

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

Alex Cardoso Silva

**CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE SALINIZAÇÃO
DO AQUIFERO MARITUBA NO BAIRRO DO MUTANGE,
LAGOA MUNDAÚ – MACEIÓ - ALAGOAS**

Dissertação de Mestrado
2005

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

ALEX CARDOSO SILVA

Engenheiro de Minas, Universidade Federal da Bahia, 1999
Mestre, Universidade Federal de Pernambuco, 2005

**CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE SALINIZAÇÃO DO Aqüífero MARITUBA
NO BAIRRO DO MUTANGE , LAGOA MUNDAÚ – MACEIÓ - ALAGOAS**

Dissertação que apresentou ao Programa de Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, orientada pelo Prof. José Geilson Alves Demétrio, em preenchimento parcial para obter o grau de Mestre em Geociências, área de concentração hidrogeologia, defendida e aprovada em 25/11/2005.

RECIFE, PE
2005

Silva, Alex Cardoso

Caracterização do processo de salinização do aquífero Marituba no bairro do Mutange, Lagoa Mundaú – Maceió - Alagoas / Alex Cardoso Silva. – Recife : O Autor, 2005.

134 folhas : il., fig., tab.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Geociências, 2005.

Inclui bibliografia e anexos.

1. Geociências – Hidrogeologia. 2. Aquífero Marituba, Maceió (AL) – Processo de salinização - Caracterização . 3. Transmissividade do aquífero – Teste de bombeamento – Carga hidráulica. 4. Evolução hidrogeoquímica – Temporal e espacial. I. Título.

**556.334
551.49**

**CDU (2.ed.)
CDD (22.ed.)**

**UFPE
BC2006-178**

CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE SALINIZAÇÃO DO AQÜÍFERO MARITUBA
NO BAIRRO DO MUTANGE , LAGOA MUNDAÚ – MACEIÓ – ALAGOAS

ALEX CARDOSO SILVA

Aprovado

José Geilson Alves Demétrio 25/11/2005

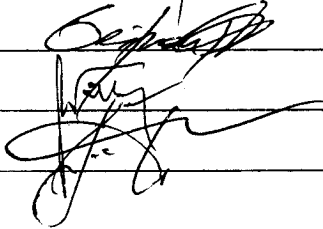
João Manoel Filho 25/11/2005

José Geraldo de Melo 25/11/2005

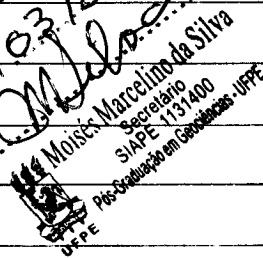
Ata da Defesa de Dissertação de Mestrado de Alex Cardoso Silva

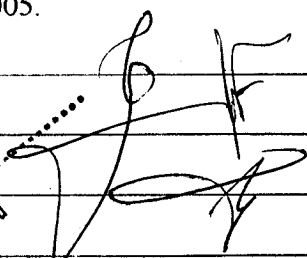
Aos 25 de novembro de 2005 (dois mil e cinco), às 9h00 (nove horas), no anfiteatro do Departamento de Geologia do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, reuniu-se a banca examinadora para a defesa da Dissertação de Mestrado de Alex Cardoso Silva, da área de concentração Hidrogeologia do Programa de Pós-Graduação em Geociências, composta pelos professores José Geilson Alves Demetrio (orientador), João Manoel Filho e José Geraldo de Melo (Departamento de Geologia da UFRN), cujos nomes foram indicados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Geociências e aprovados pela Diretoria de Pós-Graduação da PROPESQ/UFPE em 09 de novembro de 2005, uma vez que a referida banca atende às exigências da Resolução nº 03/98 do Conselho Coordenador de Ensino, Pesquisa e Extensão. A Profa. Lúcia Maria Mafra Valença, coordenadora do programa, abriu a sessão apresentando os membros da banca examinadora e passou a palavra ao Prof. José Geilson Alves Demetrio, Presidente da Banca Examinadora, o qual apresentou o mestrando, passando-lhe a palavra e concedendo-lhe 50 (minutos) minutos para exposição da dissertação intitulada "Caracterização do Processo de Salinização do Aquífero Marituba no Bairro do Mutange, Lagoa Mundaú - Maceió - AL". Após a exposição da dissertação pelo mestrando, o Prof. José Geilson Alves Demetrio passou a palavra ao Prof. José Geraldo de Melo, que teceu seus comentários sobre a dissertação e argüiu o mestrando, que apresentou sua defesa usando da palavra. Em seguida, foi dada a palavra ao Prof. João Manoel Filho, que também teceu seus comentários sobre a dissertação e argüiu o mestrando, o qual apresentou sua defesa usando da palavra. O Prof. José Geilson Alves Demetrio, usou da palavra, teceu seus comentários e fez algumas observações argüindo o mestrando, que apresentou sua defesa usando da palavra. Encerrada a fase de apresentação e defesa da dissertação, o Prof. José Geilson Alves Demetrio solicitou aos presentes que se retirassem do recinto para que a banca deliberasse. Após 05 (cinco) minutos, foi reaberta a sessão e tornada pública a menção "Aprovado" que foi dada por unanimidade pela banca examinadora. Em seguida, o senhor presidente deu por encerrada a sessão da qual eu, Moisés Marcelino da Silva, Secretário do Programa de Pós-Graduação em Geociências da UFPE, lavrei a presente ata, que assino com os componentes da banca examinadora. Recife, 25 de novembro de 2005.

Moisés Marcelino da Silva



A presente copia é a reprodução fiel do original, que me foi apresentado.
Recife, 31.03.2006


Moisés Marcelino da Silva
Secretário
SAPE-1131400
UFPE Pós-Graduação em Geociências - UFPE



Aos meus pais , Marinalva e Hermes; aos meus irmãos, Ahiram e Álisson; e a minha esposa Viviane, pelo incentivo e apoio durante a elaboração deste trabalho.

RESUMO

O aquífero Marituba pertence ao sistema Barreiras/Marituba, e está situado dentro da Bacia Sedimentar de Alagoas na região costeira do estado, exercendo um papel importante no sistema de abastecimento de água urbano e industrial do município de Maceió desde a década de 70, principalmente nas baterias de poços de Bebedouro e Mutange.

A crescente demanda por água registrada nas últimas décadas em Maceió, impulsionada pelo crescimento populacional, vem aumentando de forma exponencial o volume de água captado do aquífero Marituba.

O efeito do aumento de exploração foi percebido na bateria de poços do Mutange na década de 90, quando mudanças significativas na qualidade da água foram evidenciadas por meio de alterações nas concentrações dos íons. Os registros históricos das análises químicas mostraram uma elevação contínua e gradativa dos teores dos íons cloreto, cálcio, magnésio e sulfato, que demonstram estar evoluindo em direção à composição iônica da água do mar.

Os estudos hidrodinâmicos revelaram a existência de drenança para o aquífero Marituba, bem como pequenas variações cíclicas da carga hidráulica associadas às variações da maré. A transmissividade do aquífero Marituba na área estudada varia entre $3,3 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ e $1,1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. As regiões que apresentam menores transmissividades revelaram-se mais salinizadas.

PALAVRAS-CHAVE: aquífero Marituba, drenança, salinização, cloreto, cálcio, magnésio, sulfato.

ABSTRACT

The Marituba aquifer belongs to the Barreiras / Marituba system and is located inside of Alagoas Sedimentary Basin, in Alagoas' coastal region. Since the 1970's, aquifers play an important role in urban and industrial water supply to the city of Maceió, involving mainly wells from the Bebedouro and Mutange's group.

Maceió's demand for water has been increasing, especially during the last decades, stimulated by population growth. As a result, water exploitation from the Marituba aquifer has increased substantially. The impact of this increase in exploitation was observed by Mutange's wells in 1990's, when significant changes in water quality were noticed. Historical records of the chemical analyses of produced water showed a continuous and gradual concentration rise in the chloride, calcium, magnesium and sulphate ions, demonstrating a development towards seawater ionic composition.

Hydrodynamic studies showed water drainage from the Barreiras aquifer to the Marituba aquifer, as well as, small cyclical variations of hydraulic head associate with tide variations. The transmissivity of the Marituba aquifer in the area of study is between $3.3 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ and $1.1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. It has been observed that when transmissivity is lower, the water is more saline.

ÍNDICE

RESUMO	IV
ABSTRACT.....	V
ÍNDICE	VI
LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
1 - INTRODUÇÃO	11
1.1 - OBJETIVO	14
1.2 - METODOLOGIA	14
2 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA	15
2.1 - ASPECTOS SÓCIOECONÔMICOS	15
2.2 - ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS	17
2.3 - VEGETAÇÃO	18
2.4 - LAGOA MUNDAÚ.....	19
2.5 - EXTRAÇÃO DE SAL-GEMA.....	19
3 - GEOLOGIA	23
3.1 - GEOLOGIA REGIONAL.....	23
3.2 - GEOLOGIA LOCAL	25
4 - HIDROGEOLOGIA.....	30
4.1 - CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	36
4.2 - HISTÓRICO DA CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA BRASKEM.....	39
4.3 - POTENCIOMETRIA DO AQUÍFERO MARITUBA.....	42
4.4 - PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS	48
4.4.1 - Primeiro teste de bombeamento	48
4.4.2 – Segundo teste de bombeamento.....	49
4.4.3 - Influência da maré no aquífero Marituba.....	62
4.4.4 - Mapa de transmissividade.....	65
5 - HIDROGEOQUÍMICA.....	68
5.1 – PROCESSOS DE SALINIZAÇÃO	70

5.2 – SALINIZAÇÃO DO AQÜÍFERO MARITUBA	72
5.2.1 - <i>Evolução dos teores de cloreto na água</i>	72
5.2.2 - <i>Evolução dos teores de cálcio e magnésio</i>	80
5.2.3 - <i>Teor de sulfato na água</i>	83
5.2.4 - <i>Salmoura produzida na atividade mineral</i>	85
5.2.5 - <i>Relações iônicas</i>	87
6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	90
7 – AGRADECIMENTOS	92
8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
9 – ANEXOS	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição da captação de água na área de estudo.....	36
Tabela 2 - Dados dos poços construídos na década de 70.....	42
Tabela 3 - Dados dos poços atuais da bateria do Mutange	44
Tabela 4 - Rebaixamento observado no poço PW-09B durante o bombeamento	48
Tabela 5 - Parâmetros hidrodinâmicos calculados no 1º teste	49
Tabela 6 -Nível da água (m) nos poços antes do bombeamento	50
Tabela 7 - Vazão de bombeio do poço PW-19.....	51
Tabela 8 - Vazão de bombeio de todos os poços da bateria do Mutange	52
Tabela 9 - Rebaixamento no poço PW-20 durante o bombeamento do PW-19	54
Tabela 10 - Rebaixamento no poço PW-10A durante o bombeamento do PW-19.....	55
Tabela 11 - Variação da maré nos dias anteriores ao bombeamento (DHN,2005).....	63
Tabela 12 - Variação da maré e nível estático do PW-13 no dia 6/5/2005	64
Tabela 13 - Parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Marituba na área de estudo.....	65
Tabela 14 - Parâmetros hidrodinâmicos equivalentes do aquífero Barreiras/Marituba	65
Tabela 15 - Espessura do aquífero Marituba	67
Tabela 16 - Principais íons da água do mar.....	70
Tabela 17 - Composição da salmoura produzida	86
Tabela 18 - Valores de cloreto, cálcio e magnésio na água utilizada na extração do sal	86
Tabela 19 - Características físico-químicas da água do aquífero Marituba , da lagoa Mundaú e do mar.....	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Evolução da população mundial e do uso da água doce no mundo.....	11
Figura 2 - Evolução da população urbana e rural.....	12
Figura 3 - Localização da Área de Estudo	16
Figura 4 - Precipitações e umidade relativa na estação Maceió (1961 – 1990).....	17
Figura 5 - Evaporação e temperatura média na estação Maceió (1961 – 1990).	18
Figura 6 - Taxas de insolação mensais na estação Maceió (1961 – 1990).	18
Figura 7 - Localização dos poços de sal	21
Figura 8 - Completação dos poços de sal.....	22
Figura 9 - Carta Estratigráfica da Bacia de Alagoas.....	24
Figura 10 - Mapa Geológico da Bacia de Alagoas	26
Figura 11 - Seção geológica dos poços 1CS 01AL - M# 7 –1PV-1AL.....	29
Figura 12 - Mapa sub-Barreiras na região metropolitana de Maceió	32
Figura 13 - Mapa de localização dos poços de água	33
Figura 14 - Seção geológica dos poços PW-19 ao PW-12B	34
Figura 15 - Seção geológica dos poços PW-20 ao PW-18.....	35
Figura 16 - Bateria de poços próxima à área de estudo.....	37
Figura 17 - Fluxograma de Processo	38
Figura 18 - Mapa de localização dos poços em 1975	41
Figura 19 - Potenciometria do aquífero Marituba em 1975	43
Figura 20 - Evolução da carga hidráulica nos poços (PW-07 e PW-12B).....	45
Figura 21 - Evolução da carga hidráulica nos poços (PW-14, PW-15 e PW-16)	45
Figura 22 - Evolução da carga hidráulica nos poços (PW-17, PW-18, PW-19 e PW-20).....	46
Figura 23 - Potenciometria do aquífero Marituba em 2004	47
Figura 24 - Curva de rebaixamento observado no poço PW-09B	49
Figura 25 - Variação dos níveis dos poços antes do bombeamento	51
Figura 26 - Curva de rebaixamento do poço PW-20	53
Figura 27 - Curva de rebaixamento do poço PW-10A.....	56
Figura 28 - Curva de rebaixamento do poço PW- 08	57
Figura 29 - Curva de rebaixamento do poço PW-13	57
Figura 30 - Curva de rebaixamento do poço PW-14	58
Figura 31 - Curva de rebaixamento do poço PW-16	58
Figura 32 - Curva de rebaixamento do poço PW-17	59

Figura 33 - Curva de rebaixamento do poço PW-17A	59
Figura 34 - Curva de rebaixamento do poço PW-07	60
Figura 35 - Curva de rebaixamento do poço PW-07B	60
Figura 36 - Curva de rebaixamento do poço PW-23	61
Figura 37 - Curva de rebaixamento do poço PW-12B	61
Figura 38 - Curva de rebaixamento do poço PW-18	62
Figura 39 - Variação da maré e do nível estático no poço PW-13	64
Figura 40 - Mapa de transmissividade do aquífero Marituba	66
Figura 41 - Mapa de espessura do aquífero Marituba	67
Figura 42 - Comportamento em coluna experimental da intrusão salina	71
Figura 43 - Evolução da concentração de cloreto no poço PW-10A	72
Figura 44 - Evolução da concentração de cloreto no poço PW-08	73
Figura 45 - Evolução da concentração de cloreto no poço PW-19	74
Figura 46 - Evolução da concentração de cloreto no poço PW-09B	75
Figura 47 - Evolução da concentração de cloreto no poço PW-23	75
Figura 48 - Evolução da concentração de cloreto no poço PW-12B	76
Figura 49 - Evolução da concentração de cloreto no poço PW-18	76
Figura 50 - Mapa de isotores de cloreto em 1998	77
Figura 51 - Mapa de isotores de cloreto em 2001	78
Figura 52 - Mapa de isotores de cloreto em 2003	79
Figura 53 - Mapa de isotores de cloreto em 2004	80
Figura 54 - Correlação entre os teores de cloreto e cálcio / magnésio	81
Figura 55 - Mapa de isotores de cálcio em 2004	82
Figura 56 - Mapa de isotores de magnésio em 2004	83
Figura 57 - Correlação entre os teores de cloreto e sulfato	84
Figura 58 - Mapa de isotores de sulfato em 2004	85
Figura 59 - Evolução do teor de magnésio na salmoura	87
Figura 60 - Correlação entre cloreto x cálcio e cloreto x magnésio nas águas do Marituba, da lagoa Mundaú e do mar	89

1 - INTRODUÇÃO

A água é uma substância essencial à vida, e como tal, está presente no nosso cotidiano, quer seja no consumo humano, no agronegócio, como matéria-prima na indústria ou como força motriz na geração de energia elétrica. Com tantas utilidades, o suprimento de água doce, na quantidade e qualidade desejadas tornou-se um grande desafio para a humanidade no século 21.

As fontes de água doce do planeta são escassas, visto que apenas 30% estão disponíveis sob a forma de rios, lagos ou água subterrânea; por outro lado, 70% estão concentradas na Antártida como icebergs e formações glaciais (UN & WWAP,2003). Em contrapartida, o consumo mundial de água doce se elevou de 1 bilhão de quilômetros cúbicos por ano registrados na década de 40, para mais de 5 bilhões de quilômetros cúbicos por ano em 2000 (figura 1). Isto é resultado do crescimento acelerado da população mundial, que nos últimos 100 anos saltou de 1,5 bilhão para mais de 6 bilhões de pessoas no ano de 2000 (UN & WWAP,2003 op. cit).

População mundial e uso da água doce no mundo

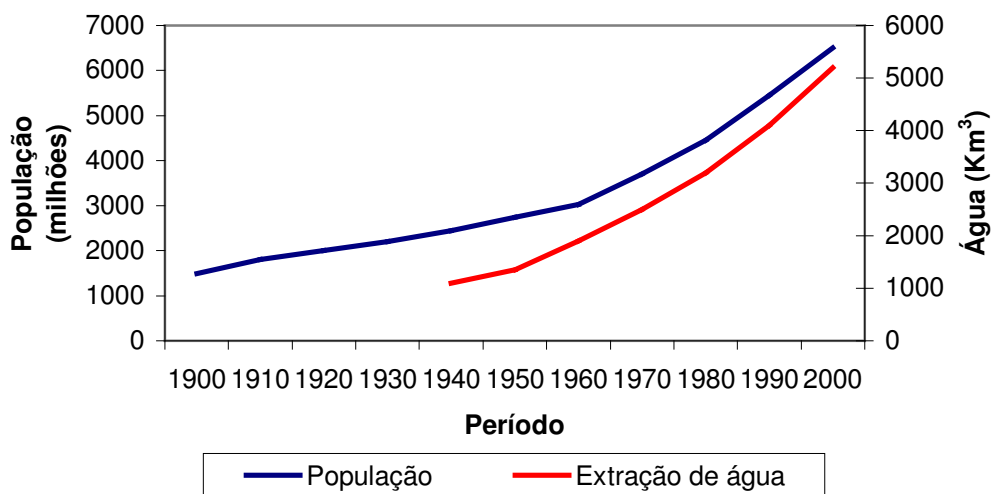


Figura 1- Evolução da população mundial e do uso da água doce no mundo.

Adaptado(UN & WWAP,2003)

Apesar do crescimento populacional expressivo observado nos últimos 50 anos, foi o aumento da densidade demográfica em algumas regiões, provocado pela migração de pessoas da zona rural para a urbana, que causou os maiores problemas de gestão dos recursos hídricos. De acordo com a Secretaria do 3º Fórum Mundial da Água, realizado em

2003 no Japão, metade da população mundial está concentrada nas grandes cidades ocupando apenas 4% das terras do planeta, e a expectativa é que em 2020 (UN & WWAP,2003 op. cit) este número ultrapasse 60% desta população, enquanto que a população rural deverá estabilizar-se em 2010 (figura 2).

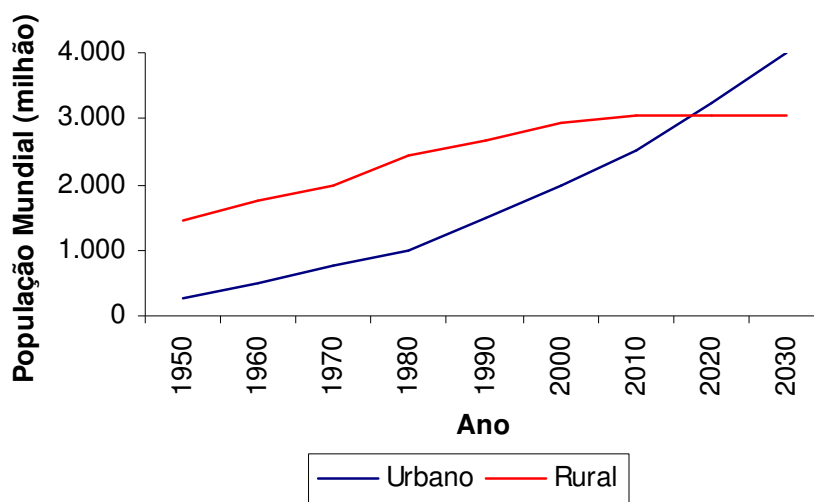


Figura 2 - Evolução da população urbana e rural.

Adaptado (UN & WWAP,2003)

Como consequência deste processo de ocupação, as águas superficiais, como rios e lagos, foram as mais afetadas pela poluição doméstica e industrial, e ao longo dos anos sofreram modificações quanto à qualidade da água. Por outro lado, os aquíferos, por estarem em sua grande maioria protegidos dos efeitos da atividade humana devido às camadas impermeáveis e semipermeáveis que se lhes sobrepõem, sofreram um menor impacto do efeito da poluição.

Entretanto, o avanço do conhecimento geológico, o advento de novas tecnologias de perfuração e equipamentos de bombeio permitiram a crescente expansão da extração da água subterrânea ocorrida entre 1950 e 1975 em países industrializados, e entre 1970 e 1990 nos países em desenvolvimento (UN & WWAP,2003 op. cit). Estes fatos, acompanhados pela elevada demanda de água nas grandes cidades, induziram altas taxas de extração nos aquíferos, que provocaram mudanças significativas na qualidade da água, principalmente em zonas urbanas localizadas em regiões costeiras e suas proximidades.

A captação de água nos aquíferos em zonas costeiras situa-se, às vezes, muito próxima da interface da água doce com a água do mar. Sendo assim, extrações em níveis elevados nestes aquíferos provocam rebaixamentos expressivos, alterando o equilíbrio hidrodinâmico preexistente. Como resultado deste processo, o fluxo de água doce que migra para o oceano é reduzido, permitindo que água do mar penetre no aquífero, contaminando-o

com sais solúveis, como cloreto de sódio (NaCl) , cloreto de magnésio (MgCl₂),e sulfato de magnésio (MgSO₄), que são abundantes no ambiente marinho. Este fenômeno é conhecido como intrusão marinha.

Todavia, a intrusão marinha não é a única forma de salinização. Stuyfzand & Stuurman (1994) identificaram pelo menos mais oito fontes de contaminação por sais. São elas:

- Agricultura;
- Evaporação e concentração / precipitação de sais ;
- Hiperfiltração;
- Infiltração de poluentes de águas superficiais de origem não marinha;
- Lavra de evaporitos;
- Transgressão marinha;
- Poluição local;
- Contaminação por águas conatas.

No mundo, vários casos de contaminação da água subterrânea por intrusão salina já foram estudados. Izbicki (1996) demonstrou que a contaminação do aquífero Mugu na costa da Califórnia (EUA), onde foram observados teores de cloreto acima 6.300 ppm, foi provocada pela penetração da água do mar. Na Espanha, Cuenca et al (1988) mostraram que uma intrusão marinha fóssil ligada à transgressão marinha no período quartenário em materiais detríticos não cimentados contaminou o aquífero da região de Cartagena.

No Brasil, alguns casos de salinização estão sendo estudados, dentre eles, a contaminação do aquífero na região metropolitana de Recife. Farias et al (2003) apontam como prováveis causas desta contaminação a drenança proveniente de camadas superiores salinizadas pela presença de mangues e a passagem de água salinizada dessas camadas superiores através do espaço anelar de poços mal construídos ou abandonados.

Barroso (2001) realizou estudos hidroquímicos do sistema Barreiras –Marituba em Maceió identificando um processo de salinização em alguns poços de água pertencentes à Companhia de Abastecimento D'Água e Saneamento do Estado de Alagoas - CASAL, cujos teores de cloreto aumentaram vertiginosamente, passando de 40 para 616 ppm em 6 anos de operação.

Às margens da lagoa Mundaú, onde está localizada a unidade de extração de sal da Braskem S.A., maior empresa petroquímica da América Latina, produtora de soda cáustica e PVC, observa-se também um processo gradativo de salinização no aquífero Marituba, cujos primeiros indícios ocorreram no início da década de 90.

1.1 - OBJETIVO

A contenção e a prevenção do avanço da salinização do aquífero Marituba tornam-se necessárias, no entanto é fundamental entender os mecanismos que regem o processo de salinização, a origem e a distribuição da salinidade, para que medidas adequadas sejam tomadas objetivando a proteção do aquífero. Sendo assim, a proposta do presente trabalho é caracterizar a salinização neste aquífero, utilizando dados físico-químicos e hidrodinâmicos obtidos dos poços de água da Braskem S.A., localizada no bairro do Mutange, na cidade de Maceió-AL.

1.2 - METODOLOGIA

O estudo da salinização do aquífero Marituba foi baseado nas informações provenientes do acervo técnico da Braskem S.A., onde foram obtidos os dados geológicos (perfis litológicos) dos poços perfurados para extração de sal-gema, mapas geológicos (PETROBRÁS/DNPM), perfis construtivos dos poços de captação de água, coordenadas e cotas de todos os poços de água e de extração de sal, níveis estáticos da década de 70, além do histórico de dados físico-químicos da água disponíveis, contendo informações, como teores dos íons Cl^- , Ca^{+2} , Mg^{+2} , SO_4^{-2} e HCO_3^- . Outrossim, informações sobre as características físico-químicas da salmoura produzida entre os períodos de 1995 e 2004, tais como teores de Cl^- , Ca^{+2} , $\text{Mg}^{+2,+}$, foram coletadas com a finalidade de avaliar a possibilidade de contaminação do aquífero pela atividade de extração da halita.

A fim de verificar uma possível contaminação do aquífero Marituba pela lagoa Mundaú, foram coletadas amostras e realizadas, pelo laboratório Betz GE, análises físico-químicas da água (pH, Cl^- , Ca^{+2} , Mg^{+2} , SO_4^{-2} e HCO_3^- , condutividade elétrica), efetuando a comparação com os resultados das análises da água dos poços.

Para estimar os parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Marituba foram realizados dois testes em 2003. O primeiro foi realizado durante um período de 12 horas, no qual foram observados os rebaixamentos em apenas um poço, enquanto o segundo teste foi realizado durante um período de 72 horas, utilizando 14 poços de observação. Em 2005 foram coletadas informações do nível estático de um poço durante um período de 24 horas, para verificar possíveis influências da variação da maré no aquífero Marituba.

De posse de todas as informações, foram construídas as seções geológicas, os mapas de isoteores de cloreto, cálcio, magnésio e sulfato, elaborados os mapas de transmissividade, potenciometria e o mapa de espessura do aquífero, como também calculadas as relações entre os íons contidos na água. Estes dados foram interpretados e

correlacionados, a fim de identificar as prováveis causas da salinização e propor soluções para minimizar a contaminação do aquífero.

2 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A área de estudo situa-se dentro da Bacia Sedimentar de Alagoas, entre as coordenadas UTM 8.933.000 e 8.934.600 mN, e 197.600 e 198.800 mE, 35º W, zona 25L (figura 3), no bairro do Mutange, localizado na cidade de Maceió, no Estado de Alagoas, às margens da lagoa Mundaú, ocupando uma área de 0,42 km².

A lagoa Mundaú é um sistema estuarino do rio Mundaú, localizado a oeste da cidade de Maceió, ocupando uma área de 23.122 km², cuja direção do eixo principal é noroeste-sudeste (figura 3).

Inserida na área de estudo estão a unidade de extração de sal-gema da Braskem S.A., conjuntos habitacionais, hospitais, órgãos estaduais (Instituto do Meio Ambiente), escolas estaduais e particulares, além de pequenos estabelecimentos comerciais.

2.1 - ASPECTOS SÓCIOECONÔMICOS

Maceió, a capital do Estado de Alagoas, é uma cidade litorânea com 797.759 habitantes (IBGE, 2000), e uma área de 511 km². Na condição de cidade mais importante do estado, possui um porto, um aeroporto, e uma malha rodoviária estadual e federal ligando-a aos estados de Pernambuco, Bahia e Sergipe.

A economia é voltada principalmente para o comércio e o setor de serviços, no qual o turismo se destaca como uma importante fonte de renda. No setor industrial, Maceió conta com uma planta de cloro-soda e seus derivados, fábricas de alimentos, equipamentos eletromecânicos, além da indústria de açúcar e álcool, responsável por grande parte da movimentação do porto de Maceió, atingindo 2,7 milhões de toneladas em 2002, dos quais 2 milhões para exportação (Porto de Maceió, 2002). O setor mineral é bastante restrito; neste se destacam a extração de sal-gema, água mineral, produção de petróleo e gás, como também, unidades de beneficiamento de rochas ornamentais.

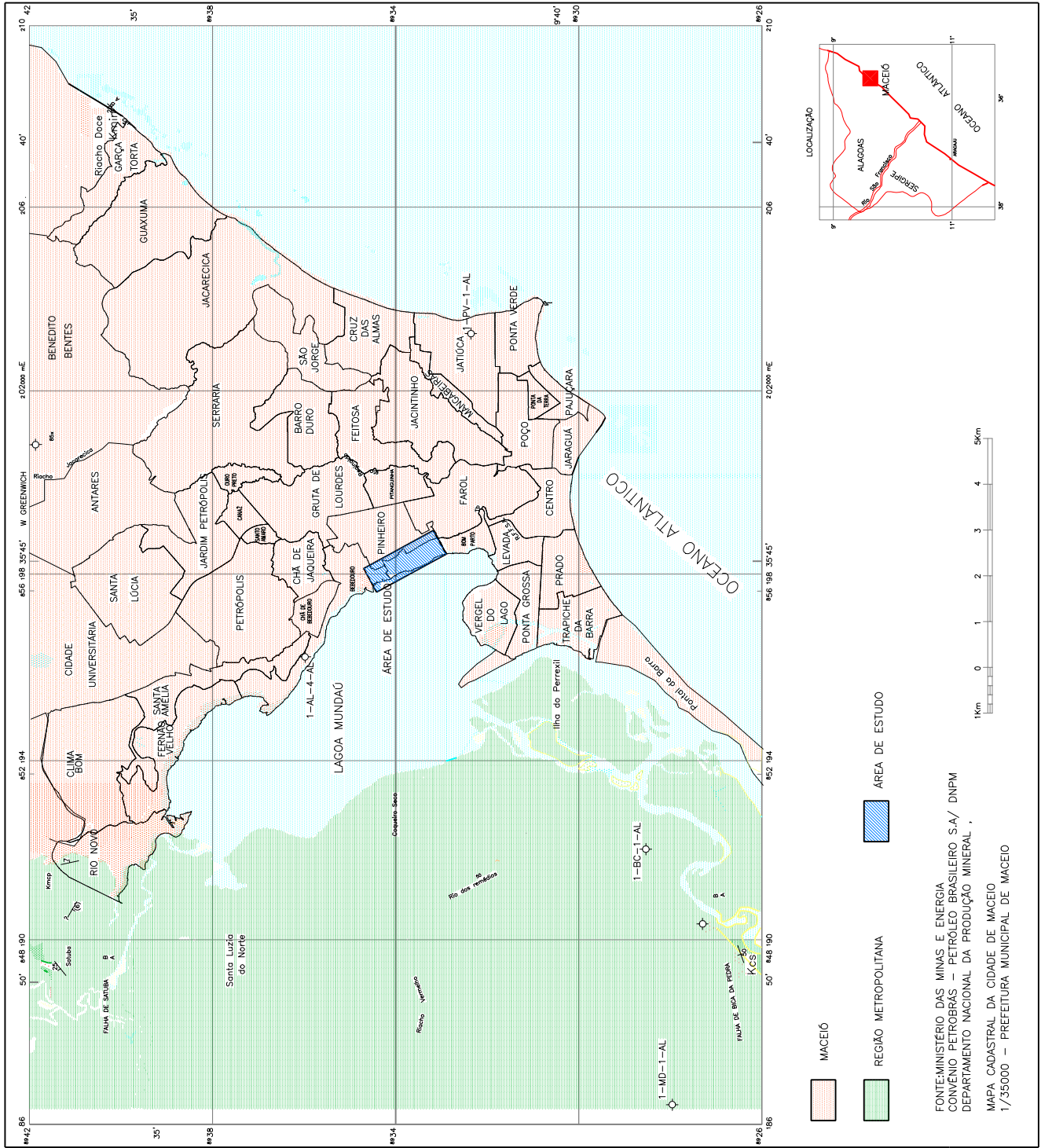


FIGURA 3 - LOCALIZAÇÃO ÁREA DE ESTUDO

2.2 - ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS

O clima na cidade de Maceió é caracterizado como tropical úmido com dois períodos distintos: chuvoso, entre março e agosto, e seco, entre setembro e fevereiro. Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET,2005), no período entre 1961 e 1990, as precipitações na estação chuvosa atingiram valores médios de 300 mm/mês, enquanto nas estações secas, valores médios menores que 50 mm/mês foram observados (figura 4).

Durante o período chuvoso a umidade relativa do ar varia entre 79% e 83%, enquanto que no período seco, a umidade relativa fica em torno de 75% (figura 4). As taxas de evaporação (figura 5) atingem 130 mm no mês de dezembro e 70 mm em maio, segundo o INMET (2005).

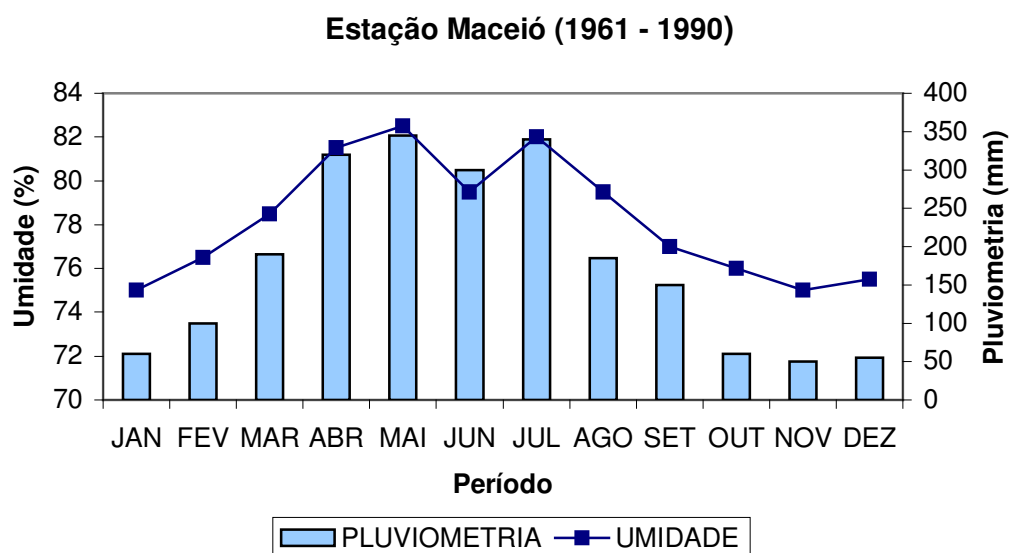


Figura 4 - Precipitações e umidade relativa na estação Maceió (1961 – 1990).

Adaptado (INMET, 2005)

A temperatura média anual em Maceió situa-se entre 23,5 °C e 26,5°C (INMET,2005), entretanto, é no mês de dezembro que os valores máximos são registrados (figura 5). Quanto à taxa de insolação, no verão atingem valores acima de 250 horas/mês, e no inverno, valores abaixo de 190 horas/mês são observados (figura 6).

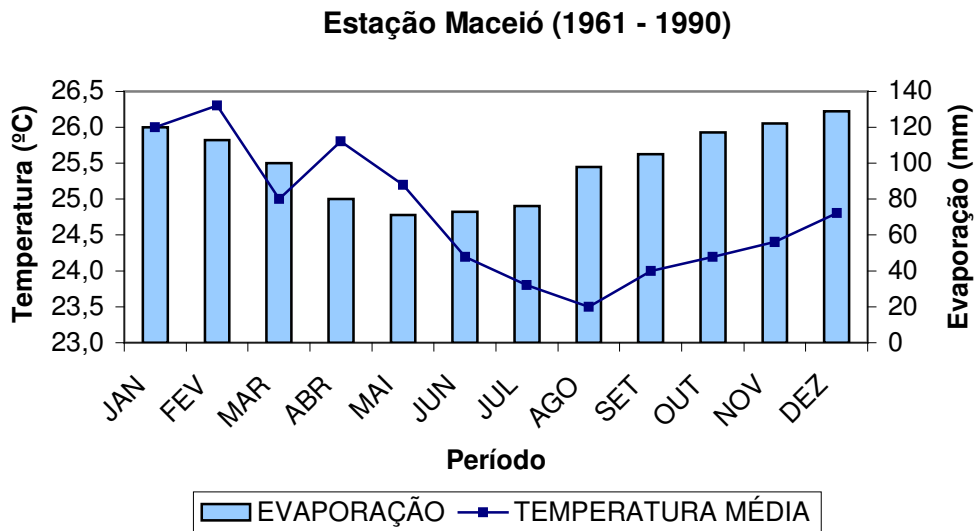


Figura 5 - Evaporação e temperatura média na estação Maceió (1961 – 1990).

Adaptado (INMET,2005)

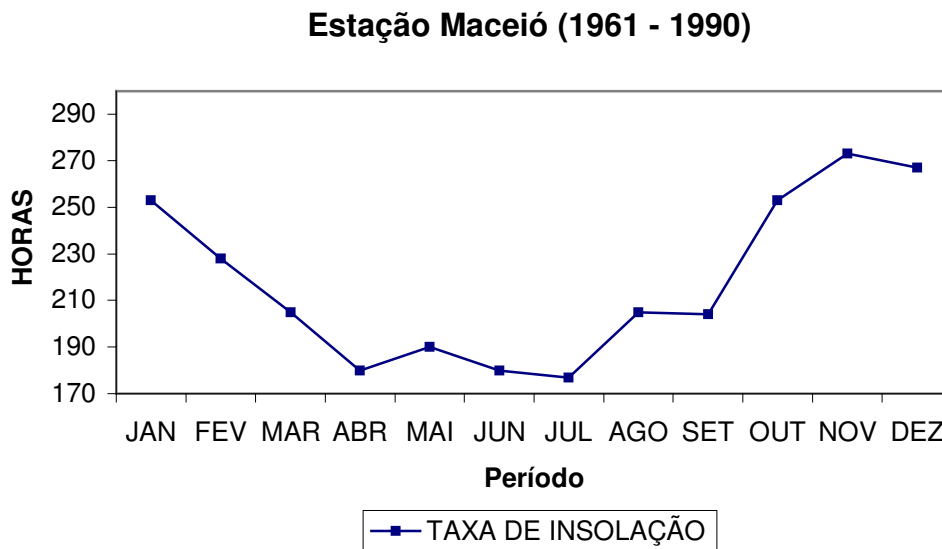


Figura 6 - Taxas de insolação mensais na estação Maceió (1961 – 1990).

Adaptado (INMET,2005)

2.3 - VEGETAÇÃO

Segundo Diegues (1998), a vegetação da região estudada é constituída por espécies da restinga e dos mangues. Encontram-se espécies como *Ipomoea pescaprae* (salsa da

praia), *Remirea maritima* (alecrim da praia), *Canavalia obtusifolia* (feijão da praia) e *Paspalum vaginatum* (capim da praia). Dentre as espécies de mangue ocorrem vegetações como *Laguncularia racemosa* (mangue branco), *Rhizophora mangle* (mangue vermelho), *Hibiscus titiaceus* (guaxuma) e *Avicenia schueriana* (mangue preto).

2.4 - LAGOA MUNDAÚ

A lagoa Mundaú é o estuário do rio Mundaú, cuja bacia hidrográfica está situada parte em Pernambuco, onde o rio nasce, e outra em Alagoas. Segundo COTEC (1999), a lagoa Mundaú está interligada com a lagoa Manguaba na região dos canais, existindo uma única comunicação com o mar. O complexo estuarino lagunar Mundaú - Manguaba (CELMM) margeia vários núcleos urbanos dos municípios de Maceió, Marechal Deodoro, Pilar, Coqueiro Seco, Santa Luzia do Norte, Satuba e Rio Largo.

Segundo Lima (1990), a lagoa Mundaú sofre influências das marés que, através dos inúmeros canais, facilitam a entrada e saída da água do mar, como também das cheias do rio Mundaú. A presença de água salgada, por sua vez, a torna salobra, propiciando a presença de mangues que a margeiam. Santos (1998) constatou que, em junho de 1984, a amplitude máxima da maré na estação Porto de Maceió foi de 2,04 m e na lagoa Mundaú foi de 0,31 m.

Segundo Santos (1998 op. cit), a salinidade da lagoa Mundaú na estação seca alcança valores de 36,2‰ próximo à região de comunicação com o mar e 8,8‰ no delta do rio Mundaú, enquanto na estação chuvosa foram observados valores da ordem de 33,5‰ na região de comunicação com o mar e 0,1‰ no delta do rio.

Segundo COTEC (1999), o rio Mundaú sofre a influência dos esgotos lançados às suas margens em Satuba, Santa Luzia do Norte, Coqueiro Seco e região metropolitana de Maceió.

2.5 - EXTRAÇÃO DE SAL-GEMA

Os depósitos salinos na cidade de Maceió foram descobertos na década de 40 pelo Conselho Nacional de Petróleo, no local onde hoje está situado o Centro Sportivo Alagoano, mais conhecido como CSA. A jazida de halita está disposta em camadas intercaladas por folhelhos. O topo do sal encontra-se a 900 m, e a base a 1.200 m de profundidade.

A extração do mineral é realizada através do método de dissolução subterrânea que consiste na injeção de água através de poços profundos que atravessam a camada de sal-gema, com a finalidade de dissolvê-lo e conduzi-lo até a superfície sob a forma de salmoura.

