



UNICAMP

Número 362/2006

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE ADMINISTRAÇÃO E POLÍTICA DE RECURSOS
MINERAIS**

↓
JOB JESUS BATISTA FILHO

A dinâmica das águas subterrâneas no estuário do rio Itanhaém, litoral sul do Estado de São Paulo.

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências.

Orientadora: Profa. Dra. Sueli Yoshinaga Pereira

**BIBLIOTECA CENTRAL
DESENVOLVIMENTO
COLEÇÃO
UNICAMP**

CAMPINAS - SÃO PAULO

Agosto - 2006

Este exemplar corresponde a
redação final da tese defendida
por Job Jesus Batista Filho
e aprovada pelo orientador
em 30/08/06

ORIENTADOR

UNIDADE BC
 Nº CHAMADA T/UNICAMP
B32d
 V _____ EX _____
 TOMBO BC/ 30862
 PROC. 16.133-06
 C _____ D. X
 PREÇO 11,00
 DATA 06/12/06
 BIB-ID 393402

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
 BIBLIOTECA CENTRAL DA UNICAMP
 Bibliotecário: Helena Joana Flipsen – CRB-8ª / 5283

B32d

Batista Filho, Job Jesus.
 A dinâmica das águas subterrâneas no estuário do rio
 Itanhaém, litoral sul do Estado de São Paulo / Job Jesus
 Batista Filho. – Campinas, SP : [s.n.], 2006.

Orientador: Sueli Yoshinaga Pereira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
 Campinas, Instituto de Geociências.

1. Hidrogeologia. 2. Geoquímica. 3. Estuários.
 4. Aquíferos costeiros. I. Pereira, Sueli Yoshinaga. II.
 Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Geociências.
 IV. Título.

Título e subtítulo em inglês: The dynamics of groundwaters in the estuary of
 the river Itanhaém, the south coast of the State of São Paulo.

Palavras-chave em inglês (Keywords): Hydrogeology, Geochemistry,
 Estuaries, Coastal Aquifers.

Área de concentração: Administração e Política de Recursos Minerais.

Titulação: Mestre em Geociências.

Banca examinadora: Sueli Yoshinaga Pereira, Jacinta Enzweiler, Edson
 Wendland.

Data da Defesa: 30-08-2006.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM
ADMINISTRAÇÃO E POLÍTICA DE
RECURSOS MINERAIS

AUTOR: JOB JESUS BATISTA FILHO

A dinâmica das águas subterrâneas no estuário do Rio Itanhaém, litoral sul do
Estado de São Paulo

ORIENTADORA: Profa. Dra. Sueli Yoshinaga Pereira

Aprovada em 30/08/06

EXAMINADORES:

Profa. Dra. Sueli Yoshinaga Pereira

Profa. Dra. Jacinta Enzweiler

Prof. Dr. Edson Cezar Wendland

Three handwritten signatures are present, each on a horizontal line. The first signature is followed by the word "Presidente".

Campinas, 30 de agosto de 2006

2006.3.23.016



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
Pós-Graduação em Geociências
Área de Administração e Política de Recursos Minerais

A dinâmica das águas subterrâneas no estuário do rio Itanhaém, litoral sul do Estado de São Paulo.

RESUMO

Dissertação de Mestrado

Job Jesus Batista Filho

O presente trabalho estuda a interferência da maré nos aquíferos costeiros, identificando alterações hidrodinâmicas e químicas em suas águas. A pesquisa foi realizada no estuário do rio Itanhaém, em duas localidades: no Sítio de Pesquisa, com 7 poços instalados, situados às margens do rio Acima, a 3,5 km do oceano, e no CePeRio – Centro de Pesquisa do Estuário do rio Itanhaém, com 1 poço, localizado a aproximadamente 1 km do oceano. O estudo foi executado em 3 etapas, buscando-se conhecer: a geologia dos aquíferos, suas características físicas, químicas e geométricas. Para os aspectos hidrodinâmicos, englobaram-se o monitoramento do nível d'água superficial e subterrâneo e os cálculos dos parâmetros hidrodinâmicos, como: condutividade hidráulica, velocidade média linear e transmissividade. Para a hidroquímica foram executadas coletas periódicas, a cada 45 minutos, análise dos parâmetros físico-químicos: temperatura, pH, Eh, condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD) e salinidade. Foram coletadas amostras em cada etapa para se analisar a composição química das águas estudadas, quantificando-se os seguintes íons: Na, K, Si, Mg, Ca, Sr, Co, Mn, Cu, P, Zn, Pb, Al, Ba, Cd, Ni, Fe, Cr, HCO_3^- , F^- , Cl^- , Br^- , N , SO_4^{2-} e PO_4^{3-} . Os aquíferos estudados, um livre e um confinado, são compostos de sedimentos arenosos de granulometria fina. O aquífero confinado é composto de areia com lente de conchas calcáreas, à profundidade de 20 metros. As águas superficiais monitoradas foram: as dos rios Acima, Itanhaém e do ribeirão Campininha, que margeiam as áreas estudadas. O aquífero livre, formado por areia fina, e o rio Acima apresentam águas sulfatadas ou cloretadas sódicas. No aquífero, o STD varia de 40 a 70 mg/L e o pH é ácido (entre 4 e 5); no rio, o STD varia de 90 a 5.900 mg/L e o pH de 6 a 7. O aquífero confinado, com argila siltosa na sua base e conchas calcáreas na sua estrutura, apresenta águas bicarbonatadas sódicas, com STD variando de 310 a 2.000 mg/L e pH neutro (entre 6 e 7,5). O aquífero livre, com condutividade hidráulica (K) de 10^{-4} m/s, possui influência direta das oscilações da maré, com uma variação de amplitude do nível d'água (NA) 5 vezes menor que a da maré; o aquífero confinado, com K igual a 10^{-6} m/s, oscila 11 vezes menos que a maré, com maior variação de 1,4 m. A direção do fluxo hidrodinâmico no aquífero livre é para NW e a do confinado é para WSW, ambos com descarga no rio Acima. O aquífero livre tem velocidade média linear da ordem de 10^{-6} m/s e transmissividade de 205 m^2/dia , e o confinado 10^{-8} m/s e 13 m^2/dia . Apenas no aquífero livre, durante subidas fortes da maré, o fluxo hidrodinâmico se altera, derivando para o norte. Hidroquimicamente, as águas subterrâneas variam pouco com a intrusão salina. No inverno, as águas superficiais são mais salobras que em outras épocas do ano, o que está associado a fatores como: a maré mais alta e a pluviometria reduzida.



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
Pós-Graduação em Geociências
Área de Administração e Política de Recursos Minerais

Abstract

The dynamics of estuarine ground waters of the river Itanhaém on the south coast of the State of São Paulo.

The present work studied the influence of the tide in the coastal aquifers by identifying hydrodynamic and chemical alterations in the aquifers. The research was carried out in the Itanhaém river estuary in two localities: in the Sítio de Pesquisa with 7 installed wells situated on the banks of the Acima river, 3,5 km from the ocean, and in the CePeRio - Center of Research of the Itanhaém river estuary with 1 well located approximately 1 km from the ocean. The study was executed in 3 stages that studied the geologic formations of the aquifers and their physical, chemical and geometric characteristics. The hydrodynamic aspects were studied by monitoring of the superficial and underground water level, and hydrodynamic parameters such as hydraulic conductivity, linear average velocity and transmissivity were determined. The hydrochemical part of the research was executed with periodic collections of samples every 45 minutes and analyzed for the physical chemical parameters of temperature, pH, Eh, electric conductivity (EC), total dissolved solids (TDS) and salinity. Also, samples were collected for each stage of the study and analyzed for the following ions: Na, K, Si, Mg, Ca, Sr, Co, Mn, Cu, P, Zn, Pb, Al, Ba, Cd, Ni, Fe, Cr, HCO_3^- , F^- , Cl^- , Br^- , N , SO_4^{2-} e PO_4^{3-} . The aquifers, one phreatic and one confined, are both composites of fine sand sediments. The confined one is a sand layer with presences of limestone shells and has a depth of 20 meters. The surface waters were also monitored in the Acima river, the Campininha brook and the Itanhaém river, which border the study area. The phreatic aquifer is formed of fine sand and with the Acima river has sodium sulfated or chlorinated and sodium bicarbonated water. In the aquifer, the TDS varied between 40 and 70 mg/L and pH was acidic (between 4 and 5). In the river, the TDS varied from 90 to 5,900 mg/L and pH was 6 to 7. The confined aquifer, with silt clay and limestone shell, had sodic bicarbonated waters with the TDS varying from 310 to 2,000 mg/L and pH neutral (between 6 and 7,5). The phreatic aquifer with hydraulic conductivity (K) 10^{-4} m/s had a direct influence from tidal oscillations with a variation of phreatic level amplitude 5 times lesser than that of the tide. The confined aquifer with K of 10^{-6} m/s, oscillated 11 times less than the tide for variations of larger than 1,4 m. The hydrodynamic flow direction for the phreatic aquifer was to NW and for the confined one it was for WSW, both with discharges in the Acima river. The phreatic aquifer had linear average velocity of the order of 10^{-6} m/s with a transmissivity of 205 m^2/day and for the confined the values were 10^{-8} m/s and 13 m^2/day . In the phreatic aquifer the hydrodynamic flow was modified during strong flows of the tide northward. Hydrochemically, the groundwater varied slightly with saline intrusion. In the winter, the river had the biggest ionic concentrations in comparison to the other seasons which were associated with factors such as the tide being higher in and the low precipitation at that time of year.

Dedicatória

A meus pais Regina e Job e meu irmão Márcio,
pelo apoio, inspiração e amor.

Aos familiares e amigos que confiaram e
Aos professores que me ensinaram...

Epígrafe

A educação pela pedra

*Uma educação pela pedra: por lições;
para aprender da pedra, freqüentá-la;
captar sua voz inenfática, impessoal
(pela de dicção ela começa as aulas).
A lição de moral, sua resistência fria
ao que flui e a fluir, a ser maleada;
a de poética, sua carnadura concreta;
a de economia, seu adensar-se compacta:
lições da pedra (de fora para dentro,
cartilha muda), para quem soletrá-la...*

João Cabral de Melo Neto

Ycatu*

*E assim vou
com a fremente mão do mar em minhas coxas.
Minha paixão? Uma armadilha de água,
rápida como peixes,
lenta como medusas,
muda como ostras.*

Olga Savary

*Do tupi: água boa.

Agradecimentos

Para a realização deste trabalho, contou-se com o apoio de muitas pessoas, algumas empresas e fomentadoras de pesquisa:

Primeiramente, agradeço à Prof. Sueli Yoshinaga Pereira, pela orientação nesta dissertação, seus comentários e sugestões, que sempre foram de grande relevância e por sua amizade e sinceridade.

À Fapesp pelo apoio financeiro ao projeto, em nome do Projeto Biota, Processo nº 01/09881-2, que proporcionou a parte material e laboratorial desta pesquisa.

À Capes pela bolsa de mestrado, permitindo que a pesquisa pudesse se desenvolver, de maneira livre e consciente.

Ao Instituto de Geociências da Unicamp (IG) pelos recursos prestados, instalações, biblioteca e materiais de campo e escritório.

Ao Laboratório de Geoquímica do IG-Unicamp, na pessoa da Prof. Jacinta Enzweiler pelos comentários, acompanhamento e discussões. E também a Cida e a Lúcia, pela colaboração.

Ao Prof. Bernardino R. de Figueiredo, pelo empréstimo do aparelho Horiba, e também à sua orientanda Jimena, pela amizade e a disposição em ajudar.

Ao amigo Charles, companheiro de campo e de mestrado, pela ajuda, discussões e conversas sobre as possíveis e racionais interpretações geológicas.

À química Juliana pela ajuda e colaboração durante as etapas de campo, e ao apoio na coleta de informações químicas.

Aos motoristas do IG, Sr. Rinaldo e Élcio, pelo suporte durante as viagens de campo.

Aos alunos de mestrado do IG, pelo bom humor e amizade, nas pessoas de Juliane, Vagney, Elane, Sergio, Ricardinho, Lobinho, Zé Granola, Bairral, Juliano, César, Fabrício, Joseane e outros.

A Helena, Val e Edinalva, representando toda equipe do IG, pela incansável e total disposição em ajudar, agradeço de coração pois são pessoas amáveis e de extrema importância para a conclusão desta pesquisa.

Ao CePeRio – Centro de Pesquisas do Estuário do Rio Itanhaém, na pessoa do Zezinho e da sua esposa Neuza, pelo alojamento e suporte durante os trabalhos de campos.

À prof. Frésia, seu marido Fábio e sua família, por cederem seu sítio, de sua propriedade para ser executada a pesquisa, e pelos auxílios e informações sobre a área de estudo.

Ao climatologista, Paulo Pereira, pela ajuda na coleta de dados climáticos da estação do CEPERIO.

À prefeitura de Itanhaém-SP, na pessoa da Eng. Rosana F.B. Oliveira, do setor de Planejamento que cedeu fotos aéreas do município, permitindo uma melhor visualização da área da Bacia do Rio Itanhaém.

À empresa GeoDatum, na pessoa do Eng. Agrim. Marinaldo, que executou a topografia dos poços de monitoramento.

Ao professores Alexandre Vidal e Wanilson, do IG-Unicamp, pela ajuda nas discussões dos resultados hidrogeológicos e hidroquímicos.

Ao amigo Geól. Carlos Siqueira Bandeira de Mello, pela ajuda no tratamento estatístico dos resultados.

A Job e Regina, meus pais, pelas correções no texto e orientações na escrita.

Ao Geól. Márcio, irmão e amigo, pelas correções do abstract e pelo incentivo.

Ao Eng. Timothy Keliher e sua esposa Joice pela correção do abstract, incentivo e amizade.

Aos amigos, familiares e irmãos que acreditaram e oraram, abençoando minha vida e esta pesquisa.

Muitas pessoas ainda, foram importantes para esta pesquisa; queria agradecer a todos e dizer que fizeram parte do conjunto e montagem das letras e números presentes nestas páginas que se seguem.

A todos, meu incondicional agradecimento!

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVOS.....	2
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
2.1	HIDROGEOLOGIA EM ESTUÁRIOS.....	3
2.2	CONTEXTO GEOLÓGICO	5
2.2.1	Geologia Regional	5
2.2.1.1	Embasamento Cristalino.....	5
2.2.1.2	Planície Peruíbe-Itanhaém.....	6
2.2.2	Geologia Local	7
2.3	HIDROGEOLOGIA REGIONAL	13
3	ÁREA DE ESTUDO	19
4	MÉTODO	21
4.1	POÇOS DE MONITORAMENTO.....	21
4.1.1	Perfuração.....	21
4.2	LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS E TOPOGRAFIA.....	28
4.3	MONITORAMENTO	29
4.3.1	Hidrogeologia.....	31
4.3.1.1	1ª etapa	31
4.3.1.2	2ª etapa	32
4.3.1.3	3ª etapa	32
4.4	HIDROQUÍMICA.....	34
4.4.1	Amostragem	34
4.4.1.1	1ª etapa	34
4.4.1.2	2ª e 3ª etapas	34
4.4.2	Análises Químicas.....	35
4.4.2.1	Laboratórios e Equipamentos.....	35
4.4.2.2	Balço iônico.....	36
4.4.2.3	Equipamentos e processamento dos parâmetros coletados <i>in loco</i>	37

4.4.2.4	Classificação das águas	38
4.4.2.5	Correlações.....	38
4.4.2.6	Registros de maré e pluviométricos	38
4.4.3	Estudos da maré.....	39
4.4.4	Análise de consistência	40
5	RESULTADOS.....	41
5.1	HIDROGEOLOGIA.....	41
5.1.1	1ª etapa	42
5.1.2	2ª e 3ª etapas	43
5.1.2.1	Aqüífero livre	43
5.1.2.2	Aqüífero profundo (20 m).	50
5.2	HIDROQUÍMICA.....	57
5.2.1	1ª etapa de campo – estudo preliminar.....	57
5.2.1.1	CePeRio.....	57
5.2.1.2	Sítio de Pesquisa.....	59
5.2.1.2.1	Rio Acima.....	59
5.2.1.2.2	Poços rasos	60
5.2.1.2.3	Poços profundos	61
5.2.2	2ª etapa – outono	61
5.2.2.1	Rio Acima.....	61
5.2.2.2	Poços rasos	63
5.2.2.3	Poços profundos	64
5.2.3	3ª etapa - inverno.....	66
5.2.3.1	Rio Acima.....	66
5.2.3.2	Poços rasos	67
5.2.3.3	Poços profundos	68
5.2.4	Classificação das Águas	70
6	INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS.....	73
6.1	1ª ETAPA	73
6.2	2ª ETAPA	76
6.3	3ª ETAPA.....	81

6.4	COMPARAÇÃO ENTRE AS ETAPAS.....	83
6.4.1	Íons	86
6.4.2	Parâmetros físico-químicos versus íons	89
7	CONCLUSÕES	93
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Distribuição dos poços tubulares profundos na Baixada Santista. Fonte: DAEE (1979).	17
Figura 2.2 – Poços tubulares profundos na Baixada Santista. Fonte: DAEE (1979).	17
Figura 3.1 – Mapa de localização das áreas estudadas.....	20
Figura 4.1 – Poço de monitoramento instalado no Sítio de Pesquisa.....	23
Figura 4.2 – Perfil esquemático do P8 no CePeRio.	25
Figura 4.3 – Perfil esquemático dos poços rasos no Sítio de Pesquisa.	26
Figura 4.4 – Perfil esquemático dos poços profundos no Sítio de Pesquisa.	27
Figura 4.5 – Foto-aérea com a localização dos poços e topografia aproximada do Sítio de Pesquisa (curvas de nível em amarelo, em metros).....	29
Figura 4.6 – Oscilação da maré nas etapas pesquisadas e durante o Tsunami (2004).	39
Figura 5.1 – Perfil geológico do Sítio de Pesquisa.....	41
Figura 5.2 – Mapa potenciométrico do aquífero livre no dia 28/01/05 às 13:30 hs.....	42
Figura 5.3 – Mapa potenciométrico do aquífero profundo, no dia 28/01/05 às 13:30hs.	42
Figura 5.4 – Oscilação da maré e do NA nos poços rasos, nos dias 30 e 31/03/05.	44
Figura 5.5 – Variação da maré e do NA do P3 na 3ª etapa de monitoramento.	45
Figura 5.6 – Oscilação da maré e do NA do P3, num intervalo de 24 horas, no período em que a maré oscila regularmente.....	46

Figura 5.7 – Superfícies potenciométricas do aquífero raso na maré baixa (inferior) e na maré alta (superior). As escalas são em metros.	47
Figura 5.8 – Seqüência de mapas potenciométricos do Sítio de Pesquisa (2ª etapa).	49
Figura 5.9 – Oscilação da maré e do NA dos poços profundos, nos dias 30 e 31/03/05.	51
Figura 5.10 – Oscilação da maré e do NA do PII-2.	51
Figura 5.11 – Oscilação da maré e do NA do PII-2, num intervalo de 24 horas, do dia 20 ao dia 21/08/05.	52
Figura 5.12 – Seqüência de mapas potenciométricos do aquífero profundo (2ª etapa).	53
Figura 5.13 – Superfícies potenciométricas do aquífero profundo durante a maré baixa (inferior) e na maré alta (superior).	55
Figura 5.14 – Variação do NA, maré e CE do poço P8, no dia 23/01/05.	58
Figura 5.15 – Isolinhas de Cl^- dos poços rasos, em mg/L, às 6:00 hs do dia 30/03/05.	64
Figura 5.16 – Isolinhas de Cl^- nos poços profundos na baixa maré, às 6:00 do dia 30/03/05.	66
Figura 5.17 – Íons no rio Acima durante a subida da maré no dia 20/08/05.	67
Figura 5.18 – Concentração de íons nos poços rasos (3ª etapa).	68
Figura 5.19 – Diagrama de Piper para classificação das águas.	71
Figura 6.1 – Análise de Cluster do monitoramento <i>in loco</i> da 1ª etapa.	74
Figura 6.2 – Análise de Cluster do monitoramento <i>in loco</i> da 2ª etapa.	76
Figura 6.3 – Mapas de isolinhas potenciométricas e de Condutividade Elétrica (mS/m) do aquífero livre, nos horários de maré baixa e de maré alta máxima do dia 04/04/05.	79
Figura 6.4 - Mapas de isolinhas potenciométricas e de Condutividade Elétrica (mS/m) do aquífero profundo, nos horários de maré baixa e de maré alta máxima do dia 04/04/05.	80
Figura 6.5 – Análise de Cluster do monitoramento <i>in loco</i> da 3ª etapa.	81

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Principais parâmetros hidrogeológicos da geometria dos aquíferos regionais.....	13
Tabela 2.2 – Reservas de água subterrânea na Baixada Santista	14
Tabela 4.1 – Descrição litológica da área do Sítio de Pesquisa.	22
Tabela 4.2 – Descrição litológica do P8 na área do CePeRio.	23
Tabela 4.3 – Localização e descrição dos poços de monitoramento.....	28
Tabela 4.4 – Data das etapas de monitoramento, das luas cheias e das máximas marés.	40
Tabela 5.1 – Condutividade Hidráulica (K) e Transmissividade (T) dos poços rasos.	44
Tabela 5.2 – Intervalos de Condutividade Hidráulica (K) para sedimentos inconsolidados.....	45
Tabela 5.3 – Condutividade Hidráulica (K) e Transmissividade (T) dos poços profundos.	50
Tabela 5.4 – Monitoramento do poço P8 e ribeirão Campininha (CePeRio), em 23/01/05.	58
Tabela 5.5 – Monitoramento do P8, ribeirão Campininha e rio Itanhaém no dia 26/01/05.....	59
Tabela 5.6 – Parâmetros do monitoramento <i>in loco</i> no rio Acima, no dia 28/01/05.	60
Tabela 5.7 – Parâmetros físico-químicos dos poços rasos, no dia 28/01/05.....	60
Tabela 5.8 – Parâmetros físico-químicos dos poços profundos, no dia 28/01/05.	61
Tabela 5.9 – Classificação da água quanto aos Sólidos Totais Dissolvidos (STD).	62
Tabela 5.10 – Íons (mg/L) e parâmetros físicos das águas do rio (coleta em 30/03/05).....	62
Tabela 5.11 – Média dos parâmetros físico-químicos obtidos em cada poço (2ª etapa).....	63
Tabela 5.12 – Íons (mg/L) e parâmetros físico-químicos dos poços rasos.	64
Tabela 5.13 – Média dos parâmetros físico-químicos obtidos nos poços profundos (2ª etapa).....	65
Tabela 5.14 – Íons (mg/L) e parâmetros físico-químicos nos poços profundos, em 30/03/05.	65
Tabela 5.15 – Média dos parâmetros analisados no rio em cada etapa.....	67
Tabela 5.16 – Média dos parâmetros físico-químicos obtidos nos poços rasos (3ª etapa).....	67
Tabela 5.17 – Média dos parâmetros físico-químicos obtidos em cada poço profundo (3ª etapa).	68
Tabela 5.18 – Íons (mg/L) e parâmetros físico-químicos, nos poços profundos (3ª etapa).....	69
Tabela 5.19 – Monitoramento do PII-1 durante a 3ª etapa de monitoramento, apresentando os valores mínimo, máximo e médio.	69

Tabela 5.20 – Monitoramento do PII-3 durante a 3ª etapa de monitoramento, apresentando os valores mínimo, máximo e médio.	70
Tabela 6.1 – Matriz de correlação entre os parâmetros físico-químicos e hidrodinâmicos nos poços do Sítio de Pesquisa, na 1ª etapa de monitoramento.	75
Tabela 6.2 – Matriz de correlação entre os parâmetros físico-químicos e hidrodinâmicos nos poços do Sítio de Pesquisa, na 2ª etapa de monitoramento.	77
Tabela 6.3 – Matriz de correlação entre os parâmetros físico-químicos e hidrodinâmicos nos poços do Sítio de Pesquisa, na 3ª etapa de monitoramento.	82
Tabela 6.4 – Mínimo, máximo e média do monitoramento da 1ª etapa.	84
Tabela 6.5 – Mínimo, máximo e média do monitoramento da 2ª etapa.	84
Tabela 6.6 – Mínimo, máximo e média do monitoramento da 3ª etapa.	84
Tabela 6.7 – Chuva acumulada durante os períodos de amostragem.	85
Tabela 6.8 – Íons nas águas dos poços rasos e do rio Acima (coleta em 30/03/05 - 2ª etapa).	87
Tabela 6.9 – Íons nas águas dos poços profundos (coleta em 30/03/05 - 2ª etapa).	87
Tabela 6.10 – Íons nas águas dos poços rasos e do rio (coleta em 28/08/05 - 3ª etapa).	88
Tabela 6.11 – Íons nas águas dos poços profundos (coleta em 28/08/05 - 3ª etapa)	88
Tabela 6.12 – Comparação entre as águas de chuva e as água do aquífero livre.	91

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo – 1	Mapa Geológico.	105
Anexo – 2	Fotografias	106
Anexo – 3	Análises químicas.	111

1 INTRODUÇÃO

O estuário do rio Itanhaém localiza-se no litoral sul do estado de São Paulo, no município homônimo e é considerado o segundo maior estuário do território paulista (Lamparelli 1999), superado apenas, pelo estuário de Iguape, também no litoral sul.

A Bacia do rio Itanhaém é a maior, em área de drenagem, da Baixada Santista e o abastecimento público ainda não supre áreas recentemente urbanizadas, nas quais, pela facilidade e praticidade, faz-se uso da exploração da água subterrânea que está presente a poucos metros e, em alguns casos, a centímetros da superfície.

Existem poucos estudos hidrogeológicos em estuários nacionais e de outras partes do mundo, e, neste sentido, grande parte desses trabalhos se refere somente à água superficial.

A presente dissertação busca expandir um pouco mais estes estudos e estrutura-se da seguinte forma:

O capítulo 1 apresenta a introdução do trabalho e seus objetivos.

No capítulo 2, encontra-se um estudo teórico, baseado em pesquisa bibliográfica, elaborado em bases de dados nacionais e internacionais, abrangendo os seguintes temas: hidrogeologia em estuários, geologia regional e local.

No capítulo 3, encontra-se a localização das áreas de estudo, assim como o acesso a elas.

No capítulo 4, o método utilizado nesta pesquisa está detalhado, apresentando as ferramentas, laboratórios, equipamentos, materiais, coleta e conservação de amostras, assim como os cálculos e fórmulas utilizados.

No capítulo 5, apresentam-se os resultados do monitoramento, executado em 3 etapas de campo.

No capítulo 6, está explicitada a interpretação dos resultados, onde se comparam as etapas e também se faz uma discussão das diferenças e semelhanças entre os aquíferos estudados, através de correlações entre os pontos estudados e entre as etapas.

No capítulo 7, encontra-se a conclusão e, por último, as referências bibliográficas, no capítulo 8.

Este trabalho mostra-se importante, já que os estudos da interação das águas superficiais e subterrâneas ainda são raros. Além disso, este trabalho contribui para o conhecimento dos estuários brasileiros, podendo ser útil para subsidiar programas de preservação e conservação dos

recursos hídricos, buscando avançar no estabelecimento da metodologia de pesquisa de ecossistemas semelhantes.

1.1 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo principal o estudo da interação entre as águas subterrâneas e superficiais do Estuário do rio Itanhaém.

Os objetivos secundários são: 1) o estudo das características físico-químicas das águas subterrâneas nos aquíferos costeiros, 2) o conhecimento dos aquíferos da Planície Costeira de Peruíbe-Itanhaém.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta temas relevantes ao desenvolvimento da dissertação e contém o estágio de conhecimento relativo aos estudos hidrogeológicos em estuários e o conhecimento da geologia e da hidrogeologia na região.

2.1 HIDROGEOLOGIA EM ESTUÁRIOS

Os estudos hidrogeológicos e suas inter-relações com as áreas costeiras alagadas, mangues e estuários são complexos, e referências sobre o assunto são escassas. Recentemente, o aumento de referências sobre o tema são indicativos do interesse em entender a dinâmica das águas subterrâneas nestes ambientes, no sentido de adquirir maior compreensão sobre os sistemas estuarinos e seus ecossistemas e assim, sobre o papel da água subterrânea.

Este subitem apresenta um panorama do conhecimento científico nacional e internacional, dispostos em ordem cronológica.

Capone & Bautista (1985), uma das primeiras referências encontradas, estudaram a água subterrânea da Great South Bay, em Nova York, com o objetivo de encontrar possíveis fontes de contaminação nos aquíferos ao seu redor. Os autores concluem que a descarga de água subterrânea submarina aumenta a concentração de nitrato nos aquíferos costeiros, sendo esta a maior fonte de contaminação natural no aquífero subjacente.

Medeiros & Kjerfve (1990), estudando a hidrologia do sistema estuarino da ilha de Itamaracá, no estado de Pernambuco, elaboraram perfis da calha do rio, mostrando o avanço do mar, rio acima, através de dados de condutividade elétrica e salinidade. Nesse trabalho não se analisou a água subterrânea de aquíferos costeiros, muito embora, busque-se compreender a dinâmica das cunhas salinas nas calhas dos rios, sua intensidade e extensão pelo continente.

Ridd & Sam (1996) desenvolveram uma sonda de penetração no solo, que mede a condutividade elétrica de solos saturados. Eles testaram o equipamento numa área de mangue, no norte da Austrália, e descobriram que camadas de sal nas margens do mangue podem contaminar a água subterrânea do aquífero livre, aumentando sua salinidade, apenas nos limites dos aquíferos.

Hughes *et al.* (1998), num estuário na Austrália, utilizaram 6 poços de monitoramento para analisar o comportamento do aquífero costeiro, sua relação e influência com a água superficial. Em períodos semanais, de 6 a 7 dias, observaram que a variação da carga hidráulica dos poços era proporcional à das águas superficiais, influenciadas diretamente pelas oscilações da maré. Nesse trabalho não se analisou o comportamento hidroquímico.

Kitheka (1998), num manguezal, com área de 32 km² no Kenya, África, analisou os efeitos da maré tanto nas águas superficiais quanto subterrâneas, estudando: a oscilação do nível d'água, a salinidade e a condutividade elétrica. Constatou que: 1) no inverno e no verão a salinidade aumenta, sendo mais intensa no inverno e 2) a salinidade tem uma variação vertical tanto no leito do rio quanto nos poços de monitoramento e 3) a água subterrânea contém menores concentrações iônicas do que as águas superficiais, mesmo que estas estejam conectadas.

Jiao & Tang (1999), próximo ao aeroporto de Chek Lap Kok, na China, com o objetivo de conhecer a influência da maré no aquífero costeiro profundo, descobriram que os efeitos hidrodinâmicos da maré são melhor percebidos nos aquíferos livres que nos profundos ou semi-profundos, mas, hidroquimicamente, os efeitos são incipientes em ambos.

Hoguane *et al.* (1999) estudaram os efeitos da maré num manguezal em Moçambique, se restringindo às águas superficiais. Concluíram que a hidrodinâmica da área é totalmente influenciada pela maré.

Lage & Braga (2003) estudaram uma área de manguezal na Baixada Fluminense, nas margens da Baía de Guanabara. Monitoraram o aquífero costeiro e concluíram que os efeitos da maré são atuantes hidrodinamicamente, mas, as variações hidroquímicas são pouco incipientes.

Schwartz (2003), estudando o estuário de Delaware, na costa leste dos Estados Unidos, usou poços subterrâneos para concluir que o aumento de radônio (Rn), na água superficial, acontece pela descarga de água subterrânea, ou seja, o fluxo da água subterrânea nos aquíferos transporta o Rn para o rio.

Karro *et al.* (2004) estudaram a água subterrânea, em uma área costeira, e acreditam que o acréscimo de íons no aquífero costeiro da Península Kopli, no norte da Estônia, se deva à super-exploração do aquífero. Para reduzir esse efeito, eles sugerem que o uso e distribuição dos poços sejam mais racionais, com o objetivo de se ter um equilíbrio com a recarga desses aquíferos.

Westbrook *et al.* (2005) estudaram uma contaminação nas águas subterrâneas do estuário do rio Canning, no Oeste da Austrália, e concluíram que o avanço e o recuo da maré, na zona inter-maré, ajudam a bio-atenuação da água subterrânea contaminada com hidrocarbonetos. Eles

constatarem que o nível d'água dos poços de monitoramento variava com a maré, o que não ocorria com a qualidade química da água.

A revisão bibliográfica auxiliou na comparação dos resultados obtidos na presente pesquisa com as anteriores. Os resultados se mostraram condizentes, mesmo utilizando técnicas e objetivos diferentes.

2.2 CONTEXTO GEOLÓGICO

A região de Itanhaém apresenta os seguintes ambientes geológicos:

- Embasamento Cristalino, que compõe as regiões da Serra do Mar, e constitui a base de deposição dos sedimentos do estuário de Itanhaém.
- O estuário propriamente dito, composto por sedimentos de idade Quaternária e Terciária da planície litorânea de Peruíbe – Itanhaém.

O mapa geológico de compilação é apresentado no Anexo 1, de autoria de Amaral (2003).

2.2.1 Geologia Regional

2.2.1.1 Embasamento Cristalino

As rochas do embasamento cristalino que circundam a área estudada, importantes áreas-fonte para o estuário de Itanhaém, são divididas em 4 grupos litológicos, de acordo com Suguio & Martin (1978b).

- 1) Granitos foliados, com granulação fina a média, contatos concordantes;
- 2) Xistos variados: quartzo-mica xistos, biotita-quartzo xistos, muscovita-quartzo xistos, clorita e sericita xistos do Grupo Açungui;
- 3) Migmatitos heterogêneos com estruturas variadas e paleossoma xistoso do Complexo Embu e
- 4) Migmatitos de estruturas variadas, paleossoma xistoso e/ou gnáissico do Complexo Costeiro.

Silva *et al.* (1977 e 1978) relatam rochas metassedimentares do Grupo Açungui na fronteira nordeste da planície Peruíbe-Itanhaém.

Nos flancos do vale do rio Branco, afluente do rio Itanhaém, encaixado na Falha de Cubatão de direção SW-NE, afloram principalmente xistos, como granada-biotita-quartzo xistos, muscovita xistos e clorita-muscovita xistos.

A SW, junto à margem norte do rio Preto (Itanhaém), predominam os metarenitos de granulação fina e cor cinza, relativamente fraturados, que adquirem cor avermelhada e aspecto xistoso quando alterados.

As rochas graníticas e afins sin- a tardi-cinemáticas brasileiras são representadas na região pelo maciço autóctone do Caepépu, que tem contato direto com os sedimentos pleistocênicos na região das cabeceiras do rio Preto de Itanhaém (Giannini 1987).

Os diques de tinguaito de Itanhaém são contemporâneos às demais intrusões alcalinas carbonáticas da região, como Juquiá, Piedade e Jacupiranga, à exceção do maciço de Cananéia, este pertencente ao segundo episódio magmático, com idade de 82 milhões de anos (Ulbrich & Gomes 1981).

2.2.1.2 Planície Peruíbe-Itanhaém

A cobertura sedimentar aflorante da planície de Peruíbe-Itanhaém pode ser dividida em três grandes unidades de sedimentos regressivos arenosos, dispostos ao longo de faixas paralelas à costa (Giannini 1987):

- Unidade pleistocênica: depositada no evento regressivo posterior ao auge transgressivo mundial de 120.000 anos AP (Antes do Presente), com largura variável, porém sempre superior às outras duas faixas, mais externas – Formação Cananéia;
- Unidade holocênica interior: formada na fase de nível do mar pouco variável, após o auge transgressivo holocênico (Formação Santos), em 5.500 anos AP, com até 1,5 km de largura;
- Unidade praias recentes: depositada no decorrer de suave declínio do nível relativo do mar, entre 3.000 e 1.800 anos AP e retrabalhada intensivamente nos últimos 1.800 anos, com 50 a 100m de largura.

