

**MAPEAMENTO HIDROGEOLÓGICO DA ILHA DE
SANTA CATARINA UTILIZANDO
GEOPROCESSAMENTO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Autor: Geólogo ALEXANDRE GUEDES JUNIOR

Prof. Orientador: Dora Maria Orth, Dr^a.

Florianópolis, abril de 1999.

SC-00046034-7

152168

AQUISIÇÃO POR DOAÇÃO
DOADO POR _____

CETD
UFSC
PECV
0108
EX.1

03 MAR, 2000

REGISTRO 0.318.998-8
DATA DO REGISTRO 3-5-2000

BU/DPT
0.318.998-8

GUEDES Jr. Alexandre. Mapeamento Hidrogeológico da Ilha de Santa Catarina utilizando geoprocessamento. Florianópolis, 1999. 114 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

Prof. Orientador: *Dora Maria Orth, Dr^a UFSC*

Defesa: 12/4/1999.

Resumo da Dissertação: Esta pesquisa apresenta como resultado, as características principais das águas subterrâneas ocorrentes na Ilha de Santa Catarina, como o modo de ocorrência, vazões médias esperadas e nível freático. Os aquíferos da Ilha foram analisados por mapeamento geológico, com ênfase às águas subterrâneas, e relação com dados de poços tubulares profundos. Os dados aquilatados foram armazenados em ambiente computacional, tanto as cartas temáticas como dados de texto, sendo totalmente interrelacionáveis, possibilitando consultas do tipo SQL.

- Hidrogeologia
- Águas subterrâneas - Santa Catarina, Ilha de
- Aquíferos - Santa Catarina, Ilha de
- Mapeamento geológico - Santa Catarina, Ilha de

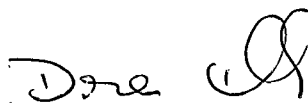
**MAPEAMENTO HIDROGEOLÓGICO DA ILHA DE SANTA CATARINA
UTILIZANDO GEOPROCESSAMENTO**

ALEXANDRE GUEDES JUNIOR

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil (área de Concentração: Cadastro Técnico Multifinalitário) e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.



Roberto de Oliveira, PhD UFSC(Coordenador)



Dora Maria Orth, Dr^a UFSC - Orientadora

Banca Examinadora



Luiz Fernando Scheibe, Geólogo, PhD UFSC



Glaci Trevisan Santos, Eng. Civil, Dr^a UFSC



Norberto Olmiro Horn Filho, Geólogo, Dr. UFSC

Florinópolis - SC, abril de 1999.

A Deus acima de tudo

Aos meus Pais pela Vida

*Às pessoas moradoras da Ilha de Santa Catarina,
que este seja um trabalho de valor*

AGRADECIMENTOS

A confecção deste trabalho não seria possível sem a participação de muitas pessoas. Fica assim expresso meu agradecimento a colaboração de todos os amigos e colegas. Contudo, eu não poderia deixar de enfatizar meu profundo agradecimento:

À Universidade Federal de Santa Catarina e ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil pela oportunidade;

Ao Governo Brasileiro, através da CAPES, pelo apoio financeiro;

Ao Laboratório de Ciências Geodésicas pelo espaço de trabalho;

À Professora Dora Maria Orth pela grande dedicação, orientação, estímulo e compreensão na horas difíceis;

Aos Colegas de Laboratório, Engenheiro Sálvio José Vieira, pelas sugestões no trabalho, João Vicente Wanka pelo auxílio na digitalização e edição dos mapas e Vanessa dos Santos, pelas informações sobre abastecimento e esgotamento sanitário da Ilha; todos têm grande participação neste trabalho;

Aos colegas do curso de Mestrado: Lucimar Siqueira, Agostinho Schneiders, Markus Hasenack, Eder Silva e Eduardo Saldanha;

À FAPEU, em especial a Rosa Maria, Karla, Danilo e Fábio Silva, pelo apoio institucional nos cursos de Extensão em Geoprocessamento ministrados;

À CASAN, por intermédio do geólogo Lauro César Zanatta, presidente da ABAS/SC, pelas preciosas informações sobre os poços tubulares profundos, de abastecimento público;

À CPRM, em especial ao geólogo João Coitinho, pelo grande apoio em informações de geologia/hidrogeologia;

Ao Prof. Geólogo Luiz Fernando Scheibe, pela revisão nos textos preliminares de geologia;

Ao Prof. Geólogo Norberto Olmiro Horn Filho, pela participação na Banca Examinadora;

À Prof. Engenheira Civil Glaci Trevisan Santos, pelo convite na participação dos trabalhos de Mapeamento Geotécnico da Ilha de Santa Catarina e por sua participação na banca examinadora.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

RESUMO

ABSTRACT

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

1. APRESENTAÇÃO	1
2. JUSTIFICATIVA	2
3. OBJETIVOS DESTE TRABALHO	3
3.1. OBJETIVO GERAL	3
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3

CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. RECURSOS HÍDRICOS	4
2. HIDROGEOLOGIA	5
3. CICLO HIDROLÓGICO	7
4. ÁGUAS SUBTERRÂNEAS e SEU USO	11
5. PESQUISA E MAPEAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	12
6. TIPOS DE OCORRÊNCIAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA ÁREA DE ESTUDOS	15
6.1. ÁGUA SUBTERRÂNEA EM SEDIMENTOS INCONSOLIDADOS	15
6.2. ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM ROCHAS DO EMBASAMENTO CRISTALINO	16
6.3. ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM AMBIENTES COSTEIROS	18
7. RISCOS DE CONTAMINAÇÃO	19
8. ASPECTOS LEGAIS DA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL	25
<i>A Bacia Hidrográfica como Unidade de Gestão</i>	26

9.	PROJETO DE LEI DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARA OS ESTADOS	27
10.	CARTOGRAFIA	29
10.1	MAPAS E CARTAS	29
	<i>Linhas da rede geográfica</i>	30
10.2	PROJEÇÕES CARTOGRÁFICAS	30
	<i>Sistema Transverso de Mercator</i>	31
	<i>Projeção Conforme Gauss</i>	32
	<i>Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)</i>	32
10.3	PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA	32
10.4	CARTOGRAFIA TEMÁTICA	33
	<i>Mapas Hidrogeológicos</i>	34
11.	SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA – GIS e GEOPROCESSAMENTO	37
11.1	COMPONENTES DE UM GIS	38
	<i>Bancos de dados espaciais e de atributos</i>	38
	<i>Atributos</i>	39
11.2	SISTEMAS COMPUTACIONAIS	40
	<i>Hardware</i>	40
	<i>Softwares</i>	40
	<i>Sistema de visualização cartográfica</i>	41
	<i>Sistema de digitalização de mapas</i>	41
	<i>Sistema de gerenciamento de bancos de dados</i>	42
11.3	DADOS GRÁFICOS	43
	<i>Dados tipo Vetorial ou Vector</i>	43
	<i>Dados tipo Matricial, Celular ou Raster</i>	43
12.1.	SISTEMAS CAD	44
	<i>Conversão de mapas em papel para o meio digital – digitalização manual</i>	44

