

WILLIAM VARGAS FLÓREZ

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DA ILHA DOS VALADARES
PARANAGUÁ, PR**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Geologia Ambiental, Curso de Pós-Graduação em Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Ernani Francisco da Rosa Filho.

Co-orientador: Prof. Dr. André Virmont Lima Bittencourt.

Co-orientador: Prof. Dr. Luiz Eduardo Mantovani

CURITIBA

2005

WILLIAM VARGAS FLÓREZ

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DA ILHA DOS VALADARES
PARANAGUÁ, PR**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Geologia Ambiental, Curso de Pós-Graduação em Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Ernani Francisco da Rosa Filho.

Co-orientador: Prof. Dr. André Virmont Lima Bittencourt.

Co-orientador: Prof. Dr. Luiz Eduardo Mantovani

CURITIBA

2005

TERMO DE APROVAÇÃO

William Vargas Flórez

“CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DA ILHA DOS VALADARES – PARANAGUÁ, PR”.

Dissertação de Mestrado aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Geologia, área de concentração em Geologia Ambiental, da Universidade Federal do Paraná, Comissão formada por:


Prof^a. Dr^a. Mônica Lopes Gonçalves - UNIVILLE


Prof. Dr. Rodolfo José Angulo - UFPR


Prof. Dr. Ernani Francisco da Rosa Filho- UFPR
Presidente

Curitiba, 24 de Junho de 2005.

Este trabalho está dedicado

Em primeiro lugar

a quem planejou

e executou esta obra:

DEUS.

A meu pai Norberto Vargas

A minha mãe María del Carmen Flórez

Meu irmão John Freddy e sua família.

AGRADECIMENTOS

Quando por meu pensamento não passava a idéia de viajar tão longe para realizar estes estudos, Deus já os tinha planejado e é a Ele que dou graças em tudo.

Aos meus pais pelo amor e confiança depositada e, ao meu grande irmão pela força proporcionada na distância.

Agradecimento especial aos professores Doutor Ernani Francisco da Rosa Filho, e Doutor Andre Virmond Lima Bittencourt, pela orientação, pelas valiosas contribuições que me orientaram neste trabalho e pela assistência prestada no desenvolvimento da pesquisa, tornando esta possível.

Ao M.Sc. Eduardo Chemas Hindi, pela colaboração desde o desembarque em Curitiba, pela amizade, e pelas valiosas contribuições para com este trabalho.

Ao Laboratório de Pesquisas Hidrogeológicas (LPH) da Universidade Federal do Paraná, pela informação disponibilizada para realizar este trabalho.

Aos funcionários da Secretaria da Pós-Graduação em Geologia, pela ajuda prestada durante o desenvolvimento do mestrado.

Ao Departamento de Geologia do Setor de Ciências da Terra, da Universidade Federal de Paraná, Curitiba, pelo apoio brindado durante meus estudos.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação pela colaboração, e amizade em dois anos de trabalho. Especialmente à Nicole Borchardt, pelo carinho, apoio e, grandes momentos compartilhados, à Neiva Cristina Ribeiro pela alegria contagiosa e, ao Claudinei Taborda da Silveira pela ajuda recebida e amizade permitida.

À ALHSUD (Asociación Latinoamericana de Hidrologia Subterránea para el Desarrollo) pelo apoio financeiro recebido durante o desenvolvimento dos estudos de mestrado, pois sem este, a conclusão dos estudos não seria possível.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
ABSTRACT	xi
RESUMO.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MATERIAIS E MÉTODOS	4
2.1 DELIMITAÇÃO DO OBJETO	4
2.2 MÉTODOS.....	4
3. CARACTERÍSTICAS GERAIS.....	7
3.1 LOCALIZAÇÃO DA ILHA DOS VALADARES	7
3.2 FATORES CLIMÁTICOS.....	8
3.2.1 PRESSÃO ATMOSFÉRICA E UMIDADE RELATIVA DO AR	9
3.2.2 DIREÇÃO E VELOCIDADE DOS VENTOS	9
3.2.3 TEMPERATURA.....	10
3.2.4 PRECIPITAÇÃO	10
3.3 HIDROGRAFIA.....	11
3.4 GEOMORFOLOGIA	12
3.5 MARCO ESTRUTURAL	14
3.6 SOLO E VEGETAÇÃO.....	14
3.7 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	16
4. GEOLOGIA	20
4.1 GEOLOGIA REGIONAL.....	20
4.1.1 COMPLEXO GNÁISSICO-MIGMATÍTICO	21
4.1.2 COBERTURA SEDIMENTAR.....	22
4.1.2.1 Planície costeira com cordões litorâneos.....	23
4.1.2.2 Sistemas Estuarinos	25
4.2 GEOLOGIA LOCAL	27
5. HIDROGEOLOGIA.....	48

5.1	HIDROGEOLOGIA REGIONAL	48
5.2	HIDROGEOLOGIA LOCAL	51
5.2.1	MODELO CONCEITUAL DO AQÜÍFERO.....	52
5.2.2	INFLUÊNCIA DA MARÉ	53
5.2.3	POTENCIOMETRIA DO AQÜÍFERO	55
5.2.4	HIDRÁULICA SUBTERRÂNEA	58
5.2.5	ENSAIOS DE BOMBEAMENTO	58
5.2.6	POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO.....	60
6.	HIDROQUÍMICA	61
6.1	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA ÁGUA	61
6.1.1	TESTES DE CONSISTÊNCIA DAS ANÁLISES.....	64
6.1.1.1	Balanco Iônico	64
6.1.1.2	Condutividade.....	65
6.1.2	PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS	66
6.1.2.1	Potencial de Hidrogênio (pH) e Temperatura.....	66
6.1.2.2	Condutividade Elétrica e Sólidos Totais Dissolvidos.....	67
6.1.2.3	Alcalinidade Total	68
6.1.2.4	Dureza Total	68
6.1.2.5	Nitrato	69
6.1.2.6	Ferro Total	69
6.1.2.7	Sulfato.....	70
6.1.2.8	Cloreto	70
6.1.2.9	Sódio e Potássio.....	71
6.1.2.10	Cálcio e Magnésio	71
6.1.3	ÍNDICES HIDROGEOQUÍMICOS OU RAZÕES IÔNICAS	71
6.1.4	CLASSIFICAÇÃO GEOQUÍMICA DA ÁGUA	76
6.1.5	MISTURA AGUA DOCE - AGUA SALGADA.....	79
6.2	QUALIDADE DA ÁGUA	80
7.	CONCLUSÕES	82
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Valores médios da pressão reduzidos de mmHg em mb a 0°C (1965 - 1985).....	9
Tabela 2.	Tipos litológicos característicos do embasamento cristalino no Bloco Costeiro, conforme apresentado no mapa Geológico do Estado do Paraná (MINEROPAR, 1989).	21
Tabela 3.	Unidades de Mapeamentos dos Sedimentos da Planície Costeira do Paraná. (Angulo, 1992).	23
Tabela 4.	Localização Geográfica dos perfis levantados em campo	30
Tabela 5.	Parâmetros hidráulicos médios do aquífero da Ilha dos Valadares na área das baterias	59
Tabela 6.	Resultados das análises físico-químicas das amostras coletadas nos poços domésticos na Ilha dos Valadares.	62
Tabela 7.	Resultados das análises físico-químicas das amostras coletadas nas baterias de poços na Ilha dos Valadares e no Rio Itiberê.	63
Tabela 8.	Composição iônica dominante das amostras de água dos poços domésticos.....	74
Tabela 9.	Composição iônica dominante das amostras de água das antigas baterias de poços da lha dos Valadares.	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Localização da Área de Estudo.....	8
Figura 2.	Modelo Digital de Terreno da Ilha dos Valadares. Vista de Topo.....	13
Figura 3.	Modelo Digital de Terreno da Ilha dos Valadares. Perspectiva oblíqua.....	13
Figura 4.	Mapa de Distribuição das Edificações na Ilha Dos Valadares.....	17
Figura 5.	Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Ilha dos Valadares.....	19
Figura 6.	Aspecto da parte permanente emersa da Ilha dos Valadares, na margem esquerda do rio dos Correias.....	27
Figura 7.	Aspecto da parte periodicamente inundada da Ilha dos Valadares, na margem esquerda do rio dos Correias.....	28
Figura 8.	Nível ferruginoso com laminações sub-horizontais.....	29
Figura 9.	Nível ferruginoso corrugado.....	29
Figura 10.	Distribuição dos afloramentos descritos na Ilha dos Valadares.....	30
Figura 11.	Perfil 01 – Corte no cruzamento de ruas próximo ao posto policial.....	31
Figura 12.	Perfil 02 – Margem esquerda do rio dos Correias.....	32
Figura 13.	Perfil 03 – Margem direita do rio Itiberê.....	33
Figura 14.	Perfil 04 – Margem direita do rio Itiberê.....	34
Figura 15.	Perfil 05 – Margem direita do rio Itiberê.....	35
Figura 16.	Perfil 06 – Margem direita do rio Itiberê.....	36
Figura 17.	Perfil 07 – Margem direita do rio Itiberê.....	37
Figura 18.	Perfil 08 – Extremo SW (confluência do Itiberê com o dos Correias).....	38
Figura 19.	Perfil 09 – Extremo SW (confluência do Itiberê com o dos Correias).....	39
Figura 20.	Perfil 10 – Extremo SW (confluência do Itiberê com o dos Correias).....	40
Figura 21.	Perfil 11 – Extremo SW (confluência do Itiberê com o dos Correias).....	41
Figura 22.	Perfil 12 – Margem esquerda do rio dos Correias.....	42
Figura 23.	Perfil 13 – Margem esquerda do rio dos Correias.....	43
Figura 24.	Perfil 14 – Margem esquerda do rio dos Correias.....	44
Figura 25.	Perfil 15 – Margem esquerda do rio dos Correias.....	45
Figura 26.	Mapa Geológico da Ilha dos Valadares.....	47

Figura 27.	Pacote arenoso bastante uniforme, com 6 m de altura, na extremidade SW da ilha.	52
Figura 28.	Variação temporal dos níveis da água no rio Itiberê e no poço 1.	54
Figura 29.	Relação entre os níveis da água no rio Itiberê e no poço 1	54
Figura 30.	Variação temporal dos níveis da água no rio Itiberê e no poço 2.	55
Figura 31.	Localização dos pontos onde foram feitas as medições do nível da água para elaboração do mapa potenciométrico	56
Figura 32.	Mapa potenciométrico do aquífero da Ilha dos Valadares	57
Figura 33.	Pontos de Coleta das Amostras de água.	61
Figura 34.	Concentrações dos principais íons (em meq/L), nas amostras de água coletadas nos poços domésticos.	73
Figura 35.	Variação das relações iônicas entre as amostras de água dos poços e do rio Itiberê. ...	73
Figura 36.	Variação das relações iônicas entre as amostras de água das baterias de poços e do rio Itiberê	75
Figura 37.	Concentrações dos principais íons (em meq/L), nas amostras de água coletadas nas baterias de poços.....	75
Figura 38.	Diagrama de Piper das amostras de água coletadas em poços domésticos na Ilha dos Valadares.....	77
Figura 39.	Diagrama de Piper das amostras de água coletadas nas baterias de poços na Ilha de Valadares.....	77
Figura 40.	Representação geoquímica da composição química da água amostrada na Ilha dos Valadares por meio de diagramas de Stiff modificado.	78
Figura 41.	Cálculo gráfico da mistura água doce - água salgada. Mistura teórica desenhada sobre uma linha reta unindo dois pontos extremos. (CUSTODIO, 1987, p. 221)	79

ABSTRACT

The Valadares Island, is placed in the Paranaguá City, in Paraná State, Brazil. It is inserted in the estuarine system of Paranaguá bay and corresponds to a terrace of sea construction with level lower 10 m about sea level and surface closer of 5 km². The sandy deposits are composite by marine sediments and continental deposits, that form the Valadares Island configure a unconfined aquifer, porous, almost homogeneous, whose water reserve can be used to complement, of fast and economic form, the demand of the island population. This coastal sandy aquifer can present problems that directly affect the quality of the water. It is common to find contamination for saline intrusion in the wells related to raised extraction rates. The main cause of water quality degradation in the island is the lack basic sanitation, consequence of the disordered human occupation, wells without sanitary protection and proximity of wells to the places of launching of served waters. The purpose this job is to know the characteristics physical, and the chemical properties of the aquifer for to identify the more adequate use for resource. It was making geologic characterization of the study area, disclosing 24 m of aquifer thickness and was identified the direction of ground water using water level information in 50 wells for obtain the table aquifer map, where was observed the ground water flow directed to the rivers that surround the island. The interpretation of the chemical analyses of 12 well water samples collected randomly form the island, shows waters Cl/Na type with undesirable substance presence as NO₃⁻², both total coliforms and *Escherichia Coli*, indicating contamination for organic matter. This water fulfills the standards of drinking water for chemical substances that represent risk to the health, but it does not fulfill the microbiological standards. But an adequate treatment can allow its use for supplying of the population. The hydrodynamics of the aquifer has a bigger influence of the effect of the tide in extremity NE of the island diminishing in opposing direction, what it can be confirmed by the spatial variation of the hydrochemical data.

RESUMO

A Ilha dos Valadares, com uma população de mais de 20.000 habitantes e densidade demográfica da ordem de 4.000 habitantes/km², está localizada no Complexo Estuarino de Paranaguá (PR) e, corresponde a um terraço de construção marinha com altitudes inferiores a 10m e superfície de pouco mais de 5 km². A uniformidade granulométrica dos depósitos arenosos, que compõem a Ilha dos Valadares, confere ao aquífero, características hidrogeológicas homogêneas e isotrópicas. É comum encontrar, neste tipo de aquífero, problemas por contaminação bacteriológica, devido à presença de coliformes, e contaminação por intrusão salina. O aquífero está limitado pela superfície potenciométrica, lateralmente pelos rios Itiberê e dos Correias, que circundam a ilha, e seu limite inferior está definido por uma camada argilosa, de espessura variável, com profundidades que variam de 20 a 24 metros. O fluxo da água subterrânea se dirige aos rios que circundam a ilha e apresenta um controle topográfico. A hidrodinâmica do aquífero tem uma influência maior dos efeitos da maré no extremo NE da ilha, diminuindo em direção contrária ao fluxo dos rios, perdendo intensidade nos pontos mais internos da ilha. A interpretação das análises químicas de 12 amostras de água, coletadas em poços distribuídos ao longo da ilha, mostra águas do tipo cloretada-sódica com presença de substâncias indesejáveis como NO₃⁻², coliformes totais e fecais, indicativos de contaminação por efluentes domésticos. Esta água cumpre os padrões de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde e de aceitação para consumo humano. Mas está fora dos padrões microbiológicos pela presença de coliformes fecais e totais na maioria das amostras. Conhecendo as características físicas e as propriedades químicas do aquífero, é possível aproveitar o recurso para complementar o abastecimento da população, com água de qualidade adequada aos padrões de potabilidade vigentes, por meio da captação com poços construídos de forma adequada, localizados em áreas com pouca ocupação antrópica.

1. INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos subterrâneos em regiões litorâneas são aproveitados para diversos fins, pelas empresas turísticas para suprir a demanda que esta área apresenta ao longo do ano, mediante poços perfurados a grandes profundidades, e utilizando poços rasos por pequenas populações onde o abastecimento de água para consumo humano é inexistente ou é efetuado precariamente. Essa é uma prática comum na planície costeira do Estado do Paraná, onde os recursos hídricos utilizados, pelas empresas de abastecimento de água, são captados de forma direta de mananciais da Serra do Mar.

A ampliação do sistema de abastecimento de água, via mananciais superficiais, é complexa tecnicamente e onerosa economicamente devido aos possíveis pontos de captação estarem localizados a distâncias raramente inferiores a 15 km, em relação aos locais de consumo. Outro fator que limita o abastecimento é a área reduzida das bacias hidrográficas do litoral paranaense, o que se traduz em quedas abruptas na produção durante os períodos de estiagem. Estas dificuldades, aliadas à carência de recursos financeiros, tornam insuficiente o atendimento da população da ilha dos Valadares com água de boa qualidade.

Uma solução para complementar o provimento de água da atual população é representada pela captação e distribuição das águas freáticas armazenadas nos sedimentos arenosos da região de Paranaguá. A existência de extensos depósitos arenosos assegura a acumulação da água a ser extraída por meio de baterias de poços rasos.

Para realizar um aproveitamento sustentável do recurso hídrico subterrâneo é necessário conhecer as propriedades físicas do sistema aquífero e, as propriedades químicas da água contida neste, permitindo definir o uso mais adequado para esse recurso.

O objetivo deste trabalho foi caracterizar a hidrogeologia da Ilha dos Valadares. De forma específica objetivou-se conhecer o meio físico; determinar o comportamento e as causas da contaminação das águas subterrâneas e delimitar a cunha de intrusão marinha.

Para atingir o objetivo geral do trabalho foram definidos os objetivos específicos descritos a seguir:

1. Detalhar a geologia da área de estudo para distinguir os diferentes tipos de sedimentos que ocorrem na ilha.
2. Identificar o uso e ocupação do solo.
3. Definir a geometria do aquífero.
4. Determinar a direção de fluxo das águas subterrâneas.
5. Identificar a influência da maré no nível estático do aquífero.
6. Classificar quimicamente a água proveniente do aquífero.
7. Determinar a qualidade da água subterrânea.
8. Determinar comportamento e as causas da contaminação das águas subterrâneas.

A presente dissertação foi organizada em capítulos, que tratam dos principais temas necessários ao seu desenvolvimento, como segue abaixo.

O primeiro capítulo contém o objetivo geral do trabalho e os objetivos específicos definidos para obter a caracterização hidrogeológica da área de estudo.

O capítulo 2 descreve as características gerais da área de trabalho que incluem a localização, aspectos relacionados ao clima, geomorfologia, solo e vegetação, e ao uso e ocupação do solo.

No capítulo 3 realiza-se uma descrição da geologia regional que faz referência as formações presentes na planície costeira do Paraná, e se apresentam as descrições da geologia do local de estudo produto de levantamentos feitos em campo.

O capítulo 4 inclui a hidrogeologia regional na qual se distinguem as unidades aquíferas presentes na região envolvida no trabalho. Também se identificam as características físicas da unidade aquífera inserida na área de estudo e os aspectos referentes à hidráulica subterrânea.

O capítulo 5 mostra o estudo hidroquímico do aquífero da ilha dos Valadares. O qual inclui a caracterização química da água e a determinação da qualidade da água em função dos padrões de qualidade estabelecidos pela legislação local.

O capítulo final apresenta as conclusões obtidas do processamento e análise das informações coletadas nas diferentes etapas do trabalho.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 DELIMITAÇÃO DO OBJETO

Tendo em vista a caracterização hidrogeológica da Ilha dos Valadares, a abordagem metodológica processou-se em três etapas. A primeira visou á caracterização geológica da ilha; na segunda etapa se caracterizou a hidrogeologia da área e identificou a distribuição das propriedades químicas da água foi feito o estudo hidroquímico do aquífero numa terceira etapa. A integração destas informações permitiu selecionar as áreas mais apropriadas para uma possível exploração do recurso hídrico subterrâneo da ilha dos Valadares.

2.2 MÉTODOS

Para a execução deste trabalho foram utilizadas cartografia digital, com curvas de nível com variação de 1m, fotografias aéreas coloridas com escala 1:5000 e ferramentas como Sistemas de Informação Geográfica - SIG para o processamento e organização da informação.

Levantamentos de campo e o processamento da informação permitiram obter o mapa de uso e ocupação da Ilha dos Valadares, assim como, gerar o modelo digital do terreno que foi útil para identificar feições geológicas e geomorfológicas da área de estudo.

As informações para elaboração do mapa de uso e ocupação do solo foram obtidas através de levantamentos de campo, apoiados com fotografias aéreas, coloridas, em escala 1: 5.000 de 1992, proporcionadas pelo Centro de Estudos do Mar - CEM, da Universidade Federal do Paraná - UFPR.

Para auxiliar no detalhamento da geologia da ilha foram descritos 15 perfis sedimentológicos distribuídos ao longo da margem direita do rio Itiberê e da margem esquerda do rio dos Correias. Integrando a pesquisa bibliográfica, a cartografia digital e, o

reconhecimento de campo foi possível elaborar o mapa geológico da área de estudo.

Na hidrologia subterrânea, deu-se ênfase especial às características dimensionais, visando definir a geometria do aquífero e as fronteiras do sistema, assim como as características hidrodinâmicas com o objetivo específico de identificar zonas com diferentes propriedades hidráulicas. Para definir a direção do fluxo subterrâneo foram feitas medidas da profundidade do nível estático da água em 50 poços distribuídos ao longo da ilha. Com ajuda da ferramenta "ArcView GIS 3.2" foi gerado o mapa potenciométrico do aquífero. Baseado em ensaios de bombeamento feitos pela Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - SUDERHSA, em antigas baterias de poços instaladas na ilha dos Valadares, foram determinados os parâmetros hidráulicos do aquífero utilizando o programa *AquiferWin32 (Environmental Simulations Inc.)* para processar os dados de rebaixamento x tempo. Uma vez estimados os parâmetros hidráulicos foi possível determinar o potencial hidrogeológico aproximado do aquífero da ilha dos Valadares.

Por outro lado o estudo hidroquímico foi realizado para definir os mecanismos de evolução química das águas e os fenômenos modificadores da composição química das águas naturais, responsáveis pela sua variação espacial. Para tal fim foram analisadas amostras de água coletada de 12 poços distribuídos por toda a ilha, utilizados para abastecimento residencial. Nos pontos selecionados foram realizadas medições *in loco* da condutividade elétrica, da temperatura e do pH.

Para estimar os parâmetros hidráulicos do aquífero da Ilha dos Valadares foi utilizada informação proveniente de testes de bombeamento feitos em 6 antigas baterias de poços, instaladas em 2001 para explorar o aquífero e utilizar esta água com fins de abastecimento da população da ilha, as quais encontram-se atualmente destruídas.

Nas amostras coletadas foram feitas análises físico-químicas (atendendo às especificações de *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, de autoria das instituições *American Public Health Association (APHA)*, *American Water Works*

Association (AWWA) e Water Environment Federation (WEF) para determinar a concentração dos íons principais e os parâmetros de alcalinidade total, dureza total e, sólidos totais dissolvidos. Com o resultado destas análises foi possível realizar a classificação geoquímica das águas pelo método de Piper, baseado na abundância relativa dos íons mais comuns nas águas naturais. A representação geoquímica da composição química da água subterrânea da ilha dos Valadares foi feita por meio de diagramas de Stiff modificado (Custodio 1987), que permite visualizar a variação espacial do comportamento hidroquímico da água subterrânea.

