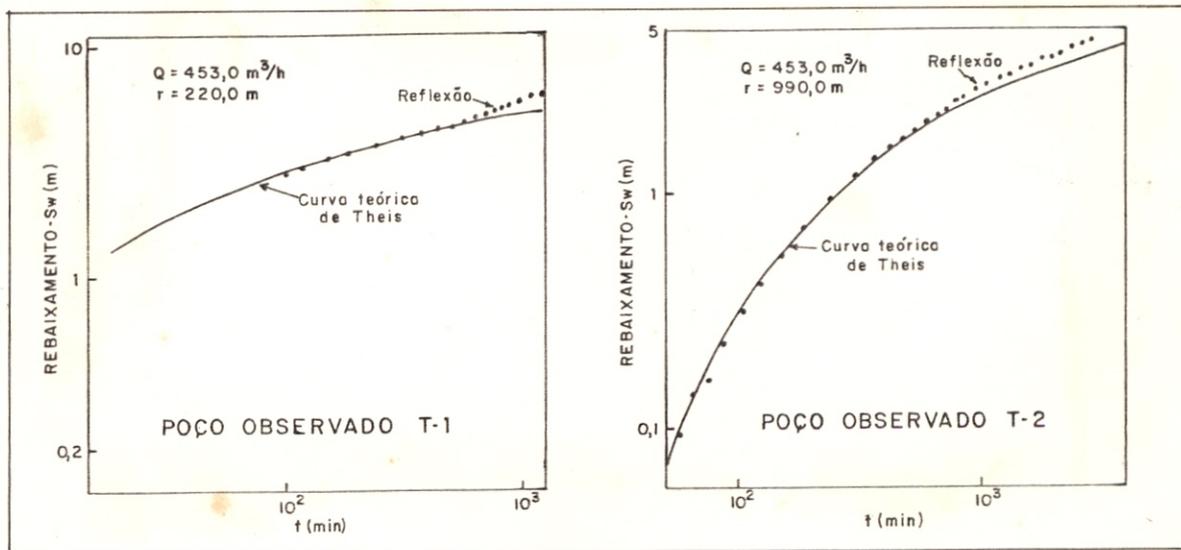
Conhecido s_1 , determina-se um valor para $W(u_1)$ através da seguinte expressão:

$$W(u_1) = \frac{4 \cdot \pi \cdot T \cdot s_1}{Q} \quad (6)$$

onde:

FIG.: 10 - CURVAS DE REBAIXAMENTO

TESTE DO TRANQUEIRA



TESTE DO APp-6

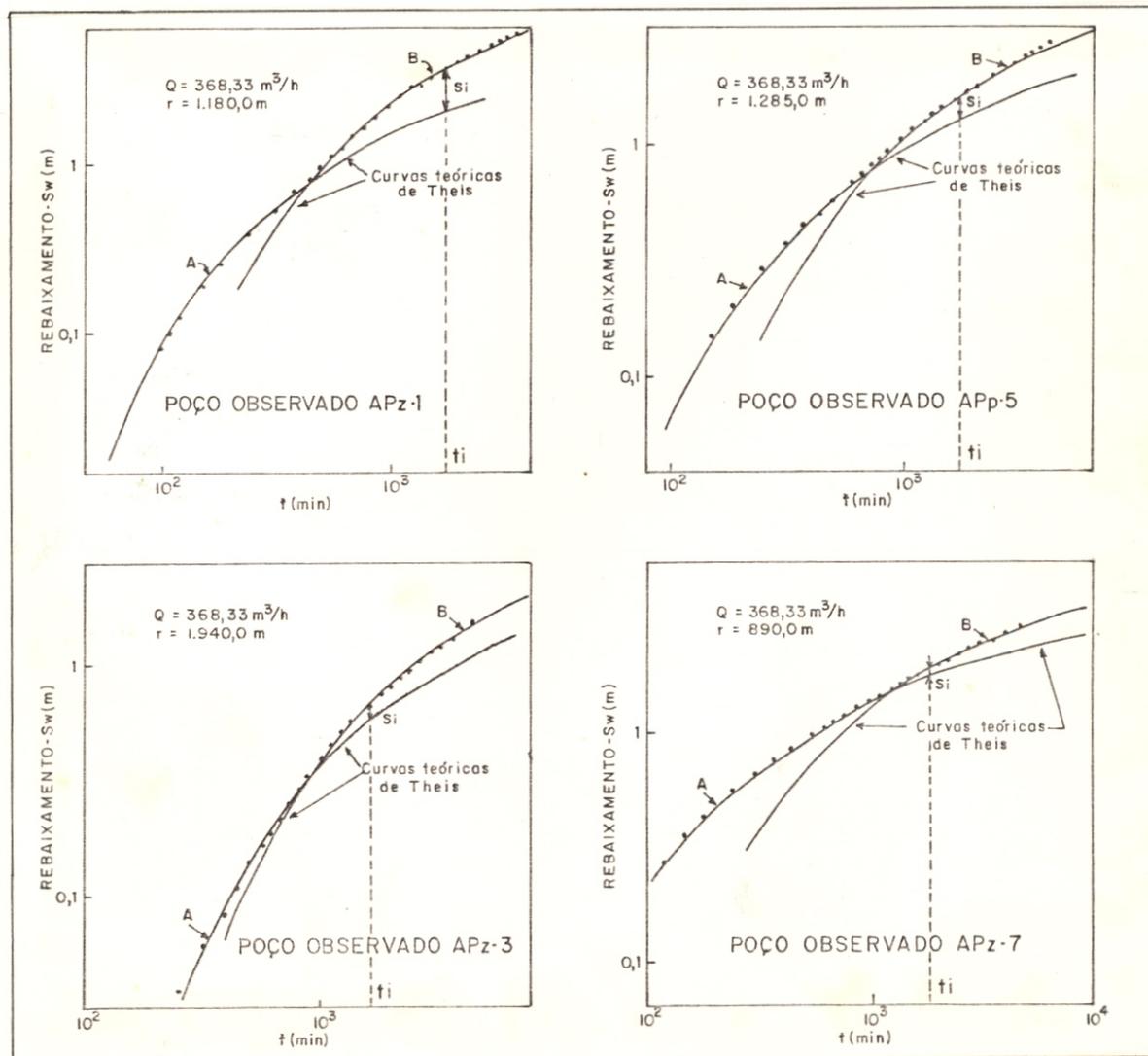
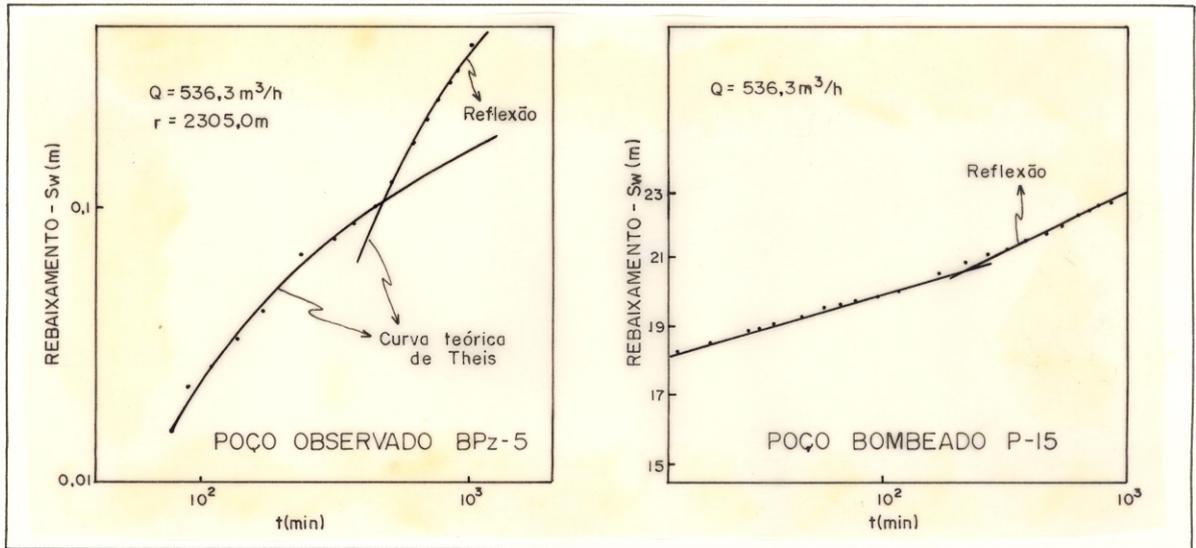
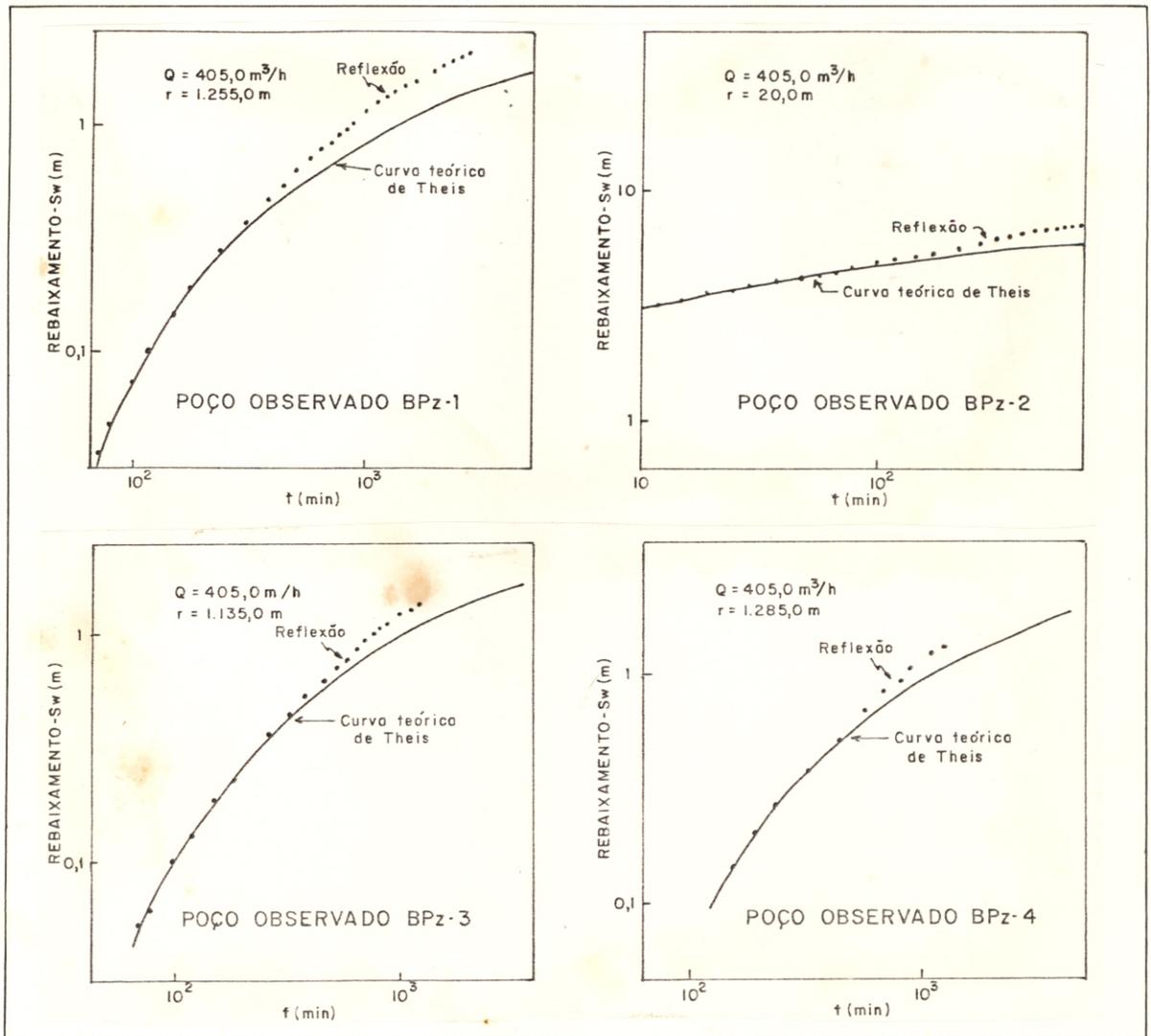


FIG.: 11 - CURVAS DE REBAIXAMENTO

TESTE DO P-15



TESTE DO BPp-2



s_1 = acréscimo de rebaixamento avaliado como descrito anteriormente.

T = transmissividade calculada no trecho inicial da curva de rebaixamentos.

Q = vazão do teste

Tendo-se o valor de $W(u_1)$ determina-se u_1 graficamente, através de tabelas da função $W(u)$ ou utilizando esta função programada em computador. Aqui, foi utilizada esta última opção devido a sua precisão e praticidade.

Finalmente, é calculada a distância do piezômetro ao poço imagem (r_1) utilizando-se a expressão abaixo:

$$r_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot T \cdot t_1 \cdot u_1}{Q}} \quad (7)$$

onde:

T, S = transmissividade e coeficiente de armazenamento, calculados no trecho inicial da curva de rebaixamentos.

t_1 = tempo correspondente ao acréscimo de rebaixamento (s_1).

u_1 = como acima indicado.

Na tabela 11 são apresentadas as distâncias do poço imagem a cada piezômetro observado, calculadas segundo o procedimento descrito acima e correspondentes aos testes de aquífero dos poços Tranqueira, APp-6 e BPp-2.

6.3.2.2 Mapeamento das Descontinuidades

Com o conhecimento das distâncias entre os piezômetros e o poço imagem, são traçados círculos centrados em cada piezômetro tendo como raio estas respectivas distâncias. Logo, com três piezômetros não alinhados, os três círculos correspondentes cortam-se aproximadamente num ponto que corresponde ao local do poço imagem.

Conhecida a posição deste ponto é possível determinar o local da descontinuidade, que coincidirá com a mediatriz do segmento de reta que une este ponto ao poço bombeado.

TABELA 11

CÁLCULO DA DISTANCIA - POÇO IMAGEM / POÇO OBSERVADO

TESTE DE AQUIFERO DO TRANQUEIRA ($Q = 453,0 \text{ m}^3/\text{h}$)						
POÇO OBS.	$T(\text{m}^2/\text{s})$	S	$t_i(\text{min})$	$s_i(\text{m})$	u_i	$r_i(\text{m})$
T - 1	0,0094	0,000150	2645	1,005	0,253891	3.185
T - 2	0,00731	0,000177	2650	0,671	0,563132	3.846
TESTE DE AQUIFERO DO APp-6 ($Q = 308,33 \text{ m}^3/\text{h}$)						
POÇO OBS.	$T(\text{m}^2/\text{s})$	S	$t_i(\text{min})$	$s_i(\text{m})$	u_i	$r_i(\text{m})$
APz-1	0,01360	0,000239	3120	0,987	0,121485	2.275
APz-3	0,01270	0,000393	3130	0,294	0,595923	3.801
APp-5	0,01200	0,000246	3130	0,706	0,251208	3.033
APz-7	0,01130	0,000267	3120	0,342	0,578472	4.281
TESTE DE AQUIFERO DO BPp-2 ($Q = 405,0 \text{ m}^3/\text{h}$)						
POÇO OBS.	$T(\text{m}^2/\text{s})$	S	$t_i(\text{min})$	$s_i(\text{m})$	u_i	$r_i(\text{m})$
BPz-1	0,01620	0,000321	1200	0,312	0,496059	2.685
BPz-2	0,01310	0,000463	1200	2,463	0,015517	179
BPz-3	0,01500	0,000321	1210	0,242	0,657506	2.987
BPz-4	0,01360	0,000304	1230	0,124	1,092190	3.798

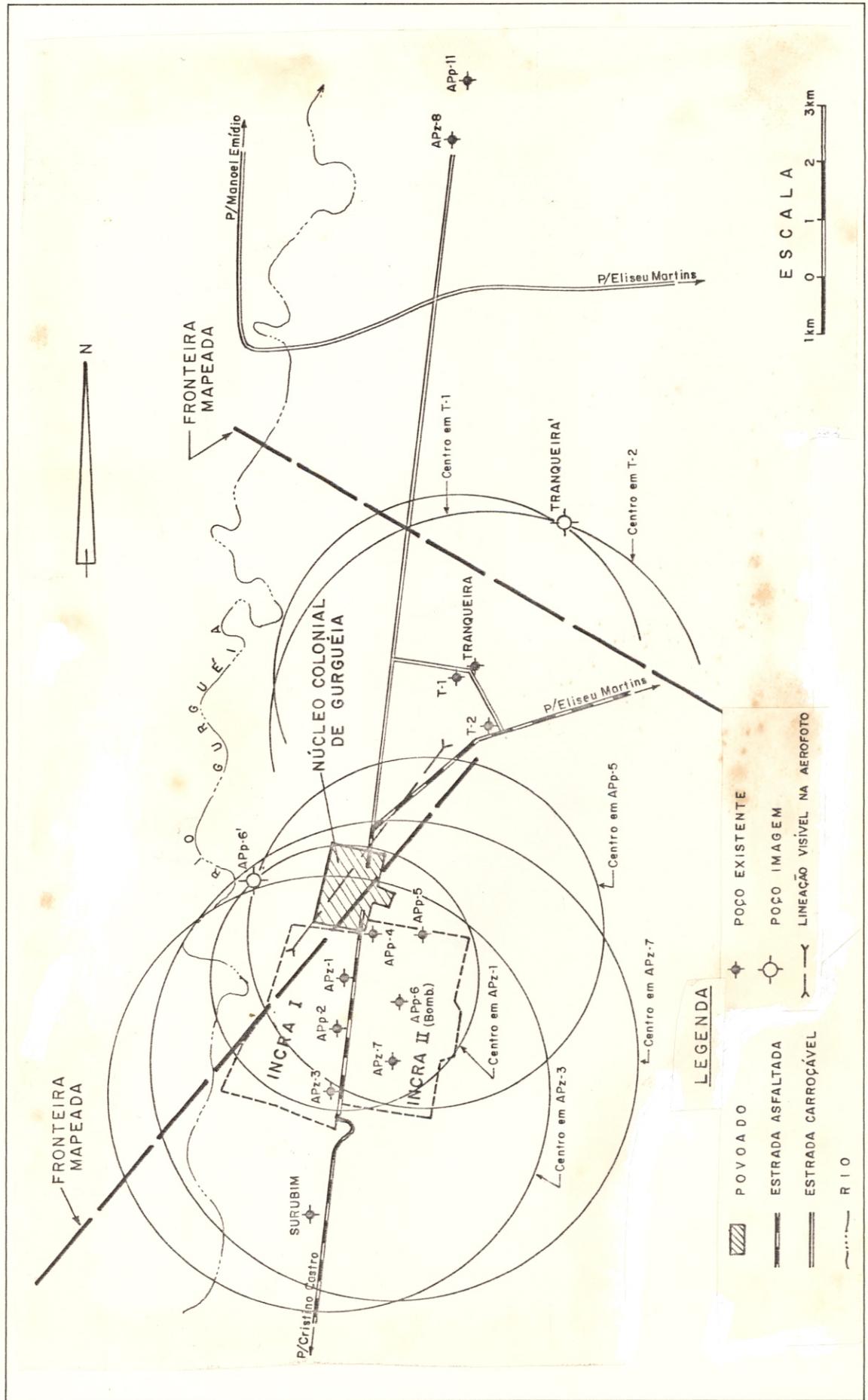
6.3.3 Descontinuidades Mapeadas

Os resultados conseguidos com a aplicação da metodologia exposta nos itens anteriores, permitiram a determinação de três descontinuidades localizadas em duas regiões distintas: Colônia do INCRA e Projeto Piloto.

6.3.3.1 Região da Colônia do INCRA

Na região da Colônia do INCRA, foram analisados os testes dos poços Tranqueira e APp-6, levando ao mapeamento de duas descontinuidades mostradas na figura 12.