CAPÍTULO III – METODOLOGIA DE PESQUISA

1.	CONFIGURAÇÃO E LINHA DE PESQUISA	46
----	----------------------------------	----

1.1. FASE DE MAPEAMENTO PROPRIAMENTE DITO	46
<i>Aquisição e interpretação preliminar dos dados</i>	46
<i>Pré-processamento (mapeamento e representação gráfica)</i>	48
1.2. FASE DE MANIPULAÇÃO EM MEIO DIGITAL	51
<i>Dados gráficos – Mapas</i>	51
<i>Dados não gráficos – tabelas</i>	52
1.3. MANIPULAÇÃO E ANÁLISE	54
2. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA PESQUISA	55

CAPÍTULO IV - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

1. LOCALIZAÇÃO, CLIMA, POPULAÇÃO E BREVE HISTÓRICO DA ÁREA DE ESTUDOS	56
2. SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EXISTENTES NA ILHA DE SANTA CATARINA	59
2.1. SISTEMA INTEGRADO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	62
2.2. SISTEMA COSTA NORTE	63
<i>Sistema isolado de abastecimento de São João do Rio Vermelho</i>	64
<i>Sistema isolado de abastecimento da Praia Brava</i>	64
<i>Sistema isolado de abastecimento do Jurerê Internacional</i>	64
2.3. SISTEMA COSTA LESTE-SUL	64
<i>Sistema isolado da Barra da Lagoa</i>	64
<i>Sistema isolado da Armação</i>	65
<i>Sistema de abastecimento a Ratonés</i>	65
2.4. SISTEMAS EM IMPLANTAÇÃO OU A IMPLANTAR	65
<i>Sistema de abastecimento do Morro da Lagoa da Conceição</i>	65
<i>Sistema de abastecimento Lagoa do Peri</i>	66
3. ESGOTAMENTO SANITÁRIO	66
4. GEOLOGIA	69
4.1. CICLO TECTÔNICO BRASILIANO	71
<i>Granitóide Paulo Lopes</i>	71
<i>Granito São Pedro de Alcântara</i>	72

<i>Granito Ilha</i>	72
<i>Granito Itacorubi</i>	72
<i>Riolito Cambirela</i>	73
4.2. JURO/CRETÁCEO	74
<i>Formação Serra Geral</i>	74
4.3. TERCIÁRIO / QUATERNÁRIO (PLIOCENO AO HOLOCENO)	74
<i>Depósitos de encostas</i>	74
4.4. QUATERNÁRIO (PLEISTOCENO E/OU HOLOCENO)	74
<i>Depósitos marinhos praias (Depósitos de Maré)</i>	75
<i>Depósitos eólicos antigos</i>	76
<i>Depósitos transicionais lagunares</i>	76
<i>Depósitos lagunares</i>	76
<i>Depósitos eólicos atuais</i>	77
<i>Depósitos paludais e turfáceos</i>	77
<i>Depósitos de manguezais</i>	78
<i>Depósitos de Leques Aluviais e Aluvionares atuais</i>	78
<i>Depósitos de Praia</i>	78

CAPÍTULO V – RESULTADOS E ANÁLISES

1. HIDROGEOLOGIA DA ILHA DE SANTA CATARINA	79
1.1. SISTEMA AQÜÍFERO CRISTALINO – FRATURADO	82
<i>Aqüífero Ilha</i>	84
<i>Aqüífero Cambirela</i>	86
1.2. SISTEMA AQÜÍFERO SEDIMENTOS INCONSOLIDADOS	87
<i>Aqüífero Joaquina (Dunas eólicas ativas)</i>	88
<i>Aqüífero Rio Vermelho</i>	91
<i>Aqüífero Ingleses</i>	92
<i>Aqüífero Canasvieiras</i>	93
<i>Aqüífero Conceição</i>	94
<i>Depósitos de Mangue e depósitos argilosos ou orgânicos</i>	94

<i>Depósitos de Praia</i>	95
2. <i>USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA ILHA DE SANTA CATARINA</i>	95
3. <i>PLANEJAMENTO POR MICROBACIAS</i>	97
4. <i>RISCOS DE CONTAMINAÇÃO</i>	99
5. <i>AValiação DAS RESERVAS</i>	102
6. <i>UTILIZAÇÃO DE GEOPROCESSAMENTO</i>	102
7. <i>CONCLUSÕES</i>	105

CAPÍTULO V I- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

<i>BIBLIOGRAFIA CONSULTADA</i>	107
--------------------------------	-----

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Ciclo Hidrológico.</i>	8
<i>Figura 2. Condutividade Hidráulica de depósitos inconsolidados.</i>	10
<i>Figura 3. Aquífero Costeiro, água salgada e cunha salina em equilíbrio hidrodinâmico.</i>	19
<i>Figura 4. Desenho esquemático mostrando a vulnerabilidade de aquíferos frente a uma carga contaminante.</i>	23
<i>Figura 5. Evolução dos Mapas Hidrogeológicos.</i>	36
<i>Figura 6. Critérios de digitalização.</i>	42
<i>Figura 7. Mapa das Microbacias da Ilha de Santa Catarina.</i>	50
<i>Figura 8. Mapa das Microbacias e Unidades Especiais de Planejamento.</i>	53
<i>Figura 9. Localização da Ilha de Santa Catarina.</i>	58
<i>Figura 10. Mapa mostrando a situação atual do Abastecimento de Água.</i>	61
<i>Figura 11. Mapa com a situação atual do Esgotamento Sanitário.</i>	68
<i>Figura 12. Coluna Estratigráfica modificada de CARUSO Jr. 1993.</i>	70
<i>Figura 13. Mapa Hidrogeológico da Ilha de Santa Catarina.</i>	81
<i>Figura 14. Sistema Aquífero Cristalino Fraturado.</i>	84

<i>Figura 15 . Sistema Aquífero Sedimentos Inconsolidados.</i>	88
<i>Figura 16. Dunas da Joaquina (Aquífero Joaquina).</i>	89
<i>Figura 17. Desenho esquemático, mostrando a disposição dos depósitos sedimentares na borda Leste da Ilha de Santa Catarina.</i>	90
<i>Figura 18. Vista parcial da Praia Brava.</i>	98