A qualidade da água é uma consequência do estado físico e químico da mesma, assim como algumas alterações ocorridas como consequência da atividade humana. Com a finalidade de determinar a qualidade da água foram feitas análises bacteriológicas (seguindo as metodologias analíticas para análise de parâmetros microbiológicos em *Standard Methods for the examination of water and wastewater, da American Public Health Association (APHA)*) para identificar possível contaminação por matéria orgânica, gerada pela ausência de rede de esgotos. Os resultados das análises foram comparados com o padrão de potabilidade estabelecido na Portaria nº 518, do Ministério da Saúde, de 25 de março de 2004 para verificar os valores limites destes íons em águas para consumo humano. Para identificar a possível contaminação do aquífero por detritos animais, efluentes domésticos ou fertilizantes, foi analisado o conteúdo de nitrato presente nas amostras coletadas.

3. CARACTERÍSTICAS GERAIS

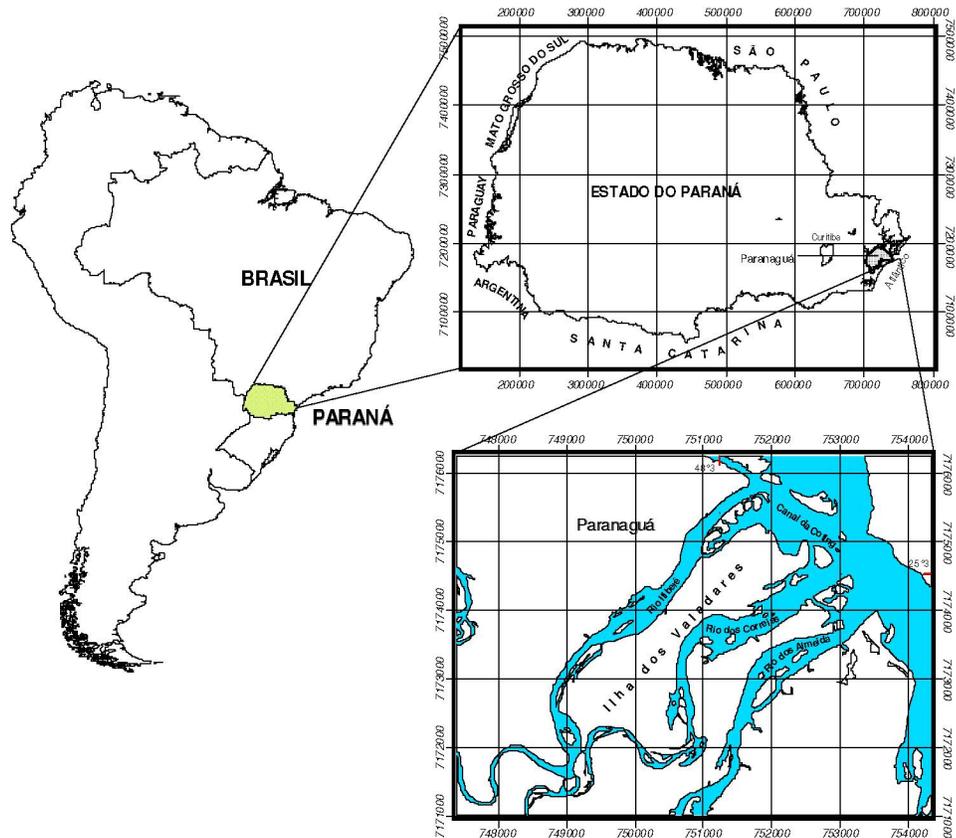
3.1 LOCALIZAÇÃO DA ILHA DOS VALADARES

A área de estudo situa-se no município de Paranaguá, entre a latitude 25°31'15"S e longitude 48°30'34"W e localiza-se a 91km da capital do estado de Paraná (Curitiba). A principal via de acesso ao município de Paranaguá é a rodovia BR-277 que comunica Curitiba com o Litoral Paranaense.

A Ilha de Valadares, limitada pelos paralelos 25°31'00"S e 25°33'06"S e meridianos 48°29'05"W Gr e 48°31'33"W Gr (Figura 1), está localizada no Complexo Estuarino de Paranaguá e corresponde a um terraço de construção marinha com altitudes inferiores a 10 m e superfície de pouco mais de 5 km². A ilha tem forma alongada e largura variando de 0,5 a 1 km. O eixo maior se estende na direção NE medindo cerca de 4 km.

A ilha limita-se no extremo SW pela confluência dos rios Itiberê e dos Correias e no extremo NE, pelo Canal da Cotinga. O flanco oeste da ilha é limitado pela margem direita do rio Itiberê e o flanco leste pela margem esquerda do rio dos Correias. A ligação entre Paranaguá e a Ilha dos Valadares é feita por uma passarela para pedestres sobre o rio Itiberê situada entre a Estação Rodoviária e o Mercado Municipal. Existe um serviço regular de balsa para travessia de veículos pequenos e são utilizados botes a remo, como meio de transporte coletivo para passageiros e cargas.

Figura 1. Localização da Área de Estudo.



3.2 FATORES CLIMÁTICOS

Os centros de ação atmosférica que atuam no Brasil Meridional são os anticlones subtropicais do Atlântico e do Pacífico, o anticiclone migratório Polar e, o centro de baixa pressão denominado depressão do Chaco (Maack 1981). Na costa sul do Brasil, a marcada amplitude topográfica, a orientação do relevo e a proximidade do oceano, condicionam substancialmente o clima (FUNPAR 1997).

O clima da região de Paranaguá é controlado na maior parte do ano pelo anticiclone do Atlântico Sul. As frentes frias que se formam ou se propagam ao longo da costa brasileira, sofrem influências do relevo continental. No Paraná a Serra do Mar e suas ramificações formam compartimentos que servem de anteparo às frentes frias, o que dá origem a nevoeiros e precipitações locais (FUNPAR 1997).

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região costeira do Paraná, em altitudes inferiores a 700m, é do tipo Cfa (clima subtropical) sendo pluvial temperado (C); sempre úmido, com chuvas em todos os meses do ano (f) e com temperatura média do mês mais frio entre -3°C e 8°C e temperatura média do mês mais quente acima de 22°C (a), (Maack 1968; IPARDES 1990), com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida. No caso de Paranaguá, observa-se a média de $24,9^{\circ}\text{C}$ no mês de Janeiro. (FUNPAR 1997).

3.2.1 PRESSÃO ATMOSFÉRICA E UMIDADE RELATIVA DO AR

Nos meses de inverno os valores de pressão registrados são superiores a 1018mb, nos meses de verão, devido ao aquecimento significativo das terras e das águas, os valores de pressão caem para menos de 1015mb (IAPAR 1994). Ver Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios da pressão reduzidos de mmHg em mb a 0°C (1965 - 1985)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média Anual	Alt (m)
1010,3	1010,9	1012,2	1014,9	1016,7	1018,2	1019,2	1018,6	1016,4	1015,1	1012,1	1010,8	1014,7	5

Fonte: Maack (1981) e IAPAR (1994).

A umidade relativa do ar é da ordem de 85% ao longo do ano (IAPAR 1994).

3.2.2 DIREÇÃO E VELOCIDADE DOS VENTOS

As direções predominantes dos ventos na região de Paranaguá, conforme dados obtidos na estação meteorológica do Departamento Nacional de Meteorologia - DNMET (Paranaguá), são Sudeste e Noroeste. As brisas marinhas de leste e sudeste sopram geralmente durante o dia, do mar para o interior, com uma velocidade média de 2,2m/s. À noite, ocorre uma situação diversa, com ventos soprando de sudoeste e do sul, e menos freqüente de noroeste, com velocidades na faixa de 1,6 a 2,2m/s (FUNPAR 1997).

3.2.3 TEMPERATURA

As maiores variações de temperatura na região estão relacionadas à altitude, que ocasiona uma variação entre o nível do mar e os 900m de 7,2°C, aproximadamente uma redução de 0,5°C por cada 100m no aumento da altitude, segundo dados de temperatura média anual na região de Paranaguá tomados de IPARDES (1990).

Nas áreas de planície litorânea, a temperatura média para as latitudes mais setentrionais é de 22°C enquanto para as meridionais ficam em torno de 21,3°C, com temperaturas médias máximas entre 29,6°C e 28,8°C e médias mínimas de aproximadamente 15,9°C e 15,2°C nas latitudes mais baixas e mais altas respectivamente. A amplitude da temperatura média anual chega a 9,8°C ao nível do mar, atingindo temperatura máxima em Janeiro de 36,1°C e mínima em Julho de 16,3°C (Giusti 1996).

Segundo a FUNPAR (1997), dados analisados da estação de Paranaguá referentes ao período de Janeiro de 1961 a Dezembro de 1985, fornecem temperatura máxima absoluta de 38°C em 20/12/1973, e a mínima absoluta de 1,1°C, em 24/06/1973. Os dias límpidos (nebulosidade 0 a 3) são em media de 20 por ano, dos 42 anos analisados.

3.2.4 PRECIPITAÇÃO

As chuvas que ocorrem no litoral Paraense, sobretudo no inverno, são do tipo ciclônico. Nas áreas de encontro de duas massas de ar com características diferentes, criam-se zonas de instabilidade que favorecem a formação de chuvas.

Um segundo tipo de chuva que ocorre no litoral é de convecção, que consiste na ascensão do ar aquecido seguido de seu resfriamento, ocasionando a condensação do vapor de água e precipitação (Maack 1968).

Outro tipo de precipitação que ocorre na Serra do Mar é a chuva orográfica. A massa de ar ao penetrar no litoral carregada de umidade, encontra a barreira da Serra do Mar, resfriando-se e ocasionando a condensação do vapor de água e conseqüente

precipitação (Maack 1968; Bigarella 1965a).

Na planície as precipitações ficam em torno de 2500mm anuais, registrando-se mais de 180 dias com chuva por ano, na escarpa, a 150m de altitude, esse valor é de aproximadamente 2300 mm, caindo gradativamente até a altitude de 900m, quando atinge um mínimo de 1700 mm. Acima dos 900m existe uma tendência de aumento total de chuva (ITCF, 1990).

3.3 HIDROGRAFIA

A rede hidrográfica principal, da área de estudo, tem orientação NE e é constituída pelos rios Itiberê e dos Correias, que circundam a Ilha dos Valadares e deságuam no Canal da Cotinga (Figura 1). Esses rios são canais estuarinos, com profundidades variando de menos de 1m até cerca de 5m. Esses canais estão submetidos a influências das marés, sendo afetados pela maré de salinidade, que ocasiona variação na concentração de sólidos dissolvidos, e pela maré dinâmica, o que origina o fluxo e refluxo das águas e a inundação das áreas marginais da ilha. O avanço dos canais estuarinos atinge mais de 10km de distância da linha da costa, tornando as águas desses rios salobras e, conseqüentemente, impróprias para consumo humano.

A rede de drenagem interna da ilha é inexpressiva. A alta permeabilidade dos sedimentos arenosos favorece a infiltração da água, em detrimento do escoamento superficial. Na porção SW da ilha podem ser observadas feições lineares acompanhando a orientação de antigos cordões litorâneos, que servem de canais de escoamento do excedente hídrico nas chuvas intensas. Na extremidade NE da ilha existem pequenos canais artificiais para drenagem de áreas alagadiças.

3.4 GEOMORFOLOGIA

A planície costeira corresponde a uma superfície aplainada com altitudes compreendidas entre 0 (zero) e 20 m, que se estende desde a base da Serra do Mar até o oceano. Na região de Paranaguá apresenta-se como uma faixa com 55 km de largura, com morros e colinas de centenas de metros de altitude dispersas na planície, tais como Morro Grande (479m) e do Canudal (245m) (Angulo 1992).

A Ilha dos Valadares é um terraço de construção marinha; com altitudes inferiores a 10m; disposto paralelamente à linha da costa. O modelo digital do terreno (Figura 2 e Figura 3), elaborado com base na planta topográfica da Ilha dos Valadares, mostra a morfologia da ilha e realça as feições lineares subparalelas, também visíveis em fotografias aéreas. Essas feições foram interpretadas por Bigarella (1965a) e Angulo (1992), como sendo remanescentes de antigos cordões litorâneos.

Quatro tipos de margens limitam a ilha: praias de declive suave, falésias com cerca de 6 m de altura e zonas de mangues e baixios. As falésias são encontrados em toda extensão da parte mais estreita da ilha, em ambos os lados (margens dos rios Itiberê e dos Correias) e em todo o extremo SW. As praias de declive suave ocorrem no extremo NW da ilha, nas margens do rio Itiberê, desde o meio da ilha até o canal da Cotinga. O contorno restante apresenta margem abrupta intercalada com zonas de mangue.

Figura 2. Modelo Digital de Terreno da Ilha dos Valadares. Vista de Topo

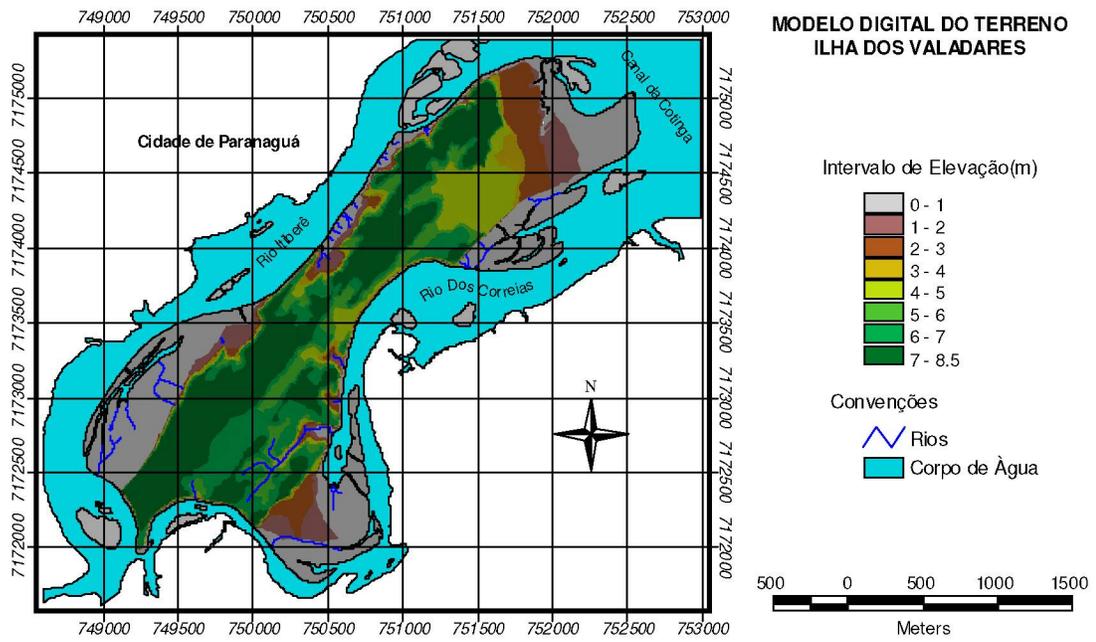
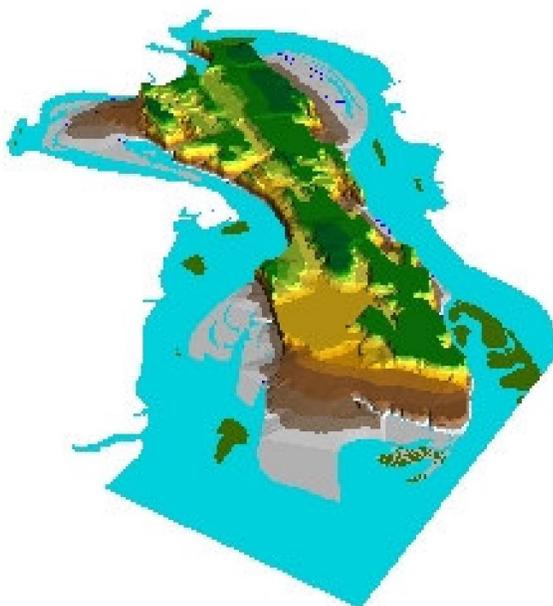


Figura 3. Modelo Digital de Terreno da Ilha dos Valadares. Perspectiva oblíqua de SW (A) e de NW (B).



Perspectiva A



Perspectiva B

3.5 MARCO ESTRUTURAL

Segundo Fuck *et al.* (1969), os primeiros alinhamentos no embasamento são predominantemente de direção NE-SW. Na região de Paranaguá - Guaratuba, atingem orientação N20°-30°E até N-S. Ao norte da baía de Paranaguá, os alinhamentos mudam de direção para N50° - 60°E, e, próximos à costa fixam-se em N30°-40°E. A drenagem na sub-bacia de Paranaguá tem orientação NE.

3.6 SOLO E VEGETAÇÃO

Na parte emersa da ilha predominam solos resultantes de alteração dos sedimentos marinhos, classificados segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (1987), como podzólicos e parapodzólicos (espodossolos). São solos muito arenosos, hidromórficos, com horizontes A, B e C diferenciados. O horizonte A tem coloração variando de cinza-clara até preta. O horizonte B caracteriza-se por coloração amarelo-alaranjada, resultante da concentração e precipitação de hidróxidos de ferro. São solos muito permeáveis, inclusive no horizonte B que ainda apresenta cimentação incipiente, não impedindo a percolação da água.

O horizonte húmico não existe na maior parte da ilha, passando diretamente para a porção arenosa. Esse fato favorece tanto a infiltração da água de chuva quanto à ação de agentes erosivos.

As zonas de mangue apresentam solos indiferenciados, com aspecto lodoso, característico da deposição de sedimentos sílticos-argilosos em ambiente de baixa energia. São solos muito salinizados por receberem influência direta dos fluxos e refluxos das marés. Na extremidade NW da ilha ocorre, junto à linha da maré baixa, por aproximadamente 100m de extensão, uma camada delgada (10 a 20cm) de textura argilosa, plástica e de cor cinza-clara, que pode ser considerada como um horizonte gleyzado.

Cerca de 90% da vegetação natural da parte emersa foi destruída pelo processo de ocupação da Ilha. Distinguem-se, na Ilha dos Valadares, dois ambientes vegetais: um marginal, sujeito a inundações periódicas durante as marés e outro permanentemente emerso.

A cobertura vegetal da parte permanentemente emersa da ilha é constituída por formas secundárias de vegetação, sendo comum à ocorrência de espécies cultivadas, tais como, figueiras, sete-copas e espécies frutíferas (goiabeiras, araçazeiros, jaqueiras e cajueiros entre outras).

As zonas marginais da ilha constituem os manguezais, com espécies vegetais adaptadas às condições de salinidade, e baixa oxigenação do solo. Os manguezais são formados por várias espécies arbóreas, ocorrendo predominantemente, no extremo SW da ilha, nas margens dos rios Itiberê e dos Correias e, no extremo NE, na margens do rio dos Correias e do canal do Cotinga. Os solos dos manguezais são salinizados devido ao ambiente estuarino, pouco consolidados, de textura síltico-argilosa.

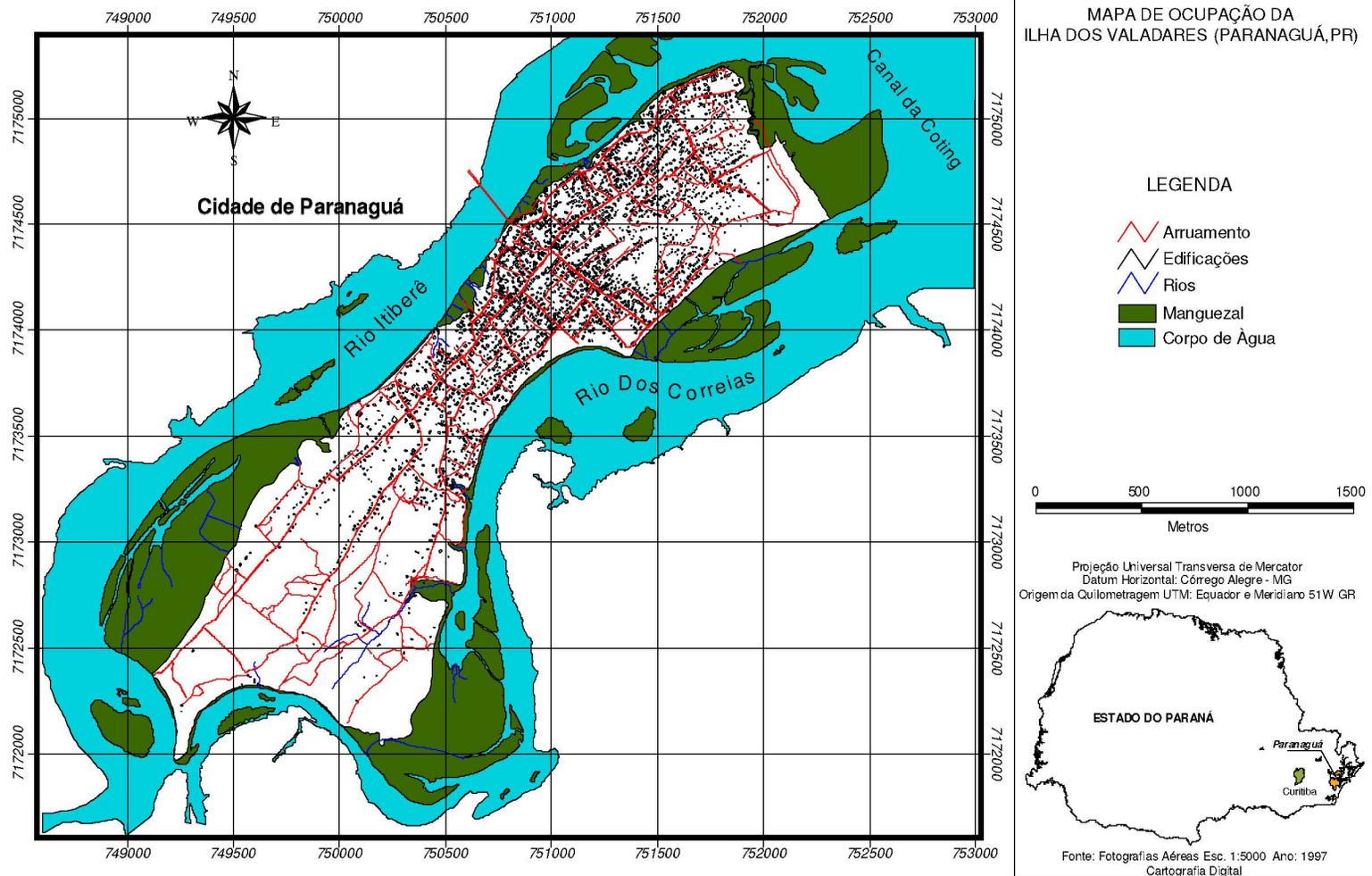
3.7 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

A ilha tem área total de 5,15km². Pouco menos de 3km² constituem a parte permanentemente emersa, dos quais, cerca de 60% são de ocupação urbana desordenada, predominantemente residencial (Figura 4). A atividade comercial é incipiente e não existe qualquer tipo de indústria na ilha. Foram contadas 2.879 edificações na ilha, das quais, aproximadamente, 95% correspondem a moradias simples e de baixo custo. Essas edificações estão concentradas na porção NE da ilha, pela proximidade com a passarela para pedestres, que permite a ligação com o continente.