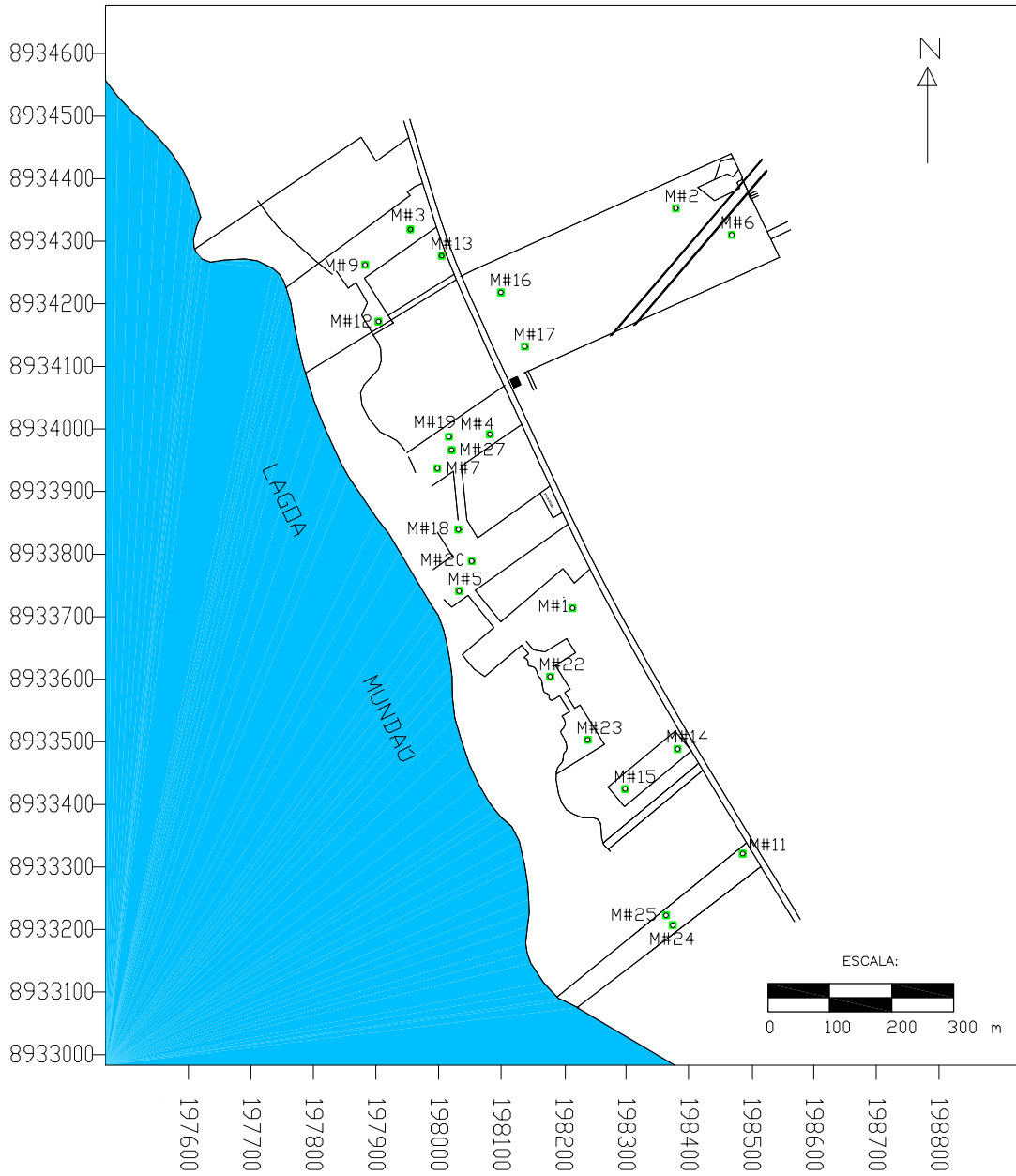
Os poços de extração de sal-gema (figura 7) serão denominados neste trabalho de poços de sal. Estes poços são perfurados e completados segundo a tecnologia petrolífera utilizada mundialmente. Os poços de sal podem ter o perfil vertical ou direcional; este último é empregado quando o acesso vertical à jazida é difícil, geralmente devido à presença de mangues ou mesmo a lagoa Mundaú.

A perfuração dos poços de sal é composta por etapas e controles que visam garantir a integridade do projeto. A 1ª etapa executada durante a construção de um poço de sal é a cravação de uma tubulação de 20" de diâmetro até 20 m de profundidade, cuja finalidade é evitar a perda do fluido de perfuração nos primeiros metros. Na 2ª etapa inicia-se a perfuração propriamente dita, utilizando-se um fluido à base de bentonita, e uma broca de 17 ½" que perfura até 305 m de profundidade, onde posteriormente é cimentado um revestimento de 13 3/8" de aço carbono, cuja sapata fica posicionada a 300 m. A fim de verificar a qualidade da cimentação é realizado um exame CBL /VDL (Cement Bound Log/ Variable Density Log) em toda sua extensão.

Após o controle de qualidade da primeira cimentação, prossegue a perfuração utilizando-se uma broca de 12 ¼" que perfura até 800 m utilizando fluido à base de carboximetilcelulose (CMC), e entre 800 m e 1.200 m utiliza-se outro de tipo de CMC saturado em cloreto de sódio para evitar a dissolução da camada de sal ao atravessá-la. Completada esta etapa, é instalado um revestimento de 9 5/8" até 1.100 m de profundidade, onde é realizada a cimentação em dois estágios para evitar fraturamento da formação.

A completação do poço de sal é a última etapa da construção. Neste estágio são instalados 1.180 m de revestimento de 7" e 1.195 m de revestimento de 4 ½", que permanecem suspensos e ancorados na cabeça do poço (figura 8). O processo de dissolução inicia-se no momento em que a água é injetada, por meio de bombas centrífugas localizadas na estação de bombeio, através do revestimento de 4 ½". O sal dissolvido, sob a forma de salmoura, ascende à superfície pelo espaço anular entre os revestimentos de 7" e 4 ½", e é conduzido até a estação de bombeio por meio de tubulações de 8" de aço carbono.

UTM N (m)



UTM E (m)

FIGURA 7 -LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS DE SAL

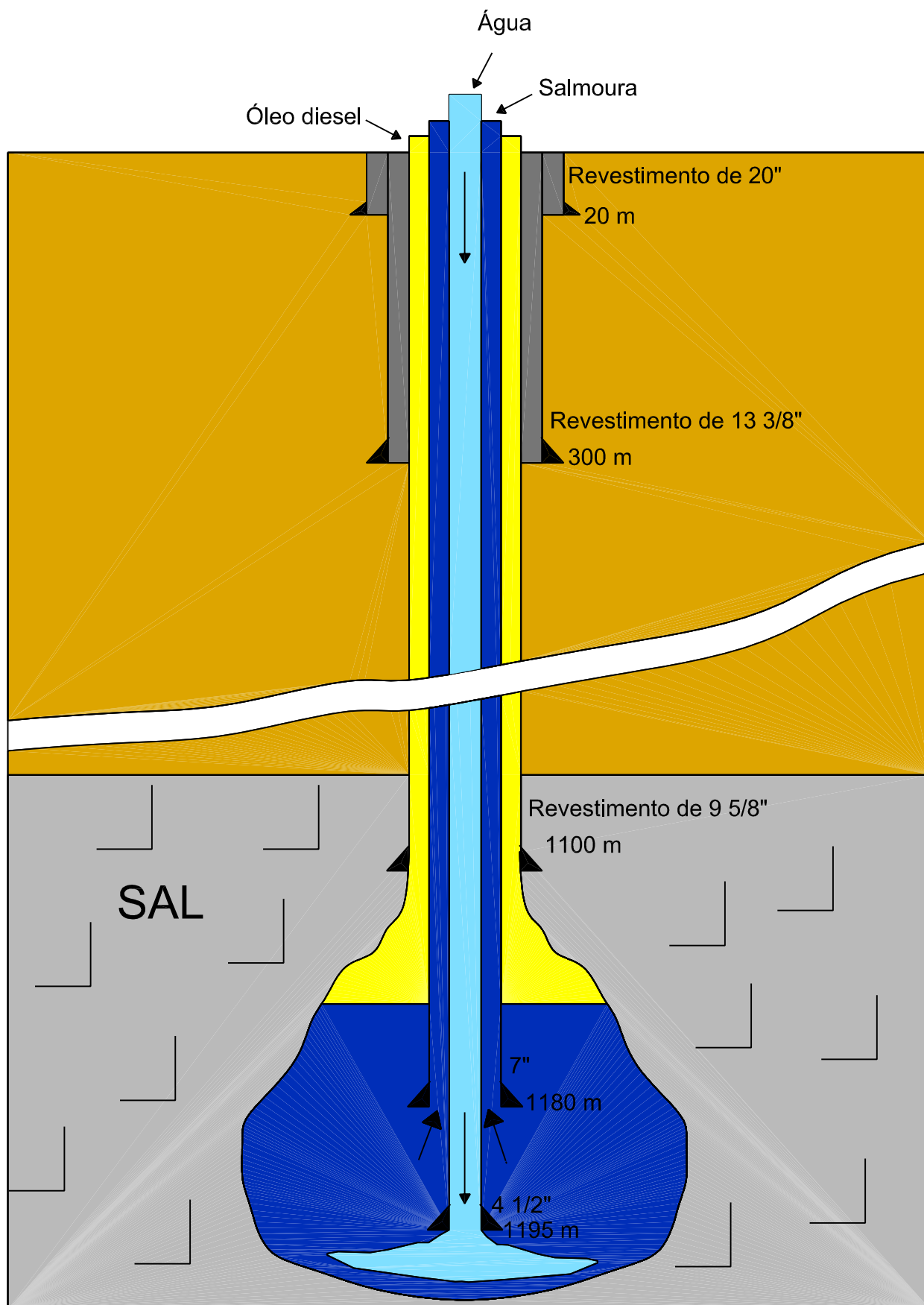


FIGURA 8 - COMPLETAÇÃO DOS POÇOS DE SAL

3 - GEOLOGIA

3.1 - GEOLOGIA REGIONAL

As bacias de Sergipe e Alagoas ocupam uma faixa alongada na costa leste brasileira, entre os paralelos 9° e 11° sul, limitada ao norte pelo Alto do Maragogi, com a bacia Pernambuco-Paraíba, e ao sul com a Bacia de Jacuípe. A área emersa destas bacias é de 13.000 km², e a porção submersa alcança 20.000 km² até a cota batimétrica de -2000 m, (Feijó, 1994).

As bacias de Sergipe e Alagoas foram individualizadas a partir de diferenças importantes em seu caráter estrutural e estratigráfico (Feijó, 1994 op. cit), e são limitadas pelo Alto de Jaboaatã-Penedo. A nomenclatura litoestratigráfica mantém a precedência das definições de Schaller (1969), tendo sido incorporadas as modificações propostas por Figueiredo (1978) e Feijó & Lana (1990).

Segundo Feijó (1994 op. cit), a deposição da Bacia Alagoas sobre o embasamento iniciou-se no período Neopaleozóico , quando foram depositadas as formações Batinga e Aracaré do Grupo Igreja Nova. Sobrepostas a estas, foram depositadas as rochas clásticas flúvio-lacustres neojurássicas e eocretáceas pertencentes ao Grupo Perucaba, composto pelas formações Candeeiro, Bananeiras e Serraria.

No período Cretáceo foram depositados os sedimentos clásticos e evaporíticos do Grupo Coruripe (Formações Barra de Itiúba, Penedo, Coqueiro Seco, Poção, Ponta Verde e Maceió), caracterizados pelas rápidas variações de fácies, correspondentes aproximadamente às fases rift e transicional das bacias de Sergipe e Alagoas. Sobrepostas a estas, foram depositadas as rochas carbonáticas de origem marinha do Grupo Sergipe, compostas pelas formações Riachuelo e Cotinguiba no período albiano-cenomaniano. Durante os períodos neocretáceo e terciário foram depositados os sedimentos clásticos e carbonáticos de origem marinha do Grupo Piaçabuçu, composto pelas formações Calumbi, Mosqueiro e Marituba. No período neoceno-zóico foram depositados os sedimentos clásticos continentais finos e grossos da Formação Barreiras (figura 9).

3.2 - GEOLOGIA LOCAL

Na região metropolitana de Maceió observa-se o afloramento apenas das Formações Barreiras e Sedimentos de Praia e Aluvião, como pode ser visto no mapa geológico da figura 10. A descrição da geologia local adotada neste trabalho é baseada na classificação mais recente feita por Feijó (1994).

Grupo Coruripe – as rochas do Grupo Coruripe são principalmente clásticas e evaporíticas, e notabilizam-se pelas bruscas variações de fácies. Englobam as formações Barra de Itiúba, Penedo, Rio Pitanga, Coqueiro Seco, Ponta Verde, Poção, Maceió e Muribeca.

Formação Penedo – formada por espessos leitos de arcóseo fino a grosso, mal selecionado, branco e cinzento a amarelado, com estratificação cruzada acanalada freqüentemente deformada por gigantescas fluidizações. Está sotoposta concordantemente à Formação Coqueiro Seco. Esta unidade foi relatada no poço da Petrobrás 1CS 01-AL (figura 11) a 2.954 m de profundidade.

Formação Coqueiro Seco – é constituída por alternâncias de arcóseo fino a grosso, acastanhado, micáceo e folhelho síltico castanho. Está sotoposta concordantemente à Formação Ponta Verde e Maceió. Grada lateralmente para a Formação Poção na Bacia de Alagoas. Esta unidade foi relatada no poço da Petrobrás 1CS 01-AL (figura 11) e está compreendida entre 606 e 2.954 metros de profundidade. Nos municípios de Coqueiro Seco, Marechal Deodoro e Satuba esta unidade encontra-se sob a Formação Barreiras (figura 12).

Formação Maceió – é formada por intercalações de arcóseo fino a grosso cinza – claro e castanho, folhelho betuminoso castanho com interlaminacões de anidrita e dolomita, e camadas de halita informalmente denominadas de Evaporitos Paripueira. Esta unidade era membro da Formação Muribeca (Schaller, 1969), mas foi promovida a formação por ser mapeável como unidade independente. Os folhelhos betuminosos, com anidrita subordinada, foram reunidos no membro Tabuleiro dos Martins. Esta unidade foi relatada no poço de sal da Braskem M# 07 (figura 11) e está compreendida entre 680 e 1.200 metros de profundidade.

Formação Poção – caracterizada por conglomerados com seixos e matacões de rochas graníticas de até 3 m de diâmetro em matriz arcoseana muito mal selecionada. Estas rochas ocorrem somente na Bacia de Alagoas, e eram anteriormente chamadas de membro Carmópolis da Formação Muribeca (Schaller, 1969). A Formação Poção grada lateralmente para as formações Penedo, Coqueiro Seco e Maceió. Esta unidade foi relatada no poço de sal da Braskem M# 07 (figura 11) e está compreendida entre 330 e 680 metros.

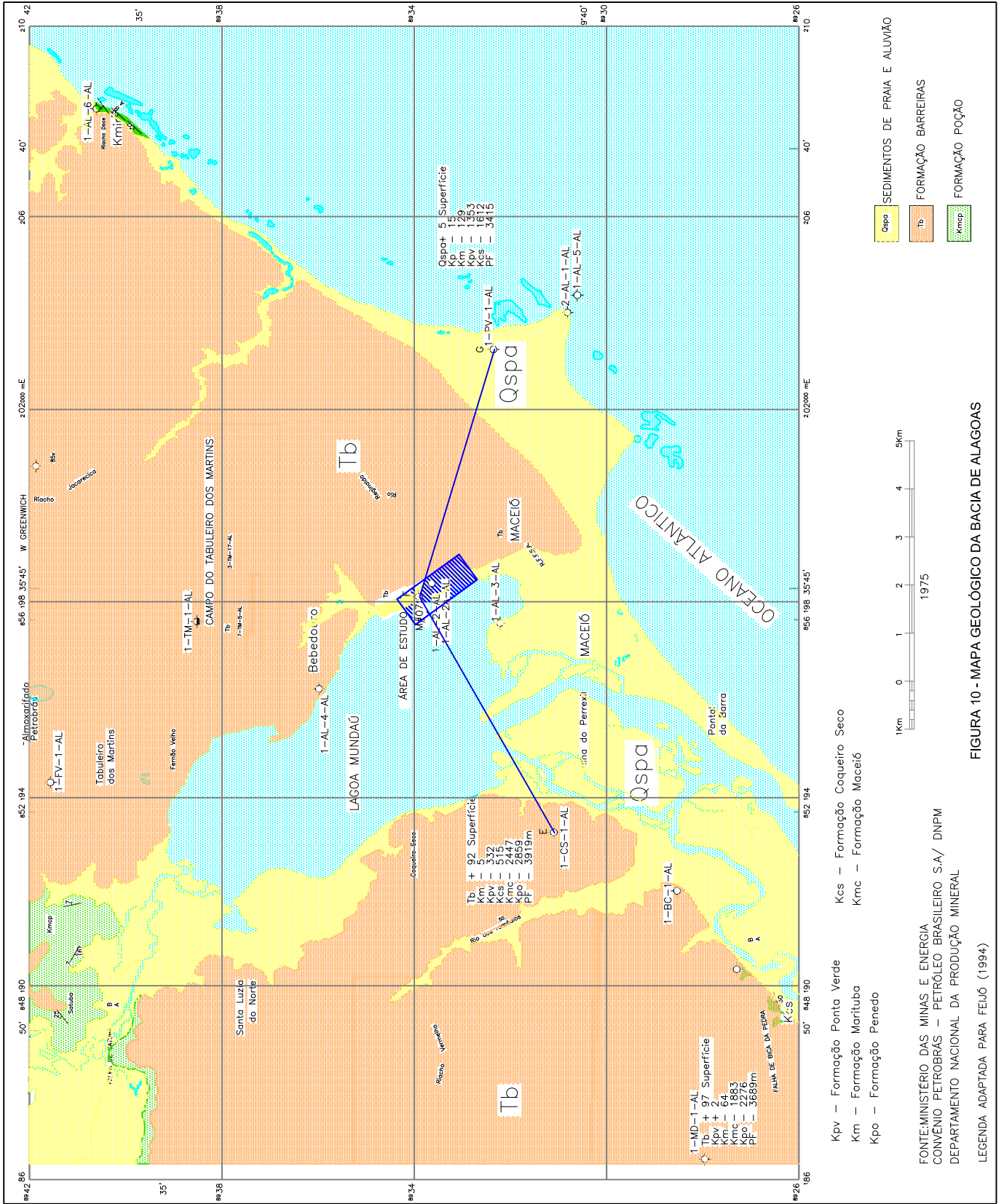


FIGURA 10 - MAPA GEOLÓGICO DA BACIA DE ALAGOAS

Formação Ponta Verde – é constituída por folhelho cinza-esverdeado, com formato acicular em amostras de calha. Interpõe-se concordantemente às formações Coqueiro Seco e Maceió, em parte da bacia de Alagoas. Esta unidade foi relatada no poço da Petrobrás 1CS 01-AL (figura 11) e está compreendida entre 427 e 606 metros de profundidade.

Grupo Piaçabuçu – definido por Schaller (1969) como formação, foi promovido a grupo reunindo as rochas clásticas e carbonáticas marinhas neocretáceas e terciárias das formações Calumbi, Mosqueiro e Marituba.

Formação Mosqueiro – caracteriza-se pela predominância de calcarenitos bioclásticos cinzentos, compostos basicamente por foraminíferos e moluscos, e ocorre ao longo de uma faixa alongada na direção nordeste, junto à atual linha de costa. Anteriormente, estas rochas eram incluídas no Membro Marituba da Formação Piaçabuçu (Schaller, 1969 op. cit). A Formação Mosqueiro grada lateralmente para as formações Marituba e Calumbi, e representa a plataforma carbonática ativa do Campaniano ao Mioceno na Bacia de Alagoas, e do Paleoceno ao Holoceno na Bacia de Sergipe. Esta unidade foi relatada no poço de sal da Braskem M# 07 (figura 11) e está compreendida entre 140 e 330 metros de profundidade.

Formação Marituba – anteriormente era considerada um membro da Formação Piaçabuçu e incluía os carbonatos agora individualizados na Formação Mosqueiro (Schaller, 1969 op. cit). A Formação Marituba grada lateralmente para as Formações Mosqueiro e Calumbi. Estas rochas foram depositadas em leques costeiros do Campaniano ao Holoceno. Segundo Cavalcante (1978 op. cit), o contato inferior é discordante com a Formação Barreiras e é caracterizado pela presença de arenitos piritosos. A Formação Marituba não aflora, aparecendo em subsuperfície abaixo da Formação Barreiras, desde a margem da lagoa Mundaú, prolongando-se para o nordeste numa faixa paralela ao litoral (figura 12). Esta unidade foi relatada no poço de sal da Braskem M# 07 (figura 11) e está compreendida entre 40 e 140 metros de profundidade.

Formação Barreiras – composta por clásticos continentais finos e grossos, de coloração variada e grau de compactação insignificante (Schaller, 1969 op. cit). Na área de Maceió é constituída por arenito quartzoso com intercalações de argilas arenosas, aflorando em quase toda extensão do município (figura 10). Esta unidade foi relatada no poço de sal da Braskem M# 07 (figura 11) e está compreendida entre a superfície e 40 metros de profundidade.

Sedimentos de praia e aluvião – nas planícies costeiras ocorrem areias cinza-claras, ligeiramente amareladas, enquanto que nas planícies aluviais predominam areias, argilas e cascalho (Schaller, 1969 op. cit).

O perfil geológico da figura 11 mostra uma descontinuidade das formações Marituba, Mosqueiro e Poção sob a lagoa Mundaú, visto que estas unidades são encontradas no

município de Maceió (M# 07 e 1PV-1-AL) , mas não são verificadas no poço da Petrobrás 1CS-01AL localizado no município de Marechal Deodoro. É provável que esta descontinuidade seja uma falha sob a lagoa Mundaú, dada a diferença de cotas verificada nas formações Maceió, Ponta Verde e Coqueiro Seco entre os poços Petrobrás 1CS-01AL e 1PV-1-AL.

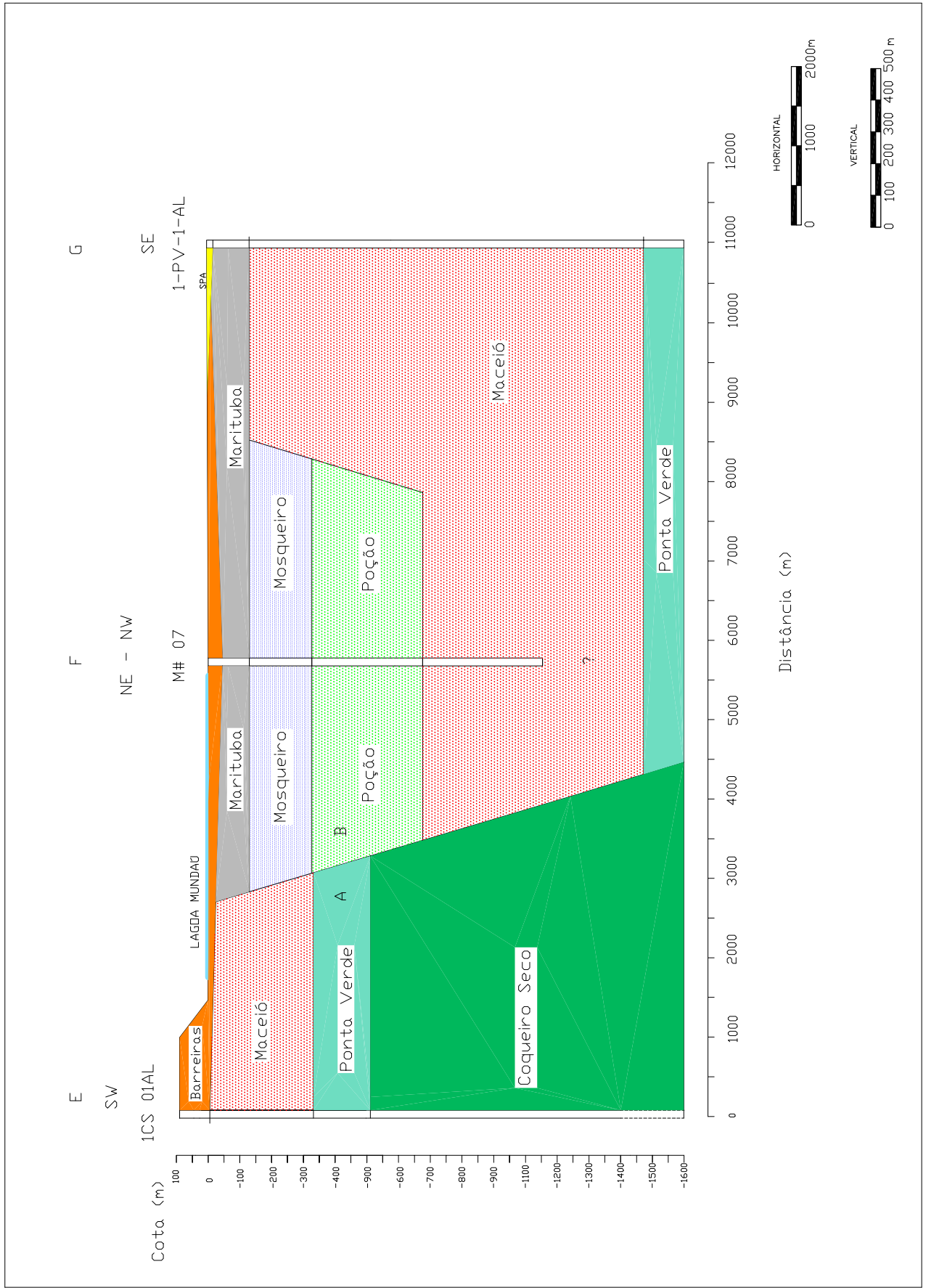


FIGURA 11 - SEÇÃO GEOLÓGICA DOS POÇOS 1CS01AL - M#07 - 1PV1AL

4 - HIDROGEOLOGIA

Na região estudada foi identificada a presença de quatro aquíferos que são divididos em Poção, Mosqueiro, Marituba e Barreiras.

Aquífero Poção

É um aquífero confinado composto por conglomerado, limitado no topo por folhelho e na base por calcário. Localizado entre 320 e 420 m de profundidade na área de estudo, a água deste aquífero é caracterizada pela cor escura, presença de gás sulfídrico, pH na faixa de 7,5 e teor de cloreto em torno de 400 ppm. Atualmente explotando neste aquífero existe apenas o poço PW-24, com capacidade específica de 1,5 m³/h/m em regime permanente.

Aquífero Mosqueiro

É um aquífero confinado composto por calcarenito, limitado no topo por calcário e na base por folhelho. Localizado entre 210 e 240 m de profundidade na área de estudo, a água deste aquífero é caracterizada pela dureza elevada, pH entre 7,0 e 7,5 e teor de cloreto em torno de 25 ppm. Atualmente é explotado pelos poços PW-21 e PW-22, com capacidade específica média de 0,8 m³/h/m.

Aquífero Marituba

Embora os aquíferos Barreiras e Marituba sejam considerados um único sistema hidrodinâmico, neste trabalho serão tratados separadamente, visto que localmente encontram-se separados por uma camada argilosa ou argilo-arenosa que confina o aquífero Marituba.

Segundo Cavalcante et. al (1993) , o Marituba é um aquífero não aflorante e ocorre numa faixa que se inicia na margem da lagoa Mundaú, estendendo-se para nordeste sob o aquífero Barreiras (figura 12). GEORENA (1975) realizou estudos no aquífero Marituba e mostrou que o mesmo é semiconfinado, limitado tanto no topo como na base por camadas argilo-arenosas que se comportam como unidades semipermeáveis, onde ocorrem drenanças através do aquífero Barreiras. GEORENA (1975 op. cit) também determinou a

transmissividade para o aquífero Marituba ($T = 2,16 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$), o coeficiente de armazenamento ($S = 2,73 \times 10^{-4}$) e a condutividade hidráulica do aquífero ($k' = 2,32 \times 10^{-8} \text{ m/s}$).

Aquífero Barreiras

Calvacante et. al (1975) propuseram um sistema aquífero caracterizado por uma zona livre e por várias camadas confinantes descontínuas que intercalam as regiões mais permeáveis. A transmissividade do aquífero é da ordem de $1,35 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$, possuindo forte anisotropia e permeabilidade vertical muito baixa em relação à horizontal, mas possivelmente conectado hidráulicamente com a lagoa Mundaú ou com o oceano Atlântico.

Cavalcante (1978) mostrou que o escoamento da água no Sistema Barreiras/Marituba se processa ao longo de várias frentes, destacando-se o litoral Atlântico e as margens das lagoas Mundaú e Manguaba, e que o gradiente hidráulico decresce do litoral, onde assume valores da ordem de 2%, para a borda da bacia, com 0,3%.

A figura 13 mostra a localização dos poços produtores na área estudada, enquanto que as figuras 14 e 15 mostram os perfis litológicos dos mesmos. Observa-se, nos perfis das figuras 14 e 15, que todos os poços possuem seção filtrante no aquífero Marituba entre as cotas -40 e -85 m aproximadamente, e apenas os poços PW- 07B, PW- 10A, PW- 15A e 17A possuem seção filtrante também no aquífero Barreiras, cujos filtros encontram-se entre as cotas -20 e -35 m aproximadamente.

A presença da camada argilo-arenosa que separa os aquíferos Barreiras e Marituba, localizada entre as cotas -30 e -40 m, pode ser observada em todos os perfis, cujas seções são mostradas nas figuras 14 e 15. Entretanto, esta camada torna-se descontínua entre os poços PW-15A e PW-12B, bem como entre os poços PW- 07B e PW- 16, indicando portanto uma zona susceptível à existência de uma conexão hidráulica entre os dois aquíferos nestas regiões.

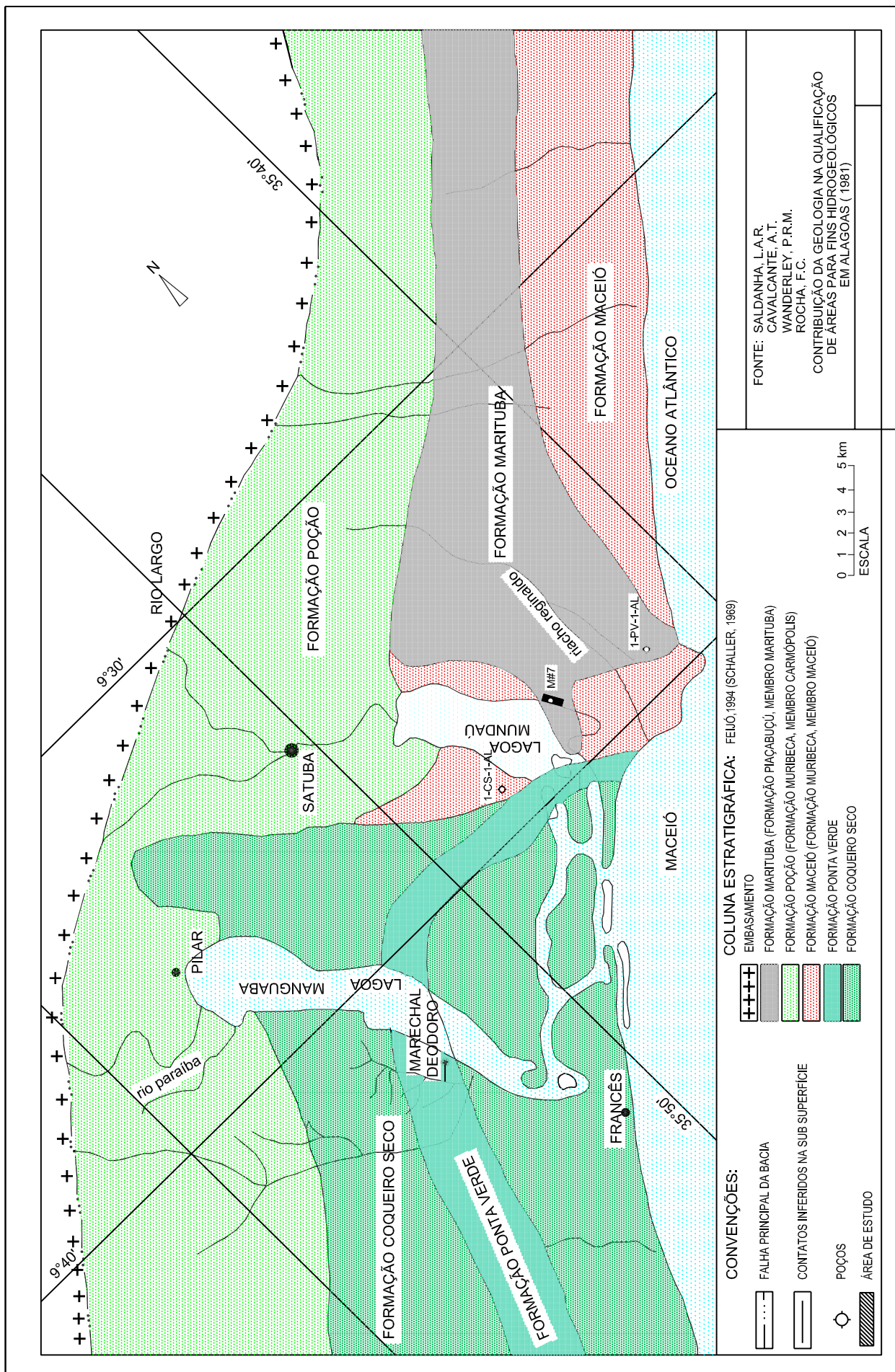
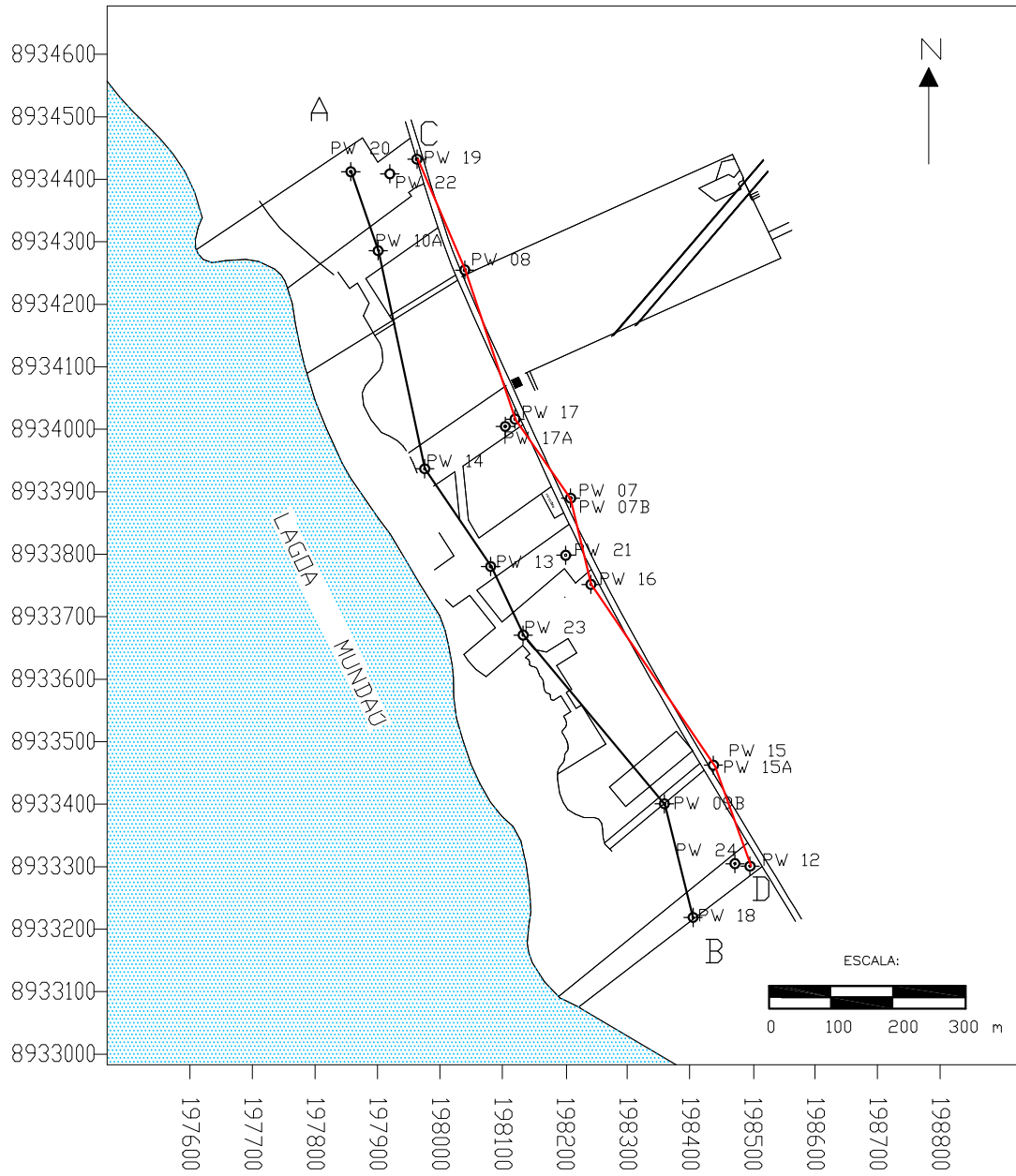


FIGURA 12 - Mapa sub-Barreiras na região metropolitana de Maceió

UTM N (m)



UTM E (m)

⊕ POÇOS DE ÁGUA — PERFIL C-D — PERFIL A-B

FIGURA 13 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS DE ÁGUA

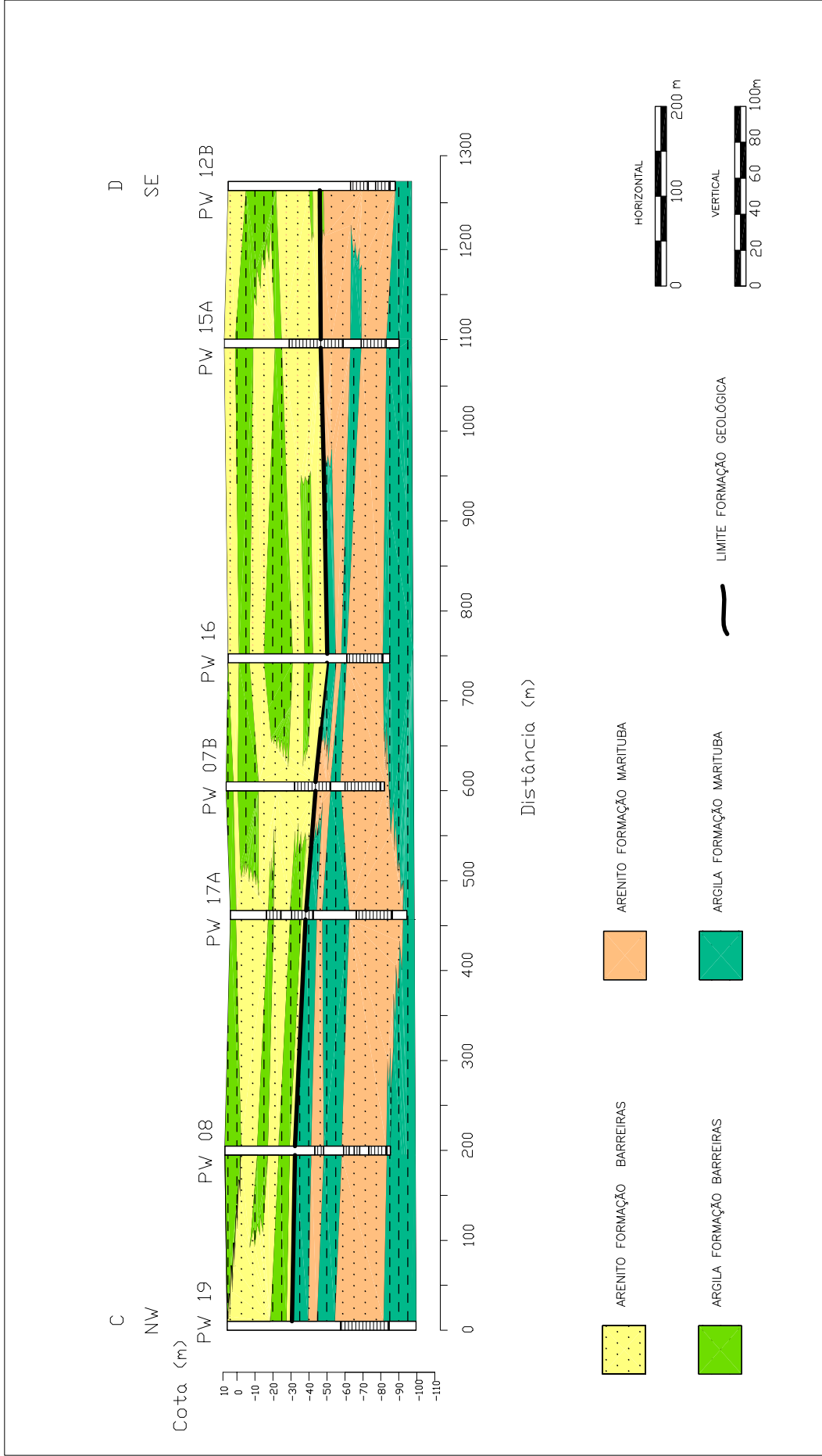


FIGURA 14 - SEÇÃO GEOLÓGICA PW 19 - PW 12B

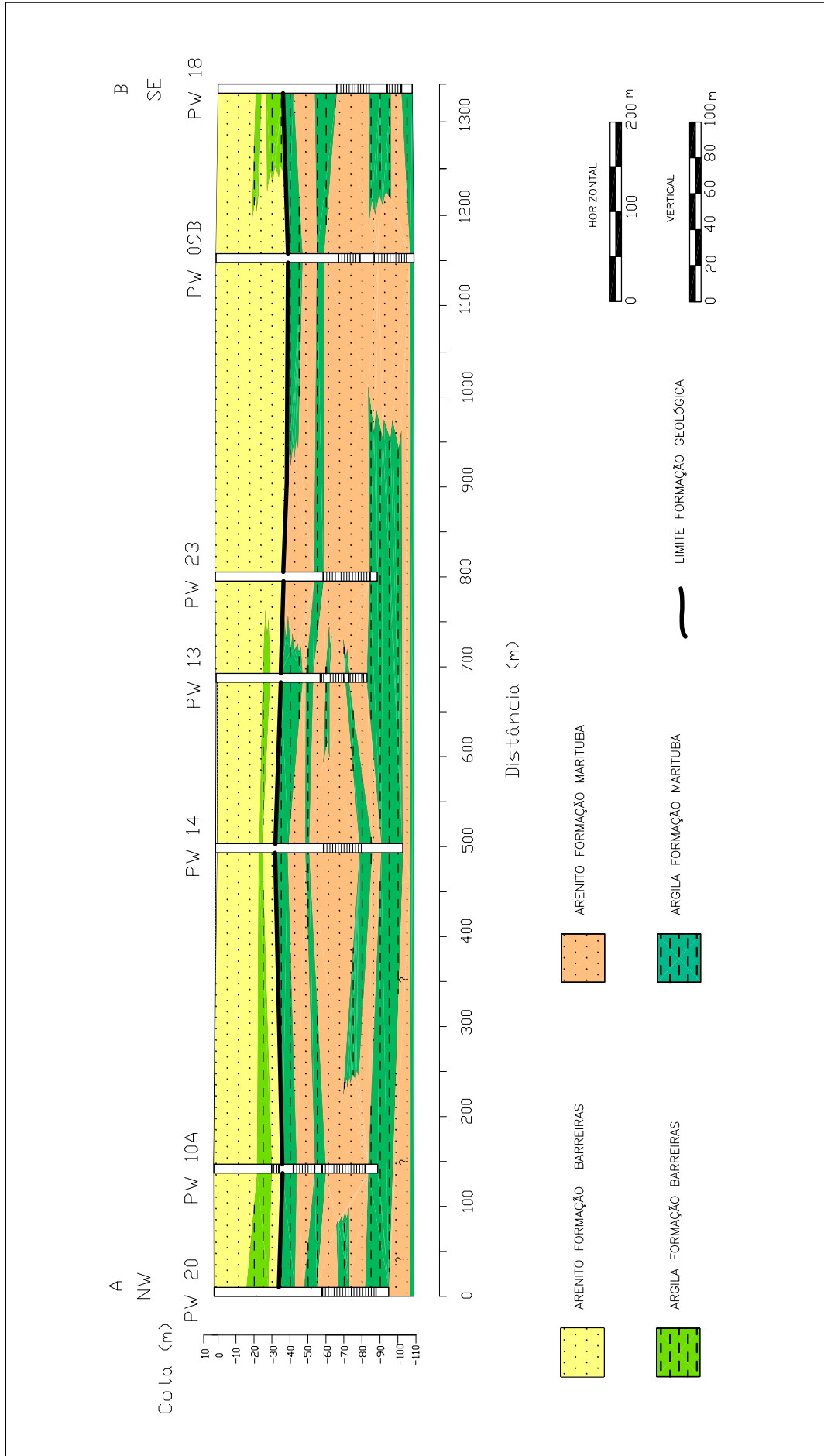


FIGURA 15 - SEÇÃO GEOLÓGICA PW 20- PW 18

4.1 - CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

O abastecimento de água do município de Maceió é suprido através de sistema de superfície com produção estimada em 2.000 m³/h, associado a poços tubulares que captam nos diferentes aquíferos cerca de 5.200 m³/h, representando 72% da captação de água, Calvalcante (1995). Esta captação está distribuída por baterias de poços pertencentes a CASAL, localizados na região do tabuleiro e litorânea (Bebedouro, Gonçalves Ledo, Bolão e Baixo Reginaldo), bem como poços particulares (figura 16).