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1. Métodos e Atividades de pesquisa em água subterrânea.</i>	14
<i>Tabela 2. Vazões médias em rochas no Alto da Paraíba.</i>	17
<i>Tabela 3. Vazões médias em rochas na Pensilvânia.</i>	17
<i>Tabela 4. Transporte de bactérias na zona saturada.</i>	22
<i>Tabela 5. Padrões de Exatidão Cartográfica (PEC) e Erros Padrões para escalas 1:10.000 e 1:2.000.</i>	33
<i>Tabela 6. Cores, layers e estilo de linha na representação gráfica dos aquíferos da Ilha.</i>	52
<i>Tabela 7. Precipitações médias mensais. Período considerado (1968 a 1994).</i>	59
<i>Tabela 8. População atendida pelo Abastecimento de Água da CASAN.</i>	63
<i>Tabela 9. Sistema de abastecimento e processos de tratamento.</i>	65
<i>Tabela 10. População atendida com esgoto.</i>	66
<i>Tabela 11. Estações de Tratamento existentes ou a implantar e população atendida.</i>	67
<i>Tabela 12. Cores dos aquíferos conforme a produtividade.</i>	80
<i>Tabela 13. Nomenclatura dos aquíferos da Ilha.</i>	82

Tabela 14. Granulometria da unidade Dunas Quaternárias (Aqüífero Joaquina). _____ 89

*Tabela 15. Granulometria da unidade Areias Quartzosas (Rampas de Dissipação)
(Aqüífero Rio Vermelho).* _____ 91

Tabela 16. Granulometria da unidade Podzol (sed. Quaternário) (Aqüífero Ingleses).
_____ 93

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

1. APRESENTAÇÃO

Na década de 60, quando pelos primeiros programas Espaciais a superfície terrestre foi vista do espaço, o homem chegou a uma constatação inédita e imediata: a Terra é azul. Os oceanos, com sua imensidão de água, de coloração azul turquesa, permitiam a nítida impressão de vivermos não no planeta Terra, mas no “*Planeta Água*”. Apesar desta imensidão azul, nem toda a água do planeta é passível de ser consumida, visto que 97,3% da água do Mundo está nos oceanos. Da água doce do planeta (apenas 2,7%), 77,1% encontram-se nas calotas polares, 22,5% em mananciais subterrâneos, enquanto apenas 0,37% encontram-se nos lagos e rios (0,059% estão na atmosfera e na biosfera) (PRESS & SIEVER 1985).

As ilhas costeiras e as oceânicas, por serem “*porções de terra cercadas pelo mar*”, apresentam limitações em área para a ocorrência de recursos hídricos superficiais de porte para consumo humano, podendo em muitas ilhas, estes recursos serem mesmo ausentes. Apesar da limitação em água doce, tanto as ilhas costeiras como as oceânicas, comumente reservam aos olhos belas paisagens, o que tende a atrair, dentro do possível, um grande número de visitantes e moradores. Na Ilha de Santa Catarina, esta característica é fortemente marcante. Localizada no Sul do Brasil, a parte insular do município de Florianópolis possui grandes atrativos naturais e facilidade de acesso, o que faz com que haja uma migração populacional progressiva, proveniente de outras partes do Brasil; este fato, aliado ao crescimento natural da população da Ilha, leva a questão do abastecimento de água a ser um aspecto extremamente relevante no planejamento urbano. Afinal, *como se pode planejar o crescimento de uma cidade sem antever o abastecimento de água?*

A Ilha de Santa Catarina mostra uma situação especial pela proximidade com a terra continental, podendo-se, em um primeiro momento, buscar os recursos hídricos para abastecimento da área central, no continente. Esta característica foi determinante para que a CASAN pudesse optar pela canalização de seus esforços na implantação de uma estação de coleta e tratamento de água no Rio Cubatão, no

município de Palhoça, a qual, mostra-se como a principal fonte de abastecimento da população da Ilha SANTOS *et al.*, 1998. Contudo, com o crescimento da população moradora e a ocupação de balneários e do interior da Ilha, que não o Centro da Cidade, a dificuldade e elevados custos de transporte de água proveniente dos mananciais localizados no Continente, assim como problemas inerentes a estes mananciais (assoreamento, uso de pesticidas em lavouras próximas, etc.), tornam o conhecimento da ocorrência das águas subterrâneas na Ilha, muito importante.

2. *JUSTIFICATIVA*

O uso indiscriminado dos recursos hídricos superficiais no Brasil, tem levado ao longo do tempo a uma progressiva redução de disponibilidade de água potável a ser retirada de lagos e rios, em contraste com o crescimento acelerado da população. O fator crescimento populacional versus redução dos recursos hídricos superficiais disponíveis, colocam as águas subterrâneas em lugar de destaque; assim, o conhecimento do modo de ocorrência das águas subterrâneas torna-se um fator primordial no planejamento e para a própria sobrevivência de muitas cidades brasileiras.

Os aquíferos (rochas ou depósitos sedimentares capazes de armazenar água) contudo, estão sujeitos à contaminação pelo uso indiscriminado do solo urbano com a expansão imobiliária, podendo tornar-se irreversivelmente inutilizáveis para consumo humano, privando no futuro, o uso destas águas pela própria população.

A Ilha de Santa Catarina, possui excelentes aquíferos e um grande potencial de abastecimento de água a sua população por intermédio da água subterrânea. Este tipo de captação de água, demonstra em vários aspectos, grandes vantagens com relação às águas superficiais, principalmente no que diz respeito ao custo da água para a população e para o órgão responsável pela captação e distribuição, assim como pela boa qualidade destas águas para consumo humano.

Com o mapeamento dos tipos de aquíferos existentes na Ilha, assim como seus parâmetros hidrogeológicos - vazão, profundidade de captação, qualidade da água e etc., tem-se uma visão abrangente do potencial de abastecimento de água para a Ilha, utilizando-se estes mananciais. Através deste documento, busca-se dar um primeiro passo na direção do reconhecimento dos recursos hídricos subterrâneos da Ilha de Santa Catarina de modo sistemático. Com os resultados apresentados, espera-se que outros

trabalhos prossigam na mesma linha de investigação, para que no futuro, os moradores da Ilha possam conviver em harmonia com o meio ambiente, servidos por água em abundância e de qualidade.

3. OBJETIVOS DESTE TRABALHO

3.1. OBJETIVO GERAL

Identificação e representação sobre um mapa, em meio digital, com saída recomendada na escala 1:50.000, das características principais das águas subterrâneas ocorrentes na Ilha da Santa Catarina, sul do Brasil e estruturação de uma base de dados digital em linguagem GIS para futuros estudos relacionados aos recursos naturais da Ilha.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ☒ Elaborar uma base de dados gráfico (mapas) e tabular (tabelas) sobre a Hidrogeologia da Ilha e temas correlacionáveis ao abastecimento público, como Microbacias, Unidades Especiais de Planejamento, População, Abastecimento Atual e Esgotamento Sanitário;
- ☒ Considerar de maneira preliminar sobre o potencial de uso das águas subterrâneas para abastecimento da população da Ilha;
- ☒ Alertar sobre possíveis riscos de contaminação dos mananciais hídricos subterrâneos;
- ☒ Contribuir como pesquisa de avaliação e difusão das tecnologias de geoprocessamento, visando a formação de recursos humanos;
- ☒ Disponibilizar uma base de dados digital (GIS) que possibilite estudos futuros mais detalhados sobre as águas subterrâneas da Ilha.

CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. *RECURSOS HÍDRICOS*

A água é o bem mineral mais precioso para o ser humano. Sem ele a humanidade não sobreviveria. Apesar deste fato, historicamente o Homem tem utilizado os recursos hídricos de uma forma degradante, o que pode levar ao completo esgotamento de água potável no Planeta. Deve-se isto a um crescente aumento da população mundial, e da progressiva poluição do meio ambiente, que a acompanha.

MACHADO GRANZIERA, 1993, ressalta que séculos de utilização descuidada e sem planejamento do uso das águas, levaram o homem a perceber a iminente ameaça ao frágil equilíbrio que assegura a continuidade deste recurso. Assim, torna-se necessária uma cuidadosa atenção com respeito ao abastecimento de água e disposição dos efluentes, o que leva a uma mudança de paradigma: não considerar-se a água, como um recurso ilimitado ao nosso eterno dispor, e sim como bem mineral finito e vulnerável. Considerando-se a água como um bem finito, podemos assumir que a sua ocorrência seria quantificável. Esta premissa torna-se necessária pelo aumento da demanda, sendo imprescindível em um planejamento moderno, onde procura-se antever o assentamento humano e as conseqüentes demandas. Neste aspecto, áreas com alto potencial de urbanização, como as capitais, merecem estudos cuidadosos, visto o rápido aumento no consumo dos recursos hídricos.

As águas subterrâneas abrangem aproximadamente 97% da água doce do planeta no estado líquido, enquanto que os recursos hídricos superficiais correspondem a apenas 3% (MANOEL FILHO, 1997). Apesar destes números, o fato de rios, lagos e represas serem visíveis aos olhos, faz com que uma maior atenção seja direcionada para estes recursos.

As águas subterrâneas são águas armazenadas nas rochas e/ou depósitos sedimentares que se acumularam ao longo de milhares de anos e se encontram, sob condições naturais, numa situação de equilíbrio governada por um mecanismo de

recarga e descarga (MANOEL FILHO, 1997). Nem toda água armazenada nos sistemas aquíferos é passível de exploração, devendo sempre haver um planejamento estratégico quanto a captação destes recursos. Estas águas também estão sujeitas a contaminação pelo uso indiscriminado do solo, o que justifica o conhecimento científico da forma de ocorrência e características destas águas e o desenvolvimento de uma política de uso e proteção dos recursos hídricos em nível local.

2. **HIDROGEOLOGIA**

Segundo DAVIS & DEWIEST, 1966, Hidrogeologia pode ser definida como o estudo das águas subterrâneas, com ênfase particular para a química das águas, a sua migração no subsolo e suas relações com o ambiente geológico. O termo Hidrogeologia foi utilizado pela primeira vez em 1802 pelo naturalista francês LAMARCK, sendo a primeira publicação de destaque neste tema referida a MEAD, 1919, no seu clássico livro sobre Hidrologia (DAVIS & DEWIEST op. cit.). *A Hidrologia, por sua vez, é a ciência que trata do estudo da água na Natureza; “é parte da geografia física que abrange em especial, propriedades, fenômenos e distribuição da água na atmosfera, na superfície da Terra e no subsolo”* (SOUZA PINTO et al., 1976).

Já na antigüidade o homem sempre buscou a razão para certos enigmas, como *“embora todos os rios continuem a desaguar no mar, os rios nunca se esgotam nem tampouco deixam de fluir”* SALOMÃO, Eclesiastes, 1:7.

ARISTÓTELES (384-322 A.C.) reconheceu, já na Grécia antiga, o caráter cíclico do caminho da água entre a terra e o ar, a condensação, evaporação, a importância na formação da chuva e ainda o fato de que parte das chuvas contribui na formação dos rios e lagos (MANOEL FILHO, 1997). Segundo este mesmo autor, PIERRE PERRAULT (1608-1660) e EDMÉ MARIOTTE (1620-1684), são considerados os pais da Hidrogeologia. PERRAULT, mediu a precipitação pluviométrica e o volume de água de escoamento superficial na bacia do Rio Sena nos anos de 1668, 1669 e 1670, chegando ao número de 520 mm por ano. Ele então estimou a taxa de água que chegava até o rio, chegando à conclusão que apenas 1/6 escorria pela superfície, enquanto o restante infiltrava no solo, ou evaporava. Os resultados de seus experimentos foram publicados no livro *De L'Origine des Fontaines* de 1674. Mesmo sendo pioneiro da Hidrologia, PIERRE PERRAULT foi um advogado que ocupou

posições administrativas do governo francês, não sendo conhecido no círculo científico. Coube a ANTÔNIO VALLESIERE, presidente da Universidade de Pádua, Itália, a publicação em 1715, de um trabalho sobre as águas subterrâneas do norte da Itália, com a primeira descrição de um perfil geológico em detalhe, com relação às águas subterrâneas, ressaltando a importância das camadas impermeáveis e o modo de ocorrência dos aquíferos confinados (MANOEL FILHO, 1997).

Durante a primeira metade do século XIX as águas subterrâneas foram mais intensamente estudadas na França, graças a intensiva perfuração de poços para abastecimento das comunidades. Destacou-se nesta época o engenheiro HENRY DARCY (1803-1858), o qual estabeleceu uma fórmula para representar o fluxo de água, através da areia, em função da condutividade Hidráulica do material arenoso e do gradiente hidráulico. No campo da Hidráulica, JULES DUPUIT, foi o primeiro cientista a desenvolver uma fórmula para o fluxo de água em um poço. Seu trabalho só foi publicado sete anos após a publicação da monografia de DARCY, com a “Lei de Darcy”. Em 1870, ADOLPH THEIM, da Alemanha, modificando a fórmula de DUPUIT, conseguiu descrever as características de um aquífero, bombeando um poço e observando o efeito nos poços vizinhos (THEIM, 1906).

Um grande avanço na Hidrogeologia, ocorreu em 1935, quando C. V. THEIS introduziu a equação de fluxo contínuo em poços, sendo sua fórmula utilizada mais tarde por C. E. JACOB, 1950, apenas para considerações Hidráulicas, visto que as diferentes características geológicas do meio influenciam no fluxo da água subterrânea. Estas fórmulas ainda são utilizadas hoje em dia na avaliação da produtividade de poços. Ao longo dos anos, muitos geólogos têm contribuído significativamente no estudo das águas subterrâneas; é interessante que as condições particulares e geológicas de cada região, levaram estes pesquisadores a trabalhar e chegar a resultados específicos dependendo do tipo de terreno.