Informações obtidas na sub-prefeitura e no posto policial da Ilha de Valadares indicam uma população superior a 20.000 habitantes. Uma pequena parcela dessa população vive da pesca artesanal e a grande maioria exerce trabalho assalariado em Paranaguá.

As áreas de circulação são ocupadas por vielas, becos e ruas estreitas, sinuosas e curtas. O número de vias pavimentadas é reduzido. Os tipos de transporte utilizado são; veículo com tração animal, bicicletas e motocicletas. Uma pequena praça e quatro campos de futebol de pequenas dimensões constituem as áreas de recreação da ilha.

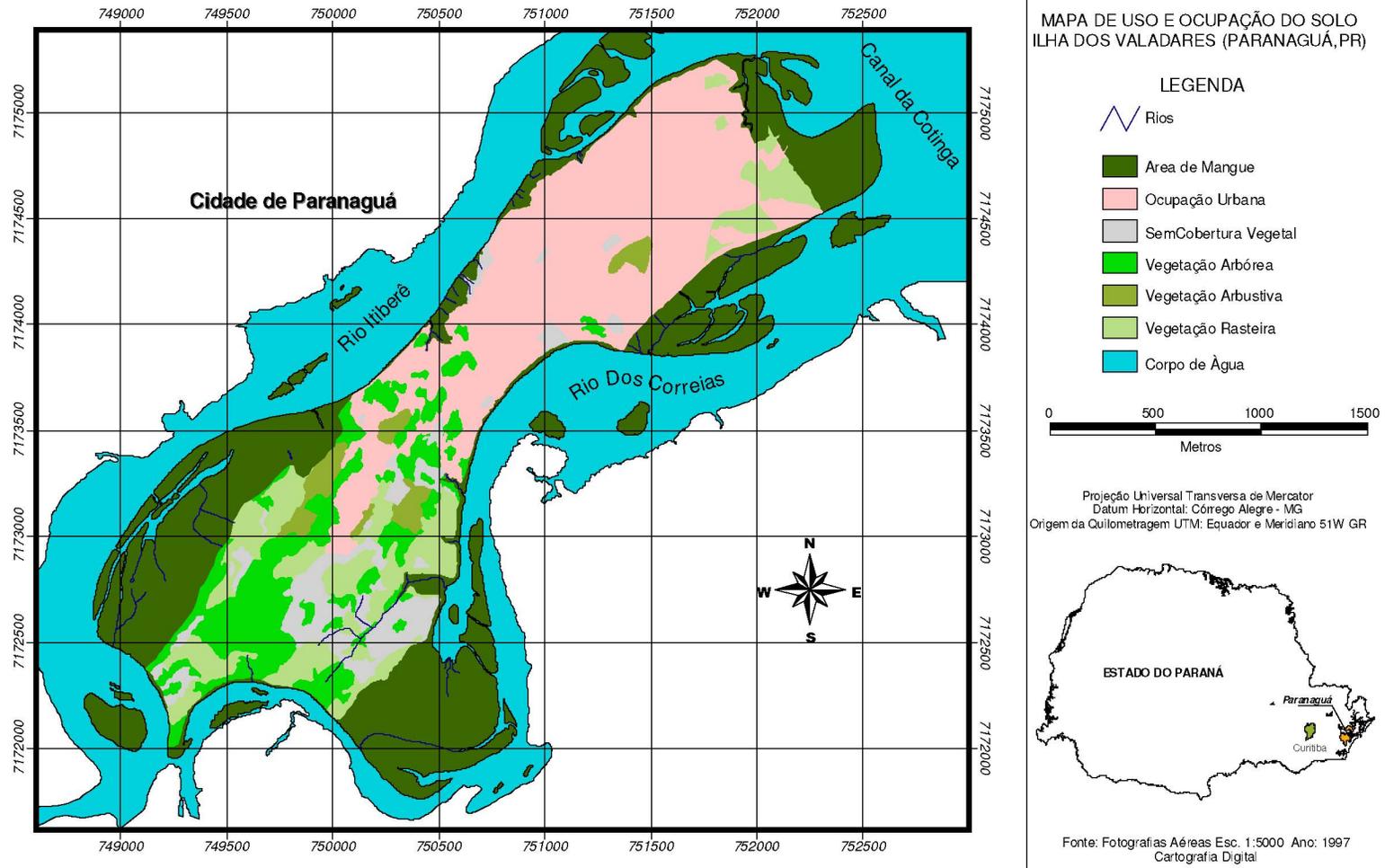
Figura 4. Mapa de Distribuição das Edificações na Ilha Dos Valadares.



Não existe sistema de esgotamento sanitário e as residências são equipadas com fossas (sumidouros), que se transformam em fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas, devido à alta permeabilidade do terreno e a pouca profundidade do nível freático.

As áreas passíveis de avanço urbano estão situadas na extremidade SW da ilha (Figura 4) e correspondem a áreas com cobertura vegetal de gramíneas, arbustos e arbóreas de médio porte, utilizadas como chácaras, como se observa no mapa de uso do solo (Figura 5). Além destas, existem os manguezais que apesar de serem áreas preservação permanente, encontram-se ocupados em alguns locais da ilha.

Figura 5. Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Ilha dos Valadares.



4. GEOLOGIA

4.1 GEOLOGIA REGIONAL

A planície costeira do Paraná, na região de Paranaguá, tem sido objeto de estudo de vários pesquisadores, destacando-se os trabalhos de Bigarella (1946, 1965a), Riverau *et al.* (1969), Tessler & Suguio (1987), MINEROPAR (1989) e, Angulo (1992), Angulo & Lessa (1997), Lessa *et.al* (2000).

No bloco costeiro do Estado do Paraná, ocorrem dois domínios geológicos principais: o das rochas do embasamento cristalino denominado de escudo, e o da cobertura sedimentar cenozóica.

Entre as unidades geológicas principais podem-se distinguir: o Complexo gnáissico migmatítico costeiro do Proterozóico inferior, constituído principalmente por granitos gnáissicos e de anatexia e migmatitos; e a cobertura sedimentar cenozóica que é constituída, principalmente, por sedimentos de origens continental e costeiro.

A coluna estratigráfica, atualmente aceita, para esses dois domínios estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Tipos litológicos característicos do embasamento cristalino no Bloco Costeiro, conforme apresentado no mapa Geológico do Estado do Paraná (MINEROPAR, 1989).

Era	Período	Materiais
Mesozóico	Juro-Cretáceo	Diques de diabásio, dioritos, dioritos pórfiros e traquiandesitos
Paleozóico	Cambriano	Granitos Sub-Alcalinos e Alcalinos Granitos sub-alcálicos e alcalinos (Granitos Graciosa, Marumbi e Anhangava) Granitos e Sieno-Granitos Sieno-granitos, granitos e monzonitos
Proterozóico	Superior	Granitos e granitóides embrechíticos Migmatitos e Granitos de Anatexia Brasileiros Migmatitos estromáticos, migmatitos de injeção e granitos de anatexia com paleossomas tanto dominantes quanto indiferenciados
Proterozóico	Inferior	Suite Granítica Foliada Granitos e granitóides embrechíticos foliados Formação Rio das Cobras Xistos, xistos granatíferos e quartzitos Suite Gnáissica Morro Alto Biotita-gnaisses com intercalações de micaxistos e quartzitos Complexo Gnáissico Costeiro Granitos, granitos-gnaisses e anatexitos Migmatitos oftálmicos e embrechíticos, gnaisses, quartzitos e anfíbolitos.
Arqueano		Complexo Granulítico Serra Negra Xistos, metargilitos e quartzitos com intercalações de anfíbolitos Xistos magnesianos, anfíbolitos, metabasitos e gnaisses Quartzitos, xistos, metarenitos e meta-arcósios Embrechitos, granulitos e gnaisses Noritos, enderbitos, metadioritos, metagabros

4.1.1 COMPLEXO GNÁISSICO-MIGMATÍTICO

São as rochas mais antigas da área estudada (2,5 a 1,8 bilhões de anos) compondo um complexo metamórfico que engloba diversas unidades e conjuntos heterogêneos. O complexo costeiro é constituído por rochas migmáticas ou gnáissico-migmáticas de fácies anfíbolito sofrendo geralmente menor evolução no sentido granítico. Os tipos mais comuns são gnaisses e migmatitos de estrutura bandada e facoidal, aparecendo intercalados, minoritariamente, metavulcânicas e quartzitos, entre outros.

4.1.2 COBERTURA SEDIMENTAR

Segundo Angulo (1992), a planície costeira do Estado do Paraná é constituída por sedimentos continentais e costeiros. Os sedimentos continentais incluem os pertencentes à Formação Alexandra, os depósitos associados as vertentes, tais como cones e leques aluviais, talús e colúvios e os sedimentos de origem fluvial, que abrangem os de planícies de inundação, barras em pontal, meandros e canais abandonados e diques marginais. Os sedimentos costeiros pertencem a dois tipos de sistemas principais: o de planície costeira com cordões litorâneos e o estuarino. Ambos são representados tanto, por ambientes antigos formados durante o período em que o mar tinha níveis relativos mais altos que o atual, como por ambientes atuais.

O último mapeamento geológico (Angulo 1992) foi feito na escala de 1: 50.000, dividindo a planície costeira nas seguintes unidades sedimentares: Sedimentos continentais; que incluem os pertencentes à Formação Alexandra (Mioceno Inferior), leques e cones aluviais, talús, colúvios e sedimentos fluviais. Sedimentos costeiros divididos em planície costeira com cordões litorâneos (Pleistoceno Superior e Holoceno); e sedimentos estuarinos, alguns correspondentes a ambientes antigos de deposição, formados durante períodos em que o mar tinha níveis relativos mais altos que o atual, e outros depositados em ambientes atuais, tais como praias, planícies de maré, deltas de maré e dunas frontais (Tabela 3).

Tabela 3. Unidades de Mapeamentos dos Sedimentos da Planície Costeira do Paraná. (Angulo, 1992).

CONTINENTAIS
Leques e Cones Aluviais.
Talús
Colúvios
Sedimentos Fluviais
Planícies de Inundação
Barras em Pontal
Meandros e Canais Abandonados
Dique Marginais
COSTEIROS
Planície Costeira com Cordões Litorâneos
Praias
Brejos Intercordões
Dunas Frontais
Estuarinos
Planícies de Maré
Manguezais
Manguezais com <i>Acrosticum</i> e <i>Hibiscus</i>
Zona de <i>Cladium</i>
Brejos de Maré
Pântanos de Maré
Marismas e Bancos
Fundos Rasos
Deltas de Maré
Sedimentos Paleoestuarinos

4.1.2.1 Planície costeira com cordões litorâneos.

As planícies costeiras com cordões litorâneos são uma das feições mais marcantes do litoral Brasileiro, ocorrendo principalmente ao longo de toda sua costa. Sua altura raramente ultrapassa os 10m sobre o nível médio do mar, existindo uma diminuição progressiva de altitude do interior em direção ao mar, onde atinge de um a dois metros sobre o nível médio do mar. No Paraná elas se estendem desde o canal do Varadouro, ao norte, até o rio Saiguaçu, ao sul. Altitudes superiores a 10m, como as que se verificam na Ilha do Mel, estão associadas à ocorrência de dunas eólicas (Angulo, 1992).

Uma das características mais marcantes dessas planícies são as feições lineares denominadas "Cordões Litorâneos", mencionados por Bigarella (1946) e denominados de "restingas" e aparece indicado nas cartas das baías de Paranaguá (Bigarella *et al.*, 1957) e Guaratuba (Bigarella & Doubeck, 1963) como orientação dos principais terraços de construção marinha. Os cordões litorâneos se dispõem geralmente paralelos e subparalelos

à linha de costa atual, e se agrupam em feixes.

Na planície costeira com cordões litorâneos se evidencia um predomínio de sedimentos arenosos finos e muito finos com uma quantidade considerável de argila (quase 20%) nos terraços mais antigos, interpretada como proveniente de processos epigenéticos, principalmente pedogênese (Angulo, 1992).

4.1.2.1.1 *Estruturas Sedimentares*

Estruturas sedimentares da planície costeira já haviam sido descritas por Bigarella (1965c) nas proximidades do rio Maciel. Martin & Suguio (1986) fizeram novas referências às estruturas dos sedimentos das planícies e Tessler & Suguio (1987) descreveram vários perfis nas margens dos rios Maciel, Guaraguaçu, dos Almeidas, dos Correias e Itiberê, localizados entre Paranaguá e Pontal do Sul.

As principais estruturas encontradas foram: estratificação cruzada de baixo ângulo; estratificação cruzada acanalada tangencial, sigmoidal, planar e truncada por ondas; estrutura de corte e preenchimento de canal; laminação cruzada de marcas onduladas simétricas e assimétricas; laminação convoluta, e diversos tipos de bioturbações, destacando-se os tubos atribuídos a *Callichirus major* (um artrópode marinho que vive na zona intramaré) (Angulo 1992).

4.1.2.1.2 *Estratificação cruzada de baixo ângulo com laminação plano paralela sub-horizontal.*

Bigarella (1965b) denominou "estratificação paralela sub-horizontal" as lâminas com um mergulho de 1º a 3º para o mar, quase em ângulo reto com o cordão. A estrutura é formada por estratos de vários metros de comprimento com forma de cunha, de difícil observação nos afloramentos, devido a seu tamanho. O que se observa, freqüentemente, são partes das superfícies limitantes dos estratos que separam seqüências de lâminas com inclinação diferente (Angulo 1992). As areias com estratificação cruzada de baixo ângulo

ocorrem geralmente sobre estratos com estratificação cruzada tabular e acanalada e sob areias sem estrutura visível.

Outras estruturas de ampla distribuição nos sedimentos da planície com cordões litorâneos são as estratificações cruzadas planar e acanalada. Os sedimentos que as formam são, em geral, ligeiramente mais grossos e menos selecionados que os sedimentos com estratificação cruzada de baixo ângulo, quando se considera um mesmo perfil.

4.1.2.1.3 Outras estruturas

Nos afloramentos descritos por Angulo (1992), foram encontrados diversos tipos de bioturbações. As mais significativas são os tubos *Ophiomorfa* atribuídos a *Callichirus Major*.

Em muitos casos, em estudos anteriores, foram observados afloramentos e até perfis inteiros constituídos por areias sem estrutura visível, atribuída a origem eólica re-trabalhada (Bigarella 1965b).

4.1.2.2 Sistemas Estuarinos

A ilha dos Valadares se encontra no interior do estuário de Paranaguá. Nela se distinguem sedimentos depositados em ambiente atual, representados principalmente pelo ecossistema de manguezal que faz parte das planícies de maré, e sedimentos depositados em antigos estuários denominados sedimentos paleo-estuarinos.

4.1.2.2.1 Planícies de Maré

As planícies de maré se desenvolvem ao longo das costas de baixo declive, com influência do ciclo de marés, onde há suficiente sedimento disponível e não há forte ação das ondas. Angulo (1990) identificou sete ecossistemas diferentes que compõem a planície de maré: manguezal, marismas, bancos arenosos e areno-argilosos, manguezal com *Acrostichum* e *Hibiscus*, zona de *Cladium*, pântano de maré e brejo de maré.

Com relação à composição sedimentar, o manguezal se desenvolve em bancos arenos-argilosos onde a vegetação favorece a acumulação de lodo (Bigarella 1946).

4.1.2.2 Sedimentos Paleo-estuarinos

Os sedimentos paleo-estuarinos formam áreas planas de pouca altura, com ausência de feições lineares, o que as diferencia da planície costeira com cordões litorâneos. A altura dessas áreas vai desde o limite máximo alcançado pelas marés até cinco ou seis metros sobre esse nível, sendo que geralmente ocorre associada a planícies com cordões litorâneos e planícies de maré atuais.

Segundo análise de sedimentos paleo-estuarinos efetuados por Angulo (1992), ficou evidenciado o predomínio de areias, ocorrendo também siltes argilo-arenosas, em estruturas com estratificação ondulada, cruzada acanalada, paleocanais e associada às estruturas físicas intensamente bioturbadas.

4.2 GEOLOGIA LOCAL

A Ilha dos Valadares apresenta duas feições distintas: uma permanente emersa (Figura 6) e outra periodicamente inundada pelas marés altas, formando as áreas de mangue e baixios marginais.

A parte emersa é constituída, do topo para a base, por areias inconsolidadas, bem selecionadas, com granulometria fina a muito fina, sem estruturas sedimentares aparentes, conforme descrito por Bigarella (1965b), seguidas por areias finas a médias, depositadas em ambiente subaquático mostrando estratificações cruzadas, plano paralelas, de escape e bioturbações. Nas margens dos rios Itiberê e dos Correias, os afloramentos desse pacote atingem cerca de 6m de altura.

As áreas periodicamente inundadas pelas marés são cobertas por sedimentos areno-argilosos de coloração cinza escura e ricos em matéria orgânica (Figura 7).

Figura 6. Aspecto da parte permanente emersa da Ilha dos Valadares, na margem esquerda do rio dos Correias.



Figura 7. Aspecto da parte periodicamente inundada da Ilha dos Valadares, na margem esquerda do rio dos Correias.



Níveis centimétricos de areia cimentada por óxidos de ferro são freqüentes nos afloramentos. Essa carapaça ferruginosa (limonita) aparece acompanhando a base do horizonte húmico sob a forma de laminações planas sub-horizontais (Figura 8). Em outros locais ocorre de forma corrugada (Figura 9). As estruturas que aparecem nos níveis limonitizados são de origem epigenético. A origem desses níveis ferruginosos está ligada a processos pedológicos onde ocorreu a dissolução de minerais ricos em ferro que, carregados pelas águas de infiltração, acabaram precipitando ao atingirem um ambiente oxidante nas bordas da ilha, formando os referidos níveis.

De um modo geral, os afloramentos são capeados por uma camada arenosa de coloração variando de cinza a marrom escura, sem estrutura sedimentar, rica em matéria orgânica devido a processos pedológicos.

Figura 8. Nível ferruginoso com laminações sub-horizontais.



Figura 9. Nível ferruginoso corrugado.



Foram descritos 15 perfis que podem ser visualizados nas Figura 11 à Figura 25, onde consta uma breve descrição dos pontos observados. A localização de cada ponto é mostrado na Tabela 4 e a distribuição espacial na Figura 10.

Tabela 4. Localização Geográfica dos perfis levantados em campo

PERFIL	LOCALIZAÇÃO	UTM (E)	UTM (N)
1		750 723	7 174 041
2	Margem esquerda do rio dos Correias	751 243	7 173 924
3	Margem direita do rio Itiberê	750 324	7 173 860
4	Margem direita do rio Itiberê	750 196	7 173 734
5	Margem direita do rio Itiberê	750 057	7 173 616
6	Margem direita do rio Itiberê	749 947	7 173 376
7	Margem direita do rio Itiberê	749 855	7 173 282
8	Extremo SW da ilha (confluência do Itiberê / Correias)	749 135	7 172 356
9	Extremo SW da ilha (confluência do Itiberê / Correias)	749 199	7 172 266
10	Extremo SW da ilha (confluência do Itiberê / Correias)	749 229	7 172 126
11	Extremo SW da ilha (confluência do Itiberê / Correias)	749 225	7 171 980
12	Margem esquerda do rio dos Correias	750 681	7 173 477
13	Margem esquerda do rio dos Correias	750 769	7 173 632
14	Margem esquerda do rio dos Correias	750 878	7 173 762
15	Margem esquerda do rio dos Correias	751 056	7 173 885

Figura 10. Distribuição dos afloramentos descritos na Ilha dos Valadares

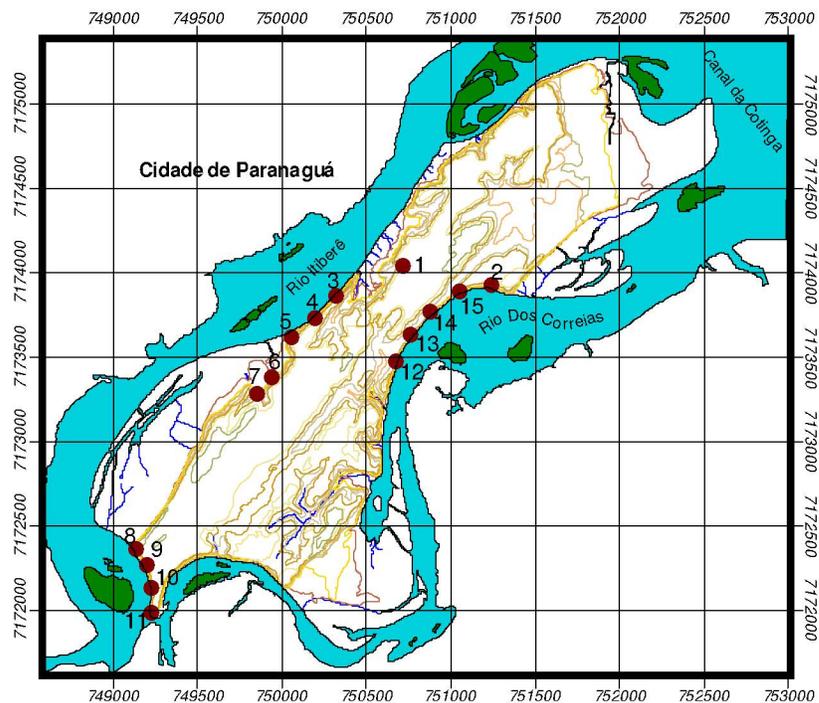


Figura 11. Perfil 01 – Corte no cruzamento de ruas próximo ao posto policial

Perfil 01	LITOLOGIA	ESTRUTURAS SEDIMENTARES	VISTA DO AFLORAMENTO
<p data-bbox="296 440 348 459">_6,0 m</p> <p data-bbox="296 508 348 527">_5,0 m</p> <p data-bbox="296 576 348 596">_4,0 m</p> <p data-bbox="296 644 348 664">_3,0 m</p> <p data-bbox="296 712 348 732">_2,0 m</p> <p data-bbox="296 781 348 800">_1,0 m</p> <p data-bbox="296 849 348 868">_0,0 m</p> 	<p data-bbox="380 586 884 670"><i>0,5-1,1m Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, creme-acinzentada, pedogeneizada.</i></p> <p data-bbox="380 708 884 760"><i>0,4-0,5m Areia fina a muito fina, bem selecionada, compacta, cimento ferruginoso</i></p> <p data-bbox="380 797 884 849"><i>0,0-0,4m Areia fina a muito fina, bem selecionada, pouco compacta, bege</i></p>	<p data-bbox="947 586 1178 605"><i>Sem estruturas visíveis</i></p> <p data-bbox="947 708 1293 760"><i>Laminações epigenéticas devido à precipitação de hidróxidos de ferro</i></p> <p data-bbox="947 797 1178 816"><i>Sem estruturas visíveis</i></p>	