As baterias mais próximas da área estudada são Bebedouro, localizada a aproximadamente 1.000 m na direção noroeste, e Bolão, situada a aproximadamente 2.000 m na direção sudeste; ambas captam água dos aquíferos Barreiras e Marituba. Na região estudada encontra-se a bateria de poços da Braskem S.A. (figura 16), com capacidade para captar 500 m³/h distribuídos nos aquíferos Barreiras, Marituba, Mosqueiro e Poção (tabela 1). Deste total, 320 m³/h são direcionados para o processo de extração de sal-gema, enquanto que 180 m³/h são enviados através de uma adutora de 8 Km para a planta de Cloro-Soda localizada no bairro do Pontal da Barra. A figura 17 mostra o fluxograma de processo da unidade Mineração.

Tabela 1 - Distribuição da captação de água na área de estudo

Aquíferos	Vazão (m ³ /h)	Distribuição (%)
Barreiras/Marituba	145	29
Marituba	200	40
Mosqueiro	85	17
Mosqueiro/Poção	70	14
Total	500	100

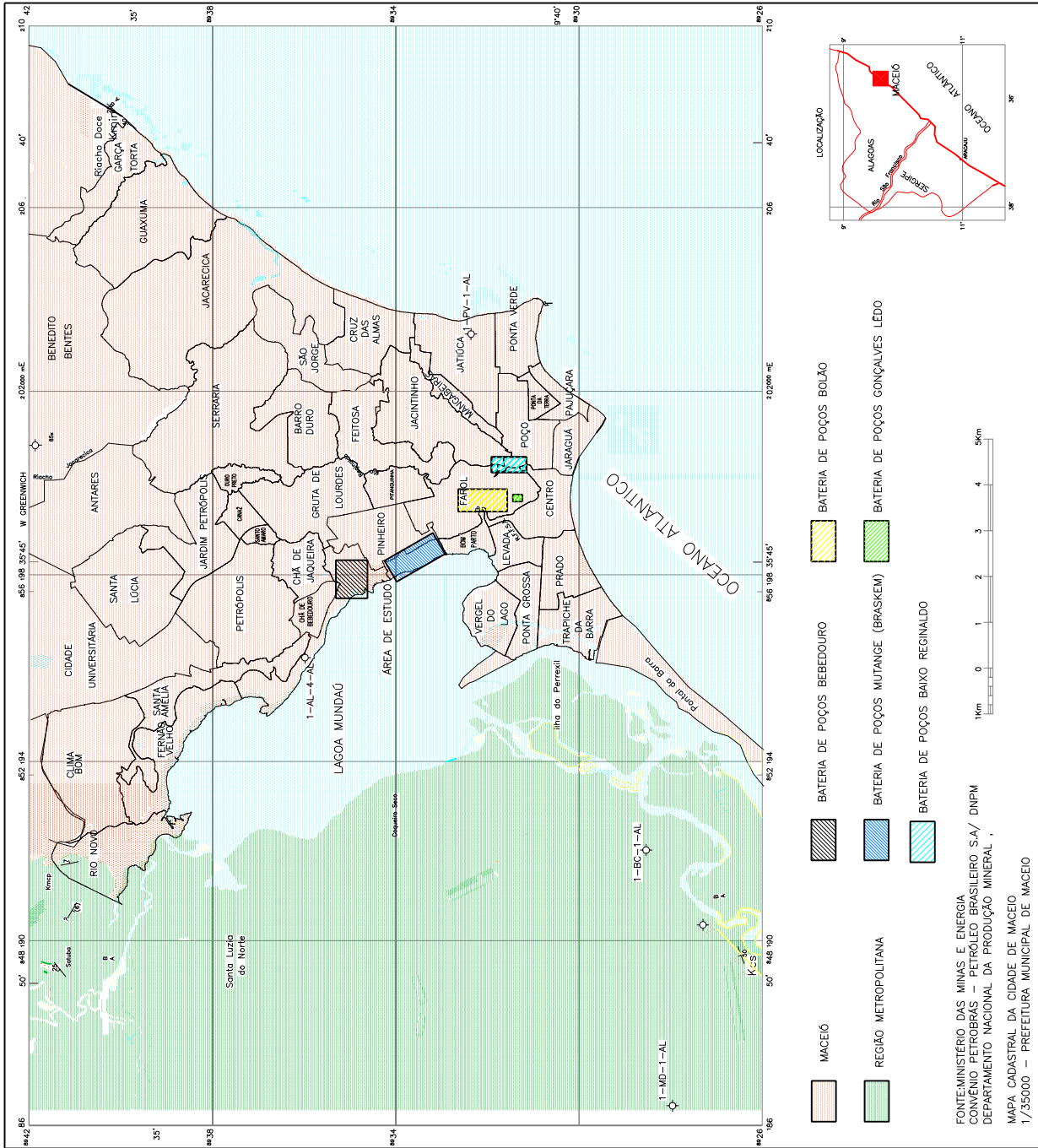
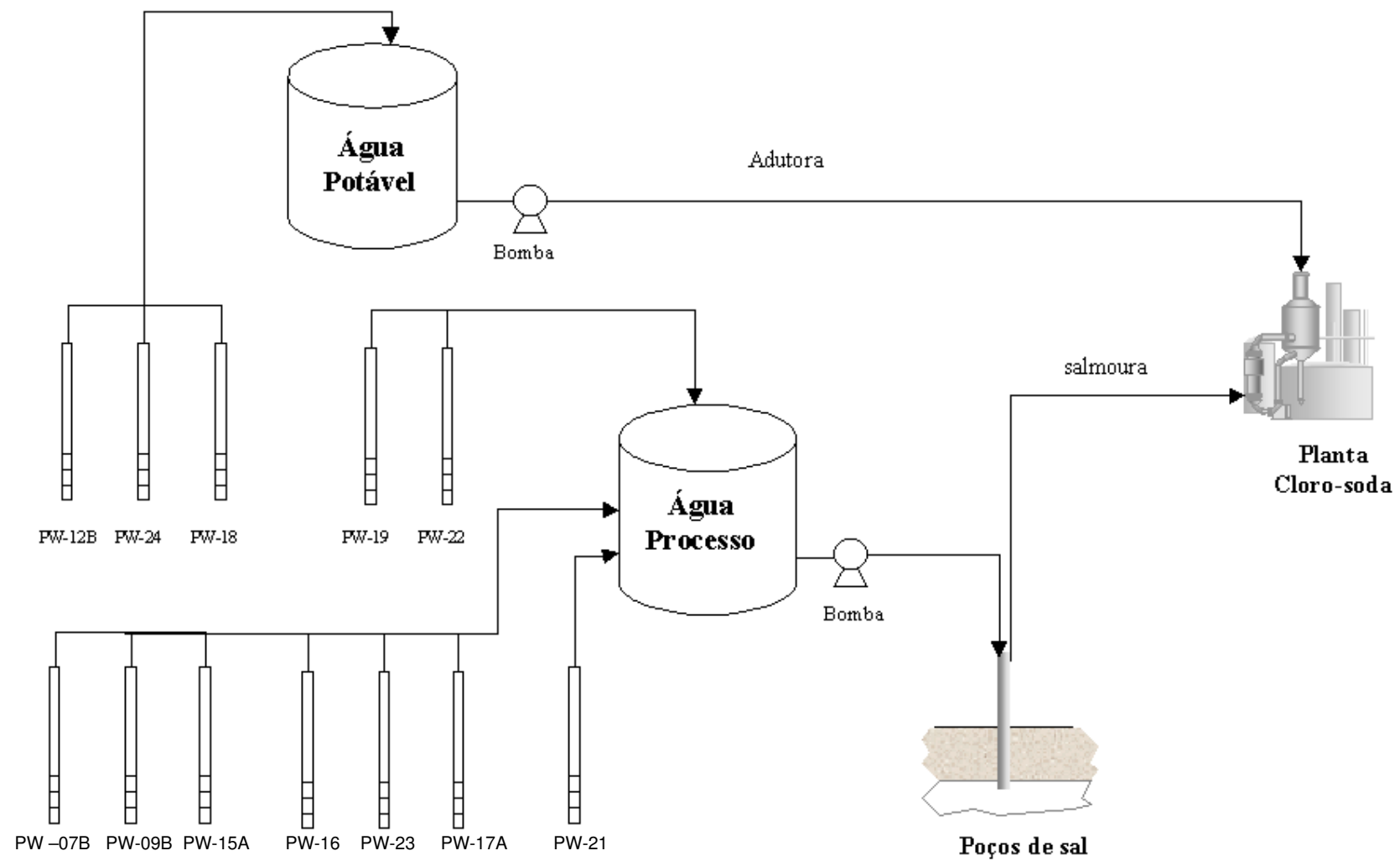


FIGURA 16 - BATERIA DE POÇOS PRÓXIMA A ÁREA DE ESTUDO



PW – Poços de água

Figura 17 – Fluxograma de processo

4.2 - HISTÓRICO DA CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA BRASKEM

Os primeiros poços de captação localizados na área de estudo foram perfurados entre 1974 e 1975. Os poços PW- 01, PW- 02, PW- 03 , PW- 04 e PW- 05 (figura 18) foram construídos para extrair, juntos, 230 m³/h, dos quais 80 m³/h visavam suprir a unidade Cloro-Soda pertencente à antiga Salgema Indústrias Químicas via adutora, e 150 m³/h eram utilizados no processo de extração de sal da antiga Salgema Mineração.

Os poços possuíam seção filtrante no aquífero Marituba em aço inox 304 com 6" de diâmetro e revestimento de 9 5/8" cimentado. A operação dava-se através de bombas de eixo prolongado que, devido ao pH baixo da água, entre 3,5 e 4,5, utilizavam bombeadores em aço inox.

Naquela época o processo construtivo do poço não utilizava pré-filtro, e sim a técnica de desenvolvimento natural. Como consequência, os poços produziam quantidades expressivas de areia que danificavam as tubulações de aço carbono que transportavam a água.

Em 1978 a unidade Cloro-Soda passou por um processo de ampliação com a implantação da planta de DCE (1,2 dicloroetano), sendo necessário elevar o volume de água captado. Portanto, em meados daquele ano foram perfurados mais três poços: PW- 06, PW- 07 e PW- 08, elevando em 70 m³/h a vazão de extração. No final da década de 70, a construção dos novos poços passou a utilizar filtros de aço inox 316 com abertura de 0,75 mm, pré-filtro com granulometria entre 1 e 3 mm, e bombas submersas.

No início da década de 1980, os primeiros poços PW- 01, PW- 02, PW- 03, PW- 04 PW- 05 e PW -06 foram desativados devido à elevada produção de areia. Desta forma, foram construídos os poços PW- 09, PW- 10, PW-11, PW- 12, PW-13 e PW-14 para substituí-los. Em meados da década de 80, o poço PW-13 foi desativado devido à baixa produção de água.

No final da década de 80 foi iniciada a ampliação da unidade Cloro-Soda, exigindo conseqüentemente um aumento do volume de água captado que passou de 300 m³/h para 500 m³/h. Com a finalidade de suprir esta necessidade foi ampliada a bateria do Mutange, onde foram construídos os poços PW-15, PW-16, PW-17, PW-18, PW-19 e PW-20, todos já utilizando revestimentos e filtros em PVC geomecânico.

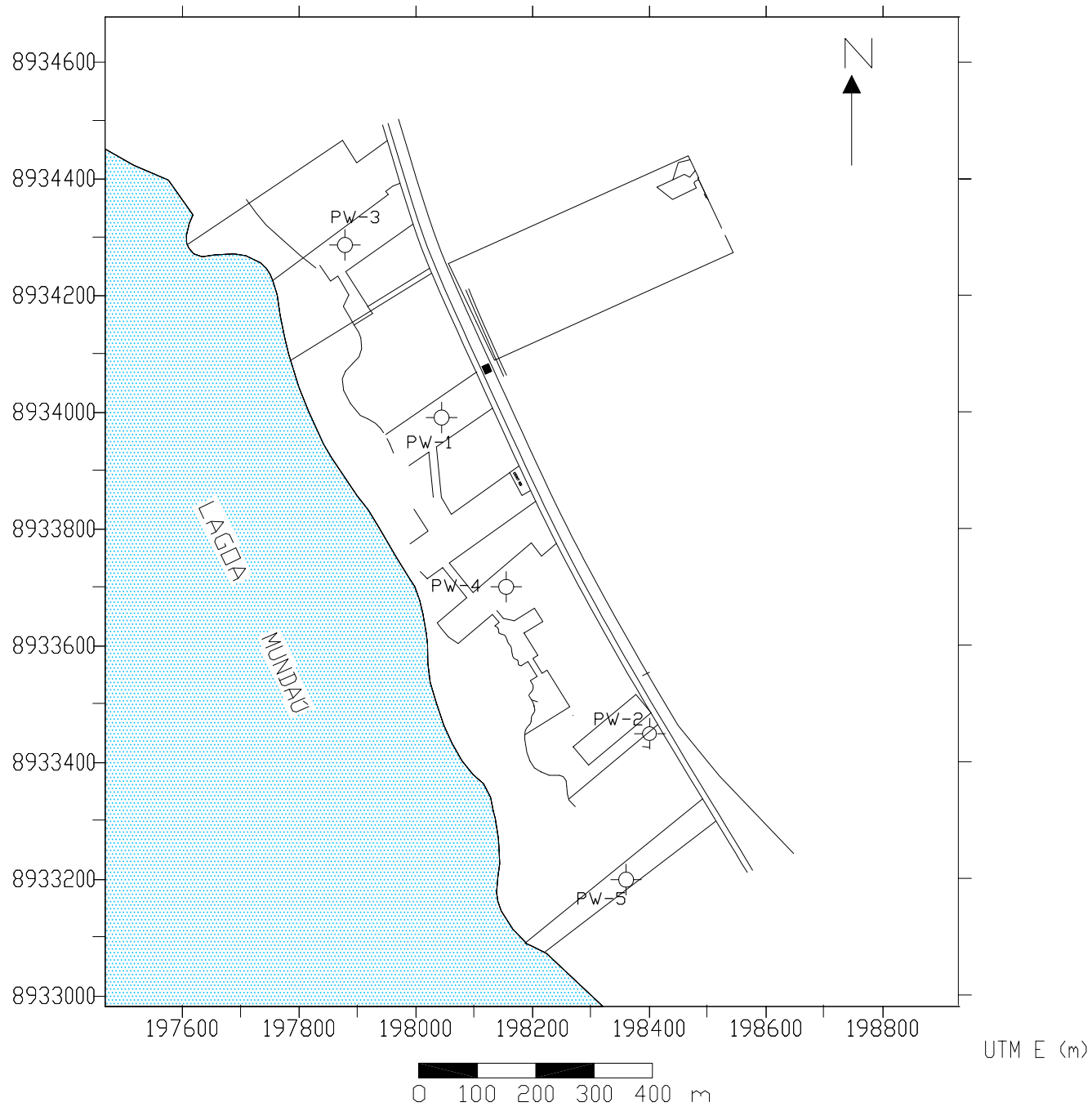
Em 1990, os poços PW-14 e PW-20 começaram a indicar um processo de salinização, alcançando teores de 1.000 ppm de cloretos, enquanto que, nesta época, os teores médios de cloreto não ultrapassavam 200 ppm. A partir desta constatação, os poços PW-14 e PW-20 passaram a operar de forma esporádica para evitar o avanço da salinização.

Em meados de 1996, os poços PW-21 e PW-22 foram construídos para captar água no aquífero Mosqueiro, localizado entre 210 e 240 metros de profundidade. Esta foi a primeira, de um conjunto de medidas que foram tomadas visando reduzir a captação no aquífero Marituba, e conseqüentemente o processo de salinização. Em 1997, o poço PW-23 foi perfurado para substituir o poço PW-11, cuja desativação foi provocada por um rompimento do filtro de aço inox.

Em 1998, os poços PW-14, PW-20, PW-07, PW-10, PW-15 e PW-17 foram desativados, os dois primeiros por conta da salinização, e os demais foram substituídos pelos poços PW-07B, PW-10A, PW-15A e PW-17A, que passaram a captar água nos aquíferos Barreiras e Marituba simultaneamente, visando reduzir a captação no Marituba, bem como melhorar a qualidade da água bruta transferida para a unidade industrial, visto que as concentrações de cloreto na água do aquífero Barreiras estavam em torno de 150 ppm, enquanto que a média dos teores de cloreto da água do aquífero Marituba já ultrapassava 400 ppm no final da década de 90.

Em 2001, o programa de desativação de poços salinizados estendeu-se com a paralisação do PW-10A decorrente do elevado teor de cloreto na água, que alcançou 1.500 ppm. Em meados de 2002, o poço PW-08 foi desativado devido ao rompimento do filtro de aço inox. Ambos os poços foram substituídos em 2003 pelo poço PW-24, que capta água no aquífero Mosqueiro entre 210-240 metros de profundidade e no aquífero Poção, localizado entre 310-360 metros de profundidade.

UTM N (m)



⊕ Poços

FIGURA 18 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS EM 1975

4.3 - POTENCIOMETRIA DO AQÜÍFERO MARITUBA

Nobre et al (2000) construíram o modelo de fluxo do sistema aquífero Barreiras/Marituba na cidade de Maceió sob regime permanente, onde foi evidenciado que as principais zonas de descargas são a lagoa Mundaú, os riachos da região metropolitana e o oceano Atlântico.

A potenciometria do aquífero Marituba na região de estudo foi construída com base em valores dos níveis disponíveis da década de 70 (GEORENA, 1975), provenientes de apenas cinco poços (PW- 01, PW- 02, PW- 03, PW- 04 e PW- 05), conforme a tabela 2. Pode-se observar que os níveis estáticos eram rasos, inclusive um deles acima da superfície, como é o caso do PW-05, que era um poço jorrante em 1975. A figura 19 mostra a potenciometria em abril de 1975, notando-se que o fluxo da água migra em duas direções, noroeste e sudoeste, ambas rumo à lagoa Mundaú, provável exutório do aquífero Marituba.

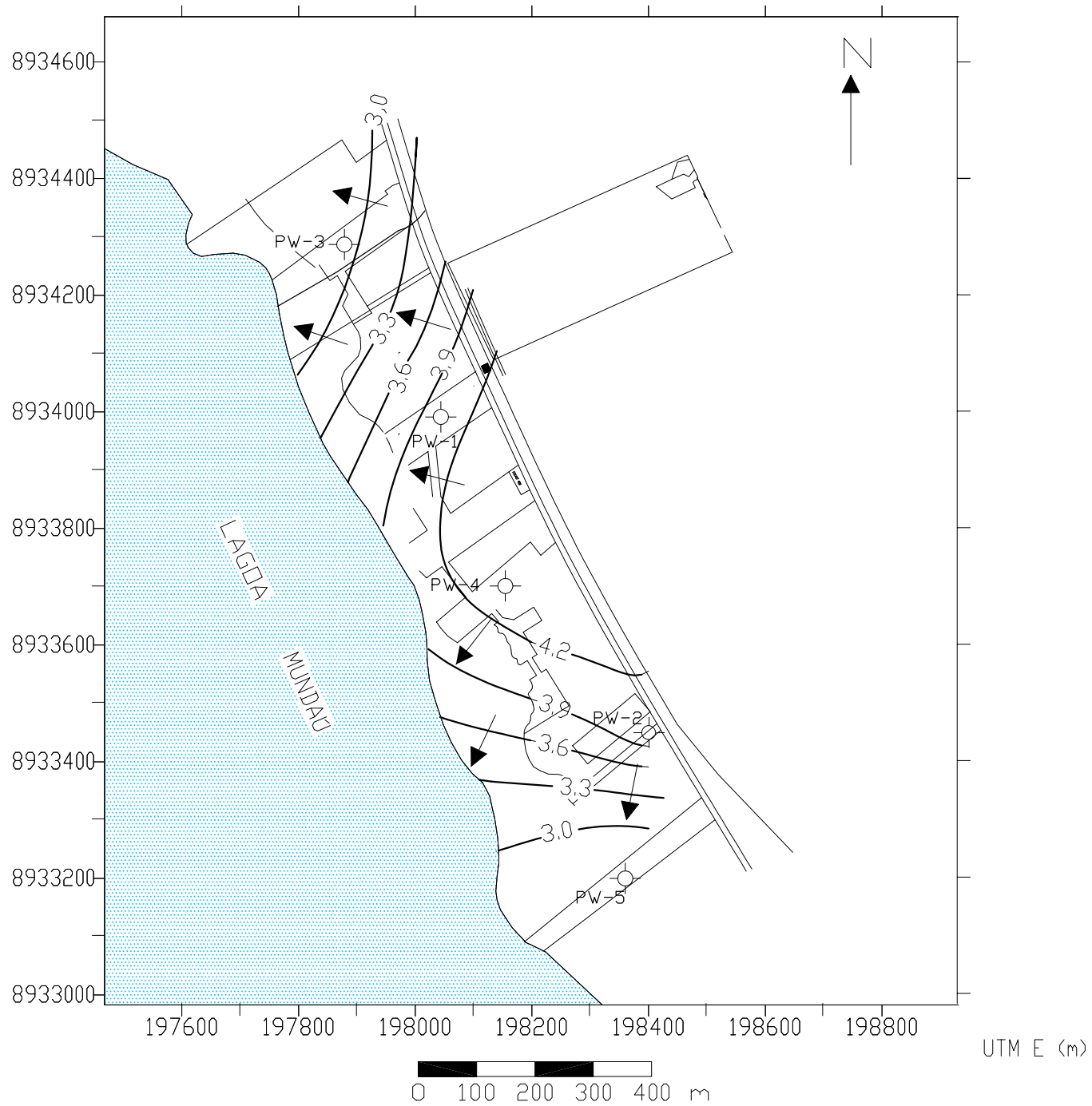
Tabela 2 - Dados dos poços construídos na década de 70

Poços	UTM E (m)	UTM N (m)	COTA (m)	Nível estático (m)	Carga Hidráulica (m)
PW-01	198.043	8.933.992	5,5	1,5	4,0
PW-02	198.400	8.933.450	8,7	4,6	4,1
PW-03	197.912	8.934.292	4,1	1,3	2,9
PW-04	198.155	8.933.702	4,5	0,1	4,4
PW-05	198.360	8.933.200	1,8	-0,1	1,9

Com a finalidade de verificar o comportamento do fluxo atual da água no aquífero Marituba foram realizadas medições dos níveis d'água (tabela 3) dos poços disponíveis na região de estudo durante um período de 108 horas após a paralisação de todos os poços, o que foi possível graças à parada programada de manutenção da bateria ocorrida no dia 13 de março de 2004, às 10h35.

Os níveis d'água foram acompanhados nos dias 14, 15, 16 e 17 de março de 2004 sempre no mesmo horário, entre 11h30 e 12h30. Nas figuras 20, 21 e 22, percebe-se a elevação da carga hidráulica devido à recuperação dos níveis d'água, contudo, foi observada uma pequena redução da carga hidráulica em todos os poços depois de decorridas 108 horas de paralisação, com exceção do poço PW-18.

UTM N (m)



— Linhas potenciométricas ↘ Fluxo ⊕ Poços

FIGURA 19 - POTENCIOMETRIA DO AQUÍFERO MARITUBA EM 1975

Tabela 3 - Dados dos poços atuais da bateria do Mutange

Poços	UTM E (m)	UTM N (m)	COTA (m)	Carga Hidráulica (m) 24h	Carga Hidráulica (m) 48h	Carga Hidráulica (m) 72h	Carga Hidráulica (m) 108h
PW-07	198.213	8.933.885	8,0		-3,8	-3,8	-4,4
PW-12B	198.495	8.933.298	7,0	-6,8	-5,2	-5,1	-5,5
PW-14	197.974	8.933.935	2,6	-4,7	-4,4	-4,1	-4,3
PW-15	198.438	8.933.459	9,0		-3,1	-2,9	-2,8
PW-16	198.241	8.933.750	7,0	-5,1	-4,3	-3,9	-4,6
PW-17	198.120	8.934.014	5,9	-4,5	-4,1	-3,5	-4,1
PW-18	198.404	8.933.216	2,4	-6,7	-5,1	-4,7	-1,9
PW-20	197.962	8.934.411	4,2	-3,5	-3,4	-3,3	-3,3
PW-23	198.132	8.933.669	2,9	-5,6	-4,6	-4,6	-5,4

As figuras 20, 21 e 22 mostram o comportamento da carga hidráulica em cada poço. Nestas figuras pode-se notar que não ocorreu a estabilização dos níveis após 108 horas de observação, e sim, pequenas oscilações cujas causas podem ser provocadas por bombeamento, variação da maré ou variação da pressão atmosférica. Entretanto, durante o período de medição dos níveis estáticos, nenhum bombeamento foi registrado na região circunvizinha à bateria.

A elevação abrupta da carga hidráulica observada no poço PW-18 ocorrida 108 horas após a paralisação (figura 22) foi causada por uma falha na válvula de retenção que permitiu a passagem de água do poço PW-24 para o PW-18, já que ambos estão conectados no mesmo ramal. Vale ressaltar que o poço PW-24 capta água nos aquíferos Mosqueiro e Poção.

Devido aos problemas relatados acima, a construção da potenciometria (figura 23) do aquífero Marituba foi baseada nos registros do dia 16/3/04, ou seja, 72 horas após a paralisação. Apesar da obtenção dos níveis d'água de todos os poços, foram utilizadas apenas as informações dos poços que captam exclusivamente no aquífero Marituba.

Na figura 23 nota-se que o fluxo da água no aquífero Marituba ocorre na direção continente-lagoa Mundaú, muito similar ao fluxo observado em 1975. Entretanto, observa-se no mapa potenciométrico de 2004 um maior gradiente hidráulico na região sudeste quando comparada com o norte da bateria, demonstrando que o aquífero ainda está sob efeito do

bombeamento, mesmo após 72 horas de paralisação. Isto ocorre provavelmente devido a uma maior concentração de poços em operação naquela região.

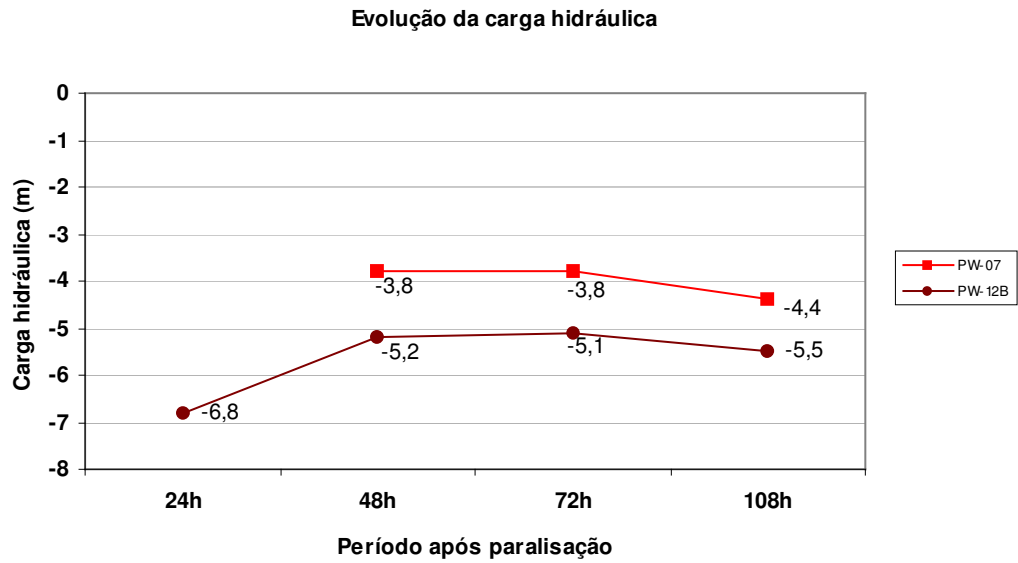


Figura 20 - Evolução da carga hidráulica nos poços (PW-07 e PW-12B)

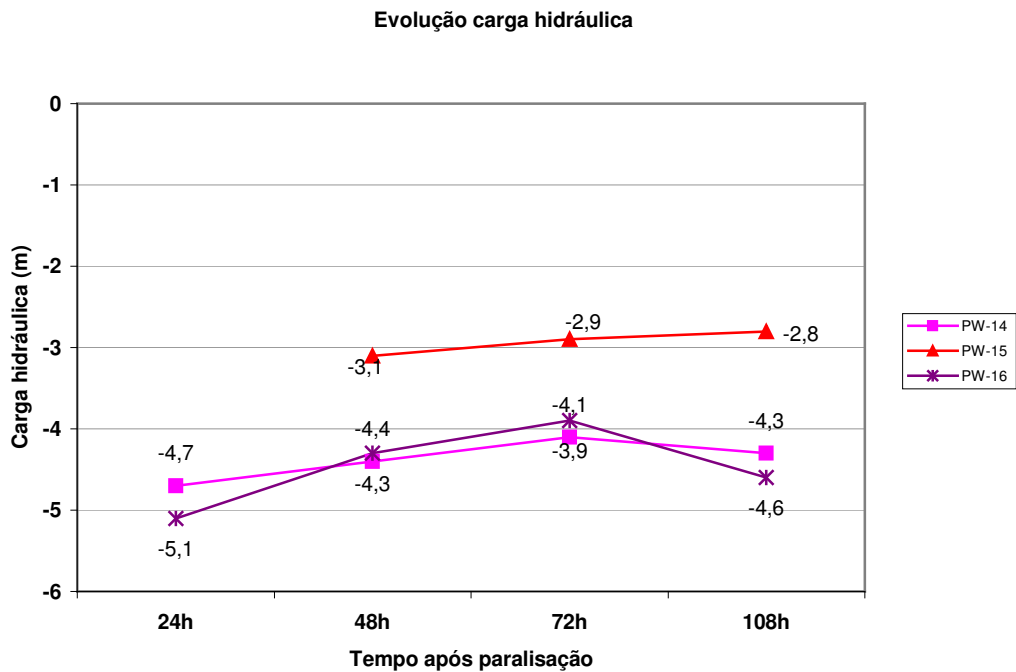


Figura 21 - Evolução da carga hidráulica nos poços (PW-14, PW-15 e PW-16)

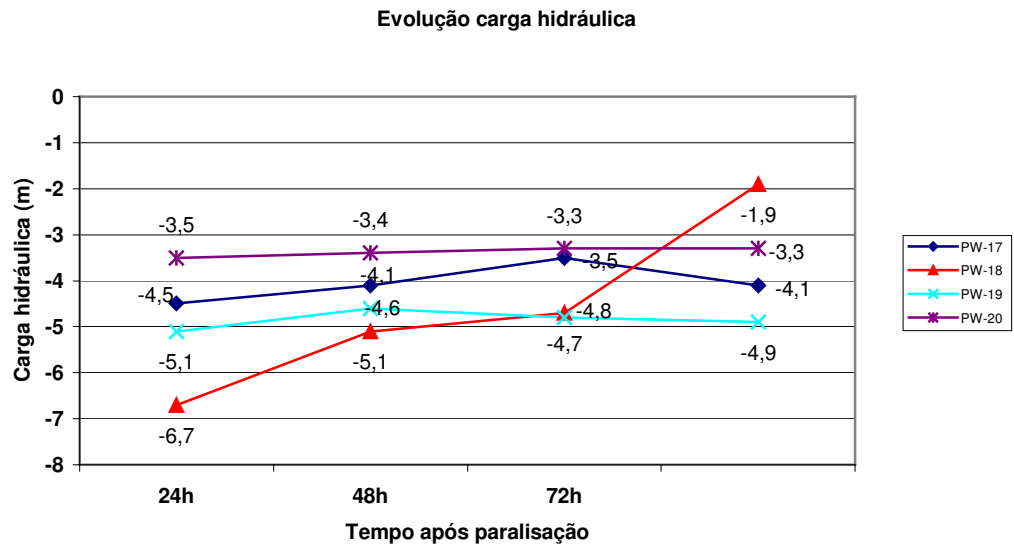


Figura 22 - Evolução da carga hidráulica nos poços (PW-17, PW-18, PW-19 e PW-20)

UTM N (m)

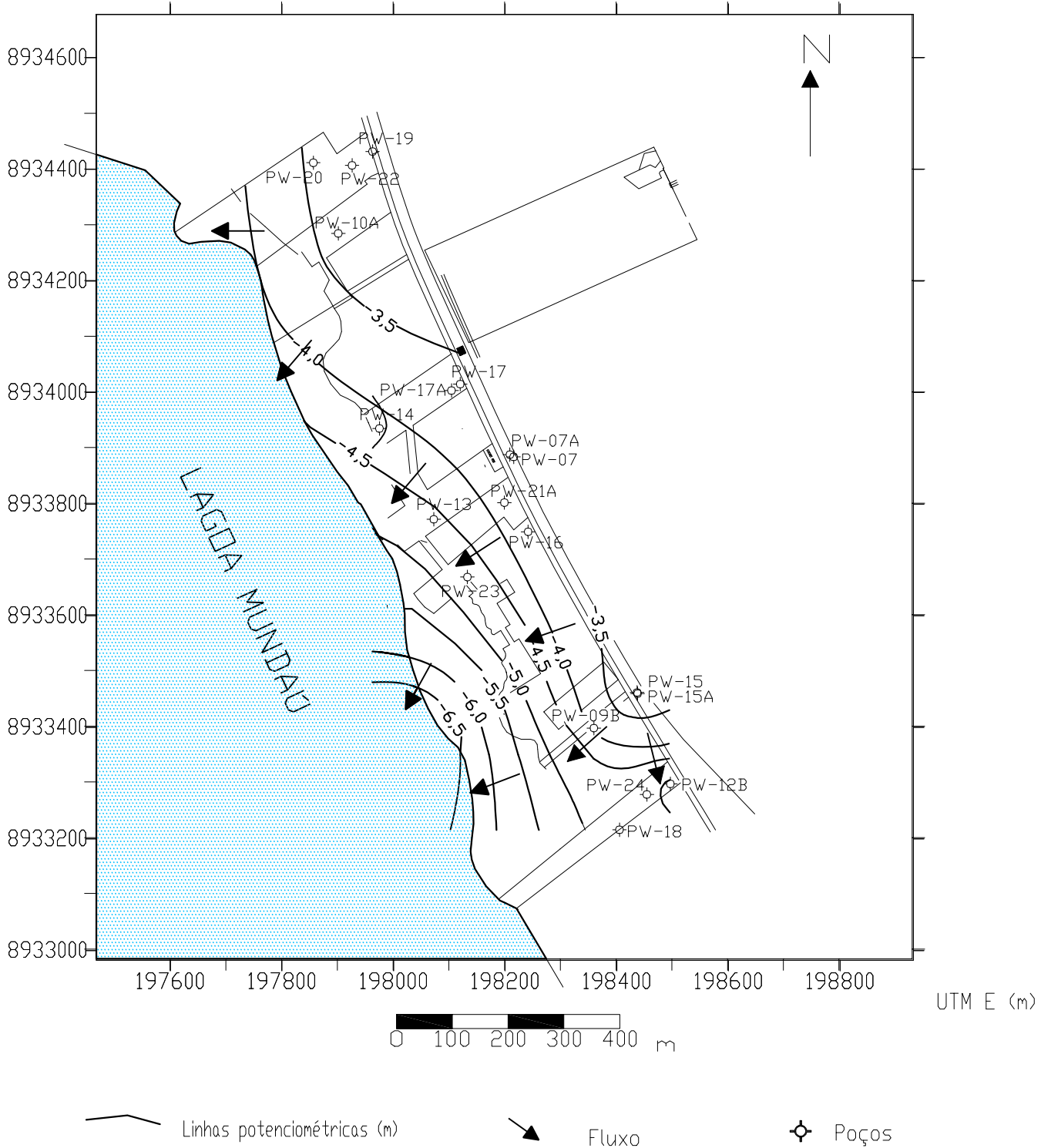


FIGURA 23 - POTENCIOMETRIA DO AQUÍFERO MARITUBA EM 2004

4.4 - PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS

4.4.1 - Primeiro teste de bombeamento

Com o objetivo de avaliar os parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Marituba foi realizado um teste entre os dias 19 e 20 de fevereiro de 2003, utilizando o poço PW-09B para a observação do rebaixamento e o poço PW-18 para o bombeamento durante um período de 10 horas. O equipamento de bombeio utilizado era composto por uma bomba submersa de 9 estágios com 30 Hp de potência. Os poços PW-12, PW-15A, PW-16 e PW-23 (figura 15) foram paralisados 24 horas antes do início do teste para reduzir interferências externas, retornando à operação após a conclusão do teste.

O teste foi realizado durante um período de 10 horas com vazão constante de 40 m³/h. A curva de rebaixamento (figura 24) foi construída com base nas informações da tabela 4 e interpretada utilizando o Método de Walton (1962), que desenvolveu uma solução gráfica para a equação do fluxo subterrâneo bidimensional para as condições de aquífero confinado drenante. A tabela 5 mostra os parâmetros hidrodinâmicos calculados para o teste.

Tabela 4 - Rebaixamento observado no poço PW-09B durante o bombeamento

Tempo (min)	Nível Estático (m)	Rebaixamento (m)	Tempo (min)	Nível Estático (m)	Rebaixamento (m)
1	11,350	0,000	55	11,745	0,395
2	11,350	0,000	60	11,790	0,440
3	11,350	0,000	70	11,860	0,510
4	11,350	0,000	80	11,930	0,580
5	11,350	0,000	100	12,010	0,660
6	11,350	0,000	120	12,120	0,770
8	11,350	0,000	150	12,250	0,900
10	11,355	0,005	180	12,340	0,990
12	11,360	0,010	240	12,470	1,120
15	11,385	0,035	300	12,560	1,210
20	11,420	0,070	360	12,620	1,270
25	11,465	0,115	420	12,660	1,310
30	11,520	0,170	480	12,690	1,34
35	11,560	0,210	540	12,700	1,35
40	11,610	0,260	600	12,710	1,36
45	11,655	0,305			

Tabela 5 - Parâmetros hidrodinâmicos calculados no 1º teste

Poço bombeado	Poço observado	T (m ² /s) x 10 ⁻³	K (m/s) x 10 ⁻⁵	k' (m/s) x 10 ⁻⁸	S x 10 ⁻⁴	Distância r (m)	B (m)	b' (m)
PW-18	PW-09B	1,10	2,29	4,80	2,26	185	370	6,0

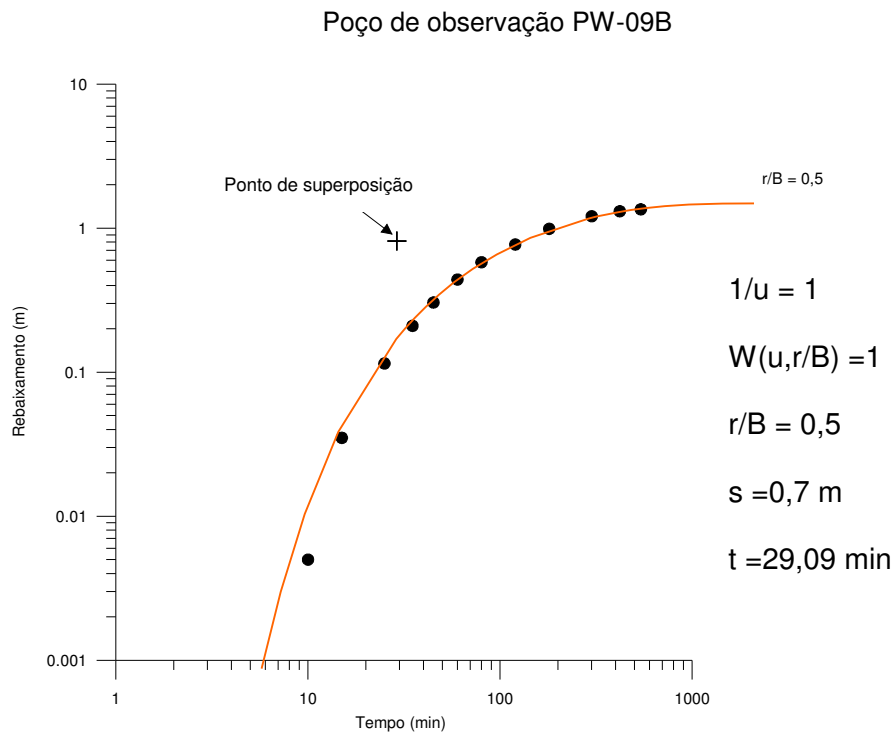


Figura 24 - Curva de rebaixamento observado no poço PW-09B

4.4.2 – Segundo teste de bombeamento

Devido à dificuldade de paralisar todos os poços para realizar um teste em condições ideais, ou seja, apenas um poço em operação e os demais poços para a observação dos níveis d'água, optou-se em realizar o teste utilizando os poços em operação como pontos de observação no aquífero. Esta alternativa torna-se válida na medida em que os poços estavam operando em condições estáveis e regime contínuo há pelo menos sete dias.

Com a finalidade de verificar as condições iniciais do aquífero Marituba antes do teste de bombeamento, foram realizadas medições de níveis d'água nos dias 30/9/2003, 1/10/2003 e 2/10/2003 dos poços PW-13, PW-07, PW-08, PW-09B, PW-10A, PW-14, PW-15, PW-17, e PW-20, como também medição de níveis dinâmicos dos poços PW-07B, PW-12B, PW-15A, PW-16, PW-17A, PW-18 e o PW-23 (tabela 6). As medições foram realizadas nos horários entre 12h e 13h nos dias 30/9/2003 e 1/10/2003, e entre 06h e 06h30 no dia 2/10/2003.

Apesar de todos os poços se encontrarem nas mesmas condições durante os dias 30/9/2003, 1/10/2003 e 2/10/2003, observou-se que os níveis estáticos não se estabilizaram, elevando-se nos dois primeiros dias e estabilizando-se ou reduzindo-se no dia 2/10/2003 (figura 25).

Os parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Marituba foram determinados com base em dados coletados durante um teste de bombeamento que foi realizado na bateria do Mutange, utilizando o poço PW-19 para bombeio, os poços desativados PW-07, PW-08, PW-10A, PW-13, PW-14, PW-17, PW-20 e os poços em operação PW-07B, PW-12B, PW-16, PW-17A, PW-18, PW-23 como poços de observação.