No Brasil, até a primeira metade do século XX as ações desenvolvidas no campo da Hidrogeologia concentraram-se na região do Nordeste, sendo restritas a perfuração desordenada de poços. Estas atividades estiveram relacionadas a programas esporádicos *emergenciais*, de combate à seca, sem uma maior preocupação com o reconhecimento real do potencial subterrâneo das águas; nem tampouco uma política capaz de garantir um abastecimento contínuo ao povo da região (MANOEL FILHO, 1997). O trabalho de perfuração no nordeste foi conduzido inicialmente pela IFOCS – Inspetoria Federal de

Obras Contra a Seca, que foi transformada posteriormente no DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas.

Com a criação da SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, tiveram início, a partir da década de 60, uma série de missões de cooperação técnica internacional para o reconhecimento dos recursos naturais da região e formação de recursos humanos. Marca-se este ponto como o início da Hidrogeologia Brasileira. Os trabalhos de perfuração e exploração das águas subterrâneas passaram a obedecer a critérios técnicos, sempre antecedidos de trabalhos de mapeamento.

Nas últimas duas décadas alguns programas de pesquisa e exploração das águas subterrâneas foram criados pelo Governo Federal e Governos Estaduais, destacando-se o PAP-RS, Programa de Açudes e Poços do Estado do Rio Grande do Sul; a CERB, Companhia de Engenharia Rural da Bahia; a CDM, Companhia de Desenvolvimento Mineral do Rio Grande do Norte e outros.

3. *CICLO HIDROLÓGICO*

Para que se entenda como ocorrem as águas subterrâneas no nosso Planeta e no local de estudo, é necessário que se aborde alguns conceitos básicos da hidrogeologia.

O *Ciclo Hidrológico* é o contínuo movimento das águas em nosso planeta.

A água da superfície, dos mares, dos rios e dos lagos está em constante evaporação. Ao evaporar-se aumenta extraordinariamente de volume, diminuindo assim sua densidade. A diminuição desta densidade relativa da água em relação ao ar faz com que o vapor da água se eleve na atmosfera, formando as nuvens. A condensação deste vapor, leva a água a precipitar sob a forma de chuva, neve ou granizo (PRESS, & SIEVER, 1985). Ao cair sobre a terra, parte da água escoar-se por sobre a superfície, formando os córregos e depois lagos e rios, chegando finalmente ao mar. Uma outra parte das águas penetra no subsolo, formando os “lençóis” subterrâneos, os quais alimentarão também os rios, lagos e mar, retornando em seguida para a atmosfera (Figura 1).

Neste ciclo natural, as águas subterrâneas apesar de não serem visíveis, ocupam aproximadamente **97% da água doce do planeta**, enquanto que as águas dos rios, lagos e barragens, contribuem com apenas 3%. Contudo, nem todo o volume de água contido no subsolo é passível de ser extraído, sendo também importante ressaltar que os processos de recarga de um aquífero são lentos; devendo a exploração dos mananciais subterrâneos ser feita sempre precedida de estudos de detalhe. Alguns conceitos relevantes sobre as águas subterrâneas são colocados na seqüência do texto.

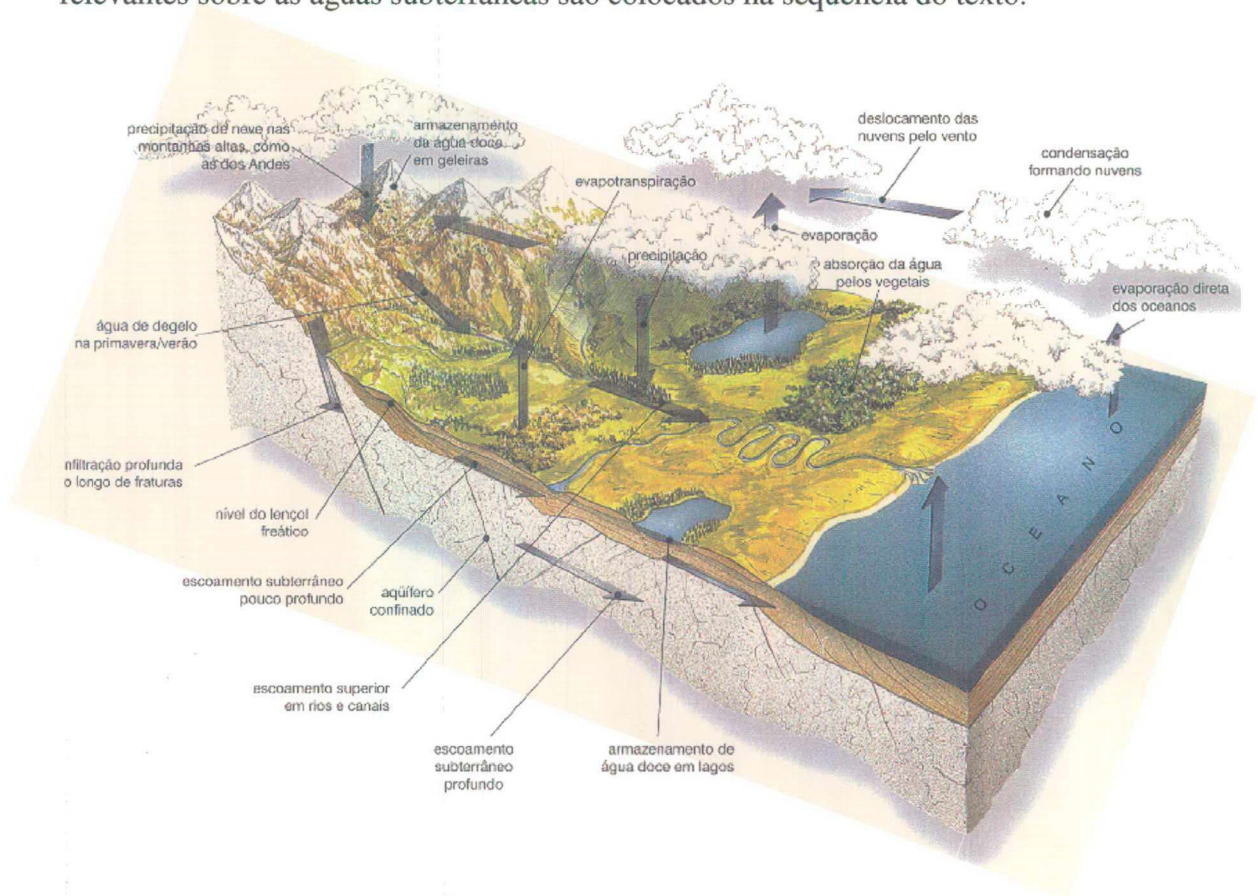


Figura 1. Ciclo Hidrológico. (Extraído do Atlas Ambiental de Porto Alegre, 1998, p. 36).