FIG. 12 - FRONTEIRAS MAPEADAS - ÁREA DO INCRA



O teste do Tranqueira, com apenas dois piezômetros considerados (T_1 e T_2) já que o terceiro (T_3) apresentou resultados anômalos (Anexo 1.9.10 - Volume 2), gerou inicialmente uma indeterminação com duas posições possíveis para a localização do poço imagem (Fig. 12). Entretanto, os dados do levantamento geofísico (eletroresistividade) realizado pelo NUTEC (item 5.4) permitiram a elaboração do mapa de condutâncias longitudinais, apresentado na figura 13, que mostra nitidamente a existência de uma zona com fortes gradientes, alongada na direção NW-SE, coincidindo aproximadamente com uma das posições possíveis para a descontinuidade.

O teste do APP-6 permitiu marcar com uma boa margem de segurança uma descontinuidade com direção NE-SW, coincidente com visíveis lineações observadas em fotografias aéreas (Fig. 12).

6.3.3.2 Região do Projeto Piloto

O teste de aquífero do poço BPP-2 permitiu o mapeamento de uma descontinuidade com direção WNW-ESE, coincidente aproximadamente com o vale do riacho Anda Só, mostrada na figura 14.

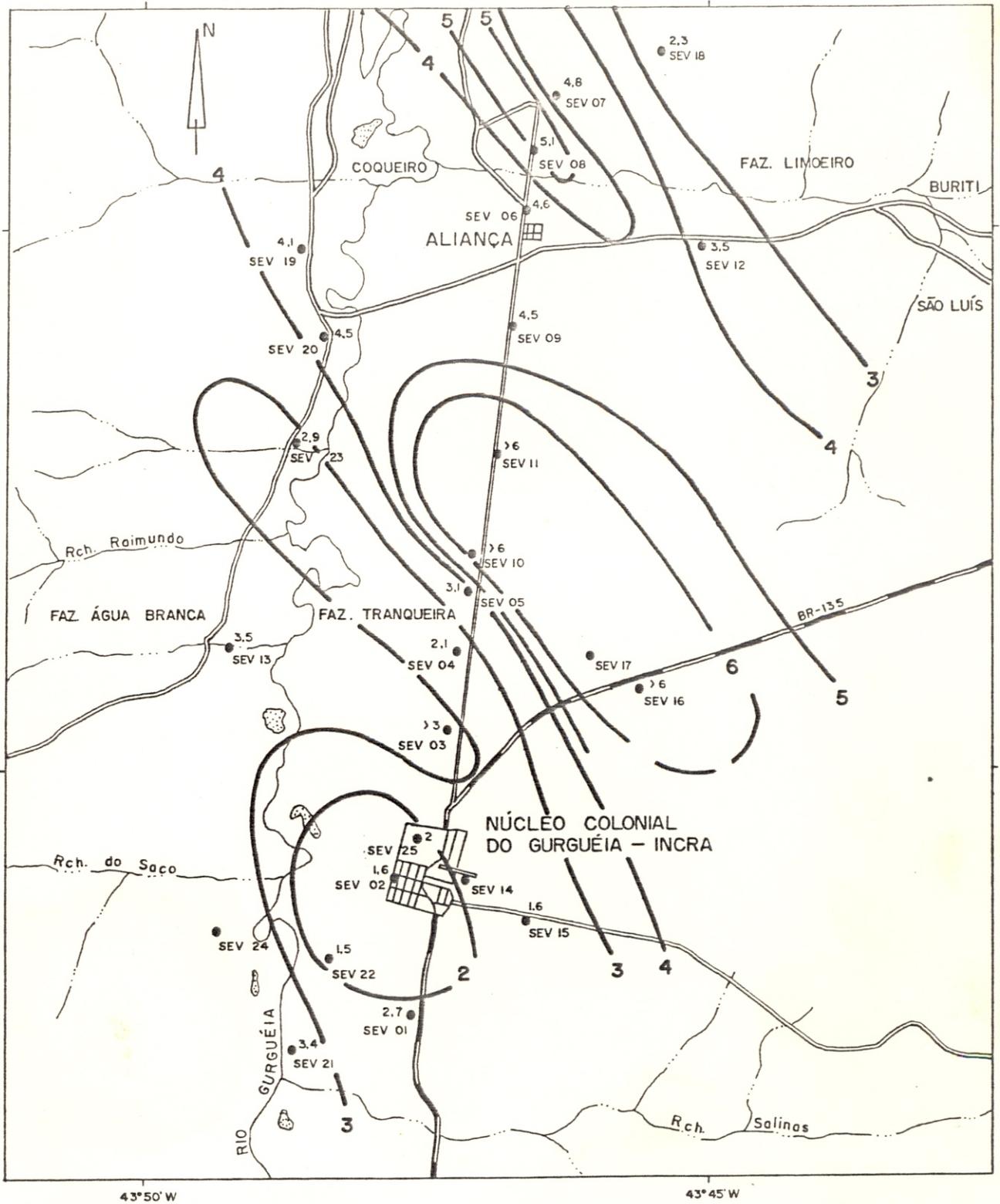
O monitoramento de níveis, com a bateria original do Projeto Piloto em operação, mostrou que os poços situados ao sul do riacho Anda Só apresentavam níveis bem inferiores aos teóricos calculados, enquanto que os poços ao norte deste riacho mostraram níveis teóricos compatíveis com os medidos no campo. Esta constatação reforça a existência de uma barreira separando os poços da bateria antiga do DNOCS dos novos poços perfurados ao sul do riacho Anda Só.

Foi realizado um teste de aquífero no poço P-15 da bateria original do Projeto Piloto, cujas curvas de rebaixamento, tanto do piezômetro observado quanto do próprio poço bombeado (Fig. 11), mostraram reflexões que indicam a existência de uma descontinuidade no local. Mesmo não tendo sido possível mapear esta descontinuidade, acreditamos que ela deve coincidir com o vale do riacho Correia, a exemplo da que ocorre no vale do Anda Só, devido à similaridade de suas características geomorfológicas.

6.3.4 Natureza das Descontinuidades

Segundo a teoria das imagens sabe-se que em presença de uma fronteira impermeável, a transmissividade calculada no primeiro trecho da curva de rebaixamento (T_a) é o dobro da calculada no trecho devido a reflexão (T_b). No caso de fronteiras semipermeáveis a razão T_a/T_b oscila entre 1 e 2, dependendo da diferença de permeabilidade entre o aquífero e a fronteira.

FIG.: 13 - MAPA DE CONDUTÂNCIAS LONGITUDINAIS DA F. LONGÁ



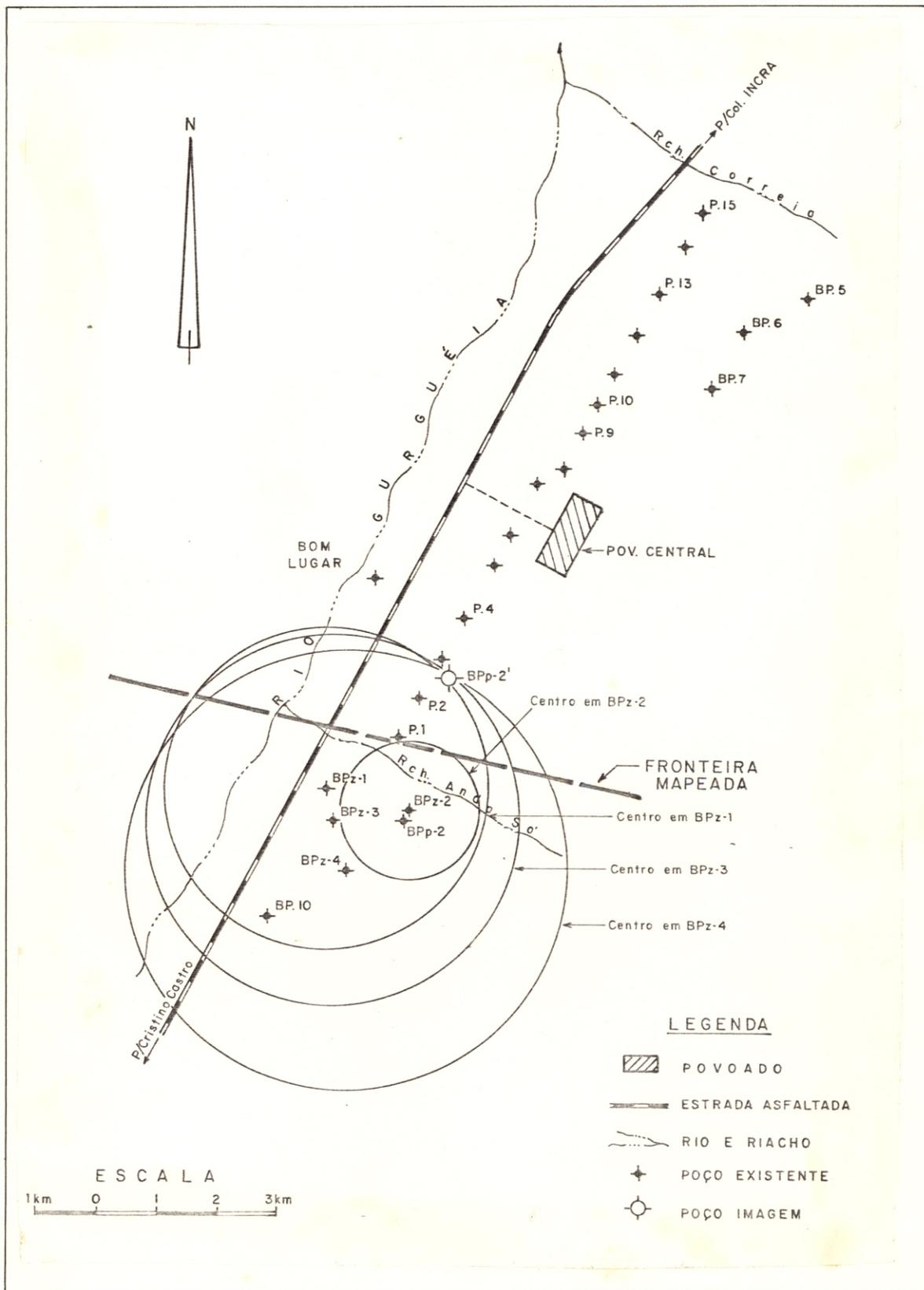
BASE CARTOGRÁFICA: FOLHA ELISEU MARTINS, SC-23-X-A-III, SUDENE

LEGENDA

- 4.5
SEV 09 SONDAGEM ELÉTRICA E VALOR DA CONDUTÂNCIA EM MHO.
- 3 CURVA DE IGUAL CONDUTÂNCIA E SEU VALOR EM MHO.

ESCALA: 1/100.000

FIG.: 14 - FRONTEIRA MAPEADA - ÁREA DO PROJETO PILOTO



Na tabela 12 são apresentados os valores da razão T_a/T_b dos testes de aquífero realizados. Estes valores oscilam entre 1,3 e 1,7 na região do Projeto Piloto e ficam em torno de 2,0 na área do INCRA, caracterizando assim, condições semipermeáveis e impermeáveis, respectivamente, para as fronteiras mapeadas.

Na tentativa de se obter subsídios para uma melhor definição da natureza destas fronteiras, foram feitas observações geológicas de superfície nas cercanias do Projeto Piloto e da Colônia do INCRA.

Aproximadamente 4,0 Km ao sul desta última localidade, numa escarpa na margem direita do rio Gurguéia, as lineações visíveis nas aerofotos são caracterizadas no campo pela ocorrência abundante de um mineral metálico cimentando secundariamente os arenitos da Formação Poti. A análise petrográfica deste mineral, realizada no Departamento de Engenharia de Minas da UFPE (professor Marcelo Reis R. da Silva), revelou tratar-se de Pirolusita (óxido de manganês), numa proporção de 15% a 20% da composição modal da rocha, além de constatar o caráter tardio da cimentação metálica, onde soluções mineralizantes teriam ascendido por uma zona fraturada pré-existente.

Embora não tenham sido encontrados afloramentos ao longo do vale do riacho Anda Só, acreditamos que, a exemplo do INCRA, a fronteira mapeada neste local provavelmente também está associada com um fraturamento preenchido com óxido de manganês. Neste caso, o preenchimento teria sido de menor intensidade conferindo um caráter semipermeável à fronteira enquanto que no INCRA, a fratura teria sofrido um preenchimento mais intenso determinando condições impermeáveis.

Ainda na região do INCRA, a fronteira mapeada de direção NW-SE (Fig. 12), também com características impermeáveis, provavelmente está associada com o falhamento de gravidade mostrado no perfil da figura 08, que parece constituir o prolongamento para sudeste da grande falha de Rio das Balsas (Fig. 15).

Segundo o Projeto RADAM (1973), grandes falhamentos de gravidade cortam o sudeste da bacia do Piauí-Maranhão condicionando, estruturalmente, um comportamento em blocos escalonados. Dentro deste contexto, o prolongamento da falha de Rio das Balsas determinaria uma situação geológica como a mostrada no perfil esquemático da figura 15, que explicaria a ausência de sedimentos mesozóicos em toda a região sudeste da bacia a partir de Canto do Buriti, a qual corresponderia ao bloco central alçado do referido perfil. Entretanto, devemos salientar que a concepção desta hipótese encerra ainda um alto grau de extrapolação, não devendo portanto ser considerada como definitiva mais sim passível de confirmação ou contestação a medida que novos dados forem sendo obtidos.

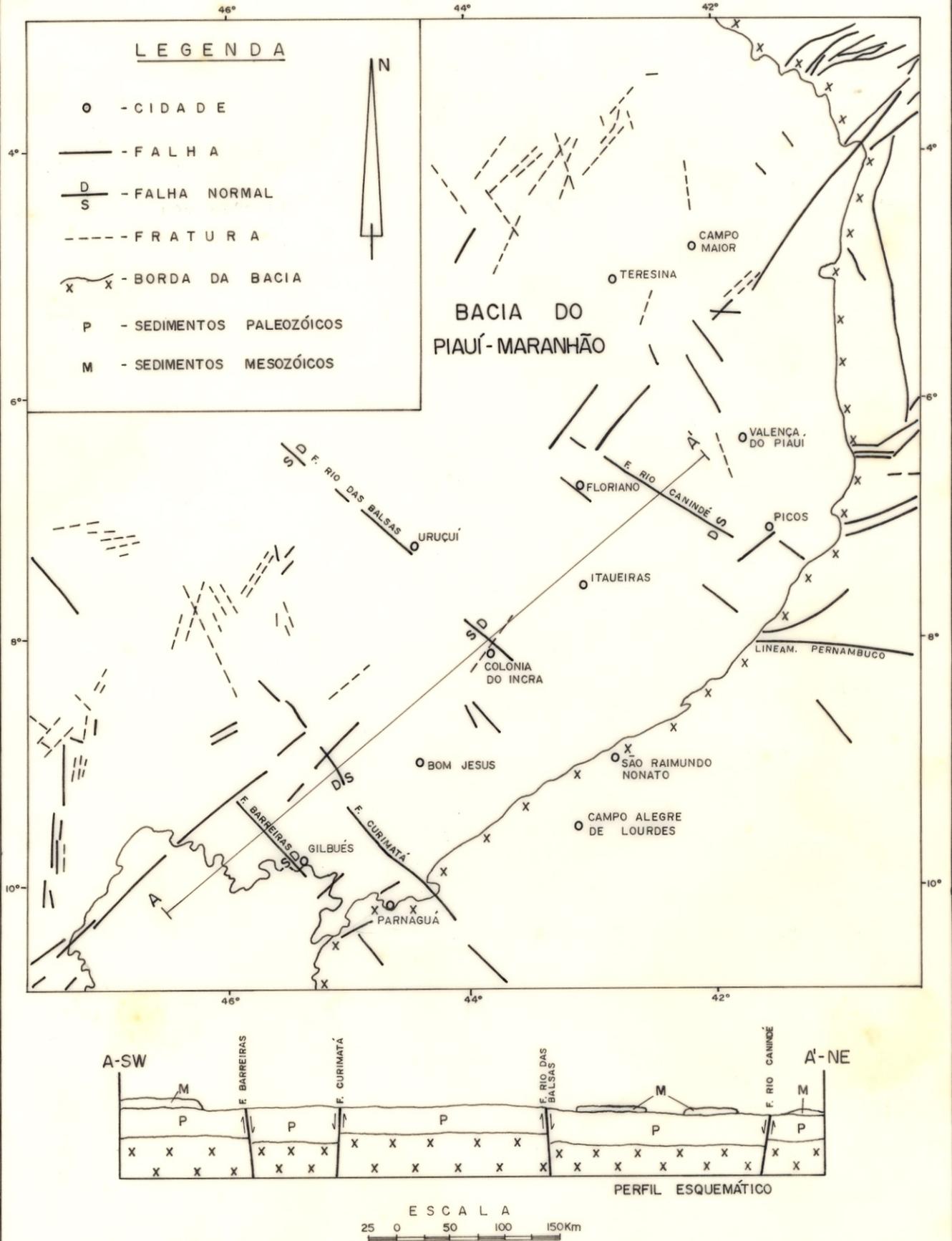
TABELA 12

RAZÃO ENTRE AS TRANSMISSIVIDADES T_A E T_B

BAT.	POÇO TESTADO	POÇO OBSERVADO	TRANSMISSIVIDADE (m^2/s)		T_A/T_B
			1º RAMO - T_A	2º RAMO - T_B	
I N C R A	APp-1	APp-1 (*)	0,01580	0,00784	2,02
		APz-1	0,01920	0,00836	2,30
		APz-3	0,05180	0,00850	6,09
	APp-2	APp-2 (*)	0,01790	0,00884	2,02
		APz-1	0,01500	0,00670	2,24
		APz-3	0,01950	0,00915	2,13
	APp-4	APp-4 (*)	0,01290	0,00980	1,32
		APz-1 APz-4	0,01160 0,04120	0,00567 0,01150	2,05 3,58
APp-5	APz-1	0,01060	0,00580	1,83	
	APz-4	0,04900	0,01700	2,88	
APp-6	APp-1	0,01690	0,00702	2,41	
	APz-1	0,01360	0,00610	2,23	
	APp-2	0,01590	0,00678	2,35	
	APz-3	0,01270	0,00747	1,70	
	APz-4	0,03870	0,01270	3,05	
	APp-5	0,01200	0,00651	1,84	
APp-7	APz-7	0,01130	0,00636	1,78	
	APz-1	0,01300	0,00696	1,87	
	APP-2	0,01240	0,00786	1,58	
	APz-3 APp-6	0,02790 0,01280	0,01010 0,00937	2,76 1,37	
Tranq.	Tranq. (*)	0,00959	0,00490	1,96	
	T-1	0,00944	0,00556	1,70	
	T-2	0,00731	0,00535	1,37	
P. P I L O T O	BPp-2	BPz-3	0,01500	0,00878	1,71
		BPz-4	0,01360	0,00844	1,61
		BPz-1	0,01620	0,00952	1,70
BPz-2		0,01310	0,00853	1,54	
BPp-10	BPz-10	0,01650	0,01220	1,35	
P-15	P-15 (*)	0,01470	0,00879	1,67	

OBS: (*) Valores obtidos no poço bombeado

FIG. 15 - ESBOÇO TECTÔNICO DO SUDESTE DA BACIA PIAUÍ-MARANHÃO



Fontes: Projeto Radam, Folhas Teresina/Jaguaribe e São Francisco/Aracaju, Escala 1/1.000.000 - 1973.
 Mapa Geológico do Brasil, DNPM, Escala 1/2.500.000 - 1981.
 Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste, Folhas 13 e 18, SUDENE, Escala 1/500.000 - 1979.

6.4 PIEZOMETRIA E VAZÃO DE ESCOAMENTO NATURAL

Os poços perfurados ao longo do vale do Gurguéia, distribuídos de uma forma praticamente linear, não permitem uma boa visualização da piezometria. Logo, para a elaboração do mapa piezométrico foi necessário a utilização das informações de outros poços existentes na região, extrapolando as dimensões da nossa área de trabalho.

O mapa piezométrico apresentado na figura 16 (baseado no mapa apresentado por DEMETRIO-1990) foi elaborado utilizando-se as informações de três conjuntos de poços:

Poços da bateria antiga do DNOCS, perfurados pela CPRM através do consórcio DNOCS/COTEP entre 1975 e 1976 (Tabela 13).