A Formação Cananéia, de idade pleistocênica, compreende areias litorâneas retrabalhadas em superfície, paleodunas, e areias litorâneas.

A Formação Santos, de idade holocênica, compreende sedimentos flúvio-lagunares formados por areias e argilas e sedimentos marinhos litorâneos de composição arenosa.

O Holoceno indiferenciado, localizado nas encostas da Serra do Mar, compreende sedimentos continentais elúvio-coluvionares compostos por areias e argilas. Também fazem parte deste grupo os sedimentos de mangue e pântano compostos por areias e argilas.

O rio Itanhaém está erodindo sedimentos da planície costeira Peruíbe-Itanhaém, que não chegam a atingir o pé da zona serrana, dela se separando por sedimentos coluviais e, eventualmente, por zonas pantanosas presentes nos vales de drenagem dos rios Branco e Preto, em Itanhaém (Suguo & Martin 1978a, Suguo & Martin 1978b e Fulfaro & Ciantelli Júnior 1979).

Giannini (1987) descreve a cor escura das águas do rio Preto e o alto teor de matéria orgânica e material coloidal encontrado em seus sedimentos, e faz supor que a grande quantidade de material, em suspensão, não se deva apenas à contribuição de argilas continentais, mas também à matéria argilo-orgânica formada em ambiente redutor, como mangues e pântanos. Suguo & Martin (1978a) sugerem que este rio atravessasse sedimentos flúvio-lagunares pré-existent.

O rumo da paleocorrente de deriva litorânea, no setor de costa entre Peruíbe e Itanhaém, permaneceu, durante os últimos 120.000 anos, semelhante ao que se observa hoje, ou seja, de SW para NE (Giannini 1987).

2.2.2 Geologia Local

O estuário retrata evidências acerca das variações climáticas acontecidas no Quaternário, onde ocorreram períodos glaciais e interglaciais durante o Pleistoceno, que podem ser detectados através de estudos paleopalinológicos, sedimentares e estratigráficos.

De acordo com Crowley & North (1996), Ledru & Mourguiart (2001) e Stanley (1998), durante o Quaternário, houve grandes oscilações na temperatura da superfície terrestre, as quais modificavam drasticamente o clima, a vegetação e, conseqüentemente, as feições geomorfológicas do planeta, desde as costas litorâneas até o interior dos continentes.

Essas variações da temperatura ou glaciações tiveram duração de cerca de 100.000 anos durante o Pleistoceno. No final deste período e prolongando-se até o Holoceno, esses intervalos glaciais foram de menor duração, entre 1.500 anos, no máximo e, 100 anos no mínimo.

O período Pleistoceno teve início desde 1,72 milhões de anos AP (Antes do Presente) até 10.000 anos AP, e segundo Crowley & North (1996) e Stanley (1998), existiram quatro épocas glaciais bem distintas, duradouras e marcantes neste período.

Os períodos glaciais foram marcados por aumento das calotas polares, diminuição do CO₂ na atmosfera, diminuição da umidade (e conseqüentemente, diminuição das chuvas). A extensão dos glaciares nas regiões montanhosas (como Alpes e os Andes) atingiu cotas mais baixas, com extinções de animais e de vegetais (Crowley & North 1996, Ledru & Mourguiart 2001, Stanley 1998).

Nas regiões tropicais, as florestas ficaram distribuídas em faixas mais estreitas, uma vez que teve uma diminuição global da umidade. Nos trópicos, essa alteração atingia menor intensidade do que nos pólos (Crowley & North 1996, Ledru & Mourguiart 2001).

Os quatro principais e mais marcantes períodos glaciais do Pleistoceno duraram longos intervalos, entre 50.000 a 100.000 anos. A partir do mais antigo (550.000 anos AP) para o mais jovem (100.000 anos AP), foram esses denominados como: Günz, Mindel, Riss e Würm (Crowley & North 1996).

As causas dessas alterações climáticas globais ainda são muito discutidas e, podem ser ocasionadas pela soma de vários fatores:

- vulcanismos simultâneos na crosta terrestre, aumentando os vapores, fumaças e cinzas vulcânicas, provenientes das chaminés vulcânicas, espalhando-as pela atmosfera e impedindo também a incidência de raios solares sobre a superfície da terra (Stanley 1998);
- Seqüestro de Carbono na superfície terrestre (Stanley 1998);
- Mudanças com a inclinação do eixo da terra (Crowley & North, 1996);
- A outra possibilidade, mais aceita, da precessão dos equinócios, são alterações no eixo de rotação da terra, que já foram comprovadamente estudados e que ocorrem constantemente em ciclos de 23, 41 e 100 mil anos, os quais também podem afastar a terra em relação ao sol, por causa de seu movimento elíptico em volta deste (Crowley & North, 1996).

No final do Pleistoceno ainda ocorreram períodos glaciais de intensidade bem menor que os mencionados anteriormente, durando intervalos de 100 a 1.500 anos. Seus efeitos foram menos catastróficos, mas de grande importância para a evolução da vida do planeta, pois provocaram a extinção de muitas espécies e a adaptação de outras. Sobre esses períodos glaciais de menor duração existem evidências claras a partir de 16.000 anos AP.

Segundo Ledru & Mourguiart (2001), estudos no Atlântico Norte constata grande variação climática, em curtos intervalos de tempo, entre períodos de frio e de calor, classificados assim:

- Dryas Mais Velho ou “Oldest Dryas” (15.500 a 14.500 anos AP), - *Dryas* é um gênero de vegetal característico de zona temperada, por isso usado para denominar os períodos glaciais do final do Pleistoceno;
- Dryas Velho ou “Older Dryas” (14.100 a 14.000 anos AP);
- Período Frio Inter-Allerød (período interglacial de 14.000 até 12.700 anos AP) e,
- Dryas Jovem: 12.700 a 11.000 anos AP.

Através de compilação bibliográfica de vários trabalhos e autores, Ledru & Mourguiart (2001), indicaram que as datações desses períodos foram obtidas por método de radiocarbono e por estudos palinológicos, desde o Alaska até a Tierra Del Fuego, incluindo a costa dos oceanos Pacífico e Atlântico. Ledru & Mourguiart (2001) concluíram que a variação da temperatura foi global e afetou tanto áreas costeiras quanto continentais, inclusive o Brasil.

O Holoceno prolonga-se desde 10.000 AP até os dias de hoje e pode ser considerado como um período interglacial. Neste período ocorreram oscilações da temperatura, variações do nível relativo do mar, que trazem como consequência recuos e avanços de comunidades vegetais, e ainda algumas extinções animais e vegetais.

Mais recentemente, aconteceram períodos de frio intenso, com menor intensidade que os pré-holocênicos, não causando extinções.

Esses períodos de diminuição da temperatura, mais recentes, foram registrados por Stanley (1998) na seguinte ordem:

- 5.800 a 4.900 anos AP, marcado pela migração de uma espécie de *Pinus*, adaptada ao frio, que migrou de terras do norte para o leste da América do Norte, observado através de registros de pólen.
- O segundo intervalo seria de 3.300 a 2.400 anos AP.
- O terceiro intervalo nos anos de 1.300 a 1.100 anos AP.
- São também considerados como pequenas idades de gelo, as ocorridas durante o ano de 1575, e afetou principalmente regiões do Hemisfério Norte.

As variações relativas do nível do mar são constatadas e evidenciadas por estudos sedimentológicos e estratigráficos, e são correlacionadas aos períodos glaciais e interglaciais.

No início do Holoceno, o mar subiu aproximadamente 100m, afetando os recifes da Flórida e do Caribe, em 7.600 anos AP. A subida brusca do nível do mar, além de inundar áreas costeiras, aumentou o material em suspensão (Stanley 1998).

Este evento contribuiu para a geração de estuários, alagando canais de alguns rios, como por exemplo: Chesapeake, Delaware e a Bacia de Mobile, todos nos EUA (Stanley 1998). Também são incluídos neste caso, estuários brasileiros, como o de Itanhaém-SP.

Como conseqüência dessa elevação no nível do mar, houve um incremento da sedimentação nas zonas costeiras, aumentando o aporte de sedimentos nas drenagens. Causou-se, assim, assoreamento de algumas regiões, formação de deltas, estuários e até ilhas barreiras (restingas), dependendo das condicionantes geológicas, geomorfológicas e climáticas de cada local.

Esses eventos proporcionaram diferentes feições de linha de costa, bem como diferentes ambientes.

Nos períodos glaciais, o nível relativo do mar (NRM) recua no momento em que a regressão marinha atinge o máximo, estimado o máximo glacial.

Esse recuo do NRM pode ser devido a:

1. aumento da espessura das calotas polares por (causa do) resfriamento global e
2. soerguimentos da costa por eventos tectônicos.

Ambos os processos podem estar associados também na ocorrência deste fenômeno (Stanley 1998).

Após os períodos glaciais, acontece elevação da temperatura, conseqüente derretimento das calotas e elevação do NRM.

Esses fenômenos são globais e podem ser detectados também através de sondagens nas calotas polares, obtendo-se registros de isótopos estáveis de oxigênio, sensíveis às variações climáticas e, de carbono, para datação.

No Pleistoceno, houve glaciação entre 140.000 anos e 150.000 anos AP; em seguida houve um período interglacial, no qual, o NRM alcançou 6 m acima do atual (Crowley & North, 1996).

A última glaciação ocorreu há 14.000 anos AP e a deglaciação começou a partir daí até 11.000 anos AP. Segundo Crowley & North (1996) os efeitos mais diretos dessas mudanças climáticas globais foram:

- - Mudança na temperatura terrestre;
 - Mudanças na cobertura de gelo e da neve; as calotas polares aumentavam em espessura e em extensão territorialmente, na medida em que a temperatura abaixava.
 - Mudanças da precipitação pluviométrica; durante épocas glaciais a umidade diminuía, impedindo a formação de nuvens, ocorrendo períodos de estiagem e de seca.
 - Influência nos trópicos; as variações da temperatura foram maiores nas altas latitudes. Nos trópicos, embora os efeitos tenham sido menores, foram mais intensos, acentuados pela chegada de frentes frias e correntes de águas muito frias, o que diminuiu a temperatura e a umidade, causando extinções de várias espécies.
 - Mudança na circulação atmosférica: foram afetadas a intensidade e os padrões de circulação atmosférica das frentes de ar frias e quentes.
 - Mudança na Temperatura da Superfície dos Oceanos (TSO): foi modificado o *habitat* de muitos seres vivos, como os corais; aconteceram mudanças ou variações expressivas na quantidade de nutrientes nos oceanos, variando a concentração dos produtores primários.
 - Mudança no nível relativo do mar (NRM): este fenômeno afetou especialmente as comunidades bentônicas de águas rasas.

No Brasil, Martin *et al.*(1993), analisando alguns locais costeiros, perceberam similaridades quanto às variações do NRM, através de estudos em sedimentos pleistocênicos e holocênicos nos seguintes locais: Salvador (BA), Ilhéus (BA), Caravelas (BA), Angra dos Reis (RJ), Santos (SP), Cananéia-Iguape (SP), Paranaguá (PR) e Itajaí-Laguna (SC).

Embora os registros não sejam muitas vezes completos, estudos aerofotográficos, sedimentológicos e de datações em sambaquis, evidenciaram que os intervalos glaciais e

interglaciais influenciaram o clima da costa atlântica brasileira, modificando a vegetação, a deposição e a configuração ou feição geomorfológica (Martin *et al.* 1993).

Angulo & Lessa (1997) não concordam com a metodologia de datação por sambaquis. Defenderam o uso de vermetídeos encontrados *in situ*, que possuem um melhor controle temporal dos paleoníveis marinhos.

As interpretações de Martin *et al.* (1993) e Angulo & Lessa (1997), mostram um declínio gradual do NRM nos últimos 2.000 anos AP.

Para a reconstrução da vegetação e, por conseqüência, das variações climáticas durante o Holoceno e o Pleistoceno no Brasil, também são utilizados estudos palinológicos, os quais têm contribuído, enormemente.

Amaral (2003) estudou sedimentos do manguezal no rio Itanhaém, local propício para a deposição de pólenes, que resumem parte da evolução da vegetação costeira na região. A partir de testemunho, o estudo palinológico indicou que o ecossistema “manguezal” foi abundante na região, cerca de 300 anos atrás, e a partir daí amplia-se sua área.

A presença de pólenes de Rhizophora aparece em sedimentos mais antigos em pouca quantidade, sugerindo-se que as áreas de manguezal eram bem menores que as atuais ou estavam localizadas mais próximas da foz do rio.

Muitos estuários são formados decorrentes das variações do NRM, mas na região de Itanhaém-SP, a tectônica também pode ter influenciado sua morfologia, pois, na Baixada Santista, a falha de Cubatão contribuiu para o rebaixamento de terrenos próximos à costa, favorecendo o alagamento dos mesmos.

Nybakken (2001), classifica os estuários assim:

- Estuário de planície costeira,
- Baía semi-fechada ou lagoa,
- Estuários tectônicos,
- Fjords; que ocorrem em ambientes glaciais.

Segundo a classificação de Nybakken (2001) e de Fairbridge (1980), podemos classificar o estuário estudado como um estuário de planície costeira, com características de estuário tectônico.

Os estuários são influenciados por marés, rios, precipitação, evapotranspiração, geologia, geomorfologia, ventos, vegetação e solos. São também classificados quanto à salinidade das águas: em dominados pelas marés ou pelas águas doces dos rios (Nybakken 2001).

Os estuários comportam grande biodiversidade de algas e vegetais, tornando-se um ambiente rico em matéria orgânica e nutrientes. E embora a mudança constante da salinidade acarrete um ambiente altamente estressante, muitas comunidades encontram-se adaptadas a essas mudanças (Nybakken 2001).

Na Bacia Hidrográfica do rio Itanhaém, Oliveira (1999) constata que as espécies de foraminíferos se restringem a ambientes com predominância de água salgada a salobra, e algumas espécies de tecamebas são reduzidas em ambiente de influência marinha e abundantes em regiões de água doce. Com esta constatação foi possível estipular a distância a que chega a água do mar, rio adentro.

2.3 HIDROGEOLOGIA REGIONAL.

O Mapa Hidrogeológico do Brasil (DNPM/CPRM 1983), na escala 1:5.000.000, não discrimina os aquíferos costeiros do litoral paulista, estando estes incluídos na Província do Escudo Oriental Sudeste, que é composto por rochas cristalinas e aquíferos fraturados.

O estuário do rio Itanhaém localiza-se na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) nº 7, correspondente à Bacia Hidrográfica da Baixada Santista (CBH – BS 2000). A unidade possui 2.788,82 km² de área, contendo os seguintes municípios: Bertioga, Cubatão, Guarujá, Itanhaém, Mongaguá, Peruíbe, Praia Grande, Santos e São Vicente.

Os estudos sobre água subterrânea na UGRHI-7 são poucos e os sistemas aquíferos locais são pouco conhecidos. Em termos gerais, o Relatório Zero (CBH – BS 2000) apresenta uma visão geral dos sistemas aquíferos com base no cadastro de poços outorgados do DAEE (1996 e 1997) e dos estudos sobre a água subterrânea realizados pelo mesmo órgão na década de 70 (DAEE 1979).

O relatório apresenta as características hidrodinâmicas dos sistemas aquíferos, cujos principais parâmetros estão representados na tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Principais parâmetros hidrogeológicos da geometria dos aquíferos regionais

Domínios Hidrogeológicos	Extensão (km ²)	Espessura (m)	Porosidade Efetiva (%)	Recarga de Aquífero (mm)
Sistema Aquífero Cristalino	1588	50	3	661
Sistema Aquífero Sedimentar	1299	50	15	661

Fonte: (Hidroplan 1995)

DAEE (1979) apresenta dados hidrodinâmicos de 2 poços, em São Vicente, de 50 metros de profundidade, captando água de sedimentos do Quaternário, e outro em Peruíbe, de 162 metros de profundidade, captando água de rochas cristalinas. Os valores de transmissividade variam de 2,4 a 205 m²/dia e capacidade específica de 3,77 m³/h/m (São Vicente) e 1,20 m³/h/m (Peruíbe).

Os sistemas aquíferos são considerados como livres a pouco profundos, com interferência da cunha salina, principalmente nas regiões de Santos, São Vicente e Cubatão. Possuem descarga em canais, rios e oceano; verificou-se que a potenciometria varia desde alguns metros positivos, a metros negativos, em relação ao nível do mar, principalmente quando sujeitas ao regime de bombeamento de poços.

Em termos de potencial de produção, os poços que exploram o sistema aquífero cristalino apresentam vazão que varia desde abaixo de 0,5 a 33 m³/h (valor médio regional de 5 m³/h). No sistema aquífero sedimentar (planície costeira) os poços são perfurados em toda a extensão do sistema, com profundidades entre 20 e 200 metros. As vazões exploradas ficam entre 0,5 a 4 m³/h, chegando a 50 m³/h.

Segundo Hidroplan (1995), as reservas foram estimadas, como mostra a tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Reservas de água subterrânea na Baixada Santista

Domínios Hidrogeológicos Tempo de residência (anos)	Extensão (km ²)	Reservas Permanentes (km ³)	Reservas Reguladoras (km ³)	Reservas Explotáveis (km ³)
Sistema Aquífero Cristalino (2)	1588	2382	1050	262
Sistema Aquífero Sedimentar – Cenozóico (11)	1299	9742	859	214
Totais	2887	12124	1909	476

Fonte: Hidroplan 1995

Ainda segundo o relatório, a vazão potencial de exploração do Sistema Aquífero Cristalino é de 8 m³/s e do Sedimentar, 7 m³/s.

O relatório ainda considera a possibilidade de aproveitamento de recursos subterrâneos em pedimentos da Serra do Mar e nos aluviões adjacentes, em que se destacam os seguintes vales: dos rios Mogi e Quilombo (Cubatão), rios Mambu e Branco (Itanhaém), rio Bichiró (Mongaguá) e vales dos rios Jaguareguava, Itatinga e Sertãozinho (Bertioga).

Em relação à qualidade das águas, a região possui uma vulnerabilidade à salinização devido ao avanço da intrusão salina. CBH – BS (2000) aponta poços com salinização acima de 1000 mg/L de sólidos totais dissolvidos. Em relação à caracterização físico-química das águas subterrâneas, os valores apresentados mostram que as águas do Aquífero Sedimentar são ligeiramente mais quentes do que as águas provenientes do Aquífero Cristalino, provavelmente, causada pela influência da temperatura ambiental, tratando-se de águas pouco profundas (CBH – BS 2000).

O conteúdo de sais totais dissolvidos apresenta uma variação ampla entre as águas do Aquífero Sedimentar e do Aquífero Cristalino na Baixada Santista, onde foram verificadas concentrações variando de 72 até 334 mg/L e média de 146 mg/L, enquanto que na água proveniente do Cristalino, o conteúdo em sais alcançou até 10.600 mg/L e uma média de 1.250 mg/L.

As águas do Aquífero Cristalino, na região da Baixada Santista, apresentam alto teor de cloreto, enquanto no Aquífero Sedimentar o ânion dominante é o bicarbonato.

A quantidade de poços cadastrados e outorgados é pequena, e o crescimento desde 1979 não foi expressivo. No entanto, considera-se que estes números são estimativos, uma vez que a grande maioria dos poços perfurados é ilegal.

O uso da água subterrânea é mostrado pelo número de poços existentes em 1979, 87 poços somados aos 23 poços que estão em processo de outorga.

As captações domésticas (cacimbas, poços ponteiras e poços denominados de “semi-artesianos”) são numerosas e sem nenhum registro ou controle. No entanto, estes usos tendem a se reduzir com a instalação da rede de abastecimento de água potável; porém nas periferias das cidades predomina, ainda, o uso de captações caseiras. Estima-se em 25.783, os habitantes sem acesso à água de abastecimento público, e utilizando-se destas captações clandestinas de água. A falta de rede de esgoto e a presença de numerosas fossas, em nível freático pouco profundo (planície costeira) inferem um alto risco de contaminação das águas destas captações pelos efluentes das fossas.

A região de Itanhaém-SP apresenta precipitação média elevada, de 2.670 mm/ano, alta taxa de evapotranspiração e escoamento total de 158 m³/s. O balanço hídrico indica um escoamento

básico de $54 \text{ m}^3/\text{s}$ (Governo do estado de São Paulo 1990). Estas características indicam uma área de alta disponibilidade hídrica.

Segundo CBH – BS (2000) o rio Itanhaém e seus afluentes, rios Branco e Preto, formam a maior bacia hidrográfica da Baixada Santista, somando $838,86 \text{ km}^2$ de área de drenagem.

Em relatório do DAEE (1979), dois poços experimentais construídos na região de Peruíbe, cerca de 200 m da linha de costa, apresentaram os seguintes resultados:

O 1º, com cerca de 11,5 m de profundidade, capta água do aquífero livre, com filtro na profundidade de 4 a 8 m, e com camada de argila plástica cinza-escura entre as profundidades de 9 e 11 m, apresenta vazão específica de $1,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, condutividade elétrica de 13 a 17 mS/m e 70 ppm de cloreto.

O 2º com 17 m, com filtro entre a profundidade de 14 e 16 m em aquífero composto por areia fina cinza, abaixo de uma camada de argila semi-permeável, encontrada entre as profundidades de 9,30 e 13 m, a vazão específica é de $0,2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, a condutividade elétrica varia de 30 a 40 mS/m e contém 125 ppm de cloreto.

Campos (1993) elaborou uma carta hidrogeoquímica das águas subterrâneas do litoral paulista que reproduz os valores de temperatura entre 23 a 27°C, pH entre 4,2 a 7,9 e resíduo seco entre 72 a 334 mg/L no Aquífero Sedimentar. Quanto à classificação, estas foram classificadas como bicarbonatadas sódicas e secundariamente cloretadas cálcicas (CBH – BS 2000). Esses resultados se assemelham aos obtidos nas etapas de campo aqui descritas.

Lopes (1984) discrimina os aquíferos presentes nesta região em Sistema Aquífero Cristalino e Cenozóico Costeiro. O primeiro é composto principalmente por granitos, gnaisses, migmatitos, xistos e filitos, e se caracteriza pela sua grande extensão regional, fissurado, livre a semi-profundo, heterogêneo, descontínuo e anisotrópico.

Os gráficos das Figuras 2.1 e 2.2 apontam os municípios, a quantidade de poços existentes na Baixada Santista e seus percentuais (Figura 2.2).

Os municípios de maior expressão sócio-econômica (Cubatão, Santos, São Vicente, Peruíbe e Guarujá) possuem maior quantidade de poços perfurados.

O Sistema Cenozóico Costeiro é composto por areias interdigitadas, com argila e siltitos e é caracterizado por possuir uma extensão limitada, granular, livre e semi-profundo, descontínuo, heterogêneo e anisotrópico, geralmente com nível de água raso a subflorante e, as capacidades específicas neste aquífero variam de 0,1 a $3,0 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ (Lopes 1984).

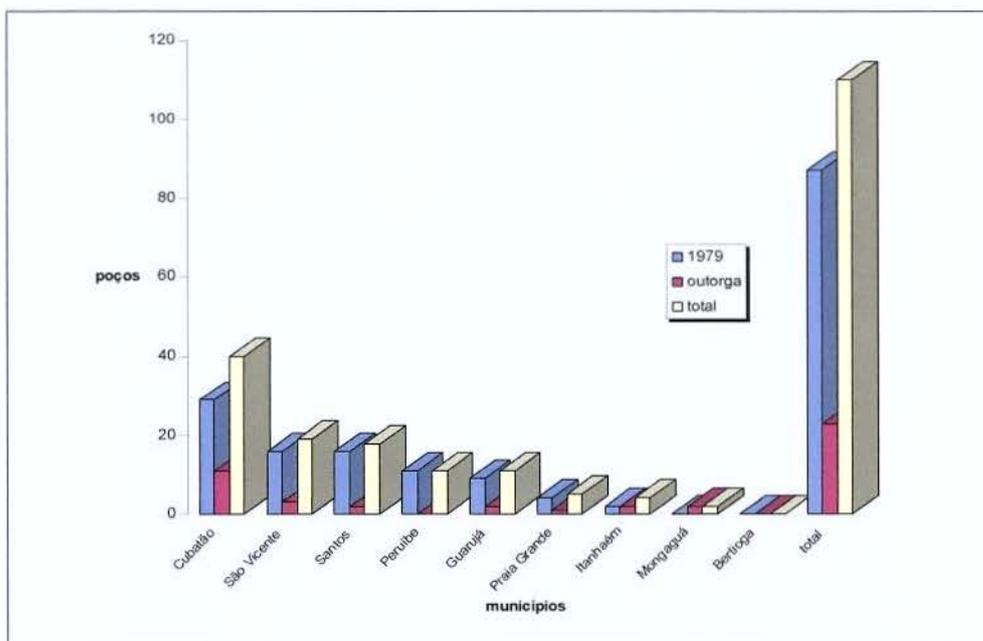


Figura 2.1 – Distribuição dos poços tubulares profundos na Baixada Santista. Fonte: DAEE (1979).

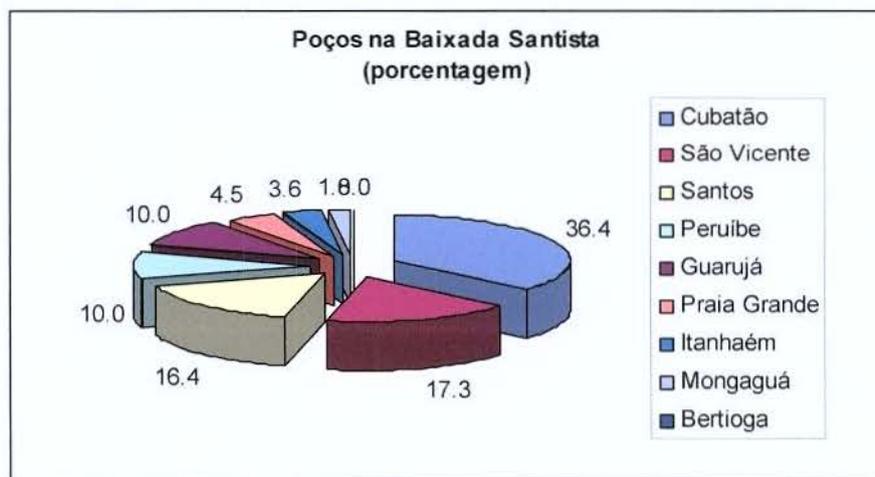


Figura 2.2 – Poços tubulares profundos na Baixada Santista. Fonte: DAEE (1979).

Rocha (1986) descreve o Aquífero Litorâneo como constituído por sedimentos finos e areias inconsolidadas limonitizadas, dispostos em terraços, com espessura média da ordem de 30 metros. Apresenta vazões médias de 5 a 20 m³/h e composições bicarbonatadas sódicas, secundariamente cloretadas cálcicas, com pH ácido e resíduo seco inferior a 250 mg/L, teores elevados de ferro e problemas potenciais com a intrusão salina.

Giannini (1987) analisou 8 perfurações na planície de Peruíbe-Itanhaém, para captação de água subterrânea, cadastradas pelo DAEE (1979), na região do Bairro dos Prados, onde afloram rochas da Formação Cananéia. Os poços atravessam um pacote de sedimentos arenosos, se instalando diretamente sobre o embasamento pré-cambriano.

No perfil desses poços, observam-se duas camadas argilosas, uma de 2 e outra de 8 m de espessura, presentes nas profundidades de 4 e 18 m, respectivamente. Segundo Giannini (1987), essas camadas espessas de argilas podem estar associadas à sedimentação pelítica durante a regressão pleistocênica, talvez devido à formação local de lagunas junto aos morros de rochas cristalinas aí existentes.

Em geral, os estudos hidrogeológicos e hidrogeoquímicos na região litorânea paulista e, especificamente, em ambiente estuarino é incipiente e desconhecido, no entanto, este recurso é muito utilizado em áreas periurbanas.

3 **ÁREA DE ESTUDO**

A área pesquisada se insere no município de Itanhaém-SP (Figura-3.1), na bacia do rio homônimo.

O acesso a partir da capital é feito pelas rodovias dos Imigrantes ou Anchieta, em direção a Santos. No final do trecho de serra, o acesso é feito pela rodovia Pedro Taques, em direção à cidade de Itanhaém, onde se localiza o CePeRio – Centro de Pesquisa do Estuário do rio Itanhaém, bem próximo da ponte sobre o rio Itanhaém naquela rodovia.

Ao local do estudo de detalhe, denominado como Sítio de Pesquisa, tem-se acesso através da estrada do Mambu, em que, após percorrer cerca de 4 km a partir do CePeRio, toma-se uma estrada de terra à esquerda, denominada Rua das Chácaras, na qual após percorrer cerca de 1 km, encontra-se a propriedade sede do Sítio de Pesquisa.

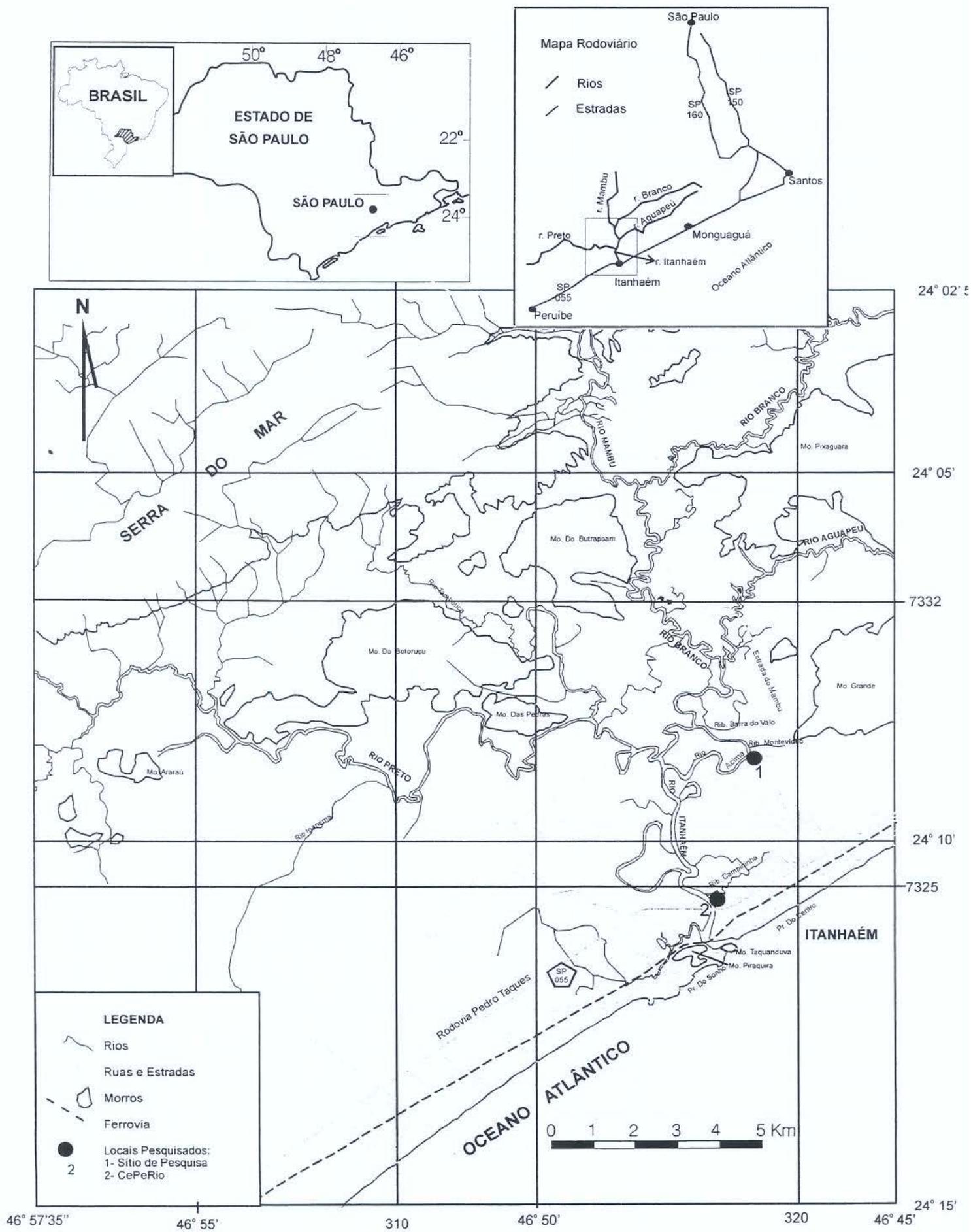


Figura 3.1 - Mapa de localização das áreas estudadas.

4 MÉTODO

Os estudos hidrogeológicos consistiram em instalar, em área pré-definida, uma rede de poços de monitoramento, visando:

- Estudar a dinâmica de dois aquíferos, raso e profundo;
- Monitoramento do nível de água em função da variação da maré, em momentos de maior baixa e maior alta;
- Campanhas de amostragem para análises físico-química e química em vários momentos da variação da maré, buscando a compreensão da influência do rio e da maré nas variações composicionais dos aquíferos.

No Sítio de Pesquisa foram, então, construídos 7 poços de monitoramento.

No CePeRio foram obtidas as informações climáticas necessárias para a execução dos estudos, como índices pluviométricos e dados de maré, pois, neste centro, encontra-se uma estação meteorológica da marca Campbell. Também foi instalado um poço de monitoramento.

4.1 POÇOS DE MONITORAMENTO

No dia 28 de julho de 2004, iniciou-se no Sítio de Pesquisa, em Itanhaém-SP, a instalação dos 7 poços de monitoramento, que durou cerca de 20 dias. No CePeRio, à jusante do Sítio, instalou-se o oitavo poço.

4.1.1 Perfuração

Em geral, as perfurações iniciaram-se com cavadeiras manuais até 1,5 m de profundidade, e em seguida, com sondagem manual tipo ponteira (ver Fotos no Anexo 3). Na perfuração de poços com profundidades maiores, um tubo de ferro, com diâmetro de 4 polegadas era introduzido para conter as paredes da formação e para se atingirem profundidades maiores que possibilitassem a instalação dos filtros.

O mesmo procedimento de perfuração foi usado para poços rasos (de 6 metros de profundidade) como para poços profundos (aproximadamente 21 metros no Sítio de Pesquisa e 12 metros no CePeRio).

Em profundidades maiores, a água foi utilizada nos momentos de perfuração de camadas mais argilosas. No CePeRio, as lentes de argila siltosa encontradas possuíam quase sempre cerca 1 m de espessura, e a perfuração era mais demorada, pois a argila era plástica e compacta.

As amostras de calha não apresentaram variação granulométrica, e caracterizaram-se sempre num mesmo pacote sedimentar arenoso homogêneo, diferenciado somente com as lentes argilosas. No entanto, a descrição litológica também se baseou no comportamento da água nas perfurações, uma vez que a amostra de calha não é representativa para sedimentos mais finos, pela perda de material de amostragem.

As tabelas 4.1 e 4.2 apresentam as descrições gerais dos sedimentos encontrados nas perfurações, no Sítio de Pesquisa e no CePeRio, respectivamente.