A **Precipitação** de água no solo pode se dar de várias formas. As mudanças na pressão atmosférica e temperaturas elevadas, associadas a movimentos de massas de ar, fazem com que o ar fique saturado com vapores de água (DAVIS & DEWIEST, 1966). Este vapor de água, conseqüentemente acaba se condensando na forma de pequenos núcleos de água no estado sólido ou líquido, os quais caem sobre a superfície terrestre, pela ação da gravidade, das mais diversas maneira, como chuva, neve, granizo, orvalho etc.

A medição da quantidade de chuva que cai em um determinado lugar é feita por intermédio de pluviômetros, os quais medem o volume de água de chuva, em milímetros, durante um período de tempo.

A *Evapotranspiração* para PRESS & SIEVER, 1985, é resultante dos fenômenos da evaporação da água proveniente da transpiração dos seres vivos, principalmente os vegetais, sendo um processo no qual a água muda do estado líquido para o gasoso. Depende do teor de umidade do ar e da ação dos ventos

Parte da água da chuva que atinge o terreno, desloca-se por sobre a superfície, movida pela força gravitacional em direção a rios e córregos. A este processo dá-se o nome de *escoamento superficial ou "runoff"* (DAVIS & DEWIEST *op. cit.*).

Já a *Infiltração* é o processo no qual a água ao atingir a superfície terrestre, penetra por entre os poros do solo, para o subsolo, pela força gravitacional (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1983). Este fenômeno depende muito da granulometria do material constituinte do solo, da porosidade, permeabilidade, da profundidade do horizonte saturado e das características do fluido que infiltrou-se no solo (CUSTÓDIO & LLAMAS, *op. cit.*). Os solos do tipo arenoso e arenoso-siltoso possuem coeficiente de permeabilidade alto, favorecendo à infiltração. Já os solos argilosos são menos suscetíveis, formando camadas semi-permeáveis a impermeáveis.

O sedimento ou a rocha classificada como porosa, ou que possui *porosidade*, é aquela que tem os espaços entre os grãos suficientemente amplos para que a água possa penetrar (CLEARY, 1989). Já a *permeabilidade* refere-se à intercomunicação dos poros do aquífero, fazendo com que a água se movimente por ação gravitacional, também designada como permeabilidade vertical ou infiltração, e horizontalmente como permeabilidade horizontal (CUSTÓDIO & LLAMAS, *op. cit.*). A permeabilidade pode ser calculada para uma seção vertical qualquer do aquífero ou, para toda a espessura do mesmo. Neste caso, determina-se a *transmissibilidade* ou *transmissividade* do aquífero.

A medida da habilidade do aquífero de conduzir água sob influência do gradiente de uma superfície potenciométrica é chamada *condutividade hidráulica* (CLEARY, *op. cit.*). Assim, quanto maior a condutividade, melhor a transmissão de água através do aquífero (Figura 2).

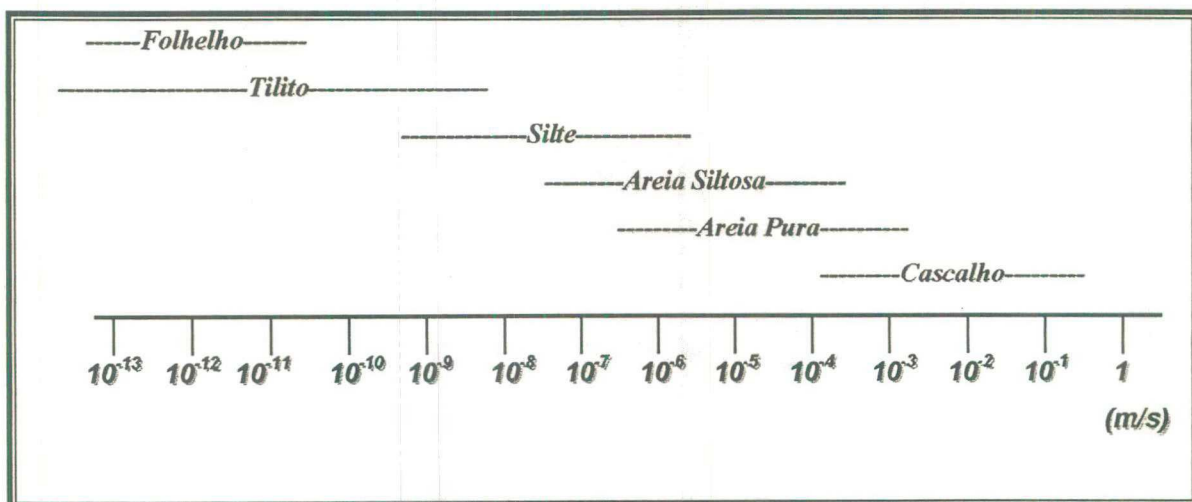


Figura 2 ; Condutividade Hidráulica de depósitos inconsolidados. Modificado de CLEARY, 1989.

O fluxo total de matéria, no caso a água, que é retirada de um lugar e adicionada em outro, é chamado *balanço de massa*. No Ciclo Hidrológico, nota-se que nem todo o volume de água que evapora dos oceanos precipita sobre estes. Esta discrepância é balanceada pelo fluxo das águas dos rios e da água subterrânea que se move em direção ao mar, ou seja, há sempre água sendo retirada e adicionada de alguma forma em um lado do sistema mar ou continente (PRESS & SIEVER, 1985). Desta forma, é fácil perceber, que se o homem retirar um volume maior de água doce dos continentes, do que a precipitação que ocorre sobre estes, haverá um desequilíbrio natural com falta de água para consumo humano. Esta premissa é importante para ressaltar que os recursos hídricos no estado possível de ser consumido pela humanidade é limitado no sentido de equilíbrio natural do Planeta Terra. As águas subterrâneas, como parte do sistema, também são limitadas e encontram-se no subsolo apenas temporariamente. Como a velocidade de fluxo é muito lenta, comparando-se com os rios, diz-se que estão “armazenadas” no subsolo.

4. *ÁGUAS SUBTERRÂNEAS e SEU USO*

A água subterrânea, ou água armazenada na subsuperfície, é o tema central de estudo do hidrogeólogo, e escopo central deste trabalho.

A água abaixo do nível freático é chamada água subterrânea. O nível freático é uma superfície teórica que separa a zona saturada (água subterrânea) da zona não saturada (zona intermediária) (DAVIS & DEWIEST, 1966). Acima da zona intermediária ocorrem as águas armazenadas nos solos.

As rochas ou depósitos sedimentares capazes de armazenar e transmitir água são chamadas *aqüíferos*, enquanto aquelas que apenas armazenam, mas não são capazes de transmitir água em quantidades significativas, são chamadas *aqüitardos*. Chamam-se *aqüicludes* os materiais naturais que impedem a passagem da água, formando uma barreira natural (CLEARY, 1989).

A água subterrânea que se encontra em contato com a atmosfera através de espaços abertos no material permeável é chamada água não confinada, ou aqüífero livre. O termo água confinada, ou aqüífero confinado ocorre quando a água subterrânea é separada da atmosfera por um material impermeável. O termo semiconfinado é utilizado para condições intermediárias.