Poços da programação recente do DNOCS, perfurados pela CPRM a partir de 1986 no âmbito do Projeto de Irrigação do Gurguéia (Tabela 14).

Outros poços existentes na região, perfurados entre 1969 e 1972 e selecionados no Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste, folha 18 (Tabela 15).

Embora tenham sido considerados todos os poços das tabelas 13 e 14 na elaboração do mapa piezométrico, apenas alguns foram indicados no mapa devido a escala utilizada na apresentação.

As curvas piezométricas estendem-se do sul de Redenção do Gurguéia até a região leste de Canto do Buriti. Ao longo do vale do Gurguéia, as curvas apresentam uma direção geral NE-SW indicando um escoamento para NW com gradientes médios em torno de 1,57 m/Km. Um estreitamento das curvas, com gradientes mais fortes (3,10 m/Km), ocorre entre o poço Violeta e o Projeto Piloto do DNOCS. Na região entre Elizeu Martins e Canto do Buriti, as curvas mostram um escoamento geral para nordeste com gradientes médios mais suaves, próximos a 1,0 m/Km, existindo, entretanto, a leste de Canto do Buriti uma zona com gradientes mais fortes, chegando a 2,7 m/Km.

A análise do mapa piezométrico permite destacar três feições bastantes significativas: uma zona de convergência de fluxo localizada na região do Projeto Piloto e associada com os maiores gradientes existentes neste local, uma zona de divergência de fluxo entre as cidades de Elizeu Martins e Canto do Buriti e, novamente, uma zona de forte convergência de fluxo, também associada com fortes gradientes, localizada imediatamente a leste de Canto do Buriti.

Na região do Projeto Piloto, os dados utilizados na elaboração do mapa, provenientes da perfuração dos 15 poços da bateria original, datam de 1975 e 1976 enquanto que esta bateria só iniciou seu funcionamento em 1982. Desta forma,

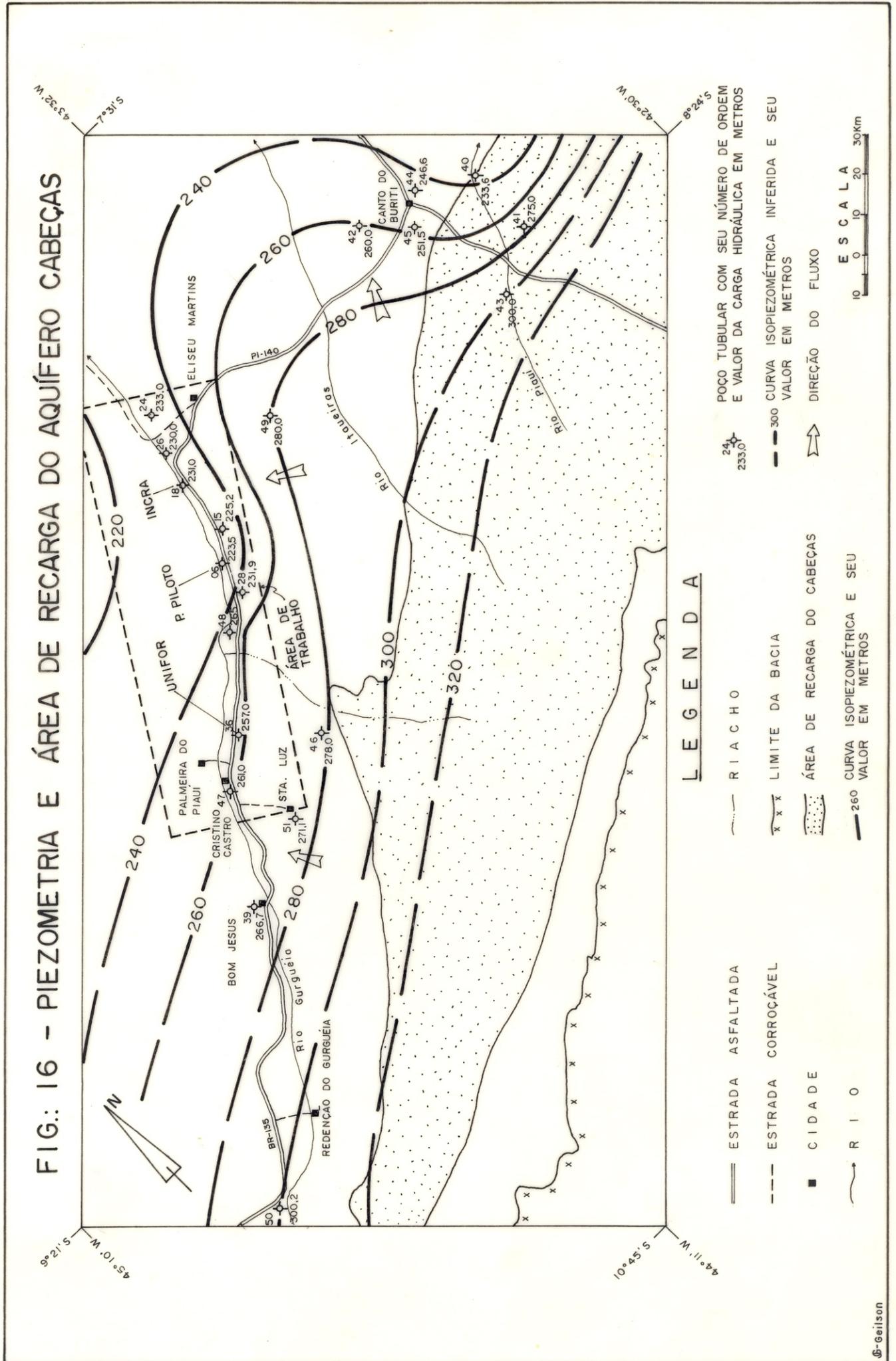


TABELA 13

DADOS PARA A PIEZOMETRIA - POÇOS ANTIGOS DO PROJETO PILOTO

POÇO		COTA DA BASE DE CIMENTO (m)	N E (m)	COTA NE (m)	DATA DA MEDIÇÃO
No DE ORDEM	REFERENC. COTEPE				
01	P1	238,6	13,3	225,3	06/75-Teste
02	P2	242,7	18,8	223,9	08/75-Término perf.
03	P3	245,0	21,4	223,6	08/75-Idem
04	P4	243,6	19,8	223,8	08/75-Idem
05	P5	242,3	18,4	223,9	05/75-Idem
06	P6	241,3	17,8	223,5	08/75-Teste
07	P7	233,2	9,4	223,8	05/75-Término perf.
08	P8	236,7	12,6	224,1	08/75-Idem
09	P9	242,3	18,0	224,3	07/76-Teste
10	P10	243,1	18,9	224,2	02/76-Término perf.
11	P11	242,2	18,1	224,1	07/75-Idem
12	P12	245,0	18,0	227,0	07/76-Teste
13	P13	247,1	22,6	224,5	07/75-Término perf.
14	P14	246,5	22,0	224,5	06/75-Idem
15	P15	230,9	5,7	225,2	07/76-Teste
16	Bom Lugar	214,17	-8,9	223,07	10/87-Idem

OBS: . Poços nivelados pelo consórcio COTEP
 . NE negativo significa poço jorrante

pode-se eliminar o bombeamento da bateria do Projeto Piloto como causa da feição de convergência existente nesta região. Esta feição, provavelmente é provocada pelas fronteiras semipermeáveis existentes ao longo do vale dos riachos Anda Só e Correia (item 6.3). DEMETRIO (1990), utilizando um modelo numérico em diferenças finitas desenvolvido pelo IGWMC (International Groundwater Modeling Center) e denominado de "MODFLOW", conseguiu reproduzir satisfatoriamente esta feição da piezometria utilizando zonas de baixa transmissividade para simular o efeito das fronteiras semipermeáveis.

No atual estágio de conhecimentos não podemos especificar as causas da pronunciada feição de divergência de fluxo existente entre as cidades de Elizeu Martins e Canto do Buriti. DEMETRIO (op. cit.) para reproduzir esta feição considerou para esta região transmissividades mais elevadas compatíveis com a diminuição dos gradientes.

Na região leste de Canto do Buriti, a convergência de fluxo é atribuída, segundo os estudos anteriores, à significativa contribuição do Aquífero Cabeças para o escoamento de base do rio Piauí. O primeiro modelo numérico desenvolvido pela SCET/SIRAC em 1976, adotou um valor

TABELA 14

DADOS PARA A PIEZOMETRIA - POÇOS DA PROGRAMAÇÃO ATUAL

P O Ç O		COTA DA BASE DE CIMENTO (m)	NE (m)	BOCA (m)	COTA NE (m)	DATA DA MEDIÇÃO
No DE ORDEN	REFER. ATEPE					
17	APp-1	234,0 (+)	1,74	0,58	232,26	23/02/87-Após perf.
18	APp-2	237,3 (+)	5,73	0,62	231,57	28/03/87-Após perf.
19	APp-3	236,0 (+)	4,20	0,50	231,80	18/03/87-Após perf.
20	APp-4	239,0 (!)	6,78	0,72	232,22	30/01/88-Após perf.
21	APp-5	252,5 (!)	20,33	0,67	232,17	06/06/87-Após perf.
22	APp-6	257,7 (!)	25,40	0,57	232,30	31/07/87-Após perf.
23	APp-7	261,5 (!)	30,14	0,60	231,36	01/10/87-Monitoram.
24	APp-11	245,5 (!)	12,03	0,63	233,37	30/01/88-Monitoram.
25	APz-8	234,8 (!)	-2,18	-	237,00	16/07/87-Monitoram.
26	Tranq.	243,0 (!)	13,38	0,60	229,62	10/04/89-Monitoram.
27	BPp-1	242,9 (+)	11,70	0,50	231,20	--/11/86-Teste aq.
28	BPp-2	252,2 (+)	20,30	0,49	231,90	--/11/86-Após perf.
29	BPp-3	243,2 (+)	12,97	0,70	230,20	02/11/86-Teste BP1
30	BPp-4	249,9 (+)	17,90	0,50	232,00	13/02/87-Teste BP2
31	BPp-5	263,5 (+)	38,96	0,50	224,50	30/01/88-Monitoram.
32	BPp-6	279,3 (+)	57,65	0,75	221,60	30/01/88-Monitoram.
33	BPp-7	261,1 (+)	39,72	0,60	221,38	30/01/88-Monitoram.
34	BPp-10	242,4 (!)	6,90	0,50	235,50	30/01/88-Monitoram.
35	CPp-1	264,7 (*)	7,30	0,58	257,40	30/01/88-Monitoram.
36	CPp-7	261,5 (*)	3,73	0,64	257,77	30/01/88-Monitoram.
37	CPpVII	269,8 (*)	32,70	-	257,10	30/01/88-Monitoram.
38	CPp-14	263,5 (*)	26,50	0,64	257,00	14/11/87-Monitoram.

OBS: .(+) - Poço nivelado pela empreiteira SIRAC

.(!) - Cota inferida a partir da posição do poço em mapa topográfico elaborado pela SIRAC na escala de 1/5.000 (equidistância = 1,0 metro)

.(*) - Cota inferida a partir da posição do poço em mapa topográfico elaborado pela UNIFOR na escala de 1/5.000 (equidistância = 1,0 metro)

.Níveis estáticos já expressos em relação a base de cimento.

.NE negativo significa poço jorrante

de 127,0 Hm³/ano para esta descarga, enquanto que DEMETRIO (op. cit.) utilizou um valor significativamente menor, 26,5 Hm³/ano. Admite-se aqui que este segundo valor se aproxime mais da realidade, já que foram utilizados um maior número de dados.

Devido à distribuição de informações (Fig. 16), apenas as isopiezas de 240 e 260, e secundariamente a de 280, são bem definidas, sendo todas as outras inferidas a partir destas. Sendo assim, a vazão de escoamento natural foi calculada a partir de uma seção de controle, compreendida entre as curvas de 240 e 260 metros, com uma extensão total de 303,0 Km, indo do

TABELA 15

DADOS PARA A PIEZOMETRIA - OUTROS POÇOS EXISTENTES NA REGIÃO

P O Ç O		COTA NE (m)	DATA DA MEDIÇÃO	L O C A L
No ORDEM	REF. INV. HID. BAS. NE			
39	026.18	266,70	29/12/69	Bom Jesus - Sede
40	047.18	233,60	10/09/71	Brejo
41	048.18	275,00	12/04/72	CONEAL
42	053.18	260,01	21/09/71	Fazenda B. Jesus
43	056.18	300,00	21/09/71	Lagoa de Dentro
44	067.18	246,60	21/09/71	Laranjal
45	069.18	251,50	04/08/71	Marruá
46	104.18	278,00	05/06/72	Fazenda B. Vista
47	138.18	261,00	23/05/72	Cristino Castro
48	143.18	266,07	01/02/74	Fazenda Violetto
49	161.18	260,00	26/05/72	Lagoa Cercada
50	167.18	225,43	- /02/73	Tôco Preto
51	309.18	271,10	04/06/72	Santa Luz

OBS: Dados obtidos do Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste folha 18.

norte de Redenção do Gurguéia até a região leste de Canto do Buriti. Para uma melhor precisão dos cálculos, esta seção foi dividida em sete trechos de gradientes aproximadamente constantes (Fig. 17), sendo calculada, em cada subdivisão, a descarga natural através da seguinte expressão:

$$VEN = T i l \quad (8)$$

onde:

VEN = Vazão de Escoamento Natural

T = transmissividade média

i = gradiente hidráulico médio

l = comprimento da frente de escoamento

Os resultados alcançados com o procedimento acima são mostrados na tabela 16. O valor do escoamento natural, calculado para toda a seção de controle considerada foi de 169,0 Hm³/ano.

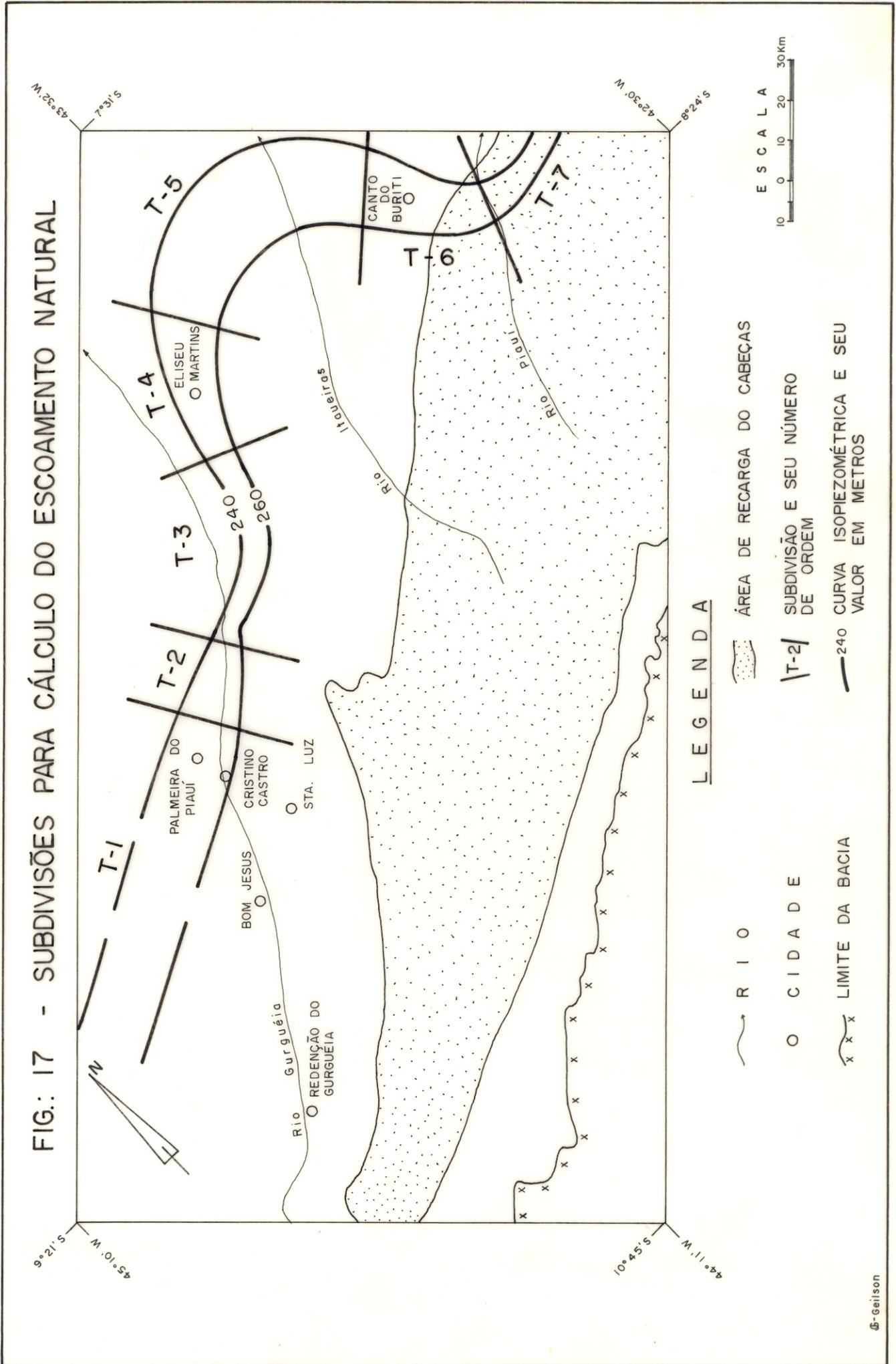


TABELA 16

CALCULO DA VAZÃO DE ESCOAMENTO NATURAL

TRECHO	COMPRIMENTO (m)	GRADIENTE MÉDIO	TRANSMISS. MÉDIA (m ² /s)	VAZÃO ESC. NAT. (Hm ³ /ano)
T -1	84.000	0.0012	0.0130	41.31
T -2	19.000	0.0018	0.0130	14.00
T -3	47.000	0.0031	0.0100	48.00
T -4	38.000	0.0017	0.0120	24.44
T -5	63.000	0.0010	0.0120	23.84
T -6	27.000	0.0013	0.0080	8.84
T -7	25.000	0.0027	0.0080	12.77
T O T A L				160.00

6.5 ALIMENTAÇÃO E EXUTÓRIOS

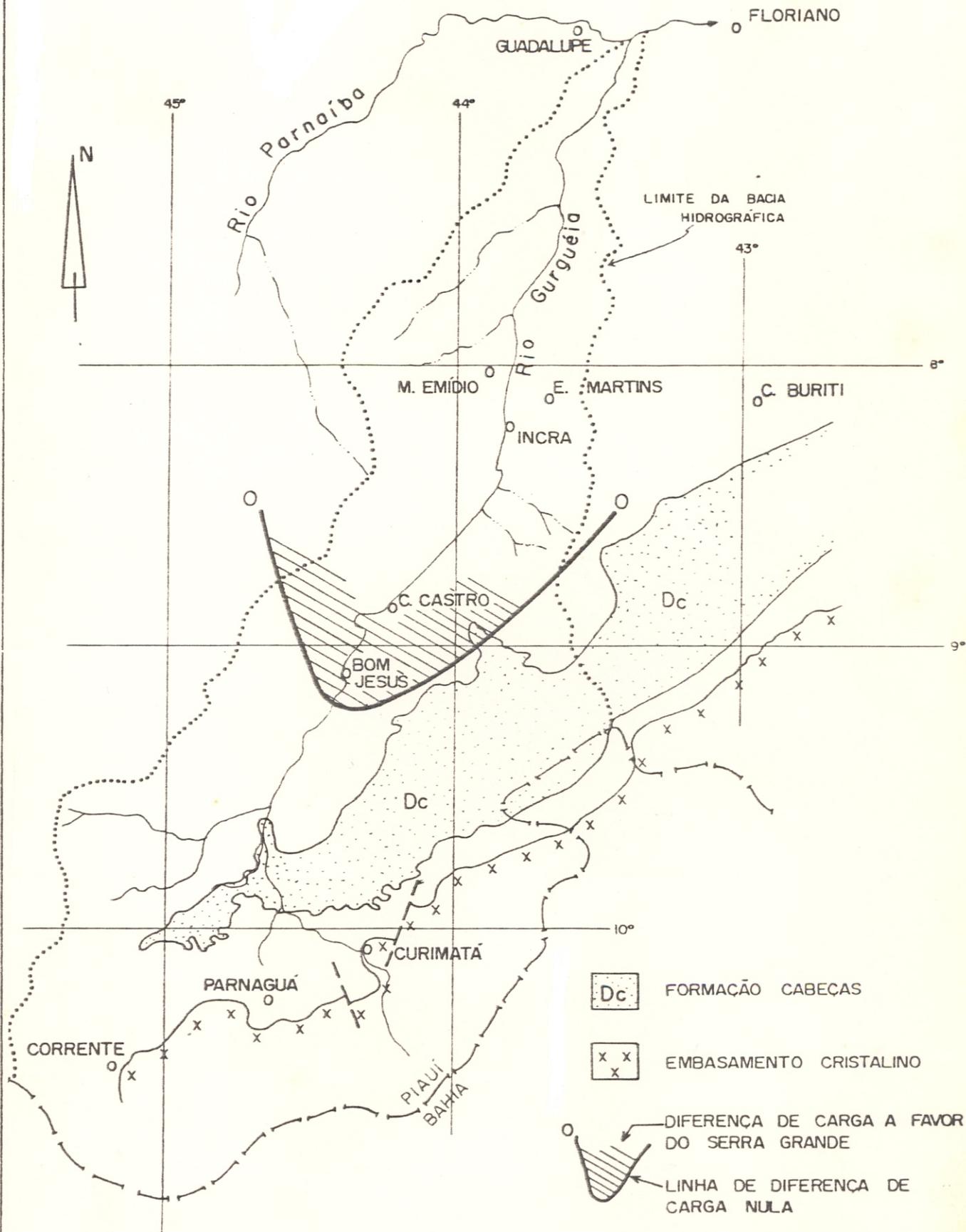
Na região de interesse, a zona de recarga do Aquífero Cabeças, com 11.900 Km² de extensão (Fig. 16), desenvolve-se ao longo de uma faixa de direção NE-SW, desde as imediações de Canto do Buriti até a região sul de Redenção do Gurguéia.