Tabela 6 -Nível da água (m) nos poços antes do bombeamento

Poço	30/9	1/10	2/10
PW-07	-		22,86
PW-07B	25,62	25,90	25,92
PW-08	9,73	9,82	9,82
PW-09	19,76	20,20	20,20
PW-10	9,23	9,47	9,40
PW-12B	58,53	58,78	59,25
PW-14	12,37	12,75	12,80
PW-15	-	-	17,90
PW-15A	24,30	24,47	24,50
PW-16	49,30	49,65	49,80
PW-17	-	-	17,50
PW-17A	20,07	20,24	20,35
PW-18	45,40	45,75	45,80
PW-19	13,50	13,80	-
PW-20	8,60	8,88	8,69
PW-23	30,93	31,44	31,55

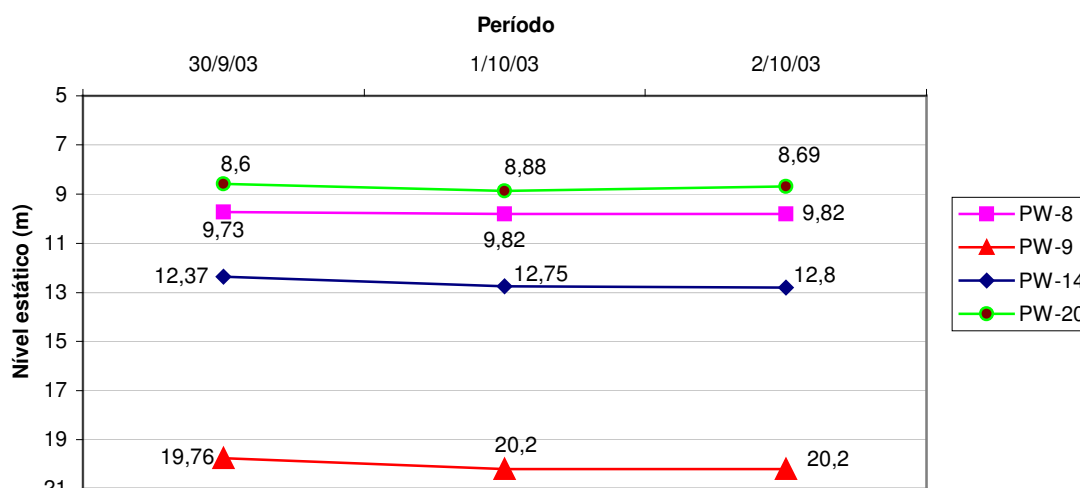


Figura 25 - Variação dos níveis dos poços antes do bombeamento

O início do bombeamento no poço PW 19 ocorreu às 7h do dia 2/10/2003, com vazão média de 15,54 m³/h (tabela 7) medida através de um transmissor de fluxo eletrônico, conectado a uma placa de orifício localizada a aproximadamente 900 metros da saída do poço. Este fato prejudicou a leitura de vazão nos primeiros minutos, visto que apenas após 12 minutos de bombeio foi possível registrar as primeiras leituras. A água do poço PW-19 é conduzida através de uma tubulação de 8" de polietileno de alta densidade (PEAD) conectada a uma tanque de 300 m³ de capacidade. O poço PW-22, que também está conectado a este ramal, permaneceu paralisado durante todo o teste para evitar interferências.

Tabela 7 - Vazão de bombeio do poço PW-19

Tempo (min)	Vazão (m ³ /h)	Tempo (min)	Vazão (m ³ /h)
0	0	180	15,26
5	0	240	15,60
10	0	300	15,34
12	1,04	360	15,58
14	12,82	420	15,60
15	14,32	480	15,52
16	14,60	540	15,60
17	14,70	600	15,60
18	14,86	660	15,60
20	15,32	720	15,60
24	15,34	1440	15,60
25	15,44	2160	16,38
28	15,60	2880	16,36
60	15,60	3600	16,80
120	15,60	4320	16,80

No momento do teste, os poços PW-07B, PW-12B, PW-15A, PW-16, PW-17A, PW-18, PW-23, bem como os poços PW-21 (aqüífero Mosqueiro) e PW-24 (aqüífero Mosqueiro/Poçoão), estavam operando. A tabela 8 mostra a vazão dos poços.

As medições dos rebaixamentos foram iniciadas nos poços PW-20, PW-10 e PW-08 simultaneamente, pois estes se encontram próximo ao PW-19. Duas horas após o início do bombeamento, passou-se a observar os níveis dos demais poços. Durante o teste foram utilizados dois medidores de nível de 100 metros e um de 200 metros de profundidade da marca Solinst, dotada de fita graduada em centímetros.

Tabela 8 - Vazão de bombeio de todos os poços da bateria do Mutange

Poços	Aqüífero	Vazão (m ³ /h)
PW-19	Marituba	15,5
PW-17A	Barreiras/Marituba	80
PW-7B	Barreiras/Marituba	42
PW-16	Marituba	45
PW-15A	Barreiras/Marituba	20
PW-12B	Marituba	40
PW-18	Marituba	40
PW-21	Mosqueiro	70
Pw-23	Marituba	35
Pw-24	Mosqueiro/Poçoão	70
Total	-	457,5

As curvas de rebaixamento de todos os poços observados apresentaram comportamentos semelhantes, como pode ser visto nas figuras 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37 e 38, apresentando uma inflexão na fase final do teste, tendendo à estabilização dos níveis. Este comportamento comprova a existência de uma drenança através das camadas argilosas que semiconfinam o aqüífero, proveniente do aqüífero Barreiras.

A figura 26 mostra o rebaixamento no poço PW-20 localizado a 109 metros do poço bombeado, cuja seção filtrante está disposta apenas no aqüífero Marituba. Os primeiros indícios de rebaixamento no poço PW-20 ocorreram depois de decorridos 6 minutos após o início do bombeamento no poço PW-19. Na tabela 9 observou-se que o rebaixamento

evoluiu de forma natural, tendendo à estabilização depois de decorridos 1.570 minutos. Entretanto, a partir deste instante, percebem-se na tabela 9 oscilações dos valores dos níveis da água no poço que variam em movimentos cíclicos. Este comportamento foi evidenciado em todos os poços de observação.

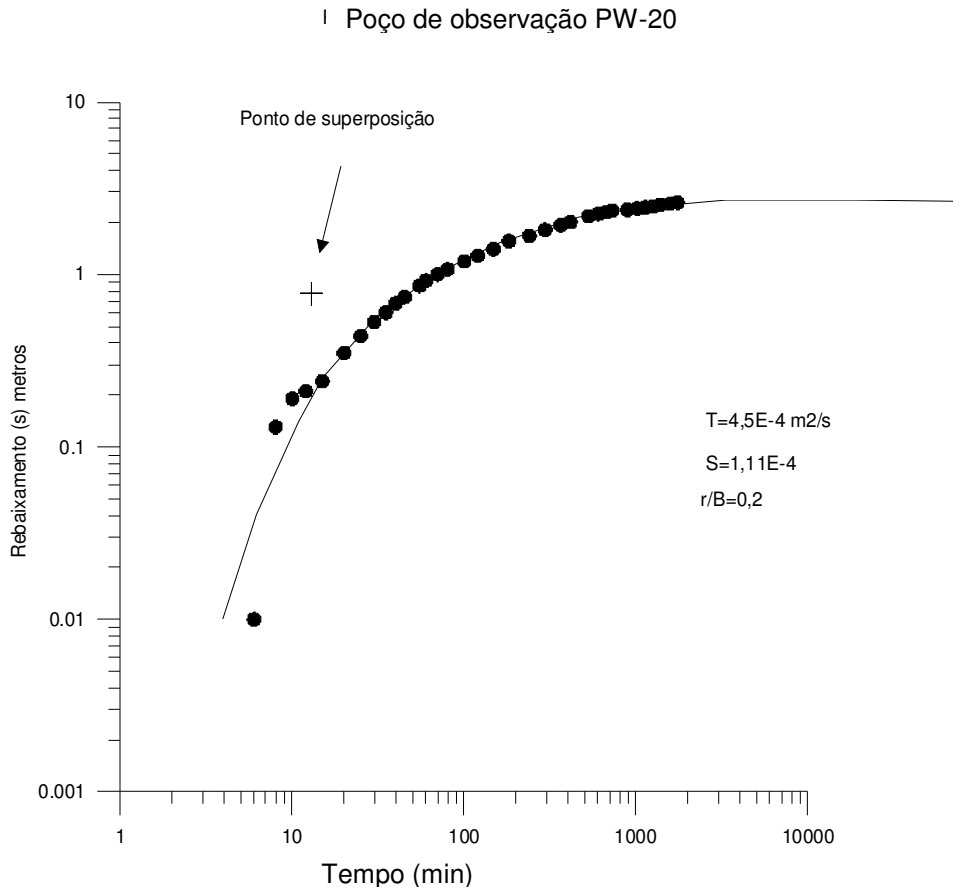


Figura 26 - Curva de rebaixamento do poço PW-20

A figura 27 mostra a curva de rebaixamento observada no poço PW-10A localizado a 160 metros do poço bombeado, que possui seção filtrante nos aquíferos Barreiras e Marituba. Nota-se que durante os primeiros 10 minutos o rebaixamento (tabela 10) ocorre de forma lenta e gradual, diferente da curva observada no poço PW-20. Este fato ocorre por causa da contribuição do aquífero Barreiras, que ameniza o efeito do rebaixamento observado no poço. Entretanto, após este período inicial percebe-se que a curva possui um perfil similar ao observado no poço PW-20, com tendência à estabilização e variações cíclicas do rebaixamento no mesmo período que foi evidenciado no PW-20.

As curvas de rebaixamento dos demais poços PW-08 (figura 28), PW-13 (figura 29), PW-14 (figura 30), PW-16 (figura 31), PW-17 (figura 32), PW-17A (figura 33), PW-07 (figura 34), PW-07B (figura 35) e PW-23 (figura 36) possuem comportamento similar ao observado

no PW-20. Entretanto, nos poços mais afastados, onde o efeito do rebaixamento provocado pelo bombeamento é pequeno, ficou mais evidente a oscilação do nível da água nos poços.

Tabela 9 - Rebaixamento no poço PW-20 durante o bombeamento do PW-19

Hora	Tempo (min)	Nível Estático (m)	Rebaixamento (m)	Hora	Tempo (min)	Nível Estático (m)	Rebaixamento (m)
07:01	1	8,69	0	11:00	240	10,36	1,67
07:02	2	8,69	0	11:56	296	10,50	1,81
07:03	3	8,69	0	13:05	365	10,62	1,93
07:04	4	8,69	0	13:55	415	10,70	2,01
07:05	5	8,69	0	15:50	530	10,87	2,18
07:06	6	8,70	0,01	17:04	604	10,94	2,25
07:07	7	8,72	0,03	18:15	675	11,00	2,31
07:08	8	8,82	0,13	19:06	726	11,04	2,35
07:10	10	8,88	0,19	20:00	780	11,06	2,37
07:12	12	8,90	0,21	21:50	890	11,10	2,41
07:15	15	8,93	0,24	23:56	1016	11,12	2,43
07:20	20	9,04	0,35	01:53	1133	11,18	2,49
07:25	25	9,13	0,44	04:02	1262	11,32	2,63
07:30	30	9,22	0,53	06:02	1382	11,44	2,75
07:35	35	9,29	0,60	09:10	1570	11,53	2,84
07:40	40	9,37	0,68	12:01	1741	11,45	2,76
07:45	45	9,43	0,74	15:00	1920	11,40	2,71
07:55	55	9,55	0,86	18:50	2150	11,41	2,72
08:00	60	9,61	0,92	23:57	2457	11,46	2,77
08:10	70	9,69	1,00	05:58	2818	11,59	2,90
08:20	80	9,76	1,07	11:52	3172	11,60	2,91
08:40	100	9,88	1,19	17:57	3537	11,53	2,84
09:00	120	9,97	1,28	23:56	3896	11,50	2,81
09:28	148	10,09	1,4	06:55	4315	11,61	2,92
10:02	182	10,25	1,56				

Tabela 10 - Rebaixamento no poço PW-10A durante o bombeamento do PW-19

Hora	Tempo (min)	Nível Estático (m)	Rebaixamento (m)	Hora	Tempo (min)	Nível Estático (m)	Rebaixamento (m)
07:01	1	9,4	0,0	11:08	248	10,83	1,43
07:02	2	9,4	0,0	12:04	304	10,93	1,53
07:03	3	9,5	0,10	13:12	372	11,06	1,66
07:04	4	9,5	0,10	14:09	429	11,15	1,75
07:05	5	9,52	0,12	15:00	480	11,23	1,83
07:06	6	9,52	0,12	15:46	526	11,27	1,87
07:07	7	9,52	0,12	17:06	606	11,33	1,93
07:08	8	9,54	0,14	18:23	683	11,41	2,01
07:09	9	9,54	0,14	19:12	732	11,44	2,04
07:10	10	9,57	0,17	20:11	791	11,44	2,04
07:15	15	9,65	0,25	21:56	896	11,46	2,06
07:20	20	9,74	0,34	00:02	1022	11,49	2,09
07:25	25	9,85	0,45	02:01	1141	11,54	2,14
07:30	30	9,93	0,53	04:13	1273	11,66	2,26
07:35	35	9,95	0,55	06:12	1392	11,78	2,38
07:40	40	10,00	0,60	09:20	1580	11,85	2,45
07:45	45	10,07	0,67	12:12	1752	11,79	2,39
07:55	55	10,10	0,70	15:08	1928	11,76	2,36
08:00	60	10,20	0,80	19:00	2160	11,82	2,42
08:10	70	10,28	0,88	00:07	2467	11,77	2,37
08:20	80	10,33	0,93	06:04	2824	11,93	2,53
08:40	100	10,46	1,06	11:59	3179	11,97	2,57
09:00	120	10,55	1,15	18:07	3547	11,92	2,52
09:30	150	10,68	1,28	00:03	3903	11,88	2,48
10:09	189	10,69	1,29	07:00	4320	11,89	2,49

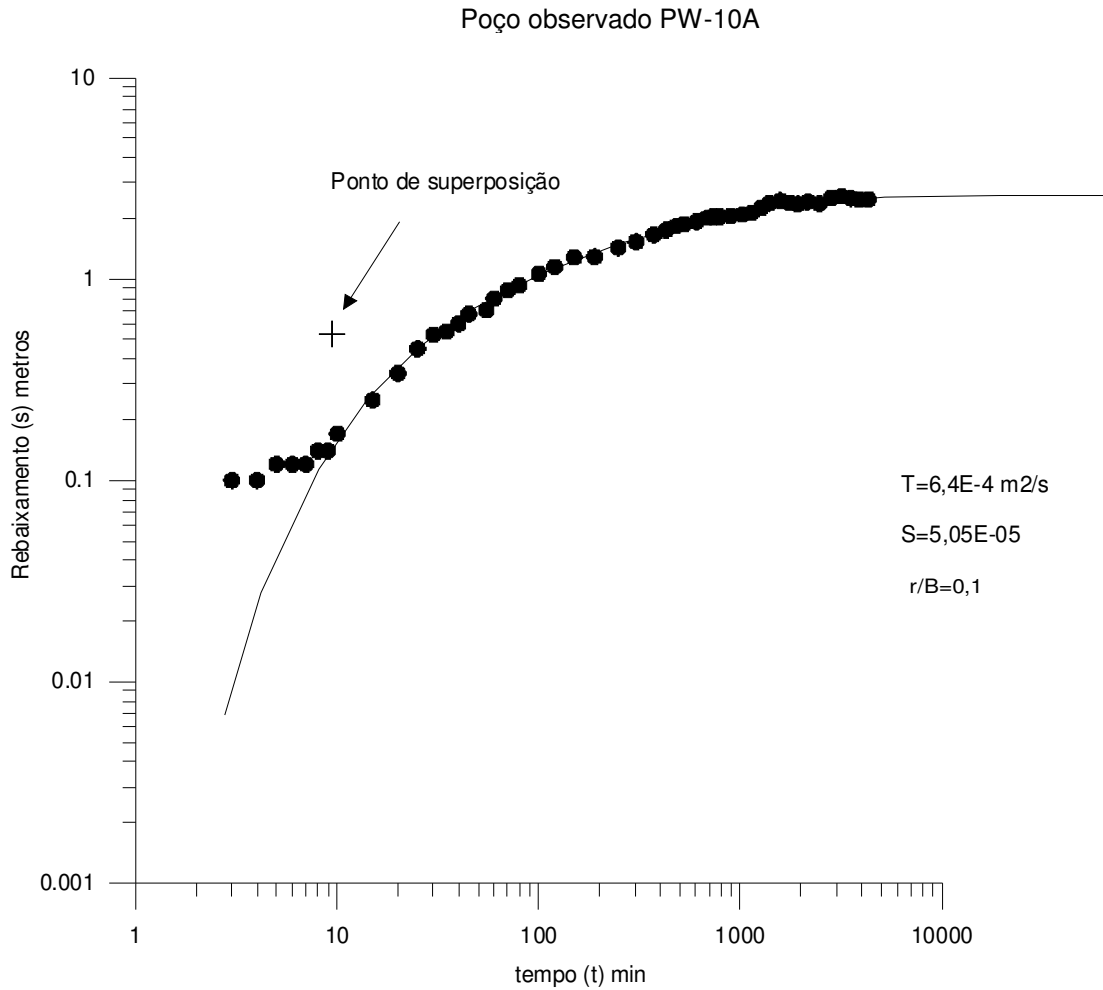


Figura 27 - Curva de rebaixamento do poço PW-10A

Anormalidades foram observadas nos poços PW-12B (figura 37) e PW-18 (figura 38), após nove horas do início do teste. Observou-se que os níveis de ambos os poços variaram quase 10 metros num intervalo de 1 hora. Analisando o evento posteriormente, foi constatado que o poço PW-24, cuja tubulação está conectada ao mesmo ramal dos poços citados, foi desligado às 17h11. Às 19h53 do mesmo dia, o poço PW-24 foi colocado em operação, e já nas medições de 20h15 e 22h os níveis dos poços PW-12B e PW-18 retornaram ao patamar anterior ao evento. O fato ocorrido demonstra de forma clara que houve alteração de vazão nos poços PW-12B e PW-18, provocada pela redução da perda de carga no ramal após a paralisação do PW-24. Esta anormalidade foi sanada após o retorno de operação do poço PW-24.

Poço observado PW-08

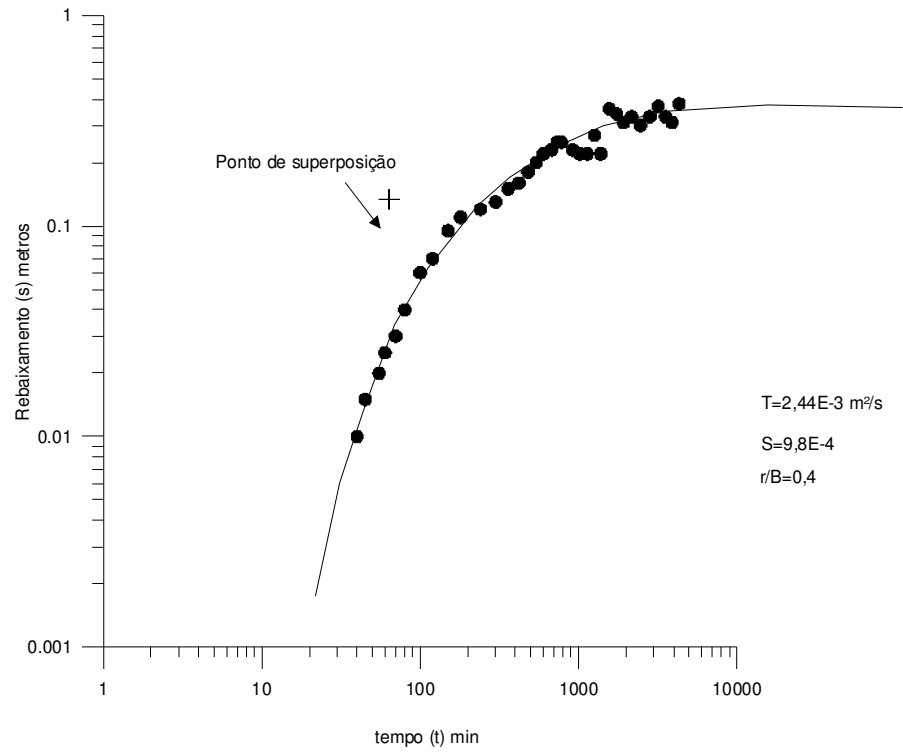


Figura 28 - Curva de rebaixamento do poço PW- 08

Poço observado PW-13

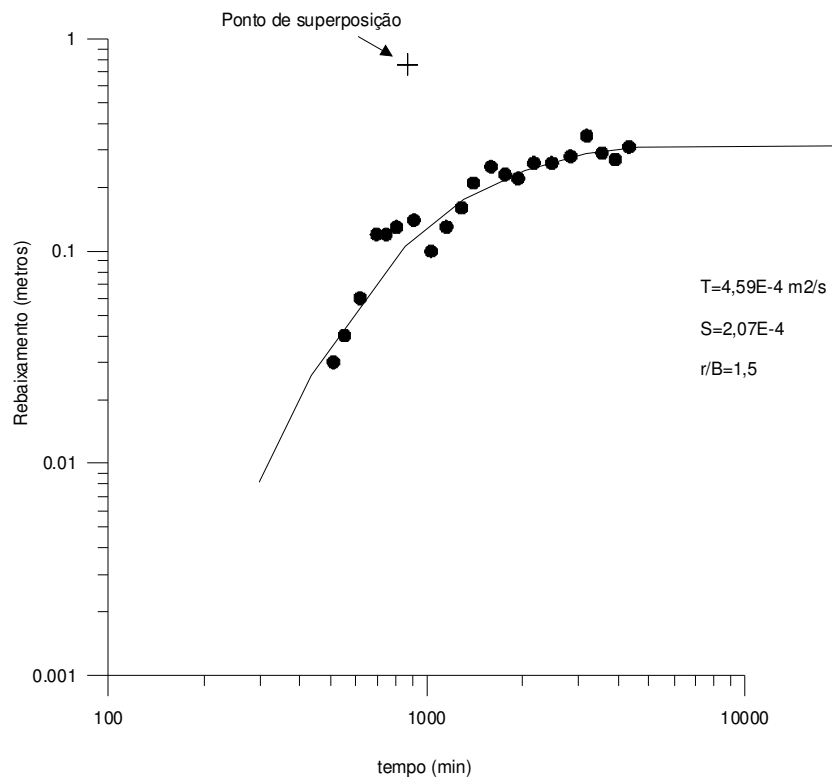


Figura 29 - Curva de rebaixamento do poço PW-13

Poço observado PW-14

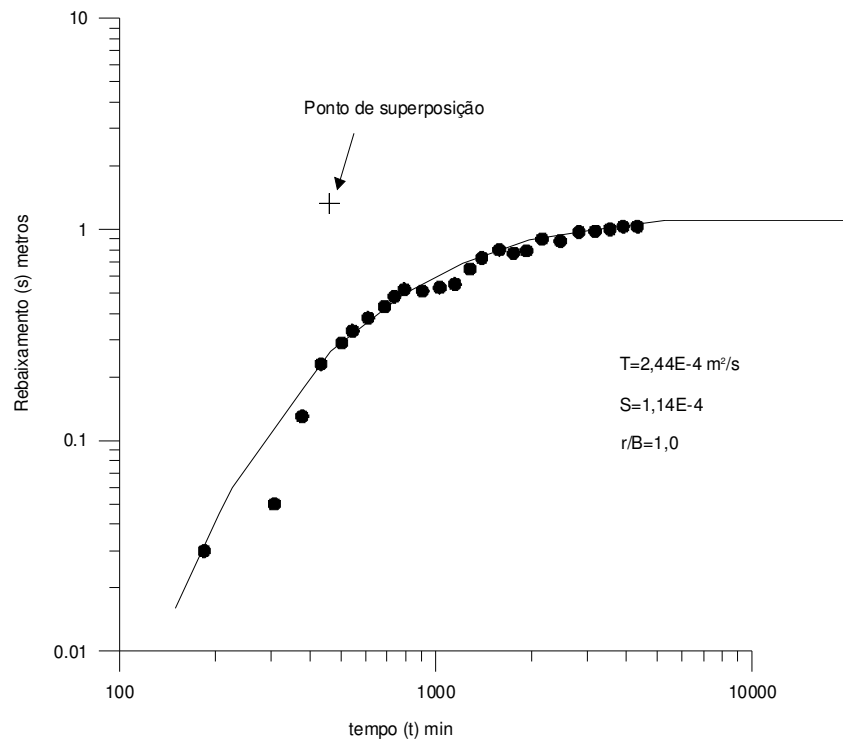


Figura 30 - Curva de rebaixamento do poço PW-14

Poço observado PW-16

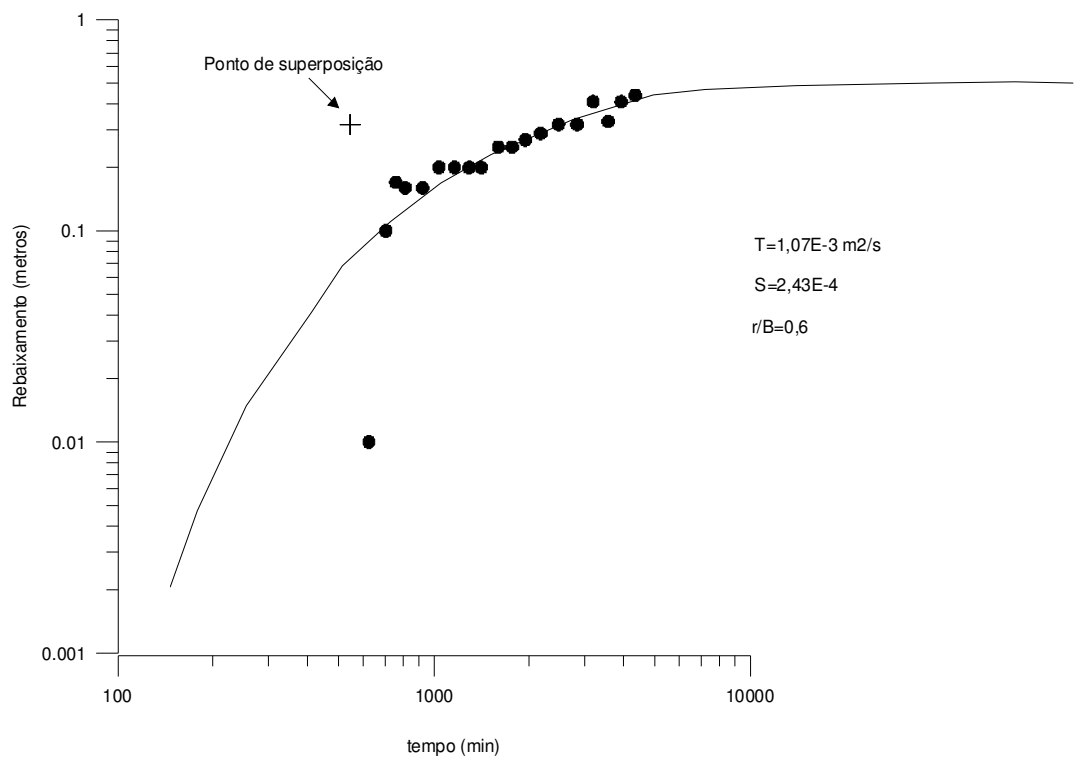


Figura 31 - Curva de rebaixamento do poço PW-16

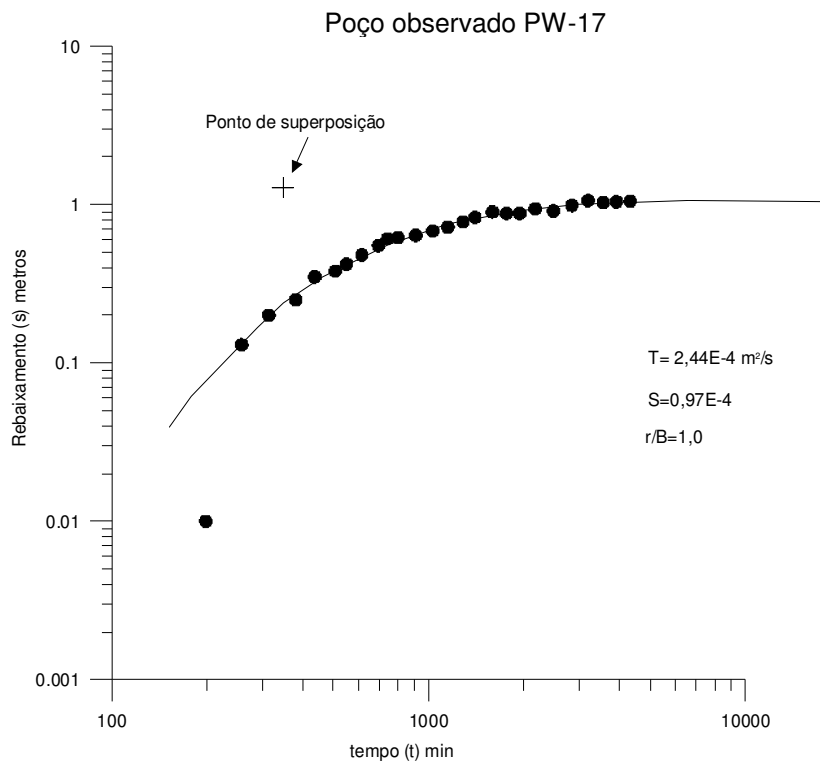


Figura 32 - Curva de rebaixamento do poço PW-17

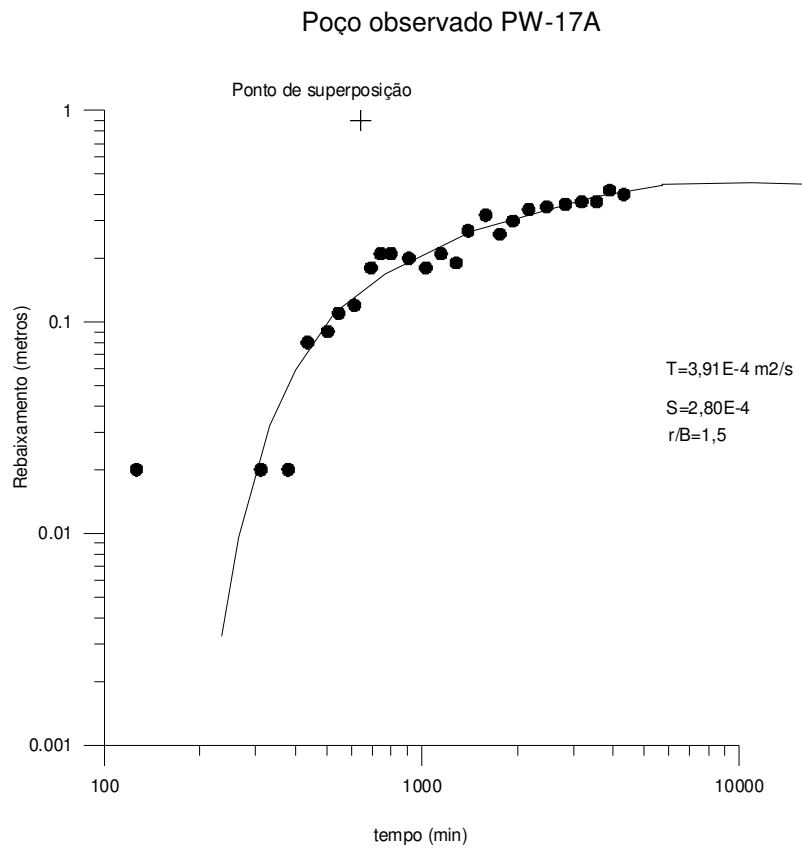


Figura 33 - Curva de rebaixamento do poço PW-17A

Poço observado PW-07

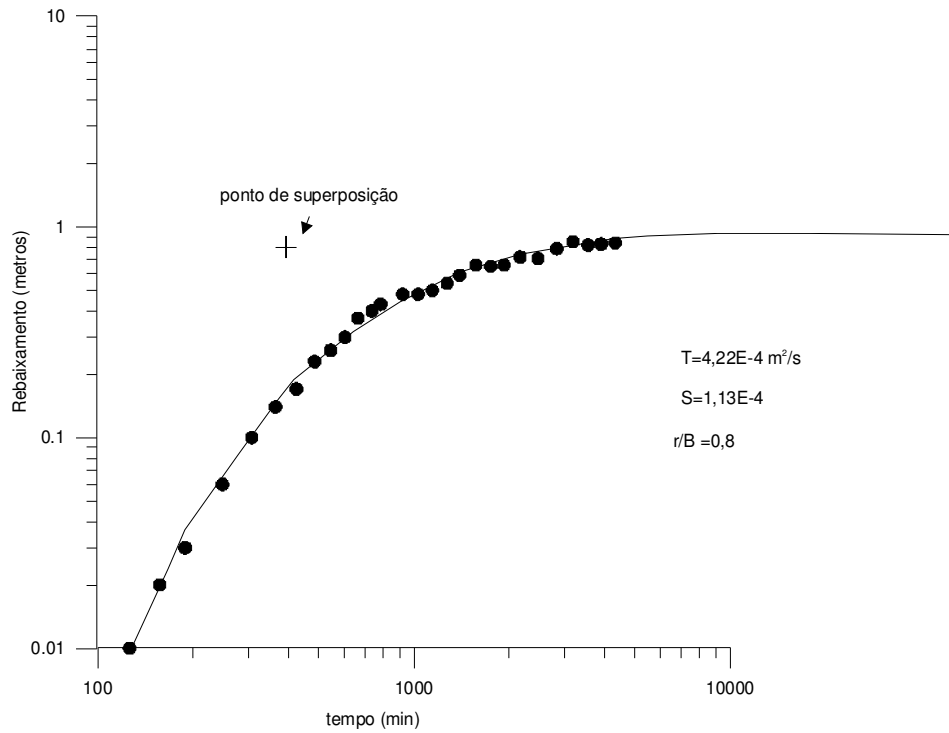


Figura 34 - Curva de rebaixamento do poço PW-07

Poço observado PW-07B

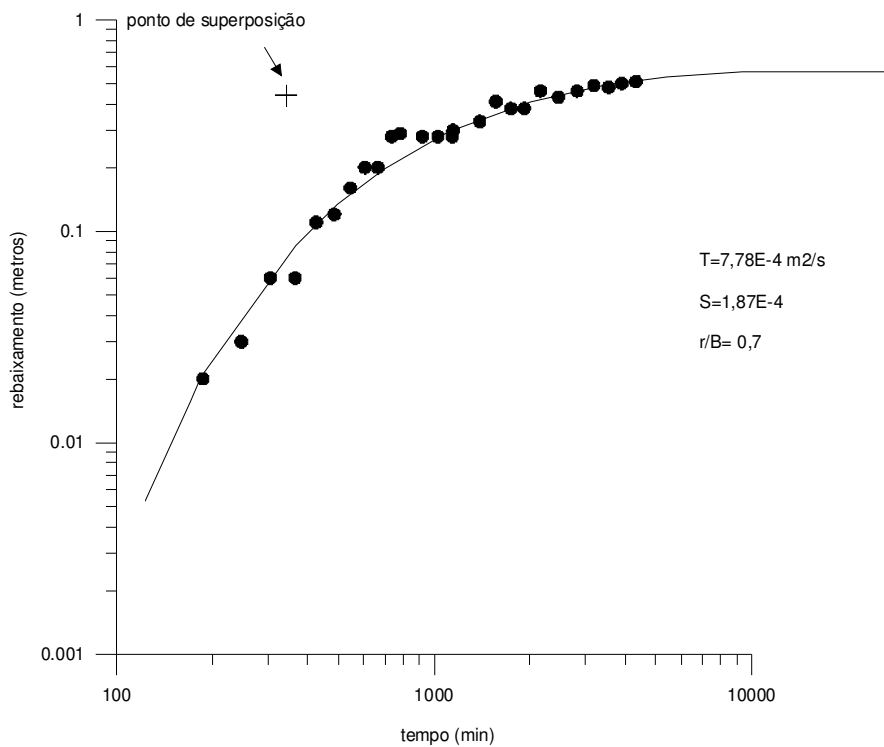


Figura 35 - Curva de rebaixamento do poço PW-07B

Poço observado PW-23

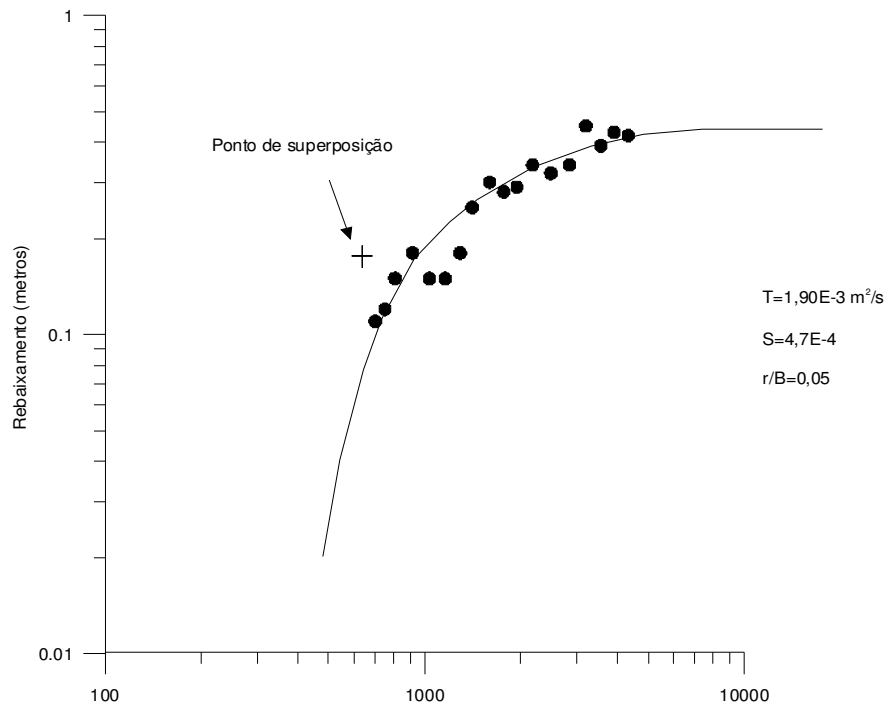


Figura 36 - Curva de rebaixamento do poço PW-23

Poço observado PW-12B

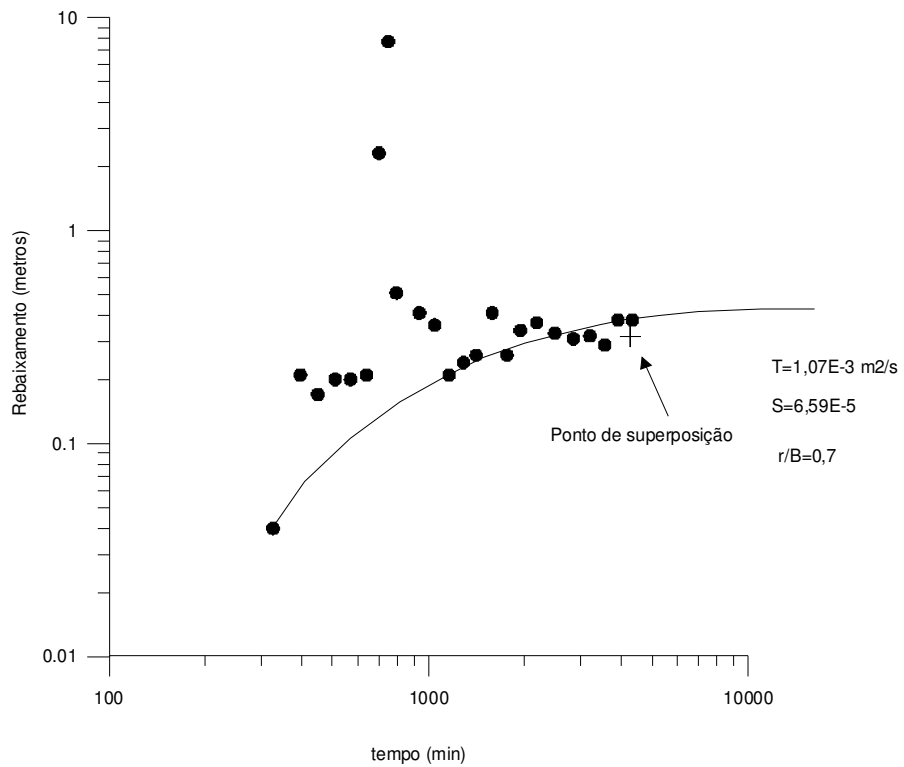


Figura 37 - Curva de rebaixamento do poço PW-12B

Poço observado PW-18

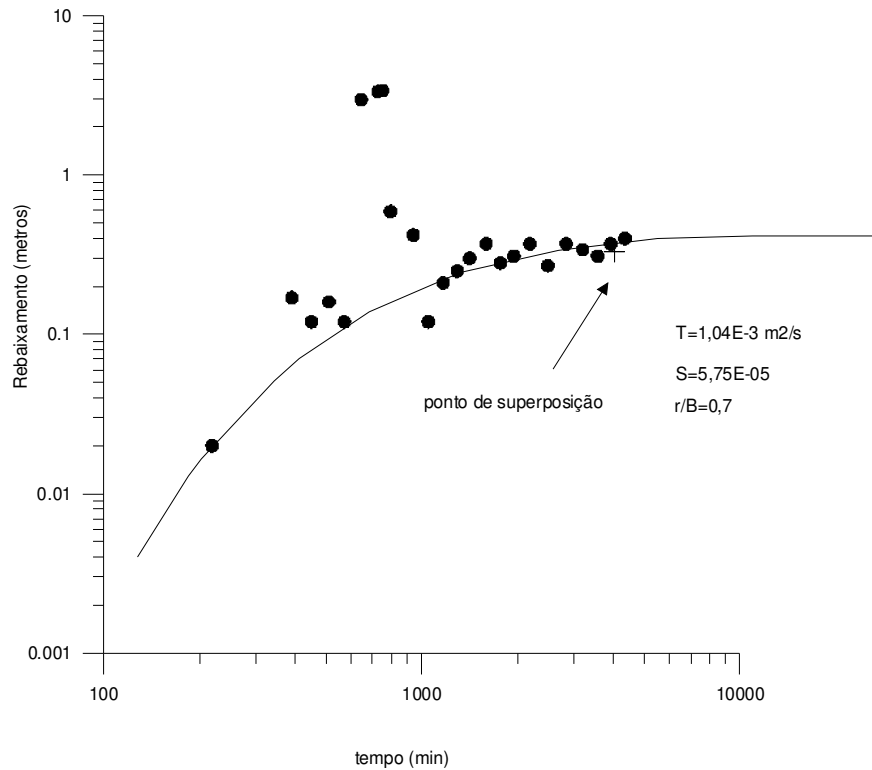


Figura 38 - Curva de rebaixamento do poço PW-18

4.4.3 - Influência da maré no aquífero Marituba

O aquífero Marituba está localizado em uma zona costeira e está submetido a influências da maré. Este efeito foi percebido durante os testes no aquífero através de oscilações do nível da água. Sendo assim, visando quantificar este efeito, foram coletadas informações da tábua de maré referente ao porto de Maceió obtidas na página da internet da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN,2005) nos dias 30/9/2003, 1/10/2003 e 2/10/2003, mostrada na tabela 11.

Nota-se que as informações de níveis de água no aquífero que foram coletadas no horário entre 12h e 13h, durante os dias 30/9/03 e 1/10/03 (tabela 6), registraram oscilações crescentes (figura 25), enquanto que os dados da tábua de maré indicavam baixa-mar (tabela 11). Por outro lado, no dia 2/10/03, quando os níveis de água nos poços foram medidos entre 06h e 06h30, os valores dos níveis sofreram uma pequena redução quando comparados com o dia anterior, e neste mesmo horário, a tábua de maré já indicava preamar.

Tabela 11 - Variação da maré nos dias anteriores ao bombeamento (DHN,2005)

DIA	HORA	ALTURA (m)
TERÇA 30/9/03	00:24	0,1
	06:23	1,7
	12:08	0,3
	18:43	2,2
QUARTA 1/10/03	01:13	0,3
	07:21	1,6
	12:58	0,5
	19:39	1,9
QUINTA 2/10/03	02:15	0,4
	08:38	1,4
	14:04	0,7
	20:53	1,6

No poço PW-13 foram realizadas medições de nível d'água (figura 15) em intervalos de 1 hora durante 24 horas no dia 6/5/2005. A tabela 12 mostra as oscilações do nível estático do poço PW-13, bem como a variação da maré referente ao porto de Maceió obtidas na página da internet da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN,2005), corrigida através da tabela de correção de maré para qualquer instante (Miguens, 1996).