Figura 12. Perfil 02 – Margem esquerda do rio dos Correias

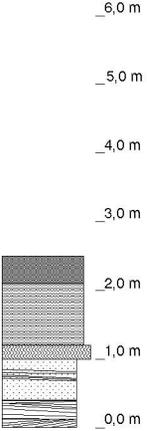
Perfil 02	LITOLOGIA	ESTRUTURAS SEDIMENTARES	VISTA DO AFLORAMENTO
 <p>6,0 m</p> <p>5,0 m</p> <p>4,0 m</p> <p>3,0 m</p> <p>2,0 m</p> <p>1,0 m</p> <p>0,0 m</p>	<p>2,1-2,5m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, creme-acinzentada, pedogeneizada.</i></p> <p>1,2-2,1m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, marrom avermelhado.</i></p> <p>1,0-1,2m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, compacta, cimento ferruginoso</i></p> <p>0,4-1,0m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, pouco compacta, bege</i></p> <p>0,0-0,4m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, pouco compacta, creme-acinzentado</i></p>	<p><i>Encoberto</i></p> <p><i>Sem estruturas visíveis</i></p> <p><i>Laminações planares e convolutas epigenéticas evidenciadas pela precipitação de hidróxidos de ferro</i></p> <p><i>Estratificação plano-paralela sub-horizontal incipiente</i></p> <p><i>Estratificação cruzada com laminação plano-paralela</i></p>	

Figura 13. Perfil 03 – Margem direita do rio Itiberê

Perfil 03	LITOLOGIA	ESTRUTURAS SEDIMENTARES	VISTA DO AFLORAMENTO
	<p>3,0-4,0m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, marrom escura, pedogeneizada.</i></p> <p>2,5-3,0m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, bege.</i></p> <p>0,0-2,5m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, bege claro a amarelada, com níveis ferruginosos na porção inferior do afloramento.</i></p>	<p><i>Encoberto</i></p> <p><i>Sem estruturas visíveis</i></p> <p><i>Sem estruturas visíveis</i></p>	

Figura 14. Perfil 04 – Margem direita do rio Itiberê

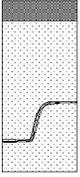
Perfil 04	LITOLOGIA	ESTRUTURAS SEDIMENTARES	VISTA DO AFLORAMENTO
 <p data-bbox="300 444 348 464">_6,0 m</p> <p data-bbox="300 513 348 532">_5,0 m</p> <p data-bbox="300 581 348 600">_4,0 m</p> <p data-bbox="300 649 348 669">_3,0 m</p> <p data-bbox="300 717 348 737">_2,0 m</p> <p data-bbox="300 786 348 805">_1,0 m</p> <p data-bbox="300 854 348 873">_0,0 m</p>	<p data-bbox="380 586 884 672"><i>2,2-2,5m Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, marrom escura, pedogeneizada.</i></p> <p data-bbox="380 708 898 850"><i>0,0-2,2m Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, de coloração acinzentada, passando a amarelada com vários níveis ferruginosos. Os níveis ferruginosos ocorrem de forma descontínua e escalonada.</i></p>	<p data-bbox="947 586 1052 605"><i>Encoberto</i></p> <p data-bbox="947 708 1297 794"><i>Laminações planares e convolutas epigenéticas evidenciadas pela precipitação de hidróxidos de ferro.</i></p>	

Figura 15. Perfil 05 – Margem direita do rio Itiberê

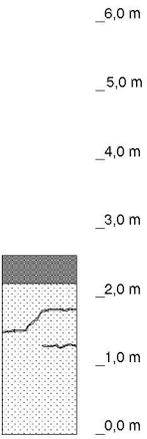
Perfil 05	LITOLOGIA	ESTRUTURAS SEDIMENTARES	VISTA DO AFLORAMENTO
	<p>2,2-2,6m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, marrom escura, pedogeneizada.</i></p> <p>0,0-2,2m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, de coloração acinzentada, com níveis ferruginosos descontínuos e corrugados.</i></p>	<p><i>Encoberto</i></p> <p><i>Sem estruturas visíveis</i></p>	

Figura 16. Perfil 06 – Margem direita do rio Itiberê

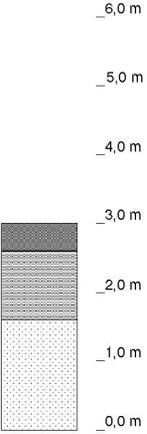
Perfil 06	LITOLOGIA	ESTRUTURAS SEDIMENTARES	VISTA DO AFLORAMENTO
 <p data-bbox="302 412 352 431">_6,0 m</p> <p data-bbox="302 480 352 500">_5,0 m</p> <p data-bbox="302 548 352 568">_4,0 m</p> <p data-bbox="302 617 352 636">_3,0 m</p> <p data-bbox="302 685 352 704">_2,0 m</p> <p data-bbox="302 753 352 773">_1,0 m</p> <p data-bbox="302 821 352 841">_0,0 m</p>	<p data-bbox="380 586 884 672"><i>2,6-3,0m Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, marrom escura, pedogeneizada.</i></p> <p data-bbox="380 704 884 760"><i>1,6-2,6m Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, marrom avermelhado.</i></p> <p data-bbox="380 792 884 847"><i>0,0-1,6m Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, bege claro.</i></p>	<p data-bbox="947 586 1052 605"><i>Encoberto</i></p> <p data-bbox="947 704 1178 724"><i>Sem estruturas visíveis</i></p> <p data-bbox="947 792 1178 812"><i>Sem estruturas visíveis</i></p>	

Figura 17. Perfil 07 – Margem direita do rio Itiberê

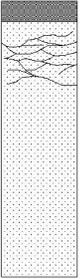
Perfil 07	LITOLOGIA	ESTRUTURAS SEDIMENTARES	VISTA DO AFLORAMENTO
	<p>3,7-4,0m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, marrom escura, pedogeneizada.</i></p> <p>2,7-3,7m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, bege, com indícios de pedogeneizada, com vários níveis corrugados e anastomosados enriquecidos em hidróxidos de ferro.</i></p> <p>0,0-2,7m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, bege claro</i></p>	<p><i>Encoberto</i></p> <p><i>Níveis corrugados de origem epigenético formados pela precipitação de hidróxidos de ferro.</i></p> <p><i>Sem estruturas visíveis</i></p>	

Figura 18. Perfil 08 – Extremo SW (confluência do Itiberê com o dos Correias)

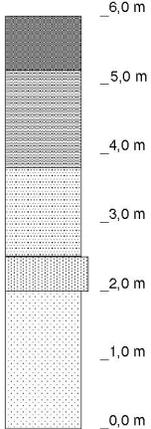
Perfil 08	LITOLOGIA	ESTRUTURAS SEDIMENTARES	VISTA DO AFLORAMENTO
	<p>5,2-6,0m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, marrom escura, pedogeneizada.</i></p> <p>3,8-5,2m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, com coloração variando de marrom a bege escuro, pedogeneizada.</i></p> <p>2,5-3,8m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, de coloração bege.</i></p> <p>2,0-2,5m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, compacta, coloração bege ferruginoso</i></p> <p>0,0-2,0m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, bege claro.</i></p>	<p><i>Encoberto</i></p> <p><i>Sem estruturas visíveis</i></p> <p><i>Sem estruturas visíveis</i></p> <p><i>Estratificação plano-paralela sub-horizontal</i></p> <p><i>Sem estruturas visíveis</i></p>	

Figura 19. Perfil 09 – Extremo SW (confluência do Itiberê com o dos Correias)

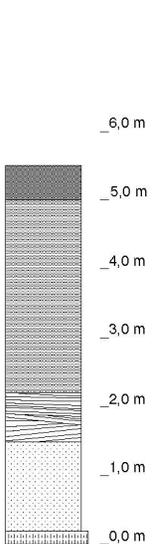
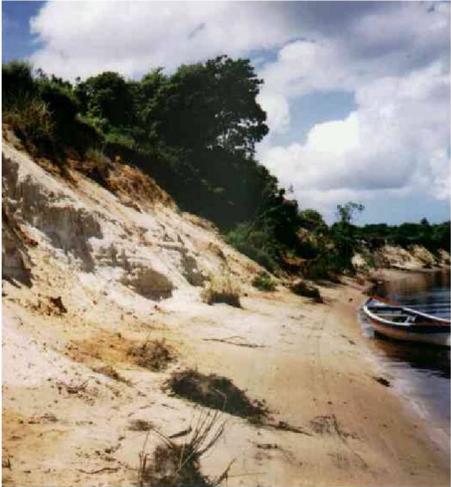
Perfil 09	LITOLOGIA	ESTRUTURAS SEDIMENTARES	VISTA DO AFLORAMENTO
	<p>5,0-5,5m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, marrom escura, pedogeneizada.</i></p> <p>2,2-5,0m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, coloração marrom avermelhado passando a bege escuro, pedogeneizada.</i></p> <p>1,5-2,2m <i>Areia fina a muito fina, bege, bem selecionada, moderadamente compacta, com intercalações de lâminas bege escuro.</i></p> <p>0,2-1,5m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, bege claro, pouco compacta, creme-acinzentado.</i></p> <p>0,0-0,2m <i>Argila hidromórfica, cinza claro, coesa, plástica. Ocorre junto ao nível da água..</i></p>	<p><i>Encoberto</i></p> <p><i>Sem estruturas visíveis</i></p> <p><i>Estratificação plano-paralela sub-horizontal e estratificação cruzada de baixo ângulo com laminação plano-paralela.</i></p> <p><i>Sem estruturas visíveis</i></p> <p><i>Sem estruturas visíveis</i></p>	

Figura 20. Perfil 10 – Extremo SW (confluência do Itiberê com o dos Correias)

Perfil 10	LITOLOGIA	ESTRUTURAS SEDIMENTARES	VISTA DO AFLORAMENTO
	<p>3,4-4,0m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, marrom escura, pedogeneizada.</i></p> <p>2,3-3,4m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, coloração bege acinzentado.</i></p> <p>1,5-2,3m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, com alternâncias de lâminas bege e marrom avermelhado.</i></p> <p>0,0-1,5m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, bege</i></p>	<p><i>Encoberto</i></p> <p><i>Sem estruturas visíveis</i></p> <p><i>Estratificação plano-paralela sub-horizontal, estratificação cruzada plano-paralela de baixo ângulo, seqüências contorcidas por deslizamento (?) e estruturas de escape.</i></p> <p><i>Sem estruturas visíveis</i></p>	

Figura 21. Perfil 11 – Extremo SW (confluência do Itiberê com o dos Correias)

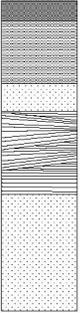
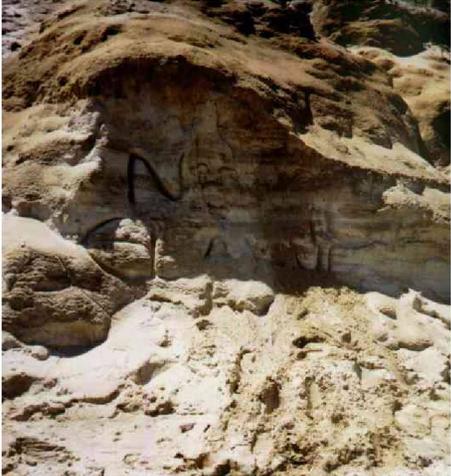
Perfil 11	LITOLOGIA	ESTRUTURAS SEDIMENTARES	VISTA DO AFLORAMENTO
	<p>4,2-4,5m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, marrom escura, pedogeneizada.</i></p>	<p><i>Encoberto</i></p>	
	<p>3,3-4,2m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, coloração marrom a bege.</i></p>	<p><i>Sem estruturas visíveis</i></p>	
	<p>2,7-3,3m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, coloração bege acinzentado.</i></p>	<p><i>Sem estruturas visíveis</i></p>	
	<p>1,5-2,7m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, com alternâncias de lâminas bege e marrom avermelhado.</i></p>	<p><i>Estratificação plano-paralela sub-horizontal, estratificação cruzada de baixo ângulo com laminação plano-paralela.</i></p>	
	<p>0,0-1,5m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, bege</i></p>	<p><i>Sem estruturas visíveis</i></p>	

Figura 22. Perfil 12 – Margem esquerda do rio dos Correias

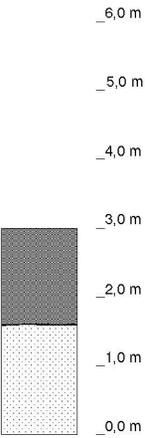
Perfil 12	LITOLOGIA	ESTRUTURAS SEDIMENTARES	VISTA DO AFLORAMENTO
 <p data-bbox="296 375 350 808"> _6,0 m _5,0 m _4,0 m _3,0 m _2,0 m _1,0 m _0,0 m </p>	<p data-bbox="380 586 884 675"> <i>1,6-3,0m Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, marrom escura, pedogeneizada.</i> </p> <p data-bbox="380 708 646 732"> <i>1,6m Nivel ferruginoso</i> </p> <p data-bbox="380 764 884 821"> <i>0,0-1,6m Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, bege</i> </p>	<p data-bbox="947 586 1178 610"><i>Sem estruturas visíveis</i></p> <p data-bbox="947 764 1178 789"><i>Sem estruturas visíveis</i></p>	

Figura 23. Perfil 13 – Margem esquerda do rio dos Correias

Perfil 13	LITOLOGIA	ESTRUTURAS SEDIMENTARES	VISTA DO AFLORAMENTO
	<p>3,0-4,5m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, marrom escura, pedogeneizada.</i></p>	<p><i>Sem estruturas visíveis</i></p>	
	<p>3,0m <i>Nível ferruginoso</i></p>	<p><i>Sem estruturas visíveis</i></p>	
	<p>1,8-3,0m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, coloração bege escuro.</i></p>	<p><i>Sem estruturas visíveis</i></p>	
	<p>1,8m <i>Nível ferruginoso</i></p>	<p><i>Sem estruturas visíveis</i></p>	
<p>0,0-1,8m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, bege</i></p>	<p><i>Sem estruturas visíveis</i></p>		

Figura 24. Perfil 14 – Margem esquerda do rio dos Correias

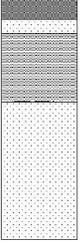
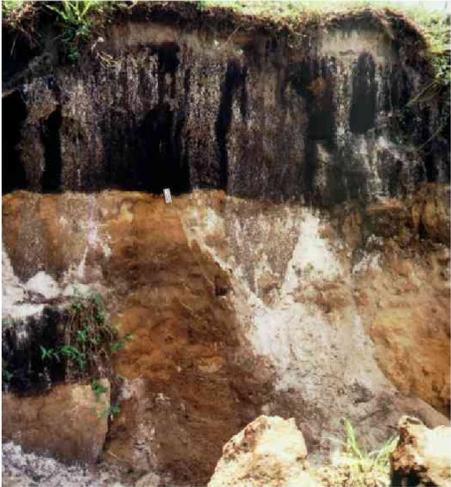
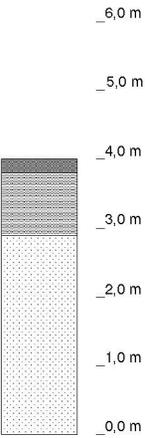
Perfil 14	LITOLOGIA	ESTRUTURAS SEDIMENTARES	VISTA DO AFLORAMENTO
	<p>3,2-3,5m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, marrom escura, pedogeneizada.</i></p>	<p><i>Sem estruturas visíveis</i></p>	
	<p>3,0-3,2m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, coloração bege acinzentado.</i></p>	<p><i>Sem estruturas visíveis</i></p>	
	<p>2,0-3,0m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, marrom escuro.</i></p>	<p><i>Sem estruturas visíveis</i></p>	
	<p>2,0m <i>Nível ferruginoso</i></p>	<p><i>Sem estruturas visíveis</i></p>	
	<p>0,0-2,0m <i>Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, bege</i></p>	<p><i>Sem estruturas visíveis</i></p>	

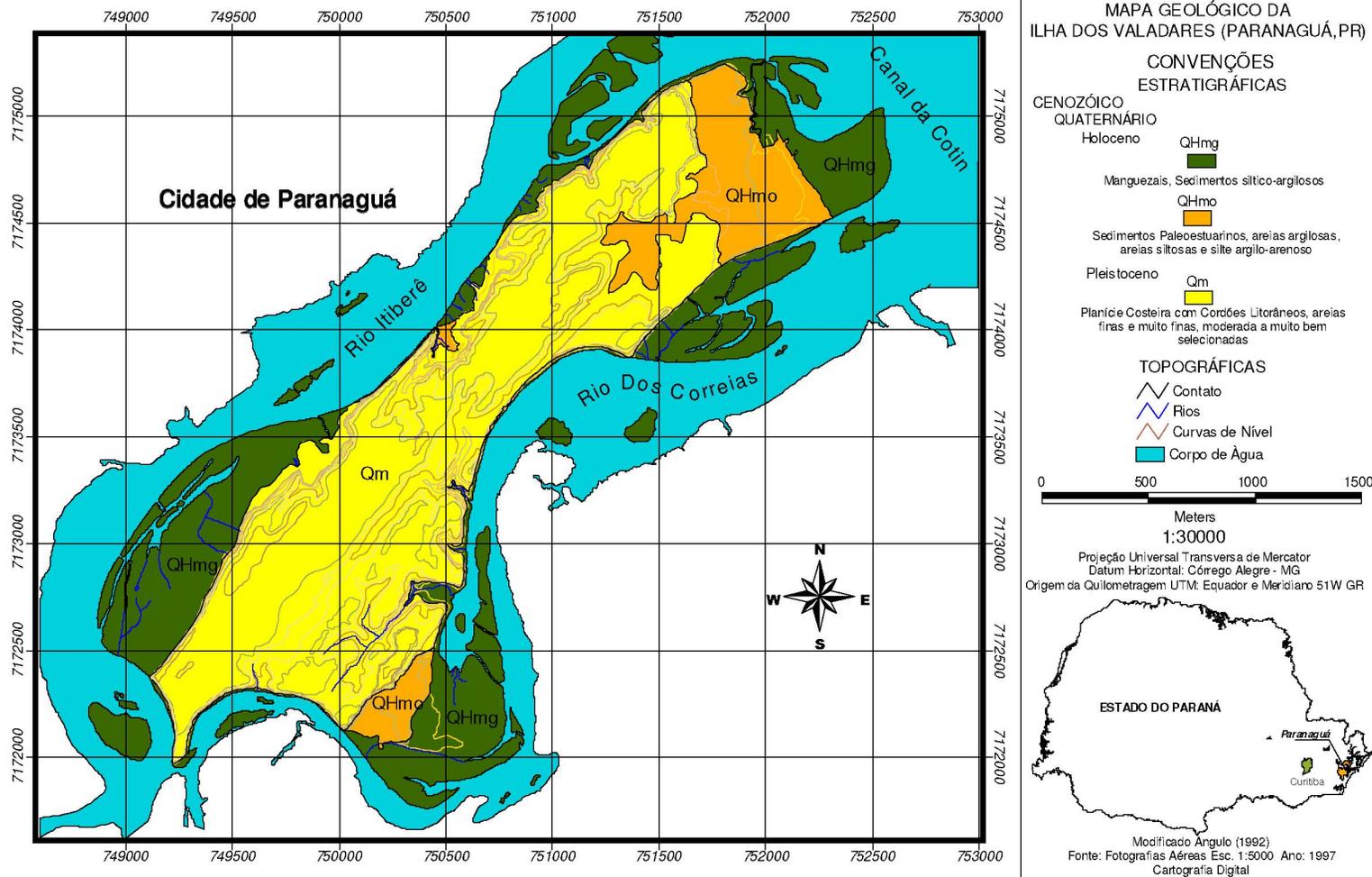
Figura 25. Perfil 15 – Margem esquerda do rio dos Correias

Perfil 15	LITOLOGIA	ESTRUTURAS SEDIMENTARES	VISTA DO AFLORAMENTO
	<p><i>3,8-4,0m Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, marrom escura, pedogeneizada.</i></p> <p><i>2,9-3,8m Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, coloração bege escuro.</i></p> <p><i>0,0-2,9m Areia fina a muito fina, bem selecionada, moderadamente compacta, bege</i></p>	<p><i>Sem estruturas visíveis</i></p> <p><i>Sem estruturas visíveis</i></p> <p><i>Sem estruturas visíveis</i></p>	

A geologia da Ilha dos Valadares (Figura 26) se caracteriza por sedimentos inconsolidados do Quaternário. Identificam-se os dois tipos de sistemas característicos dos sedimentos costeiros: Planície costeira com cordões litorâneos do Pleistoceno Superior e Holoceno e, Sedimentos estuarinos do Holoceno.

A Planície Costeira com Cordões Litorâneos se caracteriza por sedimentos arenosos finos e muito finos com quantidade considerável de argila. Entre os sedimentos estuarinos se distinguem os de planícies de maré, com predomínio do ecossistema manguezal, constituídos por sedimentos argilo-arenosos ricos em matéria orgânica; e sedimentos paleo-estuarinos onde predominam areias, ocorrendo também siltes argilo-arenosas.

Figura 26. Mapa Geológico da Ilha dos Valadares.-



5. HIDROGEOLOGIA

5.1 HIDROGEOLOGIA REGIONAL

Na região de Paranaguá distinguem-se três unidades aquíferas associadas a três unidades estratigráficas: o aquífero fraturado constituído pelas rochas ígneas e metamórficas do embasamento cristalino Pré-Cambriano, situado a profundidades próximas ou superiores a 100m (FUNPAR 1997). O aquífero semiconfinado está constituído por sedimentos costeiros de origem continental e marinho, com profundidades superiores a 28m; e o aquífero livre, formado por sedimentos de origem marinha do Quaternário, que atingem em média 28m de profundidades. As águas desses aquíferos são captadas para abastecimento da população e para uso industrial.

O aquífero poroso é formado por sedimentos continentais e marinhos. Na fácies continental, os sedimentos são sub-angulares, de muito mal selecionados a mal selecionados, compostos principalmente por areia argilosa, argila siltosa, argila arenosa e areia silto-argilosa, com teores variáveis de grânulos e seixos, configurando-se um aquífero semiconfinado por aquícludes com permeabilidades de 10^{-4} e 10^{-6} cm/s (FUNPAR 1997). Segundo Angulo (1992), baseado na classificação de Folk (1954), as principais classes texturais são, lama arenosa pouco cascalhenta (25%), areia lamosa pouca cascalhenta (22%), seguidas de areia lamosa cascalhenta (14%) e argila arenosa (14%).

Na fácies costeiras, as análises granulométricas de sedimentos da planície litorânea, feitas por Angulo (1992), evidenciaram um predomínio dos sedimentos arenosos finos e muito finos com uma média do diâmetro médio de todas as amostras de diâmetro medido de 2,65 mm. Nas áreas ocupadas por sedimentos arenosos marinhos o aquífero apresenta-se raso com níveis potenciométricos variando de 0,3 m a 12,1 m, configurando um aquífero livre com permeabilidade de 10^{-3} cm/s, permitindo que as chuvas diretas que caem sobre a área se incorporem às águas do aquífero.