A alimentação nesta zona, ocorre principalmente por infiltração direta a partir da pluviometria, facilitada pelas características litológicas da Formação Cabeças com boas condições de permeabilidade e porosidade, e pelas características morfológicas, onde predomina um relevo suavemente ondulado. A contribuição por infiltração dos rios deve ser muito pequena, já que a rede de drenagem é incipiente e os rios intermitentes. Assim, admitindo-se que toda a recarga seja proveniente da zona de afloramentos desta Formação e que o sistema permaneça em equilíbrio, o volume total infiltrado será correspondente a vazão de escoamento natural. Logo, a razão deste volume pela área de afloramentos do aquífero indicará a taxa de infiltração, avaliada aqui em 14,2 mm/ano.

Em toda a zona de confinamento, existe a possibilidade de uma recarga através de processos de filtração vertical ascendente ou descendente, proveniente do Aquífero Serra Grande ou do sistema Poti/Piauí, respectivamente.

Na figura 18, é apresentada a diferença de carga hidráulica entre os Aquíferos Serra Grande e Cabeças, conforme proposto pelo consórcio OESA-TECNOSOLO-OTI-EPTISA (BRASIL/DNOCS, 1973). A partir da linha de diferença de carga nula até o baixo vale do Gurguéia, pode existir uma recarga do Cabeças proveniente do Serra Grande através do "aquitard" Pimenteiras, enquanto que, em toda a região a montante de Bom Jesus, ao contrário, existe possibilidades do Cabeças fornecer água para o Serra Grande.

FIG.: 18 - DIFERENÇA DE CARGA ENTRE SERRA GRANDE E CABEÇAS



FONTE: OESA/TECNOSOLO/OT1/EPTISA
ESTUDO DE RECONHECIMENTO - VALE
DO GURGUEIA

ESCALA: 1/2.000.000

A figura 19 mostra a diferença de carga entre o Aquífero Cabeças e o sistema Poti/Piauí, ligeiramente modificada da apresentada nos Estudos de Reconhecimento (op. cit.). Em toda a região ocidental do vale e parte da oriental, principalmente entre os rios Parnaíba e Gurguéia, a pronunciada diferença de carga em favor do sistema Poti/Piauí possibilita a existência de uma drenança vertical descendente, a partir deste sistema, para o Aquífero Cabeças. Apenas nas regiões mais rebaixadas, próximo às calhas dos rios (Parnaíba e Gurguéia), as condições de pressão permitem que o processo de filtração vertical possa ser invertido e o Aquífero Cabeças forneça água para o Poti, através da Formação Longá.

No atual estágio de conhecimentos, os exutórios naturais do Aquífero Cabeças ainda não são bem conhecidos. Admite-se, entretanto, que ocorram perdas através de três processos: evapotranspiração e ressurgências na zona de afloramentos e filtração vertical na zona de confinamento. Nos Estudos de Reconhecimento do Vale do Gurguéia foram avaliados valores da ordem de 714,9 mm/ano (94,4% da pluviometria média) para a evapotranspiração e 6,65 Hm³/ano para as descargas naturais devido as ressurgências. Suspeita-se, ainda, que a Formação Cabeças possa contribuir para a descarga de base do rio Parnaíba, devido as condições de pressão ao longo do vale deste rio.

Embora as condições sejam favoráveis e a análise do monitoramento de níveis tenha sugerido um aporte de água para a Formação Cabeças, em nenhum teste de aquífero realizado foram constatadas evidências da existência de uma recarga, sendo esta questão discutida com mais detalhe no item 6.8.

6.6 RESERVAS PERMANENTES

As reservas permanentes correspondem aos volumes de saturação somados aos volumes acumulados sob pressão. Nos cálculos destas reservas, foi considerada a área de ocorrência do Aquífero Cabeças mostrada na figura 16.

Os volumes de água de saturação e os volumes de água sob pressão são calculados respectivamente através das seguintes expressões:

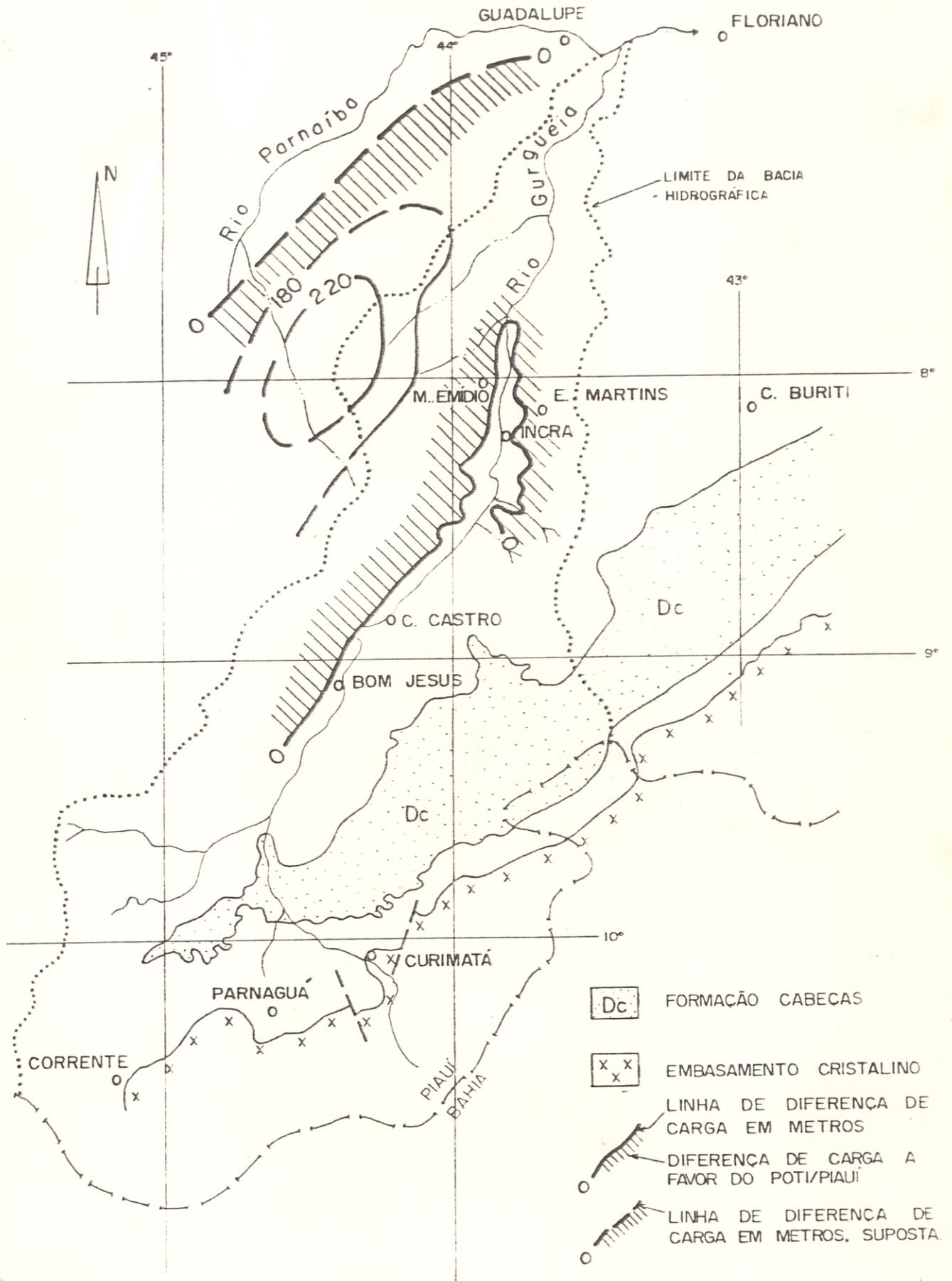
$$V_S = A \cdot b \cdot \mu \quad (9)$$

$$V_P = A_P \cdot h \cdot S \quad (10)$$

onde:

V_S = volume de saturação

FIG.: 19 - DIFERENÇA DE CARGA ENTRE POTI/PIAUI E CABEÇAS



ADAPTADO DE: OESA/TECNOSOLO/OTI/EPTISA
ESTUDO DE RECONHECIMENTO -
VALE DO GURGUÊIA

ESCALA: 1/2.000.000

- A = superf. total do aquífero (31.300 Km²)
 b = espessura média saturada (270,0 m)
 μ = coeficiente de restituição (0,03)
 V_p = volume sob pressão
 A_p = área confinada do aquífero (19.400 Km²)
 h = carga hidráulica média acima da base do confinante (118,0 m)
 S = coeficiente de armazenamento médio (3,74.10⁻⁴).

Os valores utilizados nos cálculos (h e b), determinados a partir dos poços perfurados ao longo do vale, são mostrados na tabela 17. O coeficiente de armazenamento (3,74.10⁻⁴) foi o considerado como média regional (tabela 11), enquanto que o coeficiente de restituição (3%) foi o mesmo adotado pelo consórcio OESA-TECNOSOLO-OTI-EPTISA nos Estudos de Reconhecimento do Vale do Gurguéia (op. cit.).

Os resultados alcançados com a aplicação das equações (9) e (10) foram os seguintes:

$$V_s = 253.530 \text{ Hm}^3$$

$$V_p = 856 \text{ Hm}^3$$

$$\text{Reservas Permanentes} = \frac{253.530 - 856}{1} = 254.386 \text{ Hm}^3$$

A grande diferença entre as reservas de saturação (V_s) e as reservas sob pressão (V_p) é causada pelo pequeno valor do coeficiente de armazenamento em relação ao coeficiente de restituição (100 vezes menor), sendo esta uma das características dos aquíferos confinados.

6.7 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS RESERVAS EXPLOTÁVEIS

Usualmente a vazão de escoamento natural vem sendo considerada como reservas renováveis ou reguladoras. Dentro deste critério, um aquífero poderia ser explorado indefinidamente, com uma taxa inferior ou no máximo igual a esta vazão, sem correr o risco de entrar em regime de exaustão. Entretanto, este princípio só é válido, segundo uma série de autores (DANIEL, J.M., 1967; MARGAT, J., 1967; LOHMAN, S.W., 1972; VAN DER HEIDJE, P. et alii, 1985), em casos muito especiais de aquíferos de pequeno porte. Para aquíferos de grandes extensões, a vazão de escoamento natural praticamente não contribui para a vazão explorada.

TABELA 17

DADOS PARA AVALIAÇÃO DAS RESERVAS PERMANENTES

AREA	POÇO	COTA DO TOPO CAB. (m)	COTA NE (m)	h (m)	b (m)	MÉDIA	
						h(m)	b(m)
I N C R A	APp-1	90,0	232,26	142,26	263,0	148,40	263,00
	APp-3	78,0	231,80	153,80	(!)		
	APp-5	82,5	232,17	149,67	(!)		
	APp-7	83,5	231,36	147,86	(!)		
	APp11	-62,6	233,37	295,97 (*)	-		
P . P P I L O T O	P-1	155,6	225,3	69,70	297,0	78,52	293,70
	P-3	150,0	223,6	73,60	293,0		
	P-5	148,3	223,9	75,60	291,0		
	P-7	157,2	223,8	66,60	304,0		
	P-9	148,3	224,3	76,00	286,0		
	P-11	150,2	224,1	73,90	298,0		
	BPp-1	143,9	231,2	87,30	280,0		
	BPp-4	145,9	232,0	86,10	291,0		
	BPp-6	146,3	221,6	75,30	302,0		
	BPp10	134,4	236,5	101,10	295,0		
U N I F O R	CPp-1	132,7	257,40	124,70	268,0	127,56	255,50
	CPp-6	146,0	-	-	267,0		
	CPp-7	129,8	257,77	127,97	263,0		
	CPp14	69,5	257,00	187,50 (*)	217,0		
	CPp12	126,0	254,10	128,10	251,0		
	CPVII	127,6	257,10	129,50	267,0		
MÉDIAS GLOBAIS						118,16	270,70

OBS: (*) Valor anômalo não considerado
(!) Poço parcialmente penetrante

Theis, em 1940 (in LOHMAN, 1972), definiu o princípio da continuidade para a água subterrânea da seguinte forma: "Em condições naturais, antes de iniciada a exploração de um aquífero, este se encontra num estado de equilíbrio dinâmico, onde, após um longo período de tempo, a recarga e descarga naturais se igualam. A exploração do aquífero através de poços impõe uma descarga adicional, que retira água do armazenamento do sistema e altera as condições de equilíbrio. Um novo estado de equilíbrio só será estabelecido quando cessarem as perdas no armazenamento em consequência do aumento da recarga natural, da diminuição da descarga natural ou da combinação destes dois fatores."

De acordo com este princípio, toda a água extraída inicialmente e durante um longo intervalo de tempo é proveniente do armazenamento do sistema. Nos aquíferos

confinados esta água é liberada através dos mecanismos de compressão elástica do próprio aquífero e descompressão do líquido, representando um excedente em relação ao escoamento natural. Desta forma, é evidente que durante muito tempo na exploração dos aquíferos confinados, a contribuição da vazão de escoamento natural é extremamente pequena ou praticamente nula.

Iniciada a exploração, a evolução do cone de rebaixamentos pode provocar um aumento da recarga natural ao atingir a zona de afloramentos do aquífero, devido a modificações impostas nos gradientes locais, ou ainda induzir uma drenança vertical ascendente ou descendente, proveniente de aquíferos inferiores ou superiores. De maneira análoga, pode haver um decréscimo na descarga natural quando o cone de rebaixamentos atingir a zona de exutórios do aquífero. Este incremento na recarga, causado pelos fatores acima mencionados (aumento da recarga natural + drenança vertical + diminuição da descarga natural) e denominado mais recentemente como captura, pode ser suficiente para suprir o volume explorado do aquífero e neste caso, cessariam as perdas no armazenamento sendo estabelecido um novo estado de equilíbrio. Caso contrário, quando a taxa de captura for menor que a vazão de exploração ou quando não existir possibilidades de captação deste volume adicional de água, pelo menos uma parte da descarga explorada seria proveniente das reservas do aquífero, condicionando assim, uma exploração em regime de exaustão.

Deste modo, verifica-se que a taxa de captura, quando dimensionada, pode funcionar como um limite superior para a vazão de exploração, e não o escoamento natural como frequentemente vem sendo utilizado. Nos aquíferos confinados, na dependência das distâncias entre o local de exploração e as áreas de recarga e descarga e de outros fatores de ordem geológica, pode transcorrer um tempo apreciável antes que a evolução do cone de rebaixamentos provoque alguma captura. Sendo assim, a exploração se fará em regime de exaustão e deverá ser quantificada de modo a atender os objetivos propostos num prazo considerado economicamente viável.

Um outro aspecto no dimensionamento das vazões de exploração, é o que se convencionou chamar de vazão segura ("safe yield"). Este conceito, definido inicialmente por Meinzer em 1920 (In LOHMAN, 1972) vem, desde então, sendo abordado por um número muito grande de especialistas do setor, com redifinições e adaptações para atender as necessidades específicas de seus problemas. Devido a esta multiplicidade de definições o conceito de vazão segura tornou-se um tanto quanto vago e impreciso, sendo atualmente mais aceita a proposição feita por Todd em 1959 (In LOHMAN, 1972), como se segue:

"Vazão segura é a quantidade de água que se pode extrair anualmente de um aquífero sem ocasionar resultados inconvenientes".

Portanto, a determinação da vazão segura requer a análise dos resultados inconvenientes que podem surgir se ela for excedida, representados por problemas de ordem técnica com sérias repercussões econômicas, legais e sociais. Cinco fatores são geralmente considerados: Exaustão do Aquífero; Interferências em Outros Usuários; Atração de Águas Indesejáveis; Rebaixamentos Excessivos nas Captações e Recalques do Terreno. Abaixo, discutiremos cada um destes fatores analisando seu comportamento no caso do Aquífero Cabeças.

Exaustão do Aquífero

A descarga de exploração de um aquífero deveria corresponder, no máximo, ao volume capturado, para que fosse estabelecido um equilíbrio e esta exploração não conduzisse, a longo prazo, a exaustão das reservas. Como foi visto, este volume capturado é constituído por três componentes básicos, analisados a seguir.

Aumento da Recarga Natural - Uma das características marcantes dos aquíferos confinados, devido a sua grande elasticidade, é a rápida expansão do cone de rebaixamentos. O monitoramento de níveis do vale do Gurguéia (item 6.8) mostrou que o funcionamento da bateria do Projeto Piloto causou substanciais interferências na bateria da UNIFOR (Fig. 20), localizada aproximadamente 50 Km ao sul do Projeto Piloto. A zona de recarga do Cabeças estende-se paralelamente ao vale do Gurguéia, separada deste por distâncias que variam entre 40 e 60 Km. Logo, a exploração do aquífero através das três baterias de poços do DNOCS (INCRA, Projeto Piloto e UNIFOR), situadas ao longo do vale, com certeza deve provocar mudanças nos gradientes da zona de recarga, induzindo um incremento na recarga natural a partir da água considerada como recarga rejeitada, já mencionada como perdas no item 6.5 (evapotranspiração e ressurgências a partir de fontes). Entretanto, não é possível se determinar se este incremento ocorreria dentro de um prazo viável e, no atual estágio de conhecimentos do problema, qualquer tentativa de quantificação não passaria de mera especulação. Desta forma, consideraremos aqui como nulo este volume adicional na recarga.

Diminuição da Descarga Natural - De modo análogo, as modificações impostas nas zonas de exutórios podem provocar uma diminuição na descarga natural. Como exposto no item 6.5, suspeita-se que o rio Parnaíba possa constituir um exutório do Aquífero Cabeças, e nestas condições teria sua descarga de base diminuída pela influência do bombeamento das baterias do

DNOCS. Porém como o vale do Gurguéia situa-se aproximadamente a 150 Km deste rio, achamos pouco provável que esta influência se manifeste a curto ou médio prazo, sendo portanto considerada como nula na atual análise do problema.