Pode-se observar que o nível d'água do poço PW-13 varia de acordo com as oscilações da maré, com uma defasagem de aproximadamente quatro horas da baixa-mar e três horas da preamar, como é mostrado na figura 39. Portanto, foi verificado que a carga hidráulica do aquífero acompanha a variação da maré, todavia, durante a baixa-mar a carga hidráulica do aquífero se reduz de forma mais lenta, fato que não é observado após a preamar, cuja elevação da carga hidráulica do aquífero ocorre de forma mais rápida. Nota-se também que o nível estático do poço PW-13 atinge os valores máximos e mínimos a cada 12 horas, comportamento similar ao ciclo da maré.

Tabela 12 - Variação da maré e nível estático do PW-13 no dia 6/5/2005

Hora	Maré (m)	NE (m)	Hora	Maré (m)	NE (m)
07:00	0,60	-6,93	19:00	0,60	-6,95
08:00	0,30	-6,98	20:00	0,30	-6,96
09:00	0,30	-7,00	21:00	0,20	-6,98
10:00	0,60	-7,04	22:00	0,40	-7,00
11:00	1,05	-7,07	23:00	0,80	-7,04
12:00	1,45	-7,10	00:00	1,20	-7,05
13:00	1,85	-7,12	01:00	1,70	-7,07
14:00	2,20	-7,10	02:00	2,05	-7,05
15:00	2,20	-7,06	03:00	2,20	-7,02
16:00	2,00	-7,00	04:00	2,0	-6,97
17:00	1,60	-6,96	05:00	1,70	-6,92
18:00	1,10	-6,94	06:00	1,20	-6,90
19:00	0,60	-6,95	07:00	0,70	-6,91

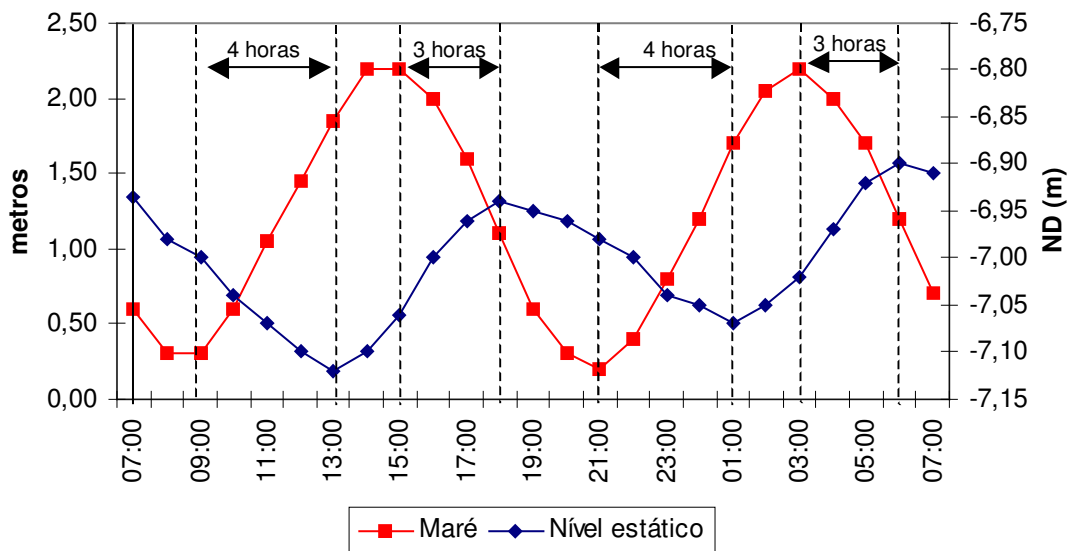


Figura 39 - Variação da maré e do nível estático no poço PW-13

4.4.4 - Mapa de transmissividade

O mapa de transmissividade do aquífero Marituba (figura 40) na área de estudo foi construído com base nas informações obtidas das curvas de rebaixamento do teste realizado com 13 poços de observação, bem como os dados obtidos do teste realizado com um poço de observação, descartando as informações dos poços PW-12B e PW-18, devido aos problemas identificados no teste, como também do poço PW-08, que estava com o filtro danificado. A tabela 13 mostra os parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Marituba, enquanto a tabela 14 mostra os parâmetros obtidos dos poços que captam água simultaneamente nos aquíferos Barreiras e Marituba.

Tabela 13 - Parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Marituba na área de estudo

Poço observado	T (m ² /s) x 10 ⁻³	K (m/s) x 10 ⁻⁵	S x 10 ⁻⁴	b (m)	Distância r (m)
PW-07	0,42	1,41	1,13	30	597
PW-08	2,44	9,04	9,8	27	194
PW-12B	1,07	1,98	0,69	54	1258
PW-13	0,45	1,21	2,07	37	664
PW-14	0,24	0,73	1,14	33	497
PW-15	1,33	3,69	2,88	36	1080
PW-16	1,07	3,06	2,43	35	738
PW-17	0,24	0,76	0,97	32	453
PW-18	1,04	2,89	0,57	36	1297
PW-20	0,45	1,67	1,11	27	109
PW-23	1,07	2,55	2,11	42	787
PW-09B	1,10	1,67	2,26	66	-

Tabela 14 - Parâmetros hidrodinâmicos equivalentes do aquífero Barreiras/Marituba

Poço observado	T (m ² /s) x 10 ⁻³	K (m/s) x 10 ⁻⁵	S x 10 ⁻⁴	Distância r (m)
PW-07B	0,77	1,22	1,87	599
PW-10A	0,57	1,39	0,50	159
PW-17A	0,39	1,95	2,80	451

A figura 40 mostra a variação de transmissividade do aquífero Marituba na área de estudo que varia entre $0,3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ nas proximidades do poço PW-20, e $1,1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ao sul da região próxima aos poços PW-09B e PW-12B. Este fato ocorre provavelmente devido à variação de espessura do aquífero (figura 41), que está compreendida entre 27 metros no poço PW-20 e 66 metros no poço PW-09B, associada à presença de descontinuidade da camada semipermeável que isola os aquíferos Barreiras e Marituba, observada na região dos poços PW-15A e PW-12B (figura 16), que pode permitir de uma forma mais acentuada a drenança vertical do aquífero Barreiras para o Marituba, reduzindo assim o rebaixamento.

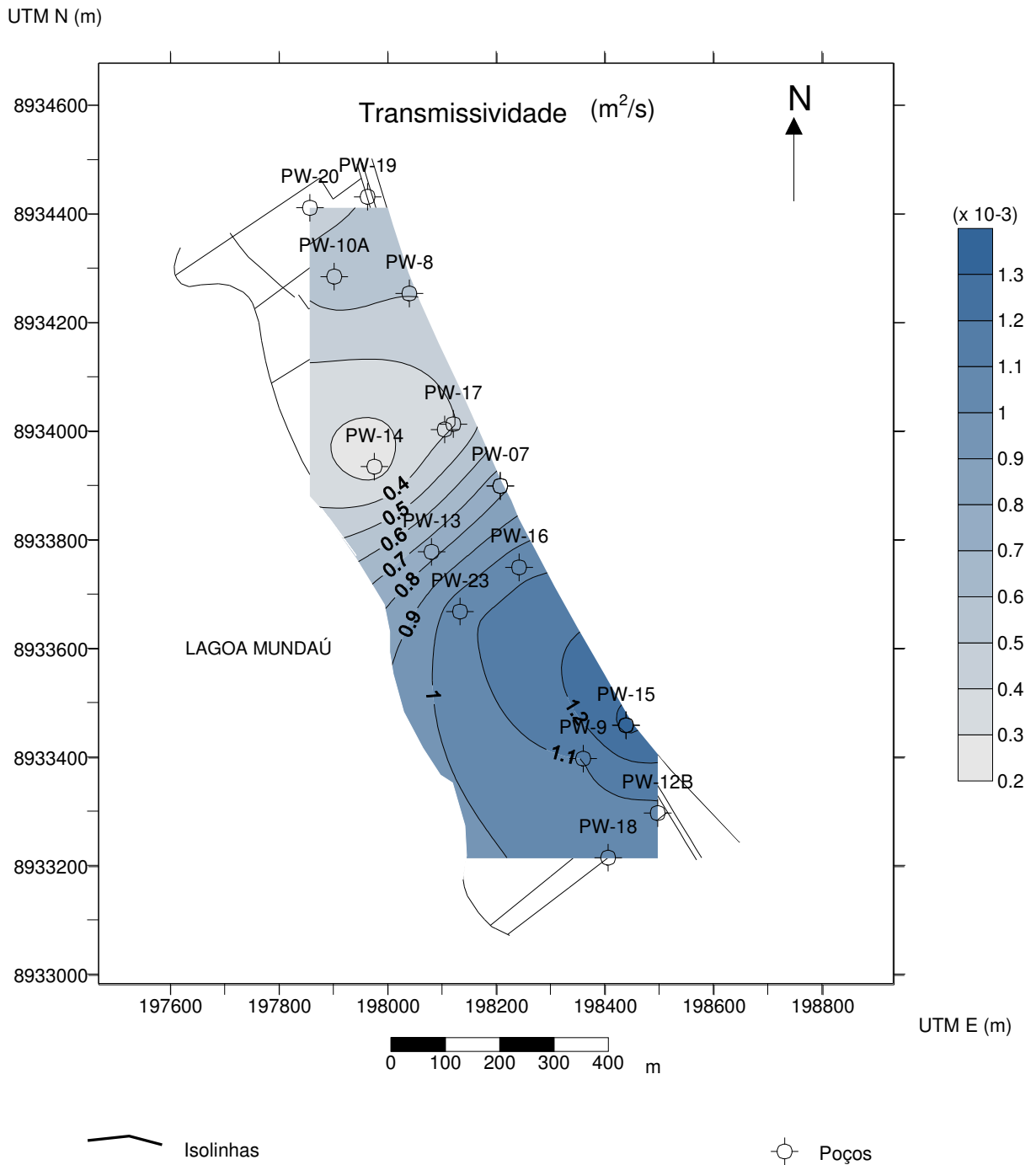


Figura 40 - Mapa de transmissividade do aquífero Marituba

Tabela 15 - Espessura do aquífero Marituba

Poço	Espessura (m)	Poço	Espessura (m)
PW-07	30	PW-16	35
PW-08	27	PW-17	27
PW-12B	54	PW-18	36
PW-13	37	PW-20	27
PW-14	33	PW-23	42
PW-15	36	PW-09B	66

UTM N (m)

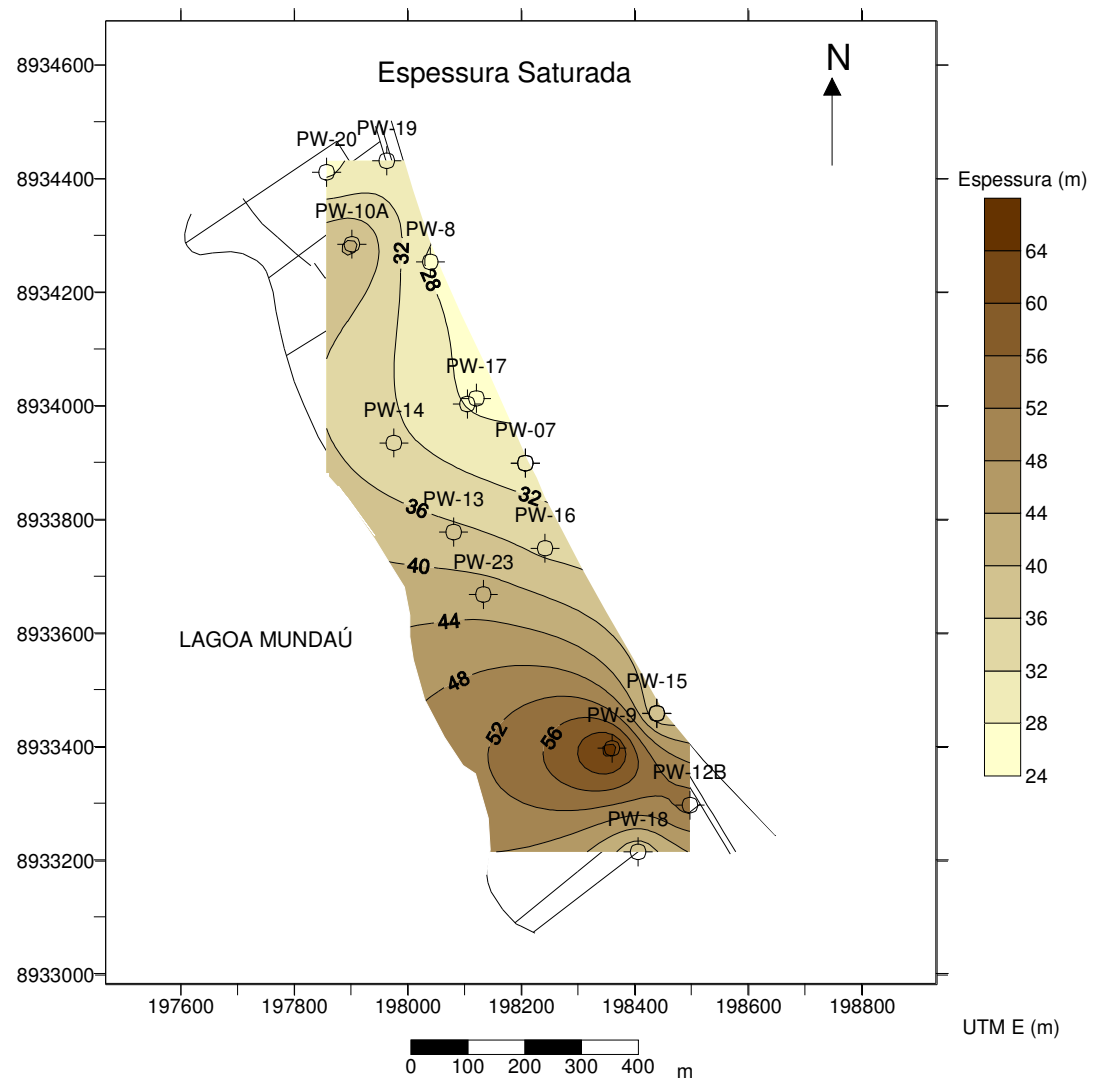


Figura 41 - Mapa de espessura do aquífero Marituba

5 - HIDROGEOQUÍMICA

A água subterrânea movimenta-se nos aquíferos em velocidade muito baixa, podendo levar anos, décadas ou até mesmos séculos (UN & WWAP, 2003) para migrar das áreas de recarga para zonas de exutório como rios, riachos, lagoas e zonas costeiras (Zektser, 1999). Devido a este longo tempo de residência da água no subsolo, as características físico-químicas sofrem alterações lentas por conta das interações entre os elementos químicos presentes na água e os minerais contidos nas formações geológicas nas quais circulam. Esta dinâmica de interações envolve uma seqüência de processos físicos, químicos e biológicos, incluindo o intemperismo, a dissolução e/ou precipitação de minerais na solução, a troca iônica entre a água e a rocha, como também a mistura entre águas de diferentes composições (Nobre et al 2003). A ciência que trata destas interações da água subterrânea com o meio é chamada hidrogeoquímica (Appelo & Postma, 1993).

A hidrogeoquímica fornece informações que possibilitam a identificação tanto da origem como da evolução da água, através de análises físico-químicas que determinam a quantidade dos principais elementos classificados como primários, secundários e terciários. Segundo (Kemmer, 1987), os constituintes primários incluem os sólidos dissolvidos que excedem 5 mg/l . São eles:

Bicarbonato (HCO_3^-)

O íon bicarbonato é o principal constituinte alcalino da água. Geralmente é encontrado entre 5 e 500 mg/l, expresso como CaCO_3 . A alcalinidade na água doce raramente excede 300 mg/l. Na água do mar (tabela 16), a concentração está em torno de 140 mg/l.

Cálcio (Ca^{+2})

O cálcio é o maior componente responsável pela dureza na água e geralmente é encontrado entre 5 e 500 mg/l , expresso como CaCO_3 (2 a 200 mg/l como Ca^{+2}). Está presente em muitos minerais, principalmente calcita e gipsita. Os depósitos de calcário freqüentemente possuem fósseis de organismos aquáticos, que adquirem cálcio da água do mar. Na água do mar (tabela 16), a concentração está em torno de 400 mg/l.

Cloreto (Cl⁻)

O cloreto é um íon comum na água doce, encontrado entre 10 e 100 mg/l . Fetter (1994) definiu que a concentração de cloreto na água doce está entre 0 e 300 ppm , na água salobra entre 300 e 5.000 ppm, e na água salina entre 5.000 e 60.000 ppm, enfatizando que na água do mar está em torno de 19.000 ppm. A troca iônica é o único processo químico capaz de remover o cloreto da água, contudo , processos físicos tais como evaporação e osmose reversa também o fazem. O limite máximo recomendado pelo Ministério da Saúde, portaria nº 518 de 25/3/2004, é de 250 mg/l.

Magnésio (Mg⁺²)

O magnésio tipicamente varia entre 10 e 50 mg/l (aproximadamente 40 a 200 mg/l, expresso como CaCO₃). O magnésio está contido em vários minerais, incluindo dolomita, magnesita e numerosos tipos de argilas. Na água do mar (tabela 16), a concentração de magnésio é 3 vezes maior do que a de cálcio, devido à solubilidade mais elevada.

Sódio (Na⁺)

Os sais de sódio são altamente solúveis em água, embora alguns complexos minerais não sejam. Altos teores de cloreto em salmouras e na água do mar estão geralmente associados com o íon de sódio. Na água doce o teor varia entre 10 e 100 mg/l. O sódio está presente em alguns tipos de argilas e feldspatos. Na água do mar (tabela 16), a concentração está em torno de 10.000 mg/l.

Sulfatos (SO₄⁻²)

Os sulfatos dissolvidos na água são originados de alguns minerais, especialmente a gipsita (CaSO₄.2H₂O), ou resultado da oxidação de minerais sulfetados, como a pirita. Tipicamente, o teor de sulfato na água doce varia entre 5 e 200 mg/l, enquanto na água do mar está em torno de 2.600 ppm (tabela 16). O limite máximo recomendado pelo Ministério da Saúde, portaria nº 518 de 25/3/2004, é de 250 mg/l.

Tabela 16 - Principais íons da água do mar

Íon	Teor (ppm)
Cl ⁻	19.000
Na ⁺	10.500
SO ₄ ⁻²	2.650
Mg ⁺²	1.300
Ca ⁺²	400
K ⁺	380
HCO ⁻³	140
Br ⁻	65
CO ₃ ⁻²	18
Sr ⁺²	8
SiO ₂	6
B	4,5
F ⁻	1,3
Al ⁺³	0,001

Fonte: (Driscoll,1986)

5.1 – PROCESSOS DE SALINIZAÇÃO

Durante o processo de salinização de um aquífero, a água torna-se quimicamente muito ativa sempre em busca do equilíbrio iônico (Perez & Evangelista,1988), que modifica substancialmente as características físico-químicas da água através da troca catiônica que ocorre entre os íons.

Beekman & Appelo (1990) estudaram em coluna experimental o processo de troca catiônica que ocorre durante a salinização de um aquífero. O experimento consistiu em substituir gradativamente a água doce presente na coluna por uma solução de água salgada com água destilada na proporção de 1:1, avaliando as mudanças na concentração dos íons cloreto, magnésio, cálcio e sódio da água que deixou a coluna.

Beekman & Appelo (1990 op. cit) observaram que na água doce os íons de cálcio e bicarbonato são dominantes, e ao entrarem em contato com os sedimentos de um aquífero aderem quimicamente à superfície dos grãos através do processo chamado adsorção. Este fenômeno foi constatado no início do experimento, quando grãos contidos na coluna possuíam íons de cálcio adsorvidos na sua superfície.

Por outro lado, na água do mar os íons sódio (Na⁺) e cloreto (Cl⁻) é que são dominantes. Desta forma, os sedimentos que estão em contato com água salgada terão os

íons de sódio adsorvidos na superfície. Portanto, quando a água do mar penetra em um aquífero de água doce ocorre o processo de troca catiônica na superfície dos grãos entre o os íons de cálcio e sódio.

Durante o experimento, Beekman & Appelo (1990 op. cit) observaram que os primeiros 50 ml que saíram da coluna possuíam as características da água doce, entretanto, à medida que a água doce era substituída pela solução salina, o sódio presente na água salgada era adsorvido na superfície dos grãos contidos na coluna, liberando o cálcio, que estava adsorvido, para a solução. A concentração dos íons cloreto, sódio e magnésio na solução de saída da coluna também se eleva, acompanhando o perfil da concentração de cálcio (figura 42). Entretanto, no momento em que todo o cálcio que estava adsorvido na superfície dos grãos foi liberado para a solução de saída da coluna, o teor de cálcio observado na solução começou a decrescer até atingir a concentração da solução salina. Em contrapartida, as concentrações dos íons cloreto, sódio e magnésio na solução de saída da coluna continuaram elevando-se até atingir o equilíbrio com a concentração da solução salina (figura 42).

Sendo assim, percebe-se que durante um processo de intrusão salina, os teores de magnésio, cloreto e sódio contidos na água doce se elevam à medida que a contaminação do aquífero por água salgada evolui, cessando no momento em que o equilíbrio iônico com a água salgada é alcançado.

Portanto, como pode ser visto, um dos principais indicadores da contaminação de um aquífero por água salgada é a mudança na concentração de cloreto (Cl^-), já que é um dos íons menos afetados pelas reações químicas que se produzem durante os processos de mistura da água doce com a água salgada (Prats et al, 1988).

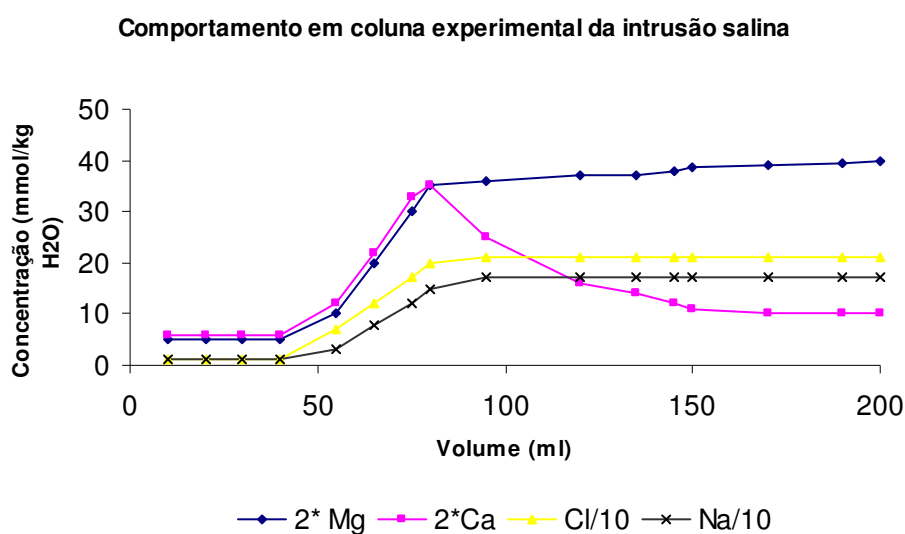


Figura 42 - Comportamento em coluna experimental da intrusão salina .

Adaptado (Appelo & Postma, 1993)

5.2 – SALINIZAÇÃO DO AQÜÍFERO MARITUBA

5.2.1 - Evolução dos teores de cloreto na água

O monitoramento da concentração de íons cloreto na água dos poços que captam no aquífero Marituba na área de estudo é realizado mensalmente desde 1975, através do método de Mohr (Fishman & Friedman, 1989), cujos resultados são registrados em planilhas. Entretanto, muitos destes registros não foram encontrados no arquivo técnico da Braskem S.A., sobretudo as informações referentes às décadas de 70 e 80. De qualquer forma, todas as informações disponíveis foram compiladas e serão discutidas caso a caso, a fim de elucidar o processo de salinização da água.

Na figura 43 pode-se observar que a concentração de cloreto na água do poço PW-10A evoluiu rapidamente entre 1999 e 2001, com teores variando entre 250 e 1.650 ppm. A partir de março de 2001, o poço que operava em regime contínuo com vazão de 80 m³/h passou a operar em regime intermitente, a fim de minimizar o processo de contaminação. A mudança operacional provocou uma redução do teor de cloreto de 1.650 ppm para 1.300 ppm, porém esta concentração não atende aos parâmetros da unidade operacional da Braskem S.A., que optou pela sua desativação em setembro de 2001.

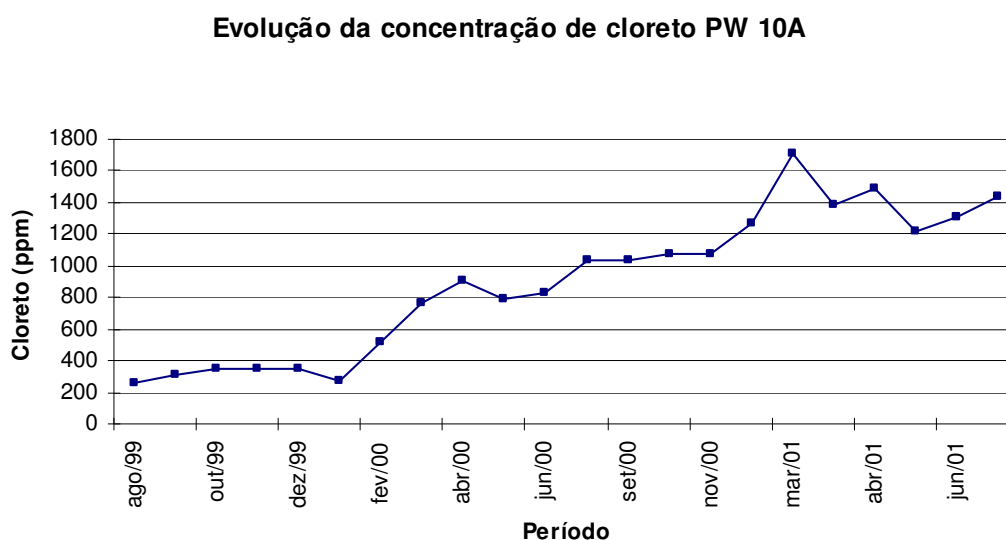


Figura 43 - Evolução da concentração de cloreto no poço PW-10A

Três meses após a desativação do poço PW-10A, notou-se que o teor de cloreto na água do poço PW-08 também se elevou de forma abrupta (figura 44), saltando de 100 ppm no final de 2001 para 700 ppm no final de 2002. A contaminação do aquífero por água

salgada foi constatada no poço PW-08, vinte e um meses após os primeiros sinais observados no poço PW-10A. Isto evidencia que a salinização do aquífero Marituba está migrando dos poços mais próximos das margens da lagoa Mundaú para os poços mais afastados da costa lagunar.

Evolução da concentração de cloreto PW-08

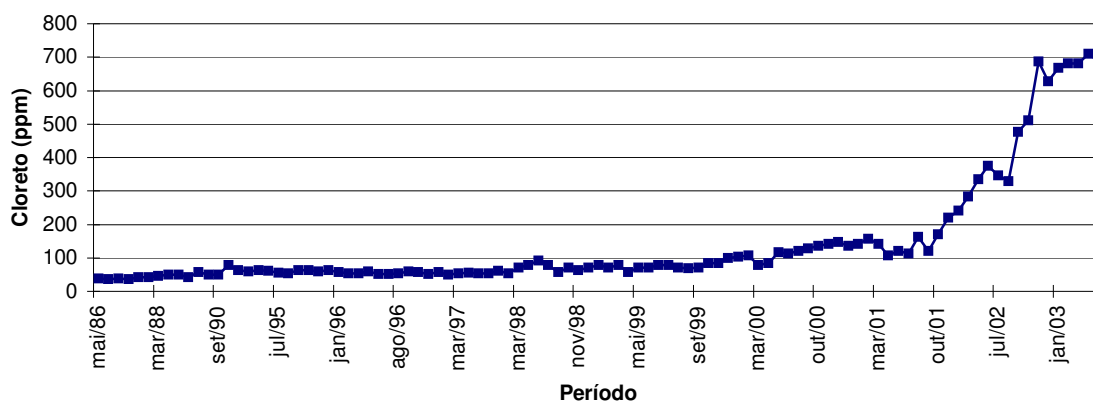


Figura 44 - Evolução da concentração de cloreto no poço PW-08

As figuras 45, 46, 47, 48 e 49 mostram as evoluções dos teores de cloreto nos poços PW-19, PW-09B, PW-23, PW-12B e PW-18, todas apresentando perfis semelhantes, onde podem ser observadas elevações de concentrações de forma acentuada entre 2000 e 2001, bem como estabilizações ou reduções entre 2004 e 2005.

As informações obtidas em todos os poços analisados no início desta década mostram um processo intenso e contínuo de salinização do aquífero, evidenciado pela mudança consistente dos teores de cloreto.

Além da constatação desta evolução no tempo, as figuras 50, 51, 52 e 53 mostram a distribuição no espaço, onde se percebe a migração da salinização no sentido lagoa Mundaú- continente, de forma mais acentuada na área dos poços PW-19 e PW-10. Nota-se também que em 1998 (figura 50) a região mais afetada apresentava teores de cloreto entre 500 e 1.000 ppm; em 2001 (figura 51) esta mesma área já ultrapassava 1.200 ppm e em 2003 (figura 52) foi observado o ápice da contaminação, afetando quase 50% da área de estudo com valores de cloreto acima de 1.000 ppm.

Vale a pena ressaltar que os poços PW-19, PW10 e PW-20, situados na zona mais afetada pela salinização (figura 50), bombeavam juntos em 1998 cerca de 120 m³/h, valor similar aos poços PW-09B, PW-12B e PW-18, situados na zona menos afetada pela

salinização. Este raciocínio leva a acreditar que apenas o volume captado no aquífero não é o único fator que está provocando o processo de contaminação. Entretanto, quando as informações de transmissividade (figura 40) do aquífero e teores de cloreto (figura 52) são correlacionadas, observa-se que a zona mais salinizada possui os menores valores de transmissividade, e vice-versa. O fato de a água salgada ser mais densa que a água doce, associado aos maiores gradientes observados em regiões com transmissividades menores, sugere que o bombeamento nesta área esteja induzindo a migração da água salgada no sentido ascendente no interior do aquífero.

Em fevereiro de 2004, a fim de minimizar o processo de salinização, adotou-se uma estratégia de redução na vazão de todos os poços que captavam água do aquífero Marituba. Esta medida reduziu em 20% o volume captado, gerando resultados satisfatórios, visto que no mês subsequente às mudanças foram observadas reduções nas concentrações de cloreto em todos os poços (figura 45, 46, 47, 48 e 49), as quais perduraram até o final do estudo. A figura 53 mostra o efeito desta intervenção numa distribuição espacial.