Os poços piezométricos foram instalados com tubos com diâmetro de 2 polegadas (5,08 cm) e sua instalação seguiu a norma NBR 13.895 da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Foram utilizados, no total, 88 m de revestimento geomecânico liso, 12 m de filtro, 3 m de manta têxtil, cerca de 100 kg de areia limpa especial para pré-filtro, 50 kg de bentonita em *pellets* (Fotos no Anexo 3). No acabamento foi construída uma caixa de proteção externa, com tampa de fibra e fechada a cadeado (Figura 4.1).

Tabela 4.1 – Descrição litológica da área do Sítio de Pesquisa.

PROFUNDIDADE (metros)	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA/PEDOLÓGICA
0 - 0,4	Solo orgânico arenoso, de granulação fina, cor escura/preta, com raízes.
0,4 - 0,8	Solo arenoso, de granulação média, de cor ocre-amarelada.
0,8 - 2,5	Areia fina amarronzada
2,5 - 3,3	Areia fina de cor marrom-escuro-esverdeado-acinzentada.
3,3 - 6,0	Areia fina cinza-clara.
6,0 - 7,0	Areia fina cinza-clara, com pedaços de vegetais envelhecidos.
7,0 - 8,0	Areia muito fina, de coloração cinza-esverdeada.
8,0 - 18,5	Areia fina cinza-clara.
18,5 - 20,5	Camada de conchas calcárias com arenito fino cinza-claro.
20,5 - 21	Argila siltosa compacta de cor cinza-escuro.

Tabela 4.2 – Descrição litológica do P8 na área do CePeRio.

PROFUNDIDADE (metros)	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA/PEDOLÓGICA
0 - 0,2	Solo orgânico arenoso, de granulação fina, cor escura/preta, Horizonte A, com raízes.
0,2 - 1,3	Aterro.
1,3 - 5,0	Areia fina cinza-clara.
5,0 - 7,0*	Argila orgânica siltosa de mangue.
7,0 - 8,0	Areia fina cinza-clara.
8,0 - 11,5*	Argila orgânica cinza-escura compacta.
11,5 - 12	Areia fina cinza-clara

* Camada semi-permeável de rocha siltosa.



Figura 4.1 – Poço de monitoramento instalado no Sítio de Pesquisa.

Nas figuras 4.2, 4.3 e 4.4 são apresentados os perfis de construção dos poços de monitoramento, no CePeRio e no Sítio de Pesquisa.

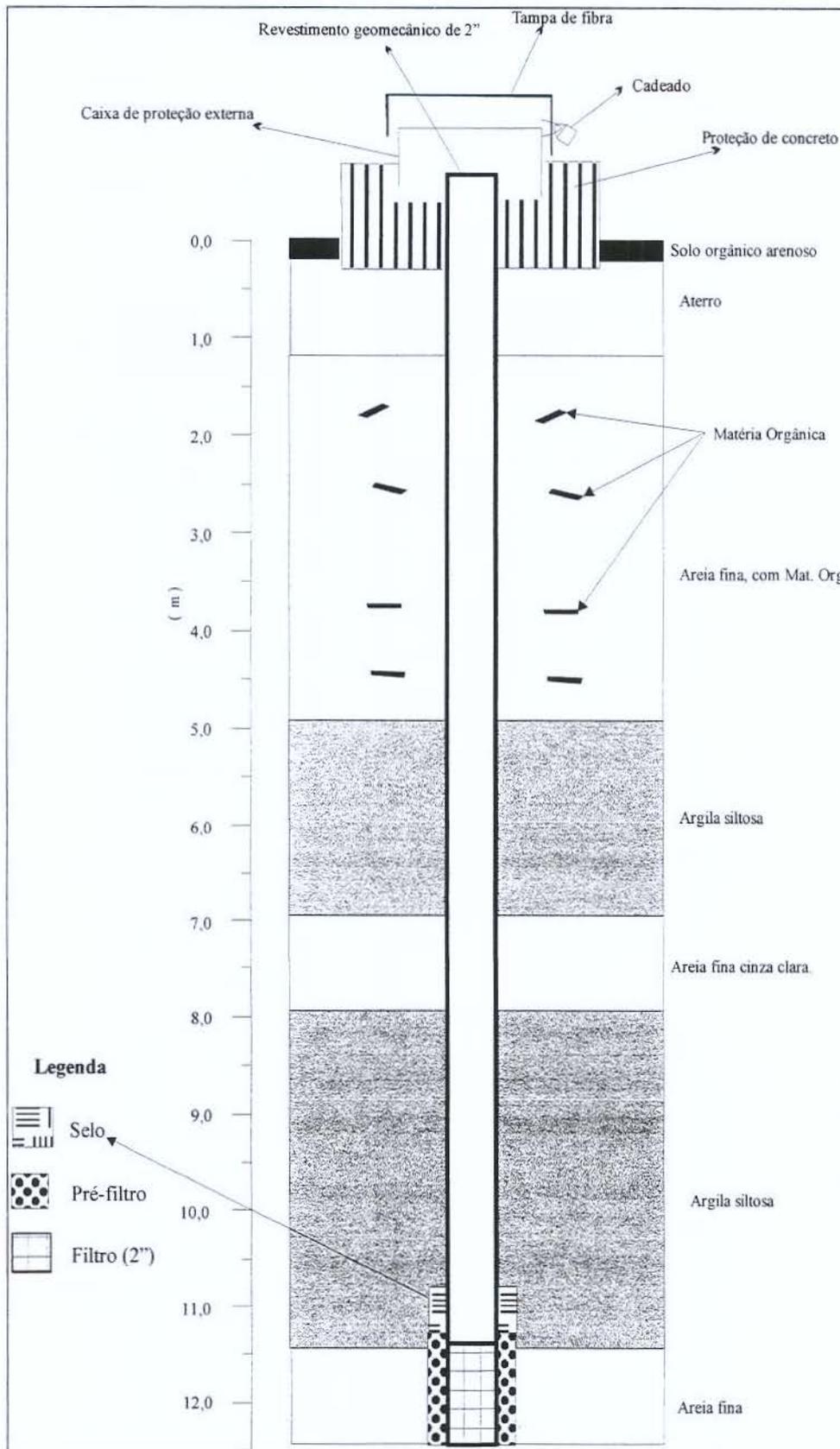


Figura 4.2 – Perfil esquemático do P8 no CePeRio.

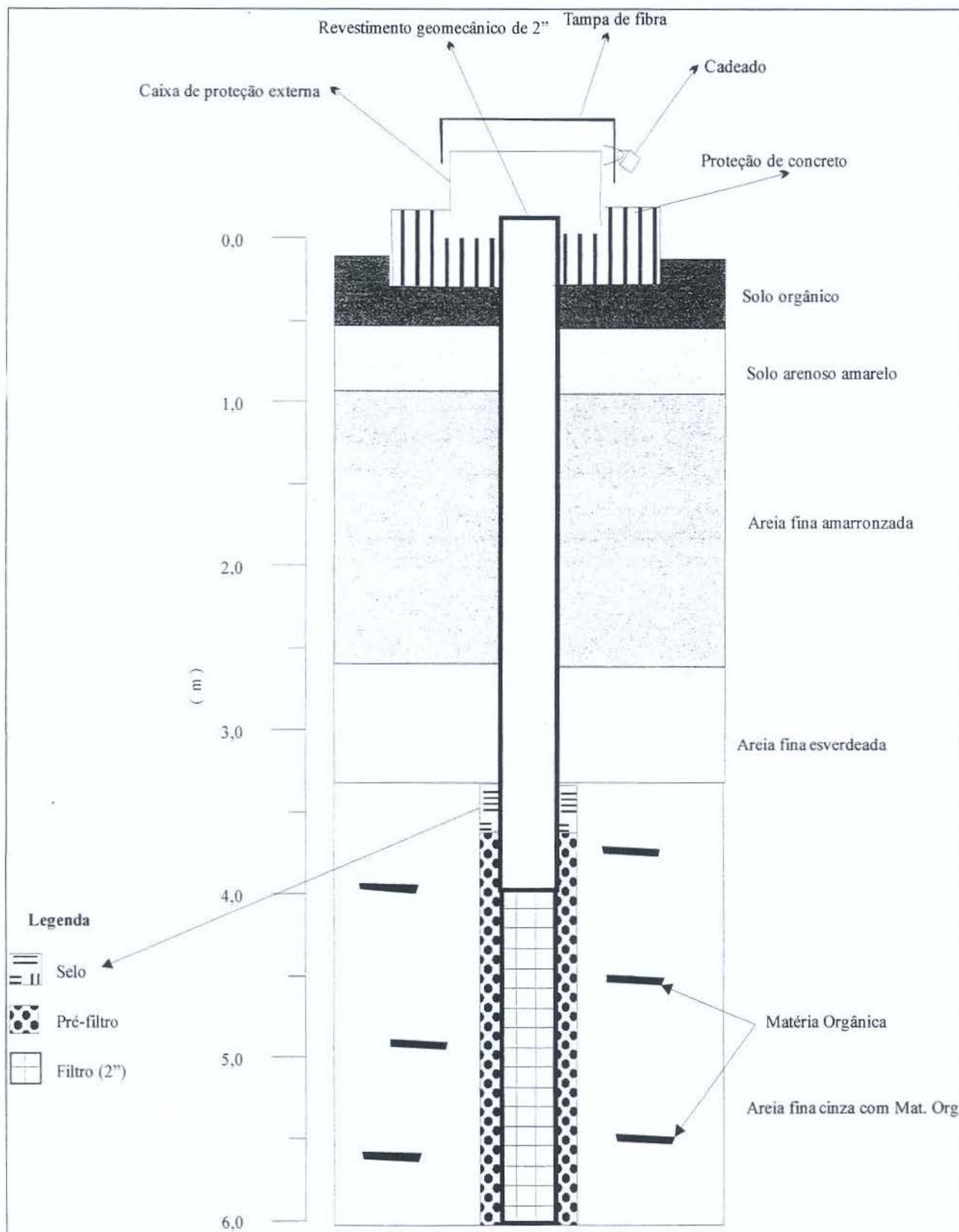


Figura 4.3 – Perfil esquemático dos poços rasos no Sítio de Pesquisa.

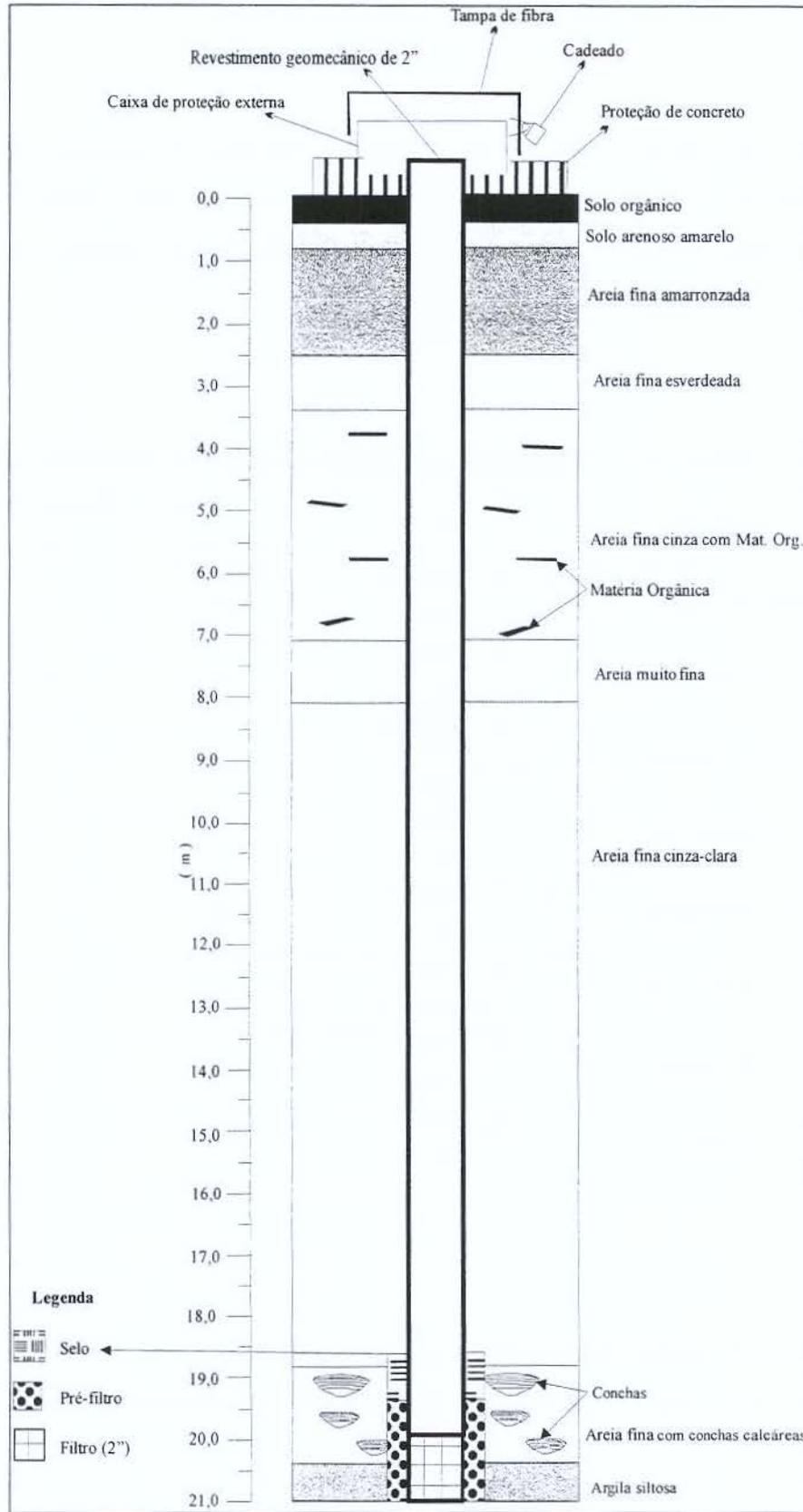


Figura 4.4 – Perfil esquemático dos poços profundos no Sítio de Pesquisa.

4.2 LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS E TOPOGRAFIA

Após a instalação dos poços, foram executados trabalhos de topografia para localização dos poços e definição da cota destes, através de GPS de precisão. Este trabalho foi executado pela empresa Geodatum – Geosoluções Diferenciadas Ltda, cujas informações encontram-se na Tabela 4.3

Tabela 4.3 – Localização e descrição dos poços de monitoramento

Poços	Localização	UTM	Cota do poço 'boca'(m)	Profundidade (m)	Aqüífero
P1	Sítio de Pesquisa	318.586,559 m E 7.328.526,086 m S	2,522	6	livre
P2	Sítio de Pesquisa	318.605,042 m E 7.328.535,458 m S	2,174	6	livre
P3	Sítio de Pesquisa	318.599,320 m E 7.328.515,858 m S	2,754	6	livre
P4	Sítio de Pesquisa	318.618,529 m E 7.328.514,479 m S	2,425	6	livre
PII-1	Sítio de Pesquisa	318.624,943 m E 7.328.524,493 m S	2,629	21	profundo
PII-2	Sítio de Pesquisa	318.653,726 m E 7.328.499,838 m S	2,475	21	profundo
PII-3	Sítio de Pesquisa	318.592,496 m E 7.328.501,607 m S	2,152	21	profundo
P8	CePeRio	317.685,742 m E 7.324.788,881 m S	1,385	12,5	profundo

Dois locais do estuário foram estudados: 1) o CePeRio – Centro de Pesquisa do Estuário do rio Itanhaém, com 1 poço de monitoramento e, 2) Sítio de Pesquisa, a área piloto, com 7 poços (Figura 4.5).

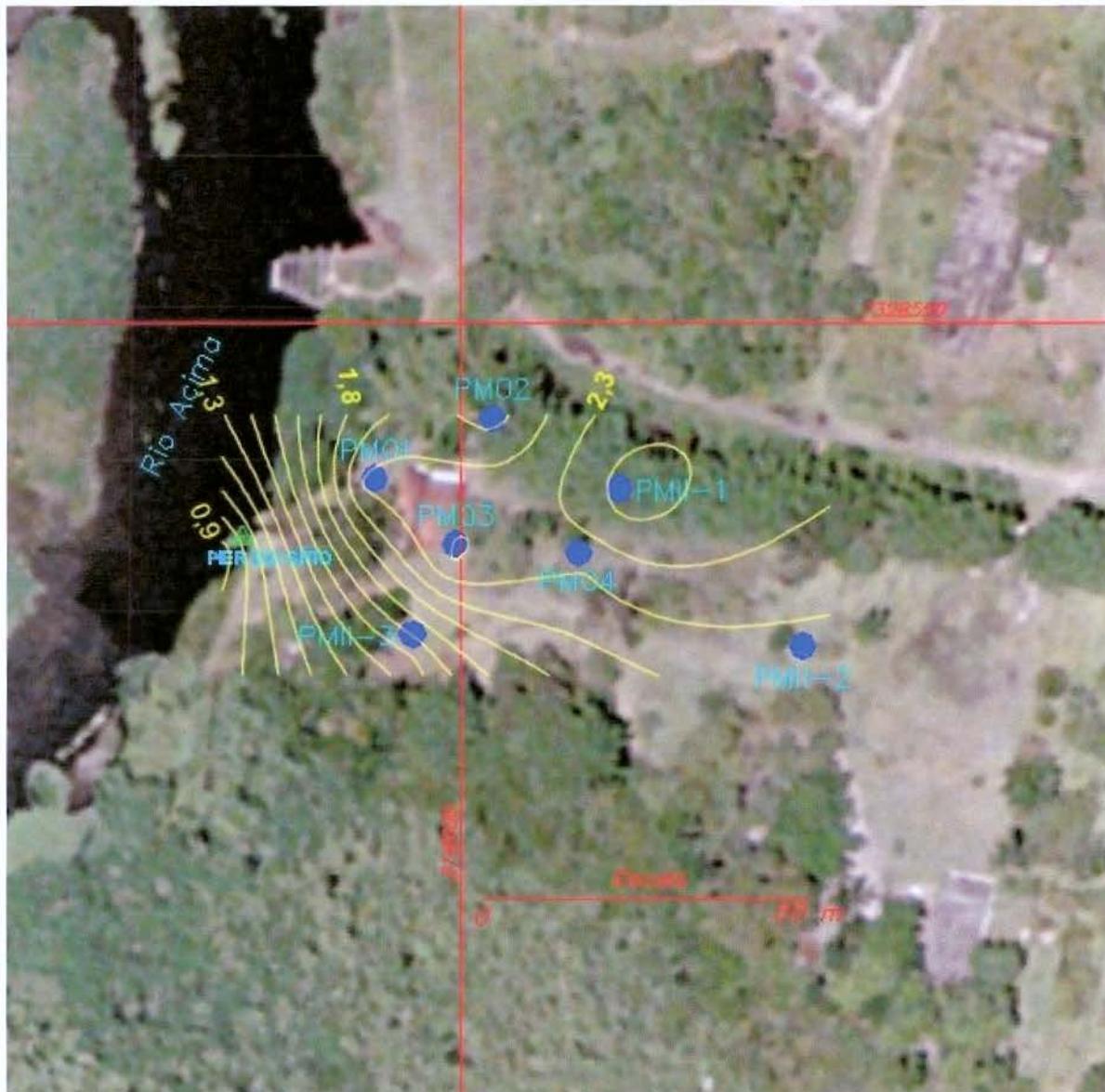


Figura 4.5 – Foto-aérea com a localização dos poços e topografia aproximada do Sítio de Pesquisa (curvas de nível em amarelo, em metros).

4.3 MONITORAMENTO

O monitoramento foi realizado em 3 fases, denominadas aqui de 1ª, 2ª e 3ª etapa. A 1ª etapa foi realizada no CePeRio e no Sítio de Pesquisa. As 2ª e 3ª etapas se restringiram ao Sítio de Pesquisa.

No CePeRio foram obtidas as informações climáticas necessárias para a execução dos estudos, como índices pluviométricos e dados de maré, cujos registros são feitos por uma estação meteorológica.

Os monitoramentos foram entre os meses de janeiro a agosto de 2005, no verão, no outono e no inverno (ver Fotos no Anexo 3).

Na 1ª e na 3ª etapas de campo o monitoramento foi realizado com uma dupla de pesquisadores. Na 2ª etapa, duas duplas, a primeira trabalhando das 24:00 até às 12:00 horas e a segunda das 12:00 até às 24:00 horas.

4.3.1 Hidrogeologia

Para se estudar as condições hidrodinâmicas dos aquíferos, monitoraram-se as oscilações do Nível d'Água (NA), utilizando-se medidor de nível eletrônico (1ª, 2ª e 3ª etapas) e transdutores de pressão da marca In Situ (3ª etapa).

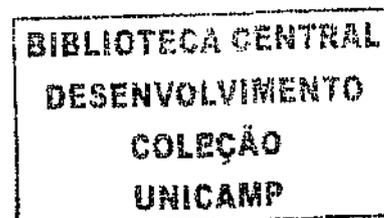
Antes de cada etapa, os poços eram esgotados com uma bomba "sapo" da marca Clímax. Esta bomba também foi usada para rebaixar o NA dos aquíferos e medir a sua recuperação, para a execução do *bail test*.

O *bail test* foi executado para calcular os parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos, como: Condutividade Hidráulica (K), Transmissividade (T) e Velocidade Média Linear (V_m).

4.3.1.1 1ª etapa

Na 1ª etapa, durante o verão de 2005, e de forma preliminar, buscou-se conhecer quantitativa e qualitativamente a hidrodinâmica e a hidroquímica das águas encontradas no Estuário de Itanhaém.

Em períodos de 4 a 7 horas diárias, durante 15 dias, aproximadamente, no mês de janeiro, esta etapa serviu para se estabelecer um método de monitoramento para aplicação nas etapas de campo posteriores.



No CePeRio, o monitoramento do nível de água, pH e Condutividade Elétrica foi de 3 dias, englobando os dias 23, 24 e 26 de janeiro de 2005. Foi executado um estudo para se observar o comportamento da água subterrânea frente a ação natural da maré.

No Sítio de Pesquisa, o monitoramento do NA e dos parâmetros físico-químicos, pH e Condutividade Elétrica (CE), aconteceu nos dias 28, 29 e 31 de janeiro de 2005. Aqui estavam concentrados os poços de monitoramento, sendo possível a confecção de mapas potenciométricos dos aquíferos estudados.

4.3.1.2 2ª etapa

A 2ª etapa foi realizada apenas no Sítio de Pesquisa, com início no dia 29 de março e término no dia 4 de abril, de 2005. O monitoramento foi contínuo, durante 24 horas por dia, com coleta a cada 45 minutos, ininterruptos.

Os NAs foram obtidos com medidor de nível eletrônico, com fita graduada e alarme sonoro e luminoso, usado em todas as etapas de campo.

4.3.1.3 3ª etapa

A 3ª etapa, durante o inverno, foi de 20 a 26 de agosto de 2005. Alguns poços foram monitorados em intervalos de aproximadamente 7 horas, tempo suficiente para se acompanhar uma subida completa da maré, que durava até 6 horas.

Nesta 3ª etapa, dois poços, o P3 e PII-2, foram monitorados continuamente com a instalação de transdutores de pressão, com o objetivo de obter a oscilação do NA desses poços, em intervalos de tempo menores, de cerca de 15 minutos; o P3, representando os poços rasos no aquífero livre e o PII-2, os profundos, no profundo.

Na 3ª etapa de monitoramento foram feitos ensaios (*bail test*) para determinação da condutividade hidráulica (K), que foi calculada manualmente e também através do programa “Aquifer test v. 3.0”, da Waterloo Company Inc, pelo método de Hvorslev (1951), que têm a seguinte fórmula:

$$K = \frac{r^2 \times \ln(Le / R)}{2 \times Le \times t}$$

Onde:

K – Condutividade Hidráulica (m/s);

r – raio do revestimento (m);

Le – Comprimento do filtro (m),

R – raio do poço (pré-filtro) (m);

t – tempo que leva para o nível d'água cair 37% da variação inicial (s).

Obtendo-se a condutividade hidráulica calculou-se a velocidade média linear (V_{mi}), através da equação (Fetter 2001):

$$V_{mi} = -\frac{K \times dh}{ne \times dl}$$

onde:

V_{mi} – Velocidade média linear (m/s);

K – Condutividade hidráulica (m/s)

dl – distância longitudinal de um poço a outro (m);

dh – variação da carga hidráulica entre os poços (m);

ne – porosidade específica (adimensional)

Para se calcular a transmissividade (T) foi utilizada a equação (Fetter 2001):

$$T = K \times b$$

Onde:

T – Transmissividade (m²/d);

K – Condutividade hidráulica (m/d) e

b – espessura do aquífero (m).

Ao término desses ensaios, os transdutores foram instalados no P3 e no PII-2, de 6 e 21 m, respectivamente, durante 5 dias, para monitorar as oscilações do NA continuamente.

4.4 HIDROQUÍMICA

4.4.1 Amostragem

No início de cada etapa de monitoramento, os poços foram esgotados, retirando-se cerca de 10 a 20 vezes o volume de água presente em cada poço.

Antes do início das amostragens, media-se o NA (Nível d'Água) com medidor de nível eletrônico; após isso, executava-se a purga e, em seguida era feita a coleta das amostras com *bailer* descartável, onde se podiam fazer as medições dos parâmetros físico-químicos, *in loco*, e coletar amostras para análises químicas laboratoriais.

Neste último caso, as amostras ainda eram filtradas, menos as amostras para análise de bicarbonato, que foram analisadas dentro de 6 horas depois de sua coleta, para se obter uma maior confiabilidade dos resultados.

4.4.1.1 1ª etapa

No CePeRio, após o processo descrito anteriormente, obtinha-se o valor da maré, coletava-se a água do rio e do poço e media-se o pH, a CE e a temperatura. Nesta etapa não foram feitas análises químicas, apenas o monitoramento *in loco*.

No Sítio de Pesquisa, o monitoramento foi semelhante ao do CePeRio, só diferenciado num quesito: primeiro, todas as amostras eram coletadas, num intervalo de 6 horas aproximadamente, em seguida eram levadas conjuntamente até o laboratório do CePeRio, onde eram medidos os parâmetros físico-químicos pH, CE e temperatura. Como os valores pareciam estar se alterando durante o transporte das amostras, iniciou-se o monitoramento *in loco*. Essa constatação foi importante para se organizarem as próximas etapas de campo, pois, os parâmetros físico-químicos deveriam ser determinados diretamente durante a amostragem.

4.4.1.2 2ª e 3ª etapas

Nestas duas etapas, o monitoramento, *in loco*, foi executado somente no Sítio de Pesquisa e ainda foram feitas análises químicas, em diferentes estágios da maré.

Os parâmetros analisados, *in loco*, foram: pH, Eh, Condutividade Elétrica (CE), Sólidos Totais Dissolvidos (STD), salinidade e temperatura, no equipamento Horiba, modelo U-22. Além dessas, na 2ª etapa, foram feitas também medidas de pH e CE, com outros equipamentos da Digimed (modelos DM-2 e DM-3).

Para análises químicas, as amostras eram filtradas e colocadas em frascos de polietileno de 80 ml, sendo mantidas refrigeradas a 4°C. Para a análise de cátions, ainda foram adicionadas gotas de ácido nítrico concentrado, para a total conservação de íons em solução.

Para a alcalinidade, foram usados frascos de 250 ml. As titulações foram executadas 6 horas após a coleta. Usou-se ácido sulfúrico e indicador misto verde de bromocresol e alaranjado de metila.

Tanto para alcalinidade como para os íons, as amostras foram coletadas durante a baixa, média e alta maré, durante a lua cheia, período e que ocorreram as maiores oscilações.

4.4.2 Análises Químicas

A seguir, será apresentada uma descrição de como foram feitas as análises químicas, os laboratórios onde foram executadas e os equipamentos utilizados.

As tabelas completas, com os resultados de todos os íons coletados no dia 30 de março e no dia 20 de agosto de 2005, estão apresentados no Anexo-4.

4.4.2.1 Laboratórios e Equipamentos

Na 2ª etapa, além dos parâmetros físico-químicos: pH, Eh, OD (Oxigênio Dissolvido), CE (Condutividade Elétrica), STD (Sólidos Totais Dissolvidos) e salinidade, também foram analisados os seguintes elementos : Na, K, Si, Mg, Ca, Sr, Co, Mn, Cu, P, Zn, Pb, Al, Ba, Cd, Ni, Fe e Cr, no Laboratório de Geoquímica do Departamento de Petrologia e Metalogenia da Unesp de Rio Claro, através de ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry).

Quanto aos ânions, eles foram analisados em cromatógrafo iônico do Laboratório de Geoquímica do IG-Unicamp, do Departamento de Geologia e Recursos Naturais – DGRN, os quais foram: F^- , Cl^- , Br^- , N-NO_2^- , N-NO_3^- , SO_4^{2-} e PO_4^{3-} .

Na 3ª etapa de monitoramento os cátions foram analisados em ICP do Laboratório de Fluorescência de Raios-X e de Química & ICP do Departamento de Mineralogia e Geotectônica no Instituto de Geociências da USP, onde foram analisados os seguintes elementos químicos: Al, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Sr e Zn.

A alcalinidade medida, através do HCO_3^- , foi analisada em campo, nas 2ª e 3ª etapas, logo após a coleta da amostra. Foi analisada no laboratório do CePeRio, com os seguintes equipamentos:

- 1 bureta graduada,
- Mini-pipetas e micro-pipetas,
- Erlenmeyers e provetas graduadas,
- Ácido sulfúrico (H_2SO_4 a 0,08 M e a 0,01M) e
- Indicador misto verde de bromocresol e alaranjado de metila.

4.4.2.2 Balanço iônico

Os resultados das análises químicas foram convertidos de mg/L em meq/L (miliequivalente por litro) para fazer o Balanço Iônico, também chamado de Erro Prático (E.P.) ou Erro Iônico (E.I.) entre os ânions e cátions das amostras, para avaliar a confiabilidade dos resultados e de seus métodos.

Para o cálculo do E.I. foram utilizadas duas equações, a primeira:

$$\%E.I. = \frac{\sum \text{cátion} - \sum \text{ânion}}{\sum \text{cátion} + \sum \text{anion}} \times 100$$

Onde, o E.I. deve ser menor que 10%, e a segunda:

$$\%E.I. = \frac{\sum \text{cátion} - \sum \text{ânion}}{\sum \text{cátion} + \sum \text{anion}} \times 200$$

Nesta última, para Custódio & Llamas (1976) o erro admissível depende dos valores de Condutividade Elétrica (CE), examinados assim:

CE – mS/m	5	20	50	200	> 200
E.I. admissível -%	30	10	8	4	4

Seis amostras da 2ª etapa de monitoramento não obtiveram valores com erro admissível, pois muitas contavam com concentrações muito baixas de íons, próximos dos limites de detecção dos equipamentos analíticos.

Na 3ª etapa de monitoramento, 100% das amostras obtiveram erro admissível inferior a 10%.

4.4.2.3 Equipamentos e processamento dos parâmetros coletados *in loco*

Os aparelhos usados nesta pesquisa estão relacionados logo abaixo, sendo apresentado um breve relato sobre suas características.

- *Medidor de pH Digimed:*

Modelo: DM-2 com precisão relativa de 0,01% e resolução de 0,1 a 0,01 pH. Utilizado na 1ª etapa do monitoramento.

- *Medidor de Condutividade Elétrica e temperatura Digimed*

Modelo: DM-3. Utilizado nas 1ª e 2ª etapas de monitoramento.

A constante da célula sempre ficava acima de 95%, o que corresponde a um valor ótimo para os resultados.

O eletrodo usado foi o modelo DMC-010M, com k de 1cm^{-1} , com discos de platina.

- *Horiba modelo U-22*

Usado para medir: pH, Eh, Condutividade Elétrica, temperatura, STD e salinidade (calculada a partir da Condutividade Elétrica).

Este equipamento foi utilizado na 2ª e 3ª etapas de monitoramento.

O Eh medido no aparelho Horiba teve de ser corrigido, pois o eletrodo deste aparelho é o Ag/AgCl, e o usado na literatura técnica é o eletrodo de hidrogênio normal (E.H.N.), cuja fórmula para esta conversão é expressa da seguinte forma:

$$Eh_{(E.H.N.)} = Eh_{(medido)} + 206 - 0,7 (t-25) \text{ mV.}$$

“t” é temperatura.

- *Transdutores de pressão*

2 Transdutores MiniTroll da marca In-Situ Inc., com o *timer* regulado a depender dos objetivos a serem alcançados. Para medida da condutividade hidráulica o *timer* foi regulado para registrar oscilações a cada segundo no aquífero livre e a cada 30 segundos no aquífero profundo. Para monitoramento constante do NA, a cada 15 minutos, igualmente ao *timer* do marégrafo.

4.4.2.4 Classificação das águas

Para classificação das águas, foi utilizado o diagrama de Piper, onde se fez necessário o uso dos valores químicos em meq/L. Foi empregado o programa “Qualigraf” para plotar os resultados.

4.4.2.5 Correlações

Para as correlações foi utilizado o programa “Excel” e o “Statística”, e foram aceitos como correlação significativa, os valores de r (coeficiente de correlação) acima de 0,8, que correspondem a uma correlação de 80 a 100 %. Foram obtidas também correlações com valores de 0,7 e com valores negativos.

4.4.2.6 Registros de maré e pluviométricos

Os registros de maré foram obtidos no marégrafo do CePeRio, onde se localiza uma estação meteorológica. Os níveis pluviométricos também foram obtidos nesta estação. A maré e a pluviometria são medidas a cada 15 minutos. O sensor do marégrafo está instalado no píer dos pescadores, ao lado do Centro de Pesquisa.

4.4.3 Estudos da maré

Através de um estudo nos registros do marégrafo, analisaram-se os anos de 2003 e 2004, e chegou-se a algumas informações importantes para se planejarem as etapas de campo, como:

- Durante a lua cheia, obtêm-se as maiores oscilações da maré, chegando a ultrapassar 1,2 m na maré alta, o que não acontece em outros períodos.
- Nos meses de inverno, a maré é na média mais alta.

Com estas informações puderam ser programadas as etapas de campo, com o intuito de buscarem-se as maiores oscilações da maré, analisando-se seus efeitos mais diretos nos aquíferos estudados, e conseqüentemente, sua interferência na dinâmica e na hidroquímica dessas águas.

No gráfico da Figura 4.6, têm-se os registros das marés em 4 períodos distintos. Três deles equivalem às etapas de campo. Como curiosidade, o período em que ocorreu o Tsunami na Ásia, no final de 2004, foi incluído para comparar os resultados. Foram utilizados períodos de 7 dias consecutivos de registros do marégrafo.