Os aqüíferos podem ser depósitos sedimentares inconsolidados, zonas fraturadas em rochas ígneas e metamórficas, arenitos, cavernas em rochas calcárias ou outras ocorrências geológicas.

Quanto à *utilização das águas subterrâneas*, conforme dados da UNESCO, entre 1970 e 1992, foram perfurados em torno de 300.000 poços no Mundo, o que possibilita o abastecimento de mais de 50% da população do planeta.

Os Estados Unidos utilizam largamente as águas subterrâneas, garantindo o abastecimento de 40 % da população urbana e 75 % da população rural.

Nas Ilhas Hawaii, existe um cuidado todo especial quanto às águas subterrâneas, visto que neste conjunto de ilhas, as águas superficiais compreendem menos de 15 % para o abastecimento. Sendo um Estado Americano e recebendo milhares de visitantes todos os anos, problemas referentes à demanda são comuns, principalmente em Oahu, a capital do Estado. Este fato levou a criação de Leis estaduais rígidas para "*proteger, controlar e regular o uso dos recursos hídricos havaianos em benefício de seu povo*". (U.S. Geological Survey, 1987).

Na Austrália, aproximadamente 80% da população é totalmente dependente das águas subterrâneas. Sem estes recursos, muitas indústrias e significantes porções de áreas de agricultura não poderiam existir. Este fato incentivou o Departamento de Recursos e Energia deste país a investir na elaboração do Mapa Hidrogeológico da Austrália, escala 1:5.000.000 (LAU *et al.*, 1987).

No Brasil, devido a falta de controle quanto a exploração dos recursos subterrâneos, não se pode fazer uma estimativa precisa; mesmo assim, dados do IBGE de 1991 (MANOEL FILHO, 1997), revelam que aproximadamente 61% da população é abastecida por água subterrânea, sendo 43% por poços tubulares profundos, 12% por fontes e 6% por poços escavados*¹.

5. PESQUISA E MAPEAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Pesquisa possui o significado de “investigação” ou “exploração”, podendo ser definida como um conjunto de operações ou estudos que permitem a localização e a caracterização dos aquíferos, dos quais pode-se obter água em quantidade e qualidade (FEITOSA, 1997).

O termo “*exploração*” fica reservado ao conjunto de operações e estudos que permitem o aproveitamento das águas subterrâneas. A utilização racional dos recursos hídricos subterrâneos, leva a uma otimização do seu aproveitamento, o que é designado na língua inglesa pelo termo “*management*” ou **gerenciamento/gestão**.

*¹ Poços profundos correspondem aqueles perfurados por equipamentos pesados, geralmente com grandes profundidades, enquanto os poços escavados são aqueles onde o operário escava o solo, com pá ou picareta até encontrar o nível freático.

A Hidrogeologia admite três categorias, em função da litologia dos aquíferos (FEITOSA, 1997):

- ☒ Hidrogeologia Clássica: Refere-se ao estudo das águas subterrâneas armazenadas em meios porosos, como os arenitos (rocha) e depósitos sedimentares. Os estudos neste tipo de meio são bastante desenvolvidos, tanto no tocante a análises de fluxos como de riscos de contaminação.
- ☒ Hidrogeologia de meios fissurados: Este ramo de estudo é bem menos desenvolvido que a Hidrogeologia clássica, visto a heterogeneidade dos meios, o que dificulta os estudos matemáticos e mesmo algumas correlações. Contudo, a crescente demanda por água tem levado vários pesquisadores a voltar sua atenção para estes tipos de aquíferos.
- ☒ Hidrogeologia dos meios cársticos: As águas subterrâneas ocorrentes em meios cársticos (rochas carbonáticas) oferecem geralmente descargas excepcionais, embora sejam muito localizadas. Alguns locais chegam a formar verdadeiros rios subterrâneos, e em outros este tipo de meio causa vários problemas de engenharia, o que levou a uma individualização deste ramo da Hidrogeologia.

Na área de estudo, as águas subterrâneas ocorrem em aquíferos fissurados, cuja paisagem é de morros e aquíferos sedimentares (sedimentos inconsolidados), que formam planícies e dunas de areia.

Quanto aos *principais métodos de pesquisa de águas subterrâneas*, podemos adotar três grupos ou etapas de estudos (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1983):

- Estudos preliminares ou de reconhecimento
- Estudos gerais
- Estudos detalhados

Os *estudos preliminares ou de reconhecimento* possuem como objetivo a identificação dos aquíferos mais importantes, áreas de recarga e descarga e alguns parâmetros hidrogeológicos. São apresentados em escalas pequenas, geralmente entre 1:100.000 e 1:500.000 e destinam-se a selecionar áreas de maior interesse para estudos posteriores. A análise geológica de mapas existentes, utilizando critérios

hidrogeológicos, desempenha papel decisivo, na identificação e delimitação dos aquíferos, exigindo grande experiência profissional por parte do executor.

Os *estudos gerais* envolvem trabalhos de campo específicos, com refinamento dos estudos geológicos e coleta de dados sobre poços de abastecimento de água, poços de pesquisa, testes de aquífero e análises químicas. Os resultados são expressos na forma de mapas de diversas formas (hidrogeológico, potenciométrico, concentrações iônicas e etc.), geralmente em escalas entre 1:50.000 a 1:250.000. Estes estudos visam uma primeira caracterização dos aquíferos e dos recursos disponíveis.

Estudos detalhados tem por objetivo o conhecimento detalhado de um aquífero de modo a permitir o atendimento de uma demanda real, como de um núcleo urbano por exemplo, permitindo a execução de projetos de abastecimento.

Quanto aos *métodos de investigação*, segundo FEITOSA, 1997, existem duas grandes categorias: Os métodos auxiliares de apoio e os métodos hidrogeológicos propriamente ditos (Tabela 1).

Métodos	Atividades de Pesquisa								
Auxiliares	Definição De Demandas	Análise De Mapas geológicos	Geofísica	Análise de dados Pluviométricos	Análise da Hidrologia de superfície			Hidroquímica (qualidade da água)	
Hidrogeológicos	Obtenção de dados de poços	Visitas a campo	Integração de dados geológicos e de poços	Fotogeologia	Instalação de uma rede de observação	Sensoriamento remoto	Testes de bombeamento	Radisótopos	Perfis de temperatura



Atividades desenvolvidas no trabalho

Tabela 1. Métodos e Atividades de pesquisa em água subterrânea.

6. TIPOS DE OCORRÊNCIAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA ÁREA DE ESTUDOS

6.1. ÁGUA SUBTERRÂNEA EM SEDIMENTOS INCONSOLIDADOS

Os sedimentos inconsolidados, formam geralmente camadas sedimentares com grande ocorrência de água subterrânea, onde se destacam os sedimentos tamanho areia.