Evolução da concentração de cloreto no PW-19

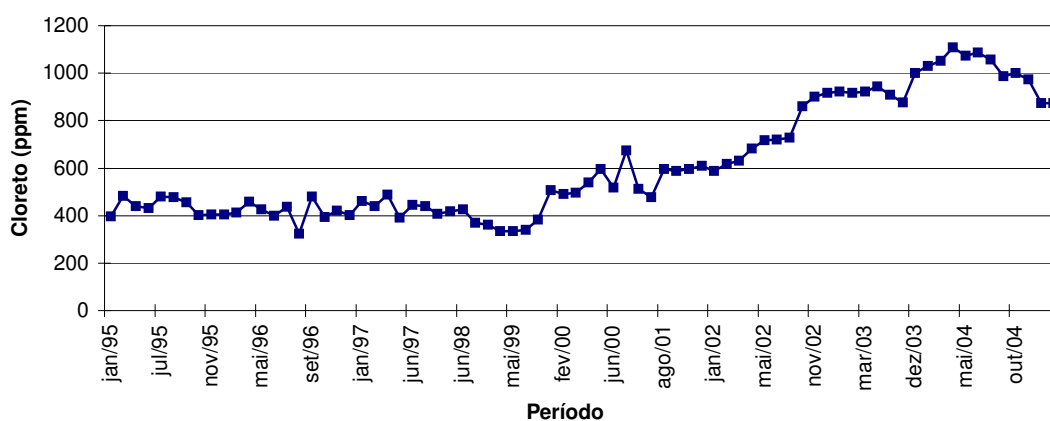


Figura 45 - Evolução da concentração de cloreto no poço PW-19

Evolução da concentração de cloreto no PW-09B

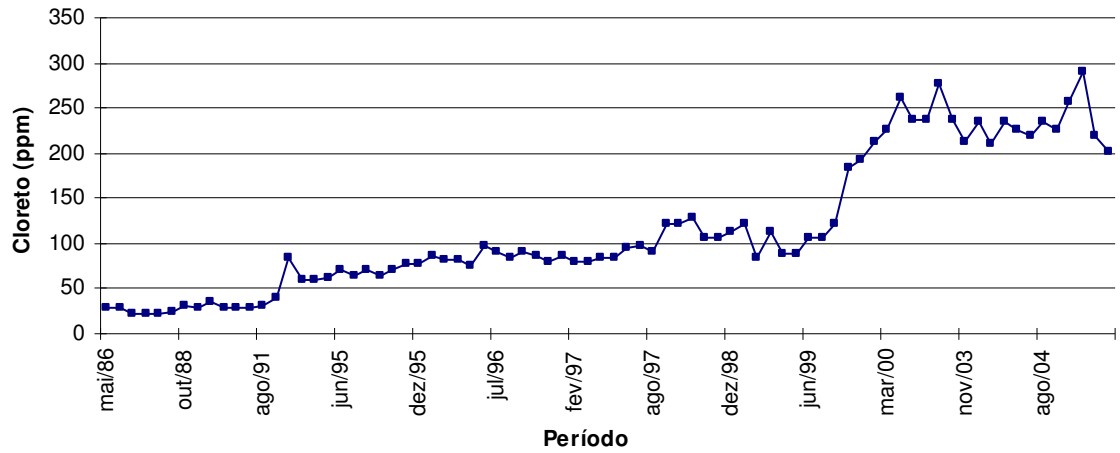


Figura 46 - Evolução da concentração de cloreto no poço PW-09B

Evolução da concentração de cloreto no PW-23

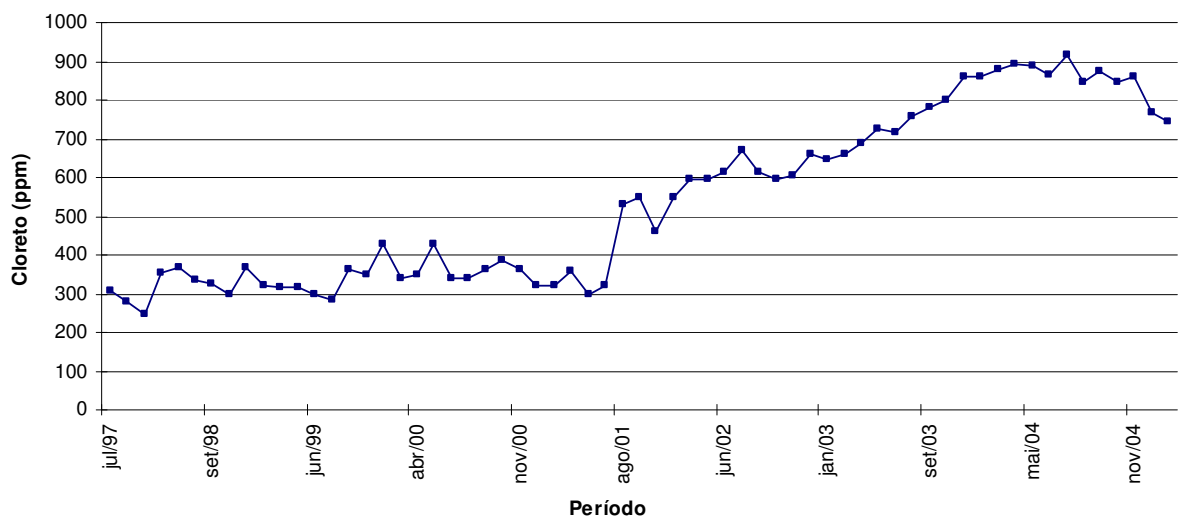


Figura 47 - Evolução da concentração de cloreto no poço PW-23

Evolução da concentração de cloreto no PW-12B

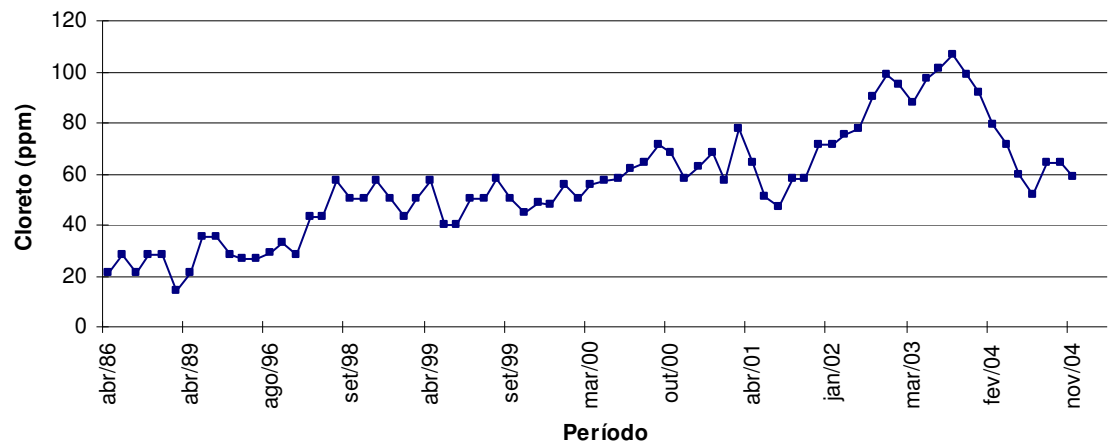


Figura 48 - Evolução da concentração de cloreto no poço PW-12B

Evolução da concentração de cloreto no PW-18

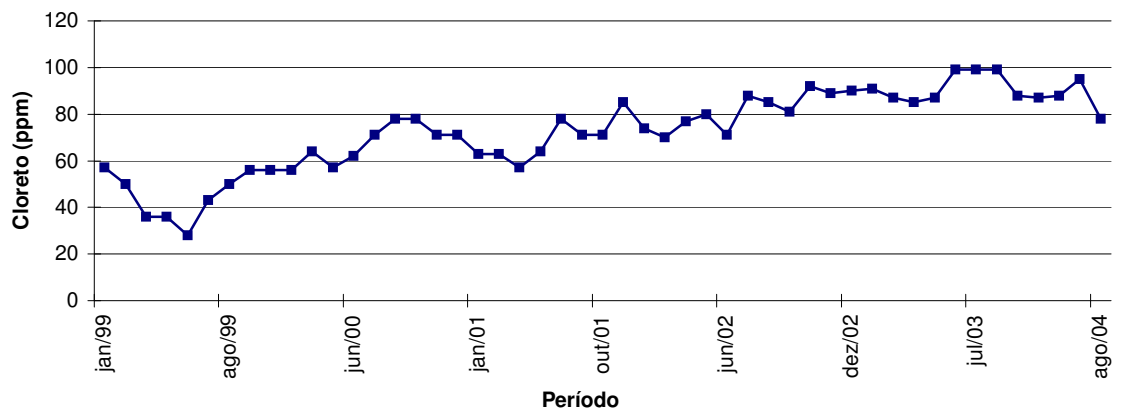


Figura 49 - Evolução da concentração de cloreto no poço PW-18

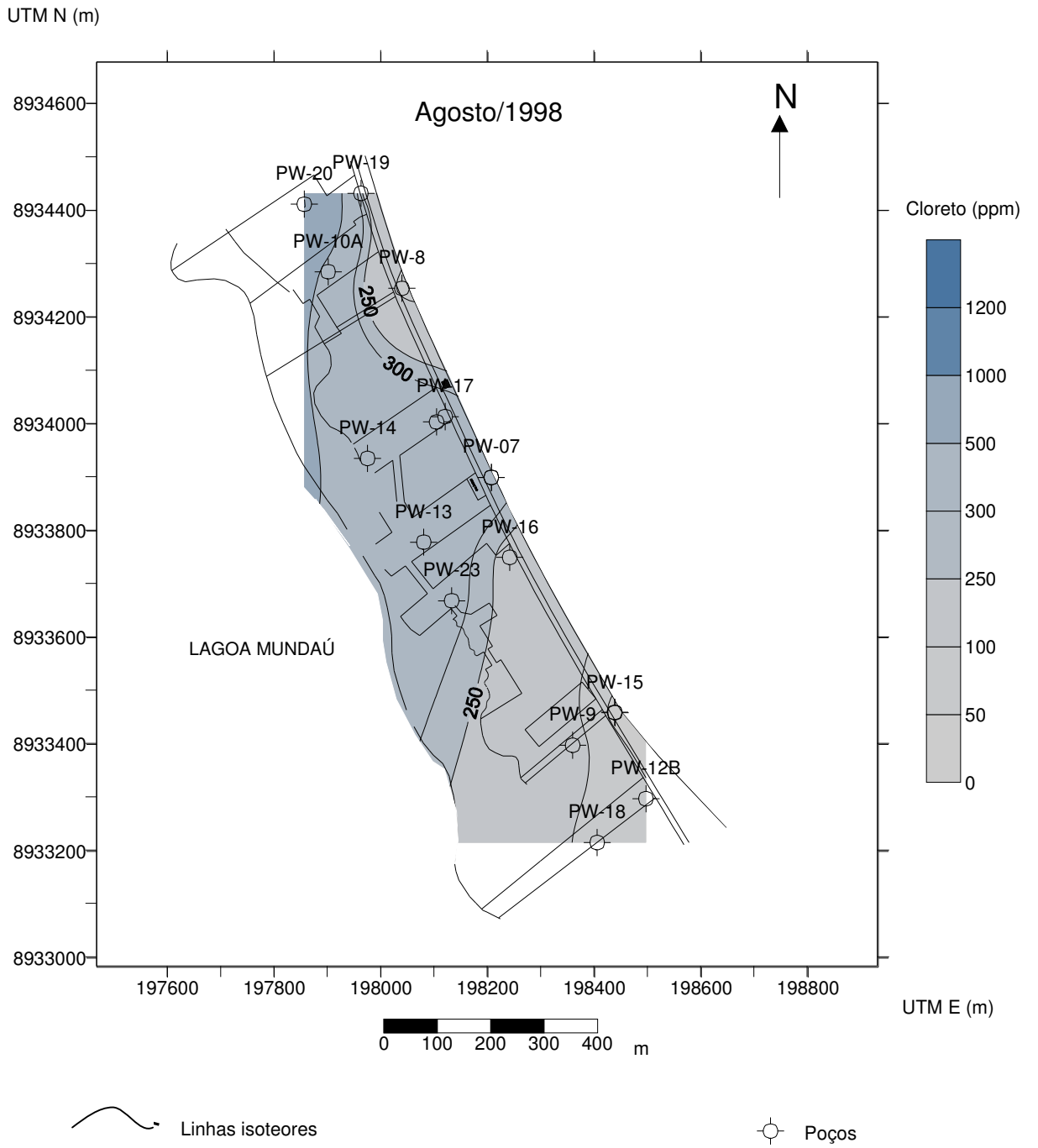


Figura 50 - Mapa de isoteores de cloreto em 1998

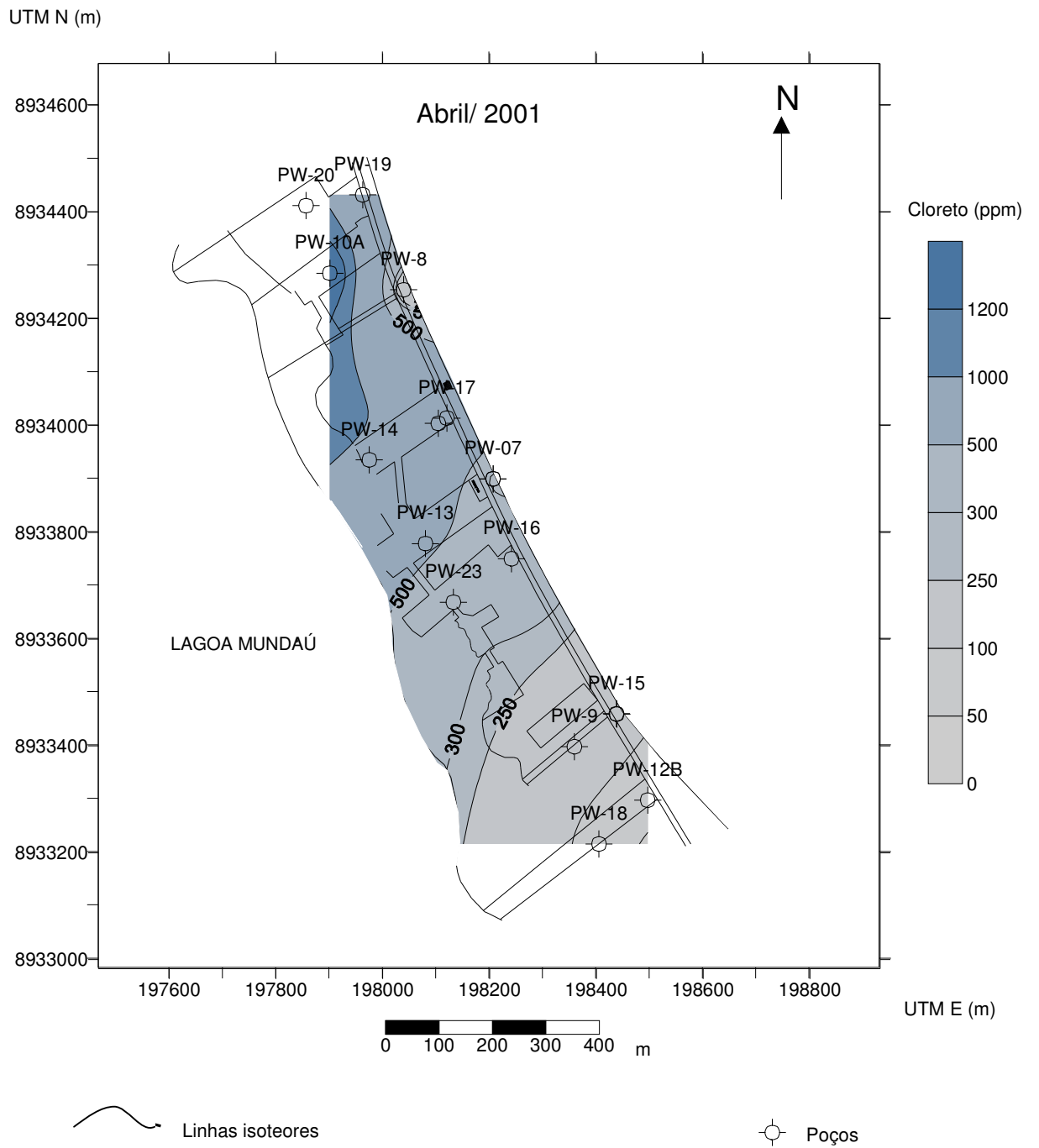


Figura 51 - Mapa de isoteores de cloreto em 2001

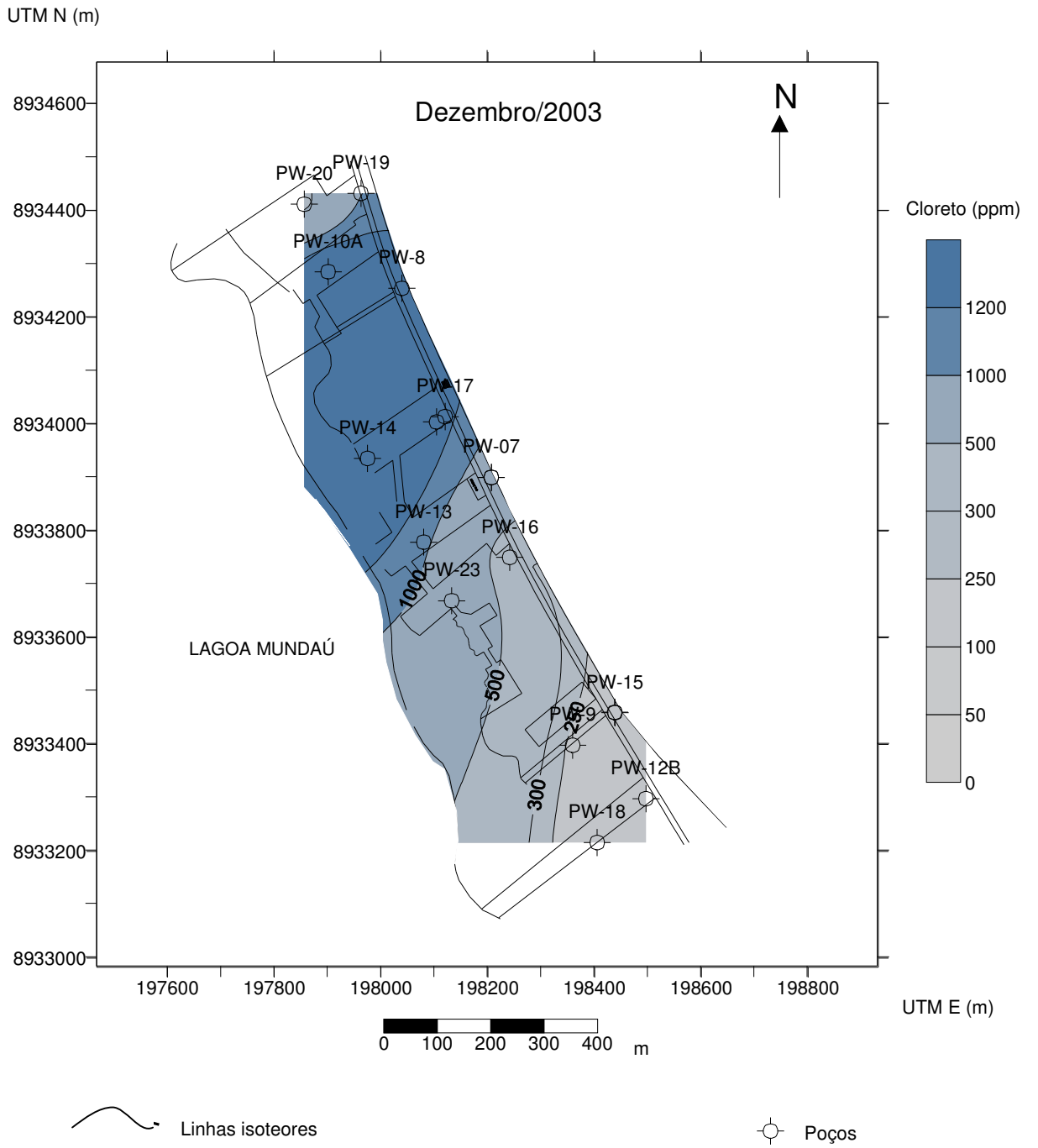


Figura 52 - Mapa de isoteores de cloreto em 2003

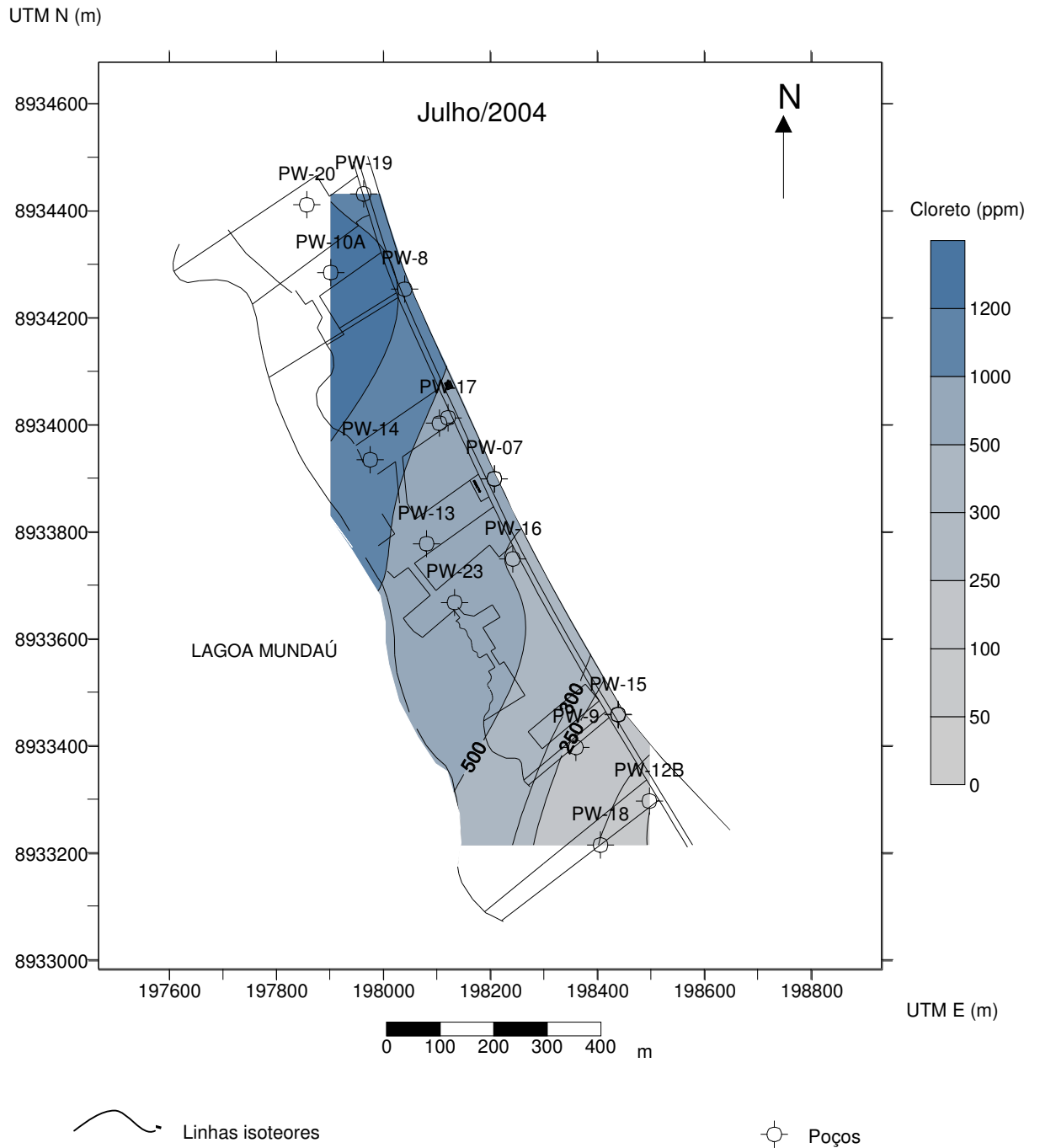


Figura 53 - Mapa de isoteores de cloreto em 2004

5.2.2 - Evolução dos teores de cálcio e magnésio

Além das análises de cloreto na água, são realizadas determinações de dureza de cálcio e magnésio através do método complexométrico, cujo resultado é expresso em ppm de CaCO_3 . Os registros históricos que foram encontrados compreendem o período entre

1986 a 1989, bem como em 2004, já que no final da década de 90 este monitoramento foi suspenso.

O número insuficiente de dados não permitiu construir uma evolução da concentração de cálcio e magnésio no tempo, entretanto foi possível elaborar um gráfico de correlação entre cloreto e cálcio, bem como entre cloreto e magnésio, utilizando todos os dados disponíveis a fim de identificar algum tipo de correlação, já que os dados são totalmente independentes.

A figura 54 mostra as correlações citadas acima. De forma bem clara, percebe-se que tanto o magnésio como o cálcio possuem uma dependência do cloreto, alcançando um coeficiente de correlação de 0,98 e 0,90, respectivamente. Isto sugere que a fonte poluidora é provavelmente uma água salgada com elevadas concentrações de cloreto de magnésio ($MgCl_2$) e cloreto de cálcio ($CaCl_2$), que são altamente solúveis em água.

As distribuições espaciais das concentrações de cálcio (figura 55) e magnésio (figura 56) mostram um aumento mais significativo ao norte da área, indicando que esta região é a mais afetada pelo processo de salinização, ratificando as evidências discutidas anteriormente.

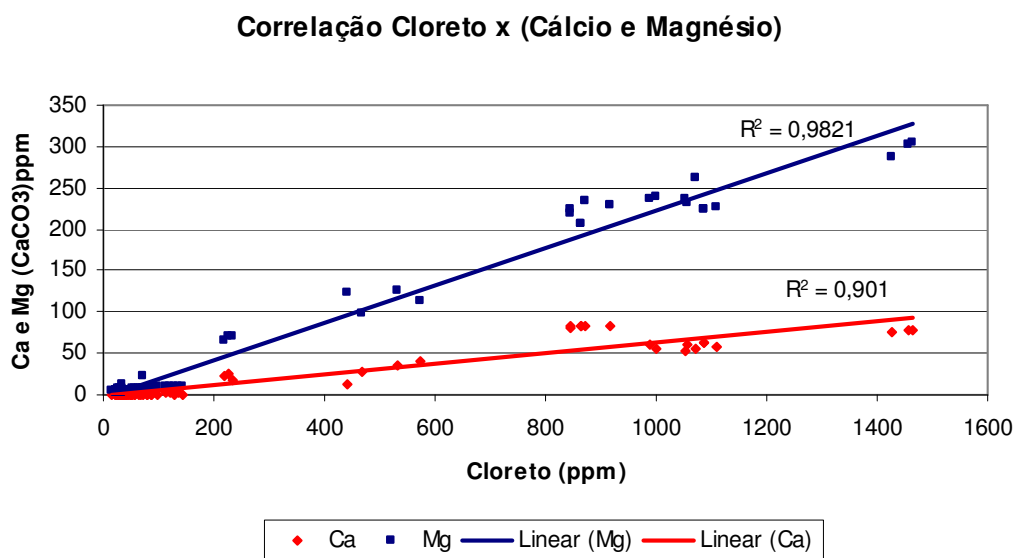


Figura 54 - Correlação entre os teores de cloreto e cálcio / magnésio

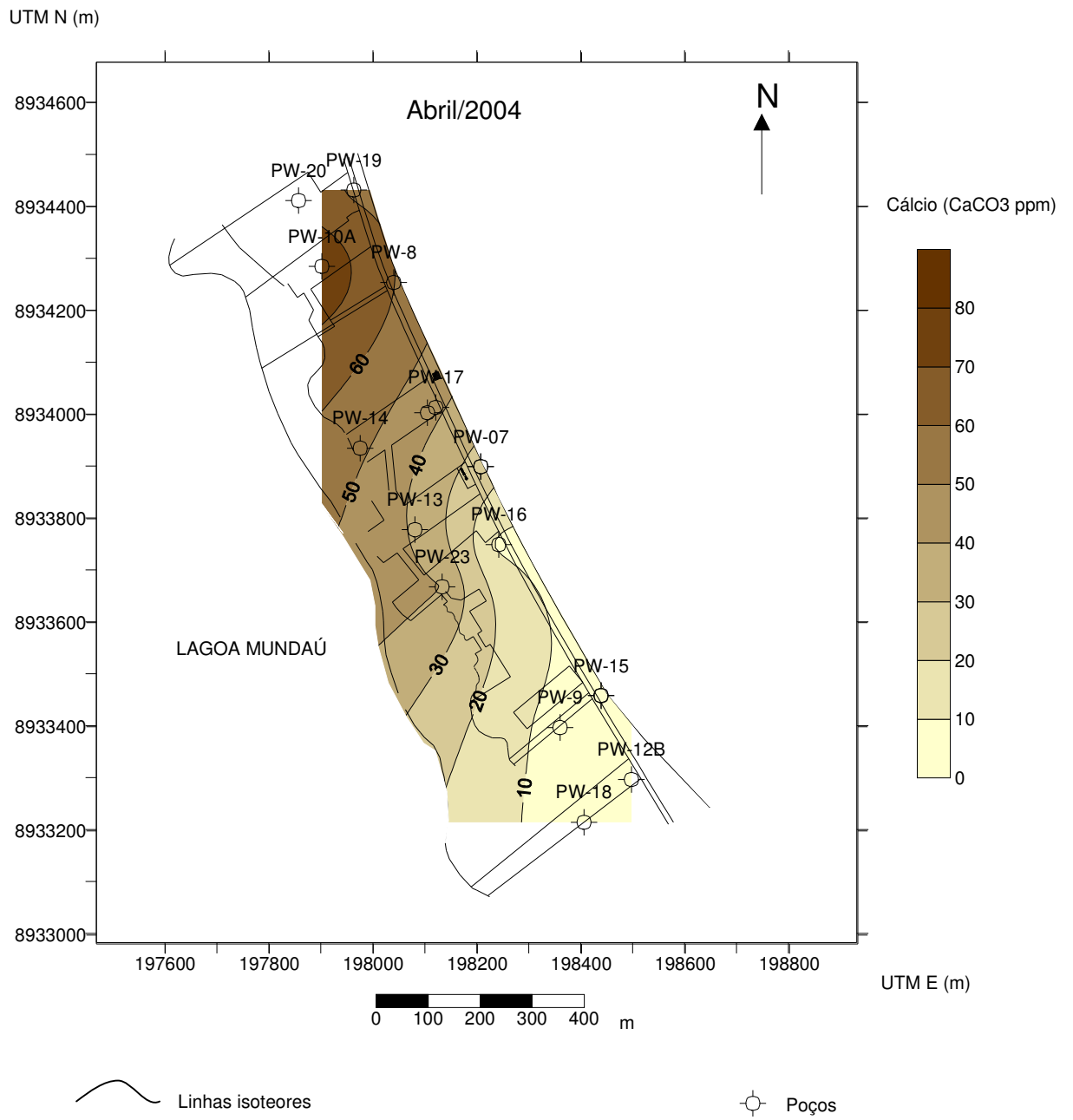


Figura 55 - Mapa de isoteores de cálcio em 2004

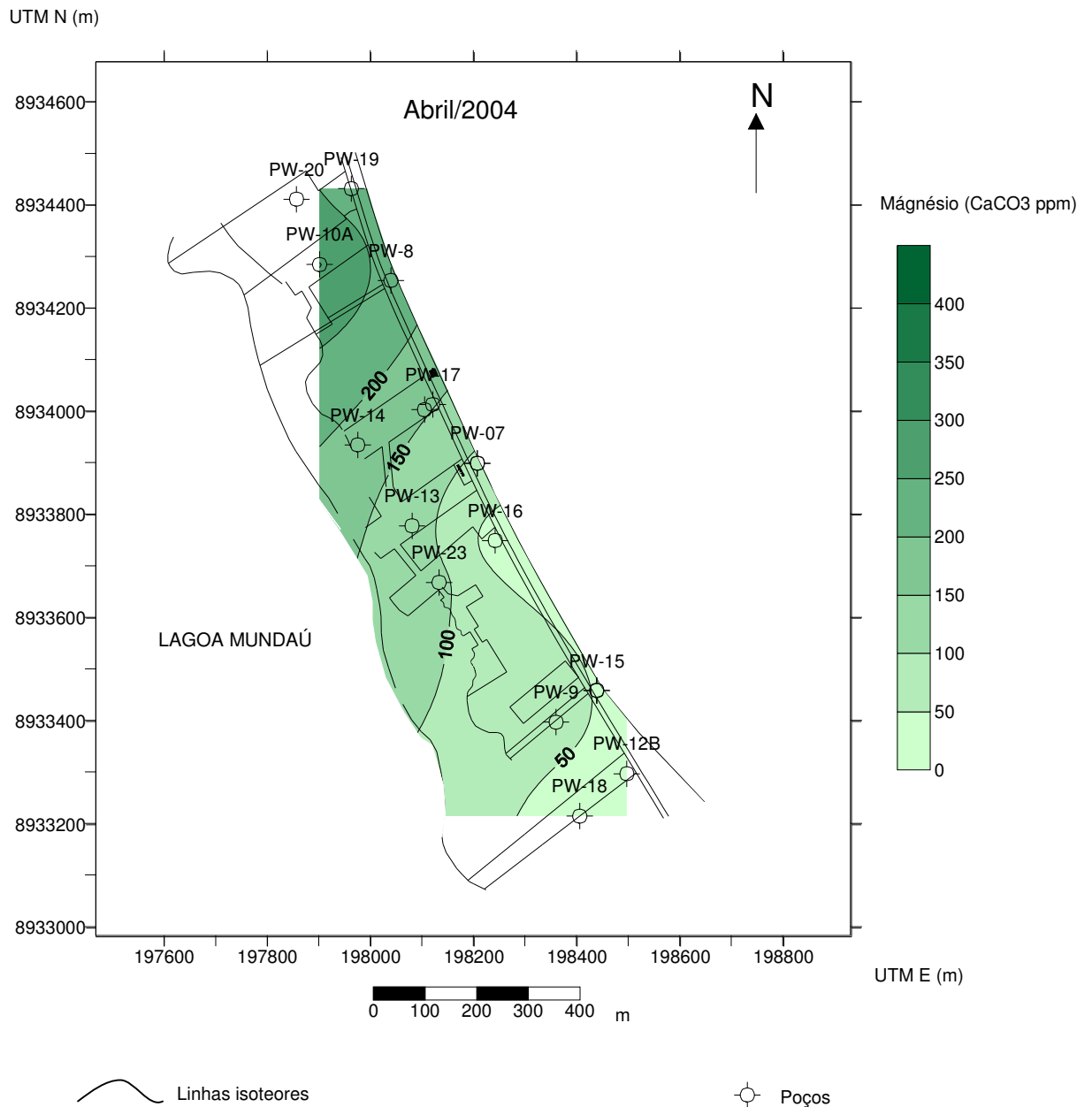


Figura 56 - Mapa de isoteores de magnésio em 2004

5.2.3 - Teor de sulfato na água

O íon sulfato é o segundo ânion mais abundante na água no mar, por isso é um dos indicadores de intrusão marinha, não sendo, no entanto, necessariamente a principal origem de sulfato na água doce, pois processos de dissolução de sais sulfetados também podem elevar as concentrações deste íon na água.

O monitoramento da concentração de sulfato teve início em 2004, sendo determinado através do espectrômetro. Devido ao número reduzido de registros, não foi possível construir a evolução temporal da concentração de sulfato, apenas verificar a correlação do cloreto com o sulfato (figura 57), bem como a distribuição espacial (figura 58).

Na figura 57 percebe-se um excelente coeficiente de correlação entre cloreto e sulfato, com valor da ordem de 0,94, demonstrando que ambos os íons estão migrando juntos durante o processo de salinização, e tal como o cálcio e o magnésio, possuem a mesma origem.

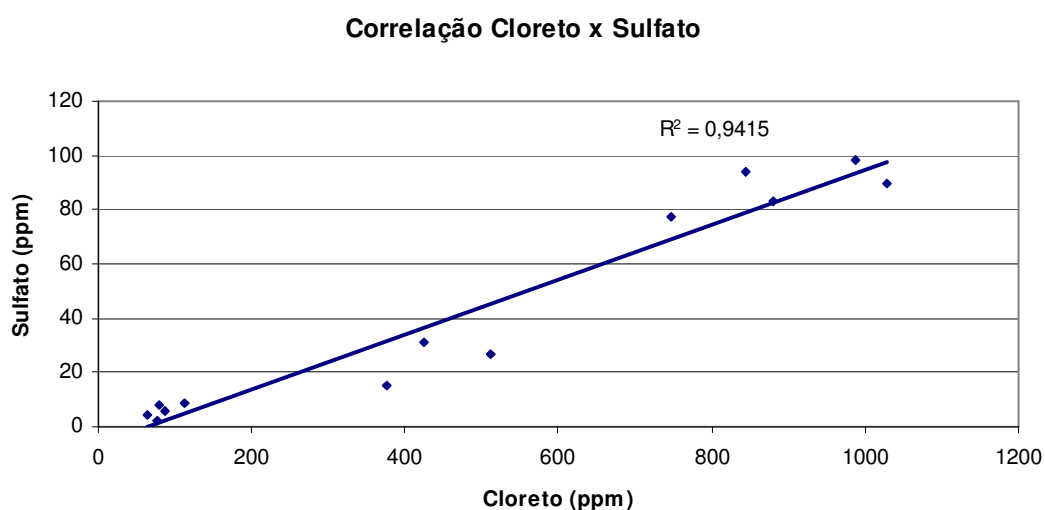


Figura 57 - Correlação entre os teores de cloreto e sulfato

A distribuição espacial observada na figura 58 comporta-se de forma semelhante à distribuição do cloreto, cálcio e magnésio, indicando que durante o processo de salinização também estão ocorrendo incrementos de sulfatos na água, cuja fonte principal encontra-se em ambiente marinho.

Semanalmente, análises na salmoura produzida são realizadas para o monitoramento das características químicas, cuja composição distribui-se em 75% de água e 25% de sais solúveis (tabela 17).

Tabela 17 - Composição da salmoura produzida

Data	NaCl (g/l)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Fe (ppm)	NH₃ (ppm)
6/10/04	299,26	134,2	39,4	1,95	58,49
20/10/04	298,41	123,9	38,9	1,56	45,93
27/10/04	296,93	127,4	39	1,6	57,62

Observa-se na tabela 17 que a salmoura possui elevadas concentrações de cloreto de sódio, dez vezes maior que a concentração da água do mar (tabela 16), cujo teor é da ordem de 29,5 g/l de NaCl. No entanto, a salmoura apresenta baixas concentrações de magnésio e cálcio quando comparadas com o ambiente marinho, cujo teor alcança 1.300 ppm de Mg⁺² e 400 ppm de cálcio (Driscoll, 1986).

A água utilizada na extração de sal é resultado da mistura da água dos aquíferos Marituba, sistema Barreiras/Marituba e do aquífero Mosqueiro, e é armazenada temporariamente no tanque de aço carbono, de onde foi coletada amostra para caracterizá-la, conforme a tabela 18.

Tabela 18 - Valores de cloreto, cálcio e magnésio na água utilizada na extração do sal

Data	Cloreto (ppm)	Cálcio (ppm)	Magnésio (ppm)
5/1/2005	561	24	36
28/3/2005	462	22	29
30/5/2005	447	17	27
Média	490	21	30

A tabela 17 mostra os valores de magnésio contidos na salmoura, cerca de 39 ppm de magnésio, enquanto que a tabela 18 mostra o conteúdo de magnésio na água utilizada na sua produção, cujo valor é igual a 30 ppm. Como não existem reações químicas no processo de extração do sal, pode-se afirmar que 77% do magnésio contido na salmoura provêm da água dos aquíferos. Isto justifica o comportamento dos teores de magnésio na salmoura, que vêm se elevando ao longo dos anos (figura 59), acompanhando o processo de salinização do aquífero.

Na tabela 18 também é mostrada a quantidade de cálcio na água utilizada na extração do sal, contendo 21 ppm de cálcio sob a forma de íon. A inexistência de reações químicas durante a dissolução de sal permite concluir que a diferença de quase 100 ppm entre a quantidade de cálcio encontrado na água e na salmoura é resultado do incremento deste íon ocorrido durante a passagem da água dentro da jazida de sal-gema.

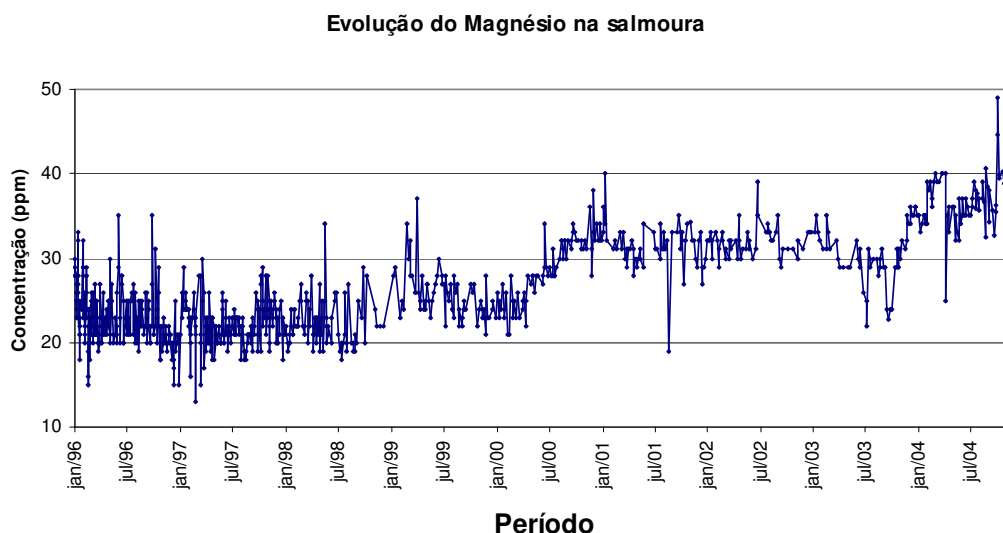


Figura 59 - Evolução do teor de magnésio na salmoura

Deste modo, baseado nas informações observadas, pode-se afirmar que as evidências encontradas não indicam a atividade de extração de sal como fonte poluidora do aquífero Marituba, por não haver indícios que comprovem tal afirmação. Por outro lado, pode-se afirmar que as alterações ocorridas na salmoura, quanto aos valores de magnésio, são originadas da água do aquífero, já que as mudanças nas características da salmoura se iniciaram no ano 2000 (figura 59), justamente no mesmo período dos primeiros indícios da salinização do aquífero.

5.2.5 - Relações iônicas

Quando a água salgada penetra no aquífero ocorrem trocas iônicas que modificam as relações entre os íons, fornecendo informações importantes sobre os processos de intrusões salinas. Um dos índices geoquímicos mais utilizados é a relação $\frac{rCl}{rHCO_3}$, considerado um excelente indicador de intrusão marinha, pois a água do mar tem baixos teores de bicarbonatos e elevados teores de cloreto. Em aquíferos contaminados por água

salgada, os valores desta relação variam entre 20 e 50, enquanto que na água doce oscilam entre 0,1 e 5 (Custódio & Llamas,1983). Outro índice bastante empregado é a relação $\frac{rMg}{rCa}$, já que aportes de água salgada no aquífero elevam rapidamente esta relação, principalmente quando acompanhada da elevação dos teores de cloreto. Na água do mar esta relação alcança níveis em torno de 5, enquanto que na água doce variam entre 0,3 e 1,5 (Prats et. al., 1988).

A tabela 19 mostra as relações encontradas entre os íons na água do aquífero, na lagoa Mundaú e no mar (Driscoll,1986).

Tabela 19 - Características físico-químicas da água do aquífero Marituba , da lagoa Mundaú e do mar.

	Ph	Al ⁺³	Cl ⁻	Condutividade	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Cl/HCO ₃	Mg/Ca
Poços \unidade	-	ppm	ppm	µs/cm	ppm	ppm	-	-
PW-7B	4,2	2,98	426	1525	8,8	22,56	60,0	4,3
PW-12B	4,2	0,44	64	242	2,4	7,2	9,0	5,0
PW-16	3,8	2,98	376	1279	8	22,56	88,3	4,7
PW-18	4,6	0,13	78	302	2,4	5,76	7,8	4,0
PW-19	3,6	3,28	987	3460	24	56,64	231,7	3,9
PW-23	3,7	3,18	845	3060	32,8	53,76	198,4	2,7
PW-09B	4,1	1,03	234	767	8	16,8	33,0	3,5
Lagoa Mundaú	7,3	0,01	8820	18980	192	537,6	-	4,7
Água do mar	8,0	0,001	19000	-	400	1270	233,2	5,3

Apesar do grau de salinização diferenciado observado nos poços listados na tabela 19, nota-se que os indicadores geoquímicos Cl/HCO₃ e Mg/Ca apresentam valores semelhantes e acima das faixas que representam a água doce, inclusive em poços dos quais os teores de cloreto ainda não caracterizam a salinização, como é o caso do poço PW-12B e PW-18, cuja concentração está em torno de 64 ppm e 68 ppm, respectivamente. Isto demonstra que os indícios da salinização representados pela evolução da concentração de cloreto podem ser percebidos com antecedência através do acompanhamento dos indicadores geoquímicos.

Os valores encontrados na lagoa Mundaú no período do verão demonstram uma forte influência marinha, evidenciada por elevados teores de cálcio, magnésio e, sobretudo, cloreto. A figura 60 mostra a correlação de cloreto e cálcio, bem como cloreto e magnésio, incluindo a lagoa Mundaú, o aquífero Marituba e a água do mar. Percebe-se uma correlação

muito boa em ambos os casos, levando a acreditar que a água do Marituba está sofrendo processos de modificação, com tendência a assemelhar-se cada vez mais às características físico-químicas da água do mar e da lagoa Mundaú.

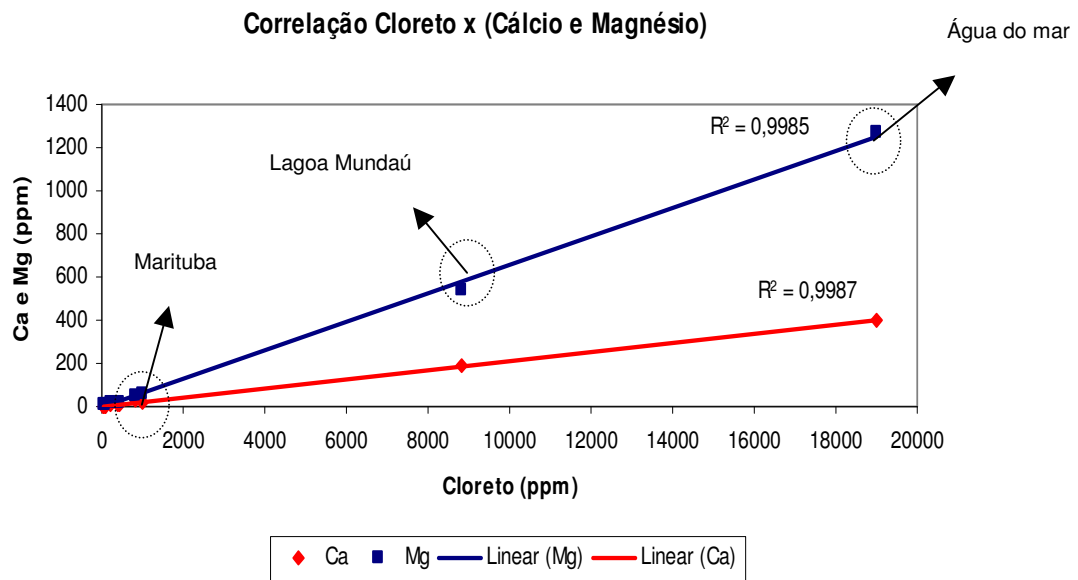


Figura 60 - Correlação entre cloreto x cálcio e cloreto x magnésio nas águas do Marituba, da lagoa Mundaú e do mar

6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O aquífero Marituba, objeto deste trabalho, é do tipo semiconfinado, não-aflorante, composto por arenitos, cujas drenanças se dão através de camadas argilo-arenosas semipermeáveis localizadas no topo da Formação Marituba. Sobreposta a esta formação encontra-se o aquífero Barreiras, do tipo livre, que está em equilíbrio hidrodinâmico com a lagoa Mundaú e o oceano Atlântico.

As potenciometrias do aquífero Marituba, para os anos de 1975 e 2004, mostram que houve variação significativa na direção do fluxo de água subterrânea, sendo em ambos os casos no sentido do continente para a lagoa Mundaú. Houve apenas uma diminuição dos valores das cargas hidráulicas, reflexo dos 29 anos de bombeamento.

Durante os testes no aquífero Marituba foram observadas variações cíclicas dos níveis da água nos poços, demonstrando um comportamento similar ao ciclo da maré, com intervalos de 12 horas entre os máximos e mínimos. Outrossim, constatou-se também que durante o período de maré alta para a baixa-mar, a carga hidráulica do aquífero Marituba variou de forma mais lenta do que do período preamar para baixa-mar.

A transmissividade do aquífero Marituba na área de estudo apresentou valores entre $3,3 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ nas proximidades do poço PW-20, e $1,1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ próximo aos poços PW-09B e PW-12B. Esta variação de transmissividade é compatível com a variação de espessura do aquífero na área.

As transmissividades do aquífero Marituba e os teores do íon cloreto são fortemente correlacionáveis, pois a zona mais afetada pelo processo de salinização possui os menores valores de transmissividade, e vice-versa. Esta observação pode ser justificada pelo fato de que em regiões com transmissividades menores, os cones de depressão provocados pelo bombeamento são mais profundos e podem induzir a migração da água salgada, que está localizada nas regiões mais inferiores do aquífero.

Correlações entre os valores de íons cloreto e magnésio, bem como de íons cloreto e cálcio, demonstraram forte interdependência, alcançando coeficientes de correlação da ordem de 0,98 e 0,90, respectivamente. Desta forma, evidencia-se que a fonte poluidora possui elevadas concentrações de cloreto de magnésio (MgCl_2) e cloreto de cálcio (CaCl_2), que são altamente solúveis em água.

Um excelente coeficiente de correlação também foi observado entre os íons cloreto e sulfato, com valor da ordem de 0,94, demonstrando que ambos os íons estão migrando juntos durante o processo de salinização, e tal como os íons cálcio e magnésio, possuem a mesma origem.

As evidências encontradas durante o estudo não indicam que a atividade de extração de sal exercida na região seja a fonte poluidora do aquífero Marituba. Por outro lado, o processo de salinização do aquífero está alterando as características químicas da salmoura produzida pela unidade industrial. Este fato foi observado através das mudanças nas concentrações do íon magnésio na salmoura, que se elevaram de 25 ppm em meados da década de 90, para 40 ppm no ano de 2000.

Todas as modificações físico-químicas observadas na água do aquífero Marituba estão evoluindo em direção às características físico-químicas da água do mar e da lagoa Mundaú. Sendo assim, as evidências hidrogeoquímicas encontradas durante o estudo apontam para um processo de salinização de origem marinha.

Em estudos futuros recomenda-se a elaboração do modelo numérico de fluxo do sistema aquífero Barreiras/Marituba para avaliar a conexão hidráulica existente entre estes aquíferos, a lagoa Mundaú e oceano Atlântico, bem como a investigação das conseqüências da operação de poços que captam simultaneamente nos dois aquíferos.

Recomenda-se ainda a redução gradativa da extração de água no aquífero Marituba na região do bairro do Mutange e a sistematização do monitoramento periódico dos demais íons, tais como sódio e potássio, para permitir a construção do balanço iônico e o acompanhamento da evolução das trocas iônicas que ocorrem no aquífero Marituba. Além disso, estudos futuros podem avaliar as alterações observadas nos teores de íons alumínio contidos na água do aquífero Marituba e suas relações com a redução gradativa do pH e o processo de salinização.

7 – AGRADECIMENTOS

Ao professor José Geilson Alves Demétrio, pelas orientações, discussões e apoio durante a realização deste trabalho.

Aos integrantes da unidade Mineração da Braskem, Francisco Canindé, José Araújo Filho, Germínio José dos Santos, Adelmo Pereira dos Santos, Marcos Antônio Guedes e Carlos Antônio da Silva, em especial ao Paulo Roberto Cabral de Melo e Adevan Dorta de Mendonça, pelas contribuições e sugestões.

Aos professores da Universidade Federal de Alagoas, Abel Tenório Cavalcante e Rochana Campos de Andrade Lima Santos, pelo apoio, incentivo e amizade.

Aos meus amigos Francisco Ramalho de Castro, Ricardo José Queiroz dos Santos, Márcio Henrique de Andrade, pelas discussões e sugestões.

À Braskem S.A., em especial ao meu líder Ronaldo Mansur e ex-líder Álvaro César Almeida, pela oportunidade de crescimento, confiança e apoio financeiro.

À coordenadora do laboratório da Braskem, Fernanda Albuquerque, pelo apoio nas análises físico-químicas realizadas.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente colaboraram na elaboração deste trabalho.

8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Appelo, C.A.J & Postma, D., 1993 – Geochemistry, Groundwater and Pollution. Balkema, Rotterdam, 526 p.
- Barroso, C.M.R, 2001 – Caracterização do Sistema Aquífero Barreiras/Marituba na área de Maceió – AL. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista. 117p.
- Beekman, H.E. & Appelo, C.A.J., 1990.- Ion chromatography of fresh- and salt-water displacement: laboratory experiments and multicomponent transport modelling. J. Contam. Hydrol. 7, 21-37.
- Brasil – Convênio PETROBRÁS/DNPM, 1975. Carta Geológica da Bacia Sergipe/Alagoas.Folha SC. 25-V-C-IV-1. Marechal Deodoro. Escala 1:50.000.
- Brasil – Convênio PETROBRÁS/DNPM, 1975. Carta Geológica da Bacia Sergipe/Alagoas.Folha SC. 25-V-C-IV-2. Maceió. Escala 1:50.000.
- Cavalcante, A.T; Wanderley, P.R.M; Filho,O.C, 1975 – Contribuição ao Conhecimento do Aquífero Terciário Barreiras-Marituba na Área de Maceió. Boletim do Núcleo do Nordeste da Sociedade Brasileira de Geologia. Atas do VII Símposio de Geologia do Nordeste, Fortaleza. p 275-288
- Cavalcante, A.T, 1978 – Recursos Hídricos Subterrâneos da Área de Maceió. Dissertação (mestrado). Departamento de Geociências do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Pernambuco. 175p
- Cavalcante, A.T; Wanderley, P.R.M; Santos, R.C.A.L; Wanderley, P.R.B, 1993 – Impacto sobre o aquífero terciário de conjuntos habitacionais na área dos tabuleiros costeiros da Grande Maceió- Alagoas.17º Congresso Brasileiro da Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol. 2 , Trabalhos Técnicos TOMO IV. p 442-451

- Cavalcante, A.T.;1995– Mananciais de Superfície e Subterrâneos na Região Metropolitana de Maceió- Alagoas. Anais do XI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Vol. 3 – Gestão dos Recursos Hídricos. p 177-182.
- COTEC, 1999 - Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Mundaú. Consultoria Técnica LTDA.Tomo I – Diagnósticos e Estudos Básicos, Vol. 1,Recife.110p
- Cuenca, V.M; Estrella,T.R; Rueda, R.A, 1988 – Intrusión Marina Fósil en el Campo de Cartagena (Murcia), TIAC'88.- Tecnología de la Intrusión en Acuíferos Costeros Almuñécar (Granada, España), pp 221-236. Disponível em: http://www.igme.es/internet/web_aguas/igme/publica/pdf/3/pdf/lib26/16a_po.pdf. Acesso em 14 de abril de 2004.
- Custódio, E. & Llamas, R.,1983 - Hidrologia subterrânea. Ed. Omega, Barcelona. vol. II.
- DHN, 2005 – Tábua de maré do Porto de Maceió. Diretoria de Hidrografia e Navegação, Centro de Hidrografia da Marinha, Banco Nacional de Dados Oceanográficos. Disponível em: <http://www.dhn.mar.mil.br/>. Acesso em maio de 2005.
- Diegues, A.C.S, 1998 – Costa do Brasil - Áreas úmidas costeiras e litorâneas. Capítulo 4 Los Humedales de América Del Sur, Una Agenda para la Conservación de la Biodiversidad y las Políticas de Desarrollo. Publicado pela Wetland International. Disponível em : http://www.wetlands.org/inventory&/SAA/Body/04cos_brasil@.htm. Acesso em 13 de janeiro de 2005.
- Driscoll, F.G., 1986 - Groundwater and Wells, second edition, Johnson Division, St Paul, MN.
- Farias, V.P;Paiva, A.L.R.; Cabral, J.J.S.P.;Montenegro, S.M.G.L.,3; Oliveira,E.M , 2003 Considerações sobre a salinização da água subterrânea nos bairros de Ilha do Leite e adjacências na cidade de Recife, XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba, Novembro de 2003.
- Feijó, F. J & Lana, M.C, 1990 – Cartas estratigráficas das bacias de Alagoas e Sergipe. Rio de Janeiro, PETROBRÁS, relatório interno.
- Feijó, F.J. , 1994. - Bacia de Sergipe e Alagoas. Bol. De Geociências da Petrobrás, 8 (1):149-161 - jan/mar.