As unidades aquíferas, presentes na área de estudo, têm parâmetros de exploração diferentes. As vazões dos poços situados em rochas Pré-Cambrianas, na região litorânea paranaense, estão na faixa de 1,8 a 25,3 m³/h (Giusti 1996), dependendo das características estruturais das rochas. A zona caracterizada pelos sedimentos arenosos pleistocênicos e paleoestuarinos mostra vazões variando de 1,2 a 42,0 m³/h (FUNPAR, 1997).

Segundo FUNPAR (1997), os aquíferos que reúnem os melhores parâmetros para exploração de água subterrânea são aqueles situados em sedimentos costeiros do Quaternário. Envolvem menor metragem de perfuração o que é refletido em custo menor, mas são vulneráveis à contaminação, tanto proveniente de indústrias como por intrusão salina.

Segundo a descrição dos sedimentos recuperados durante a perfuração dos poços analisados em FUNPAR (1997), bem como da colocação dos filtros, existem dois horizontes produtores principais nestes sedimentos, na área de Paranaguá:

O horizonte formado por areias médias a grosseiras, quartzosas, esbranquiçadas, mal selecionadas, com granulometria sub-angulosa. Eventualmente registram-se bolas de argila ou silte ou porções de frações mais finas em meio às areias. Nestes horizontes as vazões alcançam valores entre 6,0 a 20,0 m³/h. Este horizonte configura, provavelmente, um depósito continental, de leques aluviais.

O horizonte formado por areias finas a médias, esbranquiçadas, quartzosas, mal selecionadas, eventualmente com seixos centimétricos de quartzo leitoso. As vazões nesta porção alcançam valores entre 4,4 a 9,0 m³/h. Este horizonte representa, provavelmente, uma zona de transição entre sedimentos continentais e marinhos.

A recarga dos aquíferos fraturados ocorre pela drenagem das águas armazenadas nos sedimentos sobrepostos e, em menor quantidade, pela percolação de água através de fraturas nas imediações da Serra do Mar. Os aquíferos sedimentares são

alimentados pela precipitação das chuvas sobre a área de exposição. Os rios que drenam a planície costeira são rios efluentes e não contribuem para a recarga dos aquíferos (FUNPAR 1997)

As profundidades do nível freático na região são pequenas, da ordem de 0,5 m a 5,0 m (FUNPAR 1997). A través de sondagens elétricas verticais na área do Porto de Paranaguá, Ellert & Giusti (1984), identificaram uma camada de areia saturada de água doce com espessura de 18,0m com presença de água salgada a partir dos 20,0m de profundidade. Em uma região situada à SW do porto, Giusti (1989), delimitou a camada arenosa com uma espessura de 6,0m com presença de água salgada aos 11,0 m de profundidade. O contato água doce – água salgada varia conforme o distanciamento da linha de costa, se tornando mais profundo na medida que se avança para o interior do continente. Segundo José *et al.* (1980), a variação da maré parece indicar uma flutuação do contato água doce/salgada de aproximadamente 0,50 m.

5.2 HIDROGEOLOGIA LOCAL

O sistema aquífero da Ilha dos Valadares é formado por um terraço de construção marinha de forma alongada cujo eixo maior, tem cerca de 4 km de comprimento e orientação NE. A largura média da ilha é de 750 m. Esse pacote arenoso corresponde à porção permanente emersa da ilha e tem superfície aproximada de 3 km² e altitudes máximas inferiores a 9 m.

Na ilha dos Valadares foram perfurados dois poços respectivamente com 29,5 m e 22,5 m de profundidade (Bigarella *et al.* 1978):

O primeiro poço apresentou a seguinte secção:

0 – 16m:	Areia fina de coloração castanho clara amarelada.
16 – 24m:	Areia fina à média castanho clara à amarelada.
24 – 28m:	Argila escura, quase preta com alto teor de matéria orgânica.
28 – 29,5m:	Material argilo-arenoso, cinza escuro com matéria orgânica.

O segundo poço da ilha possui a seguinte secção estratigráfica:

0 – 14m:	Areia fina de castanho amarelada.
14 – 18m:	Areia fina à média, amarelo - castanha.
18 – 21m:	Areia média amarelada.
21 – 22,5m:	Camada argilo-síltica, escura, com grande teor em matéria orgânica.

Os perfis sedimentológicos observados nas margens da ilha, principalmente no flanco SW (Figura 27), mostram uma certa homogeneidade do material, no que diz respeito à constituição mineralógica e granulométrica, evidenciando um predomínio de sedimentos quartzosos com granulometria fina a muito fina. Em toda a extensão da ilha, a camada de areia superficial apresenta-se pedogeneizada, com teores variados de matéria orgânica. A uniformidade sedimentológica da seqüência arenosa, que forma o arcabouço do aquífero, confere-lhe características hidrogeológicas homogêneas e isotrópicas.

Figura 27. Pacote arenoso bastante uniforme, com 6 m de altura, na extremidade SW da ilha.



5.2.1 MODELO CONCEITUAL DO AQÜÍFERO

O modelo conceitual do sistema aquífero da Ilha dos Valadares é o de um aquífero livre, homogêneo e isotrópico, limitado por fronteiras móveis, definidas na fronteira superior pela superfície potenciométrica e pela interface água doce – água salgada no contato com as margens dos rios Itiberê e dos Correias, e por uma fronteira fixa, representada por uma camada argilosa de espessura variável, localizada a profundidades próximas aos 20m, que confina os sedimentos arenosos sotopostos.

Para estimar a profundidade aproximada da interface água doce – água salgada aplicou-se a equação de Ghyben-Herzberg aos dados potenciométricos. Utilizando como dado de entrada para o cálculo um peso específico (γ_s) para a água salobra dos rios que circundam a ilha de 1020 g/cm^3 , e a densidade da água doce de 1000 g/cm^3 obtemos uma profundidade da água doce no centro da ilha de 200 m abaixo do nível do mar para uma altura do lençol freático de 4 m. O que indica que a cunha salina se encontra abaixo do embasamento do aquífero e portanto não tem forma de lente.

A recarga do aquífero se deve, essencialmente, às precipitações pluviométricas, e a descarga ocorre através dos poços domésticos e, principalmente, ao longo das margens da ilha, diretamente para os corpos de água circundantes, conforme se verificou através de medidas de condutividade, que mostram valores ligeiramente mais baixos junto às margens do que as medidas realizadas em direção ao eixo do rio. Outro fato que corrobora com essa afirmação é a diferença significativa entre os valores dos parâmetros físico-químicos determinados em amostras de água de poços da ilha e em amostra coletada no rio Itiberê (ver capítulo de Hidroquímica)

5.2.2 INFLUÊNCIA DA MARÉ

Nos aquíferos costeiros, os níveis da água subterrânea estão sujeitos a oscilações por influência das marés. A amplitude dessas oscilações depende, entre outros fatores, da conexão hidráulica entre o aquífero e o estuário, bem como da distância entre o ponto de observação e a linha da costa.

A influência das oscilações dos níveis dos rios Itiberê e dos Correias, devido ao regime de marés, no aquífero foram investigadas através da medida de nível da água em dois poços domésticos: um situado no extremo NE da ilha, a 30m da margem com o rio Itiberê (poço 1); e outro situado na metade SW da ilha, a distâncias aproximadamente iguais de ambas as margens (poço 2). No poço próximo à margem do Itiberê a resposta do aquífero foi imediata (Figura 28 e Figura 29), enquanto que, as medidas de nível tomadas no poço que está localizado na metade SW da ilha não mostraram variações significativas de nível (Figura 30), o qual oscilou entre 3,07 e 3,05 m. Atribui-se a esse fato, a um retardo na propagação da onda de maré através do aquífero durante o período de observação. A elevação da maré foi observada em um único ponto, na margem do rio Itiberê, próximo ao canal da Cotinga.

Os gráficos da Figura 28 e Figura 29 mostram, respectivamente, a variação no tempo da diferença entre os níveis iniciais e os níveis no momento das medidas no poço 1 (NE) e no rio, e a relação entre essas variações, evidenciando a correlação entre os

incrementos de nível medidos. A Figura 30 apresenta a variação no tempo do nível da água no poço 2 (SW).

Figura 28. Variação temporal dos níveis da água no rio Itiberê e no poço 1.

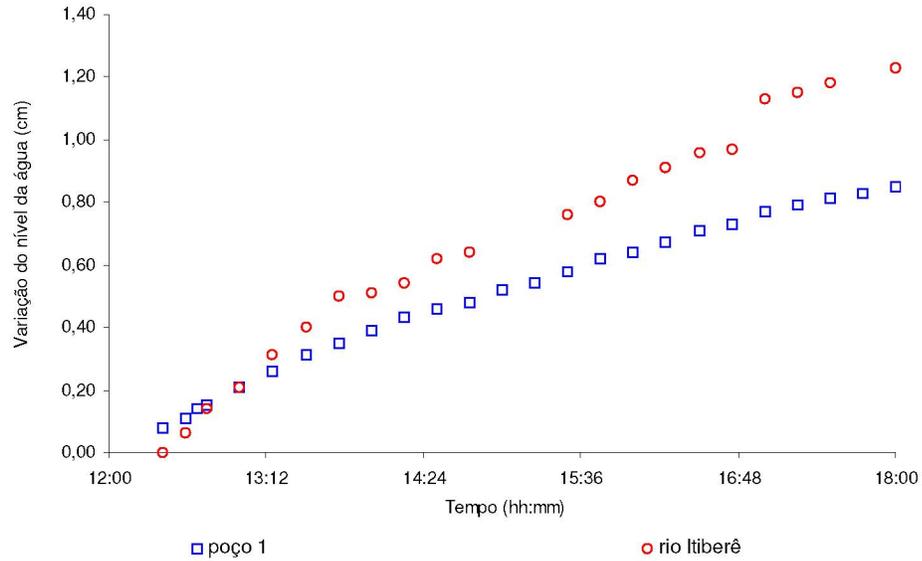


Figura 29. Relação entre os níveis da água no rio Itiberê e no poço 1

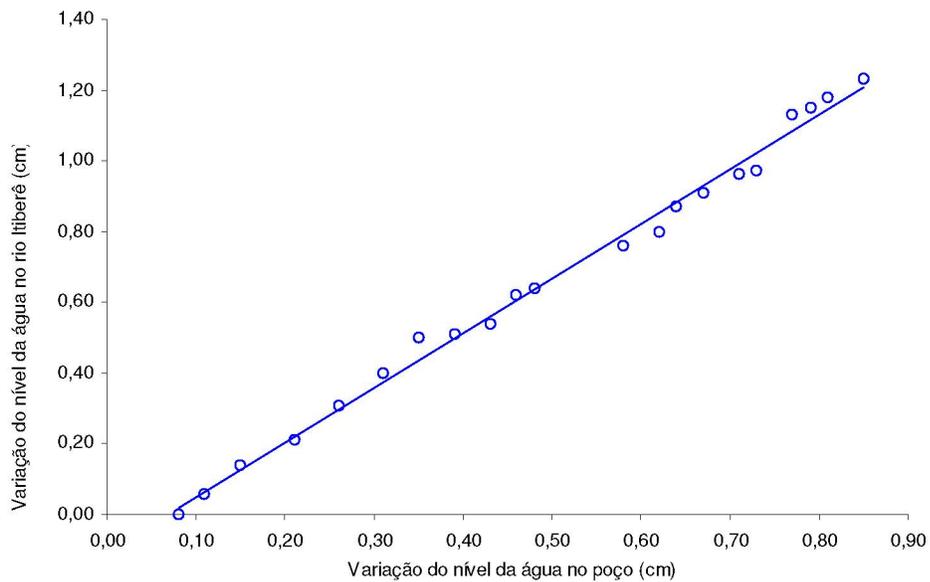
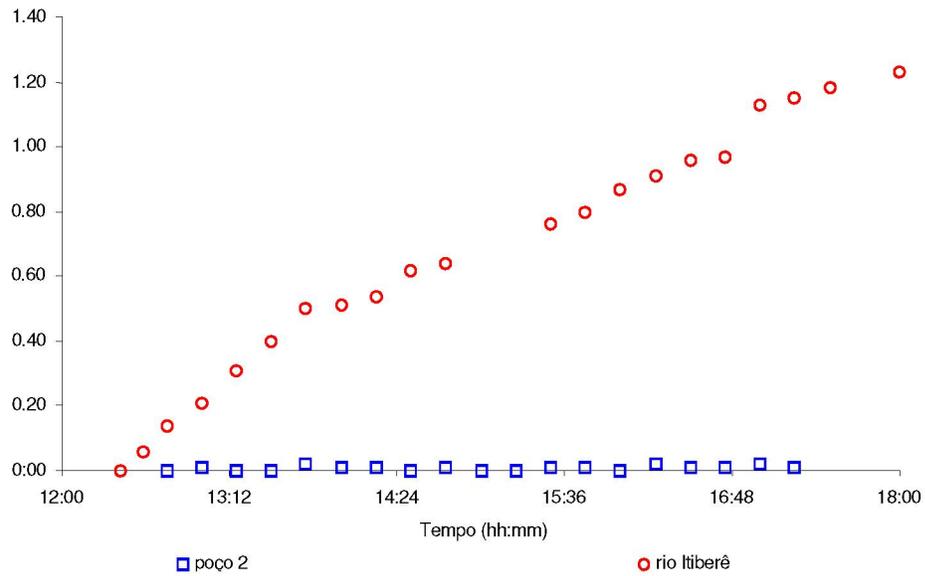


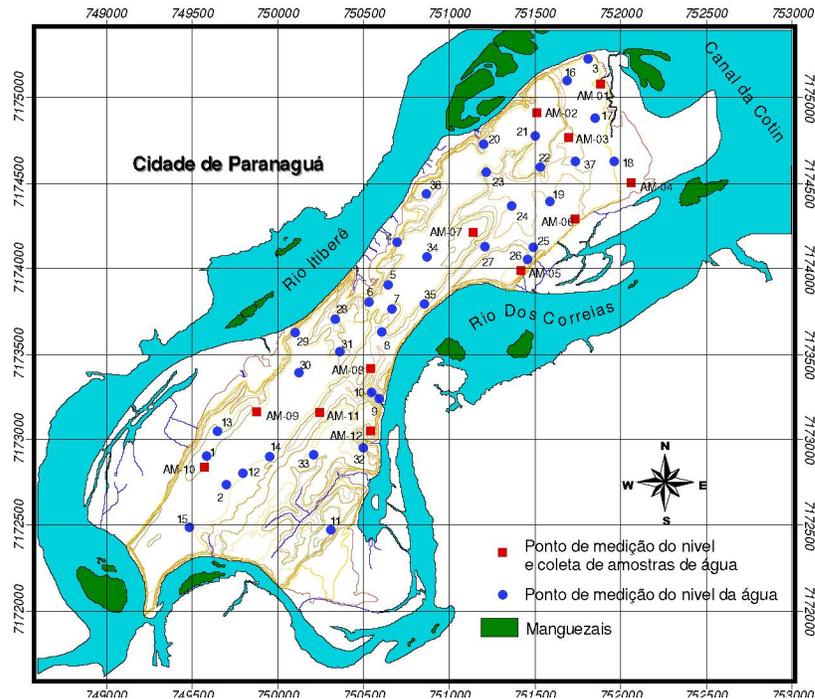
Figura 30. Variação temporal dos níveis da água no rio Itiberê e no poço 2.



5.2.3 POTENCIOMETRIA DO AQÜÍFERO

A potenciométrica do aquífero é afetada tanto pela oscilação do nível da água causado pelas marés, como pela recarga por águas de chuva. Para a elaboração do mapa potenciométrico do aquífero da Ilha dos Valadares, as medidas de nível estático foram feitas no mês de junho de 2001 no mesmo período, entre 13h e 17h. Estas medidas de nível em 50 poços (Figura 31) foram feitas pelo Laboratório de Pesquisas Hidrogeológicas LPH, da Universidade Federal do Paraná - UFPR. O mapa resultante serve como um indicativo da superfície potenciométrica do aquífero, demonstrado na Figura 32

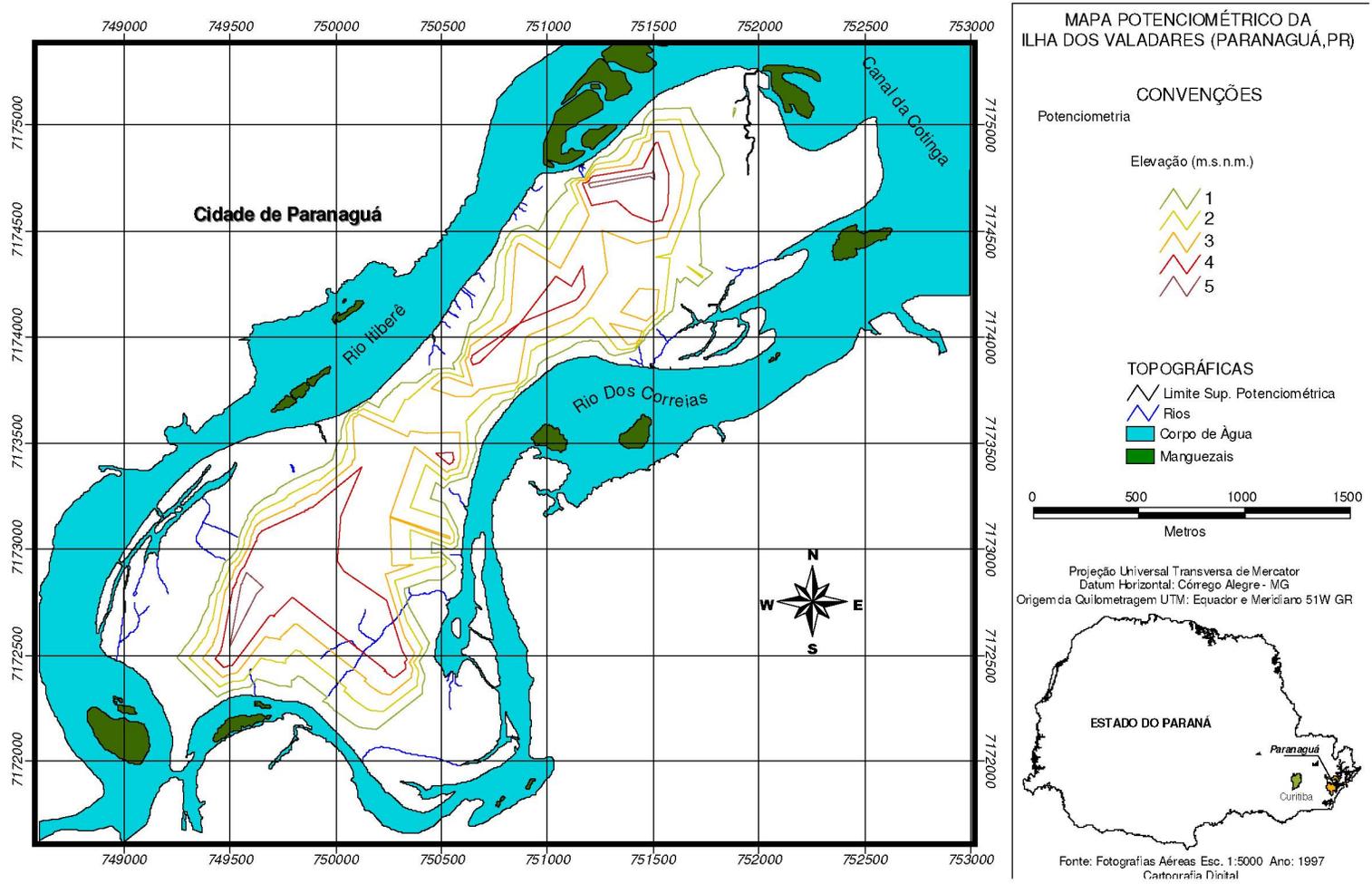
Figura 31. Localização dos pontos onde foram feitas as medições do nível da água para elaboração do mapa potenciométrico



O mapa potenciométrico (Figura 32) mostra um divisor de águas acompanhando aproximadamente o eixo maior da ilha. A superfície potenciométrica mostra controle topográfico, evidenciando pouca influenciada por ações antrópicas, de drenagens ou bombeamentos. As linhas de fluxo são divergentes e direcionadas para as drenagens que circundam a ilha.

A profundidade do nível freático varia de 4m a 5m nas partes mais elevadas da ilha, diminuindo à medida que se aproxima das margens, até chegar a 0 m, nas zonas de mangue.

Figura 32. Mapa potenciométrico do aquífero da Ilha dos Valadares



5.2.4 HIDRÁULICA SUBTERRÂNEA

Em 2003 a exploração do aquífero era feita através de poços de 1" polegada de diâmetro revestidos com tubos de PVC, equipados com bombas manuais. São poços de baixa vazão com profundidades que não ultrapassam 6m e, na maioria dos casos, construídos de forma rudimentar pelo próprio morador. Estima-se que em 2003 existiam na Ilha mais de 1500 poços utilizados na captação de água para abastecimento das residências. Nenhum dos poços visitados tinha qualquer tipo de proteção sanitária verificando-se, também, que na escolha do local para a construção do poço não se levaram em consideração as distâncias mínimas de fossas ou locais de lançamento de águas servidas.

O parcelamento desordenado do terreno em lotes de tamanho pouco maior que as dimensões das residências, concentração populacional elevada, topografia plana da ilha e a alta permeabilidade do terreno são fatores que contribuem para a degradação da qualidade da água subterrânea na ilha.

Como os volumes extraídos do aquífero são baixos e o regime de bombeamento é descontínuo, não é de se esperar alterações significativas na superfície potenciométrica induzidas por esse tipo de exploração do aquífero.

5.2.5 ENSAIOS DE BOMBEAMENTO

Os ensaios foram realizados bombeando-se um único poço por bateria, escolhendo-se aquele mais próximo do piezômetro. A duração do ensaio foi de 24 horas, com bombeamento contínuo a uma taxa de 5,4 m³/h (vazão máxima do equipamento utilizado). Os níveis dinâmicos foram medidos no piezômetro e, nos outros poços da mesma bateria, usados como poços de observação. Tais medidas foram tomadas sem levar em conta os efeitos das marés no aquífero, considerados desprezíveis na área das baterias.

Os dados de rebaixamento versus tempo foram analisados pelo método de Jacob utilizando-se o programa *AquiferWin32 (Environmental Simulations Inc.)* e forneceram os valores em cada bateria indicados na Tabela 5:

Tabela 5. Parâmetros hidráulicos médios do aquífero da Ilha dos Valadares na área das baterias

Parâmetro	Bateria						Média
	1	2	3	4	5	6	
Transmissividade (m ² /s)	2,30 x10 ⁻²	2,26 x10 ⁻²	2,35 x10 ⁻²	2,22 x10 ⁻²	2,24 x10 ⁻²	2,28 x10 ⁻²	2,27 x10⁻²
Cond. Hidráulica (m/s)	7,67 x10 ⁻³	7,52 x10 ⁻³	7,83 x10 ⁻³	7,41 x10 ⁻³	7,47 x10 ⁻³	7,59 x10 ⁻³	7,58 x10⁻³
Vazão específico. (m ³ /h/m)	5,57	5,05	5,81	4,95	4,70	5,29	5,23
Porosidade efetiva	1,94x10 ⁻¹	1,9 x10 ⁻¹	1,97 x10 ⁻¹	1,87 x10 ⁻¹	1,89 x10 ⁻¹	1,92 x10 ⁻¹	1,92 x10⁻¹

Algumas observações devem ser feitas com relação aos ensaios de bombeamento:

Nos ensaios utilizados nota-se que devido à dificuldade de realizar o ensaio nesse tipo de captação, o bombeamento foi feito em apenas um dos poços de cada bateria, de modo que o efeito do bombeamento simultâneo deles não é precisamente conhecido.