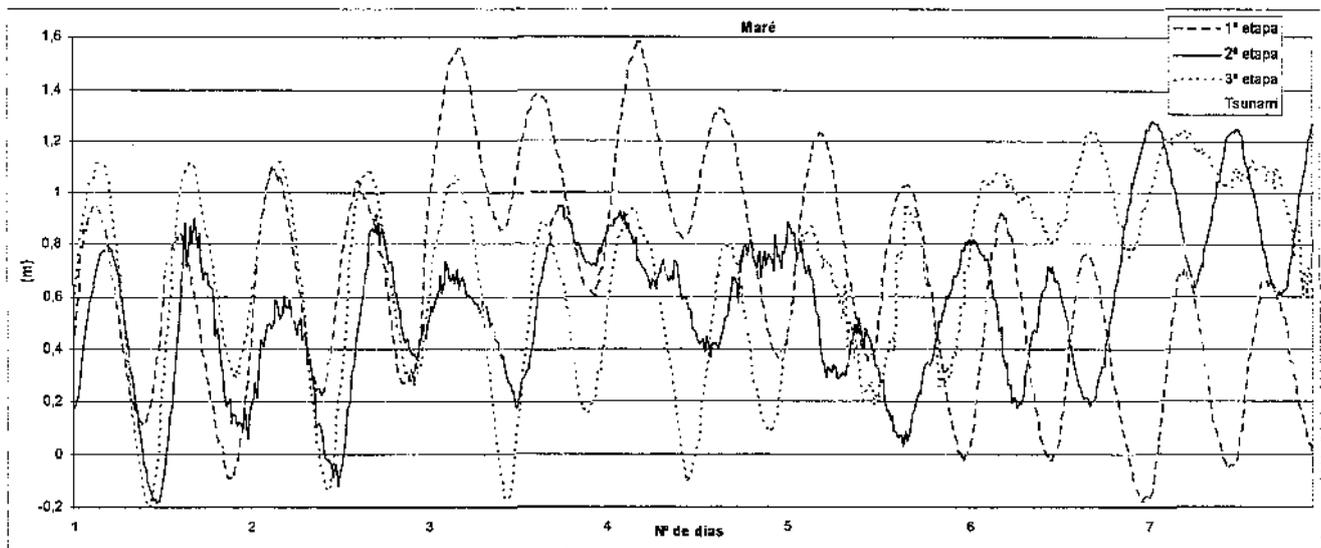


Figura 4.6 – Oscilação da maré nas etapas pesquisadas e durante o Tsunami (2004).

Na Tabela 4.4 observa-se que as máximas marés estão englobadas dentro do período lunar da Lua Cheia. Estes períodos foram escolhidos por conterem as maiores oscilações da maré, e esperou-se que sua influência na água subterrânea fosse maior, tanto hidrodinâmica como hidroquimicamente.

Tabela 4.4 – Data das etapas de monitoramento, das luas cheias e das máximas marés.

Etapas	1ª	2ª	3ª	Tsunami
Período	24 a 30/1/05	29/03 a 4/4/05	20 a 26/08/05	26/12/04 - Ásia
Lua cheia – 1º dia	25/01/2005	25/03/2005	19/08/2005	26/12/04 - Brasil
Lua cheia – fim	01/02/2005	31/03/2005	25/08/2005	02/01/05 - Brasil
Maré máxima	26/01/2005	04/04/2005	25/08/2005	28/12/04 - Brasil

Na 1ª etapa de monitoramento, a máxima maré ocorreu 1 dia após o início da lua cheia. Na 2ª, foi na passagem da lua cheia para a lua minguante, estando associada a intensa chuva no local. Na 3ª, embora a maré se mantivesse elevada durante os primeiros dias de monitoramento, foi também, na passagem para a lua minguante, que ocorreu a maré mais alta (Tabela 4.4).

Quanto ao mês de dezembro de 2004, a máxima maré ocorreu 2 dias após o início da lua cheia, conseqüentemente, 2 dias após o Tsunami atingir a Ásia, causando pequenas variações na oscilação da maré (Figura 4.6).

Quanto às pequenas variações nas oscilações da 2ª e da 3ª etapas de monitoramento, não se encontrou nenhuma resposta semelhante a sismos devido ao Tsunami em dezembro. Porém, podem ter sido causadas por ondas menores, possivelmente geradas por embarcações de médio porte, já que o sensor do marégrafo está localizado na região do píer dos pescadores, onde atracam muitos barcos de pesca.

4.4.4 Análise de consistência

Foram utilizados dois softwares para a verificação das consistências dos resultados dos parâmetros físico-químicos e hidrodinâmicos da 2ª etapa de monitoramento: o Excell e o Statística.

Para valores de CE mais baixos e com pouca variação, o aparelho da Digimed se mostrou mais eficaz por ser de maior sensibilidade; e para variações maiores e concentrações iônicas maiores, o Horiba se mostra mais útil, por abranger uma escala maior de variação.

5 RESULTADOS

A seguir faz-se uma descrição das características físicas e dinâmicas dos aquíferos estudados, e logo em seguida a descrição do monitoramento hidroquímico e do tratamento dos dados, posteriormente.

5.1 HIDROGEOLOGIA

Na área de pesquisa, foram estudados dois aquíferos, um livre e um profundo, ambos inseridos no Sistema Aquífero Costeiro. Na Figura 5.1, observa-se o perfil geológico do Sítio de Pesquisa, onde se concentraram os trabalhos de campo de monitoramento.

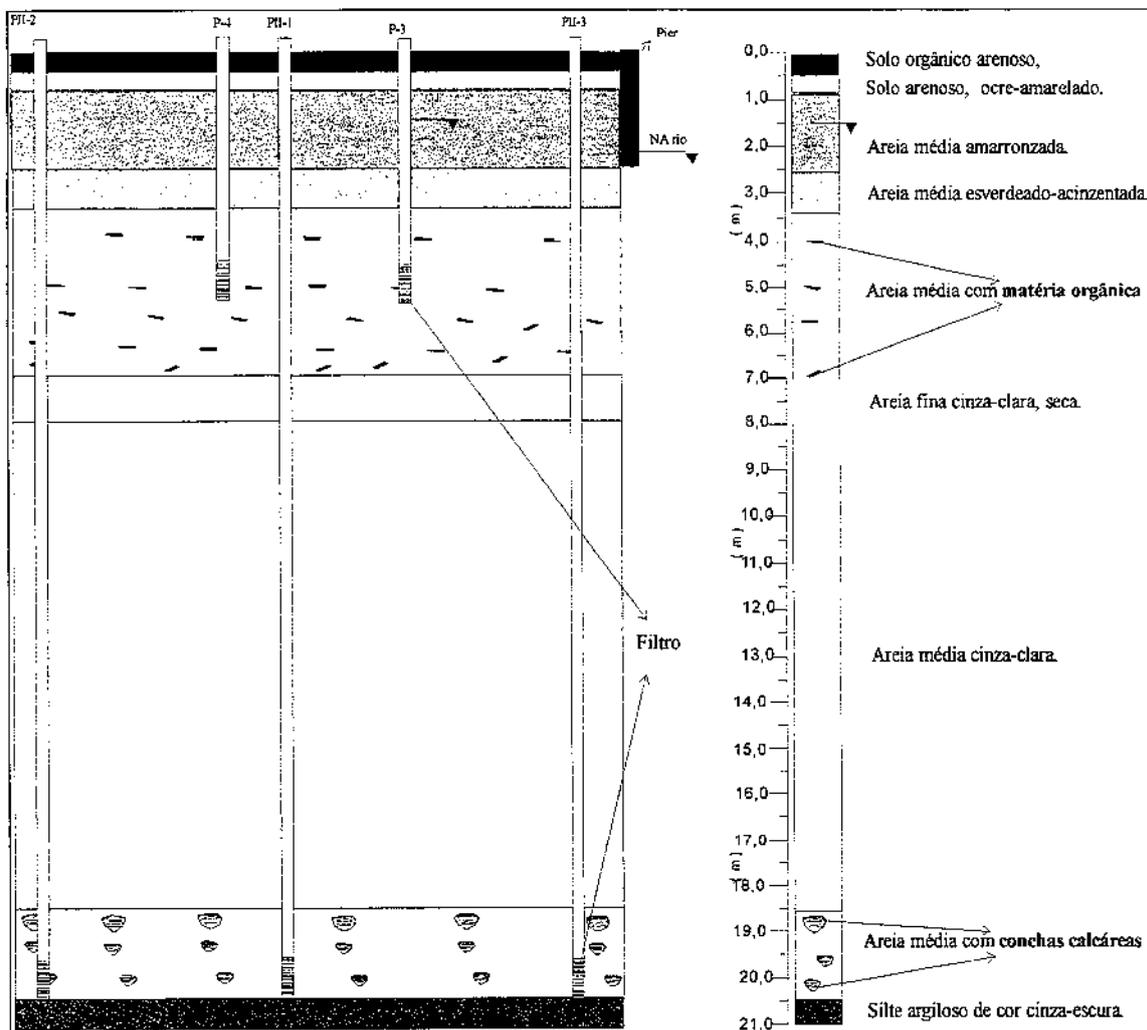


Figura 5.1 – Perfil geológico do Sítio de Pesquisa.

5.1.1 1ª etapa

Através do monitoramento hidrodinâmico, foram elaborados os mapas potenciométricos dos aquíferos livre e profundo encontrados no Sítio de Pesquisa, como se observam nas figuras 5.2 e 5.3, respectivamente.

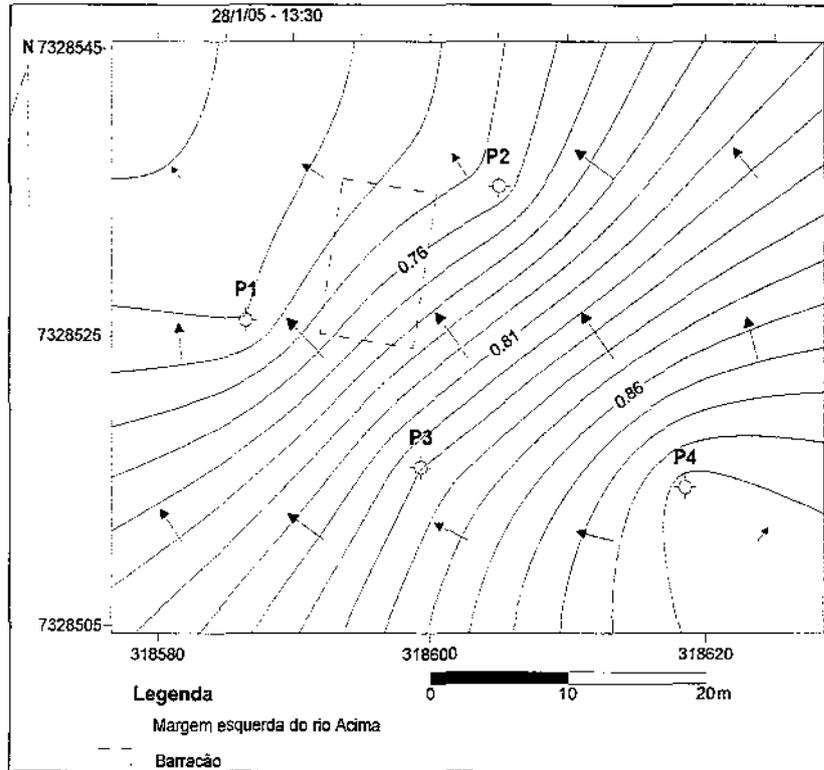


Figura 5.2 – Mapa potenciométrico do aquífero livre no dia 28/01/05 às 13:30 hs.

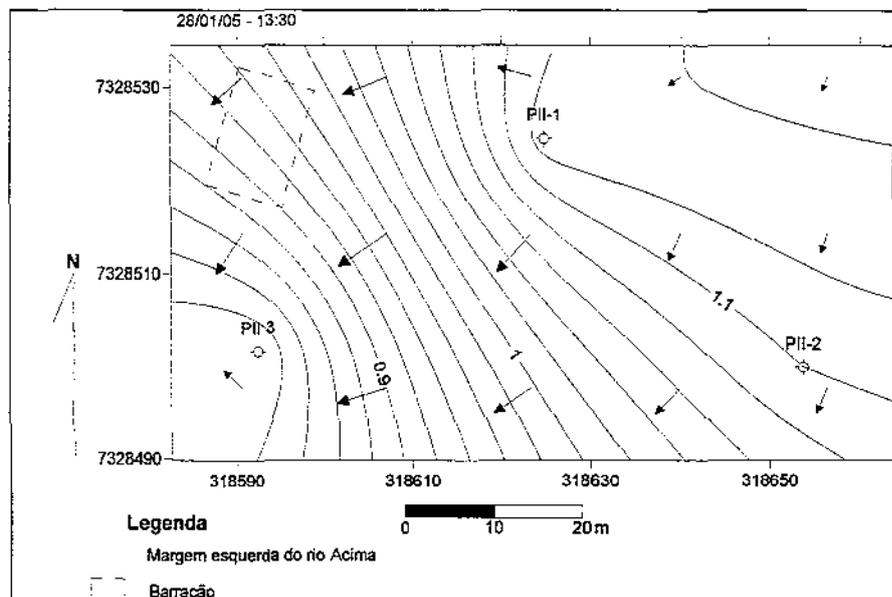


Figura 5.3 – Mapa potenciométrico do aquífero profundo, no dia 28/01/05 às 13:30hs.

Os mapas potenciométricos indicam que a direção preferencial do fluxo hidrodinâmico é para W, sendo que no aquífero livre a tendência é para NW e, no profundo, para SW, ambos avançando na direção do rio Acima. O aquífero profundo apresentou carga hidráulica mais elevada que o aquífero livre.

Nesta etapa, tanto no CePeRio quanto no Sítio de Pesquisa, o NA oscilava concordantemente com a maré.

5.1.2 2ª e 3ª etapas

As informações hidrodinâmicas foram obtidas durante a 2ª e a 3ª etapas de campo, por isso os trabalhos aqui presentes se referem à área piloto, no Sítio de Pesquisa, nos quais foram estudados os aquíferos livre e profundo. O *bail test* foi executado na última etapa de campo.

5.1.2.1 Aquífero livre

O aquífero livre é um aquífero superficial, formado por areias inconsolidadas, bem selecionadas, com granulometria fina, de origem praial, coloração cinza-clara, predominantemente de quartzo.

Quanto à geometria deste, na vertical, sua espessura é de 8 metros no Sítio de Pesquisa, podendo variar ao longo da planície, a depender de onde se encontram as lentes de argila e o embasamento cristalino, que limitam este aquífero na sua base.

Na Figura-5.4 a seguir, observam-se a oscilação da maré e a variação do NA dos poços rasos. Nesta figura, observa-se que a maré influencia hidrodinamicamente o aquífero costeiro livre pois, quando a maré registra seus picos, logo em seguida, o NA dos poços se elevam.

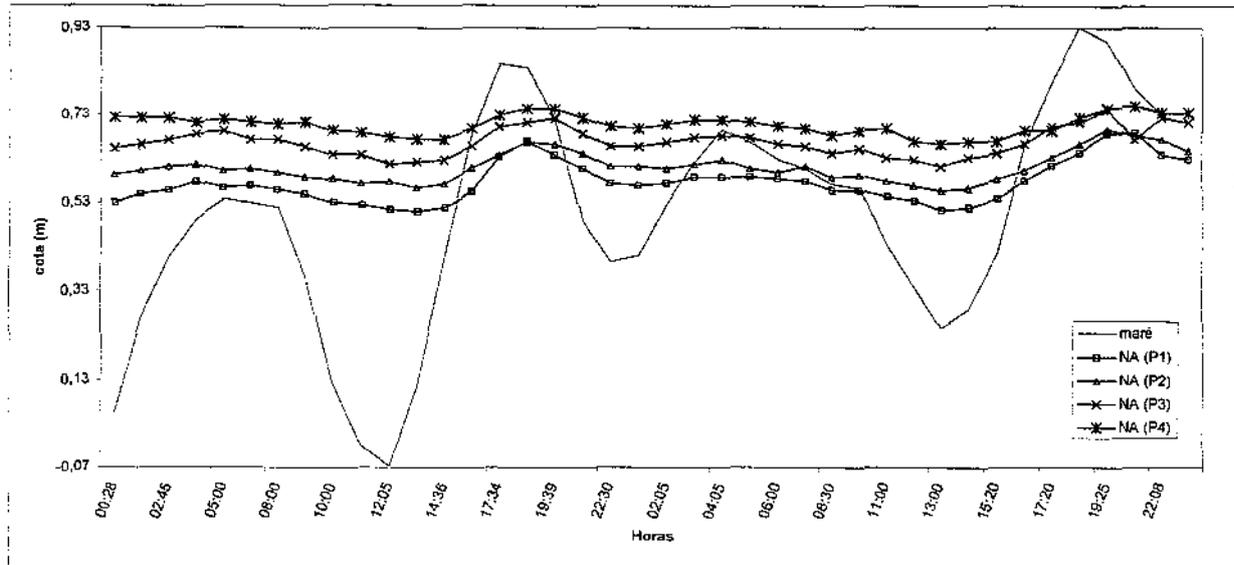


Figura 5.4 – Oscilação da maré e do NA nos poços rasos, nos dias 30 e 31/03/05.

Quatro poços estão instalados no aquífero livre, que são: o P1, P2, P3 e P4 e, através do método *bail test*, pelo qual mede-se o tempo de recuperação do NA após o seu rebaixamento, calculou-se a condutividade hidráulica (K) e a transmissividade desses poços, cujos resultados se encontram na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Condutividade Hidráulica (K) e Transmissividade (T) dos poços rasos.

Poços	K (m/s)	T (m ² /dia)
P1	$1,6 \times 10^{-4}$	76
P2	$1,6 \times 10^{-4}$	76
P3	$1,2 \times 10^{-4}$	57
P4	$1,3 \times 10^{-4}$	62

O K calculado (Tabela 5.1) corresponde a um aquífero arenoso com alta condutividade, permeável e considerado um bom aquífero, segundo Feitosa & Filho (1997), por causa de seus parâmetros. Para Fetter (2001), a condutividade calculada corresponde a um aquífero formado por areia inconsolidada, bem selecionada (Tabela 5.2).

Tabela 5.2 – Intervalos de Condutividade Hidráulica (K) para sedimentos inconsolidados

Material	K (m/s)
Argila	$10^{-11} - 10^{-8}$
Silte, argila siltosa e till	$10^{-8} - 10^{-6}$
Areia siltosa, areia fina	$10^{-7} - 10^{-5}$
Areia bem selecionada	$10^{-5} - 10^{-3}$
Cascalho bem selecionado	$10^{-4} - 10^{-2}$

* Fonte: Fetter 2001

O aquífero livre é homogêneo e isotrópico e, os poços apresentaram condutividade hidráulica muito semelhante, com ordem de grandeza de 10^{-4} m/s.

Para se calcular a velocidade média linear, foi utilizada a porosidade específica estabelecida por Fetter (2001) para uma areia fina a média, que é um valor de 26 %; sendo assim, a velocidade média linear no aquífero livre é de $2,8 \times 10^{-6}$ m/s.

A transmissividade (T) média calculada para este aquífero é de 68 m²/dia, diferente do obtido em CBH-BS (2000), que foi de 205 m²/dia.

O transdutor de pressão, instalado no P3, registrou a oscilação do NA, que acompanhou a variação da maré. Na Figura 5.5 observa-se que os picos da maré se associam com os máximos NAs, e também, após mudança da dinâmica da maré, nos últimos dias do monitoramento, registrado entre os dias 24 e 26 de agosto, o NA também segue o mesmo padrão de oscilação.

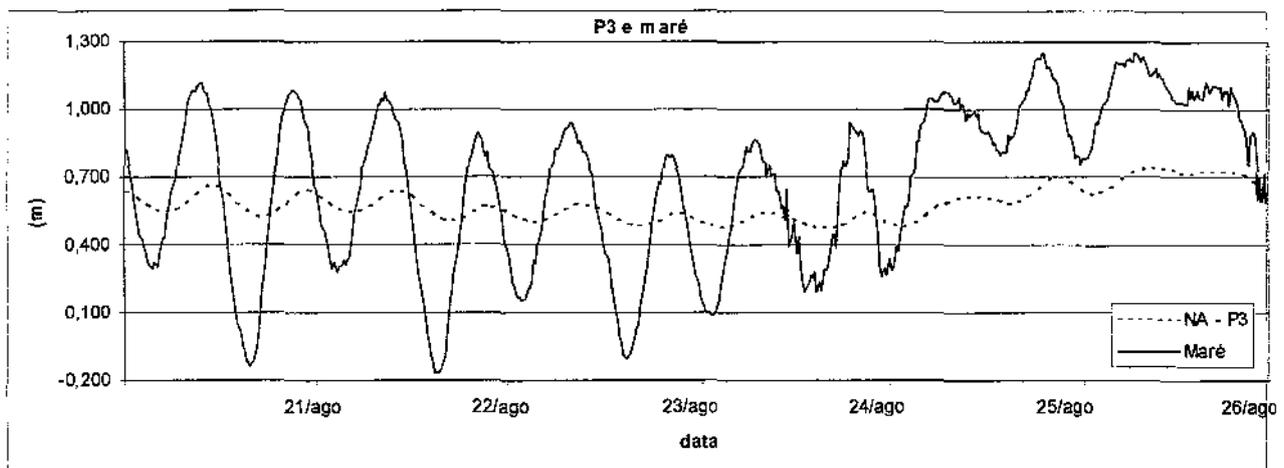


Figura 5.5 – Variação da maré e do NA do P3 na 3ª etapa de monitoramento.

A irregularidade, ou mudança do padrão da oscilação da maré e do NA, ocorrida no canto direito do gráfico da Figura 5.5, está associada à mudança da lua cheia para a lua minguante, que deu início no dia 26 de agosto de 2005.

A ocorrência de chuvas neste período foi pequena, apenas 0,2 mm, registrada no dia 26 de agosto, às 21:15 horas, na estação meteorológica do CePeRio.

Num período em que a maré oscila regularmente, como entre o dia 21 e 23 de agosto de 2005 (Figura 5.5), o máximo NA do P3 acontece aproximadamente 1,5 horas após as máximas marés, obtidas no CePeRio (Figura 5.6).

A diferença entre as amplitudes de oscilações da maré e do NA do aquífero livre é de 5 vezes, sendo de 1,4 m para a maré e 0,3 m para o aquífero livre (Figura 5.6).

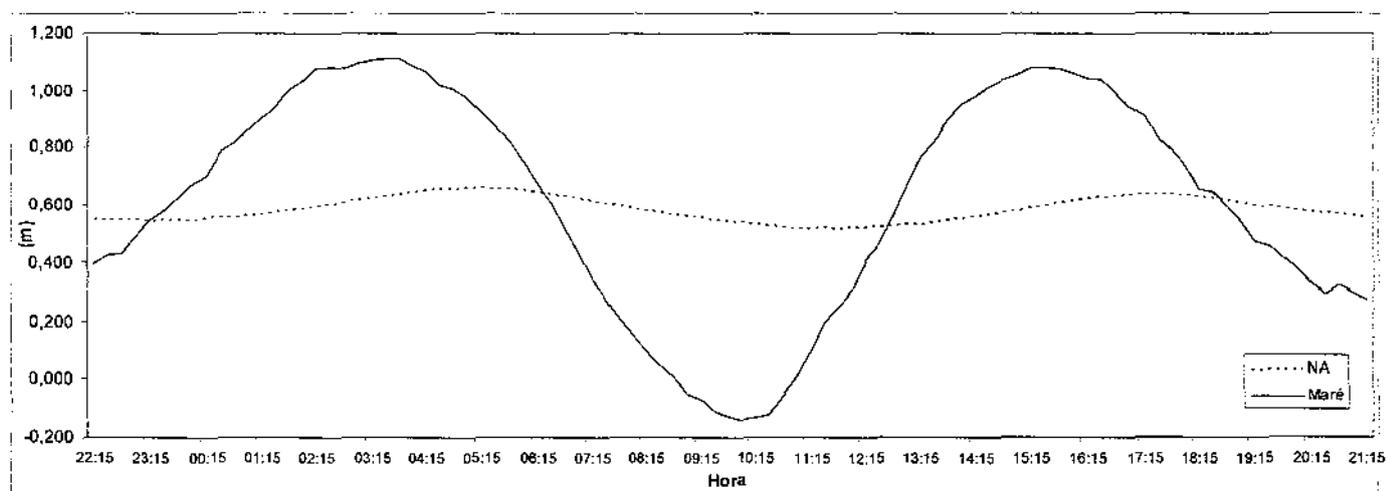


Figura 5.6 – Oscilação da maré e do NA do P3, num intervalo de 24 horas, no período em que a maré oscila regularmente.

Na Figura 5.6, observa-se uma seqüência de mapas potenciométricos, durante uma subida da maré, desde a maré baixa do dia 3 de abril de 2005 até a máxima maré registrada no dia 4 de abril de 2005, associada à intensa chuva ocorrida neste dia.

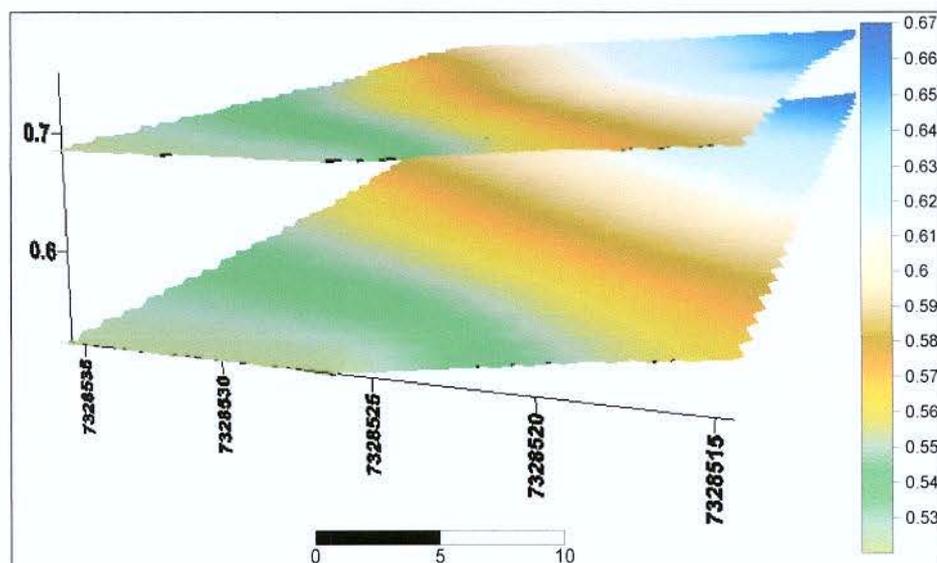


Figura 5.7 – Superfícies potenciométricas do aquífero raso na maré baixa (inferior) e na maré alta (superior). As escalas são em metros.

A diferença do NA, da baixa maré para a alta, em dias normais, é de 17 a 12 cm nos poços rasos, sendo, nos poços mais distantes do rio, a diferença menor do que nos poços que se localizam mais próximos.

Sabendo-se esta diferença (Figura 5.7), e a porosidade específica, pode-se calcular o volume de água que satura o aquífero durante a subida da maré, 23 m^3 aproximadamente, restritos à área onde se localizam os poços rasos, 670 m^2 .

Durante subidas excessivas da maré, a diferença dos NAs é maior, vai de 24 a 34 cm. O volume de água que satura o aquífero também aumenta, vai para 49 m^3 .

Normalmente o fluxo subterrâneo vai na direção ao rio, representando ele a área de descarga, indo no sentido NW, como se observa na Figura 5.8. Mas, no último mapa desta figura, o sentido do fluxo subterrâneo muda, indo para o norte. Neste dia e horário foi registrada a máxima maré da seqüência apresentada.

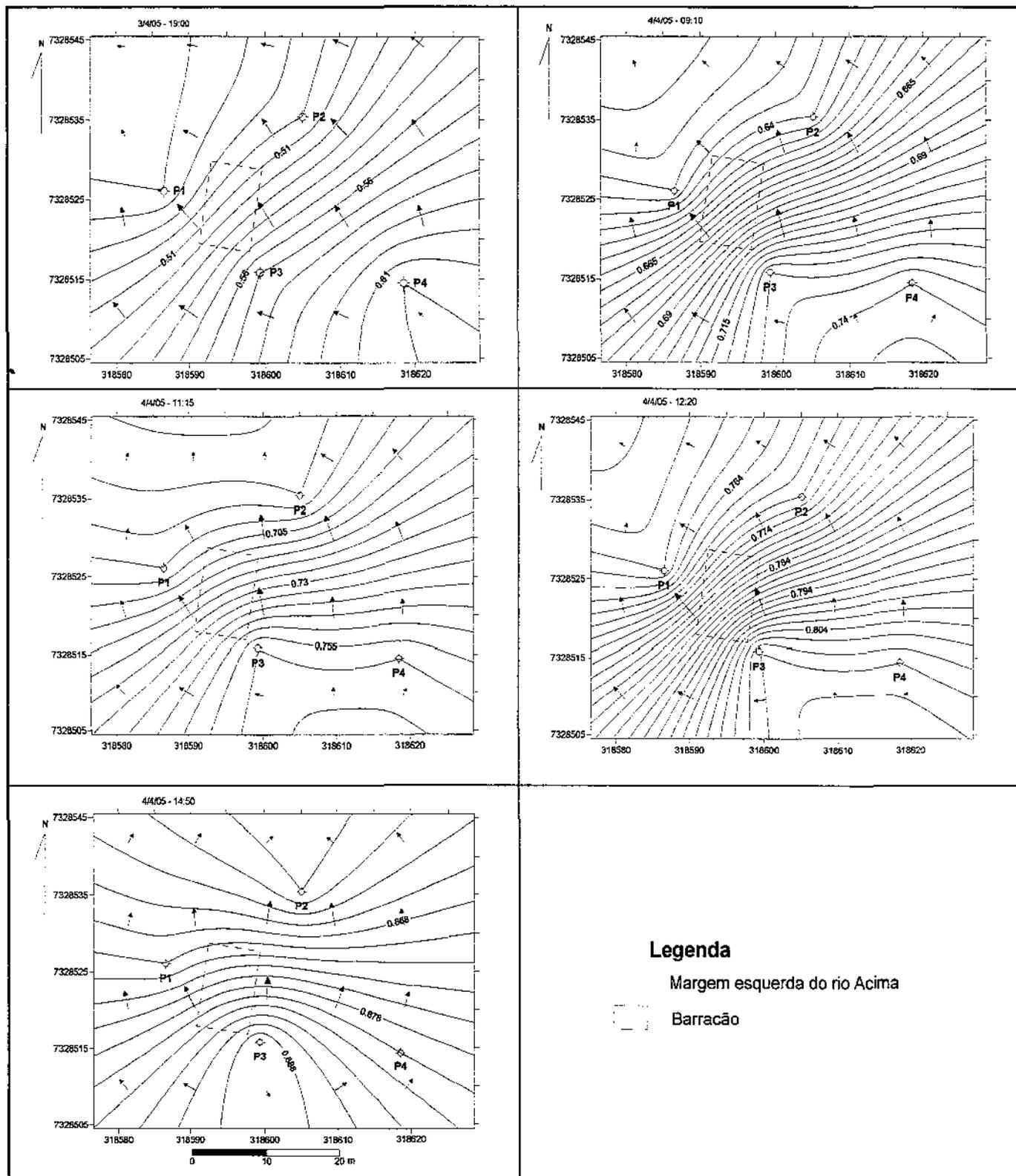


Figura 5.8 – Sequência de mapas potenciométricos do Sítio de Pesquisa (2ª etapa).

5.1.2.2 Aqüífero profundo (20 m).

Mais profundo que o livre, o aqüífero profundo, monitorado pelos poços PII-1, PII-2 e PII-3, encontra-se à cerca de 19 m de profundidade, sendo formado por material siltoso, com conchas calcárias no topo e drenante, pois transmite água.

Igualmente aos poços rasos, neste aqüífero foram feitos *bail tests* e se obtiveram os parâmetros hidrodinâmicos, como condutividade hidráulica e transmissividade, cujos valores estão expostos na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Condutividade Hidráulica (K) e Transmissividade (T) dos poços profundos.

Poços	K (m/s)	T (m ² / dia)
PII-1	$1,8 \times 10^{-6}$	0,4
PII-2	$5,1 \times 10^{-6}$	1
PII-3	$1,8 \times 10^{-4}$	38

Segundo Fetter (2001), os valores de K dos poços PII-1 e PII-2, coincidem com um silte argiloso, não sendo um bom aqüífero para exploração, já o PII-3 obteve um valor de K da mesma ordem de grandeza dos poços rasos.

Para se medir a velocidade média linear, utilizou-se o valor de 15% para a porosidade específica, inferida por Fetter (2001) para o tipo de sedimento do aqüífero, que é um silte argiloso. O valor calculado para a velocidade média linear foi de 4×10^{-8} m/s.

Para se calcular a transmissividade, consideramos a espessura de 3 m do aqüífero profundo (Tabela 5.3).

Na Figura 5.9 observa-se que o NA dos poços PII-1 e PII-2 não interagem diretamente com a oscilação da maré. Diferentemente, o PII-3 mostra uma maior correlação com a maré, semelhante aos poços rasos.

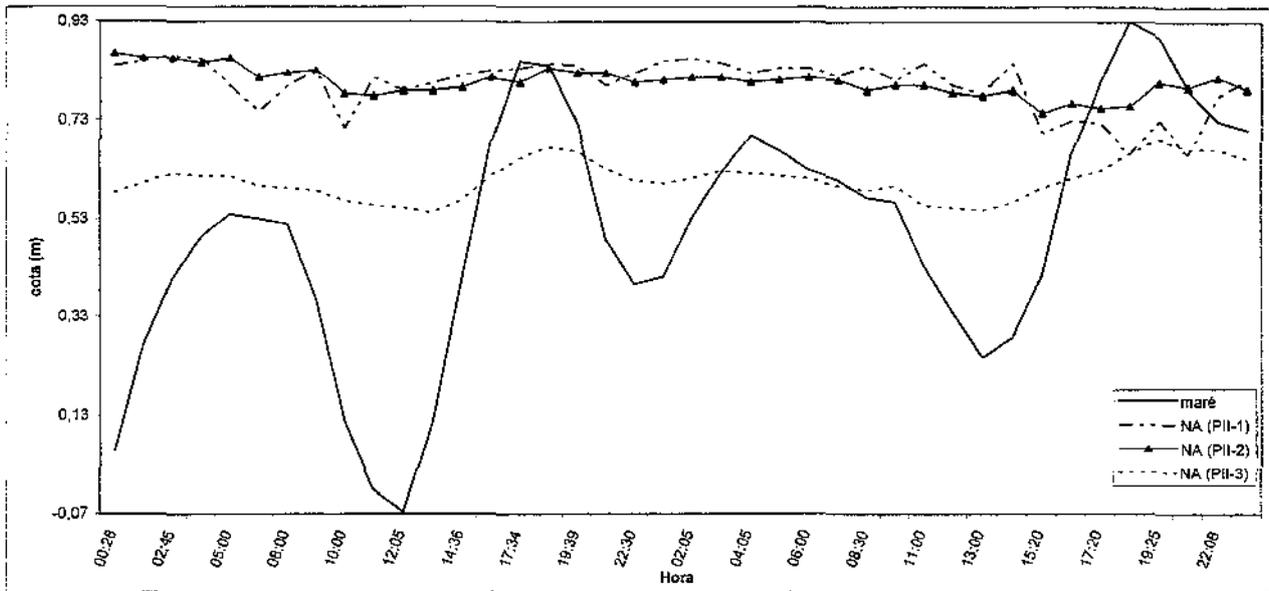


Figura 5.9 – Oscilação da maré e do NA dos poços profundos, nos dias 30 e 31/03/05.

Na 3ª etapa de campo, utilizando-se um transdutor de pressão no PII-2 foi observada uma boa resposta do NA frente à oscilação da maré (Figura 5.10). A amplitude da maré é aproximadamente 11 vezes maior que a oscilação do NA. A maré oscila até 1,3 m e o NA 0,11 m.