- Feitosa, F.A.C; Filho, J.M, 1997 – Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. Fortaleza:CPRM – Serviço Geológico do Brasil, LABHID – UFPE. 412p
- Fetter, C.W., 1994, Applied hydrogeology (3d ed.): Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall, 691 p.
- Figueiredo, A. M.F, 1978 – Avaliação das perspectivas petrolíferas da Bacia Sergipe/Alagoas. Rio de Janeiro, PETROBRÁS, relatório interno.
- Fishman, M.J. & Friedman, L.J. eds., 1989, Methods for determination of inorganic substances in water and fluvial sediments: U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, book 5, chap. A1, 545 p.
- GEORENA, 1975 – Análise de testes de aquífero da bateria de poços do campo salífero em Bebedouro – Maceió- Alagoas.. Relatório interno Braskem. 17p
- IBGE 2000 – Censo Demográfico: Versão Final . Rio de Janeiro
- INMET, 2005 – Parâmetros Meteorológicos – Estado de Alagoas. Instituto Nacional de Meteorologia, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em : http://reia.inmet.gov.br/climatologia/ger_mapa11.php. Acesso em 22 de janeiro de 2005.
- Izbicki , J.A., 1996 Seawater Intrusion In A Coastal California Aquifer, U.S. Geological Survey Fact Sheet FS 125-96. Disponível em:: http://ca.water.usgs.gov/archive/fact_sheets/b07/. Acesso em 7 de junho de 2004.
- Kemmer, Frank N. The NALCO Water Handbook. 2nd ed. New York: McGraw-Hill Book Co., 1988. (Reference. QD169.W3 N34 1988)
- Lima, I, 1990 – Maceió A Cidade Restinga: Contribuição ao Estudo Geomorfológico do Litoral Alagoano. Editora da Universidade Federal de Alagoas, EDUFAL. Maceió / AL, Brasil, 255p.
- Miguens, A. P, 1996 – Navegação : A Ciência e a Arte, Volume I – Navegação Costeira, Estimada, em Águas Restritas, Capítulo 10 - Marés e correntes de maré; correntes oceânicas. DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação) p. 227 – 256. <http://www.mar.mil.br/dhn/bhm/publicacao/download/cap10.pdf>. Acesso em 17 de setembro de 2005.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. - Portaria nº 518, de 25/03/2004

Nobre, M.M.M; Nobre, R.C.M; Nobre, V.F.M, 2000 – Colaboração ao Planejamento do Usos de Águas em Maceió. Ciclo de palestras do dia Internacional das águas, Maceió-AL.16p.

Nobre, M.M.M; Nobre, R.C.M; Lopez, A.M.Q, 2003 - Mapeamento Hidroquímico Preliminar das Águas Subterrâneas em Maceió-AL. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba, novembro. 15p

Perez, E. C & Evangelista, I. M, 1988- La hidroquímica en los estudios de intrusión marina en los acuíferos españoles. TIAC'88.- Tecnología de la Intrusión en Acuíferos Costeros Almuñécar (Granada, España), pp 19-73. Disponível em: http://www.igme.es/internet/web_aguas/igme/publica/pdfTiac/2_hidroquimica.pdf. Acesso em 3 de maio de 2004.

Porto de Maceió, 2002 – Estatística 2002, - Síntese de movimentação de cargas no porto. Disponível em : <http://www.portodemaceio.com.br/>. Acesso em 15 de setembro de 2004.

Prats, D.;Montes, F.; Asencio, G., 1988 - Síntesis hidrogeológica del Campo de Dalías y su entorno. TIAC'88.- Tecnología de la Intrusión en Acuíferos Costeros Almuñécar Granada, España), pp 63-188. Disponível em: http://www.igme.es/internet/web_aguas/igme/publica/pdfTiac_2/in_3.pdf. Acesso em 14 de abril de 2004.

Saldanha, L.A.R.; Cavalcante, A.T.C; Wanderley, P.R.M; Rocha, F.C, 1981 – Contribuição da Geologia na Qualificação de Áreas para Fins Hidrogeológicos em Alagoas.Revista Scientia ad Sapientiam. Ano IV, número 7. Editora da Universidade Federal de Alagoas. p 30-38.

Santos, R.C.A.L, 1998 – Estudo Sedimentológico e Geoambiental no Sistema Lagunar Mundaú – Alagoas. Dissertação (mestrado) – CTG. Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal de Pernambuco.127p.

Schaller, H. - 1969 - Revisão estratigráfica da Bacia Sedimentar Sergipe Alagoas. Rio de Janeiro,Bol. Téc. Petrobrás, v.12, n.1, p.21-86.

SEMARHN, 2004 – Secretária Executiva do Meio ambiente, Recursos Hídricos e Naturais – AL. Gerenciamento integrado dos recursos hídricos subterrâneos do Estado de Alagoas – Etapa II. Maceió – Alagoas.

Stuyfzand, P. J. & Stuurman, R. J., 1994. Recognition and genesis of various hypersaline groundwaters in the Netherlands. Proc. 13th SWIM, Cagliari. 1994. Barrocu, G. (Ed.). Università degli studi di Cagliari. pp. 125-136.

UN/WWAP (United Nations/World Water Assessment Programme). 2003. *UN World Water Development Report: Water for People, Water for Life*. Paris, New York and Oxford, UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) and Berghahn Book.

Zektser, I. 1999. World Map of Hydrogeological Conditions and Groundwater Flow. Paris, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

9 – ANEXOS

Rebaixamento no poço PW-18 durante o bombeamento do poço PW-19

Hora	Tempo	Nível Estático	Rebaixamento
	(min)	(m)	(m)
10:39	219	45,65	0,02
11:35	275	45,63	0,00
12:30	330	45,63	0,00
13:30	390	45,80	0,17
14:30	450	45,75	0,12
15:30	510	45,79	0,16
16:30	570	45,75	0,12
17:45	645	48,60	2,97
19:06	726	48,97	3,34
19:34	754	49,01	3,38
20:16	796	46,22	0,59
22:40	940	46,05	0,42
00:27	1047	45,75	0,12
02:27	1167	45,84	0,21
04:31	1291	45,88	0,25
06:33	1413	45,93	0,30
09:32	1592	46,00	0,37
12:24	1764	45,91	0,28
15:25	1945	45,94	0,31
19:24	2184	46,00	0,37
00:26	2486	45,90	0,27
06:20	2840	46,00	0,37
12:22	3202	45,97	0,34
18:26	3566	45,94	0,31
00:20	3920	46,00	0,37
07:24	4344	46,03	0,40

Rebaixamento no poço PW-12B durante o bombeamento do poço PW-19

Hora	Tempo (min)	Nível Estático (m)	Rebaixamento (m)
10:36	216	58,69	0,00
11:31	271	58,68	-0,01
12:26	326	58,73	0,04
13:37	397	58,90	0,21
14:30	450	58,86	0,17
15:30	510	58,89	0,20
16:30	570	58,89	0,20
17:40	640	58,90	0,21
18:40	700	61,00	2,31
19:27	747	66,40	7,71
20:13	793	59,20	0,51
22:35	935	59,10	0,41
00:25	1045	59,05	0,36
02:19	1159	58,90	0,21
04:25	1285	58,93	0,24
06:29	1409	58,95	0,26
09:20	1580	59,10	0,41
12:19	1759	58,95	0,26
15:18	1938	59,03	0,34
19:19	2179	59,06	0,37
00:21	2481	59,02	0,33
06:18	2838	59,00	0,31
12:19	3199	59,01	0,32
18:22	3562	58,98	0,29
00:14	3914	59,07	0,38
07:18	4338	59,07	0,38

Rebaixamento no poço PW-15A durante o bombeamento do poço PW-19

Hora	Tempo (min)	Nível Estático (m)	Rebaixamento (m)
09:15	135	24,5	0
09:40	160	24,49	-0,01
10:15	195	24,49	-0,01
11:15	255	24,49	-0,01
12:15	315	24,5	0
13:15	375	24,5	0
14:15	435	24,50	0,00
15:15	495	24,50	0,00
16:15	555	24,53	0,03
17:15	615	24,55	0,05
18:35	695	24,59	0,09
19:21	741	24,61	0,11
20:08	788	24,63	0,13
22:28	928	24,59	0,09
00:17	1037	24,57	0,07
02:12	1152	24,57	0,07
04:17	1277	24,55	0,05
06:21	1401	24,58	0,08
09:14	1574	24,61	0,11
12:12	1752	24,59	0,09
15:11	1931	24,61	0,11
19:13	2173	24,65	0,15
00:11	2471	24,63	0,13
06:14	2834	24,64	0,14
12:14	3194	24,71	0,21
18:18	3558	24,68	0,18
00:11	3911	24,68	0,18
07:13	4333	24,67	0,17

Rebaixamento no poço PW-07B durante o bombeamento do poço PW-19

Hora	Tempo (min)	Nível Estático (m)	Rebaixamento (m)
09:06	126	25,91	-0,01
09:35	155	25,92	0,00
10:07	187	25,94	0,02
11:07	247	25,95	0,03
12:05	305	25,98	0,06
13:05	365	25,98	0,06
14:05	425	26,03	0,11
15:05	485	26,04	0,12
16:05	545	26,08	0,16
17:05	605	26,12	0,20
18:05	665	26,12	0,20
19:15	735	26,2	0,28
20:03	783	26,21	0,29
22:20	920	26,20	0,28
00:07	1027	26,20	0,28
02:02	1142	26,20	0,28
02:09	1149	26,22	0,3
06:13	1393	26,25	0,33
09:06	1566	26,33	0,41
12:07	1747	26,30	0,38
15:04	1924	26,30	0,38
19:04	2164	26,38	0,46
00:05	2465	26,35	0,43
06:05	2825	26,38	0,46
12:04	3184	26,41	0,49
18:07	3547	26,40	0,48
00:04	3904	26,42	0,50
07:05	4325	26,43	0,51

Rebaixamento no poço PW-15 durante o bombeamento do poço PW-19

Hora	Tempo (min)	Nível Estático (m)	Rebaixamento (m)
09:14	134	17,9	0,00
09:44	164	17,88	-0,02
10:17	197	17,87	-0,03
11:17	257	17,86	-0,04
12:12	312	17,86	-0,04
13:15	375	17,86	-0,04
14:15	435	17,86	-0,04
15:15	495	17,90	0,00
16:15	555	17,91	0,01
17:15	615	17,93	0,03
18:15	675	17,97	0,07
19:22	742	17,99	0,09
20:10	790	17,99	0,09
22:30	930	17,97	0,07
00:20	1040	17,95	0,05
02:16	1156	17,95	0,05
04:21	1281	17,95	0,05
06:24	1404	17,80	-0,10
09:10	1570	18,04	0,14
12:14	1754	18,02	0,12
15:15	1935	18,02	0,12
19:16	2176	18,07	0,17
00:18	2478	18,06	0,16
06:09	2829	18,07	0,17
12:12	3192	18,13	0,23
18:15	3555	18,10	0,20
00:09	3909	18,12	0,22
07:10	4330	18,07	0,17

Rebaixamento no poço PW-07 durante o bombeamento do poço PW-19

Hora	Tempo (min)	Nível Estático (m)	Rebaixamento (m)
09:06	126	22,87	0,01
09:37	157	22,88	0,02
10:09	189	22,89	0,03
11:08	248	22,92	0,06
12:07	307	22,96	0,10
13:05	365	23,00	0,14
14:05	425	23,03	0,17
15:05	485	23,09	0,23
16:05	545	23,12	0,26
17:05	605	23,16	0,30
18:05	665	23,23	0,37
19:16	736	23,26	0,40
20:04	784	23,29	0,43
22:21	921	23,34	0,48
00:10	1030	23,34	0,48
02:04	1144	23,36	0,50
04:13	1273	23,40	0,54
06:15	1395	23,45	0,59
09:08	1568	23,52	0,66
12:08	1748	23,51	0,65
15:07	1927	23,52	0,66
19:06	2166	23,58	0,72
00:07	2467	23,57	0,71
06:07	2827	23,65	0,79
12:07	3187	23,71	0,85
18:10	3550	23,68	0,82
00:06	3906	23,69	0,83
07:08	4328	23,70	0,84

Rebaixamento no poço PW-08 durante o bombeamento do poço PW-19

Hora	Tempo (min)	Nível Estático (m)	Rebaixamento (m)	Hora	Tempo (min)	Nível Estático (m)	Rebaixamento (m)
07:01	1	9,740	0,000	11:00	240	9,860	0,120
07:02	2	9,740	0,000	12:00	300	9,870	0,130
07:03	3	9,740	0,000	13:00	360	9,890	0,150
07:04	4	9,740	0,000	14:00	420	9,900	0,160
07:05	5	9,740	0,000	15:00	480	9,920	0,180
07:06	6	9,740	0,000	16:00	540	9,940	0,200
07:07	7	9,740	0,000	17:00	600	9,960	0,220
07:08	8	9,740	0,000	18:15	675	9,970	0,230
07:10	10	9,740	0,000	19:11	731	9,990	0,250
07:12	12	9,740	0,000	20:00	780	9,990	0,250
07:15	15	9,740	0,000	22:18	918	9,970	0,230
07:20	20	9,740	0,000	00:00	1020	9,960	0,220
07:25	25	9,740	0,000	01:56	1136	9,960	0,220
07:30	30	9,740	0,000	04:02	1262	10,010	0,270
07:35	35	9,740	0,000	06:01	1381	9,960	0,220
07:40	40	9,750	0,010	09:01	1561	10,100	0,360
07:45	45	9,755	0,015	12:00	1740	10,080	0,340
07:55	55	9,760	0,020	15:00	1920	10,050	0,310
08:00	60	9,765	0,025	19:00	2160	10,070	0,330
08:10	70	9,770	0,030	00:00	2460	10,040	0,300
08:20	80	9,780	0,040	06:00	2820	10,070	0,330
08:40	100	9,800	0,060	12:00	3180	10,110	0,370
09:00	120	9,810	0,070	18:00	3540	10,070	0,330
09:30	150	9,835	0,095	00:00	3900	10,050	0,310
10:00	180	9,850	0,110	07:00	4320	10,120	0,38

Rebaixamento no poço PW-14 durante o bombeamento do poço PW-19

Hora	Tempo	Nível Estático	Rebaixamento
	(min)	(m)	(m)
09:05	125	12,97	0
10:05	185	13,00	0,03
11:13	253	12,95	-0,02
12:08	308	13,02	0,05
13:17	377	13,10	0,13
14:13	433	13,20	0,23
15:23	503	13,26	0,29
16:05	545	13,30	0,33
17:10	610	13,35	0,38
18:28	688	13,40	0,43
19:18	738	13,45	0,48
20:15	795	13,49	0,52
22:06	906	13,48	0,51
00:07	1027	13,50	0,53
02:07	1147	13,52	0,55
04:19	1279	13,62	0,65
06:16	1396	13,70	0,73
09:25	1585	13,77	0,8
12:16	1756	13,74	0,77
15:12	1932	13,76	0,79
19:04	2164	13,87	0,9
00:10	2470	13,85	0,88
06:08	2828	13,94	0,97
12:03	3183	13,95	0,98
18:11	3551	13,97	1,00
00:06	3906	14,00	1,03
07:03	4329	14,00	1,03

Rebaixamento no poço PW-17A durante o bombeamento do poço PW-19

Hora	Tempo (min)	Nível Estático (m)	Rebaixamento (m)
09:06	126	20,37	0,02
09:37	157	20,30	-0,05
11:15	255	20,32	-0,03
12:11	311	20,37	0,02
13:19	379	20,37	0,02
14:16	436	20,43	0,08
15:25	505	20,44	0,09
16:07	547	20,46	0,11
17:13	613	20,47	0,12
18:31	691	20,53	0,18
19:20	740	20,56	0,21
20:18	798	20,56	0,21
22:09	909	20,55	0,2
00:09	1029	20,53	0,18
02:09	1149	20,56	0,21
04:22	1282	20,54	0,19
06:19	1399	20,62	0,27
09:29	1589	20,67	0,32
12:19	1759	20,61	0,26
15:15	1935	20,65	0,3
19:07	2167	20,69	0,34
00:12	2472	20,70	0,35
06:10	2830	20,71	0,36
12:05	3185	20,72	0,37
18:12	3552	20,72	0,37
00:09	3909	20,77	0,42
07:05	4325	20,75	0,4

Rebaixamento no poço PW-17 durante o bombeamento do poço PW-19

Hora	Tempo (min)	Nível Estático (m)	Rebaixamento (m)
09:10	130	17,47	-0,03
10:18	198	17,51	0,01
11:17	257	17,63	0,13
12:13	313	17,7	0,2
13:21	381	17,75	0,25
14:17	437	17,85	0,35
15:27	507	17,88	0,38
16:10	550	17,92	0,42
17:15	615	17,98	0,48
18:34	694	18,05	0,55
19:22	742	18,11	0,61
20:20	800	18,12	0,62
22:10	910	18,14	0,64
00:10	1030	18,18	0,68
02:11	1151	18,22	0,72
04:24	1284	18,28	0,78
06:21	1401	18,33	0,83
09:30	1590	18,4	0,9
12:21	1761	18,38	0,88
15:17	1937	18,38	0,88
19:09	2169	18,44	0,94
00:14	2474	18,41	0,91
06:12	2832	18,49	0,99
12:06	3186	18,56	1,06
18:14	3554	18,53	1,03
00:11	3911	18,54	1,04
07:06	4326	18,55	1,05

Rebaixamento no poço PW-13 durante o bombeamento do poçoPW-19

Hora	Tempo (min)	Nível Estático (m)	Rebaixamento (m)
09:13	133	7,74	0
10:22	202	7,70	-0,04
11:20	260	7,70	-0,04
12:16	316	7,7	-0,04
13:25	385	7,72	-0,02
14:19	439	7,73	-0,01
15:29	509	7,77	0,03
16:12	552	7,78	0,04
17:17	617	7,80	0,06
18:36	696	7,86	0,12
19:26	746	7,86	0,12
20:24	804	7,87	0,13
22:12	912	7,88	0,14
00:13	1033	7,84	0,1
02:14	1154	7,87	0,13
04:27	1287	7,90	0,16
06:24	1404	7,95	0,21
09:33	1593	7,99	0,25
12:24	1764	7,97	0,23
15:20	1940	7,96	0,22
19:12	2172	8,00	0,26
00:16	2476	8,00	0,26
06:14	2834	8,02	0,28
12:09	3189	8,09	0,35
18:16	3556	8,03	0,29
00:13	3913	8,01	0,27
07:08	4328	8,05	0,31

Rebaixamento no poço PW-23 durante o bombeamento do poço PW-19

Hora	Tempo (min)	Nível Estático (m)	Rebaixamento (m)
09:18	138	31,44	-0,11
10:24	204	31,42	-0,13
11:22	262	31,39	-0,16
12:17	317	31,42	-0,13
13:27	387	31,44	-0,11
14:22	442	31,47	-0,08
15:31	511	31,53	-0,02
16:14	554	31,52	-0,03
17:20	620	31,55	0
18:40	700	31,66	0,11
19:31	751	31,67	0,12
20:27	807	31,70	0,15
22:16	916	31,73	0,18
00:15	1035	31,70	0,15
02:18	1158	31,70	0,15
04:30	1290	31,73	0,18
06:27	1407	31,80	0,25
09:36	1596	31,85	0,3
12:27	1767	31,83	0,28
15:23	1943	31,84	0,29
19:15	2175	31,89	0,34
00:20	2480	31,87	0,32
06:15	2835	31,89	0,34
12:11	3191	32,00	0,45
18:18	3558	31,94	0,39
00:15	3915	31,98	0,43
07:09	4329	31,97	0,42

Rebaixamento no poço PW-16 durante o bombeamento do poço PW-19

Hora	Tempo (min)	Nível Estático (m)	Rebaixamento (m)
09:19	139	49,58	-0,22
09:58	178	49,78	-0,02
10:30	210	49,66	-0,14
11:26	266	49,63	-0,17
12:21	321	49,68	-0,12
13:30	390	49,7	-0,1
14:28	448	49,68	-0,12
15:35	515	49,78	-0,02
16:20	560	49,77	-0,03
17:23	623	49,81	0,01
18:45	705	49,9	0,1
19:38	758	49,97	0,17
20:32	812	49,96	0,16
22:22	922	49,96	0,16
00:18	1038	50,00	0,2
02:22	1162	50,00	0,2
04:34	1294	50,00	0,2
06:32	1412	50,00	0,2
09:40	1600	50,05	0,25
12:30	1770	50,05	0,25
15:27	1947	50,07	0,27
19:18	2178	50,09	0,29
00:22	2482	50,12	0,32
06:18	2838	50,12	0,32
12:14	3194	50,21	0,41
18:20	3560	50,13	0,33
00:18	3918	50,21	0,41
07:11	4331	50,24	0,44

Teor do íon cloreto no poço PW-07

Data	Cloreto (ppm)		Data	Cloreto (ppm)
8/9/1999	213		11/7/2002	428
15/10/1999	192		14/8/2002	450
26/11/1999	234		2/9/2002	398
13/12/1999	227		8/10/2002	418
14/1/2000	249		12/6/2002	471
14/2/2000	227		21/11/2002	497
17/3/2000	199		12/12/2002	426
12/4/2000	198		31/1/2003	412
19/5/2000	236		24/2/2003	426
15/6/2000	220		20/3/2003	433
10/8/2000	270		22/4/2003	426
14/9/2000	277		22/5/2003	426
18/10/2000	261		3/7/2003	433
23/11/2000	258		4/9/2003	447
12/12/2000	241		7/10/2003	440
11/1/2001	213		7/11/2003	383
9/3/2001	241		2/12/2003	419
12/3/2001	235		10/2/2004	518
19/4/2001	262		10/3/2004	483
16/5/2001	262		15/4/2004	334
26/6/2001	253		19/5/2004	497
8/8/2001	327		29/6/2004	469
11/9/2001	348		22/7/2004	462
19/10/2001	340		17/8/2004	426
12/11/2001	369		13/9/2004	483
21/2/2002	390		14/10/2004	497
20/3/2002	433		16/11/2004	454
16/4/2002	447		1/1/2004	376
23/5/2002	426		1/2/2004	382

Teor do íon cloreto no poço PW-08

Data	Cloreto (ppm)		Data	Cloreto (ppm)	Data	Cloreto (ppm)	Data	Cloreto (ppm)
27/5/1986	39,19		18/11/1996	57	12/4/2000	85	20/3/2003	682
24/6/1986	35,46		6/12/1996	51,8	19/5/2000	116	22/4/2003	710
19/9/1986	39,03		8/1/1997	58,3	15/6/2000	113	23/5/2003	689
9/12/1986	35,53		7/2/1997	49,5	10/8/2000	121		
20/11/1987	42,55		12/3/1997	53	14/9/2000	128		
30/12/1987	42,55		9/4/1997	54,8	18/10/2000	135		
16/3/1988	46,1		8/5/1997	53,1	23/11/2000	141		
6/6/1988	49,64		23/6/1997	54,3	12/12/2000	147		
1/11/1988	49,89		21/7/1997	61	11/1/2001	135		
27/1/1989	42,55		22/8/1997	53,5	12/2/2001	141		
29/3/1989	56,8		13/3/1998	71	9/3/2001	157		
27/4/1989	49,64		11/5/1998	78	12/3/2001	141		
12/9/1990	49,39		9/6/1998	92	19/4/2001	108		
6/1/1995	78,01		20/7/1998	78	16/5/2001	121		
3/2/1995	63,83		14/8/1998	57	26/6/2001	113		
6/4/1995	60,28		14/9/1998	71	8/8/2001	163		
8/5/1995	62,88		13/11/1998	64	11/9/2001	121		
5/6/1995	60,68		14/12/1998	71	19/10/2001	170		
6/7/1995	56,45		19/1/1999	78	28/1/2002	362		
4/8/1995	53,45		2/3/1999	71	21/2/2002	220		
6/9/1995	63,2		13/4/1999	57	20/3/2002	241		
5/10/1995	63,83		10/5/1999	70	16/4/2002	284		
2/11/1995	60,28		15/6/1999	78	23/5/2002	334		
7/12/1995	63,83		15/7/1999	71	12/6/2002	376		
4/1/1996	57,02		12/8/1999	68	11/7/2002	346		
28/3/1996	53,42		8/9/1999	71	14/8/2002	330		
3/4/1996	54,5		15/10/1999	85	2/9/2002	476		
3/5/1996	59,5		26/11/1999	85	8/10/2002	511		
17/6/1996	51,1		13/12/1999	99	21/11/2002	688		
31/7/1996	51,9		14/1/2000	104	12/12/2002	628		
7/8/1996	52,9		14/2/2000	107	31/1/2003	667		
11/9/1996	60		17/3/2000	78	24/2/2003	682		

Teor do íon cloreto no poço PW-09B

Data	Cloreto (ppm)	Data	Cloreto (ppm)	Data	Cloreto (ppm)
27/05/86	28,5	07/08/96	84,7	11/01/01	236
18/09/86	28,39	11/09/96	91,2	12/02/01	236
11/11/86	21,37	13/11/96	86,9	09/03/01	278
20/11/87	21,28	06/12/96	80,6	12/03/01	236
16/03/88	21,28	08/01/97	86	07/11/03	213
06/06/88	24,82	07/02/97	80,1	01/12/03	234
01/10/88	31,99	12/03/97	80	10/02/04	211
29/02/89	28,41	09/04/97	83,6	10/03/04	234
29/03/89	35,3	08/05/97	84,7	19/05/04	227
27/04/89	28,37	14/06/97	95,4	22/07/04	220
20/06/89	28,37	14/07/97	98,4	17/08/04	234
11/09/90	28,23	20/08/97	89,9	13/09/04	227
14/08/91	31,75	09/06/98	121	14/10/04	256
26/08/92	40,78	20/07/98	121	01/11/04	291
06/01/95	85,1	14/08/98	128	01/01/05	220
03/02/95	60,28	14/09/98	107	01/02/05	202
06/04/95	60,28	13/11/98	107		
08/05/95	62,88	14/12/98	114		
05/06/95	70,92	19/01/99	121		
06/07/95	63,51	02/03/99	85		
04/08/95	71,27	13/04/99	114		
06/09/95	63,2	10/05/99	89		
05/10/95	70,92	10/06/99	89		
02/11/95	78,01	15/06/99	106		
07/12/95	78,01	15/06/99	106		
04/01/96	85,53	15/07/99	121		
07/03/96	80,9	12/08/99	184		
03/04/96	81,3	26/11/99	192		
03/05/96	75,2	14/02/00	213		
17/06/96	97,7	17/03/00	227		
24/07/96	90,1	12/12/00	262		

Teor do íon cloreto no poço PW-10A

Data	Cloreto (ppm)
12/8/1999	255
8/9/1999	312
15/10/1999	348
26/11/1999	355
13/12/1999	354
14/1/2000	267
14/2/2000	518
17/3/2000	760
12/4/2000	908
19/5/2000	788
15/6/2000	823
10/8/2000	1030
14/9/2000	1041
18/10/2000	1081
23/11/2000	1081
12/12/2000	1270
9/3/2001	1710
12/3/2001	1380
19/4/2001	1491
16/5/2001	1212
26/6/2001	1310
8/8/2001	1441

Teor do íon cloreto no poço PW-12B

Data	Cloreto (ppm)	Data	Cloreto (ppm)	Data	Cloreto (ppm)
15/4/1986	21,38	15/10/1999	45	22/5/2003	101
19/6/1986	28,36	26/11/1999	49	4/7/2003	107
21/1/1987	21,37	13/12/1999	48	7/10/2003	99
30/6/1987	28,18	14/1/2000	56	7/11/2003	92
3/9/1987	28,46	15/02/2000	50	10/2/2004	79
27/1/1989	14,18	17/3/2000	56	10/3/2004	71
27/4/1989	21,28	12/4/2000	57	15/4/2004	60
20/6/1989	35,46	19/5/2000	58	22/7/2004	52
10/9/1990	35,46	15/6/2000	62	17/8/2004	64
1/1/1996	28,51	10/8/2000	64	14/10/2004	64
1/3/1996	26,95	14/9/2000	71	16/11/2004	59
1/6/1996	26,5	18/10/2000	68		
10/8/1996	29,4	23/11/2000	58		
5/9/1996	33,1	12/12/2000	63		
5/4/1997	28,3	11/1/2001	68		
9/6/1998	43	9/3/2001	57		
20/7/1998	43	12/3/2001	78		
14/8/1998	57	19/4/2001	64		
14/9/1998	50	16/5/2001	51		
13/11/1998	50	26/6/2001	47		
14/12/1998	57	8/8/2001	58		
19/1/1999	50	11/9/2001	58		
2/3/1999	43	12/11/2001	71		
18/3/1999	50	28/1/2002	71		
13/4/1999	57	21/2/2002	75		
10/5/1999	40	20/3/2002	78		
10/6/1999	40	2/9/2002	90		
15/6/1999	50	8/10/2002	99		
15/6/1999	50	12/12/2002	95		
12/8/1999	58	20/3/2003	88		
8/9/1999	50	23/4/2003	97		

Teor do íon cloreto no poço PW-18

Data	Cloreto (ppm)	Data	Cloreto (ppm)
1/1/1999	57	19/10/2001	71
1/2/1999	50	12/11/2001	85
1/4/1999	36	28/1/2002	74
1/5/1999	36	21/2/2002	70
1/6/1999	28	20/3/2002	77
1/7/1999	43	23/5/2002	80
1/8/1999	50	12/6/2002	71
14/1/2000	56	11/7/2002	88
14/2/2000	56	14/8/2002	85
17/3/2000	56	2/9/2002	81
12/4/2000	64	8/10/2002	92
19/5/2000	57	21/11/2002	89
15/6/2000	62	12/12/2002	90
10/8/2000	71	31/1/2003	91
14/9/2000	78	24/2/2003	87
18/10/2000	78	20/3/2003	85
23/11/2000	71	22/4/2003	87
12/12/2000	71	22/5/2003	99
11/1/2001	63	3/7/2003	99
9/3/2001	63	7/11/2003	99
12/3/2001	57	10/2/2004	88
19/4/2001	64	10/3/2004	87
8/8/2001	78	15/4/2004	88
11/9/2001	71		

Teor do íon cloreto no poço PW-19

Data	Cloreto (ppm)	Data	Cloreto (ppm)	Data	Cloreto (ppm)
6/1/1995	397,15	16/04/1999	334	8/7/2003	909
3/2/1995	482,26	15/05/1999	334	4/9/2003	877
8/5/1995	440,18	10/07/1999	341	1/12/2003	1001
5/6/1995	432,61	13/08/1999	383	10/2/2004	1029
6/7/1995	479,8	14/1/2000	508	10/3/2004	1051
4/8/1995	477,54	14/2/2000	490	15/4/2004	1108
6/9/1995	456,42	17/3/2000	497	19/5/2004	1072
5/10/1995	400,69	12/4/2000	539	29/6/2004	1086
2/11/1995	404,24	19/5/2000	596	22/7/2004	1058
7/12/1995	404,24	15/6/2000	518	17/8/2004	987
4/1/1996	413,39	19/4/2001	675	14/10/2004	1001
3/4/1996	459,2	16/5/2001	512	1/11/2004	973
3/5/1996	425,1	26/6/2001	476	1/1/2005	873
17/6/1996	400,3	8/8/2001	596	1/2/2005	875
24/7/1996	437,6	11/9/2001	589		
7/8/1996	323,3	19/10/2001	596		
11/9/1996	479,8	12/11/2001	610		
7/10/1996	393,5	28/1/2002	589		
13/11/1996	421,2	21/2/2002	618		
6/12/1996	402	20/3/2002	632		
1/1/1997	462,3	16/4/2002	682		
7/2/1997	440,8	23/5/2002	717		
12/3/1997	488,1	12/6/2002	721		
8/5/1997	391	14/8/2002	729		
14/6/1997	443,8	8/10/2002	859		
14/7/1997	438,9	21/11/2002	900		
20/8/1997	406	12/12/2002	916		
11/5/1998	419	31/1/2003	923		
9/6/1998	426	24/2/2003	916		
08/02/1999	369	20/3/2003	923		
10/03/1999	362	22/5/2003	944		

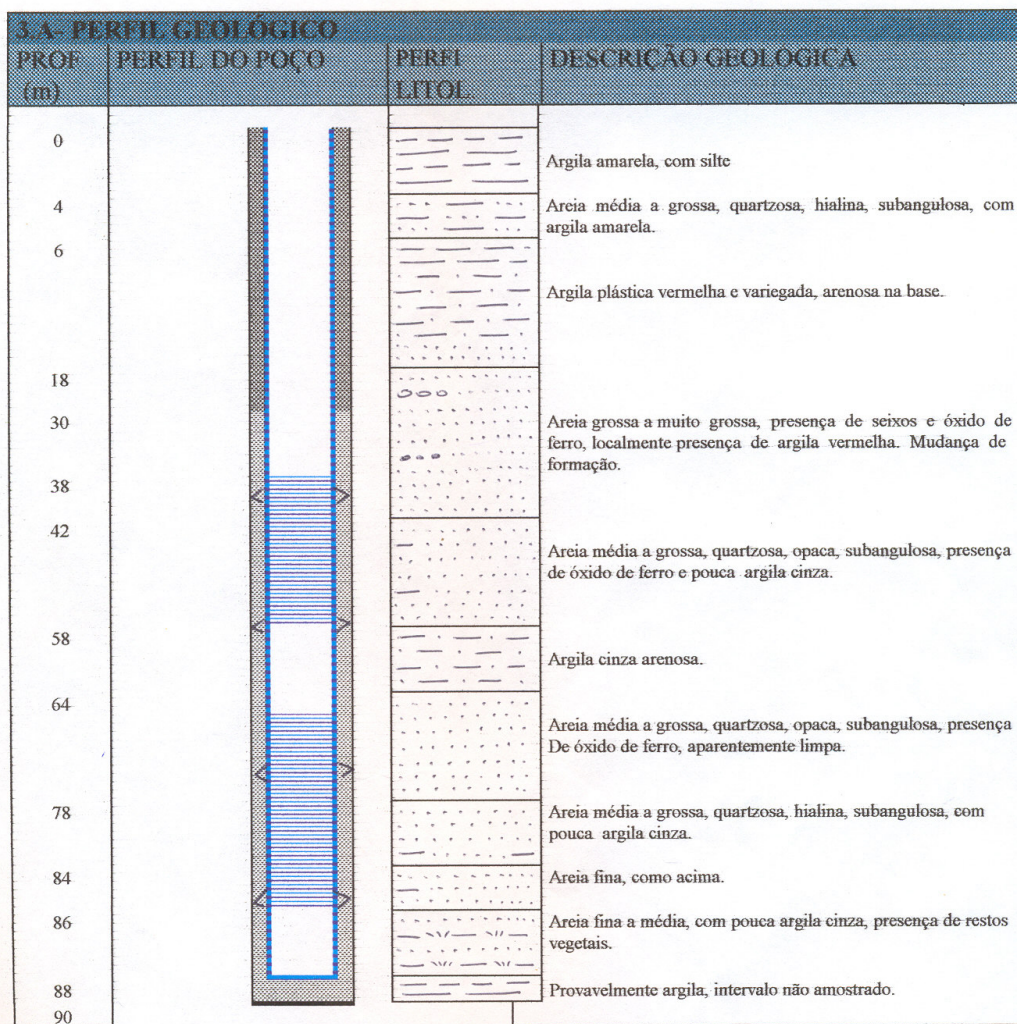
Teor do íon cloreto no poço PW-23

Data	Cloreto (ppm)	Data	Cloreto (ppm)
14/7/1997	308,2	12/11/2001	461
20/8/1997	277,4	21/2/2002	547
13/3/1998	248	16/4/2002	596
11/5/1998	355	23/5/2002	596
9/6/1998	369	12/6/2002	613
25/8/1998	334	11/7/2002	672
14/9/1998	327	14/8/2002	615
9/1/1999	298	2/9/2002	596
11/2/1999	369	8/10/2002	603
15/3/1999	320	12/12/2002	660
10/4/1999	316	31/1/2003	646
18/5/1999	316	24/2/2003	660
13/6/1999	298	21/3/2003	689
12/7/1999	284	22/4/2003	724
15/8/1999	362	22/5/2003	716
14/1/2000	348	3/7/2003	760
14/2/2000	426	4/9/2003	781
17/3/2000	341	7/10/2003	802
12/4/2000	347	7/11/2003	859
19/5/2000	426	2/12/2003	859
15/6/2000	341	16/2/2004	880
10/8/2000	341	10/3/2004	895
14/9/2000	363	19/5/2004	888
18/10/2000	386	29/6/2004	866
23/11/2000	363	22/7/2004	916
12/12/2000	321	17/8/2004	845
11/1/2001	321	13/9/2004	873
9/3/2001	356	14/10/2004	845
12/3/2001	297	10/11/2004	859
19/4/2001	319	12/1/2005	767
8/8/2001	532	12/2/2005	746
11/9/2001	548		


Teores dos íons nos poços de água em abril de 2004

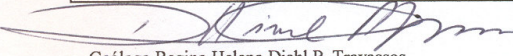
Poços	Sulfato (ppm)	Cálcio (ppm)	Magnésio (ppm)	Cloreto (ppm)
PW-9B	9,0	6,0	70,0	48
PW-10A	107,0	78,0	302,0	1480
PW-12B	8,0	6,0	20,0	60
PW-16	27,0	8,0	26,0	118
PW-18	6,0	4,0	20,0	88
PW-19	90,0	58,0	226,0	1108
PW-23	62,0	40,0	114,0	575