Os parâmetros hidráulicos determinados e apresentados na Tabela 5 são específicos do poço bombeado, que foi considerado como representativo da bateria onde ele está localizado, extrapolando-se os valores para os três outros poços.

Como os poços não são totalmente penetrantes, considerou-se a zona filtrante (3m), como sendo a espessura saturada, o que causa uma discrepância entre os valores reais e os calculados.

Embora os resultados dos ensaios realizados devam ser aceitos com ressalvas, admite-se que os valores encontrados não devam diferir significativamente dos valores reais e servem como indicativo do elevado potencial hidrogeológico da área.

Tomando como base os parâmetros obtidos dos bombeamentos é possível obter uma produção da ordem de 15 m³/h por bateria, com rebaixamentos inferiores a 1 m.

5.2.6 POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO

Considerando a área da parte permanentemente emersa da ilha ($A \approx 3 \times 10^6 \text{ m}^2$), e tomando-se o valor da porosidade efetiva (η_e), pode-se estimar o volume armazenado por metro de espessura saturada (h) no aquífero:

$$V = A \cdot \eta_e \cdot h$$

$$V \approx 3 \times 10^6 \times 0,192 \times 1$$

$$V \approx 5,8 \times 10^5 \text{ m}^3$$

A recarga anual (R_a) do aquífero é calculada da seguinte forma:

$$R_a = P \times A \times I$$

$$R_a \approx 2 \times 3 \times 10^6 \times 0,2$$

$$R_a \approx 12 \times 10^5 \text{ m}^3$$

Onde P é a precipitação anual média na planície costeira do Estado do Paraná (2000 mm); A é a área da ilha ($\approx 3 \times 10^6 \text{ m}^2$) e I é uma estimativa da taxa de infiltração (20%). O valor de I , embora inferido, pode ser considerado subestimado, tanto pela inexistência de drenagens superficiais como pelo baixo índice de impermeabilização do terreno. Mesmo vista com precaução, a taxa anual de recarga é suficiente para manter a exploração sustentável do aquífero.

Deve-se, entretanto, observar que as disponibilidades hídricas do aquífero estão no limite de capacidade já que, no Estado do Paraná, a base de cálculo para a implantação de sistemas de abastecimento em áreas rurais é de 150 L/habitante e, sendo a população da Ilha dos Valadares superior a 20.000 habitantes, haveria a necessidade de uma produção anual de mais de $11 \times 10^5 \text{ m}^3$ de água para atender a demanda em 2003.

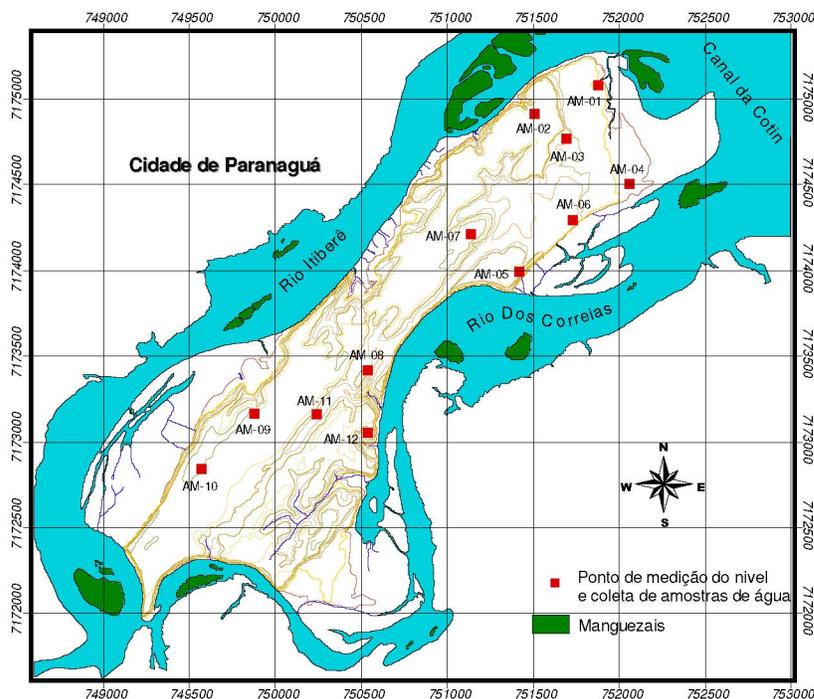
O bombeamento das seis baterias a uma taxa de $15 \text{ m}^3/\text{h}$, em regime de bombeamento de 20 h/dia, resulta na extração anual de aproximadamente $6,5 \times 10^5 \text{ m}^3$, ocasionando um déficit em torno de $4,5 \times 10^5 \text{ m}^3$ a ser suprido por água aduzida do continente ou pelos poços domésticos.

6. HIDROQUÍMICA

6.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA ÁGUA

Para realizar a caracterização hidroquímica da área de trabalho foram utilizadas análises de variáveis físico-químicos e bacteriológicos de amostras de água de 12 poços-ponteiras (Figura 33), utilizados para abastecimento residencial, e de 6 baterias de poços (atualmente destruídas) instaladas para abastecimento público da ilha. Esses poços estão distribuídos por toda a ilha, de modo a caracterizar a influência de distintos ambientes na hidroquímica do aquífero. Também foram utilizadas análises de água no Rio Itiberê.

Figura 33. Pontos de Coleta das Amostras de água na Ilha dos Valadares.



As análises foram feitas pelo Laboratório de Pesquisas Hidrogeológicas - LPH do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná - UFPR, foram medidos no momento da coleta das amostras, os parâmetros de pH, condutividade elétrica e temperatura. Foi determinada, para cada amostra, a concentração dos principais cátions e ânions como: HCO_3^- ; Cl^- , F^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , SiO_2 , Fe total, assim como a alcalinidade total, dureza total, e sólidos totais dissolvidos.

Os resultados das análises das amostras coletadas nos poços domésticos da ilha estão apresentados na Tabela 6 e os resultados das análises das amostras obtidas nas baterias de poços e no rio Itiberê estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 6. Resultados das análises físico-químicas das amostras coletadas nos poços domésticos na Ilha dos Valadares.

Parâmetro	Amostra (AM)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temperat ¹	22.8	23.9	24.4	24.6	25.1	26.2	27.8	24.4	24.5	27.1	23.7	23.4
Conductiv ²	249	105	144	77	202	70	165	70	72	57	47	25
pH	5.26	5.11	5.55	5.30	3.76	4.42	4.47	4.50	4.11	5.36	5.09	4.65
N-Kjeldahl	1.56	0.25	0.33	0.85	0.14	0.07	0.35	1.17	0.45	0.48	0.11	<0.01
Total												
N-Amoniacal	1.48	<LD	0.04	0.64	<0.01	<0.01	0.03	<0.01	0.05	0.20	<0.01	<0.01
N-Orgânico	0.08	0.25	0.29	0.21	0.14	0.07	0.32	1.17	0.40	0.28	0.11	<0.01
Alcalin.Tot. ³	4.8	1.9	3.30	4.50	5.10	3.50	2.00	2.80	4.20	13.40	3.60	2.60
Dureza Tot	12.11	5.16	13.32	4.09	13.93	8.59	7.82	9.72	6.99	9.64	8.06	3.64
SDT ⁴	182	82	110	58	151	50	125	52	54	42	33	19
SiO ₂	12.52	11.2	8.16	13.04	6.40	4.44	10.48	5.81	9.00	10.23	5.19	8.77
HCO ₃ ⁻	5.86	2.32	4.03	5.49	6.22	4.27	2.44	3.42	5.12	16.30	4.39	3.17
Cl ⁻	56.5	30.2	18.5	13.9	21.9	14.7	42.1	6.4	19.7	9.7	5.1	5.2
F ⁻	0.13	0.03	<0.01	0.10	<0.01	<0.01	0.06	0.08	0.05	0.09	<0.01	<0.01
PO ₄ ⁻³	0.19	0.06	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.38	0.04	<0.03	<0.03	0.06
SO ₄ ⁻²	32.5	4.2	28.0	0.5	15.0	0.5	13.0	2.0	2.9	0.5	2.3	0.5
NO ₃ ⁻	0.02	0.97	0.02	0.02	32.7	7.65	1.41	7.47	0.62	0.04	7.96	2.05
NO ₂ ⁻	<LD ⁵											
Ca ⁺²	1.59	0.88	1.82	1.06	3.17	2.27	1.68	2.64	1.66	2.41	2.04	0.93
Mg ⁺²	1.98	0.72	1.89	0.35	1.46	0.71	0.88	0.76	0.69	0.88	0.72	0.32
Na ⁺	44.0	14.7	22.5	8.1	27.5	8.4	27.0	3.2	9.8	5.4	2.8	2.5
K ⁺	5.25	3.15	2.60	3.10	5.65	1.05	2.85	5.00	2.40	1.65	1.95	1.05
Fe Total	6.51	0.24	1.09	0.71	0.01	0.15	0.14	0.25	2.30	0.74	0.01	0.18
Colif. Totais	Pres.	Aus.	Pres.									
Colif. Fecais	Pres.	Aus.	Aus.	Pres.	Pres.	Pres.	Pres.	Aus.	Aus.	Aus.	Pres.	Pres.

1 Temperatura em °C;

2 Condutividade (poços) em µS/cm;

3 Alcalinidade total em mg/L de CaCO₃;

4 Sólidos Dissolvidos Totais;

5 LD = 0,006;

6 Condutividade (rio Itiberê) em mS/cm;

Pres. = Presente;

Aus. = Ausente.

Tabela 7. Resultados das análises físico-químicas das amostras coletadas nas baterias de poços na Ilha dos Valadares e no Rio Itiberê.

Parâmetro	Bateria						
	1	2	3	4	5	6	rio
Temperatura ¹	22.8	23.9	24.4	24.6	25.1	26.2	28.0
Condutividade ²	44	45	46	72	42	46	41.6
PH	5,05	6,01	5,08	5,25	5,56	5,81	7.50
N-Kjeldahl Total	0.22	0.13	0.06	0.08	0.10	0.11	0.60
N-Amoniacal	0,14	0,08	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0.60
N-Orgânico	0.08	0.05	0.06	0.08	0.10	0.11	<0.01
Alcalinidade Tot. ³	3,37	5,05	1,23	2,52	3,37	5,05	95.3
Dureza Total	7,41	7,19	4,36	9,37	4,51	6,00	3894
SDT ⁴	32	34	35	53	32	34	23477
SiO ₂	6,18	5,42	5,61	5,57	6,43	5,11	1.50
HCO ₃ ⁻	2,76	4,14	1,01	2,06	2,76	4,14	116
Cl ⁻	6,13	5,64	4,00	13,97	4,66	5,15	15229
F ⁻	0,120	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	1.78
PO ₄ ⁻³	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.14
SO ₄ ⁻²	2,1	2,8	3,6	4,1	2,1	2,6	1732
NO ₃ ⁻	4,21	3,23	0,72	5,36	3,23	3,45	0.04
NO ₂ ⁻	<LD ⁵	<LD5					
Ca ⁺²	1,2	1,6	0,4	1,2	0,8	1,2	345
Mg ⁺²	0,97	0,24	1,02	1,82	0,48	0,42	738
Na ⁺	2,35	2,72	2,91	7,81	2,13	2,75	8100
K ⁺	2,31	1,84	1,04	2,27	2,06	1,97	162
Fe Total	0,02	0,03	0,90	0,10	0,05	0,30	0.33
Colif. Totais	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	--
Colif. Fecais	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	--

1 Temperatura em °C;

2 Condutividade (poços) em µS/cm;

3 Alcalinidade total em mg/L de CaCO₃;

4 Sólidos Dissolvidos Totais;

5 LD = 0,006;

6 Condutividade (rio Itiberê) em mS/cm;

Pres. = Presente;

Aus. = Ausente.

Posteriormente os resultados obtidos foram comparados com o Padrão de Potabilidade da Portaria no. 518 de 25 de março de 2004, que estabelece as normas e o padrão de potabilidade da água destinada ao consumo humano.

6.1.1 TESTES DE CONSISTÊNCIA DAS ANÁLISES

A análise físico-química de uma amostra está sujeita a erros analíticos que podem comprometer seu aproveitamento. Vários destes erros podem ser detectados mediante uma rápida observação dos valores apresentados para os parâmetros, desde que se tenha conhecimento adequado do contexto de obtenção da amostra.

6.1.1.1 Balanço Iônico

As águas são eletricamente neutras e, portanto, as cargas relativas aos cátions são compensadas pelas cargas aniônicas, o que deve ser refletido nas análises. Somando-se o total de cargas positivas em termos de equivalentes de cátions, e o total de cargas negativas, em equivalentes de ânions e diminuindo-se um valor do outro. É obtida uma diferença de balanço iônico (DBI) através da relação:

$$DBI(\%) = \frac{\sum \text{cátions} - \sum \text{ânions}}{\sum \text{cátions} + \sum \text{ânions}} \times 100$$

Onde:

\sum cátions= concentração total dos cátions em miliequivalente por litro (meq/L)

\sum ânions= concentração total dos ânions em miliequivalente por litro (meq/L)

A diferença entre os totais de cátions e ânions pode ser causada por erros acumulados na determinação individual dos íons e/ou por não se levar em conta a contribuição dos íons menores que, em certos casos, pode ser significativa (Custodio & Llamas 1983).

Custodio & Llamas (1983), consideram que o erro de balanço iônico decresce com o aumento da concentração iônica e aplicam a proporcionalidade entre condutância específica e concentração iônica, para estabelecer os erros de balanço iônico admissíveis da seguinte forma:

C ($\mu\text{S/cm}$)	50	200	500	2000	>2000
DBI (%)	30	10	8	4	<4

O DBI médio para as 12 análises utilizadas neste trabalho é 4,98% e o máximo, 9,47%. Como o valor médio de condutância específica medido nos poços foi 106 $\mu\text{S/cm}$, as análises físico-químicas se encontram dentro do erro admissível. Nas análises das baterias o DBI médio para as 6 baterias é de 8,3%, o que valida todos os dados estimados nas amostras.

Outros autores aceitam diferenças (DBI%) não superiores a 10%, (Bittencourt & Hindi, 2000). Levando em conta os valores aceitáveis contemplados na literatura, e considerando que as amostras apresentam um erro máximo de 8,95%, as análises foram consideradas aceitáveis.

6.1.1.2 Condutividade

A condutividade é um parâmetro térmico-dependente, sendo função da concentração iônica, da carga elétrica, do estado de dissociação e da mobilidade dos íons. Existem procedimentos para estimar a condutividade elétrica baseados na concentração dos íons predominantes como proposto por Logan (1961), e no conteúdo de sólidos totais dissolvidos como enunciado em Custodio & Llamas (1983) e Hem (1985).

Custodio & Llamas (1983), apresentam um método simples baseado na relação linear entre a condutividade (C) e os sólidos totais dissolvidos (STD). Onde o valor da condutividade em $\mu\text{S/cm}$ é igual ao STD em mg/L multiplicado por uma constante igual a 1,35. A proposta de Custodio & Llamas (1983), adotada neste trabalho, é uma modificação da relação apresentada por Hem (1965) adotando uma constante de 0,74 para multiplicar o valor da condutividade e obter o valor teórico de STD.

Os valores de condutividade calculados com base no valor de STD obtido para as 12 amostras analisadas, foi inferior a 5% o que confirma a confiabilidade dos resultados das análises, obtida pelo balanço iônico. O valor de condutividade obtido com base na concentração iônica foi comparado com o valor medido em campo e mostra diferenças

inferiores a 10% na maioria das amostras.

6.1.2 PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS

As propriedades hidroquímicas das amostras estudadas encontram-se descritas a seguir.

6.1.2.1 Potencial de Hidrogênio (pH) e Temperatura

O potencial de hidrogênio (pH) indica a proporção entre ácidos e bases na solução através da quantificação do teor de íons hidrogênio. O pH da água pura a 25°C é 7,0. A água de rios em áreas não influenciadas por poluição geralmente tem um pH entre 6,5 e 8,5 (Hem 1965). Valores de pH superiores a 8,5 interferem com processos de desinfecção de água potável e favorecem a incrustação de carbonatos, enquanto valores inferiores a 6,5 são propícios a processos de corrosão (Hem 1965).

O forte efeito da temperatura no comportamento do íon hidrogênio tem um considerável significado geoquímico e deve ser levado em conta nas medidas e cálculos do pH. Em aquíferos costeiros o efeito do mar deve ser levado em conta. O mar absorve uma fração maior do fluxo de calor do sol do que o continente, e por isso a temperatura média da água do mar é aproximadamente 3°C mais alta do que a temperatura média do continente (Custodio 1987).

Na Tabela 6 observa-se que a temperatura da água nas análises das amostras oscila entre 22,8 e 27,8°C com média de 24,8°C para as amostras de poços domésticos, e entre 22,8 e 25,1°C com valor médio de 24,5°C para as baterias de poços. A alta temperatura nas amostras coletadas se vê alterada devido ao aquecimento da mangueira utilizada para tirar a água dos poços, por tanto o valor obtido para este parâmetro não reflete a temperatura real da água contida no aquífero. Os valores de pH, nas águas dos poços domésticos, variam entre 3,76 e 5,55 com uma média de 4,8. As amostras de água das baterias apresentam caráter fracamente ácido, com pH variando de 5,05 a 6,01. No rio

Itiberê a temperatura medida foi de 28°C com pH de 7,5. As amostras de água apresentam caráter ácido, com pH variando de 3,76 a 5,5 provavelmente em consequência da matéria orgânica presente nos horizontes mais superficiais do pacote arenoso.

6.1.2.2 Condutividade Elétrica e Sólidos Totais Dissolvidos

A condutividade elétrica ou condutância específica representa numericamente a capacidade da água em transmitir a corrente elétrica. Depende diretamente da concentração iônica da solução e da temperatura, fornecendo uma indicação rápida da salinidade de uma solução.

No estado natural, a água apresenta condutividade elétrica diretamente proporcional à quantidade de íons dissolvidos (STD). A quantidade total de sólidos dissolvidos pode ser obtida pela multiplicação da condutividade por uma constante que varia entre 0,55 e 0,75. Os valores mais altos geralmente estão associados a águas com altas concentrações de sulfato (Hem 1985). Em ambientes aquosos naturais a condutividade varia entre 50 e 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para as águas superficiais, enquanto as águas subterrâneas podem alcançar valores mais elevados.

A condutividade nas amostras analisadas, constantes na Tabela 6, varia de 25 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na amostra AM-12 até 249 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na amostra AM-01 com valor médio de 106,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Para as análises das amostras das baterias de poços os valores de condutividade variam de 42 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na bateria 5 até 72 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na bateria 4 com valor médio de 49,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$. No rio Itiberê a condutividade medida foi de 416 mS/cm , devido ao alto conteúdo de sólidos totais dissolvidos pela mistura com água do mar.

O teor de sólidos totais dissolvidos (STD), considerando o ambiente estuarino, é relativamente baixo, variando de 19 a 182 mg/L . Nas águas das baterias, com exceção da amostra da bateria 4 que tem conteúdo de sólidos dissolvidos de 53 mg/L , as demais variam de 32 a 35 mg/L . O limite estipulado pela legislação brasileira para STD é de 1000 mg/L (BRASIL 2004).

6.1.2.3 Alcalinidade Total

Segundo Hem (1985), a alcalinidade de uma solução pode ser definida como a capacidade dos solutos contidos para reagir com e neutralizar ácidos. Em quase a maioria de águas naturais a alcalinidade é produzida pela dissolução de espécies de dióxido de carbono, bicarbonatos e carbonatos.

As amostras analisadas apresentam alcalinidade média de 4,30 mg/L (CaCO_3) com valor mínimo de 1,90 mg/L (CaCO_3) e máximo de 13,4 mg/L (CaCO_3). A água das baterias apresenta alcalinidades que variam de 1,23 até 5,05 mg/L.

Em águas superficiais a alcalinidade raramente excede 500 mg/L, no entanto em águas subterrâneas as cifras podem ser mais elevadas, o que não é desejável por estarem associadas à dureza excessiva ou alta concentração de sódio. Valores entre 30 e 500 mg/L são bastante aceitáveis (Bittencourt & Hindi 2000).

6.1.2.4 Dureza Total

A dureza é expressa em mg/L de CaCO_3 e quando esta excede a alcalinidade é denominada "dureza não-carbonática" (Hem 1985).

O valor de dureza para as amostras analisadas se encontram entre 3,64 mg/L para a amostra AM-12 e 13,93 mg/L para a amostra AM-05, no caso das amostras das baterias de poços o valor mínimo encontrado é de 4,36 mg/L para a bateria 3 e um valor máximo de 9,37 mg/L para a bateria 4. Em todas as amostras a dureza excede a alcalinidade, exceto na amostra AM-10.

De acordo com os resultados das análises as águas estão classificadas como águas suaves (Hem 1985), já que sua dureza expressada em mg/L de CaCO_3 é inferior a 60.

6.1.2.5 Nitrato

As águas naturais podem conter certa quantidade de nitrato sem causar problemas graves, todavia teores superiores a 5 mg/L são um forte indicativo de possíveis contaminações por dejetos animais (Hem 1985). Concentrações excessivas de nitrato na água para consumo humano pode causar metahemoglobinemia em crianças, o que se traduz numa redução na capacidade do sangue de conduzir oxigênio (Custodio 1987).

A amostra AM-05, embora sem atingir o limite de potabilidade estabelecido (10 mg/L de N, equivalente a 44 mg/L de NO_3^-), tem teor elevado, atribuindo-se sua origem a ação antrópica; as amostras AM-06, AM-08 e AM-11 apresentam conteúdo entre 7,0 e 8,0 mg/L de NO_3^- . As amostras coletadas nas baterias de poços têm média de 3,36 mg/L de nitrato.

6.1.2.6 Ferro Total

A disponibilidade de ferro em soluções aquosas é fortemente afetada pelas condições ambientais, especialmente com mudanças no grau ou intensidade de oxidação ou redução. A forma mais freqüente de Fe em solução em águas subterrâneas é o ferro ferroso Fe^{2+} . Outra forma pode estar associada com colóides orgânicos, ou material húmico que proporciona á água uma cor amarela ou marrom. Tais associações podem, ser importantes na retenção de ferro em estuários por um processo de coagulação (Sholkovitz 1976).