Drenança Vertical - No ítem 6.5 foram analisadas as possibilidades de drenança através dos processos de filtração vertical. Neste contexto, a entrada em operação das baterias de poços do DNOCS provocaria um decréscimo das cargas hidráulicas do Cabeças em favor do Aquífero Serra Grande e do sistema Poti/Piauí. Logo, uma recarga para o Cabeças seria favorecida, ora pelo aumento da contribuição dos aquíferos sub e sobrejacentes ora pela redução das perdas do Cabeças para estes mesmos aquíferos. Embora os testes realizados não tenham registrado, admite-se que o bombeamento prolongado das baterias do DNOCS provoque uma recarga no Cabeças como sugerido pelo monitoramento de níveis e discutido no ítem 6.8. Entretanto, como não se pode determinar a ordem de grandeza desta contribuição, é conveniente não considerá-la no âmbito deste trabalho.

Interferências em Outros Usuários

Entende-se aqui como interferências, a redução significativa das vazões de poços, fontes, descargas de base de rios e volume de lagos e lagoas, bem como modificações nas condições de captação destas águas cuja utilização já estivesse regulada legalmente. Nas condições atuais de desenvolvimento da região sul do Piauí, onde a demanda de água ainda é muito pequena, e considerando o estado incipiente da exploração do Aquífero Cabeças nesta região, este aspecto torna-se irrelevante principalmente no que diz respeito às fontes, rios, lagos e lagoas. Ressalva-se entretanto os poços, cuja resposta ao efeito destas interferências é mais imediata. Ao longo do vale do Gurguéia, existem poços jorrantes captando o Aquífero Cabeças, em quase todas as propriedades localizadas em suas margens. Estes poços, em geral locados de forma a serem jorrantes para se evitar gastos com bombeamento, são normalmente utilizados para atender as necessidades básicas de abastecimento, sendo empregados algumas vezes para a irrigação de pequenas áreas. A operação das baterias do DNOCS, causaria a curto prazo um rebaixamento regional das cargas hidráulicas do Cabeças, provocando a diminuição da vazão e em muitos casos a interrupção do jorro dos poços. A problemática de ordem legal daí resultante, se considerada como fator limitante no dimensionamento das vazões explotáveis, inviabilizaria totalmente a irrigação através de poços no vale do Gurguéia. Desta forma, o mais sensato seria o DNOCS, na qualidade de

principal usuário do aquífero, arcar com despesas adicionais na resolução destes problemas (indenização dos pequenos proprietários, instalação de unidades de bombeamento, substituição de poços, etc) em face da preservação dos perímetros irrigados, devido a sua grande importância no desenvolvimento socio-econômico da região.

Atração de Águas Indesejáveis

A exploração dos aquíferos confinados pode provocar a atração de águas com qualidade química não aceitável para os fins propostos, através dos mecanismos de filtração vertical já discutidos anteriormente. Na região do vale do Gurguéia, tanto o Aquífero Serra Grande quanto o sistema Poti/Piauí apresentam águas com boa qualidade físico-química, conforme mostram as análises realizadas durante os Estudos de Reconhecimento do Vale do Gurguéia. Logo, segundo este critério fica afastado o risco de salinização do Aquífero Cabeças, não existindo, portanto, limitações para a sua vazão de exploração.

Rebaixamentos Excessivos nas Captações

Na dependência da vazão explorada, os rebaixamentos podem rapidamente inviabilizar a operação dos poços, seja pela falta de economicidade no bombeamento devido a grande profundidade dos níveis dinâmicos, seja por câmaras de bombeamento insuficientes. Sendo assim, as características construtivas dos poços e as distâncias entre eles tornam-se fundamentais no dimensionamento das descargas de exploração, que deverão ser tais de forma a todos os poços operarem simultaneamente, sem riscos de colapso dentro do alcance considerado.

Recalques do Terreno

Num aquífero confinado, o peso das camadas superiores é suportado, por um lado, pelas partículas sólidas do meio poroso e, por outro, pela pressão da água. A superexploração deste aquífero, provocaria uma diminuição considerável na pressão do líquido, aumentando assim o peso sobre a estrutura do aquífero. Nestas condições, poderia ocorrer uma compactação nesta estrutura que causaria recalques no terreno e cujas repercussões seriam sérios danos nas obras de engenharia existentes no local (rodovias, ferrovias, construções, oleodutos, gasodutos, etc.). No vale do Gurguéia possibilidades desta natureza tornam-se muito remotas, uma vez que o manancial encontra-se ainda em fase inicial de exploração.

Conforme tudo o que foi exposto, verifica-se que, no atual estágio de conhecimentos, a vazão segura ("safe yield") para o Cabeças no vale do Gurguéia deverá ser

dimensionada considerando-se apenas as características construtivas dos poços, seus espaçamentos e as constantes hidrodinâmicas do aquífero (T, S e K). Em outras palavras, deverão ser calculadas vazões de exploração considerando as três baterias de poços do DNOCS (INCRA, Projeto Piloto e UNIFOR) operando simultaneamente, de modo a não existir riscos significativos de colapso de nenhum poço no prazo considerado. Devemos também salientar, que na atual análise do problema não será considerado nenhum volume capturado, sendo admitido portanto que as reservas permanentes são a única fonte do suprimento de água.

6.8 ANÁLISE DO MONITORAMENTO DE DESCARGAS E NÍVEIS

No item 5.3, foram apresentados os dados do monitoramento regional de níveis realizado pela ATEPE/LABHID, bem como a tentativa de quantificação das horas de funcionamento da bateria original do Projeto Piloto. A análise destes dados, mostraram que esta bateria, desde a sua implantação até o início de 1986, operou com baixas taxas de bombeamento não ultrapassando, para os 16 poços, 27 horas diárias (Tabela 04). A partir de abril de 1986, com o crescimento da área irrigada conseqüentemente houve um aumento nas taxas de bombeamento que atingiram um máximo no período compreendido entre maio e outubro de 1988, com , pela primeira vez, 13 poços operando simultaneamente.

Em virtude dos excessivos rebaixamentos ocasionados por este pique de bombeamento, 6 poços da bateria original do Projeto Piloto (P₁, P₂, P₃, P₄, P₇ e Bom Lugar) passaram a produzir água misturada com ar, indicando assim que os níveis dinâmicos atingiram os crivos das bombas. Este fato, mostrando que os níveis reais de bombeamento vem se revelando maiores que aqueles previstos pela COTEP em 1976, quando do dimensionamento da bateria, pode ser decorrente de um ou do conjunto dos seguintes fatores: ausência da drenança vertical proveniente da Formação Poti e admitida inicialmente pela COTEP; transmissividades reais mais baixas que as utilizadas; presença das fronteiras semi-permeáveis coincidentes com os riachos Anda Só e Correia, além de ter sido agravado pela colocação incorreta dos crivos das bombas, posicionados em média 10 metros acima da profundidade prevista pelos consultores.

Em face da diminuição do suprimento de água, devido ao colapso dos poços, o DNOCS deflagrou um programa emergencial de rebaixamentos de crivos, para evitar prejuízos para os irrigantes do perímetro que tiveram suas colheitas ameaçadas. Desta forma, embora não existam registros, sabemos que o DNOCS, por medida de segurança, reduziu significativamente o bombeamento da bateria a partir de novembro de 1988, com o intuito de evitar riscos de um novo colapso.

O acompanhamento sistemático da evolução dos níveis piezométricos permitiu a verificação de dois aspectos bastantes significativos:

Foi verificado, conforme já exposto no item 6.3.3.2, que os níveis medidos ao sul do riacho Anda Só eram menores que os níveis teóricos calculados. Este fato é compatível com a existência da fronteira semi-permeável aproximadamente coincidente com este riacho.

O funcionamento da bateria do Projeto Piloto provoca interferências substanciais nas baterias do INCRA e da UNIFOR.

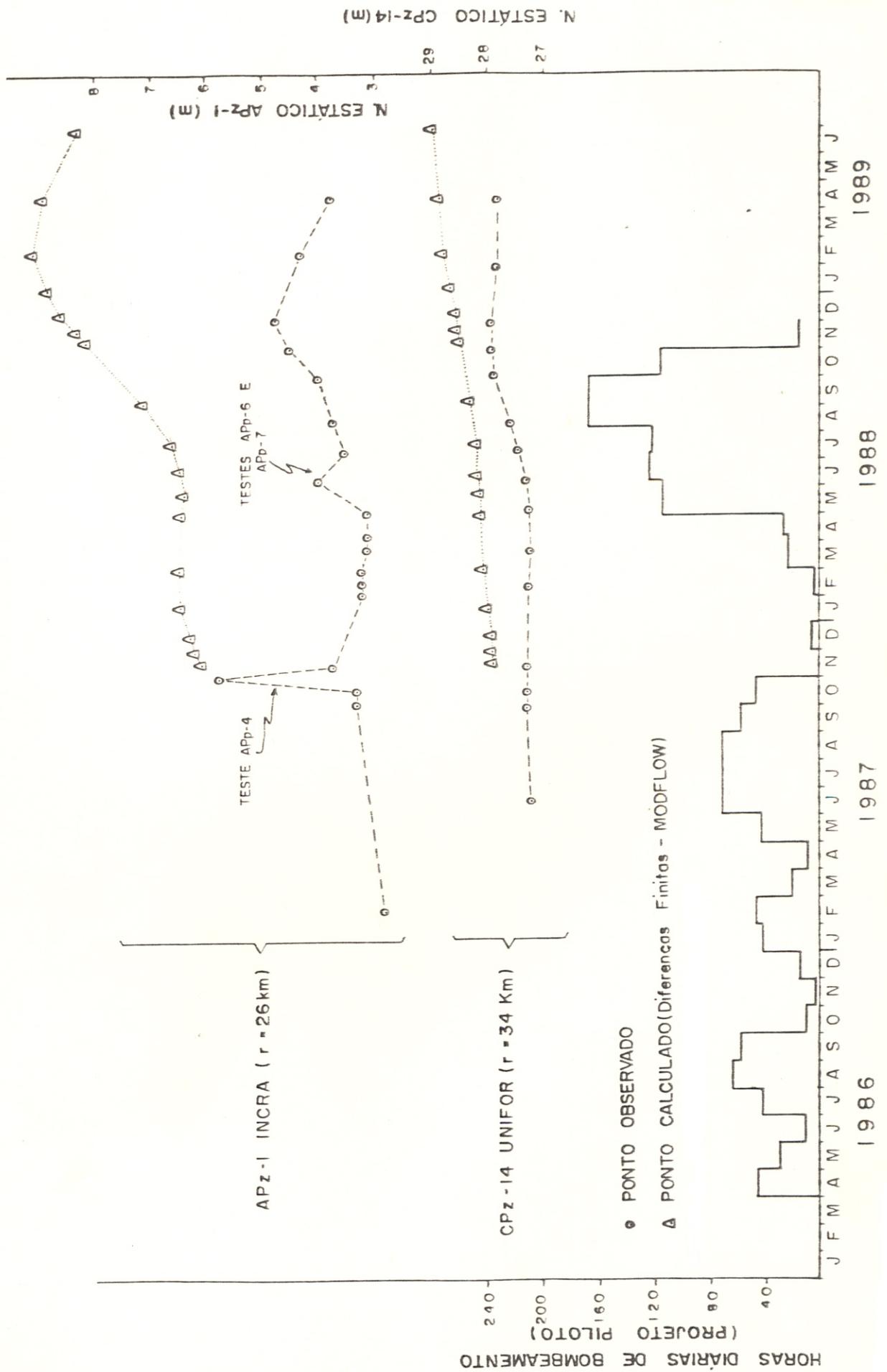
Na figura 20 é apresentada a evolução do bombeamento da bateria do Projeto Piloto, no período de abril/86 a outubro/88, e as respectivas respostas a este bombeamento observadas na bateria do INCRA (poço APz-1) e na bateria da UNIFOR (poço CPz-14). As descargas globais desta bateria foram calculadas com base nos dados das tabelas 04 e 05, considerando-se por poço uma vazão horária de 380,0 m³. Este valor, aproximadamente 10% inferior a vazão nominal das bombas (420,0 m³/h), foi utilizado no intuito de se manter uma segurança no cálculo das descargas globais, já que, pelo fato de todos os poços injetarem diretamente em uma adutora principal, existe uma certa diminuição da vazão devido ao aumento das perdas de carga.

Utilizando-se um modelo numérico em diferenças finitas, já citado anteriormente, foi realizada para o mesmo período acima mencionado, uma simulação do funcionamento da bateria do Projeto Piloto, que possibilitou a verificação dos efeitos teóricos deste bombeamento sobre os poços APz-1 e CPz-14. A comparação destes efeitos com os observados, mostrada na figura 20, permite verificar que as curvas de rebaixamento, observadas e calculadas, exibem, em linhas gerais, a mesma configuração, com as curvas calculadas, entretanto, apresentando valores substancialmente maiores que as curvas observadas. As causas desta diferença ainda não estão totalmente definidas, contudo permitem as seguintes considerações:

As descargas utilizadas na reprodução do funcionamento da bateria poderiam ter sido maiores que as descargas reais explotadas. Porém é necessário ressaltar dois aspectos: (1) descargas com valores em torno da metade das utilizadas na simulação, ainda produziriam efeitos teóricos superiores aos observados; (2) no teste de aquífero do poço P₁₅ a descarga livre medida com o escoador de orifício circular foi de 536,3 m³/h. Desta forma, considerando que todos os poços estão instalados com bombas similares a do P₁₅, é muito improvável que a bateria do Projeto Piloto tenha produzido, no período considerado, uma descarga suficientemente baixa de forma a provocar os pequenos rebaixamentos observados.

Ao longo do vale do Gurguéia, a drenagem secundária desenvolve-se preferencialmente na direção

FIG.: 20 - RESPOSTA AO BOMBAMENTO DO PROJETO PILOTO



sudeste-noroeste, coincidindo com uma das direções principais de quebramento mostrada na figura 15. Sendo assim, é de se esperar que um grande número de riachos afluentes do Gurguéia, a exemplo do Anda Só e Correia, desenvolvam-se em zonas de fraturamentos. Os fenômenos geológicos que causaram o preenchimento das fraturas coincidentes com estes dois riachos, geralmente atuam regionalmente de forma que não seria improvável a existência de outras fronteiras semipermeáveis ou impermeáveis além das detectadas. Estas fronteiras, se existentes, atenuariam o efeito do bombeamento do Projeto Piloto, condicionando níveis reais menores que os calculados, como acontece com os poços ao sul do riacho Anda Só. Cabe aqui, entretanto, ressaltar que esta hipótese ainda é altamente especulativa, sendo portanto mais sensato não considerá-la na atual análise do problema.

A terceira provável causa da atenuação dos rebaixamentos, seria uma drenança vertical descendente do Aquífero Poti via confinante Longá. Esta drenança, não registrada nos testes de aquífero, teria sido induzida pelo bombeamento mais prolongado e de maior intensidade da bateria do Projeto Piloto. Em consequência do exposto nos parágrafos anteriores, este posicionamento é tido aqui como o mais provável, porém como esta drenança ainda não está comprovada não é conveniente considerá-la no presente estudo, ficando apenas como uma suposição a ser demonstrada em trabalhos posteriores.

Finalmente, devemos enfatizar a grande importância do monitoramento de níveis e descargas no conhecimento do comportamento hidrodinâmico dos aquíferos. No caso do Gurguéia, seria fundamental que o DNOCS instalasse de imediato hidrômetros e acessos para medidores de nível, em todos os poços de suas baterias, e desse continuidade a campanha de monitoramento regional de níveis, paralizada desde abril/89.

6.9 QUALIDADE QUÍMICA DA ÁGUA

Ao longo da programação de testes de aquífero realizada no vale do Gurguéia, foram coletadas e analisadas no laboratório da 1ª Divisão Regional do DNOCS, em Teresina, 12 amostras de água, cujos resultados são apresentados no volume 2 desta dissertação.

As análises realizadas mostraram que a água do Aquífero Cabeças, na área considerada, apresenta um baixíssimo teor salino podendo ser considerada como de excelente qualidade físico-química. Pela classificação do U. S. Salinity Laboratory, todas as amostras ficaram enquadradas na classe C_1S_1 com razões de adsorção de sódio muito baixas, podendo assim a água do Cabeças ser utilizada sem restrições para a irrigação de praticamente todos os tipos de cultura.

6.10 CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DAS BATERIAS EXISTENTES

Atualmente no vale do Gurguéia, existem três baterias de poços pertencentes ao DNOCS (INCRA, Projeto Piloto e UNIFOR) que captam o Aquífero Cabeças. A localização destas baterias foi mostrada na figura 05, enquanto que a distribuição de poços em cada uma delas é apresentada respectivamente nas figuras 21, 22 e 23, sendo discutida detalhadamente abaixo.

Bateria do INCRA (Fig. 21) - é constituída por 9 poços produtores a seguir especificados:

. 7 poços perfurados pela CPRM imediatamente ao sul da Colônia do INCRA (APp-1, APp-2, APp-3, APp-4, APp-5, APp-6 e APp-7)

. 1 poço perfurado pela CPRM na fazenda Tranqueira, entre a Colônia do INCRA e o povoado Aliança do Gurguéia (Tranqueira). Este poço foi perfurado por solicitação dos proprietários locais, para substituir 5 outros poços que seriam prejudicados pelo funcionamento da bateria do DNOCS.

. 1 poço perfurado pela CPRM ao norte do povoado Aliança do Gurguéia (APp-11).

Bateria do Projeto Piloto (Fig. 22) - é constituída por 23 poços produtores, abaixo especificados:

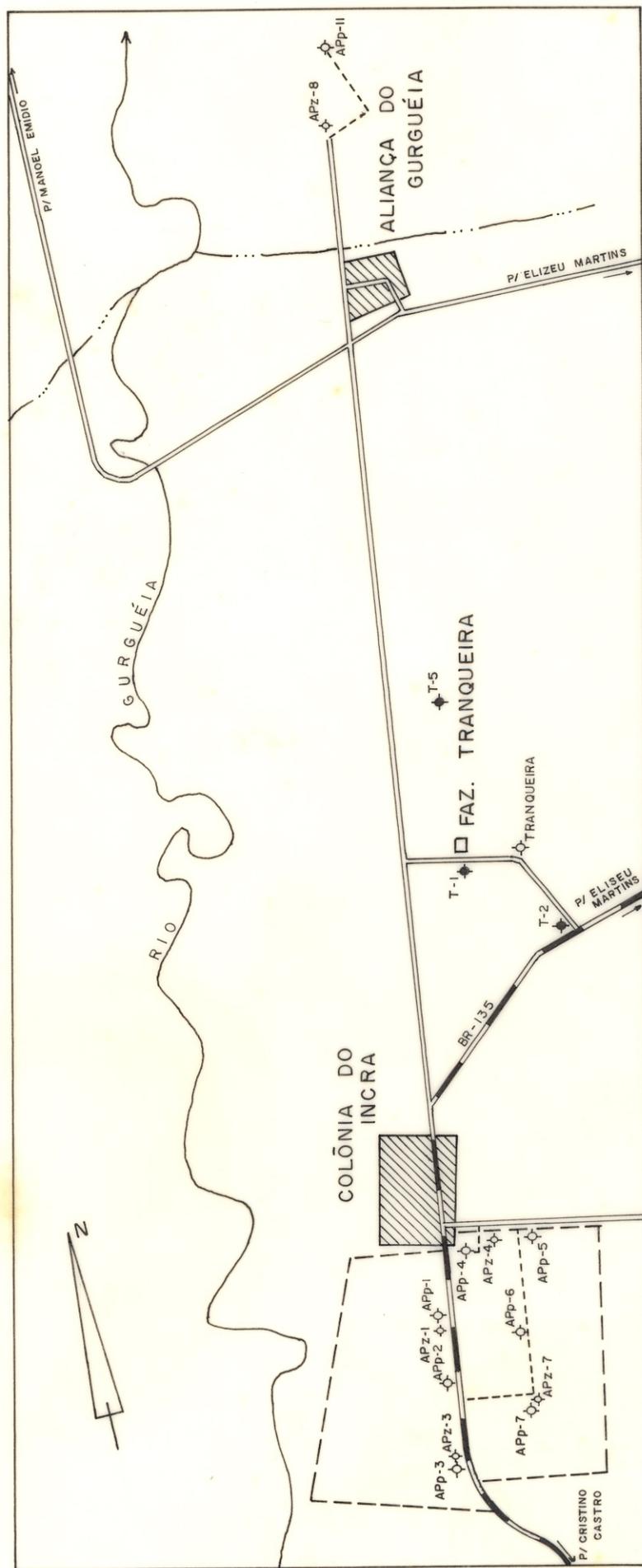
. 15 poços antigos, instalados, construídos pela CPRM em 1976 e constituindo a bateria original retilínea do Projeto Piloto (P₁ a P₁₅).