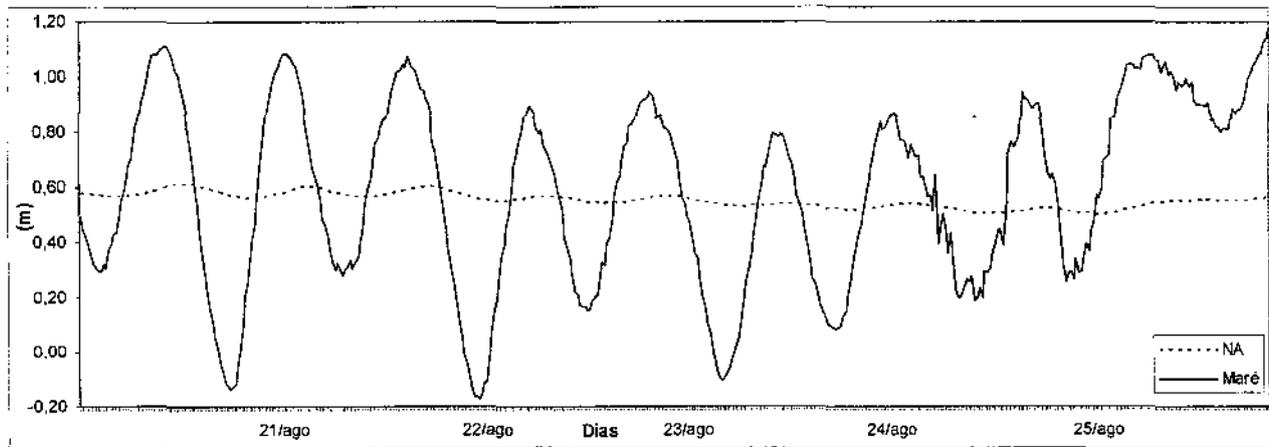


Figura 5.10 – Oscilação da maré e do NA do PII-2.

O NA do PII-2 responde ao efeito da maré, após aproximadamente 1,5 horas (Figura 5.11), pois a maré demora 1 hora para chegar do CePeRio, onde está instalado o marégrafo, até o Sítio de Pesquisa.

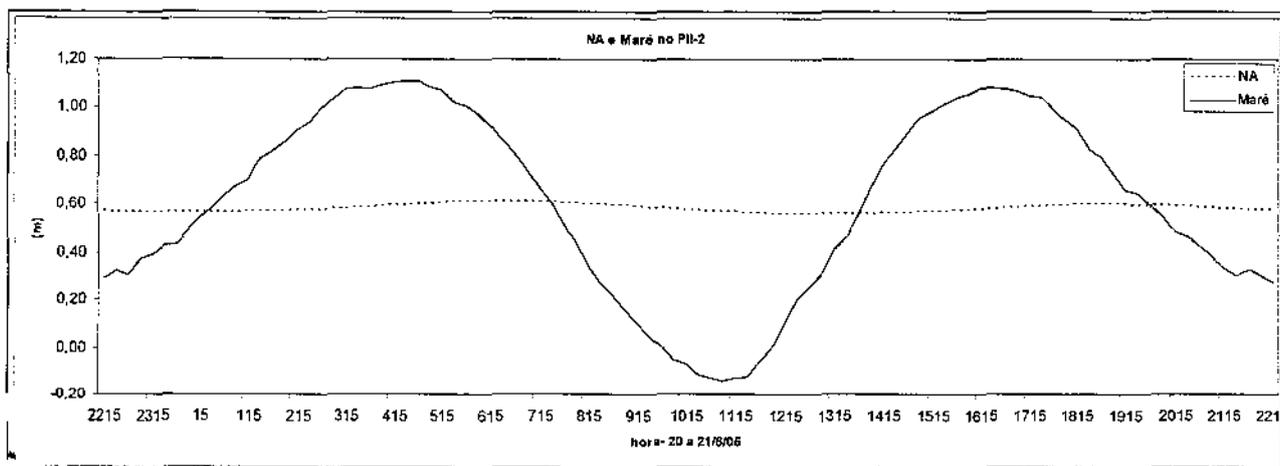


Figura 5.11 – Oscilação da maré e do NA do PII-2, num intervalo de 24 horas, do dia 20 ao dia 21/08/05.

Quanto ao sentido do fluxo subterrâneo, na Figura 5.12 observa-se que a direção do fluxo é preferencialmente para W, no aquífero profundo, escoando na direção do rio, que representa a área de descarga.

Na seqüência de mapas potenciométricos obtidos na Figura 5.12, durante intervalos de subida da maré, observa-se que o sentido do fluxo não varia, mas acontece a elevação do NA, como podem ser observados nos valores das linhas isopotenciométricas.

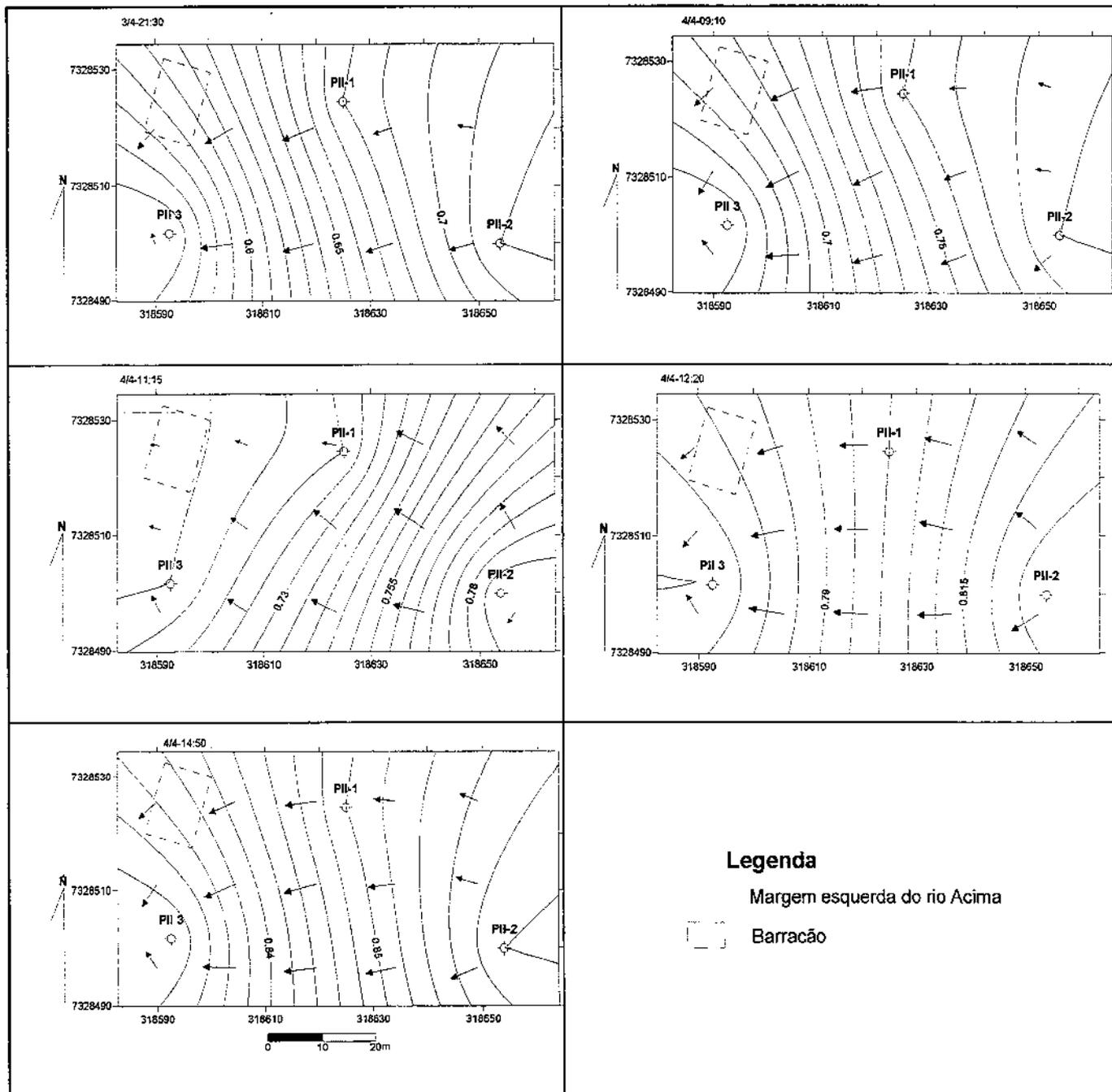


Figura 5.12 – Seqüência de mapas potenciométricos do aquífero profundo (2ª etapa).

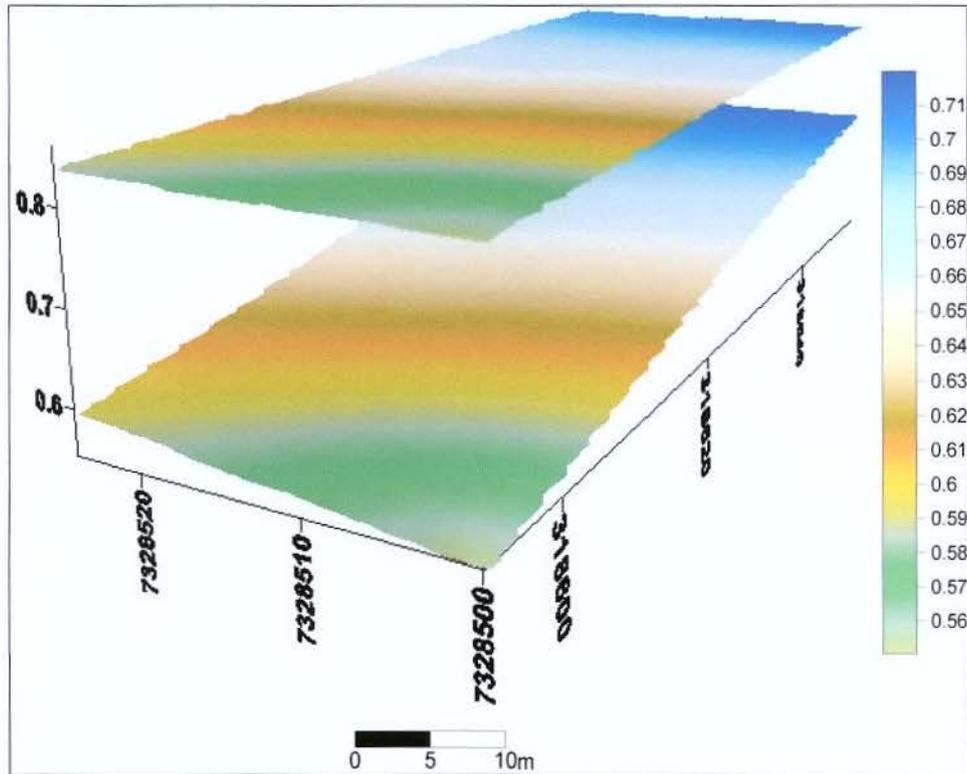


Figura 5.13 – Superfícies potenciométricas do aquífero profundo durante a maré baixa (inferior) e na maré alta (superior).

No aquífero profundo, a maré não oscila tanto quanto no aquífero livre, mas, nas subidas da maré de grande intensidade, a variação do NA é também grande, como se observa na Figura 5.13, onde se mostra a diferença do NA na maré baixa e na maré alta, do dia 04/04/05.

O volume de água aumenta cerca de $43,9 \text{ m}^3$ no aquífero profundo, na área que compreende os três poços instalados neste aquífero, que é cerca de 1500 m^2 . A diferença do NA vai de 13 cm a 28 cm aproximadamente, e é maior nos poços mais próximos do rio.

Em dias de maré calma, onde a oscilação é normal e não acompanhada de chuva, como no dia 04/04/05, o NA do aquífero profundo varia muito pouco, bem menos que no aquífero livre.

A seguir será apresentado o monitoramento hidroquímico das águas subterrâneas e superficiais.

5.2 HIDROQUÍMICA.

Neste capítulo estão apresentados os resultados do monitoramento hidroquímico, *in loco* e laboratorial, das etapas de campo, justificando-se os períodos analisados em cada etapa. Faz-se também uma descrição do monitoramento efetuado em cada uma das etapas e, por fim, encontra-se a classificação das águas subterrâneas e do rio Acima.

5.2.1 1ª etapa de campo – estudo preliminar

Nesta etapa levantou-se o perfil da variação físico-química existente nos aquíferos e sua relação com as águas superficiais.

Nos trabalhos iniciais, após análises cuidadosas dos primeiros resultados, estipulou-se um intervalo entre as amostragens: 45 minutos, tempo em que as variações químicas e dinâmicas analisadas forneciam um efeito significativo para o estudo.

A seguir será apresentado o resultado do monitoramento executado no CePeRio, englobando o P8, o rio Itanhaém e o ribeirão Campininha e, posteriormente, no Sítio de Pesquisa e no rio Acima.

5.2.1.1 CePeRio

Nesta 1ª etapa os trabalhos no CePeRio foram realizados nos dias 23, 24 e 26 de janeiro de 2005.

No CePeRio localiza-se o poço P8, o rio Itanhaém e o ribeirão Campininha, cuja foz no rio Itanhaém, se localiza próximo ao píer do CePeRio.

Na Tabela 5.4 e na Figura 5.14, observa-se o recuo da maré, a queda do nível d'água (NA) e da CE ocorridas conjuntamente no poço P8, registrando-se a interação das águas superficiais e subterrâneas.

Tabela 5.4 – Monitoramento do poço P8 e ribeirão Campininha (CePeRio), em 23/01/05.

hora	NA (m)	maré (m)	P8		ribeirão Campininha	
			pH	CE	pH	CE
14:47	0,28	0,78	6,8	98	6,2	6
15:35	0,25	0,67	7,1	91	6,4	9
16:08	0,24	0,62	7,1	88	6,4	9
16:40	0,22	0,48	7,1	89	6,3	8
17:10	0,19	0,36	7,0	86	6,5	11
17:35	0,18	0,31	7,0	86	6,8	45
18:10	0,14	0,23	6,9	87	6,7	36
18:50	0,11	0,11	7,1	85	6,8	56

CE- mS/m

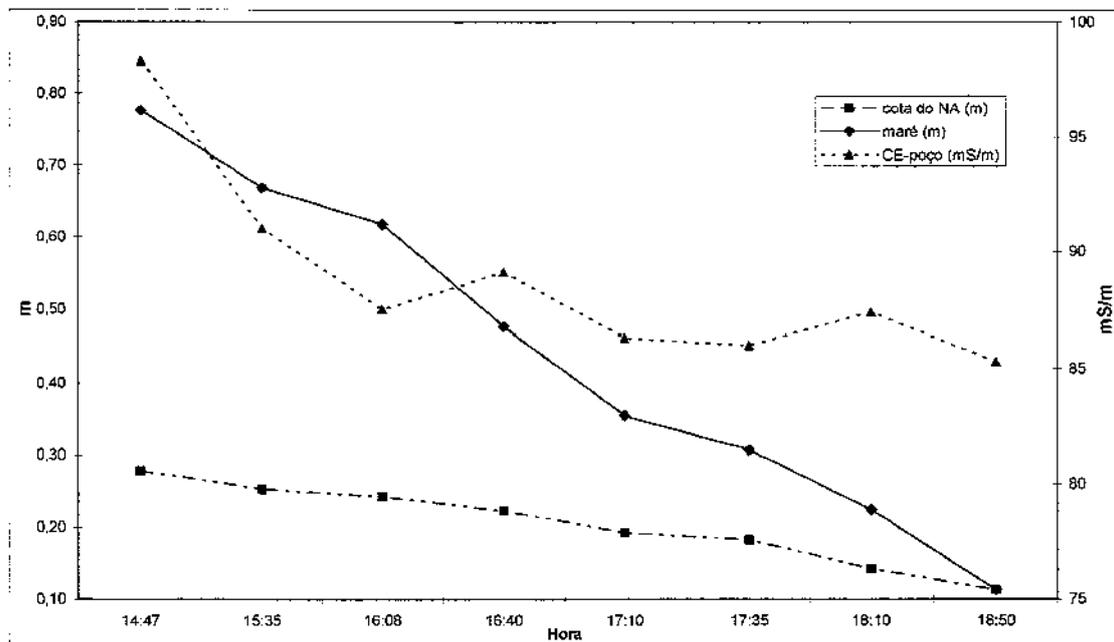


Figura 5.14 – Variação do NA, maré e CE do poço P8, no dia 23/01/05.

O pH do P8, do ribeirão Campininha e do rio Itanhaém não variaram em relação ao recuo da maré (Tabela 5.5). Contrariamente, a CE aumentou nas águas superficiais e não variou na água subterrânea.

O esperado, com o recuo da maré, era que a CE das águas dos rios diminuíssem, pois haveria um predomínio de água doce, mas ocorreu o contrário. Este acontecimento necessita de estudo mais detalhado, pois como não se esperava este comportamento, fica aberto um aspecto interessante à pesquisa.

Tabela 5.5 – Monitoramento do P8, ribeirão Campininha e rio Itanhaém no dia 26/01/05

hora	NA	maré	P8		rio Itanhaém		rib. Campininha	
			pH	CE	pH	CE	pH	CE
16:35	0,62	1,38	6,9	92	5,9	64	6,2	74
16:55	0,63	1,39	7,0	91	6,2	109	6,1	69
17:30	0,55	1,37	7,0	92	6,0	84	6,5	69
18:00	0,58	1,36	6,9	90	6,0	162	6,3	108
18:37	0,54	1,27	7,0	91	6,2	388	6,4	169

CE em mS/m,

NA e maré em metros,

5.2.1.2 Sítio de Pesquisa

No sítio de Pesquisa, o trabalho foi realizado nos dias 28, 29 e 31 do mês de janeiro de 2005, e foram monitorados todos os poços da área-piloto, Sítio de Pesquisa e o rio Acima, o qual margeia a área estudada.

Nesta etapa não foram feitas análises químicas, apenas foi realizado o monitoramento *in loco*, analisando-se os seguintes parâmetros: pH, CE e NA.

O período amostrado no mês de janeiro foi de muita chuva na região estudada, atingindo-se 55 mm de chuva do dia 24 ao dia 30. Os altos valores da maré nesta etapa, podem estar associados à quantidade de chuva.

Primeiramente, veremos o monitoramento do rio Acima e, em seguida, dos poços de monitoramento.

5.2.1.2.1 Rio Acima

Na tabela 5.6 observa-se o resultado do monitoramento no rio Acima, executado no dia 28/01/05; registra uma subida da maré e, conseqüentemente, os valores de pH e CE também aumentam, mostrando que existe uma correlação positiva entre esses parâmetros.

Tabela 5.6 – Parâmetros do monitoramento *in loco* no rio Acima, no dia 28/01/05.

hora	maré	pH	CE (mS/m)
13:32	0,37	6,0	8,54
14:07	0,43	6,2	9,53
14:59	0,67	6,1	10,26
15:42	0,87	6,4	11,09
16:35	0,94	6,4	11,97
17:08	1,02	6,7	10,38

5.2.1.2.2 Poços rasos

Na tabela 5.7, pode-se observar que os resultados do monitoramento nos poços rasos, executado no dia 28/01/05, mostram um aumento dos NAs com o tempo, concordantemente com o maré, que também aumenta (Tabela 5.6).

Tabela 5.7 – Parâmetros físico-químicos dos poços rasos, no dia 28/01/05

hora	P1			P2			P3			P4		
	NA	pH	CE	NA	pH	CE	NA	pH	CE	NA	pH	CE
13:32	0,73	5,3	8,9	0,75	5,5	8,8	0,83	6,1	7,5	0,90	5,4	9,0
14:07	0,72	5,4	8,9	0,77	5,6	8,9	0,83	6,2	7,5	0,89	5,6	10,5
14:59	0,72	5,4	8,8	0,77	5,5	9,0	0,84	5,7	7,2	0,89	5,5	8,4
15:42	0,76	5,4	8,6	0,80	5,5	9,1	0,85	5,5	6,8	0,90	5,3	11
16:35	0,795	5,4	8,7	0,82	5,5	9,1	0,88	5,5	6,5	0,92	5,7	9
17:08	0,825	5,3	8,4	0,85	5,5	8,5	0,91	5,3	6,4	0,94	5,3	10

CE em mS/m,

NA em metros.

O pH e a CE não variam, possivelmente pelo fato de que neste dia, nesta 1ª etapa, as amostras coletadas terem sido analisadas cerca de 5 horas após a sua coleta, pois precisavam ser levadas até o CePeRio para serem analisadas.

No último dia de monitoramento, no Sítio de Pesquisa, o trabalho foi feito *in loco*, diretamente no campo, mas os valores e o intervalo de tempo não foram suficientes para se estabelecer entre eles, alguma correlação. Essas informações foram importantes para se programarem as etapas de campo posteriores, em que foram realizados estudos mais intensivos sobre as observações registradas.

5.2.1.2.3 Poços profundos

Nos poços profundos, o NA, o pH e a CE não variaram conjuntamente com a subida da maré, ocorrida no dia 28 de janeiro de 2005, no período amostrado, como se observa na Tabela 5.8, esclarecendo que o aquífero aqui estudado está alheio à influência da água superficial.

Tabela 5.8 – Parâmetros físico-químicos dos poços profundos, no dia 28/01/05.

hora	PII-1			PII-2			PII-3		
	NA	pH	CE	NA	pH	CE	NA	pH	CE
13:32	1,13	7,7	202	1,10	7,8	91	0,80	7,5	52
14:07	0,97	7,7	197	1,02	7,7	92	0,78	7,5	52
14:59	0,98	7,6	204	1,02	7,7	91	0,78	7,5	52
15:42	1,02	7,6	202	1,02	7,7	90	0,82	7,4	51
16:35	0,99	7,6	203	1,02	7,7	90	0,84	7,4	53
17:08	0,96	7,6	203	1,01	7,7	89	0,80	7,4	57

CE em mS/m e

NA em metros

5.2.2 2ª etapa – outono

A 2ª etapa, realizada somente no Sítio de Pesquisa, consistiu-se no monitoramento de 7 poços, durante 24 horas. As coletas para análises químicas foram feitas às 06:00, 09:00 e 12:00 horas, do dia 30/03/05.

Foi coletada uma amostra no dia 04/04/05 às 13:00, durante máxima maré, registrada nesta etapa; não foram coletadas amostras nos poços, pois não estava previsto este fenômeno e não havia equipamento suficiente para sua amostragem; sendo assim, só foi possível obter-se a amostra do rio, a qual está descrita mais à frente.

5.2.2.1 Rio Acima

A água do rio não apresenta odor, a cor é amarronzada-escura, com muitas partículas em suspensão, possivelmente matéria orgânica, comum neste rio, pela intensa presença de raízes, folhas, sementes, troncos e etc., ao longo de seu leito e nas suas margens.

A temperatura da água é estável, variando pouco entre os períodos diurnos e noturnos; atinge maiores altas próximo ao meio dia e suas baixas ocorrem na madrugada. A média fica em torno de 25,6°C.

Em relação aos Sólidos Totais Dissolvidos (STD), a média foi de 350 mg/L, sendo classificada como água doce, segundo classificação de Feitosa & Manoel Filho (1997), na Tabela 5.9. Na máxima maré dessa etapa, no dia 4 de abril, ocorreu uma anomalia atemporal, associada a uma frente fria com intensa chuva e o STD atingiu 9.000 mg/L, tornando a água salgada, por causa da intrusão marinha.

Tabela 5.9 – Classificação da água quanto aos Sólidos Totais Dissolvidos (STD).

Tipo de água	STD – mg/L
Doce	0 – 2.000
Salobra	2.000 – 5.000
Salgada	5.000 – 40.000
Salmoura	> 40.000

Fonte: Feitosa & Manoel Filho (1997).

Essas águas se equilibram, respectivamente, num pH mínimo, máximo e médio de 6,5; 8,2 e 7,5; o Eh é de 35, 318 e 224 mV.

Na Tabela 5.10, observam-se os íons de maior concentração na água do rio Acima. As amostras foram coletadas durante a subida da maré, o que provocou o aumento de sua concentração iônica.

Tabela 5.10 – Íons (mg/L) e parâmetros físicos das águas do rio (coleta em 30/03/05).

Amostra-hora	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Si ⁺⁴	Mg ⁺²	Ca ⁺²	pH	CE	Eh
Rio-6*	21,4	3,8	33,6	12,6	1,8	1,4	2,2	4,7	7,64	12	259
Rio-9*	24,9	3,5	33,6	13,9	1,8	2,7	2,2	3,8	7,78	13	233
Rio-12*	24,2	4,0	33,6	13,7	1,9	3,1	2,3	4,7	7,48	12	227
Rio-13-4/4 **	720,7	99,6	-	386	13,4	3,8	45,4	18,3	7,04	270	229

*Rio-6 a amostra foi coletada às 6 horas, igualmente para 9 e 12 h.

** amostra coletada às 13 horas de 04/04/05, durante máxima maré.

CE em mS/m

Eh em mV

Na amostra *Rio-13-4/4* os íons e a CE aumentam bruscamente com a subida excessiva da maré; o pH e o Eh decaem um pouco, mas se mantêm relativamente equilibrados (Tabela 5.10).

5.2.2.2 Poços rasos

Esses poços estão inseridos no aquífero livre.

Tabela 5.11 – Média dos parâmetros físico-químicos obtidos em cada poço (2ª etapa).

Poço	pH	CE (mS/m)	Temp (°C)	STD (mg/L)	Eh (mV)
P1	5,1	8,6	24,3	50	255
P2	5,1	7,6	23,3	50	241
P3	5,0	8,0	24,3	50	253
P4	6,2	8,6	24,5	60	209

Os parâmetros físico-químicos desses poços são muito semelhantes (Tabelas 5.11), confirmando estarem localizados no mesmo aquífero. As águas são transparentes, límpidas, não apresentam material em suspensão.

Quanto ao odor, apresentam odor de enxofre, de gás sulfídrico, proveniente da decomposição da matéria orgânica. O P4 se destaca neste quesito.

Em áreas estuarinas e manguezais é comum a presença de matéria orgânica em decomposição, gerando gás sulfídrico e gás metano.

Quanto à alcalinidade, são águas brandas, como o rio. O poço P4 obteve a menor alcalinidade (6,7 mg/L HCO_3^-) e o poço P2 a maior (17 mg/L HCO_3^-).

Na Tabela 5.12, a seguir, observa-se que o íon Cl^- é o mais abundante, seguido do HCO_3^- , do SO_4^{2-} , Na^+ e Si^{+4} .

Praticamente não houve alteração na concentração de íons durante a subida da maré (Tabela 5.12). Observa-se também que os parâmetros físico-químicos: pH, CE e Eh variam muito pouco durante a subida da maré.

Na Figura 5.15 observa-se um mapa de isolinhas de Cl^- na maré baixa. Esta configuração se mantém também na maré alta, onde o cloreto diminui para o norte.

Tabela 5.12 – Íons (mg/L) e parâmetros físico-químicos dos poços rasos.

Amostras*	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Si ⁺⁴	Ca ⁺²	pH	CE**	Eh**
P1 (6)	13	7,6	10	6,8	2,7	4,9	1,6	5,0	8	252
P1 (9)	15	7,8	10	6,6	2,8	4,8	1,6	4,9	8	271
P1 (12)	13	8,2	10	6,0	2,7	4,0	1,5	5,0	8	269
P2 (6)	11	5,0	17	6,0	0,8	3,5	4,0	5,3	7	233
P2 (9)	11	5,1	17	5,5	0,9	3,4	3,9	5,1	8	245
P2 (12)	11	4,8	17	6,8	0,8	3,4	4,1	5,3	8	256
P3 (6)	12	8,3	10	6,6	2,0	4,4	1,5	4,9	8	248
P3 (9)	12	7,8	10	6,8	1,9	3,9	1,6	4,8	8	256
P3 (12)	11	6,2	10	6,1	1,7	3,6	1,6	5,2	7	280
P4 (6)	13	6,4	6,7	7,3	1,3	5,6	1,2	7,3	8	222
P4 (9)	13	6,5	6,7	8,3	1,3	4,8	1,1	5,7	8	227
P4 (12)	13	6,4	6,7	7,7	1,3	5,0	1,2	6,5	8	228

*(6), (9) e (12) são os horários referentes às marés baixa, média e alta, respectivamente.

** CE em mS/m e Eh em mV.

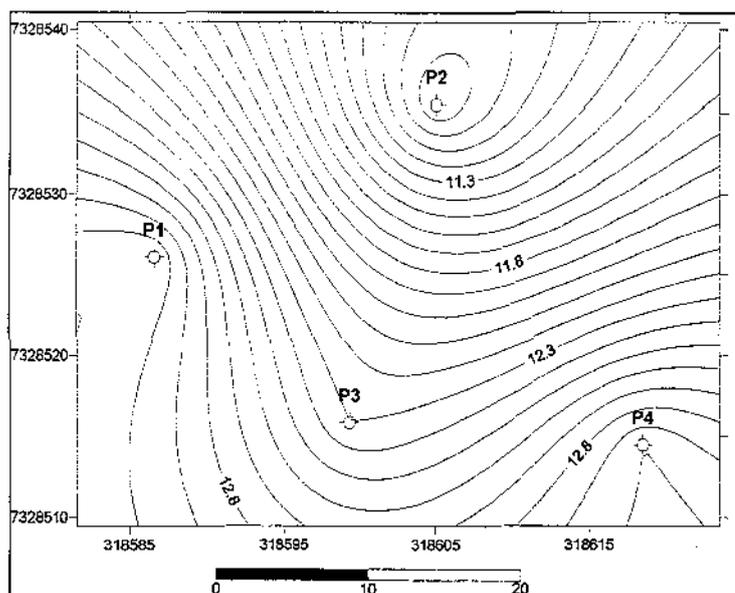


Figura 5.15 – Isolinhas de Cl⁻ dos poços rasos, em mg/L, às 6:00 hs do dia 30/03/05.

5.2.2.3 Poços profundos

O PII-1, PII-2 e PII-3 localizados no Sítio de Pesquisa captam água de aquífero profundo, constituído por camada de conchas, com matriz arenosa e siltosa.

As médias dos parâmetros físico-químicos indicam que são águas semelhantes (Tabela 5.13); embora o PII-3 apresente valores diferentes do que os outros dois poços.

As águas desses poços são muito semelhantes visualmente; são turvas, possuem muitas bolhas de ar e não apresentam odor.

Tabela 5.13 – Média dos parâmetros físico-químicos obtidos nos poços profundos (2ª etapa).

Poço	pH	CE (mS/m)	Temp (°C)	Salin. (%)	STD (g/l)	Eh (mV)
PII-1	7,0	240	23,5	0,1	1.800	183
PII-2	7,3	114	25,0	-	900	174
PII-3	6,5	57	24,3	-	400	154

O PII-1 apresentou os valores mais altos de CE, STD, salinidade e Eh, em relação aos demais (Tabela 5.13), a temperatura deste foi a mais baixa. O PII-2 e PII-3 não registraram valores de salinidade.

Nas análises químicas desses poços, o HCO_3^- aumentou durante a subida da maré, diferente dos poços rasos e do rio. O PII-1 obteve os maiores valores e o PII-3 os menores valores (Tabela 5.14). A grande quantidade de bicarbonato está associada às camadas de conchas do aquífero em análise.

Tabela 5.14 – Íons (mg/L) e parâmetros físico-químicos nos poços profundos, em 30/03/05.

Amostra	Cl^-	PO_4^{3-}	HCO_3^-	Na^+	K^+	Si^{+4}	Mg^{+2}	Ca^{+2}	pH	CE*	Eh*
PII-1 (6)	245	19	2206	440	32	19	39	25	7,2	270	170
PII-1 (9)	259	20	2303	501	41	18	41	25	7,1	270	175
PII-1 (12)	260	22	2264	473	36	13	41	24	7,2	270	187
PII-2 (6)	64	3,6	820	121	14	3	15	23	7,5	81	147
PII-2 (9)	67	5,4	859	118	14	4	18	26	7,5	79	163
PII-2 (12)	85	8,1	1015	165	16	3	21	28	7,5	95	161
PII-3 (6)	40	3,3	654	59	8	18	10	40	6,7	58	129
PII-3 (9)	40	3,6	644	59	8	19	11	39	6,7	58	138
PII-3 (12)	40	3,3	664	58	8	20	10	39	6,6	57	147

*- CE em mS/m e Eh em mV

Na Tabela 5.14, observa-se a existência do íon fosfato, que não ocorre nos poços rasos nem no rio. Nos poços profundos a concentração de íons é bem maior, também. Os parâmetros físico-

químicos pH, CE e Eh se mantiveram estáveis durante a amostragem. O PII-2 registrou uma elevação da CE e dos íons ao longo do tempo, sendo este poço, o mais distante do rio.

Os poços PII-1 e PII-2 apresentaram aumento na concentração de cloreto, com a subida da maré; o PII-3 se manteve estável. O PII-1 se destaca na quantidade de íons, em comparação aos outros dois poços (Tabela 5.14).

Na Figura 5.16, observa-se o mapa de isolinhas da concentração de cloretos, onde as concentrações tendem a aumentar para o norte, ou seja, onde se localiza o PII-1.

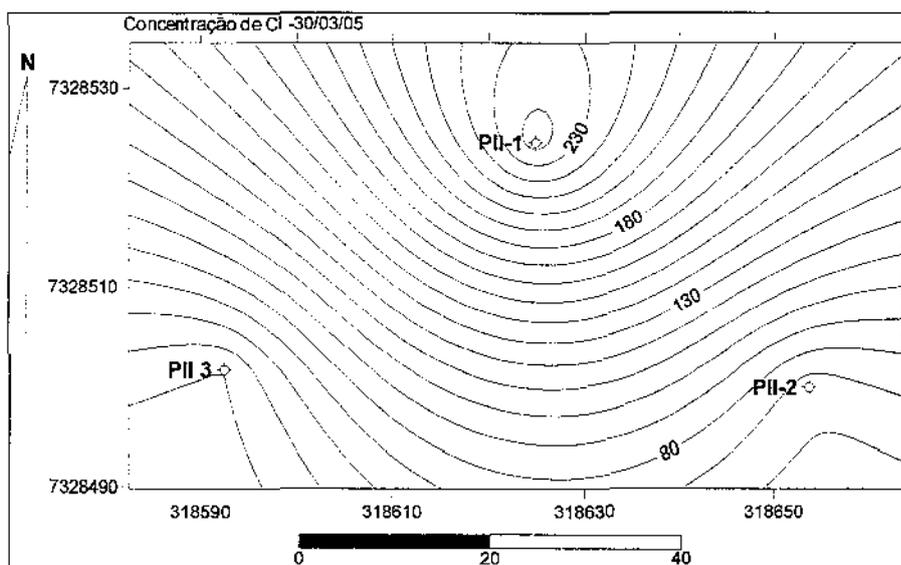


Figura 5.16 – Isolinhas de Cl^- nos poços profundos na baixa maré, às 6:00 do dia 30/03/05.

5.2.3 3ª etapa - inverno

5.2.3.1 Rio Acima

Na Tabela 5.15, observa-se a média dos parâmetros físico-químicos das três etapas de campo. Nela se observa que na 3ª, os valores são mais altos que nas demais etapas, registrando que, no inverno, a intrusão salina é mais perceptível ou mais influente.

Na Figura 5.17, observa-se o aumento de íons diretamente associado à subida da maré, que, nesta ocasião, atingiu seu pico por volta das 16:10hs. Às 18:15hs a maré já começava a baixar, cujos registros (da maré) foram: -0,1; 1,12 e 0,9 m para os horários 11:40, 16:10 e 18:15, respectivamente, nos quais foram feitas as coletas das amostras para análise química.

Tabela 5.15 – Média dos parâmetros analisados no rio em cada etapa.