Perfil do poço PW -07B

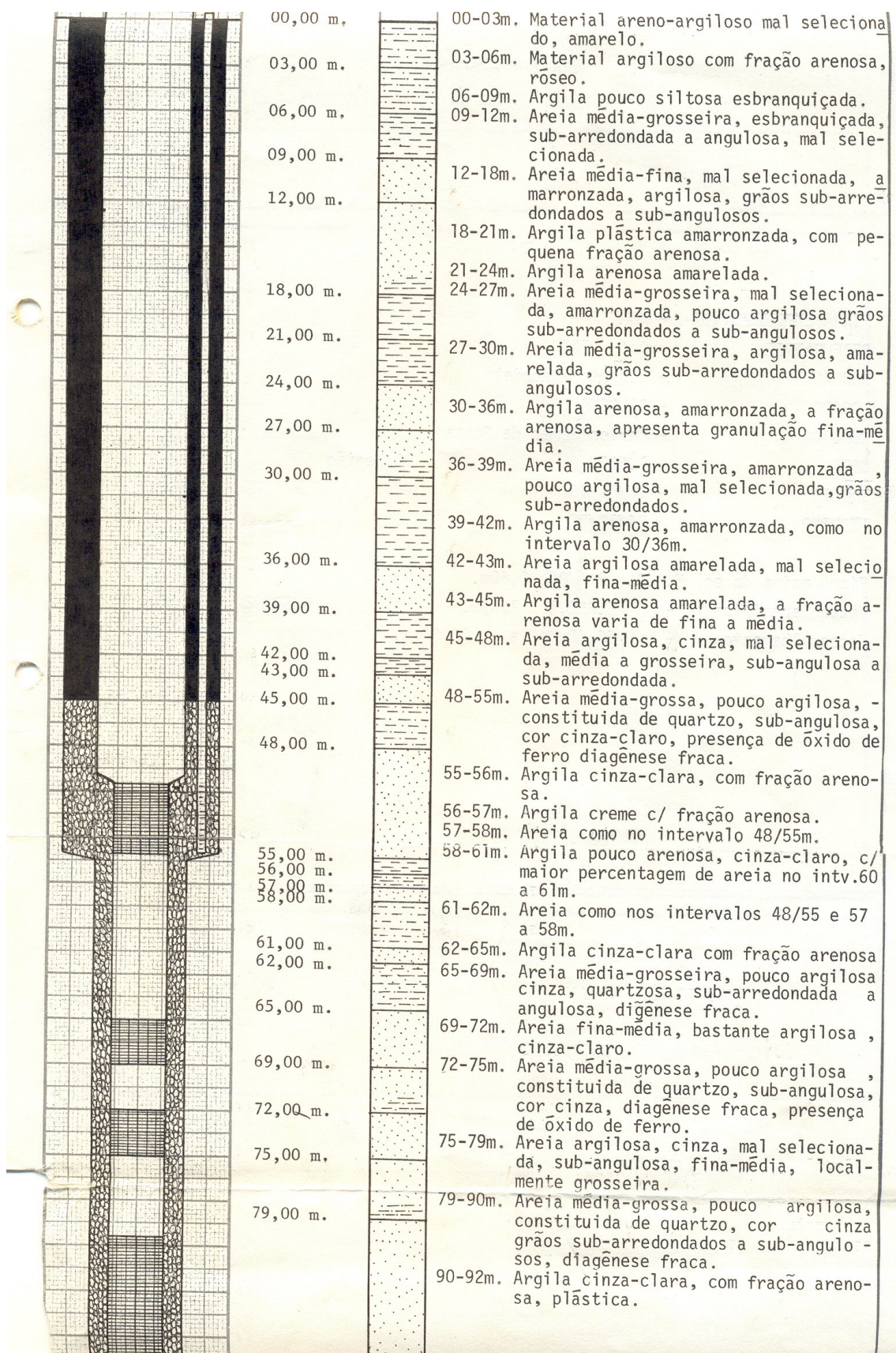


 Cimentação

 Pré-Filtro


 Geóloga Regina Helena Diehl P. Travassos
 CREA - 69850/5º Região

Perfil do poço PW -08



Perfil do poço PW -09B

CLIENTE: SALGEMA MINERAÇÃO LTDA

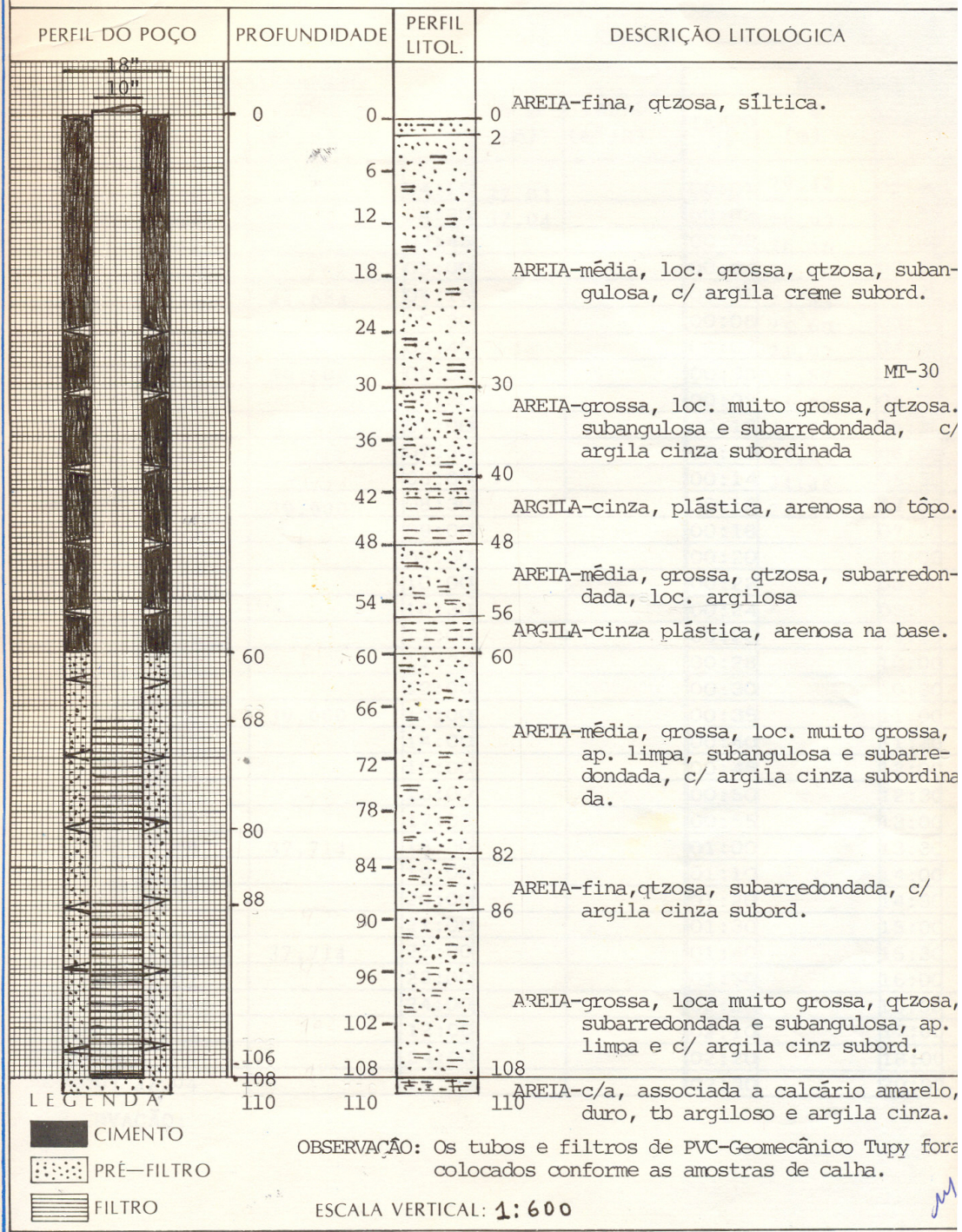
POÇO : PW-9B

MUNICÍPIO: MACEIÓ

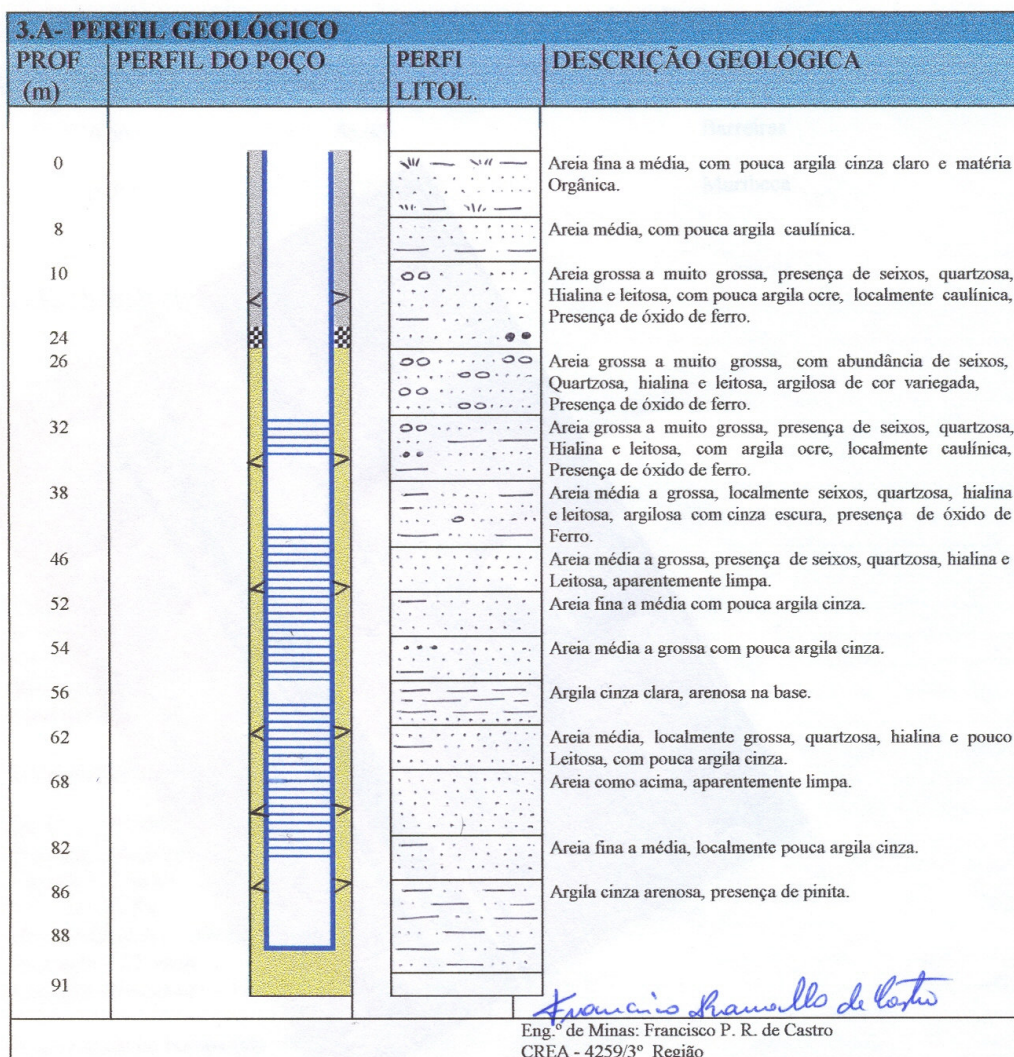
LOCAL : BEBEDOURO (CAMPO DE SALMOURA)

ESTADO : Al

DESENHO DO POÇO



Perfil do poço PW -10A



- Cimentação
- Pré-Filtro
- Pelotas de Bentonita

Perfil do poço PW -12B

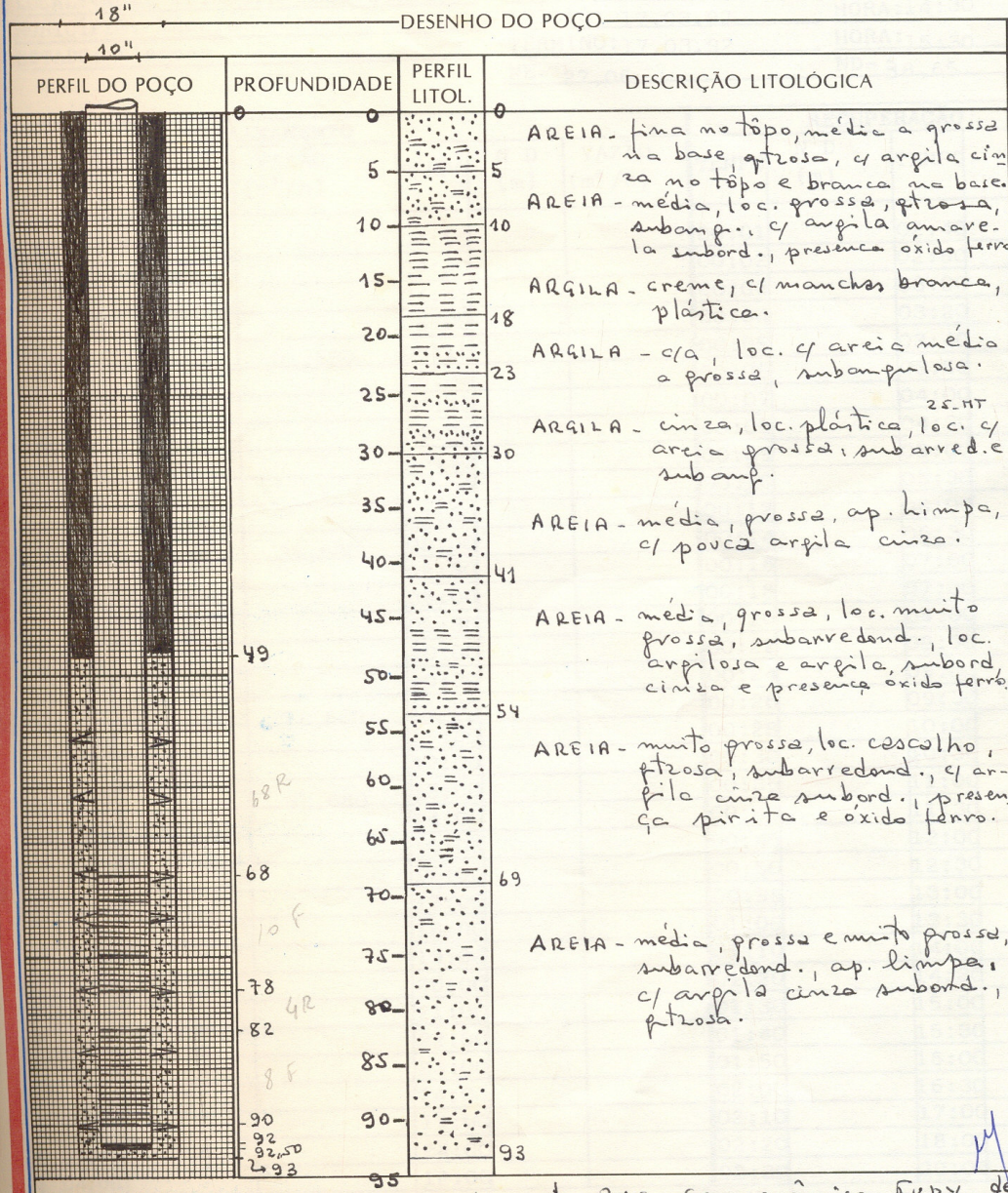
CLIENTE: SALGEMA MINERAÇÃO LTDA

POÇO : PW-12 B

MUNICÍPIO: Maceió

LOCAL : Campo de Salmoura (Bebedouro)

ESTADO : AL.



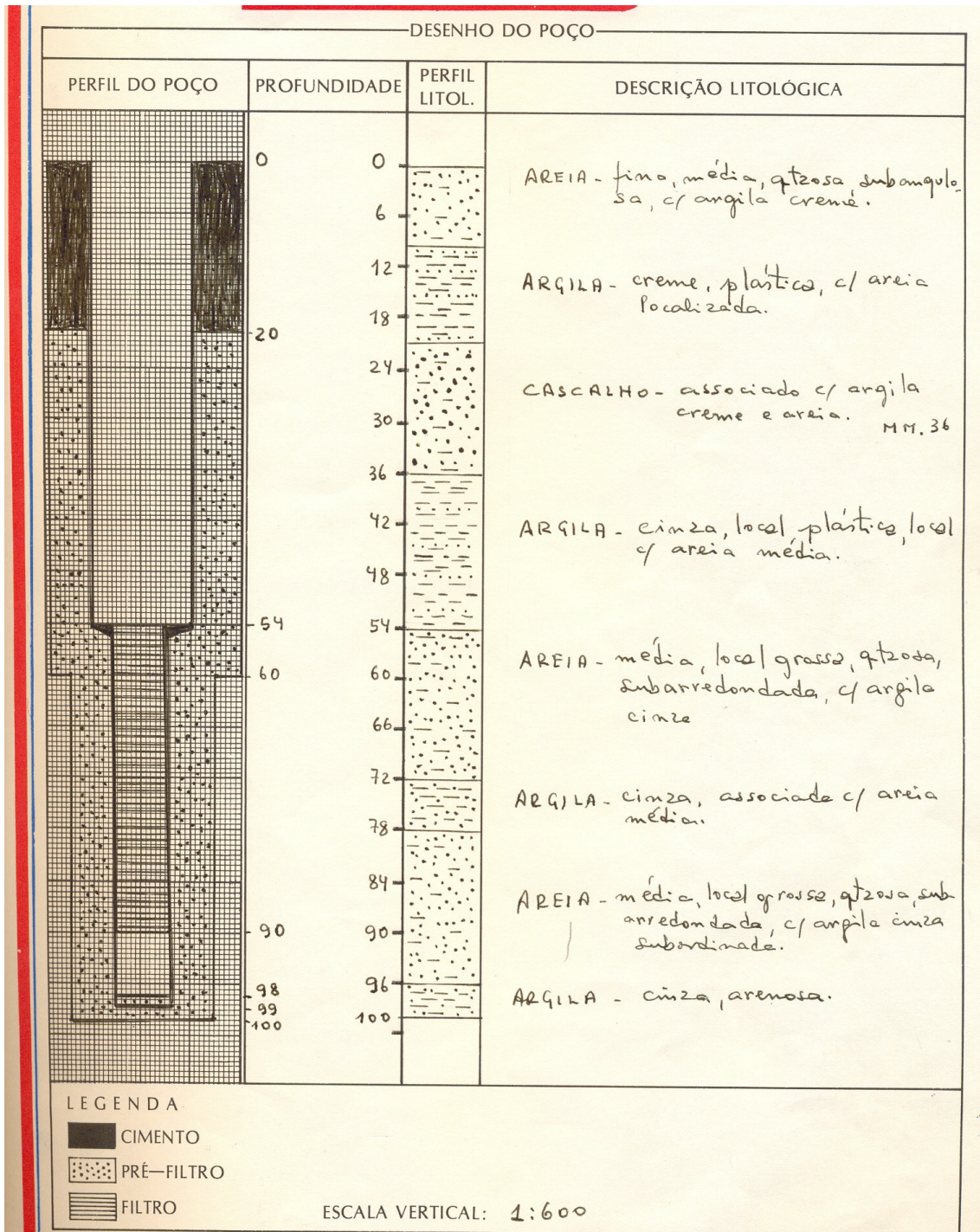
LEGENDA

- CIMENTO
- PRÉ-FILTRO
- FILTRO

tubos e filtros de PVC - geomecânicos Gupy, de 10 polegadas de diâmetro, posicionados de acordo c/ as amostras de calha.

ESCALA VERTICAL: 1:500

Perfil do poço PW – 15



Perfil do poço PW – 15A

CLIENTE: SALGEMA MINERAÇÃO LTDA

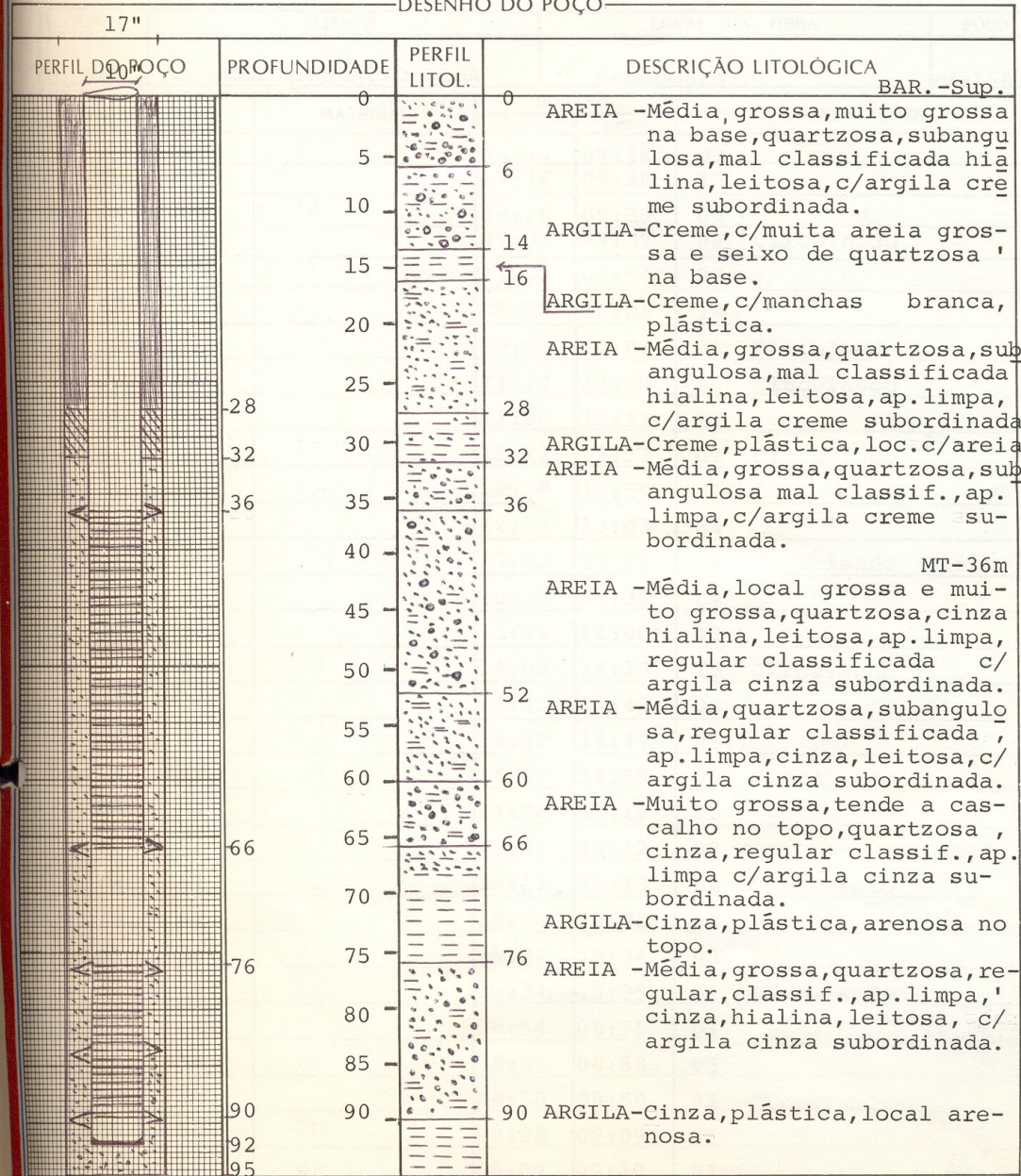
POÇO : PW-15A

MUNICÍPIO: Maceió

LOCAL : Bebedouro

ESTADO : AL

DESENHO DO POÇO



LEGENDA

- CIMENTO
- PRÉ-FILTRO
- FILTRO
- ARGILA

Poço completado c/ revestimento e filtro Geomecânico Reforçado, abertura do filtro 0,75 mm.

ESCALA VERTICAL: 1:500

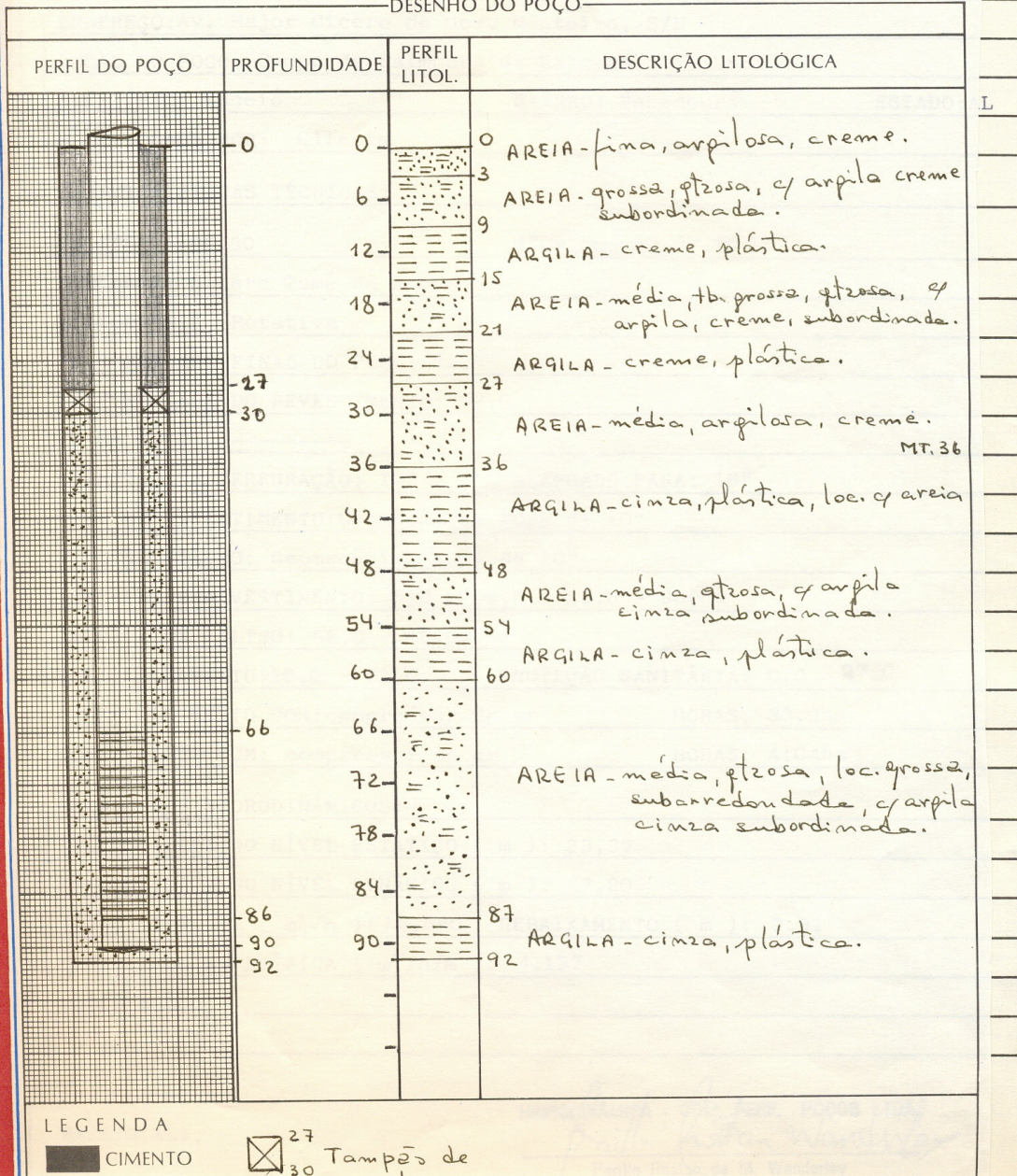
PRM/98

Perfil do poço PW – 16

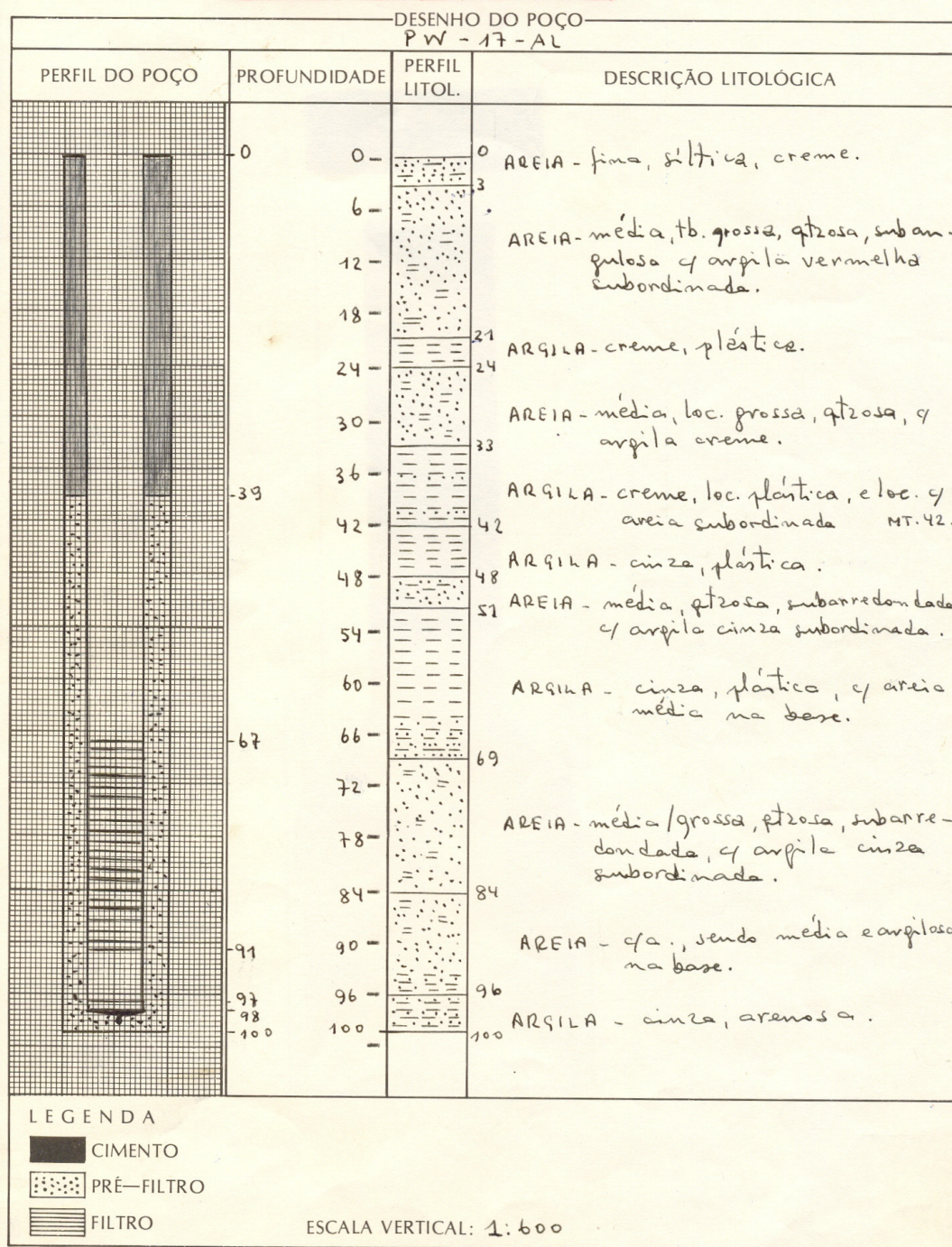
CLIENTE: ~~Salgema~~ ~~Indústrias Químicas S.A.~~
 POÇO : PW-16A-AL
 LOCAL : Bebedouro

MUNICÍPIO: Maceió
 ESTADO : AL

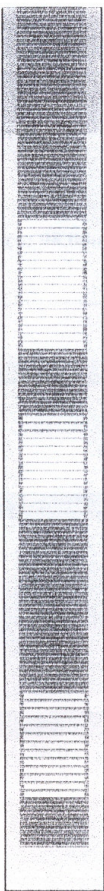
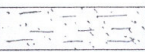
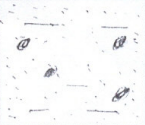
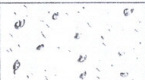
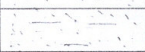
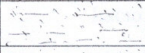

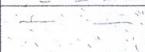
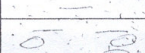
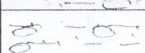

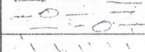

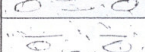
DESENHO DO POÇO







Perfil do poço PW - 17



Perfil do poço PW – 17A

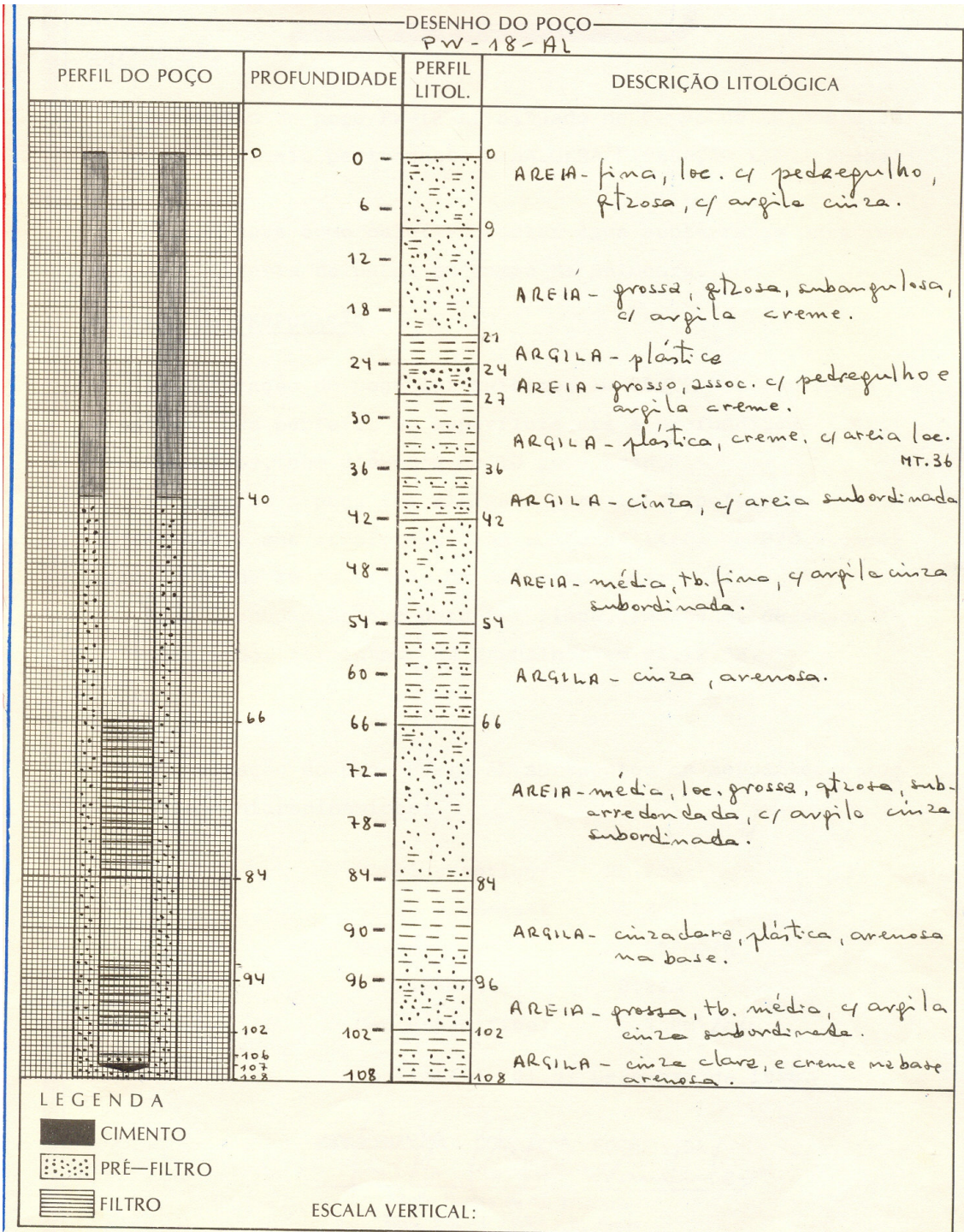
3.A- PERFIL GEOLOGICO			
PROF (m)	PERFIL DO POÇO	PERFI LITOL.	DESCRIÇÃO GEOLOGICA
0			Areia fina, siltsosa, com argila creme.
2			Areia média, quartzosa, subangulosa, localmente presença de seixos, óxido de ferro, com pouca argila creme.
15			Areia grossa a muito grossa, quartzosa, subangulosa, opaca, presença acentuada de seixos.
18			Areia fina a média, quartzosa, subangulosa, opaca, com pouca argila creme.
20			Areia fina a média, com argila creme.
24			Argila creme com areia fina.
26			Areia média a grossa, quartzosa, subangulosa, opaca, com pouca argila vermelha.
28			Areia média, quartzosa, subangulosa, com pouca argila cinza, presença de material carbonático.
34			Argila cinza, com material carbonático, pouca areia média.
42			Argila cinza com areia fina, presença de material carbonático.
46			Areia fina a média, com pouca argila cinza, presença de material carbonático.
52			Areia fina como acima
64			Argila cinza, localmente areia fina.
70			
74			
78			
82			
86			
90			
94			
98			

-  Cimentação
-  Pré-Filtro
-  Revestimento Geomecânico
-  Filtros Geomecânico

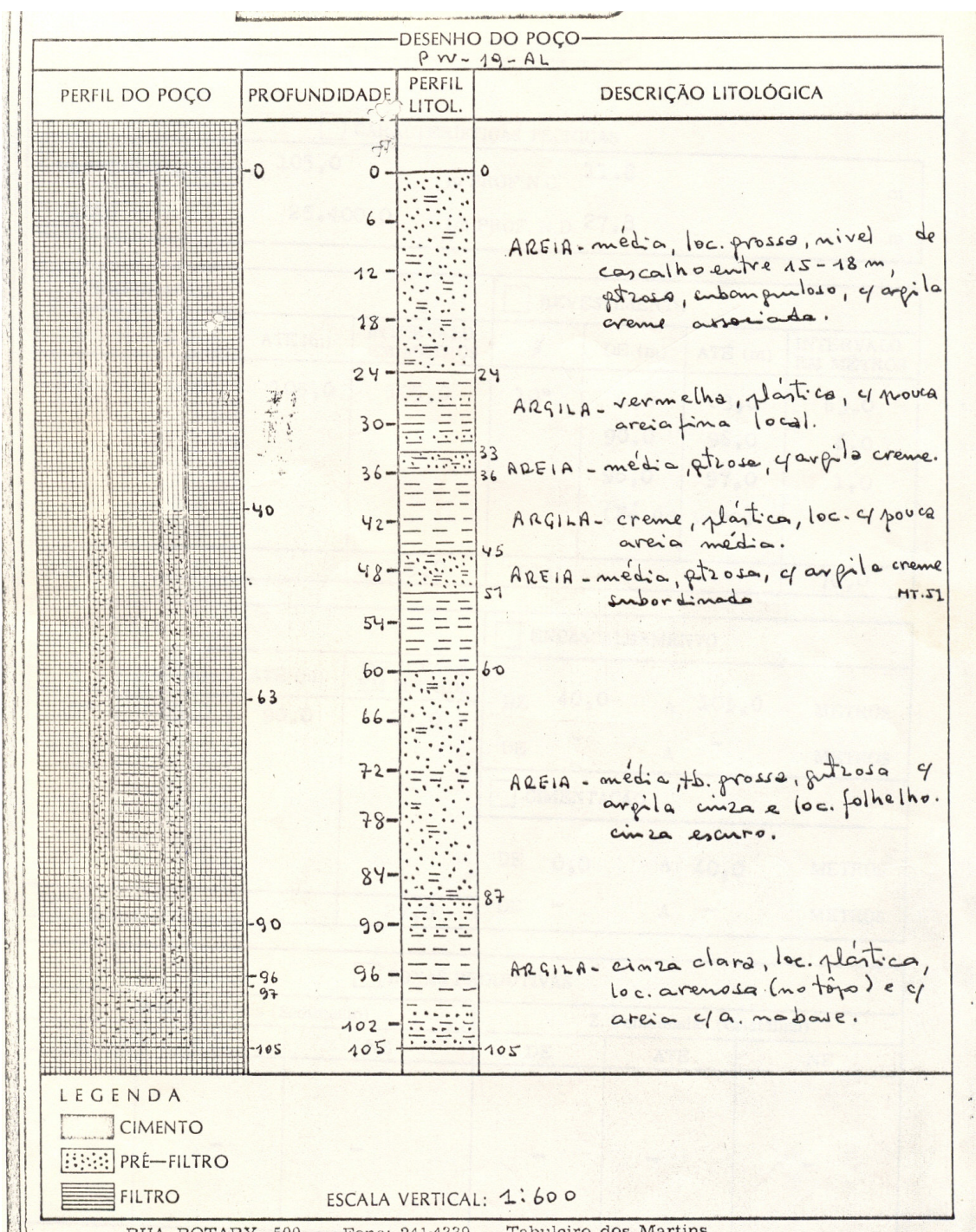
Francisco Romualdo Castro
 Eng.º de Minas: Francisco P. R. de Castro
 CREA - 4259/3º Região

CLIENTE: Salgema Mineração
 POÇO: PW-17A

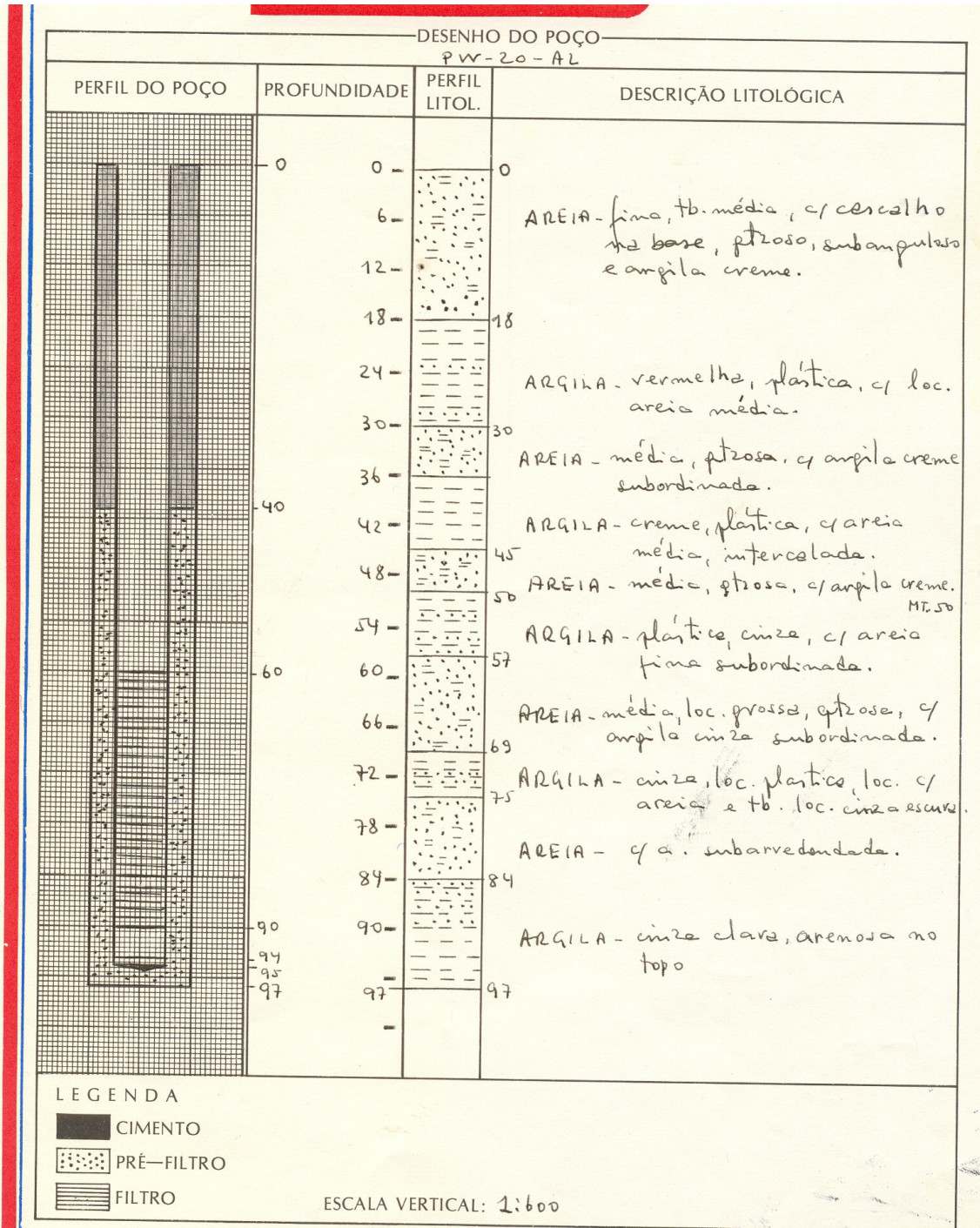
Perfil do poço PW -18



Perfil do poço PW - 19



Perfil do poço PW – 20



Perfil do poço PW – 23

CLIENTE: SALGEMA MINERAÇÃO LTDA

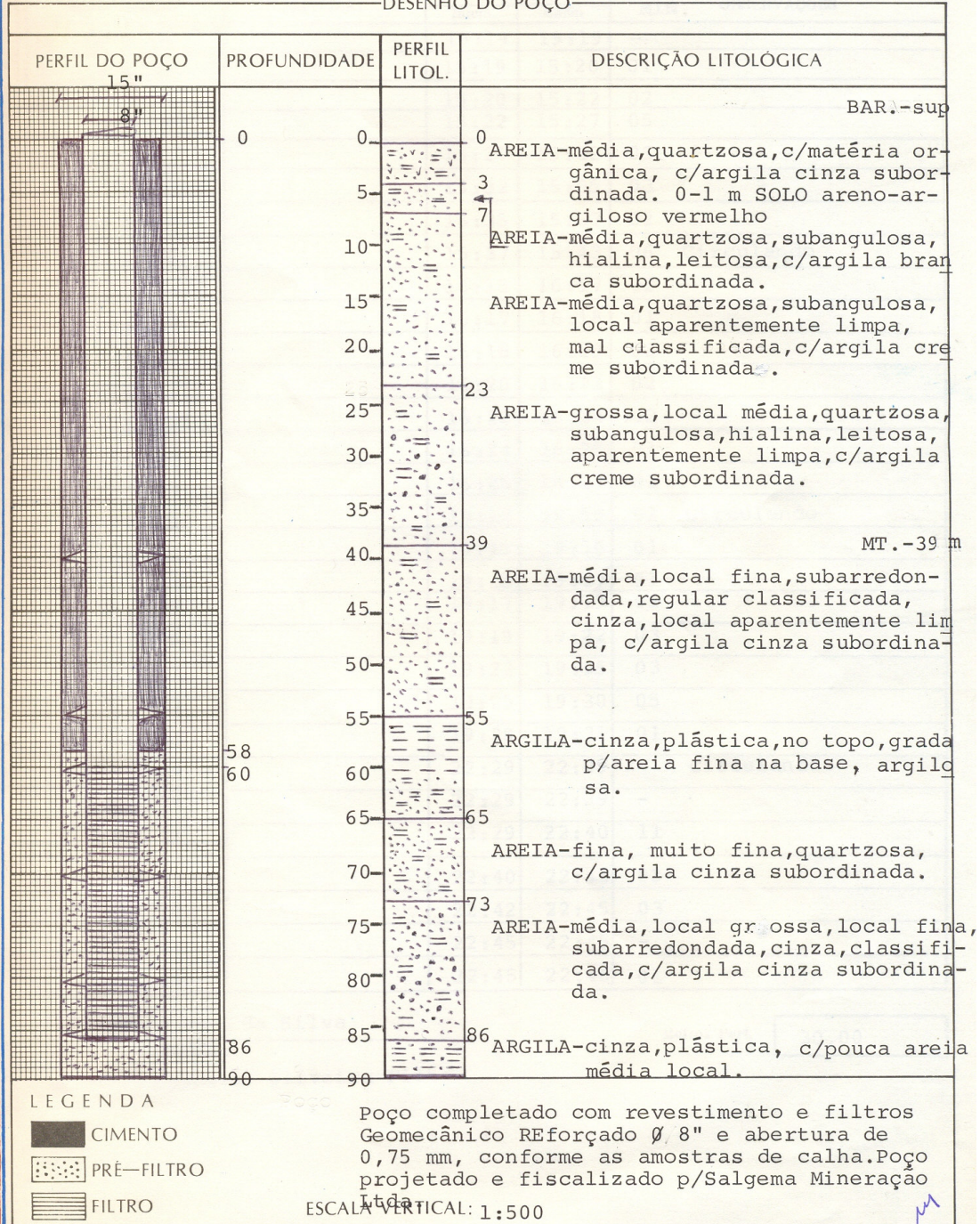
POÇO : PW - 23

MUNICÍPIO: Maceió

LOCAL : Bebedouro

ESTADO : AL

DESENHO DO POÇO



Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)