. 1 poço antigo, instalado, construído pela CPRM na margem direita do rio Gurguéia (Bom Lugar).

. 7 poços recentes perfurados pela CPRM ao sul (BPP-1, BPP-2, BPP-3, BPP-4, BPP-10) e a leste (BPP-5 e BPP-7) da bateria original do Projeto Piloto.

Além destes, existem dois outros poços perfurados pela CPRM que captam conjuntamente os Aquíferos Serra Grande e Cabeças (Santa Fé e BPP-6). Os estudos sobre a hidráulica da captação conjunta destes dois aquíferos, realizados por FEITOSA et alii (1989), mostraram que teoricamente o Cabeças só seria solicitado para vazões acima de 570 m³/h. Abaixo desta descarga toda a água seria procedente exclusivamente do Serra Grande. Desta forma, como a vazão de jorro do Santa Fé e a vazão de operação programada para o BPP-6 são inferiores a esta descarga, estes dois poços

FIG.: 21 - BATERIA DO INCRA

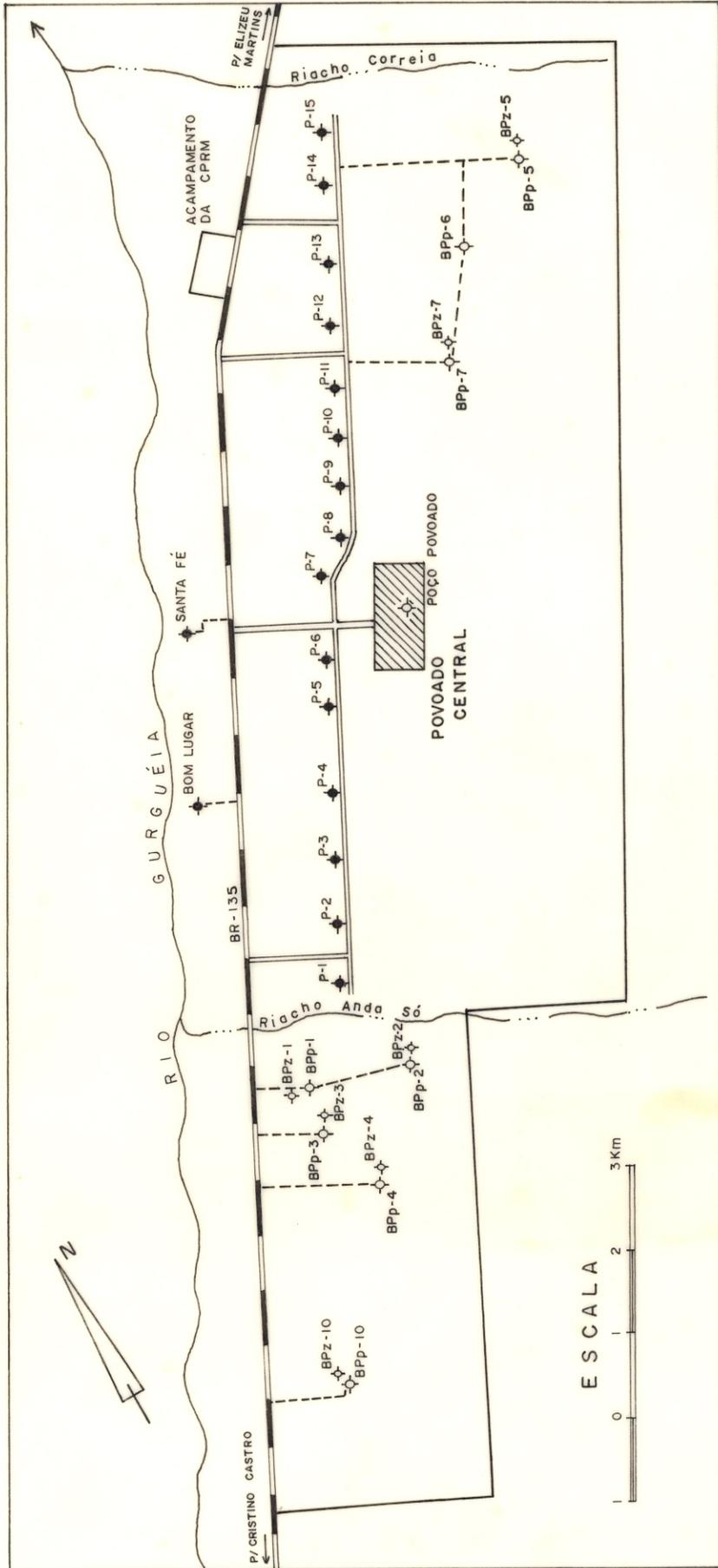


LEGENDA

	ESTRADA ASFALTADA		POÇOS DE PARTICULARES E SUA REFERÊNCIA
	ESTRADA CARROÇÁVEL		POÇO PRODUTOR PERFORADO PELA CPRM E SUA REFERÊNCIA
	ACESSO PARA POÇO		PIEZÔMETRO PERFORADO PELA CPRM E SUA REFERÊNCIA
	R I O		P O V O A D O

ESCALA 0 1 2 3 Km

FIG.: 22 - BATERIA DO PROJETO PILOTO



LEGENDA

- ESTRADA ASFALTADA
- ESTRADA CARROÇÁVEL
- ACESSO PARA POÇO
- RIO
- RIACHO
- VILA DO DNOCS
- POÇO PRODUTOR ANTIGO DO DNOCS E SUA REFERÊNCIA
- POÇO PRODUTOR RECENTE PERFORADO PELA CPRM E SUA REFERÊNCIA
- PIEZÔMETRO RECENTE PERFORADO PELA CPRM E SUA REFERÊNCIA

não estão incluídos entre aqueles que captam o Aquífero Cabeças na região.

Bateria da UNIFOR (Fig. 23) - é constituída por 6 poços produtores perfurados pela CPRM, a partir de 1986, numa área situada a nordeste da cidade de Cristino Castro.

A capacidade de produção destas baterias, resultou da realização de uma série de simulações onde se buscou otimizar globalmente o custo do metro cúbico de água produzida.

6.10.1 Metodologia Utilizada

Basicamente são determinadas vazões de exploração de tal modo que, com a operação simultânea de todos os poços, os níveis dinâmicos daí resultantes não ultrapassem significativamente os crivos das bombas. Os níveis dinâmicos são calculados acrescentando-se ao nível estático o valor do rebaixamento total em cada poço. O rebaixamento total é aqui considerado como sendo o somatório dos seguintes efeitos: (1) rebaixamento no próprio poço bombeado; (2) interferência provocada pelo bombeamento dos outros poços da bateria; (3) interferência causada pelo bombeamento das outras baterias; (4) acréscimo de rebaixamento devido as perdas não lineares (eficiência).

De acordo com as considerações feitas no item 6.7, o Aquífero Cabeças será considerado aqui como confinado e não drenante. Desta forma, os cálculos dos rebaixamentos e interferências, em regime alternado de bombeamento, foram realizados com a ajuda de um modelo analítico de simulação desenvolvido no Laboratório de Hidrogeologia da UFPE, que utiliza a função de Theis contida na expressão abaixo:

$$s' = \frac{Q}{4\pi T} \left[W\left(\frac{H}{t_{n+1}}\right) - W\left(\frac{H}{t_{n+1}-t_1}\right) + W\left(\frac{H}{t_{n+1}-t_2}\right) - \dots - W\left(\frac{H}{t_{n+1}-t_{n-1}}\right) + W\left(\frac{H}{t_{n+1}-t_n}\right) \right] \quad (11)$$

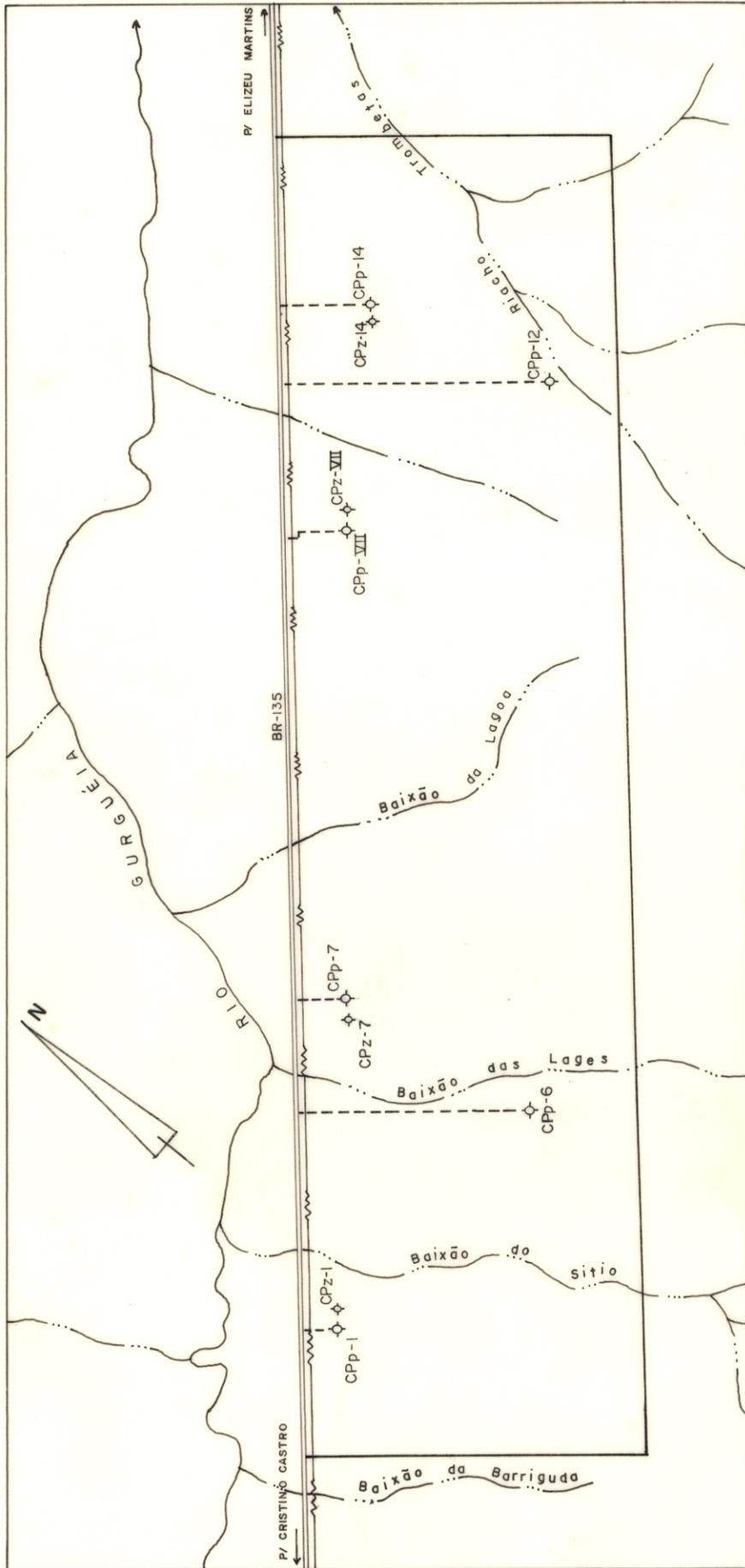
onde:

n = inteiro par = número total de recuperações do bombeamento alternado

Q = vazão de bombeamento

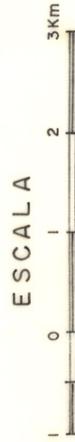
T = transmissividade do aquífero

FIG.: 23 - BATERIA DA UNIFORM



LEGENDA

- RIO
- RIACHO
- ESTRADA ASFALTADA
- ACESSO PARA POÇO
- LINHA DE ALTA TENSÃO
- POÇO PRODUTOR RECENTE PERFURADO PELA CPRM C/ SUA REFERENCIA
- PIEZÔMETRO RECENTE PERFURADO PELA CPRM C/ SUA REFERENCIA



- W = função de Theis
 H = $r^2 S / 4T$
 r = distância do poço bombeado ao ponto onde se deseja calcular o rebaixamento
 S = coeficiente de armazenamento
 t_{n+1} = duração do bombeamento alternado
 t_1, t_2, \dots, t_n = tempos definidos em função dos regimes mensais de bombeamento

Nos casos em que $H/\Delta t$, na expressão 11, é menor que 0,01, é possível substituir a função de Theis $W(H/\Delta t)$ pela fórmula aproximada de Jacob abaixo indicada, o que resulta numa significativa redução do tempo de processamento:

$$W(H/\Delta t) = \ln(2,25 T \Delta t / r^2 S) \quad (12)$$

As demandas máximas das culturas, fornecidas pela SIRAC (empresiteira do DNOCS), são mostradas na tabela 18. São consideradas as descargas para 70% de eficiência do sistema e tomado 20/24 como regime máximo de bombeamento no mês ponta (outubro), o que conduz aos regimes mensais de bombeamento mostrados também na tabela 18.

Maiores esclarecimentos sobre o modelo analítico utilizado podem ser obtidos no trabalho de FEITOSA et alii (1988), publicado nos anais do 1º Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste.

6.10.2 Parâmetros Hidrodinâmicos Adotados

Foram utilizados para as três baterias os seguintes parâmetros hidrodinâmicos, considerados aqui como representativos do aquífero:

$$T = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S = 3,0 \cdot 10^{-4}$$

Para a bateria do INCRA foi considerado o efeito da fronteira impermeável mapeada através do método dos poços imagens.

No caso do Projeto Piloto, embora existam fronteiras semi-permeáveis (provavelmente coincidentes com os

TABELA 18

NECESSIDADE D'ÁGUA DAS CULTURAS - P. R. A. DE CRISTINO CASTRO

CULTURA	ARROZ			CAPIM								ARR.	TOTAL
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV		
100% EFIC. (m ³ /ha)	964	610	540	630	1250	250	1490	1670	1670	1938	700	1210	14112
70% EFIC. (m ³ /ha)	1377	871	771	900	1786	1786	2114	2386	2671	2768	1000	1729	20159
REG. BOMB. (h/24h)	10	06	06	07	13	13	15	17	19	20	07	13	-

OBS.: Vazão requerida por hectare = 1,24 l/s ou 4,464 m³/h para o regime de 20/24 h (outubro)

riachos Anda Só e Correia), estas não foram consideradas diretamente nos cálculos. Entretanto, a transmissividade utilizada ($1,3 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$) é inferior a transmissividade média real, e reproduz indiretamente o efeito destas descontinuidades.

6.10.3 Distâncias Entre os Poços

As distâncias entre os poços das baterias da UNIFOR, INCRA e Projeto Piloto são apresentadas respectivamente nas tabelas 19, 20 e 21. As distâncias médias entre as baterias, consideradas nos cálculos, foram as seguintes:

INCRA - P. Piloto = 27 Km

INCRA - UNIFOR = 68 Km

UNIFOR - P. Piloto = 43 Km

6.10.4 Vazões Máximas Permissíveis

Considerando o critério de Sichardt (In HUISMAN, 1972), foram avaliadas vazões máximas permissíveis para todos os poços perfurados, através da seguinte expressão:

$$Q = 2 \pi r_f h V_e \quad (13)$$

onde:

r_f = raio do furo

h = extensão da secção produtora

$V_e = (K)^{1/2}/15$ = velocidade de entrada, sendo K a permeabilidade expressa em m/s

De acordo com Sichardt, a velocidade de entrada assim definida resulta em condições de operação seguras, minimizando os riscos de produção de areia e maximizando, portanto, a vida útil do poço e do equipamento de bombeamento. Os resultados obtidos com este procedimento estão sintetizados na tabela 22, cabendo aqui as seguintes considerações:

As vazões de exploração das baterias do INCRA e da UNIFOR, recomendadas no ítem 6.10.7 (225,0 e 337,0 m^3/h respectivamente), são inferiores as máximas permissíveis calculadas para estas baterias.

TABELA 21
DISTANCIAS ENTRE OS POÇOS (P. PILOTO)

POCO	IP1	IP2	IP3	IP4	IP5	IP6	IP7	IP8	IP9	IP10	IP11	IP12	IP13	IP14	IP15	IB.LUG.	IBP1	IBP2	IBP3	IBP4	IBP5	IBP7	IBP10
IP1	-	700	1.450	2.230	3.260	3.830	4.790	5.200	5.830	6.390	6.990	7.690	8.480	9.350	10.000	2.700	1.260	1.220	1.740	2.360	9.900	7.400	4.250
IP2		-	750	1.530	2.560	3.110	4.090	4.500	5.130	5.690	6.300	6.990	7.780	8.660	9.280	2.160	1.940	1.850	2.440	3.060	9.230	6.720	4.950
IP3			-	800	1.810	2.360	3.340	3.750	4.380	4.940	5.550	6.230	7.030	7.910	8.500	1.720	2.670	2.560	3.170	3.800	8.500	5.990	5.730
IP4				-	1.050	1.600	2.560	2.980	3.600	4.180	4.780	5.460	6.300	7.140	7.800	1.600	3.450	3.300	3.940	4.570	7.780	5.250	6.480
IP5					-	550	1.530	1.950	2.560	3.130	3.750	4.410	5.200	6.100	6.710	1.940	4.480	4.320	4.990	5.600	6.760	4.260	7.500
IP6						-	980	1.390	2.010	2.600	3.180	3.860	4.650	5.540	6.150	2.200	5.000	4.860	5.520	6.160	6.260	3.760	8.050
IP7							-	460	1.050	1.610	2.210	2.900	3.690	4.590	5.190	3.080	6.000	5.720	6.500	7.140	5.380	2.890	9.050
IP8								-	380	1.190	1.800	2.490	3.280	4.160	4.780	3.520	6.410	6.200	6.920	7.580	4.900	2.440	9.450
IP9									-	560	1.180	1.850	2.640	3.530	4.150	4.080	7.040	6.840	7.580	8.200	4.360	1.960	10.080
IP10										-	480	1.290	2.080	2.980	3.580	4.580	7.650	7.420	8.130	8.750	3.880	1.600	10.650
IP11											-	690	1.480	2.380	2.980	5.130	8.230	8.050	8.730	9.350	3.420	1.380	11.250
IP12												-	800	1.670	2.300	5.800	8.930	8.730	9.430	10.050	2.930	1.420	11.900
IP13													-	890	1.500	6.540	9.700	9.500	10.200	10.830	2.500	1.730	12.700
IP14														-	700	7.400	10.580	10.400	11.100	11.750	2.250	2.510	13.600
IP15															-	8.030	11.200	11.030	11.700	12.350	2.290	3.040	14.200
IB.LUG.																-	3.560	3.900	4.080	4.880	8.450	5.950	6.530
IBP1																	-	1.100	500	1.250	11.150	8.670	3.170
IBP2																		-	1.140	1.300	10.750	8.320	3.430
IBP3																			-	800	11.620	9.150	2.700
IBP4																				-	12.150	9.670	2.150
IBP5																					-	2.500	14.050
IBP7																						-	11.600
IBP10																							-

TABELA 22

VAZÕES MÁXIMAS PERMISSÍVEIS

BATERIA	POÇO	VAZÃO MÁXIMA PERMISSÍVEL (m ³ /h)	MÉDIA P ₃ BATERIA (m ³ /h)
INCRA	TRANQ.	277,63	287,60
	APp-1	415,50	
	APp-2	301,44	
	APp-3	269,18	
	APp-4	230,29	
	APp-5	270,13	
	APp-6	264,31	
P. PILOTO	APp-7	272,36	389,18
	P-1	424,00	
	P-4	415,77	
	P-7	442,13	
	P-10	374,00	
	P-13	402,08	
	BPp-1	432,11	
	BPp-2	347,38	
	BPp-3	374,27	
	BPp-4	377,80	
UNIFOR	BPp-5	325,42	352,31
	BPp-7	364,07	
	BPp-10	391,22	
	CPp-1	345,73	
	CPp-6	378,71	
	CPp-7	383,32	
	CPp-12	326,64	
	CPp-14	315,00	
	CPp-VII	364,50	

No caso do Projeto Piloto a vazão recomendada (420,0 m³/h) é ligeiramente superior a vazão média permissível da bateria. Neste caso, as vazões de exploração a rigor não deveriam exceder 389,00 m³/h, entretanto, é necessário aqui ressaltar dois aspectos:

Como veremos adiante, não foi recomendada a operação dos novos poços perfurados nas vizinhanças da bateria original do Projeto Piloto. Assim, a avaliação de uma vazão permissível média, considerando-se apenas os poços antigos do DNOCS (P₁, P₄, P₇, P₁₀ e P₁₃), exibirá um valor (411,0 m³/h) bem mais próximo daquele recomendado como vazão de exploração.