Étapas	pH	CE (mS/m)	T (°C)	STD (mg/L)	Eh (mV)	Salin. (%)
1 ^a	6,1	10	26	-	-	-
2 ^a	7,5	27	26	250	224	0
3 ^a	6,4	820	22	5.000	258	0,4

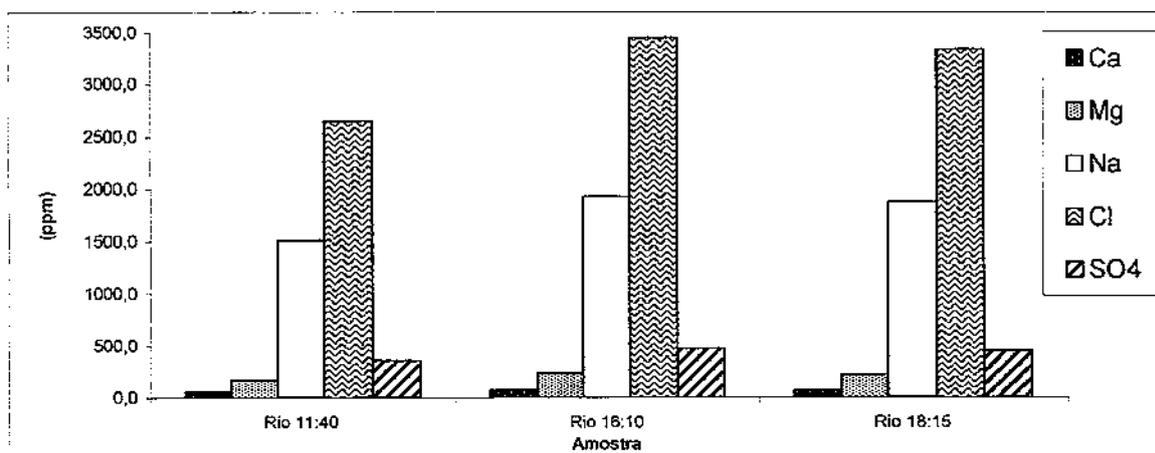


Figura 5.17 – Íons no rio Acima durante a subida da maré no dia 20/08/05.

5.2.3.2 Poços rasos

No P3 foi instalado um transdutor de pressão e, nos poços P1, P2 e P4, foi executado o monitoramento hidroquímico.

Quanto aos parâmetros físico-químicos (Tabela 5.16), não houve alteração em relação à etapa anterior, apenas a temperatura abaixou cerca de 2°C decorrente à mudança de estação climática, então, mais fria.

Tabela 5.16 – Média dos parâmetros físico-químicos obtidos nos poços rasos (3^a etapa).

Poço	pH	CE (mS/m)	Temp (°C)	STD (mg/L)	Eh (mV)
P1	4,5	8,2	22	50	282
P2	4,8	6,3	21	40	300
P4	4,2	8,3	22	54	233

Os poços P2 e P4 aumentaram suas concentrações iônicas durante a subida da maré. No P1, esta relação ocorreu apenas com o sulfato (Figura 5.18).

No P4 ocorre a mais alta concentração de sulfato (Figura 5.18), dentre os poços rasos, denunciado também pelo forte odor de enxofre deste poço.

No P2 o bicarbonato obtém valores mais altos que os demais íons, superando até o cloreto que é o mais abundante nos outros 2 poços.

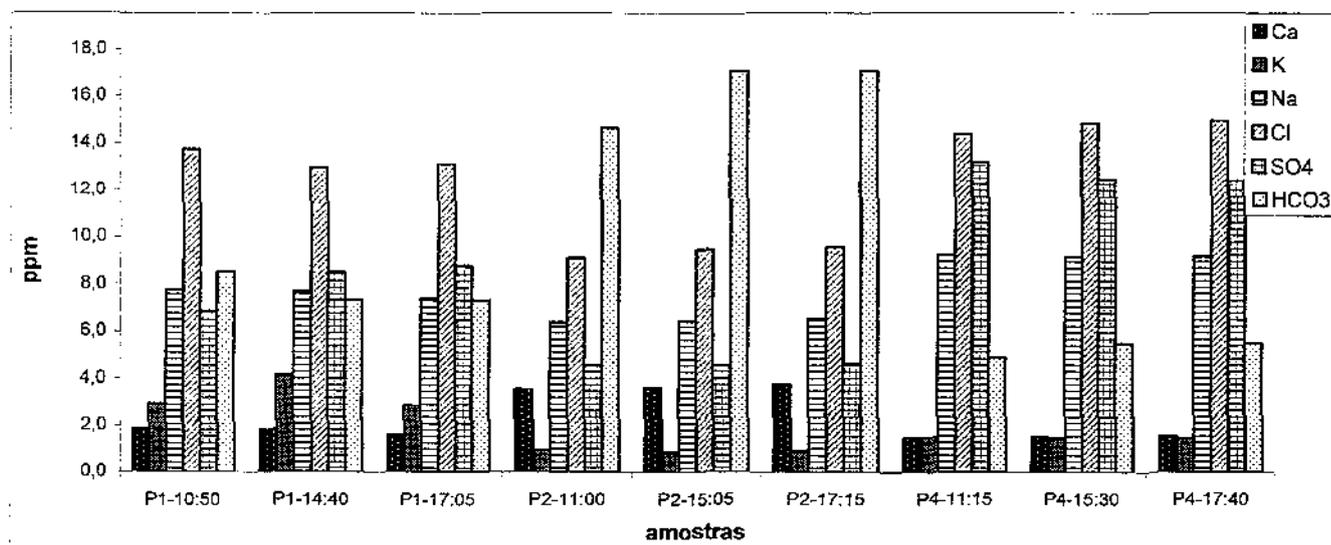


Figura 5.18 – Concentração de íons nos poços rasos (3ª etapa).

5.2.3.3 Poços profundos

No PII-2 foi instalado um transdutor de pressão. Por isso não foi possível se monitorar hidroquimicamente.

A média do STD do PII-1 de 1.615 mg/L (Tabela 5.17) variou de 1500 a 1700 mg/L, entre seus valores mínimos e máximos, respectivamente.

Tabela 5.17 – Média dos parâmetros físico-químicos obtidos em cada poço profundo (3ª etapa).

Poços	pH	CE (mS/m)	T (°C)	TDS (mg/L)	Eh (mV)	salin (%)
PII-1	7,1	249	21,8	1.615	146	0,1
PII-3	6,8	49	22,1	320	144	-

Em relação à concentração iônica (Tabela 5.18) do aquífero profundo, os íons alteraram muito pouco com a maré, se mantendo praticamente estáveis, indicando que a maré tem pouca influência química neste aquífero.

Tabela 5.18 – Íons (mg/L) e parâmetros físico-químicos, nos poços profundos (3ª etapa)

Poço	hora	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²	pH	CE	Eh
PII-1	11:05	259	30	1074	439	44	24	7,1	230	135
	15:20	260	30	1074	435	44	24	7,1	230	134
	17:30	262	31	1074	442	43	24	7,2	230	109
PII-3	11:30	38	3	303	56	12	49	6,7	49	196
	16:00	39	3	303	54	12	47	6,6	49	190
	17:50	39	3	312	55	12	45	6,9	49	150

CE em mS/m,

Eh em mV

Na tabela 5.19 observa-se que a CE, o STD e o Eh aumentam continuamente no decorrer dos dias, igualmente o NA que também registra os mais altos NAs. O pH e a salinidade se mantêm estáveis.

Tabela 5.19 – Monitoramento do PII-1 durante a 3ª etapa de monitoramento, apresentando os valores mínimo, máximo e médio.

data	hora	NA (m)	pH	CE (mS/m)	T (°C)	TDS (mg/L)	Eh (mV)	salin (%)
20/ago	09:45	0,77	7,0	230	21,9	1500	117	0,1
	11:05	0,75	7,1	230	22	1500	135	0,1
	15:20	0,77	7,1	230	21,8	1500	134	0,1
	17:30	0,78	7,2	230	21,9	1500	109	0,1
21/ago	11:50	0,77	7,2	230	21,9	1500	86	0,1
	13:00	0,73	7,1	230	21,9	1500	133	0,1
	15:15	0,76	7,2	240	22	1500	107	0,1
	16:40	0,73	7,2	230	21,9	1500	142	0,1
22/ago	11:20	0,77	7,1	260	22,2	1600	158	0,1
	12:35	0,68	7,1	260	22,1	1700	184	0,1
	15:45	0,74	7,2	260	22,2	1700	130	0,1
	16:45	0,68	7,1	260	22,4	1700	123	0,1
25/ago	11:40	0,74	7,1	260	21,8	1700	165	0,1
	13:05	0,69	7,0	270	21,8	1700	173	0,1
	15:55	0,74	7,1	260	21,9	1700	174	0,1
	17:05	0,68	7,1	260	21,9	1700	153	0,1
	18:05	0,68	7,1	260	21,8	1700	183	0,1
26/ago	14:50	0,84	7,1	260	21,1	1700	186	0,1
	16:25	0,84	7,2	260	21,2	1700	162	0,1
	17:25	0,83	7,2	260	21,2	1700	163	0,1
Mínimo		0,68	7,0	230	21,1	1500	86	0,1
Máximo		0,84	7,2	270	22,4	1700	186	0,1
Média		0,75	7,1	249,0	21,8	1615,0	146	0,1

Diferentemente do PII-1, no PII-3, a CE aumenta até o dia 22 de agosto, e depois volta a cair nos dias seguintes (Tabela 5.20). O NA do PII-3 também registra uma alta sucessiva, ao longo do tempo, também registrada no PII-1.

O pH, CE e TDS do PII-3 são bem menores que do PII-1, como se pode observar nos seus valores mínimos, máximos e na média, no mesmo período de amostragem (Tabelas 5.19 e 5.20).

Tabela 5.20 – Monitoramento do PII-3 durante a 3ª etapa de monitoramento, apresentando os valores mínimo, máximo e médio.

data	hora	NA (m)	pH	CE (mS/m)	T (°C)	TDS (mg/L)	Eh (mV)
20/ago	10:15	0,44	6,5	49	21,8	320	182
	11:30	0,42	6,8	49	21,8	320	196
	16:00	0,55	6,6	49	21,9	320	190
	17:50	0,59	6,9	49	22	320	150
21/ago	12:00	0,42	7,0	50	22,3	320	115
	13:15	0,45	6,9	50	22,3	320	123
	15:40	0,52	6,9	50	22,2	320	114
	17:00	0,57	6,9	50	22	320	118
22/ago	11:35	0,43	6,9	52	22,4	330	97
	13:00	0,40	7,0	52	22,2	330	111
	13:55	0,42	6,9	52	22,2	330	118
	16:10	0,48	6,9	52	22,2	330	129
	17:05	0,51	6,7	52	22,3	330	122
25/ago	12:25	0,53	6,7	49	21,9	320	177
	13:20	0,51	6,5	49	22	320	176
	16:10	0,55	6,7	48	22,1	310	164
	17:10	0,57	6,9	49	22,2	320	141
	18:10	0,61	7,1	50	21,8	320	179
26/ago	15:00	0,65	6,7	48	22,2	310	171
	15:55	0,65	6,7	48	22	310	172
	16:45	0,65	6,7	48	22	310	172
	17:45	0,66	6,8	45	22,1	310	144
Mínimo		0,40	6,5	45	21,8	310	97
Máximo		0,66	7,1	52	22,4	330	190
Média		0,54	6,8	49,6	22,1	320,0	144

5.2.4 Classificação das Águas

Na Figura 5.19, um diagrama de Piper, as águas do rio (representadas pela cor azul), foram classificadas como águas sulfatadas ou cloretadas sódicas; as águas do aquífero livre (de cor

verde), igualmente às do rio, são águas sulfatadas ou cloretadas sódicas; as águas do aquífero profundo são águas bicarbonatadas sódicas.

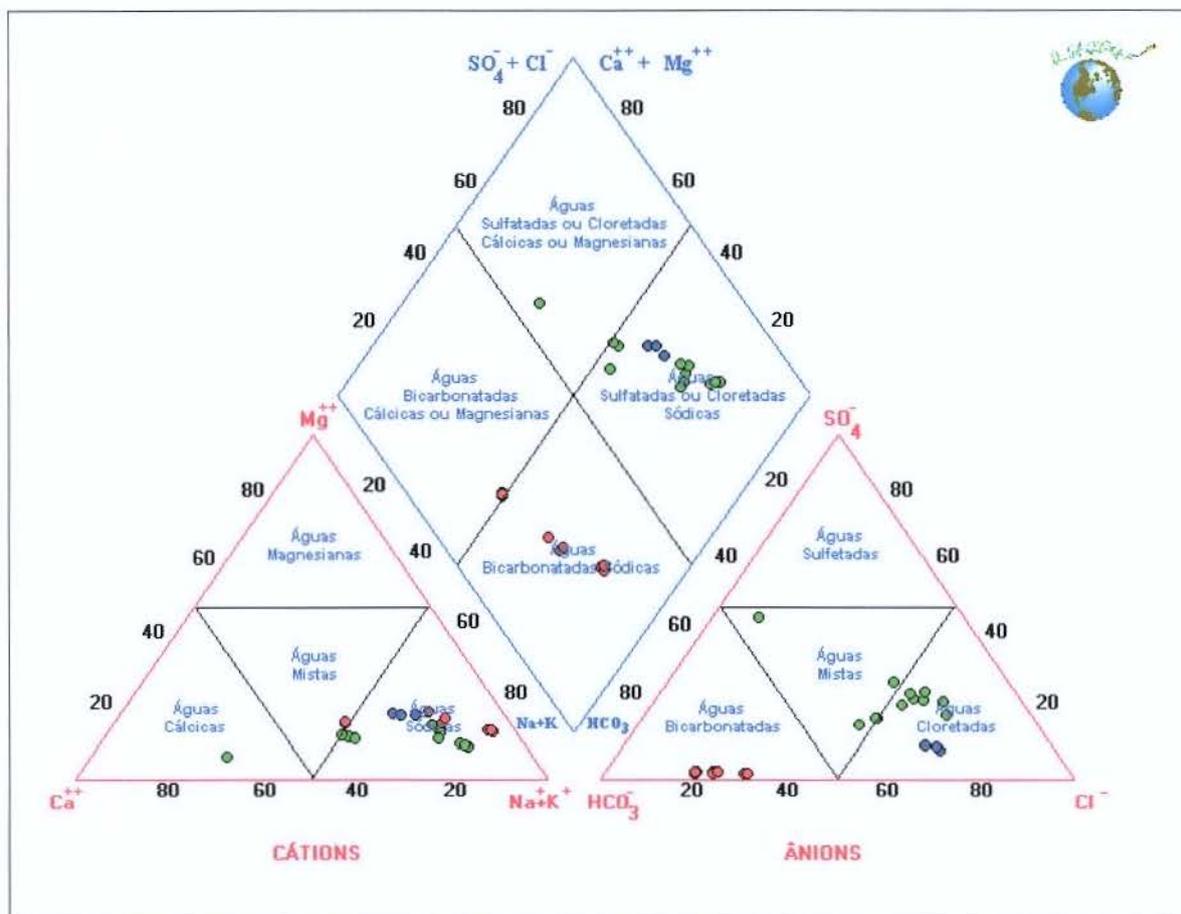


Figura 5.19 – Diagrama de Piper para classificação das águas.

Legenda: Azul= amostras do rio; vermelho=amostras dos poços profundos; verde=amostras dos poços rasos.

As águas do aquífero livre são sulfatadas, pois a área estudada compreende um estuário, rico em matéria orgânica e vários manguezais associados. Trata-se de uma planície costeira com baixa declividade e, conseqüentemente, com baixo gradiente hidráulico, onde é comum a deposição de matéria orgânica, em vários trechos dos rios e córregos da região, fazendo parte, inclusive, dos sedimentos que formam o aquífero.

A matéria orgânica está associada à formação do sulfato encontrado na água, por isso é comum nos poços rasos e na água superficial.

Nos poços profundos, não são encontrados sulfatos, no entanto, são encontrados os bicarbonatos que, na formação sedimentar deste aquífero encontra-se como uma camada de

conchas calcárias, ou coquina, de composições carbonáticas, sendo a fonte geradora do bicarbonato de cálcio.

O cloreto e o sódio classificam estas águas como cloretadas-sódicas, para os poços rasos e para o rio, e sódicas, para os poços profundos, em decorrência da interação dessas águas com as águas oceânicas que avançam pelo continente, durante as oscilações do NA. O mesmo fenômeno é também responsável pela deposição dos sedimentos que compreendem sua geologia.

A interpretação dos resultados será apresentada a seguir.

6 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo, será apresentado um estudo sobre a inter-relação das informações obtidas durante a presente pesquisa. Para isso foi executado um tratamento estatístico, com a ajuda de dois *softwares*, o “Excel” e o “Statística”.

Primeiro, foram analisadas as etapas de monitoramento, separadamente, e, com o resultado desta análise, as etapas foram confrontadas.

Estabeleceram-se, para uma correlação positiva os valores acima de 0,8, que equivalem a 80% ou mais de correlação, apesar de os valores de 0,7 também terem sido utilizados para fazer uma análise secundária.

As interpretações das correlações foram feitas, separadamente para cada aquífero, e posteriormente em conjunto, entre as águas subterrâneas e as águas superficiais, tendo-se um registro mais pleno das interações e correlações presentes nas águas do estuário estudado.

Posteriormente, é exposto o estudo da correlação mais completa e as diferenças entre as etapas de campo, ou seja, as mudanças ocorridas de uma estação do ano para outra.

6.1 1ª ETAPA

Nesta etapa, durante o monitoramento preliminar, pôde-se perceber que a interação entre os poços rasos é explícita, como se observa na análise de Cluster da Figura 6.1.

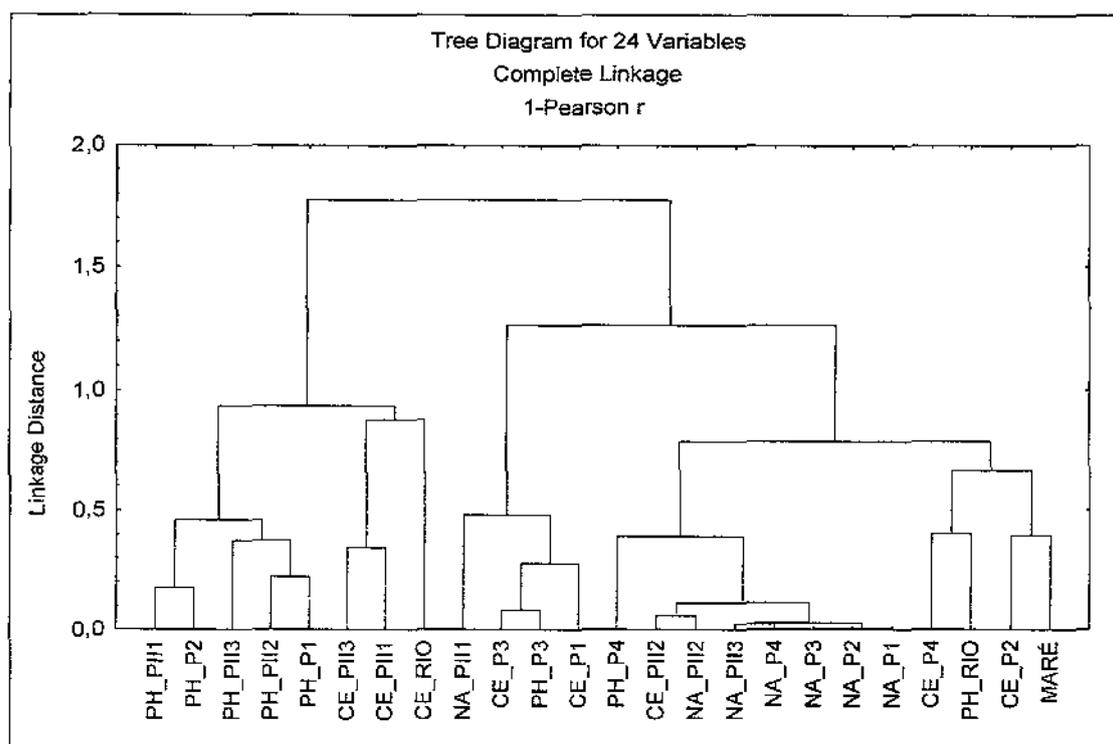


Figura 6.1 – Análise de Cluster do monitoramento *in loco* da 1ª etapa.

Na Tabela 6.1, observam-se as correlações obtidas no monitoramento da 1ª etapa, cujas análises estão descritas abaixo:

Poços rasos

Na Tabela 6.1, as correlação mais fortes, com valores de $r = 1$, são entre os NAs dos poços rasos, também observado na Figura 6.1.

Poços profundos

No PII-2, o NA estabelece valores de $r = 0,9$ com sua CE e com o NA e a CE do PII-3. O pH do PII-2 tem correlação de 0,8 com o pH do PII-3.

Águas superficiais e subterrâneas

A maré e o NA dos poços rasos e do PII-3 apresentam valores de r entre 0,7 e 0,8.

Poços rasos e profundos

Os valores de correlação mais significativos existentes ocorre entre o NA desses poços que são de aproximadamente 1, excluindo o PII-1. A CE do PII-2 estabelece valores de correlação da ordem de 0,9 com o NA dos poços rasos.

Tabela 6.1 - Matriz de correlação entre os parâmetros físico-químicos e hidrodinâmicos nos poços do Sítio de Pesquisa, na 1ª etapa de monitoramento.

		rio			P-1			P-2			P-3			P-4			PII-1			PII-2			PII-3				
		maré	pH	CE	NA	pH	CE	NA	pH	CE	NA	pH	CE														
rio	maré	1,0																									
	pH	0,5	1,0																								
	CE	0,5	0,1	1,0																							
P-1	NA	0,8	0,5	0,1	1,0																						
	pH	-0,1	0,0	0,2	0,0	1,0																					
	CE	0,2	0,0	-0,4	0,6	0,1	1,0																				
P-2	NA	0,8	0,5	0,1	1,0	0,0	0,6	1,0																			
	pH	0,1	-0,2	0,2	0,1	0,8	0,1	0,2	1,0																		
	CE	0,6	0,4	0,3	0,4	-0,3	0,1	0,4	-0,3	1,0																	
P-3	NA	0,8	0,5	0,0	1,0	0,0	0,7	1,0	0,1	0,4	1,0																
	pH	0,0	-0,1	-0,5	0,5	0,4	0,7	0,5	0,4	0,0	0,5	1,0															
	CE	-0,2	-0,3	-0,6	0,3	0,2	0,7	0,3	0,2	0,0	0,4	0,9	1,0														
P-4	NA	0,7	0,4	0,0	1,0	0,0	0,7	1,0	0,2	0,3	1,0	0,6	0,4	1,0													
	pH	0,4	0,5	-0,2	0,6	0,3	0,6	0,6	0,3	0,4	0,6	0,6	0,4	0,6	1,0												
	CE	0,4	0,6	-0,2	0,6	-0,1	0,5	0,6	-0,1	0,3	0,6	0,3	0,2	0,6	0,6	1,0											
PII-1	NA	0,0	-0,2	-0,3	0,4	-0,2	0,5	0,4	-0,2	0,0	0,4	0,6	0,6	0,5	0,1	0,2	1,0										
	pH	0,3	-0,1	0,2	0,2	0,5	0,1	0,2	0,8	-0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	-0,1	-0,1	1,0									
	CE	-0,3	-0,6	0,3	-0,4	0,2	-0,4	-0,4	0,3	-0,7	-0,4	-0,3	-0,2	-0,4	-0,5	-0,6	0,1	0,2	1,0								
PII-2	NA	0,5	0,3	-0,2	0,9	0,1	0,8	0,9	0,2	0,3	0,9	0,7	0,6	1,0	0,6	0,6	0,6	0,2	-0,3	1,0							
	pH	-0,2	-0,3	0,1	-0,1	0,8	0,0	-0,1	0,7	-0,4	-0,1	0,2	0,1	-0,1	0,1	-0,4	0,0	0,8	0,4	0,0	1,0						
	CE	0,6	0,2	-0,1	0,9	0,2	0,7	0,9	0,3	0,3	0,9	0,8	0,6	0,9	0,6	0,5	0,6	0,2	-0,3	0,9	0,0	1,0					
PII-3	NA	0,7	0,4	0,0	1,0	0,0	0,7	1,0	0,1	0,5	1,0	0,6	0,4	1,0	0,6	0,6	0,5	0,1	-0,4	0,9	-0,1	0,9	1,0				
	pH	-0,3	-0,6	0,1	-0,4	0,6	-0,2	-0,4	0,7	-0,6	-0,4	0,1	0,1	-0,3	-0,3	-0,6	0,0	0,6	0,7	-0,2	0,8	-0,1	-0,4	1,0			
	CE	-0,4	-0,4	0,1	-0,7	0,1	-0,6	-0,7	0,2	-0,7	-0,7	-0,5	-0,5	-0,7	-0,6	-0,6	-0,4	0,2	0,7	-0,7	0,3	-0,7	-0,8	0,5	1,0		

CE- Condutividade Elétrica

NA - Nivel d'Água

6.2 2ª ETAPA

Os dados obtidos, no monitoramento *in loco*, foram correlacionados e os resultados estão apresentados abaixo.

Na análise de Cluster, utilizou-se o gráfico da correlação completa de Pearson. Na Figura 6.2 observa-se que: o NA dos poços rasos, os do PII-3 e a maré estão associados num grupo homogêneo.

O Eh dos poços rasos também formam um grupo bem correlacionado (Figura 6.2). A CE do rio, dos poços rasos e dos poços profundos formam um grupo homogêneo também.

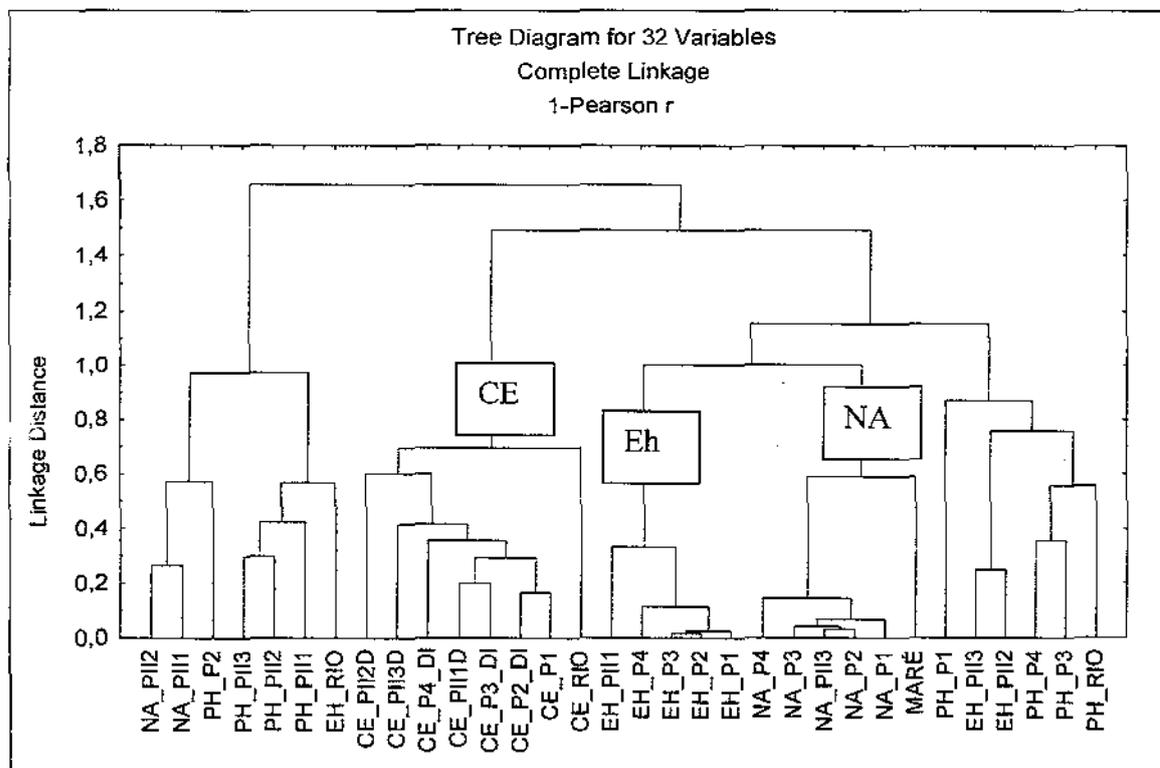


Figura 6.2 – Análise de Cluster do monitoramento *in loco* da 2ª etapa

A seguir será apresentada uma análise da Tabela 6.2, onde se encontram os valores de correlação entre as variáveis da 2ª etapa de monitoramento.

Poços rasos

O NA, CE e Eh dos poços rasos estão todos correlacionados, no entanto a CE com 0,7 em alguns deles.

A correlação é maior que 0,8 entre os poços mais próximos como o P1 e o P2; quando se aumenta a distância entre os poços como, por exemplo, entre o P1 e o P3 ou o P4, a correlação diminui; isso acontece tanto para o Eh, o NA como para a CE (Tabela 6.2).

Poços profundos

Entre os poços profundos, a correlação mais significativa foi encontrada apenas entre o PII-1 e o PII-2, nos parâmetros Eh e CE, com valores de 0,8 a 0,7.

Águas superficiais e subterrâneas

Uma correlação entre as águas superficiais e subterrâneas só foi encontrada na maré, com os poços P1 e PII-3 e, mesmo assim, foi um valor baixo, de 0,7.

Poços profundos e poços rasos

Entre os poços profundos e os poços rasos houve uma correlação significativa. O Eh e a CE do PII-1 se correlacionou com o Eh e a CE dos poços rasos, respectivamente.

O NA e a CE do PII-3 se correlacionou com o NA e a CE dos poços rasos, embora o NA obtivesse valor de maior correlação, ou seja, 1.

Durante o final da 2ª etapa de campo, entre os dias 3 e 4 de abril de 2005, houve uma mudança brusca nas medidas de CE, nas águas do rio e nas águas dos poços, ocasionadas pela elevação do NA do rio e dos poços, com a maré atingindo o máximo valor desta etapa, acompanhada de intensa chuva.

Nos mapas potenciométricos e de isocondutividade das Figuras 6.3 e 6.4, observa-se que, vinculado à elevação do NA nos poços rasos e profundos, a CE também aumentou, caracterizando a chegada da cunha salina nos aquíferos costeiros, associada com o excessivo aumento da maré e chuva intensa.

Nos poços rasos, a CE aumentou cerca de 2 mS/m e, nos poços profundos, cerca de 50 mS/m, com a subida anômala da maré.

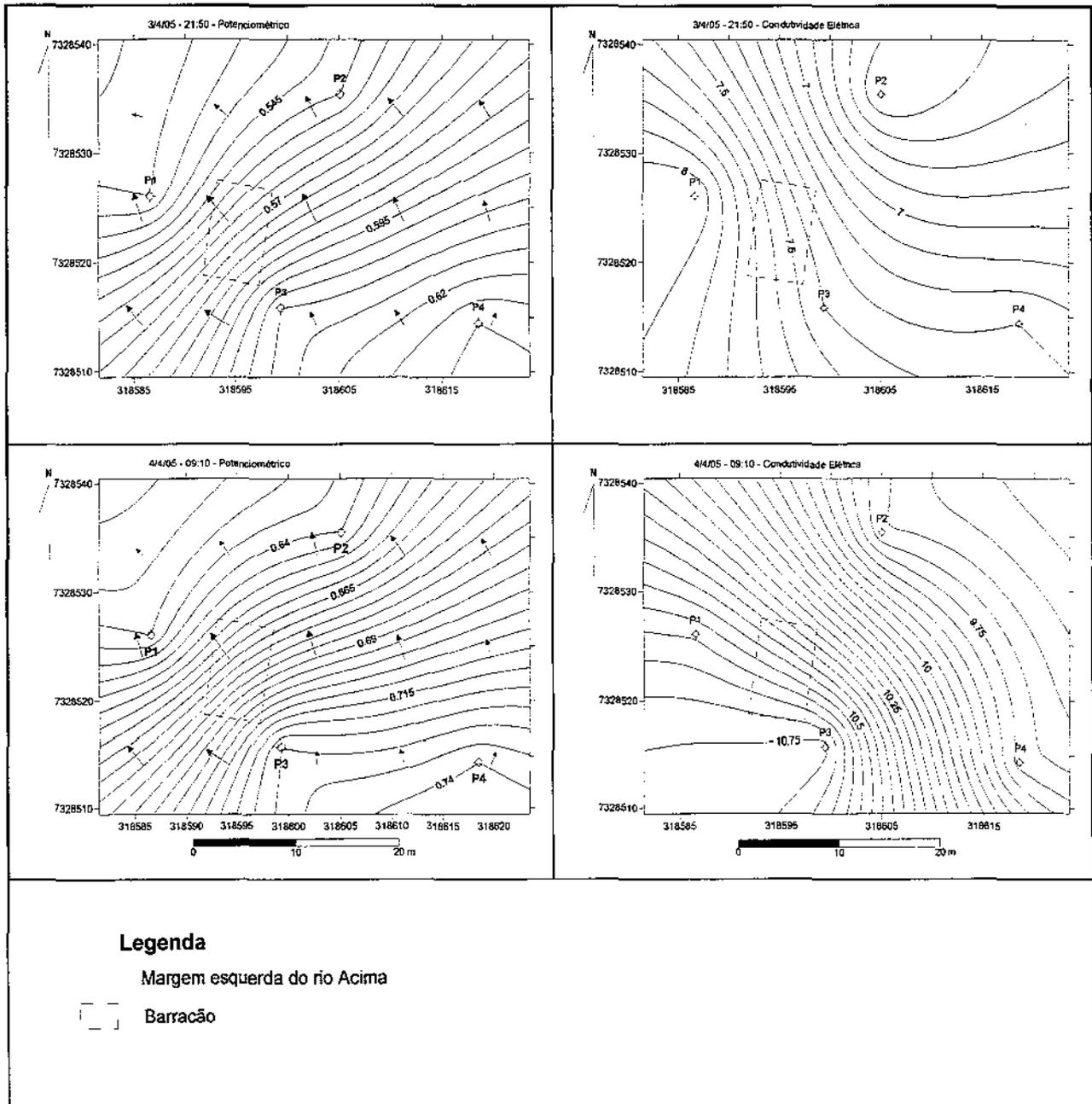


Figura 6.3 – Mapas de isolinhas potenciométricas e de Condutividade Elétrica (mS/m) do aquífero livre, nos horários de maré baixa e de maré alta máxima do dia 04/04/05.