O conteúdo de Fe total excede o valor máximo permissível (0,3 mg/L), segundo a Portaria no. 518 de 25 de Março de 2004 do Ministério da Saúde, nas amostras AM-01, AM-03, AM-04, AM-09 e AM-10. A cor apresentada pelas referidas amostras denota a presença desse elemento em ambientes estuarinos.

6.1.2.7 Sulfato

O soterramento de antigos mangues pelo avanço da linha de costa, deu origem a níveis ricos em matéria orgânica. Em alguns poços, a água extraída apresenta forte odor de gás sulfídrico que pode ser produto da redução de sulfatos nesses ambientes potencialmente redutores. As amostras que apresentam um teor de sulfato mais elevado, sem ultrapassar o limite de potabilidade; definido na Portaria no. 518 de 25 de março de 2004; são AM-01, AM-03, AM-05 e AM-07, localizadas na porção NE da ilha. O teor de sulfato encontrado no restante das amostras se encontra dentro dos valores médios para água de chuva (1 mg/L a 3 mg/L; Hem 1985).

6.1.2.8 Cloreto

As amostras cuja concentração de Cl⁻ ultrapassa a concentração média da água de chuva de 16 mg/L (Custodio 1983), são AM-01 com uma concentração máxima de 56,49 mg/L, AM-07, AM-02, AM-05, AM-09 e AM-03 com uma concentração mínima de 18,50 mg/L. As outras apresentam concentrações inferiores a 15 mg/L. Das amostras mencionadas anteriormente só a amostra AM-09 se localiza no extremo SW da ilha, as águas com maior concentração de cloretos se encontram na porção NE da ilha diminuindo o conteúdo de cloretos a montante dos rios.

Uma parte do conteúdo de cloretos presente nas amostras de água pode ser de origem pluvial. Os sais contidos na água de chuva em áreas costeiras procedem em parte do mar e são aportadas por aerossóis marinhos levantados e carregados pelo vento.

Segundo Custodio (1983), o íon cloreto na água de chuva perto da costa, pode ter valores entre 10 e 40 mg/L. A 50 km da costa é incomum obter valores superiores a 20 mg/L com valores mais freqüentes entre 1 e 5 mg/L. Numa distancia maior a 200 km os valores são em geral inferiores a 2 mg/L.

O teor menor de cloretos se apresenta nas amostras AM-08, AM -10, AM-11 e AM-12, com valores entre 5,1 e 9,7 mg/L. Estes valores podem ser atribuídos à água de

chuva carregada com aerossóis marinhos, em vista da pouca influência da maré na potenciometria do aquífero no extremo SW da ilha.

6.1.2.9 Sódio e Potássio

Nos resultados das análises (Tabela 6) o valor mais alto para o conteúdo de sódio se detecta na amostra AM-01 (44,0 mg/L), o que corresponde à amostra com maior concentração de cloretos, apresentando padrões similares no restante das amostras. Todas as amostras se encontram dentro dos limites de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde do Brasil.

A concentração máxima e mínima de potássio é respectivamente 5,65 mg/L e 1,05 mg/L. O qual está dentro dos valores normais para águas subterrâneas (0,10 mg/L e 10,0 mg/L; Custodio 1983).

6.1.2.10 Cálcio e Magnésio

Nas análises utilizadas a concentração máxima de cálcio é de 3,17 mg/L e a mínima é de 0,88 mg/L. Em referência ao magnésio o valor máximo e mínimo é de 1,98 mg/L e 0,32 mg/L respectivamente. Valores que se encontram abaixo da composição média das águas subterrâneas.

Os valores baixos de cálcio podem ser explicados pela troca catiônica. A troca de cálcio por sódio em águas subterrâneas de áreas costeiras é comum. Em locais próximos ao oceano onde a água do mar entra no aquífero se efetua troca de cálcio por sódio trazido pelo avanço da frente de água salgada (Hem 1985).

6.1.3 ÍNDICES HIDROGEOQUÍMICOS OU RAZÕES IÔNICAS

As razões iônicas são as relações entre os íons dissolvidos em uma água. Estas relações podem indicar a ação de fenômenos modificadores ou uma característica específica da água. Pode-se estabelecer vários tipos de razões cujo objetivo é função do

problema a estudar. É comum designar estas razões com o nome de índices hidrogeoquímicos.

Em regiões costeiras a salinidade total e a composição química são uma função complexa que envolve a litologia, as características do solo e vegetação, o clima e o padrão do fluxo da água. Algumas destas relações podem ser mostradas ou caracterizadas por meio de relações químicas (entre concentrações de íons selecionados) ou mediante diagramas químicos.

A mineralização da água é controlada pelas espécies iônicas Na^+ , Cl^- e SO_4^{2-} , características das águas subterrâneas em ambiente costeiro. Essas espécies apresentam boa correlação linear positiva entre si, indicando origem comum e associada à água do mar, já que são espécies aí predominantes. A soma desses três íons corresponde a mais de 50% do conteúdo iônico das amostras AM-01, AM-02, AM-03, AM-04, AM-05, AM-06, AM-07, AM-09 e AM-12. Esse percentual aumenta à medida que a localização dos pontos de coleta se aproxima das margens da ilha.

No reconhecimento de água do mar, água salgada ou água salobra são de grande utilidade as relações iônicas $r\text{Na}^+/r\text{Cl}^-$, $r\text{SO}_4^{2-}/r\text{Cl}^-$, $r\text{Mg}^{2+}/r\text{Ca}^{2+}$ e $r\text{Cl}^-/r\text{HCO}_3^-$. Em alguns casos a relação $(r\text{Na}^+ + r\text{K}^+ + r\text{Cl}^- + r\text{SO}_4^{2-}) / (r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+} + r\text{HCO}_3^-)$ é também útil porque na maioria das águas doces esta relação é menor que 1 e atinge 4,42 na água do mar (Custodio 1987).

As amostras coletadas na porção SW da ilha (AM-08, AM-10, AM-11 e AM-12), apresentam os valores de relação iônica $r\text{HCO}_3^-/r\text{Cl}^-$ e $(r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+})/r\text{Cl}^-$ mais elevados que o das outras amostras. Outro aspecto diferencial dessas amostras (AM-08, AM-10, AM-11 e AM-12), é o fato das concentrações dos íons Cl^- , SO_4^{2-} e Na^+ , estarem abaixo dos valores obtidos para os mesmos íons nas demais amostras. Esses dados caracterizam águas menos sujeitas a influências das águas marinhas, seja sob a forma de aerossóis ou contaminação por cunha salina.

Deve-se levar em conta, também, que esses poços estão localizados em partes elevadas da ilha, conseqüentemente mais expostas aos processos de lixiviação pelas águas de chuva e, um pouco mais afastados do Canal da Cotinga que está ligado diretamente à Baía de Paranaguá. Os gráficos das Figura 34 e Figura 35 ilustram os aspectos mencionados.

Figura 34. Concentrações dos principais íons (em meq/L), nas amostras de água coletadas nos poços domésticos na Ilha dos Valadares.

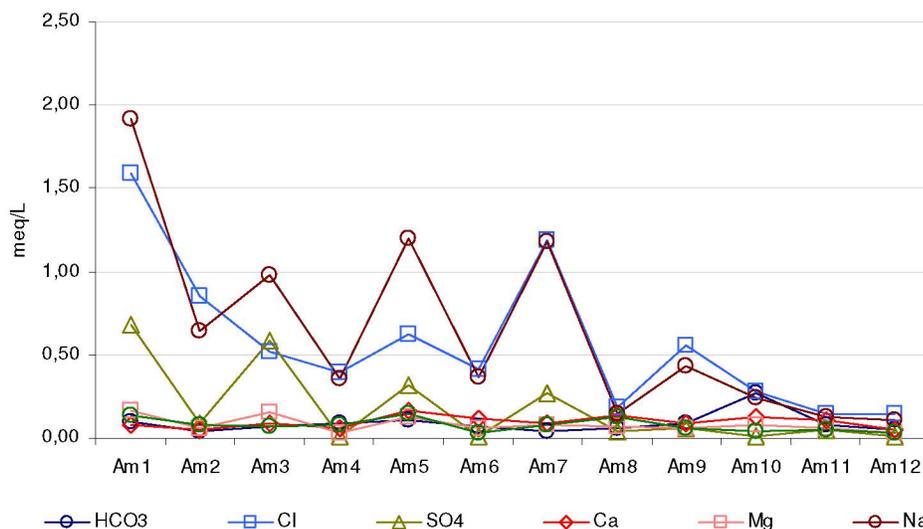
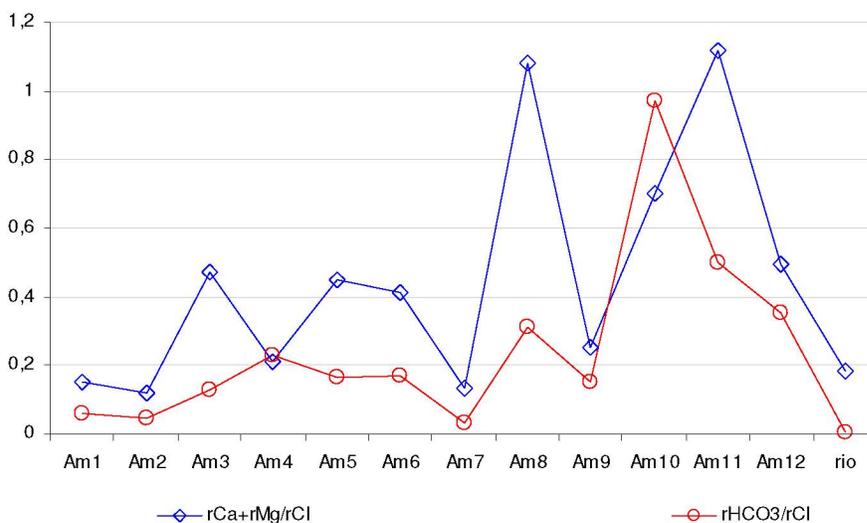


Figura 35. Variação das relações iônicas entre as amostras de água dos poços na Ilha dos Valadares e do rio Itiberê.



Na classificação iônica das amostras analisadas nas baterias, ocorrem com maior frequência, considerando os ânions, águas do tipo $rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{2-}$ seguida pelo tipo $rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$ e, considerando os cátions, predominam os tipos $rNa^+ > rCa^{2+} > rK^+ > rMg^{2+}$ e $rNa^+ > rCa^{2+} > rMg^{2+} > rK^+$ (Tabela 8).

Tabela 8. Composição iônica dominante das amostras de água dos poços domésticos

Amostras	Composição iônica dominante	
	ânions	Cátions
AM-03	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rHCO_3^-$	$rNa^+ > rMg^{2+} > rCa^{2+} > rK^+$
AM-04	$rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{2-}$	$rNa^+ > rK^+ > rCa^{2+} > rMg^{2+}$
AM-08	$rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{2-}$	$rNa^+ > rCa^{2+} > rK^+ > rMg^{2+}$
AM-09		
AM-12		
AM-06	$rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{2-}$	$rNa^+ > rCa^{2+} > rMg^{2+} > rK^+$
AM-10		
AM-11		
AM-07	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$	$rNa^+ > rCa^{2+} > rK^+ > rMg^{2+}$
AM-05		
AM-01	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$	$rNa^+ > rMg^{2+} > rK^+ > rCa^{2+}$
AM-02	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$	$rNa^+ > rK^+ > rMg^{2+} > rCa^{2+}$

A mineralização da água é controlada predominantemente pelas espécies iônicas Na^+ e Cl^- . Na classificação iônica das amostras analisadas, ocorrem com maior frequência, pelo lado dos ânions, águas do tipo $rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{2-}$ seguida pelo tipo $rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$ e, considerando os cátions, não aparecem composições predominantes. A Tabela 9 apresenta as relações iônicas das amostras coletadas.

Tabela 9. Composição iônica dominante das amostras de água das antigas baterias de poços da Iha dos Valadares.

Bateria	Composição iônica dominante	
	Ânions	Cátions
1	$rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{2-}$	$rNa^+ > rMg^{2+} > rCa^{2+} > rK^+$
2	$rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{2-}$	$rNa^+ > rCa^{2+} > rK^+ > rMg^{2+}$
3	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$	$rNa^+ > rMg^{2+} > rK^+ > rCa^{2+}$
4	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$	$rNa^+ > rMg^{2+} > rCa^{2+} > rK^+$
5	$rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{2-}$	$rNa^+ > rCa^{2+} > rK^+ > rMg^{2+}$
6	$rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{2-}$	$rNa^+ > rCa^{2+} > rK^+ > rMg^{2+}$

Os valores das relações iônicas $r\text{HCO}_3^-/r\text{Cl}^-$ e $(r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+})/r\text{Cl}^-$ são mais elevados nas amostras coletadas nas baterias do que na amostra de água do rio (Figura 36). Comparando-se o conteúdo iônico das águas das baterias (Figura 37), percebe-se que a bateria 4 apresenta indícios de salinização.

Figura 36. Variação das relações iônicas entre as amostras de água das baterias de poços e do rio Itiberê

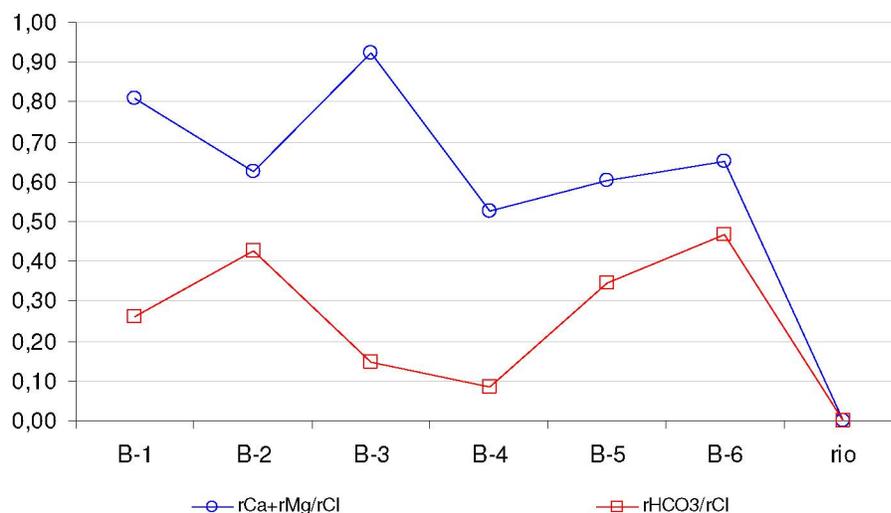
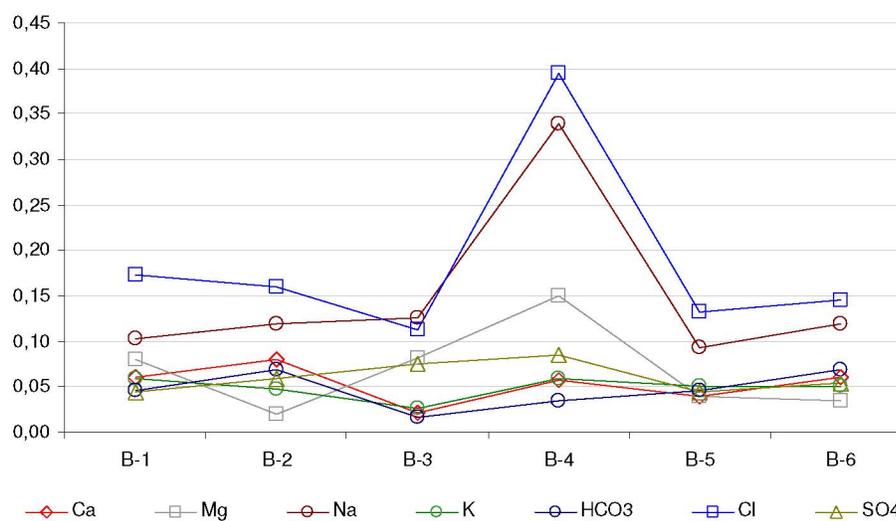


Figura 37. Concentrações dos principais íons (em meq/L), nas amostras de água coletadas nas baterias de poços.



6.1.4 CLASSIFICAÇÃO GEOQUÍMICA DA ÁGUA

Para descrever os corpos de água, em um aquífero, que difere na sua composição química é usado o termo "*facies hidroquímicas*" (*Hydrochemical facies*) (Custodio & Llamas, 1983). As facies hidroquímicas podem ser classificadas com base nos íons dominantes por meio de diagramas triangulares. Neste caso foi utilizado o diagrama de Piper para classificar as amostras analisadas.

No diagrama de Piper da Figura 38 estão representadas as amostras de poços domésticos. Nesta figura observa-se, principalmente no campo dos cátions, uma linha de tendência indicando uma evolução da composição química, passando de águas com maior influência (AM-01) para águas com menor influência (AM-11) de água salgada.

A amostra AM-01, coletada no extremo NE da ilha, nas proximidades da confluência do rio Itiberê com o canal da Cotinga, apresenta os teores mais elevados de STD , Cl^- , Na^+ e SO_4^{2-} , indicando uma salinização do aquífero por efeito da dispersão hidrodinâmica das águas salgadas.

Segundo a classificação geoquímica de Piper as águas são do tipo cloretada-sódica. No entanto, em função da distância entre os pontos de coleta e as margens da ilha, outras espécies iônicas contribuem para uma diferenciação dos tipos geoquímicos das amostras coletadas, conforme mostrado anteriormente.

As amostras de água coletadas nas baterias de poços são classificadas como cloretadas-sódicas como mostra o diagrama de Piper da Figura 39.

Figura 38. Diagrama de Piper das amostras de água coletadas em poços domésticos na Ilha dos Valadares

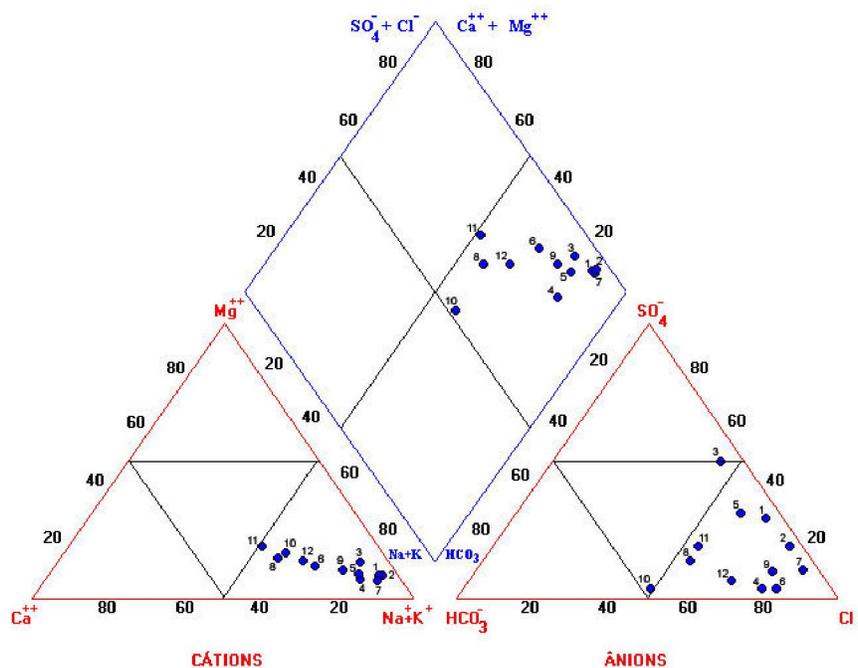
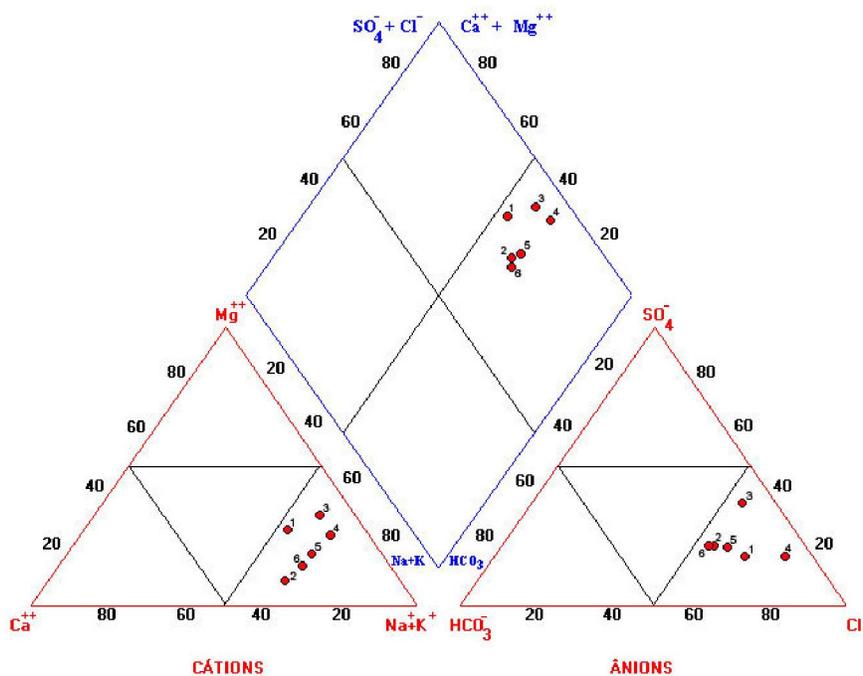


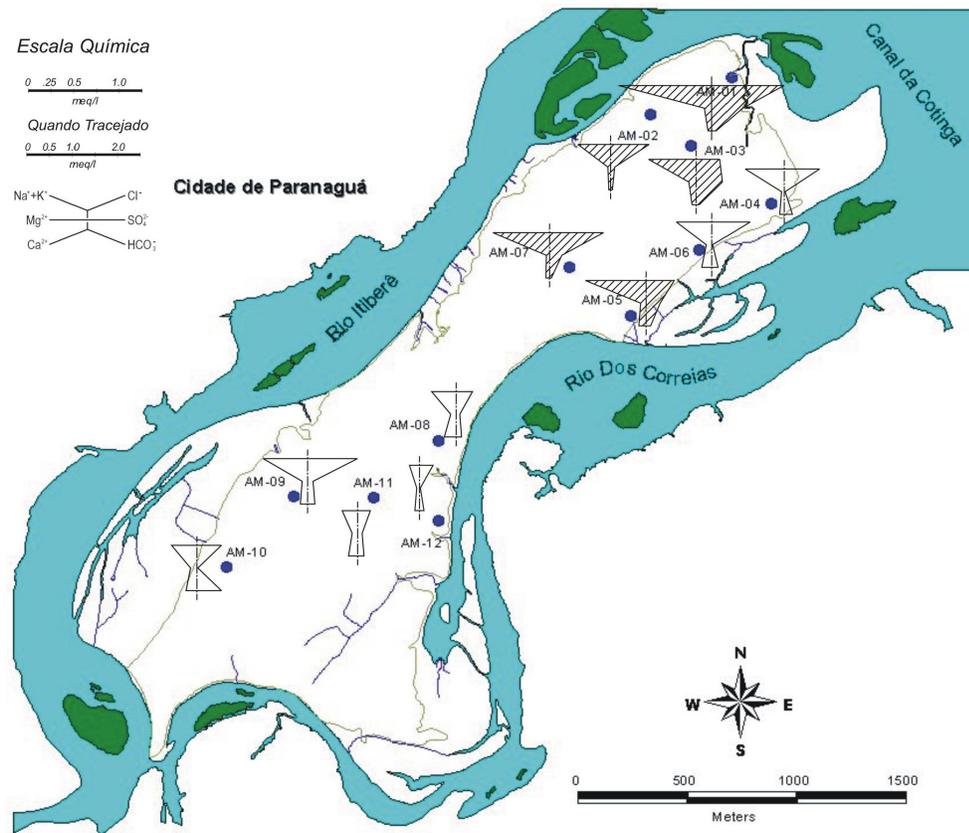
Figura 39. Diagrama de Piper das amostras de água coletadas nas baterias de poços na Ilha de Valadares.