Para o Aquífero Cabeças na região do Gurguéia, o critério de Sichardt não deverá ser empregado com rigidez, uma vez que a quantidade de areia registrada nos testes de aquífero para vazões variando entre 260,0 e 600,00 m³/h, pode ser considerada como desprezível.

6.10.5 Eficiência dos Poços

A eficiência é definida como a razão entre o rebaixamento teórico calculado, representado no aquífero pela extremidade inferior do cone de depressão, e o rebaixamento real observado no poço bombeado.

O teste de produção realizado no poço BPp-1 permitiu calcular uma eficiência de 89% para uma vazão de 500,0 m³/h, através da seguinte expressão:

$$E_f = \frac{BQ}{BQ + CQ^n} \times 100 \quad (14)$$

onde:

BQ = perdas no aquífero

CQⁿ = perdas não lineares no poço

Q = vazão (500,0 m³/h)

B = constante que depende das características do aquífero e do tempo (0,0277839)

C, n = constantes que dependem das características do poço (0,00000315 e 2,125)

Segundo DRISCOLL (1987), entretanto, uma parte das perdas ocorridas no poço são lineares e portanto estariam incluídas no termo BQ da equação (14). Logo, o termo CQⁿ representaria apenas uma parcela das perdas adicionais que ocorrem no poço e a eficiência calculada através desta equação seria maior do que é na realidade.

Sendo assim, foram avaliadas eficiências por um outro método que consistiu em calcular o rebaixamento teórico no poço bombeado (r = 0,12 m) para um certo tempo, e confrontá-lo com o rebaixamento real observado neste poço para este mesmo tempo. Os cálculos foram efetuados com o auxílio da equação simplificada de Jacob, utilizando-se os parâmetros hidrodinâmicos representativos de cada poço. Os resultados alcançados são apresentados na tabela 23.

TABELA 23
EFICIÊNCIA DOS POÇOS

BAT.	POÇO	REBAIXAMENTO OBSERVADO (m)	REBAIXAMENTO CALCULADO (m)	= EFICIÊNCIA = REB. CALC. / REB. OBS. (%)	MÉDIA (%)
I N C R A	TRANQ.	22,141	17,950	81,00	76,57
	APp-1	15,515	13,130	85,00	
	APp-2	24,036	15,760	66,00	
	APp-3	23,685	17,520	74,00	
	APp-4	25,183	21,820	87,00	
	APp-5	27,047	20,200	75,00	
	APp-6	19,265	13,030	68,00	
P. P I L.	P-1	3,580	2,940	82,00	72,33
	P-6	9,560	7,340	76,00	
	P-12	14,470	10,260	71,00	
	P-15	19,795	14,104	71,00	
	BPP-1	15,688	9,980	64,00	
	BPP-5	19,390	9,940	51,00 (+)	
	BPP-10	17,785	12,370	70,00	
U N I F O R	CPp-1	20,336	15,240	75,00	77,20
	CPp-6	14,304	13,190	92,00	
	CPp-7	22,505	12,330	55,00 (+)	
	CPp-12	15,717	10,710	68,00	
	CPp-14	17,806	15,370	86,00	
	CPp-VII	15,410	10,000	65,00	
M É D I A G L O B A L					75,36

OBS: (+) - não considerado na média

Considerando a similaridade construtiva dos poços, chama atenção a grande variação que existe nos valores das eficiências calculadas (51% a 92%). Este fato parece estar ligado diretamente ao grau de limpeza dos poços, onde os métodos empregados, nos poços de eficiências mais baixas, não teriam surtido o efeito desejado. Uma análise feita nos boletins de sondagem mostrou que os poços BPP-5 e CPp-7, com as menores eficiências registradas (51% e 55%), tiveram paralizações durante a etapa de perfuração, ficando com lama sem circulação por um longo período (13 dias e 70 dias respectivamente). Nestes casos, a lama de perfuração, com um percentual significativo de Bentonita, teria provocado uma maior colmatação dos arenitos aquíferos, agravada pelo extenso tempo decorrido entre o término do poço e o início do desenvolvimento com bomba (13,3 meses no BPP-5 e 2,5 meses no CPp-7).

Com base nesta constatação, pode-se fazer os seguintes comentários:

A lama utilizada pela CPRM na perfuração dos arenitos da Formação Cabeças teria apresentado, na mistura Bentonita - Polysafe/Nalco, uma quantidade de Bentonita suficiente para prejudicar o rendimento dos poços. A própria metodologia usada na preparação desta lama, acrescentando gradativamente Polysafe/Nalco a partir da base da Formação Longá, fez com que o topo do aquífero, considerado como a zona mais produtora, fosse perfurado com uma lama essencialmente a base de Bentonita.

Devido à ausência de filtros e o uso de polímeros na lama de perfuração, foram subestimados os efeitos desta lama no rendimento dos poços, sendo utilizados processos de limpeza que se revelaram, em alguns casos, insatisfatórios.

Assim, na dependência da qualidade da lama, das vazões utilizadas no superbombeamento, de paralizações na perfuração e do tempo decorrido desde o término do poço até o início da limpeza com bomba (método que se mostrou mais eficiente), os poços ficaram com diferentes graus de limpeza, refletidos diretamente em maiores ou menores eficiências.

Nestas condições, é provável que com a entrada em operação das baterias, possa haver ao longo do tempo um certo aumento na eficiência dos poços. Na atual análise do problema, foi utilizado nos cálculos o valor de 75,0%, obtido como média global na tabela 23, o que equivale a acrescentar um rebaixamento adicional de 1/3 do rebaixamento calculado para o próprio poço.

6.10.6 Resultados Obtidos

Os resultados obtidos são apresentados nas tabelas numeradas de 25 a 30, sendo as convenções utilizadas explicadas a seguir:

NE = nível estático

so = rebaixamento calculado no próprio poço

Δs = acréscimo de rebaixamento no poço, devido a sua eficiência

si = interferência em cada poço, provocada pelo funcionamento dos outros poços da bateria

INCRA = interferência em cada poço, provocada pelo funcionamento da bateria do INCRA

UNIFOR = interferência em cada poço, provocada pelo funcionamento da bateria da UNIFOR

sw = rebaixamento total em cada poço
(sw = s₀ + s + s_i + INCRA + UNIFOR)

ND = nível dinâmico (ND = NE + sw)

CB = profundidade da câmara de bombeamento

FOLGA = [(CB-1)-ND-4]

O algarismo 4 na fórmula acima representa a submergência do crivo da bomba. A folga, tal como definida, representa quando positiva a possibilidade de rebaixamento adicional do nível dinâmico. Quando negativa, a folga quantifica o déficit de câmara de bombeamento.

A análise da operação simultânea das três baterias, mostrou que as baterias do INCRA e da UNIFOR absorvem perfeitamente o impacto causado pela operação do Projeto Piloto, exibindo ainda uma substancial folga em todos os poços. Ao contrário, a péssima situação da bateria do Projeto Piloto, comentada no item 6.8, é sensivelmente agravada pelas interferências causadas pelo funcionamento das outras duas baterias.

Devido à infraestrutura já existente no Projeto Piloto (16 poços instalados, eletrificação, rede de adutoras, conjuntos residenciais, etc), as simulações foram realizadas de forma a se preservar o maior número possível de poços desta bateria, tentando-se manter inalteradas suas condições atuais de operação. Considerando ainda que as baterias do INCRA e da UNIFOR não deveriam entrar em operação a curto prazo, por falta de eletrificação, julgou-se conveniente também, analisar isoladamente esta bateria de modo a se tentar obter, no momento, o seu maior rendimento possível.

6.10.6.1 Bateria do Projeto Piloto

Na tabela 24 é apresentado um breve histórico sobre a posição dos crivos dos poços da bateria original do Projeto Piloto. Inicialmente os poços foram instalados com os crivos acima da posição prevista no projeto da Worthington, sendo alguns posteriormente rebaixados emergencialmente quando da ameaça de colapso ocorrida em agosto/88.

TABELA 24

PROFUNDIDADE DO TOPO DOS ROTORES

POÇO	PROJ. WOR- THINGTON	INSTALAÇÃO INICIAL	SITUAÇÃO ATUAL	OBS
P1	53,73	51,00	51,00	
P2	61,73	51,00	63,00	Aprofundado DNOCS/CPRM
P3 (+)	65,73	54,00	66,00	Aprofundado DNOCS
P4	66,73	57,00	57,00	
P5	68,73	57,00	57,00	
P6 (+)	67,73	54,00	72,00	Aprofundado DNOCS
P7 (+)	60,73	48,00	60,00	Aprofundado DNOCS
P8	64,73	57,00	57,00	
P9 (+)	69,73	57,00	69,00	Aprofundado DNOCS
P10	70,73	60,00	60,00	
P11	68,73	60,00	60,00	
P12 (+)	69,73	60,00	69,00	Aprofundado DNOCS/CPRM
P13 (+)	70,73	60,00	69,00	Aprofundado DNOCS
P14 (+)	68,73	57,00	72,00	Aprofundado DNOCS
P15	50,73	45,00	60,00	Aprofundado DNOCS/CPRM
B. L. (+)	-	21,00	42,00	Aprofundado DNOCS

OBS: (+) - Instalado acesso para medidor de nível

As análises foram feitas para as seguintes situações:

Somente o Projeto Piloto em Operação

Crivos Atuais - Para a situação atual dos poços do Projeto Piloto a tabela 25 mostra que em apenas 1 mês de bombeamento só os poços P₂, P₄, P₁₄, P₁₅ e Bom Lugar não colapsam. Estes poços, com efeito, tiveram seus crivos rebaixados emergencialmente pelo DNOCS. Entretanto, os poços P₃, P₇, P₉, P₁₂ e P₁₃ também com os crivos já rebaixados, em relação a posição inicial, sofreram colapso.

O resultado acima atesta a urgente necessidade de se rebaixar convenientemente os crivos das bombas, sendo impossível se manter as condições atuais de operação desta bateria. Os altos valores das folgas, indicados na última coluna da tabela 25, quantificam os rebaixamentos adicionais possíveis nos níveis dinâmicos, que deveriam ocorrer para alcances maiores que os considerados.

TABELA 25

BATERIA DO PROJETO PILOTO

POÇO	Q (m ³ /h)	NE (m)	so (m)	Δs (m)	si (m)	INCRA (m)	UNIFOR (m)	sw (m)	ND (m)	CB (m)	PC (m)	FOLGA (m)
P-1	420,00	13,50	16,21	5,40	21,01	-	-	42,62	56,12	94,00	51,00	32,88
P-2	420,00	17,00	16,21	5,40	24,06	-	-	45,67	62,67	108,00	63,00	40,33
P-3	420,00	19,50	16,21	5,40	26,11	-	-	47,72	67,22	99,00	66,00	26,78
P-4	420,00	18,40	16,21	5,40	27,39	-	-	49,00	67,40	100,00	57,00	27,60
P-5	420,00	17,60	16,21	5,40	29,34	-	-	50,95	68,55	98,00	57,00	24,45
P-6	400,00	16,90	15,43	5,10	30,32	-	-	50,85	67,75	95,00	72,00	22,25
P-7	420,00	9,10	16,21	5,40	31,31	-	-	52,92	62,02	93,00	60,00	25,98
P-8	400,00	12,70	15,43	5,10	32,80	-	-	53,33	66,03	91,00	57,00	19,97
P-9	420,00	18,60	16,21	5,40	32,44	-	-	54,05	72,65	162,00	69,00	84,35
P-10	420,00	19,60	16,21	5,40	31,59	-	-	53,20	72,80	125,00	60,00	47,20
P-11	420,00	19,00	16,21	5,40	30,44	-	-	52,05	71,05	120,00	60,00	43,95
P-12	420,00	22,10	16,21	5,40	28,40	-	-	50,01	72,11	137,00	69,00	59,89
P-13	420,00	24,50	16,21	5,40	26,16	-	-	47,77	72,27	118,00	69,00	40,73
P-14	420,00	24,20	16,21	5,40	23,48	-	-	45,09	69,29	126,00	72,00	51,71
P-15	420,00	8,90	16,21	5,40	20,90	-	-	42,51	51,41	90,00	60,00	33,59
B. Lug	237,00	-21,00	9,14	3,00	24,72	-	-	36,86	15,86	92,00	42,00	71,14

OBS: CRIVOS ATUAIS / ALCANCE = 1 MES
BATERIAS DO INCRA E DA UNIFOR SEM FUNCIONAR

Crivos Programados - As profundidades recomendadas para os crivos estão indicadas na tabela 26 (coluna designada de PC). Os resultados mostram, para um alcance de 5 anos, que todos os 16 poços podem funcionar simultaneamente. Contudo, merecem um acompanhamento mais cuidadoso aqueles com folga negativa, em especial o P_6 cuja folga (-6,18) é maior, em valor absoluto, que a submergência.

A tabela 27 (alcance de 20 anos) mostra que a condição para que os níveis dinâmicos não atinjam os crivos, é o não funcionamento dos poços P_4 e P_6 . Este resultado indica que, mesmo considerando o Projeto Piloto operando sozinho, estes dois poços são críticos.

As Três Baterias em Operação

Crivos Programados - Neste caso, a tabela 28 mostra que a bateria do Projeto Piloto deverá operar com apenas 13 poços, sendo eliminados os poços P_3 , P_4 e P_6 . Deve-se ressaltar que as interferências entre as baterias, calculadas aqui analiticamente, são maiores que as reais, pelo fato de não ter sido considerado nos cálculos o efeito das fronteiras semi-permeáveis existentes. Sendo assim, foi considerada como viável a operação de 5 poços que exibem folgas negativas com valores absolutos superiores a 4 (P_1 , P_4 , P_5 , P_7 e P_{15}), merecendo, entretanto, um rigoroso acompanhamento da evolução de seus níveis dinâmicos.

Os cinco poços novos perfurados ao sul (BPP-1, BPP-2, BPP-3, BPP-4, BPP-10) e os dois a leste (BPP-5 e BPP-7) da bateria original do Projeto Piloto, impedidos de funcionar na situação atual, teriam as seguintes alternativas para o seu aproveitamento:

Permanecerem como poços reserva e/ou como poços de observação.

Serem aprofundados para captar o Aquífero Serra Grande, caso seja julgada favorável sua viabilidade econômica.

Deve-se ressaltar ainda, que os estudos realizados por FEITOSA et alii (1989) mostraram que existem grandes possibilidades de ocorrer uma recarga no Aquífero Cabeças a partir do Serra Grande, através de poços de captação conjunta, devido a grande diferença de carga existente entre estes dois aquíferos. Na dependência da comprovação prática destes estudos (testes de captação conjunta, ainda não realizados), poderiam ser perfurados alguns poços de recarga, convenientemente posicionados, de modo a reabilitar a operação da bateria do Projeto Piloto, permitindo o funcionamento das novas unidades perfuradas.

TABELA 26

BATERIA DO PROJETO PILOTO

POÇO	Q (m ³ /h)	NE (m)	so (m)	Δs (m)	si (m)	INCRA (m)	UNIFOR (m)	sw (m)	ND (m)	CB (m)	PC (m)	FOLGA (m)
P-1	420,00	13,50	17,82	5,90	44,50	-	-	68,22	81,72	94,00	93,00	7,28
P-2	420,00	17,00	17,82	5,90	47,69	-	-	71,41	88,41	108,00	107,00	14,59
P-3	420,00	19,50	17,82	5,90	49,86	-	-	73,58	93,08	99,00	98,00	0,92
P-4	420,00	18,40	17,82	5,90	51,23	-	-	74,95	93,35	100,00	99,00	1,05
P-5	420,00	17,60	17,82	5,90	53,29	-	-	77,01	94,61	98,00	97,00	-1,61
P-6	400,00	18,90	16,97	5,60	54,39	-	-	76,96	93,86	95,00	94,00	-3,86
P-7	420,00	9,10	17,82	5,90	55,32	-	-	79,04	88,14	93,00	92,00	-0,14
P-8	400,00	12,70	16,97	5,60	56,91	-	-	79,48	92,18	91,00	90,00	-6,18
P-9	420,00	18,60	17,82	5,90	56,46	-	-	80,18	98,78	162,00	118,00	58,22
P-10	420,00	19,60	17,82	5,90	55,58	-	-	79,30	98,90	125,00	121,00	21,22
P-11	420,00	19,00	17,82	5,90	54,37	-	-	78,09	97,09	120,00	119,00	17,91
P-12	420,00	22,10	17,82	5,90	52,26	-	-	75,98	98,08	137,00	121,00	33,92
P-13	420,00	24,50	17,82	5,90	49,92	-	-	73,64	98,14	118,00	117,00	14,86
P-14	420,00	24,20	17,82	5,90	47,09	-	-	70,81	95,01	126,00	120,00	25,99
P-15	420,00	8,90	17,82	5,90	44,39	-	-	68,11	77,01	90,00	89,00	7,99
B. Lug	237,00	-21,00	10,05	3,30	49,20	-	-	62,55	41,55	92,00	74,00	45,45

OBS: CRIVOS PROGRAMADOS / ALCANCE = 5 ANOS
BATERIAS DO INCRA E DA UNIFOR SEM FUNCIONAR

TABELA 27

BATERIA DO PROJETO PILOTO

POÇO	Q (m ³ /h)	NE (m)	so (m)	Δs (m)	si (m)	INCRA (m)	UNIFOR (m)	sw (m)	ND (m)	CB (m)	PC (m)	FOLGA (m)
P-1	420,00	13,50	18,29	6,00	44,16	-	-	68,45	81,95	94,00	93,00	7,05
P-2	420,00	17,00	18,29	6,00	46,96	-	-	71,25	88,25	108,00	107,00	14,75
P-3	420,00	19,50	18,29	6,00	48,61	-	-	72,90	92,40	99,00	98,00	1,60
P-4	420,00	18,40	18,29	6,00	49,24	-	-	73,53	91,93	100,00	99,00	3,07
P-5	420,00	17,60	18,29	6,00	49,36	-	-	73,65	91,25	98,00	97,00	1,75
P-7	420,00	9,10	18,29	6,00	50,25	-	-	74,54	83,64	93,00	92,00	4,36
P-9	420,00	18,60	18,29	6,00	52,04	-	-	76,33	94,93	162,00	118,00	62,07
P-10	420,00	19,60	18,29	6,00	53,06	-	-	77,35	96,95	128,00	121,00	23,05
P-11	420,00	19,00	18,29	6,00	52,62	-	-	76,91	95,91	120,00	119,00	19,09
P-12	420,00	22,10	18,29	6,00	51,11	-	-	75,40	97,50	137,00	121,00	34,50
P-13	420,00	24,50	18,29	6,00	49,30	-	-	73,59	98,09	118,00	117,00	14,91
P-14	420,00	24,20	18,29	6,00	46,92	-	-	71,21	95,41	126,00	120,00	25,59
P-15	420,00	8,90	18,29	6,00	44,48	-	-	68,77	77,67	90,00	89,00	7,33
B. Lug	237,00	-21,00	10,32	3,40	47,98	-	-	61,70	40,70	92,00	74,00	46,30

**OBS: CRIVOS PROGRAMADOS / ALCANCE = 20 ANOS
BATERIAS DO INCRA E DA UNIFOR SEM FUNCIONAR**

TABELA 28

BATERIA DO PROJETO PILOTO

POÇO	Q (m ³ /h)	NE (m)	so (m)	Δs (m)	si (m)	INCRA (m)	UNIFOR (m)	sw (m)	ND (m)	CB (m)	PC (m)	FOLGA (m)
P-1	420,00	13,50	18,29	6,00	39,32	14,0	6,0	83,61	97,11	94,00	93,00	-8,11
P-2	420,00	17,00	18,29	6,00	41,20	14,0	6,0	85,49	102,49	108,00	107,00	0,51
P-4	420,00	18,40	18,29	6,00	43,58	14,0	6,0	87,87	106,27	100,00	99,00	-11,27
P-5	420,00	17,60	18,29	6,00	44,81	14,0	6,0	89,10	106,70	98,00	97,00	-13,70
P-7	420,00	9,10	18,29	6,00	46,48	14,0	6,0	90,77	99,87	93,00	92,00	-11,87
P-9	420,00	18,60	18,29	6,00	48,59	14,0	6,0	92,88	111,48	102,00	118,00	45,52
P-10	420,00	19,60	18,29	6,00	49,75	14,0	6,0	94,04	113,64	125,00	121,00	6,36
P-11	420,00	19,00	18,29	6,00	49,44	14,0	6,0	93,73	112,73	120,00	119,00	2,27
P-12	420,00	22,10	18,29	6,00	48,06	14,9	6,0	92,35	114,45	137,00	121,00	17,55
P-13	420,00	24,50	18,29	6,00	46,39	14,0	6,0	90,68	115,18	118,00	117,00	-2,18
P-14	420,00	24,20	18,29	6,00	44,14	14,0	6,0	88,43	112,63	126,00	120,00	8,37
P-15	420,00	8,90	18,29	6,00	41,77	14,0	6,0	86,06	94,96	90,00	89,00	-9,96
B. Lug	237,00	-21,00	10,32	3,40	43,36	14,0	6,0	77,08	56,08	92,00	74,00	30,92

OBS: CRIVOS PROGRAMADOS / ALCANCE = 20 ANOS
BATERIAS DO INCRA E DA UNIFOR FUNCIONANDO

6.10.6.2 Bateria do INCRA

Na tabela 29 são apresentadas as condições de operação da bateria do INCRA (8 poços) para um alcance de 20 anos, considerando o funcionamento das outras duas baterias (P. Piloto e UNIFOR). Os altos valores registrados como folgas atestam a possibilidade desta bateria suportar interferências adicionais, advindas de novas baterias de poços implantadas futuramente no vale do Gurguéia.