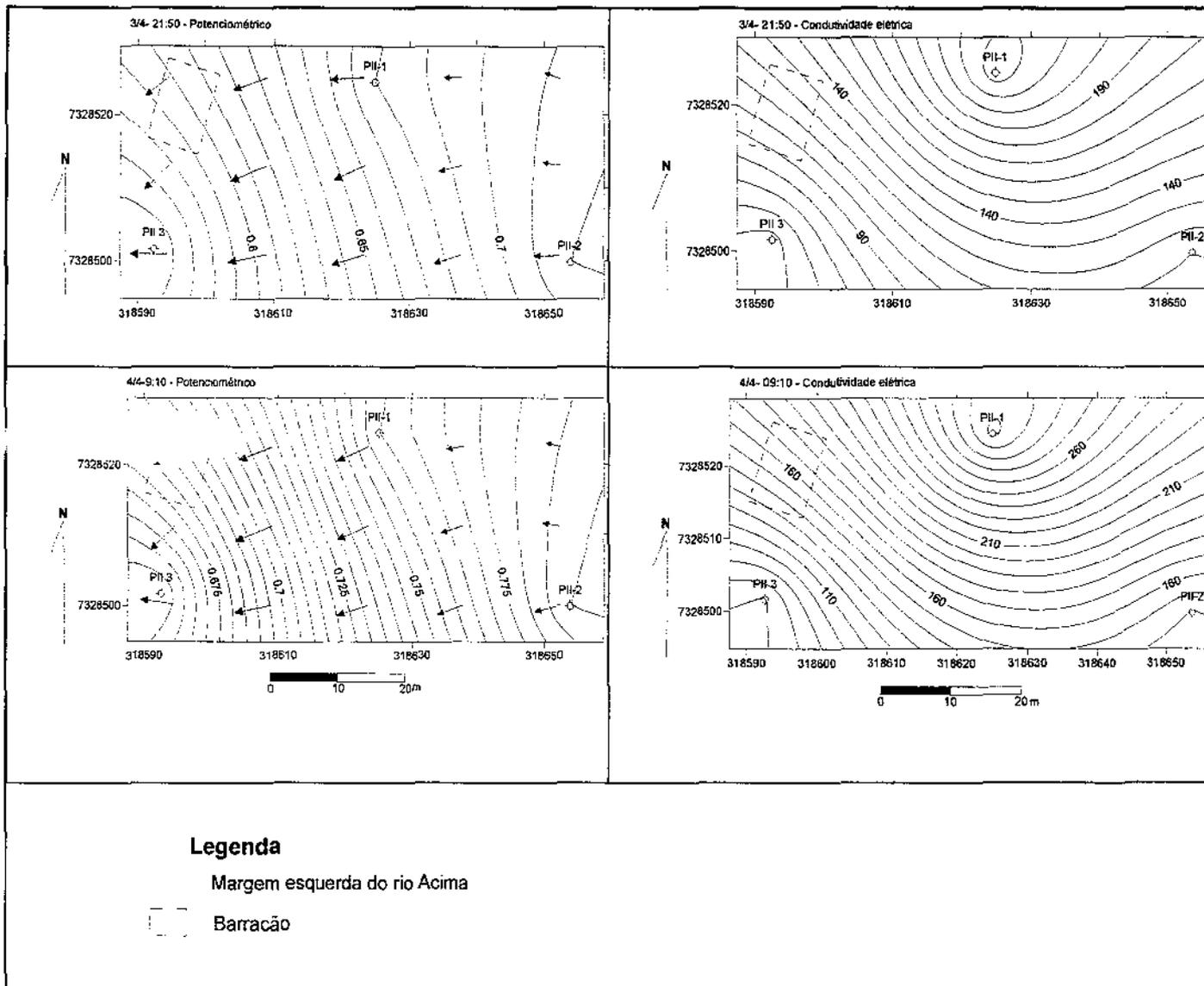


Figura 6.4 - Mapas de isolinhas potenciométricas e de Condutividade Elétrica (mS/m) do aquífero profundo, nos horários de maré baixa e de maré alta máxima do dia 04/04/05.

6.3 3ª ETAPA

Na análise de Cluster (Figura 6.5), observa-se que o NA dos poços rasos e do PII-3 e a maré estão associados em um grupo, apresentando boa correlação. A associação do Eh dos poços rasos também é evidente nesta figura, igualmente na 2ª etapa.

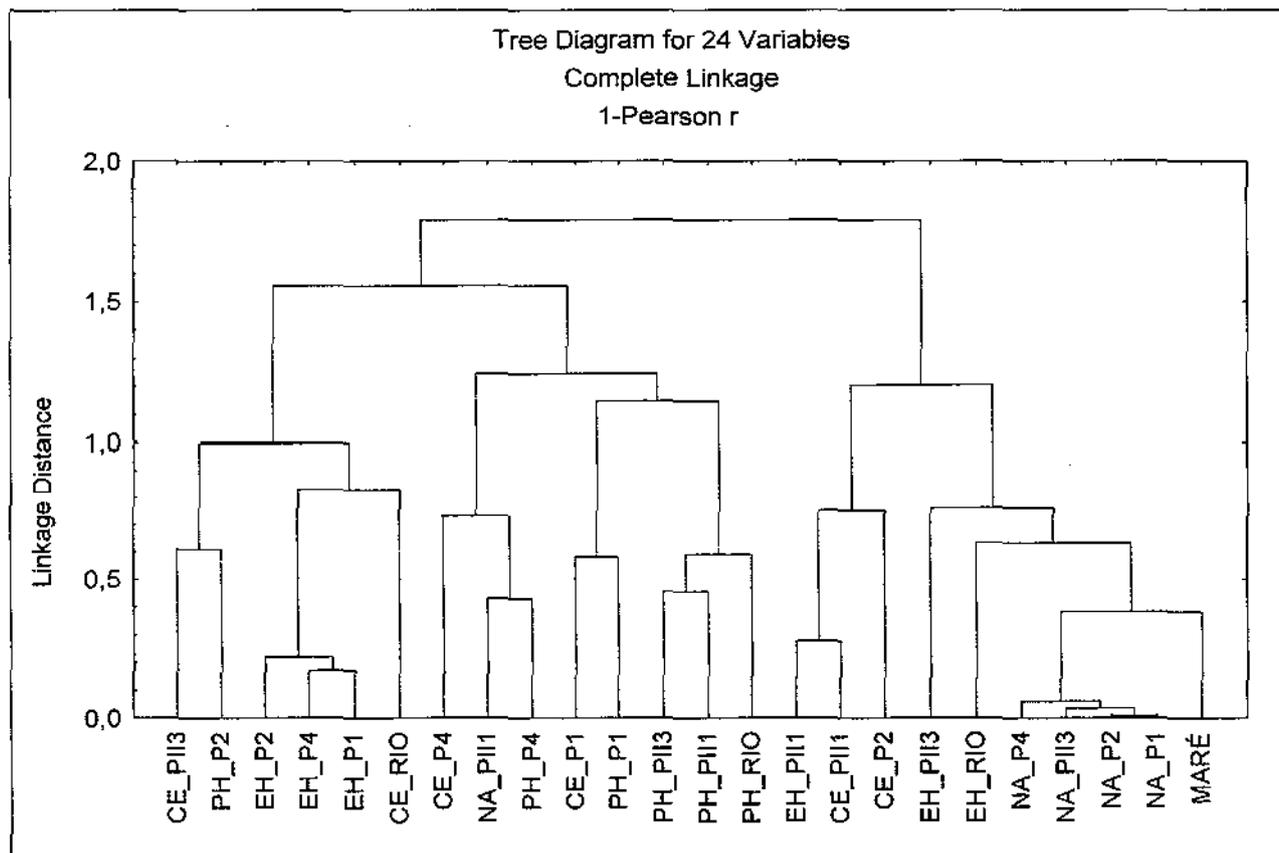


Figura 6.5 – Análise de Cluster do monitoramento *in loco* da 3ª etapa.

Adiante se fará uma análise das correlações existentes no monitoramento, *in loco*, da 3ª etapa, fazendo-se o uso da Tabela 6.3, apresentada à frente.

Tabela 6.3 - Matriz de correlação entre os parâmetros físico-químicos e hidrodinâmicos nos poços do Sítio de Pesquisa, na 3ª etapa de monitoramento

		rio				P-1				P-2				P-4				PII-1				PII-3					
		maré	pH	CE	Eh	NA	pH	CE	Eh																		
rio	maré	1,0																									
	pH	0,0	1,0																								
	CE	0,0	0,4	1,0																							
	Eh	0,4	-0,2	0,0	1,0																						
P-1	NA	0,7	0,0	-0,3	0,5	1,0																					
	pH	-0,5	0,1	-0,1	-0,1	-0,4	1,0																				
	CE	0,1	0,1	-0,2	-0,1	0,4	0,4	1,0																			
	Eh	-0,4	-0,1	0,5	-0,3	-0,7	0,0	-0,4	1,0																		
P-2	NA	0,7	0,0	-0,3	0,5	1,0	-0,3	0,4	-0,7	1,0																	
	pH	-0,2	0,4	0,2	0,0	-0,3	0,0	-0,5	0,2	-0,3	1,0																
	CE	-0,1	-0,4	-0,3	-0,1	-0,2	0,3	0,2	-0,1	-0,2	-0,1	1,0															
	Eh	-0,5	-0,4	0,2	-0,2	-0,7	0,2	-0,4	0,8	-0,7	0,1	0,2	1,0														
P-4	NA	0,6	0,1	-0,1	0,5	1,0	-0,3	0,5	-0,7	1,0	-0,3	-0,2	-0,7	1,0													
	pH	-0,2	0,3	0,4	0,1	-0,1	0,0	-0,2	0,2	0,0	0,5	-0,2	-0,1	0,1	1,0												
	CE	0,0	0,1	-0,1	0,1	0,3	0,1	0,4	-0,3	0,4	-0,2	0,2	-0,4	0,4	0,3	1,0											
	Eh	-0,5	0,1	0,5	-0,2	-0,7	0,3	-0,3	0,8	-0,7	0,0	-0,1	0,8	-0,6	0,1	-0,2	1,0										
PII-1	NA	0,0	0,2	0,1	0,5	0,4	0,1	0,2	-0,3	0,5	0,1	-0,2	-0,3	0,6	0,6	0,5	-0,3	1,0									
	pH	0,4	0,4	0,1	0,0	0,3	0,0	0,1	-0,4	0,3	0,3	-0,1	-0,6	0,3	0,2	0,4	-0,5	0,4	1,0								
	CE	0,3	-0,3	-0,8	0,1	0,3	-0,1	0,0	-0,5	0,3	0,0	0,3	-0,4	0,1	-0,2	0,0	-0,6	-0,2	0,0	1,0							
	Eh	0,3	-0,3	-0,7	0,2	0,4	-0,2	0,0	-0,5	0,4	-0,2	0,2	-0,3	0,3	-0,3	0,2	-0,6	-0,1	-0,2	0,7	1,0						
PII-3	NA	0,8	0,1	-0,1	0,6	1,0	-0,4	0,3	-0,6	1,0	-0,2	-0,2	-0,7	0,9	-0,1	0,3	-0,6	0,4	0,3	0,2	0,4	1,0					
	pH	0,0	0,5	0,1	-0,4	-0,1	0,0	-0,1	-0,2	-0,1	0,2	-0,2	-0,4	-0,1	0,1	0,1	-0,1	-0,2	0,5	0,0	-0,1	-0,1	1,0				
	CE	-0,4	0,1	0,2	-0,4	-0,7	0,0	-0,5	0,4	-0,8	0,4	0,1	0,3	-0,8	-0,1	-0,4	0,3	-0,5	-0,1	0,0	-0,2	-0,7	0,4	1,0			
	Eh	0,2	-0,2	-0,1	0,3	0,4	0,1	0,4	-0,1	0,4	-0,6	0,1	0,1	0,4	-0,3	0,2	0,1	0,2	-0,5	0,0	0,3	0,4	-0,6	-0,6	1,0		

CE - Condutividade Elétrica

NA - Nível d'Água

Poços rasos

Nos resultados da Tabela 6.3, observa-se que o NA dos poços rasos são inteiramente correlacionados uns com os outros, pois pertencem a um mesmo aquífero (Figura 6.5).

Embora 0,7 seja um valor baixo para uma correlação, é importante se destacar que o Eh dos poços rasos apresenta correlação negativa com os seus NAs.

Águas superficiais e subterrâneas

Mesmo com baixo valor, $r = 0,7$, ainda foi possível uma correlação entre o NA dos poços P1, P2 e PII-3 com a maré.

A CE e o Eh do PII-1 apresenta correlação negativa com a CE do rio, supondo que a CE do poço diminui, enquanto a CE do rio sobe e vice-versa.

Poços rasos e profundos

O NA do PII-3 apresentou uma correlação positiva, de cerca de $r = 1$, com o NA dos poços rasos, mas sua CE apresentou correlação negativa, $r = -0,8$, com os mesmos NAs dos poços rasos.

6.4 COMPARAÇÃO ENTRE AS ETAPAS

Este capítulo contém uma comparação entre as etapas estudadas, reconhecendo-se as mudanças ocorridas de uma estação do ano para outra, assim como as mudanças ocorridas em épocas diferentes do ano.

A 1ª etapa foi desenvolvida no verão, no mês de janeiro, a 3ª etapa foi desenvolvida no mês de agosto, durante o inverno, e a 2ª etapa ficou entre as duas, no início do outono, todas realizadas no ano de 2005.

Através dos estudos da maré, observou-se que no mês de janeiro foram obtidos os maiores valores; em segundo lugar, no mês de agosto e em terceiro lugar no mês de março (Tabelas 6.4, 6.5 e 6.6).

Tabela 6.4 – Mínimo, máximo e média do monitoramento da 1ª etapa.

Pontos de amostragem	maré/NA (m)			pH			CE (mS/m)		
	mínimo	máximo	média	mínimo	máximo	média	mínimo	máximo	média
Rio**	-0,18	1,58	0,44	5,6	6,7	6,1	8,5	12	10
P1	0,53	0,83	0,65	5,1	5,6	5,4	8,0	8,9	8,5
P2	0,59	0,85	0,70	5,4	5,7	5,5	7,9	9,1	8,6
P3	0,64	0,91	0,75	5,0	6,2	5,5	6,4	7,5	6,8
P4	0,70	0,95	0,81	4,8	5,7	5,3	6,9	12	8,6
PII-1	0,90	1,13	0,98	7,4	8,1	7,6	197	211	205
PII-2	0,84	1,10	0,94	7,6	7,8	7,7	78	92	86
PII-3	0,56	0,84	0,69	7,3	7,9	7,5	51	60	56
CePeRio									
P8	0,09	0,63	0,32	6,8	7,1	6,9	85	98	89
Ita***	-0,18	1,58	0,44	5,8	6,2	6,0	10	388	97
Rib****	-0,18	1,58	0,44	5,9	6,8	6,3	5,7	169	36

* Maré se refere ao rio e NA aos poços,

** Rio = rio Acima.

***Ita = rio Itanhaém.

****Rib = ribeirão Campininha

Tabela 6.5 – Mínimo, máximo e média do monitoramento da 2ª etapa

Pontos de amostragem	maré/NA (m)			pH			CE (mS/m)		
	mínimo	máximo	média	mínimo	máximo	média	mínimo	máximo	média
Rio	-0,19	1,30	0,64	6,5	8,2	7,6	10	24	13
P1	0,49	0,71	0,58	4,1	7,3	5,1	7,4	11,7	8,5
P2	0,50	0,70	0,59	4,8	5,3	5,1	6,2	9,9	7,5
P3	0,56	0,75	0,65	4,4	6,4	5,0	6,2	9,9	7,5
P4	0,62	0,79	0,69	4,7	7,8	6,1	6,4	11,2	7,9
PII-1	0,54	1,03	0,76	6,0	7,5	7,1	211	325	236
PII-2	0,63	0,89	0,77	6,8	7,6	7,3	75	165	113
PII-3	0,47	0,69	0,59	6,0	7,3	6,6	46	72	58

* Maré se refere ao rio e NA aos poços,

** Rio = rio Acima

Tabela 6.6 – Mínimo, máximo e média do monitoramento da 3ª etapa

Pontos de amostragem	maré/NA (m)			pH			CE (mS/m)		
	mínimo	máximo	média	mínimo	máximo	média	mínimo	máximo	média
Rio	-0,20	1,25	0,85	3,4	6,9	6,4	590	1100	826
P1	0,40	0,69	0,53	4,4	4,8	4,5	7,0	10,0	8,2
P2	0,43	0,67	0,54	4,7	4,9	4,8	6,0	7,0	6,3
P4	0,52	0,70	0,58	4,1	4,5	4,3	8,0	9,0	8,3
PII-1	0,68	0,84	0,75	7,0	7,2	7,1	230	270	249
PII-3	0,40	0,66	0,53	6,5	7,1	6,8	45	52	50

* Maré se refere ao rio e NA aos poços,

** Rio = rio Acima

No mês de janeiro, durante a 1ª etapa de monitoramento, a maré máxima foi de 1,58 m, a maior maré dentre as três etapas, como se pode observar nas Tabelas 6.4, 6.5 e 6.6. Este máximo está associado à chuva acumulada, durante o verão, que, neste período amostrado, foi de 52 mm, como se observa na Tabela 6.7.

Tabela 6.7 – Chuva acumulada durante os períodos de amostragem.

Etapa de monitoramento	Período de amostragem	Chuva acumulada no período
1ª etapa	24 a 31 de janeiro de 2005	52 mm
2ª etapa	29/03 a 04/04 de 2005	21,2 mm
3ª etapa	20 a 26 de agosto de 2005	3 mm

Os índices da chuva acumulada nos períodos amostrados estão registrados na Tabela 6.7 e indicam que na 1ª etapa, no verão, houve a maior quantidade de chuva. Pelos registros pluviométricos, em segundo lugar, fica a 2ª etapa e, por último, a 3ª, que foi realizada no inverno.

A maior média da maré, 0,85 m, e a mínima maré, que foi: -0,20, observadas na Tabela 6.6, foram obtidas na 3ª etapa, onde se observou a menor quantidade de chuva registrada (tabela 6.7), que foi de 3 mm. Nesta etapa, foi obtida a maior média da CE, no rio Acima.

Com relação à água subterrânea, as maiores médias de NA foram obtidas na 1ª etapa, onde se registraram os mais elevados NAs.

O pH do aquífero profundo é mais alcalino que o do aquífero livre e das águas dos rios. O Eh é mais redutor, o que demonstra um ambiente bem diferente entre ambas as situações.

No CePeRio, a água do P8, de 12,5 m de profundidade, apresenta um pH maior que o das águas superficiais. Na Tabela 6.4, o rio Itanhaém (Ita) apresenta os maiores valores de CE, pois está próximo da linha de costa e tem os menores valores de pH, em comparação às águas do P8 e do ribeirão Campininha. Embora esta diferença de pH seja baixa, mostra que o aquífero é mais alcalino que as águas superficiais.

No rio Itanhaém foi registrado o maior máximo de CE, na 1ª etapa de monitoramento; isso se explica pelo fato de que o local de coleta do rio Itanhaém é localizado próximo à sua foz, no Oceano Atlântico, tanto que a influência da maré é mais forte neste ponto analisado.

Em comparação às demais etapas, foi na 3ª etapa que as águas do rio adquiriram maior CE; um dos fatores indicadores deste aspecto foi a diminuição da pluviometria, permitindo que o mar avançasse mais facilmente para dentro do continente.

6.4.1 Íons

Existem alguns fatores que estão ligados à concentração de íons nas águas estudadas. Um é o tempo de permanência da água no aquífero, e outro fator é a presença de minerais que sirvam de fonte para a solubilização destes íons (Silva 1983). Pode-se, pelo presente estudo, adicionar um fator a mais, de extremo impacto na área estudada, a intrusão marinha, que vai influenciar na concentração iônica das águas dos rios e dos aquíferos que se conectam com estas águas.

A seguir será apresentada uma comparação da concentração iônica entre a 2ª etapa e a 3ª, pois, nestas, foram executadas as análises químicas. Desta feita, entretanto, serão usados somente os íons que apresentaram maior concentração.

Assim como no monitoramento dos parâmetros físico-químicos e hidrodinâmicos também houve diferença quanto à concentração iônica entre a 2ª e a 3ª etapas.

Os resultados das análises, assim como suas médias, podem ser observados nas tabelas 6.8, 6.9, 6.10 e 6.11, ou mais completamente no Anexo-3.

Quanto às águas subterrâneas, não se observam mudanças significativas, mas, o rio Acima, monitorado conjuntamente com os poços, apresentou uma variação significativa entre essas etapas.

Na Tabela 6.8, observam-se os resultados da 2ª etapa de campo, onde o rio apresenta as maiores concentrações de íons, em comparação aos poços rasos.

Na 2ª etapa, houve um período de chuva intenso que aumentou radicalmente a maré e, conseqüentemente, aumentou a concentração de íons no rio, como se observa no final da Tabela 6.8. A amostra 13, que foi coletada no dia 04/04/05, foi analisada, separadamente, não se incluindo no cálculo da média, pois os valores foram muito discrepantes, inclusive em relação aos poços profundos também, como demonstra a Tabela 6.9

Tabela 6.8 – Íons nas águas dos poços rasos e do rio Acima (coleta em 30/03/05 - 2ª etapa).

ponto	hora	unidade	Cl ⁻	Na ⁺	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Ca ⁺²
P1	6	mg/L	13	6,8	7,6	10	2,7	1,6
	9		15	6,6	7,8	10	2,8	1,6
	12		13	6	8,2	10	2,7	1,5
	<i>média</i>		<i>14</i>	<i>6,5</i>	<i>7,9</i>	<i>10,0</i>	<i>2,7</i>	<i>1,6</i>
P2	6	mg/L	11	6,0	5,0	17,0	0,8	4,0
	9		11	5,5	5,1	17	0,9	3,9
	12		11	6,8	4,8	17	0,8	4,1
	<i>média</i>		<i>11</i>	<i>6,1</i>	<i>5,0</i>	<i>17,0</i>	<i>0,8</i>	<i>4,0</i>
P3	6	mg/L	12	6,6	8,3	10	2	1,5
	9		12	6,8	7,8	10	1,9	1,6
	12		11	6,1	6,2	10	1,7	1,6
	<i>média</i>		<i>12</i>	<i>6,5</i>	<i>7,4</i>	<i>10,0</i>	<i>1,9</i>	<i>1,6</i>
P4	6	mg/L	13	7,3	6,4	6,7	1,3	1,2
	9		13	8,3	6,5	6,7	1,3	1,1
	12		13	7,7	6,4	6,7	1,3	1,2
	<i>média</i>		<i>13</i>	<i>7,8</i>	<i>6,4</i>	<i>6,7</i>	<i>1,3</i>	<i>1,2</i>
Rio	6	mg/L	21,4	12,6	3,8	33,6	1,8	4,7
	9		24,9	13,9	3,5	33,6	1,8	3,8
	12		24,2	13,7	4,0	33,6	1,9	4,7
	<i>Média</i>		<i>24</i>	<i>13</i>	<i>3,8</i>	<i>34</i>	<i>1,8</i>	<i>4,4</i>
	<i>13*</i>		<i>720,7</i>	<i>386</i>	<i>99,6</i>	<i>-</i>	<i>13,4</i>	<i>18,3</i>

*13= amostra coletada no dia 4 de abril de 2005, na maré mais alta, às 13 horas.

Tabela 6.9 – Íons nas águas dos poços profundos (coleta em 30/03/05 - 2ª etapa).

poço	hora	unidade	Cl ⁻	Na ⁺	PO ₄ ³⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Ca ⁺²
PII-1	6	mg/L	245	440	19	2206	32	25
	9		259	501	20	2303	41	25
	12		260	473	22	2264	36	24
	<i>média</i>		<i>255</i>	<i>471</i>	<i>20</i>	<i>2258</i>	<i>36</i>	<i>25</i>
PII-2	6	mg/L	64	121	3,6	820	14	23
	9		67	118	5,4	859	14	26
	12		85	165	8,1	1015	16	28
	<i>média</i>		<i>72</i>	<i>135</i>	<i>5,7</i>	<i>898</i>	<i>15</i>	<i>26</i>
PII-3	6	mg/L	40	59	3,3	654	8,0	40
	9		40	59	3,6	644	8,0	39
	12		40	58	3,3	664	8,0	39
	<i>média</i>		<i>40</i>	<i>59</i>	<i>3,4</i>	<i>654</i>	<i>8,0</i>	<i>39</i>

Tabela 6.10 – Íons nas águas dos poços rasos e do rio (coleta em 28/08/05 - 3ª etapa).

ponto	hora	unidade	Cl ⁻	Na ⁺	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Ca ⁺²
P1	10:50	mg/L	13,8	7,8	6,9	8,5	3,0	1,8
	14:40		13,0	7,7	8,5	7,3	4,1	1,8
	17:05		13,1	7,4	8,8	7,3	2,9	1,6
	<i>média</i>		<i>13,3</i>	<i>7,6</i>	<i>8,1</i>	<i>7,7</i>	<i>3,3</i>	<i>1,8</i>
P2	11:00	mg/L	9,1	6,4	4,6	14,6	0,9	3,5
	15:05		9,5	6,4	4,5	17,1	0,8	3,6
	17:15		9,6	6,5	4,6	17,1	0,9	3,8
	<i>média</i>		<i>9,4</i>	<i>6,5</i>	<i>4,6</i>	<i>16,3</i>	<i>0,9</i>	<i>3,6</i>
P4	11:15	mg/L	14,4	9,2	13,2	4,9	1,5	1,5
	15:30		14,8	9,1	12,5	5,5	1,4	1,5
	17:40		15,0	9,2	12,4	5,5	1,4	1,5
	<i>média</i>		<i>14,7</i>	<i>9,2</i>	<i>12,7</i>	<i>5,3</i>	<i>1,5</i>	<i>1,5</i>
Rio	11:40	mg/L	2654	1515	362	35	69	56
	15:10		3446	1924	471	39	98	74
	18:15		3333	1872	451	39	95	70
	<i>média</i>		<i>3145</i>	<i>1770</i>	<i>428</i>	<i>38</i>	<i>87</i>	<i>66</i>

Na Tabela 6.10, com os resultados da 3ª etapa, as concentrações de íons no rio são 135 vezes maiores que os da 2ª etapa (Tabela 6.8). Na 3ª etapa, a maré obteve a maior média dentre as etapas pesquisadas, significando que ela se mantém mais alta durante o inverno.

Constata-se também que, no inverno, a maré tem mais influência sobre o rio, já que a quantidade de chuva é escassa, permitindo que as águas marinhas avancem para dentro do continente, sofrendo pouca resistência das águas continentais. A falta de chuva também aumenta a concentração de íons, diminuindo a diluição.

Tabela 6.11 – Íons nas águas dos poços profundos (coleta em 28/08/05 - 3ª etapa)

poço	hora	unidade	Cl ⁻	Na ⁺	PO ₄ ³⁻	HCO ₃ ⁻	Mg ⁺²	Ca ⁺²
PII-1	11:05	mg/L	259	439	30	1074	44	24
	15:20		260	435	30	1074	44	24
	17:30		262	442	31	1074	43	24
	<i>média</i>		<i>260,3</i>	<i>438,7</i>	<i>30,3</i>	<i>1074,0</i>	<i>43,7</i>	<i>24,0</i>
PII-3	11:30	mg/L	38	56	3	303	12	49
	16:00		39	54	3	303	12	47
	17:50		39	55	3	312	12	45
	<i>média</i>		<i>38,7</i>	<i>55,0</i>	<i>3,0</i>	<i>306,0</i>	<i>12,0</i>	<i>47,0</i>

Nos aquíferos litorâneos, as estações do ano, a oscilação da maré e a pluviometria não interferiram na qualidade de suas águas, ao ponto de ter sido perceptível, nos estudos elaborados

neste trabalho, mostrando que a qualidade de suas águas, pouco se alteram, com as oscilações da maré.

Quanto à variação do NA, essas condicionantes interferem hidrodinamicamente nesses aquíferos, fazendo com eles oscilem conjuntamente com a maré.

6.4.2 Parâmetros físico-químicos versus íons

A comparação entre os parâmetros físicos-químicos, coletados no monitoramento *in loco*, pH, Eh e CE, foi correlacionada com os íons obtidos nas análises químicas.

As águas apresentaram características distintas entre cada aquífero e entre a água superficial, sendo assim, fizeram-se observações quanto à mobilidade e solubilidade de alguns elementos, nos meios estudados. Utilizaram-se para este fim, os resultados das análises químicas contidas no Anexo 3.

A solubilidade e a estabilidade da maioria dos elementos, assim como suas concentrações, em solução, dependem do pH da água. No entanto, metais alcalinos (Na, K, e Rb), alcalinos terrosos (Ca, Mg e Sr) e alguns elementos que formam radicais ácidos (N e Cl) são solúveis por todo intervalo de pH (Levinson 1974).

A matéria orgânica presente em toda planície costeira, nos rios e suas margens, inclusive fazendo parte dos sedimentos que formam os aquíferos aqui presentes, tornam o ambiente redutor, por consumir o O₂ da água.

A diferença de Eh dos aquíferos e da água do rio é relativamente pequena, de aproximadamente 150 mV, onde o aquífero livre e as águas superficiais são mais oxidantes que as águas do aquífero profundo, com valores de aproximadamente 280 e 130 mV, respectivamente.

A maioria dos elementos presentes nessas águas dependem das fontes que alimentam essas águas, como, por exemplo, da composição química dos sedimentos dos aquíferos, das rochas que fazem contato com essas águas e do contato das águas marinhas que avançam para dentro do continente.

A intrusão da água do mar pode aumentar a concentração de alguns elementos nas águas dos rios, mas não nos aquíferos, pois, durante a 3ª etapa de monitoramento, o rio alcançou concentrações muito altas, na maioria dos elementos; já, nos aquíferos, eles se mantiveram estáveis, iguais aos valores da 2ª etapa de monitoramento.

Assim, pode-se dizer, pela atual pesquisa, que a água do mar não tem influência qualitativa nas águas dos aquíferos, lembrando que as amostras foram coletadas durante uma oscilação normal da maré e não, em oscilações abruptas e intensas como ocorrem aleatoriamente; nestas últimas pode haver variação, como foi registrado no aumento da CE, nas águas subterrâneas, durante o dia 4 de abril de 2005, onde se registrou uma maré excessivamente alta, durante a 2ª etapa de monitoramento.

O bicarbonato e o cálcio presentes, em grande quantidade, nos aquíferos profundo e profundo, são justificados, por neles conter camada de conchas calcárias na sua estrutura ou composição geológica.

O fluoreto detectado é baixo, quase inexistente no rio e no aquífero livre. No profundo, existe em quantidade maior, o que deve estar associado aos sedimentos desse aquífero e a suas condições ambientais, que são de pH mais alcalino e mais redutoras que o aquífero livre, favorecendo sua solubilidade.

O fluoreto também está associado ao sódio (Silva 1983), o que se confirma no aquífero profundo, que contém muito mais Na que no aquífero livre e no rio, daí sua presença ser exclusiva no aquífero profundo; nas amostras com mais Na⁺, o fluoreto está presente em maior quantidade também.

O ferro apresenta-se em maior quantidade no aquífero livre, onde o pH é mais ácido que o da água superficial e do aquífero profundo e o ambiente também mais oxidante que o deste último. Por estes motivos, as condições ambientais favorecem para manter o ferro em solução. Aliás, os sedimentos do aquífero também podem estar contribuindo para este processo.

No inverno, na 3ª etapa de monitoramento, as concentrações de ferro aumentaram nos aquíferos, em relação à 2ª etapa, no verão. No rio, com a predominância da água marinha, o ferro diminuiu, mostrando que as águas continentais contêm mais ferro que as águas do mar.

Existem alguns fatores que coordenam a hidroquímica da região estudada. No aquífero livre e no rio, o ânion predominante é o cloreto, seguido do bicarbonato. O cátion predominante é o

sódio. Esta concentração deve-se a esses pontos estudados serem mais influenciados pelas águas marinhas.

No aquífero profundo, o ânion predominante é o bicarbonato, seguido do cloreto. O cátion predominante é o sódio. O bicarbonato está associado à camada de conchas neste aquífero. O cloreto e o sódio devem estar associados ao tempo de residência dessas águas, neste aquífero.

O aquífero profundo apresenta as maiores concentrações de íons do que o aquífero livre e o rio, a não ser em relação a alguns elementos que são: o sulfato e o ferro. O sulfato deve estar ligado às águas pluviais e às águas marinhas e, por tal circunstância, encontra-se em grande quantidade, nas águas do rio e, secundariamente, no aquífero livre.

A grande quantidade de íons presentes no aquífero profundo se deve ao fato das suas águas ficarem mais tempo presas entre os sedimentos, por conter baixa velocidade de fluxo, em relação ao aquífero livre.

As águas do aquífero livre têm uma composição química e pH muito semelhantes às águas de chuva (Levinson 1974). O pH é igual e a composição iônica se aproxima bastante das águas da chuva, o que pode ser testificado por um fator relevante, o local estudado, que também tem sua influência na composição química da água da chuva (Tabela 6.12).

Tabela 6.12 – Comparação entre as águas de chuva e as água do aquífero livre.

Variáveis (ppm)	Chuva (mg/L) *	Aquífero livre (mg/L) **
Na	9,4	7
K	0,0	2
Mg	1,2	0,8
Ca	0,8	2
HCO ₃	4	10
SO ₄	7,6	7
Cl	17	13
NO ₃	0,0	0,0
SiO ₂	0,3	3
Outros	0,02	0,02
pH	5,5	5

* Levinson 1974

** valores aproximados.

7 CONCLUSÕES

Os trabalhos para esta pesquisa foram concentrados no Sítio de Pesquisa, onde se localiza o maior número de poços de monitoramento, nas margens do rio Acima e no CePeRio (Centro de Pesquisa do Estuário do rio Itanhaém) onde se localiza um dos poços pesquisados, e está margeado pelas águas do estuário do rio Itanhaém.

Oito poços de monitoramento foram instalados em dois aquíferos diferentes. Os mais rasos, com profundidade de 6 m: P1, P2, P3 e P4, estão localizados no Sítio de Pesquisa, apresentam seus filtros, de 2 m de altura, inseridos no aquífero livre, com características de um aquífero homogêneo e isotrópico.

A composição química das águas dos poços do aquífero livre são muito semelhantes e existe uma correlação perfeita entre elas. Visualmente, as águas são límpidas e transparentes apresentando odor de enxofre, ou de gás sulfídrico.

Hidrodinamicamente, os poços rasos também apresentam características idênticas.

Os poços mais profundos, de 21 m, com filtro de 1 m: PII-1, PII-2 e o PII-3 captam água de um aquífero profundo, heterogêneo e anisotrópico. Este aquífero está sobre uma camada de argila siltosa orgânica e contém, no seu topo, uma camada de conchas calcárias, de aproximadamente 0,5 m, que reagem com a água, tornando-a rica em bicarbonato de cálcio.

O P8, de 12,5 m, localiza-se no CePeRio, cujo filtro, de 1m, está assentado num aquífero arenoso, abaixo de duas camadas de argila siltosa orgânica, numa área de manguezal.

No CePeRio, o ribeirão Campininha e o rio Itanhaém aumentam a CE com o recuo da maré, diferentemente do que ocorre no P8, que está exatamente implantado nesta região. Sugere-se, então, que este poço está localizado num aquífero profundo, não só por responder, diferentemente, do comportamento químico das águas superficiais de seu entorno, que distam cerca de 10 m deste, como por estar abaixo de duas camadas semi-impermeáveis, de argila orgânica siltosa de mangue.

As águas dos poços mais profundos, de 21 m, do Sítio de Pesquisa, e o de 12,5 m do CePeRio obtêm os valores de pH maiores, em relação às dos poços mais rasos e superficiais, que mantêm o pH neutro.

No aquífero livre, o pH é mais ácido do que no aquífero profundo e na água do rio, atinge até índices de $\text{pH} = 4,1$. Conclui-se que o pH, o Eh e a composição química dos sedimentos influenciam a composição química das águas dos aquíferos.

O ferro é elemento quase que exclusivo do aquífero livre, possivelmente pelo fato de ser móvel, em ambiente ácido e oxidante, que é como se comportam as águas deste aquífero, em comparação aos outros ambientes estudados, ou seja, as águas superficiais e o aquífero profundo.