Um segundo tipo de representação gráfica de análises químicas é o diagrama de Stiff, útil para realizar uma comparação visual rápida entre água de diferentes pontos amostrados. Quanto maior a área da forma poligonal, maior a concentração dos íons maiores.

A representação geoquímica da composição química da água subterrânea da ilha dos Valadares foi feita por meio de diagramas de Stiff modificado (Custodio 1987). Onde se observa uma maior influência da água dos canais estuarinos no extremo NE da ilha, com uma maior concentração de cloreto e sódio presente nas amostras localizadas nesta porção da área de estudo (Figura 40). A montante dos rios Itiberê e dos Correias a influência da água salobra é menos acentuada.

Figura 40. Representação geoquímica da composição química da água amostrada na Ilha dos Valadares por meio de diagramas de Stiff modificado.



6.1.5 MISTURA AGUA DOCE - AGUA SALGADA

Os rios Itiberê e dos Correias são canais rasos influenciados pelas marés oceânicas, causando fluxo e refluxo das águas, tornando às águas destes canais salobras por causa da mistura da água do mar com a água proveniente do continente.

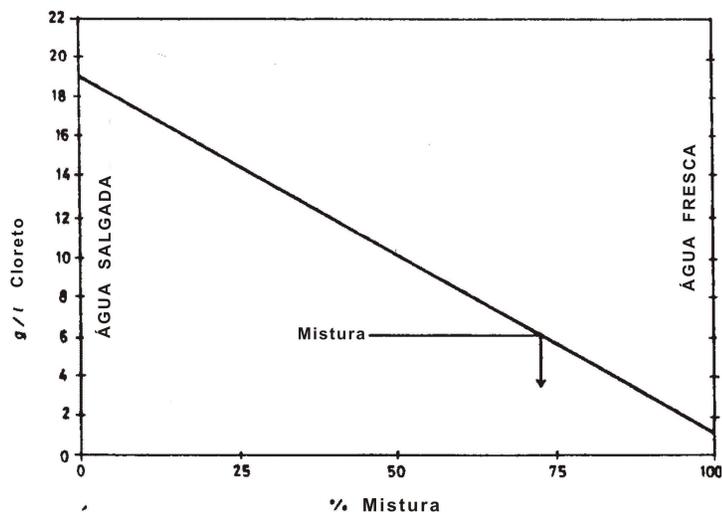
A porcentagem de água continental e água do mar numa mistura pode ser facilmente calculada por meio do conteúdo de cloretos. Já que o Cl⁻ é dificilmente alterado por troca iônica ou outro tipo de processos (Custodio 1987). Mediante a equação.

$$Cl_m = X \times Cl_f + (1 - X) \times Cl_s \quad X = \frac{Cl_s - Cl_m}{Cl_s - Cl_f}$$

Onde X é a fração de água doce na mistura, $(1-X)$ é a fração da água do mar na mistura, Cl_m , Cl_f , Cl_s , é o conteúdo do íon cloreto na mistura, na água doce, e na água do mar respectivamente.

X também pode ser determinada graficamente como é mostrado na Figura 41

Figura 41. Cálculo gráfico da mistura água doce - água salgada. Mistura teórica desenhada sobre uma linha reta unindo dois pontos extremos. (Custodio 1987, p. 221)



O conteúdo de cloretos na amostra coletada no rio Itiberê é de 15229 mg/L. Tomando-se por base um conteúdo de Cl para a água do mar de 19000 mg/L (Custodio 1987; Hem 1985), obteve-se como resultado 20% (tanto por método gráfico como calculado) de água doce misturada com a água do mar para formar a composição química do rio Itiberê.

6.2 QUALIDADE DA ÁGUA

A qualidade da água é determinada pelos solutos e gases dissolvidos na água, como também pela matéria orgânica em suspensão. A qualidade da água é uma consequência do estado físico e químico da mesma, assim como algumas alterações ocorridas como consequência da atividade humana (Fetter 1994).

Os agentes químicos e microbiológicos que ocasionam um impacto adverso à qualidade da água subterrânea provêm de uma variedade de fontes, incluindo a aplicação de produtos químicos utilizados na agricultura, dejetos animais, sistemas de disposição de tanques sépticos para águas residuais, disposição de resíduos sólidos domiciliares, entre outros.

A qualidade química da água subterrânea é, em geral, controlada por fatores como qualidade da água de recarga, tipo de aquífero, litologias percoladas, tempo de residência, acrescentando-se, no caso de aquíferos costeiros, os efeitos relacionados à intrusão da cunha salina. Além disso, pelas características hidrogeológicas (aquífero livre, poroso, zona vadosa normalmente pobre em argilo-minerais e matéria orgânica, nível freático raso, entre outras), tornam os aquíferos costeiros vulneráveis à contaminação, de modo que o gerenciamento inadequado das ações antrópicas coloca em risco a qualidade da água neles armazenadas.

Com relação à contaminação bacteriológica, a amostra AM-02 é a única que não tem presença de coliformes totais ou fecais. Em todas as demais foi detectada a presença de coliformes totais e, nas amostras AM-01, AM-04, AM-05, AM-06, AM-07, AM-11 e AM-12,

a presença de coliformes fecais. Este fato sendo analisado pelo Padrão de Potabilidade inviabiliza a utilização desta para consumo humano. Como já comentado os 12 poços utilizados para coleta de água são usados para consumo doméstico. A causa dessa contaminação é a construção de poços próximos às fossas, revelando a necessidade de um programa de orientação e de saneamento para que não se comprometa a utilização do aquífero para fins de abastecimento público.

As águas superficiais que circundam a ilha apresentam composição química distinta das águas coletadas nos poços domésticos. Na amostra de água coletada no rio Itiberê foram determinadas concentrações elevadas de STD (23,5 g/L), Na⁺ (8,1 g/L), SO₄²⁻ (17,3 g/L) e Cl⁻ (15,2 g/L). Medidas de condutividade elétrica feitas em vários pontos dos rios Itiberê e dos Correias variaram desde 30 a 101 mS/cm. Embora o teor de STD esteja abaixo da concentração média da água do mar (em torno de 35 g/L), esses valores indicam águas muito salinizadas, resultante da mistura de água doce continental com água marinha.

Mesmo considerando a conexão hidráulica entre o aquífero e os rios que circundam a ilha, as interferências negativas das águas superficiais na qualidade da água do aquífero são ainda desprezíveis.

De acordo com as normas da Organização Mundial da Saúde - O.M.S. e da Portaria N.º 518, de 25 de março de 2004, que estabelece o padrão de qualidade e potabilidade da água, a água do aquífero da ilha dos Valadares está em conformidade com o padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde. Mas não cumpre com o padrão microbiológico já que acusa a presença de coliformes fecais e totais na maioria das amostras analisadas.

A água coletada nas baterias de poços cumpre com todos os padrões de qualidade e é considerada uma água apta para o consumo humano.

7. CONCLUSÕES

O sistema aquífero da Ilha dos Valadares é um aquífero livre, constituído por sedimentos quartzosos, bem selecionados, de granulometria fina a muito fina. A uniformidade litológica da seqüência arenosa que forma o arcabouço do aquífero confere-lhe, características hidrogeológicas homogêneas e isotrópicas. O aquífero é limitado por fronteiras móveis, definidas na fronteira superior pela superfície potenciométrica e pela interface água doce – água salgada no contato com as margens dos rios Itiberê e dos Correias, e por uma fronteira fixa, representada por uma camada argilosa de espessura variável, localizada a profundidades próximas aos 20m.

Da área totalmente emersa que conforma a ilha dos Valadares, aproximadamente 60% desta encontra-se com ocupação urbana e o restante corresponde a áreas com cobertura vegetal de gramíneas, arbustos e arbóreas de médio porte, com ocupação urbana em menor proporção, sendo utilizadas pelos moradores como chácaras. Também se encontra o ecossistema de manguezal que em algumas áreas está afetado pela ação antrópica na ilha.

Pela aplicação do modelo de Ghyben-Herzberg aos dados potenciométricos, verifica-se que nas partes mais elevadas e centrais da ilha, a posição da interface água doce-água salgada estaria situada abaixo da do topo do embasamento cristalino e portanto não tem forma de lente como se poderia supor.

A recarga do aquífero ocorre, essencialmente, pela infiltração das precipitações pluviométricas e a descarga ocorre através dos poços domésticos e, principalmente, ao longo das margens da ilha, diretamente para os corpos de água circundantes.

A superfície potenciométrica acompanha aproximadamente a forma do terreno, com divisor de águas alinhado com o eixo maior da ilha. As linhas de fluxo são divergentes e direcionadas para as drenagens que circundam a ilha.

As variações naturais do nível da água subterrânea são decorrentes da propagação das ondas de maré pelo interior do aquífero, além das oscilações causadas pelos processos naturais de recarga e descarga. As influências antrópicas devido a bombeamentos ou canais de drenagens são, até o momento, irrelevantes.

A influência das oscilações dos níveis dos rios Itiberê e das Correias e do canal da Cotinga, devido ao regime de marés, se manifestam com maior intensidade nos poços situados nas partes mais baixas da ilha e próximas das margens, principalmente, no extremo NE perto do canal da Cotinga. O extremo SW da ilha não apresenta influência significativa das oscilações dos rios.

De modo geral, a mineralização da água é controlada pelas espécies iônicas Na^+ , Cl^- e SO_4^{2-} , características das águas subterrâneas em ambiente costeiro. A soma desses três íons corresponde a mais de 50% da composição iônica média das águas do aquífero. Esse percentual aumenta à medida que a localização dos pontos de coleta se aproxima das margens da ilha.

Os poços localizados em partes elevadas da ilha, conseqüentemente mais expostas aos processos de lixiviação pelas águas de chuva e afastados das margens da ilha, apresentam menor conteúdo de sólidos totais dissolvidos, do que os situados próximos das margens indicando uma salinização do aquífero por efeito da dispersão hidrodinâmica das águas estuarinas.

A classe dominante das águas é a cloretada-sódica, segundo a classificação geoquímica de Piper. Entre as substâncias indesejáveis, podem ser citados o NO_3^{2-} , coliformes totais e fecais, indicativos de contaminação por efluentes domésticos.

A representação geoquímica da composição química da água subterrânea da ilha dos Valadares mostra uma maior influência da água dos canais estuarinos no extremo NE da ilha, com uma maior concentração de cloreto e sódio presente nas amostras localizadas nesta porção da área de estudo. A montante dos rios Itiberê e dos Correias a influência da

água salobra é menos acentuada.

O baixo conteúdo de cloretos do extremo SW da ilha pode ser atribuído à água de chuva carregada com aerossóis marinhos, em vista da pouca influência da maré na potenciometria do aquífero e da distância à costa.

As águas superficiais que circundam a ilha apresentam composição diferenciada em relação às águas do aquífero da ilha. Embora muito elevado, o teor de sólidos totais dissolvidos está abaixo da concentração média da água do mar, indicando uma mistura de água doce continental com água marinha. Baseado no conteúdo de cloretos, os rios que circundam a ilha contêm 78% de água marinha.

Os poços utilizados pelos moradores são construídos de forma inadequada, sem qualquer tipo de proteção sanitária situados próximos às fossas ou locais de lançamento de águas servidas.

O processo desordenado de ocupação urbana da ilha, com o parcelamento do terreno em lotes pouco maiores que as dimensões das residências, concentração populacional elevada, sistema de saneamento básico inexistente e a disposição dos efluentes líquidos diretamente no terreno, somados à alta permeabilidade do solo, são os principais fatores de degradação da qualidade da água subterrânea na ilha.

O critério de locação de novas baterias de poços, nas partes altas e centrais da ilha e afastadas das áreas densamente povoadas, permitira a captação de água de qualidade adequada aos padrões de potabilidade vigentes, focalizando o extremo SW da ilha como área alvo para este fim.

A localização de sistemas de captação do aquífero na Ilha dos Valadares deverá ser guiada por três critérios fundamentais: áreas com baixa densidade populacional e; maior distância dos rios que circundam a ilha, principalmente, do canal da Cotinha.

Por questão de infra-estrutura e pelo risco de romper o frágil equilíbrio entre as zonas saturadas com água doce e água salgada, levando à salinização do aquífero, a construção de poços tubulares profundos não é recomendável. O sistema de captação indicado para esse tipo de aquífero seria constituído de várias unidades de captação - poços rasos de grande diâmetro (poços-cacimba) ou baterias de poços-ponteira – com extração de pequenos volumes, de modo a causar mínimo rebaixamento no nível potenciométrico.

Os resultados obtidos no estudo do aquífero freático da Ilha dos Valadares poderão ser extrapolados para outras regiões do litoral do Estado do Paraná com características hidrogeológicas similares, referentes a geologia, proximidade com o mar. Isto evidencia a importância dos recursos hídricos armazenados no aquífero sedimentar como uma reserva estratégica viável, tanto sob o aspecto quantitativo, quanto qualitativo que, se submetido a um regime de exploração racional, poderá atender, de forma rápida e econômica, a demanda de água dos moradores da planície costeira paranaense.

De maneira urgente se conclui a necessidade de um programa de educação sanitária dos usuários dos poços de forma a instruí-los sobre desinfecção das águas a serem usadas para consumo doméstico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M. de. 1976. The system of continental rifts bordering the Santos basin. Brasil. *Anais Acad. Bras. Ciên.*, Rio de Janeiro, n.48 (supl.). p.15-26.
- ALMEIDA, F. F. M. de. 1982. Síntese sobre a tectônica da Bacia do Paraná. In: Sim. Reg. Geol., 3. Curitiba. *Atas...* Curitiba, SBG. p.1-20.
- ANGULO, R. J. 1990. O manguezal como unidade dos mapas geológicos. In: *Simp. Ecos. Costa Sul Sudeste Bras.*, 2. Águas de Lindóia, 1990. Publ. . . São Paulo, ACIESP, v.2 p.584-62.
- ANGULO, R. J. 1992. *Geologia da Planície Costeira do Estado do Paraná*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 334p.
- 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*, Amsterdam, 140: 141-166.
- BIGARELLA, J. J. 1946. *Contribuição ao estudo da planície litorânea do Estado do Paraná*. Arquivos de Biologia e Tecnologia, v.1: 75-11.
- BIGARELLA, J. J. 1965a. Nota explicativa acompanhando a folha geológica de Paranaguá. *Boletim da Universidade Federal do Paraná.*, Curitiba, 13: 15p.
- BIGARELLA, J. J. 1965b. Sand-ridge structures from Paraná Coastal Plain. *Marine Geology*, Amsterdam, 3: 269-278.
- BIGARELLA, J. J. 1965c. Subsídios para o estudo das variações do nível oceânico no Quaternário Brasileiro. *Anais Acad. Bras. Ciên.*, Curitiba, 37 (suplemento): 263-278.
- BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; MATOS, D. J.; WERNER, A. 1978. *A Serra do Mar e a Porção Oriental do Estado do Paraná*. Secretaria do Estado do Planejamento. Governo do Paraná, Curitiba, 278p.
- BIGARELLA, J. J.; DOUBECK, R. 1963. *Folha Geológica de Paranaguá (Estado do Paraná)*. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1 mapa geológico,. escala 1: 50.000.
- BIGARELLA, J. J.; DOUBECK, R.; SALAMUNI, R. 1957. Planta Geológica Provisória da Baía de Guaratuba. *Bol. Univ. Par. Geol.*, Curitiba, 8: 1-6.
- BIGARELLA, J. J.; MARQUES F. P. L. ; AB´SABER, A. N. 1961a. Ocorrência de pedimentos na fralda da Serra do Iquererim (Guaruva, SC). *Bol. Par. Geogr.*, Curitiba, 4 e 5: 82-93.
- BIGARELLA, J. J.; SALAMUNI, R.; MARQUES F, P.L.. 1959. Ocorrência de depósitos sedimentares continentais no litoral do Estado do Paraná (Formação Alexandra). *Not. Prel. Est. Inst. Biol. Pesq. Tecn.* , Curitiba, v.1. 7p.
- BITTENCOURT, A. V.; HINDI, E. CH. 2000. Tópicos de hidroquímica. In: *Memória 3er. Curso Sudamericano sobre Evaluación y Conservación de Acuíferos*. Universidade Nacional de Asunción. Asunción, Cap. 3.

- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria Nº 518 de 25 de março de 2004. Estabelece normas e o padrão de potabilidade da água destinada ao consumo humano. *Diário Oficial da União*, 26/mar/2004, seção I: 266-270.
- CAMARGO, E. C. 1985. *Definição de características do meio físico para implantação de aterros sanitários na porção sul do município de Paranaguá*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 126p.
- CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. 1983. *Hidrología Subterránea*. 2. ed. Barcelona: Omega, 1200 p.
- CUSTODIO, E. 1987. *Groundwater problems in coastal areas*. Paris: UNESCO, 560 p.
- ELLERT, N. ; GIUSTI, D. A.. 1984. *Locação de um poço tubular profundo para COCAP - Método de eletroresistividade*. Curitiba. Relatório Técnico. 12p.
- FETTER, C. W. 1994. *Applied Hydrogeology*. New Jersey: Prentice Hall, 450 p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1987. *Sistema de Classificação dos Solos do Brasil*, São Paulo.
- FERREIRA, F. J. F. 1982. Alinhamentos estruturais magnéticos da região centro - oriental da Bacia do Paraná e seu significado tectônico. In: PAULI - PETRO, Geologia da Bacia do Paraná. Reavaliação da potencialidade e prospectividade em hidrocarbonetos, *Anais..* São Paulo. **1**: 143-166.
- FERREIRA, F. J. F. ; STEVANATO, R. ; ROSA FILHO, E. F. da; HINDI, E. C. . 2002. *Projeto Imageamento Elétrico 2-D na Ilha dos Valadares, Paranaguá – PR*. Curitiba. Relatório Técnico. 10p.
- FOLK, R. L. 1954. The distinction between grain-size and mineral composition, in sedimentary rock nomenclature. *Jour. Geol.*, Chicago, v. 62, 4: 344-359.
- FUCK, R. A. ; TREIN, E. ; MURATORI, A. ; RIVEREAU, J. C. 1969. Mapa geológico preliminar de litoral, da Serra do Mar e parte do Primeiro Planalto no Estado do Paraná. *Bol. Par. Geoc.* , Curitiba, 27: 123-152.
- FUNPAR, Fundação da Universidade Federal do Paraná para o Desenvolvimento da Ciência, da Tecnologia e da Cultura. *Estudo de impacto ambiental (EIA) de uma usina termelétrica na Baía de Paranaguá e do porto de desembarque, subestação e linha de transmissão associados*. Curitiba. v.2. 1997
- GIUSTI, D. A. 1989. *Estudo de Impacto Ambiental da Implantação do Terminal Marítimo da Catalina - Porto de Paranaguá*. Curitiba. Relatório Técnico. v.1. 50 p.
- GIUSTI, D. A.. 1996. *Qualificação de parâmetros geo-ambientais do município de Paranaguá - PR*. Pos-graduação em Geociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Tese de Doutorado, 130 p
- HEM, J. D. *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Waters*. 3. ed. U.S. Geological Survey Water Supply-Paper 2254, 1985.
- IAPAR - Instituto Agrônomo do Paraná. 1994. *Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná*. Londrina, 38 p.

- IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. *Macrozoneamento da APA de Guaraqueçaba*. Curitiba: IPARDES, V.2. 257 p. 1990.
- I.T.C.F. - Instituto de Terras, Cartografia e Florestas. - 1990. *Atlas do Estado do Paraná*, Curitiba, escala 1:500.000.
- JOSÉ, C.; GIUSTI, D. A.; CAMARGO, E. C. 1994. Levantamentos geofísicos para dimensionar profundidade e fluxo das águas subterrâneas em Paranaguá - PR. In: Congresso Brasileiro De Águas Subterrâneas 8, Recife, PE. *Anais....* ABAS, Recife, **1**: 336-342.
- LESSA, G. C.; ANGULO, R. J.; GIANNINI, P. C.; ARÚJO, A. D. 2000. Stratigraphy and Holocene evolution of a regressive barrier in south Brazil. *Marine Geology*, Amsterdam, **165**: 87-108.
- LOGAN, J. 1961. Estimation of electrical conductivity from chemical analysis of natural waters. *Journal of Geophysical Research*, Richmond, V. **66**. **8**: 2479-2483
- MAACK, R. 1981. *Geografia física do Estado do Paraná*. 2 Ed., Rio de Janeiro : José Olímpio.
- MAVEYEV, A. A.; BASMAKOVA, O. I. 1967. Chemical composition of atmospheric precipitation in some regions of the URSS. *Soviet Hydrology*. Selected papers no. **5**: 480-491.
- MCCUBIN, D. G. 1982. Barrier - Island and strand plain fácies. In: SHOLLE, P. A. & SPEARING, D. Manasha. *Am. Assoc. Petr. Geol.* 247-279.
- MARTIN, L.; SUGUIO, K. 1986. Excursion route along the coastal plain of states of Paraná and Santa Catarina. In: Intern. Symp. Sea levels changes and quaternary shorelines. São Paulo, *Special Publ. . .* São Paulo INQUA. **1**: 39-124.
- MINEROPAR – Minerais do Paraná S.A, 1989. *Mapa Geológico do Estado do Paraná*. Brasília, Departamento nacional de produção mineral (DNPM), escala 1: 650.000.
- MINEROPAR – Minerais do Paraná S.A. 2001. *Atlas Geológico do Estado do Paraná*. Curitiba. 1 CD-ROM.
- RIVERAU, J. C.; FUCK, R. A; MURATORI, A.; TREIN, E. 1969. *Paranaguá, Folha geológica*. Curitiba, Comissão da carta Geológica do Paraná, escala 1: 70.000.
- SHOLKOVITZ, E. R. 1976. Flocculation of dissolved organic and inorganic matter during the mixing of river water and seawater. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. v. **40**: 831-845.
- TESSLER, M. G.; SUGUIO, K. 1987. *Características sedimentológicas da Formação Cananéia (Pleistoceno Superior) na área de Paranaguá - Antonina (Estado do Paraná, Brasil)*. Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. São Paulo, Publicação Avulsa N° **2**: 43-54.