6.10.6.3 Bateria da UNIFOR

Na tabela 30 são apresentadas as condições de operação da bateria da UNIFOR (6 poços) para um alcance de 20 anos, considerando também as outras duas baterias em operação (INCRA e P. Piloto). A exemplo da bateria do INCRA, apresenta substanciais valores nas folgas podendo suportar novas interferências.

TABELA 29
BATERIA DO INCRA

POÇO	Q (m ³ /h)	NE (m)	so (m)	Δs (m)	si (m)	P. PIL. (m)	UNIFOR (m)	sw (m)	ND (m)	CB (m)	PC (m)	FOLGA (m)
TRANQ.	225,00	12,88	9,80	3,30	26,54	20,0	4,0	63,64	76,50	148,00	81,00	66,50
APp-1	225,00	2,60	9,80	3,30	36,97	20,0	4,0	74,07	76,67	155,00	81,00	73,33
APp-2	225,00	5,70	9,80	3,30	35,28	20,0	4,0	72,38	78,08	131,00	82,00	47,92
APp-3	225,00	4,20	9,80	3,30	31,71	20,0	4,0	68,81	73,01	130,00	77,00	51,99
APp-4	225,00	6,80	9,80	3,30	36,79	20,0	4,0	73,89	80,69	147,00	85,00	61,31
APp-5	225,00	20,33	9,80	3,30	34,07	20,0	4,0	71,17	91,50	149,00	96,00	52,50
APp-6	225,00	25,60	9,80	3,30	34,78	20,0	4,0	71,88	97,48	152,00	102,00	49,52
APp-7	225,00	30,10	9,80	3,30	33,02	20,0	4,0	70,12	100,22	154,00	104,00	48,78

OBS: ALCANCE = 20 ANOS
BATERIAS DO PROJETO PILOTO E DA UNIFOR FUNCIONANDO

TABELA 30
BATERIA DA UNIFOR

POÇO	Q (m ³ /h)	NE (m)	so (m)	Δs (m)	si (m)	P. PIL. (m)	INCRA (m)	sw (m)	ND (m)	CB (m)	PC (m)	FOLGA (m)
CPp-1	337,00	7,30	14,67	4,90	11,73	15,0	7,5	53,80	61,10	137,00	65,00	70,90
CPp-6	337,00	30,40	14,67	4,90	12,73	15,0	7,5	54,80	85,20	148,70	89,50	58,53
CPp-7	337,00	4,60	14,67	4,90	13,10	15,0	7,5	55,17	59,77	131,00	64,00	66,23
CPp-12	337,00	26,90	14,67	4,90	12,95	15,0	7,5	55,02	81,92	154,50	86,00	67,58
CPp-14	337,00	26,50	14,67	4,90	12,81	15,0	7,5	54,88	81,38	167,10	85,00	80,72
CPpVII	337,00	33,10	14,67	4,90	13,30	15,0	7,5	55,37	88,47	159,80	92,50	66,33

OBS: ALCANCE = 20 ANOS
BATERIAS DO PROJETO PILOTO E DO INCRA FUNCIONANDO

CONCLUSÕES

A análise dos dados obtidos durante a programação hidrogeológica do Projeto de Irrigação do Gurguéia, permitiram estabelecer as seguintes conclusões:

Na região compreendida entre as cidades de Cristino Castro e Elizeu Martins, os arenitos da Formação Cabeças apresentam-se bastante homogêneos em seu conjunto, mostrando, em linhas gerais, uma diminuição da granulometria e um aumento do teor de argila com a profundidade. Esta constatação, condiciona o topo do aquífero como a zona mais produtora.

Esta formação foi submetida a uma tectônica de quebramentos, sendo detectadas fraturas preenchidas (óxido de manganês) nas regiões do Projeto Piloto e do INCRA e uma provável falha de gravidade ao norte desta última localidade. Na região da bateria da UNIFOR não foram encontradas evidências desta tectônica. Do ponto de vista hidrogeológico, estes fraturamentos constituem fronteiras impermeáveis (INCRA) e semi-permeáveis (P. Piloto) cujo efeito traduz-se na acentuação dos níveis de bombeamento, sendo portanto consideradas no dimensionamento das baterias de poços.

O provável falhamento de gravidade existente entre a Colônia do INCRA e a região de Aliança do Gurguéia, parece constituir o prolongamento para sudeste da falha de Rio das Balsas, sendo entretanto esta hipótese, passível de confirmação ou contestação na medida que avance o conhecimento geológico da região.

Os parâmetros hidrodinâmicos representativos do Aquífero Cabeças na região do médio vale do Gurguéia, determinados a partir dos testes de aquífero realizados, são os seguintes:

$$T = 1,33 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S = 3,74 \cdot 10^{-4}$$

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

Existe uma variação regional na transmissividade, condicionada diretamente pela variação de espessura do aquífero, com valores máximos na região do Projeto Piloto e mínimos da área da Colônia do INCRA.

O coeficiente de armazenamento cresce sensivelmente de nordeste para sudoeste, indicando melhores condições de armazenamento na região da bateria da UNIFOR. No atual estágio de conhecimentos, as causas desta variação ainda não estão bem compreendidas.

A vazão de escoamento natural, avaliada através de uma secção de controle compreendida entre Redenção do Gurguéia e Canto do Buriti, foi de 169,0 Hm³/ano.

As reservas permanentes foram quantificadas em 254.386 Hm³, para a área de ocorrência do aquífero mostrada na figura 16.

O Aquífero Cabeças foi considerado como confinado e não drenante. O monitoramento de níveis realizado ao longo do vale, mostrou indícios de uma recarga vertical, provavelmente descendente a partir do sistema Poti/Piauí. Entretanto, devido a insuficiência de dados no monitoramento das descargas dos poços (ausência de hidrômetros), esta recarga foi considerada aqui apenas como uma hipótese a ser confirmada em estudos posteriores.

A análise da operação simultânea das três baterias de poços, existentes atualmente no vale, levou ao dimensionamento mostrado no quadro abaixo. As condições de operação dos poços em cada bateria constam respectivamente das tabelas 28, 29 e 30.

BATERIA	Nº DE POÇOS	VAZÃO GLOBAL (m ³ /h)
INCRA	08	1800,0
P. PILOTO	13	5277,0
UNIFOR	06	2022,0

OBS: O volume total explotado é 9.099 m³/h que representa 39,85 Hm³/ano considerando-se o regime de bombeamento mostrado na tabela 18.

A eficiência considerada para os poços foi de 75,0%. A lama de perfuração utilizada, com uma substancial quantidade de bentonita, provocou dificuldades em sua remoção, diminuindo o rendimento de alguns poços.

Não foi considerado nenhum aporte adicional de água (captura), sendo admitido, portanto, que a exploração será realizada em regime de exaustão. Nestas condições, considerando-se um rebaixamento médio regional da ordem de 50 metros na área de água sob pressão e de 20 metros na zona de recarga, o volume total liberado será da ordem de 7.503,0 Hm³, que representa apenas 2,9% das reservas permanentes e permitiria o funcionamento das baterias acima dimensionadas por um período de 188 anos.

AGRADECIMENTOS

Ao DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas, pelo apoio financeiro na execução do convênio PGE 058/86 (DNOCS/ATEPE-LABHID), que possibilitou a realização dos Estudos Hidrogeológicos Complementares no âmbito do Projeto de Irrigação do Gurguéia e por permitir a utilização destes dados no desenvolvimento desta dissertação.

Ao Prof. Edilton Carneiro Feitosa, pelo constante incentivo, apoio e orientação durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Ao amigo, geólogo José Geilson Alves Demetrio por suas críticas e sugestões.

A equipe de campo do LABHID, nas pessoas do geólogo José Rubismá de Miranda e do auxiliar técnico Rui Quirino dos Santos, pela competência e dedicação no desenvolvimento dos trabalhos realizados.

A Prof. Mirtes Costa Feitosa pelo incentivo, apoio e, principalmente, pela paciência nos trabalhos de revisão.

A bibliotecária Cacilda Lourenço da Cruz pela valiosa ajuda na difícil tarefa de organização da bibliografia.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, G.A. de Revisão geológica da bacia Paleozóica do Maranhão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25, 1971, São Paulo. Anais... São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1971. v. 3, p. 113-122.

BRASIL. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. Estudos de reconhecimento do vale do Gurquéia. OESA/TECNOSOLO/OTI/EPTISA. Teresina, 1973. 8v. 11. Relatório inédito.

-----Vale do Gurquéia: estudos de viabilidade. COTEP. Teresina, 1976. 5v. 11. Relatório inédito.

-----Vale do Gurquéia: Plano Diretor. SCET/SIRAC. Teresina, 1976. 35 p. 11. Relatório inédito.

-----Levantamento geofísico em área do vale do Gurquéia-PI. NUTEC. Fortaleza, 1989. 23 p. Relatório inédito.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Parte das folhas SC.23 rio São Francisco e SC-24 Aracaju: geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra. Projeto RADAMBRASIL. Rio de Janeiro, v.1, 1973. Anexos em separado (Levantamento de Recursos Naturais, v.1).

-----Folha SB-23 Teresina e parte da folha SB-24 Jaguaribe: geologia, geomorfologia, solos vegetação, uso potencial da terra. Projeto RADAMBRASIL. Rio de Janeiro, v.2, 1973. Anexos em separado. (Levantamento de Recursos Naturais, v.2).

-----Geologia do Brasil: texto explicativo do mapa do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais, escala 1:2.500.000, 11. 501 p. Brasília, 1984.

COSTA, W.D.; FEITOSA, F.A.C.; COSTA FILHO, W.D. Exploração do Aquífero Cabeças para irrigação no vale do rio Gurquéia/PI. In: SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO NORDESTE, 2, Natal, 1989. Revista Brasileira de Águas Subterrâneas. n. 13. (no prelo)

CUSTÓDIO, E. & LLANAS, M.R. Hidrologia subterrânea. 2 ed. Barcelona: Omega, 1983. 2 v.

DANIEL, J.M. étude des répercussion d'une exploitation de longue durée sur un système aquifère artésien: étude de l'évolution de l'exploitation de la nappe artésienne de Zarzis-Djerba. Chronique d'Hydrogéologie. Paris, n.11, p. 103-120, juin, 1967.

DEMETRIO, J.G.A. Modelo Numérico em diferenças finitas do Aquífero Cabeças no vale do Gurquêia - PI. Recife, 160 f. , 1990. Dissertação. Mestrado em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco.

DNOCS. Associação Tecnológica de Pernambuco. Laboratório de Hidrogeologia da Universidade Federal de Pernambuco. Relatório de locação dos poços da 1ª etapa da programação de implantação do Projeto de Irrigação do Vale do Gurquêia. Recife, outubro, 1986. 24 f. il. Relatório inédito.

-----Definição da nova bateria de poços da área do Projeto Piloto. Recife, janeiro, 1987. 23 f. Relatório inédito.

-----Reavaliação da nova bateria de poços da área do Projeto Piloto. Recife, abril, 1987. 100 f. Relatório inédito.

-----Viabilidade técnica da bateria de poços programada para a área da Colônia do INCRA. Recife, maio, 1987. 56 f. Relatório inédito.

-----Poço Bpp-1 (CPRM 4-CC-05-PI): relatório de conclusão. Recife, maio, 1987. 58 f. Relatório inédito.

-----Poço Bpp-2 (CPRM 4-CC-08-PI): relatório de conclusão. Recife, junho, 1987. 48 f. Relatório inédito.

-----Poço Bpp-3 (CPRM 4-CC-11-PI): relatório de conclusão. Recife, junho, 1987. 30 f. Relatório inédito.

-----Poço Bpp-4 (CPRM 4-CC-12-PI): relatório de conclusão. Recife, junho, 1987. 33 f. Relatório inédito.

-----Poço Bpp-5 (CPRM 4-CC-20-PI): relatório de conclusão. Recife, junho, 1987. 37 f. Relatório inédito.

DNOCS. Associação Tecnológica de Pernambuco. Laboratório de Hidrogeologia da Universidade Federal de Pernambuco. Poço Bpp-10 (CPRM 4-CC-26-PI): relatório de conclusão. Recife, junho, 1987. 33 f. Relatório inédito.

-----Poço App-1 (CPRM 4-CC-18-PI): relatório de conclusão. Recife, junho, 1987. 47 f. Relatório inédito.

-----Poço App-3 (CPRM 4-CC-14-PI): relatório de conclusão. Recife, junho, 1987. 49 f. Relatório inédito.

-----Poço App-2 (CPRM 4-CC-16-PI): relatório de conclusão. Recife, julho, 1987. 43 f. Relatório inédito.

-----Poço App-5 (CPRM 4-CC-30-PI): relatório de conclusão. Recife, julho, 1987. 52 f. Relatório inédito.

-----Poço Bpp-6 (CPRM 4-CC-24-PI): relatório de conclusão. Recife, julho, 1987. 29 f. Relatório inédito.

-----Poço Bpp-7 (CPRM 4-CC-28-PI): relatório de conclusão. Recife, julho, 1987. 38 f. Relatório inédito.

-----Poço Cpp-14 (CPRM 4-CC-28-PI): relatório de conclusão. Recife, julho, 1987. 48 f. Relatório inédito.

-----Poço App-4 (CPRM 4-CC-32-PI): relatório de conclusão. Recife, janeiro, 1988. 55 f. Relatório inédito.

-----Poço Cpp-1 (CPRM 4-CC-40-PI): relatório de conclusão. Recife, março, 1988. 49 f. Relatório inédito.

-----Poço Cpp-6 (CPRM 4-CC-38-PI): relatório de conclusão. Recife, junho, 1988. 39 f. Relatório inédito.

-----Poço Cpp-7 (CPRM 4-CC-44-PI): relatório de conclusão. Recife, junho, 1988. 53 f. Relatório inédito.

-----Poço Cpp-12 (CPRM 4-CC-05-PI): relatório de conclusão. Recife, junho, 1988. 37 f. Relatório inédito.

-----Poço Cpp-VII (CPRM 4-CC-05-PI): relatório de conclusão. Recife, junho, 1988. 52 f. Relatório inédito.

DNOCS. Associação Tecnológica de Pernambuco. Laboratório de Hidrogeologia da Universidade Federal de Pernambuco. Teste de aquífero do poço Bpp-10 (CPRM 4-CC-26-PI): relatório de conclusão. Recife, agosto, 1988. 32 f. Relatório inédito.

-----Reavaliação das baterias de poços (Proj. Piloto, INCRA, UNIFOR): condições de operação conjunta. Recife, novembro, 1988. 21 f. Relatório inédito.

-----Poço Bpp-6 (CPRM 4-CC-24-PI): aprofundamento para o Serra Grande - relatório conclusivo. Recife, junho, 1989. 55 f. Relatório inédito.

-----Poço App-6 (CPRM 4-CC-34-PI): relatório de conclusão. Recife, maio, 1989. 66 f. Relatório inédito.

-----Poço App-7 (CPRM 4-CC-36-PI): relatório de conclusão. Recife, maio, 1989. 68 f. Relatório inédito.

DRISCOLL, F.G. Groundwater and wells. 2 ed. Johnson Division, St. Paul, Minnesota, 1987. 1089 p.

ELEMENTOS de hidrogeologia prática. Série Hidrogeologia. Divisão de Hidrogeologia. SUDENE. Recife, n.13, p. 1-372, 1967.

FEITOSA, E.C.; COSTA, W.D.; DEMETRIO, J.G.A.; FEITOSA, F.A.C.; MIRANDA, J.R.de. Modelo analítico de simulação de bateria de poços em regime alternado de bombeamento. In: SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO NORDESTE, 1, 1987, Recife. Anais... Recife: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas - Núcleo Nordeste, 1988. p. 51-58.

FEITOSA, E.C & DEMETRIO, J.G.A. Hidráulica de captação conjunta dos Aquíferos Serra Grande e Cabeças na bacia do Parnaíba. In: SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO NORDESTE, 2, Natal, 1989. Revista Brasileira de Águas Subterrâneas, n. 13. (no prelo).

FEITOSA, E.C.; FEITOSA, F.A.C.; DEMETRIO, J.G.A.; MIRANDA, J.R.de Fronteiras detectadas em testes de aquífero na Formação Cabeças/PI. In: SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO NORDESTE, 2, Natal, 1989. Revista Brasileira de Águas Subterrâneas, n. 13. (no prelo).

FREEZE, R.A & CHERRY, J.A. Groundwater. New Jersey: Prentice Hall, 1979. 604 p.

GROUNDWATER management: the use of numerical models. Edited by P. Van der Heidje, Y. Bachmat, J. Bredehoeft et al. 2 ed. Washington: American Geophysical Union, 1985. 180 p. (Water Resources Monograph, 5).

HUISMAN, L. Groundwater Recovery The Macmillan Press LTD, New York, 1972. 336 p.

LOHMAN, S.W. Groundwater hydraulics. Geological Survey Professional Paper. Washington, n. 708, p. 1-70, 1972.

----- Definitions of selected ground-water terms - Revisions and conceptual refinements. Geological Survey Professional Paper. Washington, n. 1988, p. 1-21, 1972.

MARGAT, J. Remarques sur le bilans d'eau des nappes captives. Chronique d'Hidrogeologie. Paris, n.11, p. 121-129, juin, 1967.

PESSOA, M.D. Inventário hidrogeológico básico do Nordeste: folha n. 13, Teresina - SE. Série Hidrogeologia. Divisão de Hidrogeologia. SUDENE. Recife, n. 57, p. 1-251, 1978.

----- Inventário hidrogeológico básico do Nordeste: folha n.18, São Francisco-NE. Série Hidrogeologia. Divisão de Hidrogeologia. SUDENE. Recife, n. 59, p. 1-257, 1979.

TODD, D.K. Groundwater hidrology. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1959. 319 p.