O estuário do rio Itanhaém tende a ser um ambiente redutor, pois existe grande quantidade de matéria orgânica que consome o O_2 da água. O aquífero profundo apresenta os valores de Eh mais baixos que os das águas superficiais e do aquífero livre.

O íon fluoreto foi detectado, apenas, no aquífero profundo, mesmo em quantidade pequena, e neste aquífero existem as maiores concentrações de íons, inclusive o sódio, que está associado ao íon fluoreto.

Na 2ª etapa de monitoramento, a qualidade química do aquífero livre e do rio Acima foi muito semelhante, no Sítio de Pesquisa. Quanto ao aquífero profundo, era bem diferente.

Na 3ª etapa, no inverno, o rio aumentou muito sua concentração iônica e diversificou bastante, em relação ao aquífero livre, que manteve sua qualidade estável, de uma etapa para outra.

Mesmo o PII-3, que apresentou comportamento que se correlacionava com o aquífero livre, apresentou concentração iônica maior que no aquífero livre.

O PII-3 é, dentre os poços profundos, o mais próximo ao rio e está localizado numa altitude com cota inferior a 1,4 m; quando os demais, estão em cotas acima de 1,9 m. Este desnível é relativamente alto, já que a área é uma planície costeira praticamente plana, com desnível de, aproximadamente, 10 cm/km.

A localização do PII-3 está possivelmente próxima a uma área de nascente, tanto que seu comportamento se aproxima bastante dos poços rasos, localizados no aquífero livre, onde deve haver bastante influência das águas superficiais.

Pode-se afirmar ainda, que, pelos resultados obtidos, as águas do aquífero livre e do rio Acima são sulfatadas ou cloretadas sódicas e que, as do aquífero profundo são águas bicarbonatadas sódicas.

Hidrodinamicamente, todos os poços são influenciados pela maré, cuja variação, oscilação e tempo de resposta são diferentes para cada aquífero. O livre, com condutividade hidráulica maior, cerca de 10^{-4} m/s, oscila 5 vezes menos que a amplitude da maré.

O aquífero profundo oscila 11 vezes menos que a maré, o que se constitui numa oscilação bem sutil, e que se explica pelo fato da condutividade hidráulica desse aquífero ser menor, cerca de 10^{-6} m/s.

Quanto ao tempo de resposta da maré, os dois aquíferos estudados no Sítio de Pesquisa apresentaram valores semelhantes. O livre responde com um atraso de 1 hora, e o profundo, com atraso de 1:30 horas. A maré é registrada no CePeRio e, até chegar ao Sítio de pesquisa, que dista do poço aproximadamente 3 km, demora 1 hora.

No Sítio de Pesquisa, a direção do fluxo hidrodinâmico no aquífero livre é para NW, na direção do rio; este aquífero tem velocidade média linear, da ordem de 10^{-6} m/s, e transmissividade, de $205 \text{ m}^2/\text{dia}$.

O aquífero profundo, localizado a 19 m de profundidade, aproximadamente, tem fluxo hidrodinâmico para WSW, também na direção do rio Acima, no Sítio de Pesquisa. A sua velocidade média linear é da ordem de 10^{-8} m/s e a transmissividade é de $13 \text{ m}^2/\text{dia}$, bem menores que as do aquífero livre. Estes resultados se dão pelo fato de o aquífero profundo ser composto por material silto-argiloso, com baixa condutividade hidráulica, diferente do aquífero livre que é composto por areia média inconsolidada, com condutividade hidráulica maior.

O volume de água nos aquíferos aumenta durante a subida da maré, entretanto, pode-se observar que esse aumento não provem da água do rio, pois a qualidade química das águas dos mesmos se mantém estável. O volume de água acrescida no aquífero livre, durante um dia normal, onde a oscilação do NA é normal, chega a 89 m^3 , numa área de 670 m^2 . Já no aquífero profundo, esse volume é muito baixo, pois o NA varia pouco.

Em dias onde a maré sobe intensamente, junto aumenta o volume nos poços, como ocorreu no dia 04/04/05. Nesta ocasião, os NAs dos aquíferos variaram bastante e, concordantemente, esse volume aumentou, chegando a 190 m^3 no aquífero livre, de uma mesma área e, 290 m^3 , no aquífero profundo, numa área de 1.500 m^2 , a qual engloba todos os poços estudados.

Em dias onde a maré oscila normalmente, o aumento do volume de água nos aquíferos não interfere quimicamente na sua qualidade, diferente dos dias com maré anômala, onde esta qualidade pode variar.

Do volume de água que aumentou a espessura de saturação dos aquíferos, no dia 04/04/05, fato citado anteriormente, pode-se dizer que, ao menos uma parte deste volume teve influência do rio, pois, a qualidade química da água se alterou, aumentando a CE e os STD nas águas dos aquíferos, embora menos que nas águas superficiais.

Hidroquimicamente, os poços variam muito pouco com a intrusão salina, durante o avanço da maré. Apenas no final da 2ª etapa de campo, onde ocorreu intensa chuva na região e a maré subiu abruptamente, foi registrada a chegada da cunha salina, nos poços rasos e nos profundos. Nos poços rasos, a CE chegou a aumentar 2 mS/m e nos poços profundos, 20 mS/m, voltando depois, aos níveis normais.

Por ter uma influência direta com as águas marinhas do oceano, o rio altera rapidamente suas concentrações iônicas, ora com o avanço da maré, aumentando sua concentração iônica e, ora com o refluxo, diminuindo sua concentração, sem dúvida, por se achar mais influenciado pelas águas continentais.

No período de inverno, no qual o rio foi monitorado durante a 3ª etapa de campo, este apresentou as maiores concentrações iônicas dentre todas as etapas, como podem ser confirmadas pelos registros, com maiores valores de CE, exatamente nesta etapa.

O fato do rio apresentar os maiores valores de CE e de concentração iônica na 3ª etapa, ou no inverno, ocorre porque nesta estação, a quantidade de chuva é muito escassa e a maré apresenta-se na média, portanto, mais elevada que nas outras etapas.

Outro fator que confirma a observação anterior é que, nos períodos de maior precipitação pluviométrica, as águas ficam mais diluídas, com a ação das águas da chuva.

A 3ª etapa apresentou as menores quantidades de chuva, 3 mm, em comparação aos outros períodos amostrados, como a 1ª etapa, 52 mm, que foi realizada no mês de janeiro, no verão.

Como diminui a quantidade de águas continentais nos rios, as águas marinhas avançam com mais facilidade para dentro do continente, aumentando a salinidade, a concentração de íons e a CE, nas águas do rio, ficando caracterizada, assim, uma intrusão salina mais intensa, no inverno.

No entanto, a chegada de uma frente fria, como aquela, registrada no final da 2ª etapa de campo, ocorrida no dia 04/04/05, e que elevou brusca e rapidamente o NA dos poços rasos e profundos, no Sítio de Pesquisa e na maré. Este evento aumentou em 30 vezes, a concentração iônica e a CE no rio Acima, e chegou a inundar surpreendentemente, o píer do Sítio de Pesquisa, fato que não ocorrera sequer uma vez, durante a 3ª etapa.

Se, entretanto, forem comparadas a concentração de íons provocada por este evento, ocorrido na 2ª etapa, com a concentração de íons registrada na 3ª etapa, sem nenhuma chuva praticamente, os valores desta última são, ainda, muito maiores. Este resultado confirma que, no inverno, as concentrações iônicas são maiores.

Estratigraficamente, no CePeRio, foram encontrados dois níveis de argila: o primeiro, a 5 metros de profundidade, com 2 metros de espessura; e o segundo, a 8m, com 3,5m de espessura; ambos estão associados às características do manguezal, aí existente, com sua habitual e intensa riqueza em matéria orgânica.

No Sítio de Pesquisa, na profundidade de 18,5m, encontra-se uma camada de conchas calcárias (coquinas) com 1,5m de espessura, em seguida, tem-se uma camada de silte argiloso, a 20m de profundidade, sobre os quais estão assentados os filtros dos poços profundos. A esta camada de silte argiloso e de conchas se associa a grande concentração de íons nas águas deste aquífero e, também, a sua classificação bicarbonatada.

O local estudado apresenta condições excelentes para se fazerem pesquisas comparativas, ambientais e hidrogeoquímicas. O Sítio de Pesquisa é um local preservado de ações antrópicas poluidoras ou degradantes, obtendo-se, assim, um background interessante dos aquíferos e dos rios estudados.

Na região pesquisada, as águas doces podem provir de nascentes localizadas, geologicamente, no Embasamento Cristalino, mais especificamente na Serra de Itatins, entidade geomorfológica da Serra do Mar, sendo, suas vazões, dependentes dos índices pluviométricos.

Através de um estudo minucioso nos registros do marégrafo, onde se analisaram os anos de 2003 e 2004, descobriu-se que, durante a ocorrência de luas cheias obtêm-se as maiores oscilações da maré e, conseqüentemente, maiores variações hidrodinâmicas e hidroquímicas, nas águas superficiais estudadas.

Na região estudada, sem dúvida, encontra-se um estuário de grande importância ecológica, ambiental e econômica, para a região e para a vida aquática e terrestre. Por ser influenciado tanto pelas águas doces provenientes dos rios, quanto pelas águas salgadas, vindas do Oceano Atlântico, este ambiente estuarino é riquíssimo pelas suas características geológicas; ainda mantidas, preservadas, em muitos dos seus aspectos originais. Essas características podem possibilitar novas investigações científicas que, certamente, virão a contribuir para o

aprofundamento dos estudos sobre o significativo ambiente estuarino e a importância na preservação da vida e das águas.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaral P.G.C. 2003. *Contribuição palinológica ao estudo da evolução do manguezal do rio Itanhaém, litoral sul de São Paulo*. Dissertação de Mestrado. Programa de pós graduação em Geologia Sedimentar. IG/USP, 71p

Angulo R.J. & Lessa G.C. 1997. The Brazilian sea-level curves: a critical review with emphasis on the curves from the Paranaguá and Cananéia regions. *Marine Geology*, **40**: 141-166.

Campos H. C. N. S. 1993. *Caracterização e cartografia das províncias hidrogeoquímicas do Estado de São Paulo*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências (Programa de Pós-graduação em Geoquímica e Geotectônica), Universidade de São Paulo-USP, 177 p.

Capone D.G. & Bautista M.F. 1985. A groundwater source of nitrate in nearshore marine sediments. *Nature*. **313**: 214-216.

Crowley T.J. & North G.R. 1996. *Paleoclimatology*. 1ª ed. Oxford University. Press. Oxford, 349p. Cap. 3-Reconstructing climate of the last 20.000 years 47-70p. Cap. 6-Temporal trends in pleistocene climates 110-131p. Cap.7-Times series analysis of paleoclimate records 132-151p.

Custódio E. & Llamas M.R. 1976. *Hidrologia subterrânea*. Omega, Barcelona, 2359p.

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica. 1979. *Estudo de águas subterrâneas. Região administrativa-2-Santos, São Paulo-SP*. Autor: ENCO. 3v. 18 pp.

CBH-BS (Comitê de Bacias Hidrográficas – Baixada Santista). 2000. *Relatório Zero: Minuta Preliminar do Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da UGRHI 7*. São Paulo-SP, Autor: CETEC.

DNPM/CPRM – Departamento Nacional de Pesquisa Mineral/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 1983. *Mapa Hidrogeológico do Brasil*, escala 1:5.000.000.

Fairbridge R.W. 1980. The Estuary: Its definition and geodynamic cycle. In: Olausson, E. & Cato, I. (eds). *Chemistry and biochemistry of Estuaries*. New York, Wiley, 1-35pp.

Feitosa F.A.C. & Manoel Filho J. 1997. *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. CPRM/Universidade de Pernambuco, Fortaleza, 389p.

Fetter, C.W. 2001. *Applied Hydrogeology*. Prentice-Hall, New Jersey, USA, 598p.

Fúlfaro V.J. & Ciantelli Junior C.A. 1979. A Planície de Itanhaém, SP. In: SBG, Simp. Regional Geol., 2, *Atas*, v.1:279-290 p.

Giannini P.C.F. 1987. *Sedimentação quaternária na Planície Costeira de Itanhaém-Peruíbe (SP)*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo-USP, 104p.

Governo do Estado de São Paulo. 1990. Plano Estadual de Recursos Hídricos – primeiro plano do estado de São Paulo, síntese. 97pp.

Hidroplan 1995. Plano Integrado de aproveitamento e controle dos recursos hídricos das Bacias do Alto Tietê, Piracicaba e Baixada Santista. DAEE Consórcio Hidroplan. 237 p.

Hoguane A.M., Hill A.E., Simpson J.H., Bowers D.G. 1999. Diurnal and Tidal variations of temperature and salinity in the Ponta Rasa mangrove Swamp, Mozambique, *Estuar. Coast. Shelf Sci*, **49**: 251-264.

Hvorslev, M.J. 1951. Time lag and soil permeability in ground water observations. U.S. Army Corps of Engineers Water-way Experimentation Stations, Bulletin 36.

Hughes C.E., Binning P., Willgoose G.R. 1998. Characterization of the hydrology an estuarine wetland. *J. Hydrol.*, **211**: 34-49.

Jiao J.J. & Tang Z. 1999. An analytical solution of groundwater response to tidal fluctuation in a leaky confined aquifer, *Water Resour. Res.*, **3**: 747-751.

Karro E., Marandi A., Vaikmäe R. 2004. The origin of increased salinity in the Cambiran-Vendian aquifer system on the Koplí Peninsula, Northern Estonia, *Hidrogeol. J.*, **4**: 424-435

Kitheka J. U. 1998. Groundwater outflow and its linkage to coastal circulation in a Mangrove-fringed Creek in Kenya, *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **47**: 63-75.

Lage I. C. & Braga C. E. 2003. Caracterização geológica e hidrogeológica de uma área de manguezal em indústria petroquímica. In: ABAS, Simp. Hidrog. Sudeste, 1, *Anais*, 205-216p
Lamparelli C.C. (coord.) 1999. *Mapeamento dos ecossistemas costeiros do Estado de São Paulo*. Secr. Meio Ambiente, CETESB, São Paulo, 108 pp.

Ledru M.P. & Mourguiart P. 2001. Late glacial vegetation records in the Americas and climatic implications. In: *Interhemispheric Climate Linkages*. Academic Press, 371-320.

Levinson A.A. 1974. *Introduction to Exploration Geochemistry*. Applied Publishing Ltd, Calgary, 191 p.

Lopes M.C. 1984. Água subterrânea no estado de São Paulo – síntese das condições de ocorrência. In: ABAS, Congr. Brasil. Água Subter., 3, *Anais*, 305-316p.

Martin L., Suguio K., Flexor J.M. 1993. As flutuações do nível do mar durante o Quaternário superior e a evolução geológica de “deltas” brasileiros. *Boletim IG-USP. Publicação especial*, 15:173pp.

Medeiros C. & Kjerfve B. 1993. Hydrology of a tropical estuarine system: Itamaracá, Brazil. 1993. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **36**: 495-515.

NBR 13895. 1997. *Construção de poços de monitoramento e amostragem*. ABNT, RJ, 21 pp.

Nybakken J.W. 2001. Marine biology. An ecological approach. 5ªed. Benjamin Cummings. San Francisco, 516pp. Cap. 8-Estuaries and Salt marshes 329-347p. Cap.9-Tropical communities 416-425.

Oliveira D. 1999. *Análise ambiental dos canais da Bacia Hidrográfica do rio Itanhaém-SP, Brasil, com base em tecamebas e foraminíferos*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista – Unesp/Rio Claro, 79 p.

Rocha G.A. 1986. Risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo. In: CEPIS, Reunião do Comitê do Programa de Prevenção e Controle de Contaminação das Águas Subterrâneas, 2, *Manuscrito*, Cidade do México. 30pp.

Schwartz M.C. 2003. Significant groundwater input to a coastal plain estuary: assessment from excess radon, *Estuar. Coast. Shelf Sci*, **56**: 31-42.

Silva A. T. S. F., Chiodi Filho C., Chiodi D. K., Pinho Filho W. D. 1977. *Projeto Santos-Iguape*, São Paulo, DNPM/CPRM, 3 vol.

Silva A. T. S. F., Chiodi Filho C.; Chiodi D. K., Algarte J. P. 1978. Geologia Integrada das Folhas Cananéia e Iguape. In: SBG, Congr. Bras. de Geol., 30, *Anais*, v.1, p. 208-221.

Silva R. B. G. 1983. *Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas do Aquífero Botucatu no estado de São Paulo*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo – USP/São Paulo, 133 p.

Stanley S.M. 1998. Earth system history. W.H. Freeman and Company. USA. 615p. Cap. 19- The Neogene World, 519-558p e Cap. 20 – The Holocene, 559-583p.

Suguio K. & Martin L. 1978a. Formações quaternárias marinhas do litoral paulista e sul fluminense. In: IGCB/IGUSP/SBG, Internat. Symp. Coast. Quatern.. *Special Publication*, São Paulo, n.1, 55 p.

Suguio K. & Martin L. 1978b. Itanhaém. Mapas Geológicos cobrindo a costa paulista. DAEE/FAPESP, São Paulo.

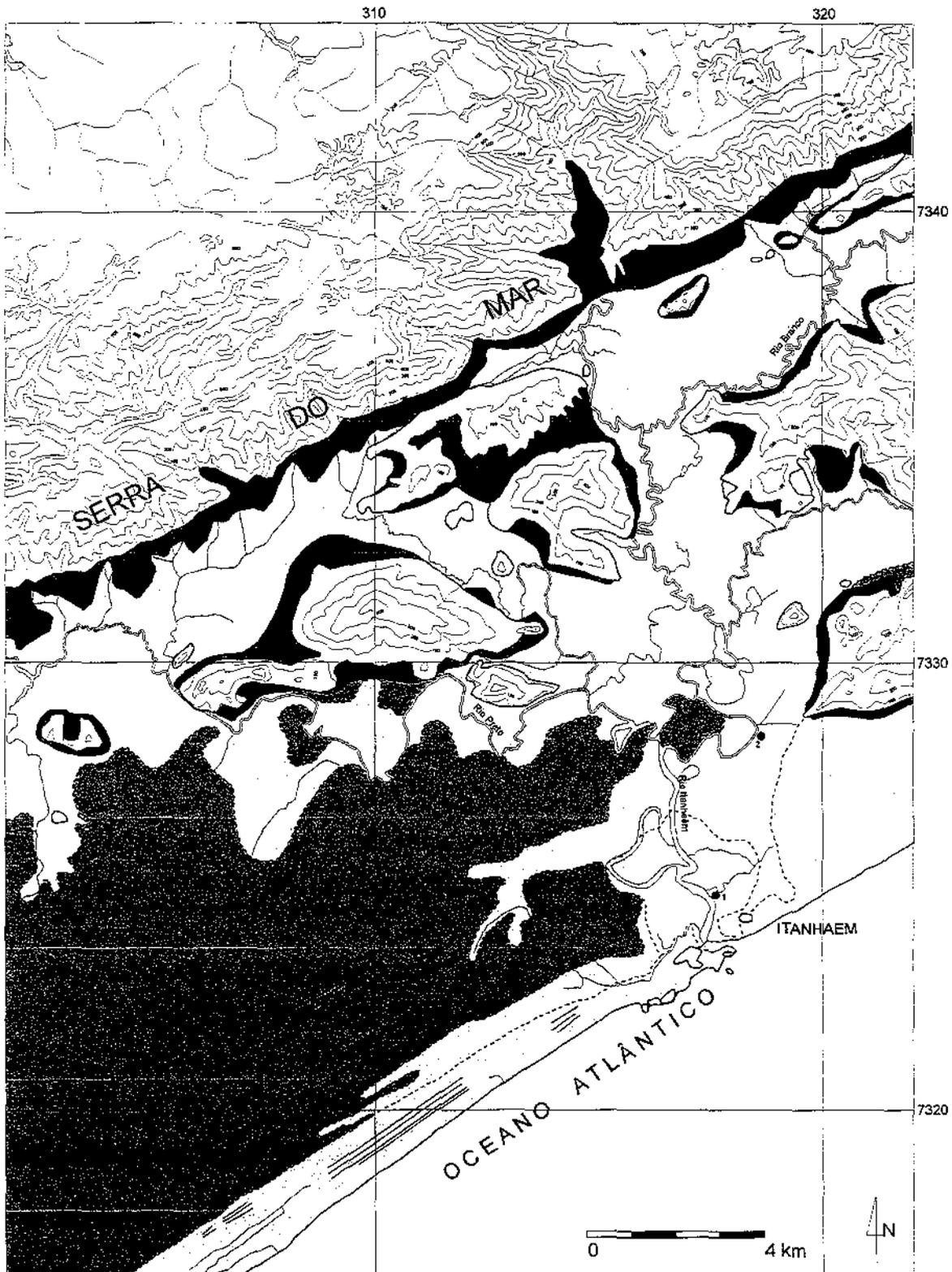
Ulbrich H.H.G.J. & Gomes C.B. 1981. Alkaline rocks from continental Brazil. *Earth Sci. Rev.*, **17**: 135-154.

Westbrook S.J., Rayner J.L., Davis G.B., Clement T.P. Bjerg P.L., Fisher S.J. 2005. Interaction between shallow groundwater, saline surface water and contaminant discharge at a seasonally and tidally forced estuarine boundary. *J. Hidrol.*, **1-4**: 255-269 p.

ANEXOS

Anexo – 1	Mapa Geológico.....	105
Anexo – 2	Fotografias	106
Anexo – 3	Análises químicas.....	112

Anexo 1 - Mapa Geológico



Fonte: Amaral 2003

Legenda

Holoceno Indiferenciado

-  Sedimentos continentais - coluvinares (areia e argila)
-  Sedimentos de mangue (areia e argila)

Holoceno - Formação Santos

-  Sedimentos flúvio-lagunares (areia e argila)
-  Sedimentos costeiros (areia)

Pleistoceno - Formação Cananéia

-  Sedimentos costeiros (areia)

Pré-Cambriano

-  Granitos, xistos e migmatitos

 Curvas de nível

 Rios

 1-CePeRio, 2-Sítio de Pesquisa

ANEXO – 2

ÍNDICE DE FIGURAS – FOTOGRAFIAS.

Figura 1 – Píer do Sítio de Pesquisa sendo inundado, durante a máxima maré, registrada no dia 4 de abril de 2005.	107
Figura 2 – Amostra de água do rio Acima, durante maré baixa.	107
Figura 3 – Filtragem de amostra em campo.	109
Figura 4 – Monitoramento dos parâmetros físico-químicos, no Sítio de Pesquisa.	109



Figura 1 – Píer do Sítio de Pesquisa sendo inundado, durante a máxima maré, registrada no dia 4 de abril de 2005.



Figura 2 – Coleta de amostra de água do rio Acima, durante maré baixa.



Figura 3 – Filtragem de amostra em campo.

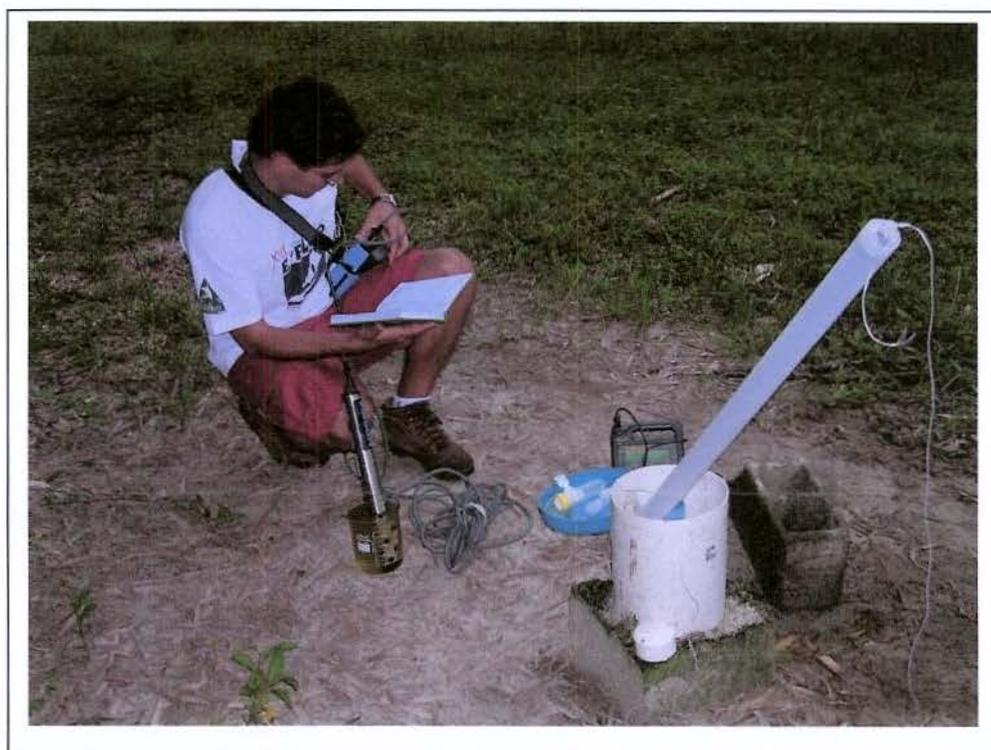


Figura 4 – Monitoramento dos parâmetros físico-químicos, no Sítio de Pesquisa.

Anexo 3

Resultado das análises iônicas e parâmetros físico-químicos (coleta em 30/03/05)

Poços	hora	unidade	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	Br ⁻	*N-NO ₃ ⁻	*N-NO ₂ ⁻	HCO ₃ ⁻	Na	K	SI	Mg	Cu	Sr	Co	Mn	Cu	PO ₄ ⁺	Zn	Pb	Al	Ba	Cd	Ni	Fe	Cr	pH	CE	Eh	
P1	6	mg/L	0,02	13	7,6	0,62	na	na	10	6,8	2,7	4,9	0,8	1,6	0,021	na	0,017	na	na	na	na	0,23	0,041	na	na	0,6	na	5	8	252	
	9		0,02	15	7,8	0,88	0,01	na	na	10	6,6	2,8	4,8	0,8	1,6	0,02	na	0,015	na	na	na	na	0,21	0,042	na	na	0,53	na	4,9	8	271
	12		0,06	13	8,2	0,52	na	na	na	10	6,0	2,7	4,0	0,8	1,5	0,018	na	0,013	na	na	na	na	0,18	0,034	na	na	0,42	na	5	8	269
P2	6	mg/L	0,01	11	5,0	0,47	na	na	17	6,0	0,8	3,5	0,7	4,0	0,043	na	0,009	na	na	na	na	0,19	0,017	na	na	0,47	na	5,3	7	233	
	9		0,02	11	5,1	0,46	na	na	na	17	5,5	0,9	3,4	0,7	3,9	0,044	na	0,008	na	na	na	na	0,082	0,014	na	na	0,2	na	5,1	8	245
	12		0,03	11	4,8	0,49	na	na	na	17	6,8	0,8	3,4	0,8	4,1	0,044	na	0,008	na	na	na	na	0,22	0,017	na	na	0,41	na	5,3	8	256
P3	6	mg/L	n.a.	12	8,3	0,57	na	na	10	6,6	2,0	4,4	0,7	1,5	0,021	na	0,015	na	na	0,007	na	0,27	0,039	na	na	0,65	na	4,9	8	248	
	9		0,02	12	7,8	0,52	na	na	na	10	6,8	1,9	3,9	0,7	1,6	0,021	na	0,013	na	na	na	na	0,27	0,04	na	na	0,59	na	4,8	8	256
	12		n.a.	11	6,2	0,59	na	na	na	10	6,1	1,7	3,6	0,6	1,6	0,02	na	0,012	na	na	na	na	0,27	0,028	na	na	0,54	na	5,2	7	280
P4	6	mg/L	0,02	13	6,4	0,69	na	na	6,7	7,3	1,3	5,6	0,4	1,2	0,016	na	0,011	na	na	na	na	0,36	0,038	na	na	0,92	na	7,3	8	222	
	9		0,03	13	6,5	0,76	na	na	6,7	8,3	1,3	4,8	0,4	1,1	0,016	na	0,011	na	na	0,009	na	na	0,4	0,041	na	na	0,93	na	5,7	8	227
	12		n.a.	13	6,4	0,74	na	na	6,7	7,7	1,3	5,0	0,5	1,2	0,016	na	0,01	na	na	na	na	na	0,39	0,039	na	na	0,92	na	6,5	8	228
PII-1	6	mg/L	0,37	245	n.a.	0,65	na	na	1103	440	32	20	39	25	0,24	na	0,033	na	18,6	0,056	na	na	na	na	na	0,43	na	7,2	270	170	
	9		0,45	259	0,9	1,01	na	na	1152	501	41	18	41	25	0,24	na	0,036	na	19,5	0,049	na	na	na	na	na	0,41	na	7,1	270	175	
	12		0,33	260	2,8	2,23	0,60	na	1132	473	36	13	42	24	0,24	na	0,032	na	21,9	0,044	na	na	na	na	na	0,38	na	7,2	270	187	
PII-2	6	mg/L	0,29	64	1,3	1,01	0,02	na	410	121	14	13	15	23	0,17	na	0,006	na	3,6	na	na	na	na	na	na	0,023	na	7,5	81	147	
	9		0,30	67	n.a.	0,18	n.a.	na	429	118	14	4	18	26	0,18	na	0,012	na	5,4	na	na	na	na	na	na	0,039	na	7,5	79	163	
	12		0,31	85	1,8	2,31	0,01	na	508	165	16	3	21	28	0,2	na	0,018	na	8,1	na	na	na	na	na	na	0,053	na	7,5	95	161	
PII-3	6	mg/L	0,17	40	0,4	n.a.	na	na	327	59	8	18	10	40	0,23	na	0,077	na	3,3	na	na	na	na	na	na	0,31	na	6,7	58	129	
	9		0,17	40	1,6	0,10	na	na	322	59	8	19	11	40	0,22	na	0,091	na	3,6	na	na	na	na	na	na	0,32	na	6,7	58	138	
	12		0,17	40	1,6	0,10	na	na	332	58	8	20	10	39	0,22	na	0,074	na	3,3	na	na	na	na	na	na	0,3	na	6,6	57	147	
rio	6	mg/L	0,05	21	3,8	0,24	0,06	na	17	13	1,8	1,4	2,2	4,7	0,037	na	0,058	na	0,174	na	na	0,26	0,006	na	na	1,09	na	7,64	12	259	
	9		0,05	25	3,5	0,23	0,06	na	17	14	1,8	2,7	2,2	3,8	0,032	na	0,032	na	<0,050	na	na	0,23	0,008	na	na	0,77	na	7,78	13	233	
	12		0,05	24	4,0	0,35	0,06	na	17	14	1,9	3,1	2,3	4,7	0,037	na	0,046	na	<0,050	na	na	0,15	0,004	na	na	0,89	na	7,48	12	227	
	13**		0,07	721	99,6	3,98	0,06	na	-	386	13	3,8	4,5	18	0,27	na	0,074	na	0,21	na	na	0,32	0,009	na	na	1,33	na	7,04	270	229	

* Quantidade de nitrogênio na molécula

na - não detectado

**Amostra coletada em 4/4/05 às 13:00, durante maré mais alta.

CE - mS/m

Eh - mV

Resultado das análises iônicas e parâmetros físico-químicos (coleta em 20/08/05)

poços	hora	unidade	Cl ⁻	Na	SO ₄ ⁻²	Br	K	Al	Ba	Ca	Fe	Mg	Mn	Sr	Zn	Ni	PO ₄ ⁻³	F ⁻	*N-NO ₂ ⁻	*N-NO ₃ ⁻	Cr	Cu	HCO ₃ ⁻	pH	CE	Eh	
P1	10:50	mg/L	14	7,8	6,9	0,36	3,0	0,28	0,062	1,8	0,93	1,2	0,025	0,026	0,022	0,002	na	0,02	na	na	na	na	na	8,54	4,8	10	287
	14:40		13	7,7	8,5	0,47	4,1	0,30	0,055	1,8	0,75	1,2	0,021	0,025	0,020	0,001	na	0,02	na	na	na	na	na	7,32	4,5	7	308
	17:05		13	7,4	8,8	0,35	2,9	0,31	0,053	1,6	0,74	1,0	0,020	0,024	0,015	0,001	na	n.a.	na	na	na	na	na	7,32	4,4	8	315
P2	11:00	mg/L	9,1	6,4	4,6	0,37	0,9	0,25	0,023	3,5	0,59	0,88	0,013	0,047	0,013	0,001	na	n.a.	na	na	na	na	na	14,64	4,7	7	342
	15:05		9,5	6,4	4,5	0,37	0,8	0,25	0,021	3,6	0,42	0,85	0,011	0,046	0,009	0,001	na	n.a.	na	na	na	na	na	17,08	4,8	6	341
	17:15		10	6,5	4,6	0,39	0,9	0,25	0,021	3,8	0,43	0,85	0,011	0,047	0,011	0,001	na	n.a.	na	na	na	na	na	17,08	4,8	6	299
P4	11:15	mg/L	14	9,2	13	0,50	1,5	0,53	0,058	1,5	1,4	0,71	0,018	0,023	0,025	0,001	na	n.a.	na	na	na	na	na	4,88	4,2	9	266
	15:30		15	9,1	12	0,52	1,4	0,51	0,054	1,5	1,4	0,72	0,018	0,023	0,019	0,001	na	n.a.	na	na	na	na	na	5,49	4,3	8	265
	17:40		15	9,2	12	0,51	1,4	0,50	0,054	1,5	1,4	0,74	0,017	0,023	0,017	0,001	na	n.a.	na	na	na	na	na	5,49	4,4	9	254
PII-1	11:05	mg/L	259	439	n.a.	3,5	30	0,012	na	24	0,52	44	0,039	0,28	0,049	na	30	0,41	17	na	na	na	na	1073,6	7,1	230	135
	15:20		260	435	n.a.	4,2	30	0,017	na	24	0,51	44	0,037	0,28	0,042	na	30	0,41	na	na	na	na	na	1073,6	7,1	230	134
	17:30		262	442	n.a.	4,0	30	0,015	na	24	0,50	43	0,038	0,29	0,044	na	31	0,34	17	na	na	na	na	1073,6	7,2	230	109
PII-3	11:30	mg/L	38	56	0,136	0,93	9,4	0,008	na	49	0,27	12	0,14	0,28	na	na	2,9	0,17	4,4	na	na	na	na	302,56	6,7	49	196
	16:00		39	54	0,113	1,8	9,4	0,009	na	47	0,36	12	0,14	0,28	na	na	2,9	0,17	4,6	0,003	na	na	na	302,56	6,6	49	190
	17:50		39	55	0,107	0,85	9,4	0,005	na	45	0,28	12	0,14	0,29	na	na	2,9	0,17	4,5	na	na	na	na	312,32	6,9	49	150
rio	11:40	mg/L	2654	152	362	9,8	6,5	0,007	na	5,6	0,046	17	0,007	0,11	na	na	<0,2	na	na	0,23	na	na	na	35,38	6,5	860	240
	16:10		3446	192	471	12,9	9,8	0,008	na	7,4	0,016	23	0,009	0,15	na	na	<0,2	na	na	0,29	na	na	na	39,04	6,5	1100	289
	18:15		3333	187	451	11,2	9,5	0,006	na	7,0	0,014	22	0,008	0,15	na	na	<0,2	na	na	0,26	na	na	na	39,04	6,8	1000	256

* Quantidade de nitrogênio na molécula

na - não detectado

CE - mS/m

Eh - mV