Para MANOEL FILHO, 1997, este tipo de depósito apresenta as seguintes vantagens para captação de água:

- ☒ São fáceis de perfurar ou escavar, o que torna a investigação exploratória mais rápida e menos onerosa;
- ☒ Os níveis onde se encontra a água subterrânea são geralmente pouco profundos, possibilitando bombeamentos com pouco recalque;
- ☒ Situam-se geralmente em regiões de grande recarga, ou pela presença de rios ou mesmo pela infiltração de chuvas.

Ainda segundo MANOEL FILHO *op. cit.*, entre os depósitos de sedimentos inconsolidados, os mais importantes são os depósitos de aluviões e dunas.

As dunas são acumulações de areia, as quais os sedimentos que a constituem são transportados pelo vento e depositados pela força gravitacional. Como o principal agente atuante sobre a formação destes depósitos é o vento, são chamados **depósitos eólicos**. Este tipo é comum no litoral brasileiro, sendo composto quase que unicamente por partículas tamanho areia fina, apresentando textura uniforme, com grãos arredondados, porosidade entre 30 e 45% e condutividade hidráulica moderada (10^{-3} a 10^{-6} m/s). São muito homogêneos ao longo de toda a sua extensão (CLEARY, R., 1989).

6.2. ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM ROCHAS DO EMBASAMENTO CRISTALINO

Chama-se genericamente de *Embasamento Cristalino* as rochas ígneas e metamórficas. Nestas rochas, a permeabilidade é extremamente reduzida, encontrando-se água subterrânea somente em espaços abertos no meio cristalino, chamados falhas, fissuras, juntas ou diaclases. A estas rochas chamamos *Aquífero fraturado* ou *fissural* (COSTA & BRAZ SILVA, 1997). Com relação às fraturas, existem casos particulares, quando as rochas metamórficas possuem uma composição de minerais carbonáticos, extremamente solúveis, como os mármore; neste caso, a água ao percorrer os espaços abertos na rocha, interage com os minerais que a compõe, provocando um “ataque químico” ou uma dissolução, o que leva a ocorrência de grandes espaços abertos, tais como cavernas, sumidouros e etc. (DAVIS & DEWIEST, 1969). Este tipo específico de rocha não ocorre no local de estudo deste trabalho.

As rochas ígneas e metamórficas, com exceção daquelas compostas principalmente por minerais carbonáticos, são chamadas “*Rochas duras fraturadas*” (LARSON, 1977 *apud* COSTA & BRAZ SILVA, *op. cit.*). As rochas duras fraturadas ou Aquífero fraturado, representam um meio heterogêneo ou fracamente homogêneo e anisótropo. A *homogeneidade* e *isotropia* referem-se às características da *condutividade hidráulica*. Se uma condutividade hidráulica não varia entre dois pontos de um mesmo material, este material é dito homogêneo e, se ela não varia entre um ponto e qualquer outro ponto no material, seja qual for a direção considerada o material é dito isotrópico (COSTA & BRAZ SILVA, *op. cit.*).

Os aquíferos compostos pelas rochas duras fraturadas apresentam precária homogeneidade e anisotropia, não mostrando parâmetros hidrodinâmicos constantes. A porosidade inerente a estas rochas é extremamente baixa, ficando entre 0,05% e 3% em contraste com as rochas sedimentares, que ficam entre 10 e 20% e os sedimentos inconsolidados, girando entre 25 e 50%. Assim assume-se que a porosidade está diretamente relacionada às fissuras, concentrando em porções específicas da rocha, ou seja, podem ocorrer vários metros ao longo de um perfil sem nenhum tipo de fratura ou sem nenhuma “porosidade”, podendo ocorrer porções específicas da rocha com alta concentração de falhas ou fissuras.

Segundo COSTA & BRAZ SILVA, 1997, os fatores que influem nas *características hidrodinâmicas* do Aquífero Fissural são os seguintes:

- ☒ Amplitude das fissuras;
- ☒ Abertura das fissuras;
- ☒ Forma e rugosidade das paredes das fissuras;
- ☒ Frequência de ocorrência das fissuras;
- ☒ Número de famílias ou sistemas de fissuras;
- ☒ Orientação e posição das fissuras (direção e mergulho);
- ☒ Porosidade e permeabilidade da matriz rochosa;
- ☒ Propriedade do material que preenche as fissuras;
- ☒ Distribuição da amplitude da fissura no sistema que determina a heterogeneidade e anisotropia.

As vazões encontradas nos Aquíferos fissurados são bastante variadas, em função da quantidade de fraturas ocorrentes no meio rochoso, clima, relevo e etc. mas, dificilmente ultrapassam 10.000 l/h (CLEARY, 1989). COSTA & BRAZ SILVA, 1997, estudando 274 poços localizados no Alto da Paraíba, encontraram as seguintes vazões médias:

ROCHA	VAZÃO (l/H)
Micaxisto	3.240
Gnaisse	3.060
Calcário cristalino	2.700
Granito	1.825

Tabela 2. Vazões médias em rochas no Alto da Paraíba.

LEGRAND, H., 1959 **apud** COSTA & BRAZ SILVA **op. cit.**, relaciona as seguintes vazões médias a partir de 490 poços de 3" de diâmetro e 189 poços de 5" da região da Pensilvânia - USA:

ROCHA	VAZÃO (l/H)
Micaxisto	4.980
Granito	3.300

Tabela 3. Vazões médias em rochas na Pensilvânia.

A relação entre as vazões e o tipo de rocha apontam os micaxistos como os aquíferos fraturados que apresentam as melhores vazões; isto ocorre pelo fato de geralmente possuírem mais fraturas que os granitos, devido a uma orientação planar de fratura pré-existente na rocha (planos de xistosidade).

Além da constituição litológica e estrutura da rocha, como fatores determinantes para a ocorrência de águas subterrâneas neste tipo de meio, também para a locação de

pontos de captação de água influem o *relevo* e os *solos*. O relevo desempenha um papel decisivo na acumulação de águas subterrâneas nas rochas. Como as águas movem-se por força da gravidade, locais altos, como os topos de morros não são os mais adequados para acumulação e captação de águas subterrâneas, assim como não o são, as encostas muito íngremes. Assim, em regiões de relevos muito acidentados, a ocorrência de águas subterrâneas é menos favorável do que em regiões de relevo suave ondulado. Já nos solos, uma quantidade elevada de argila, associada a um relevo acidentado, pode servir como uma camada quase impermeável à passagem de água. São vários os fatores que determinam a ocorrência de água nas rochas, sendo necessários estudos detalhados antes de uma obra de perfuração neste meio.

6.3. ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM AMBIENTES COSTEIROS

A água subterrânea, assim como as águas superficiais, tende a deslocar-se, por força da gravidade, em direção ao mar. Em ambientes costeiros, a água do mar, como é salgada e mais densa que a água doce, penetra no continente por baixo das águas subterrâneas, enquanto esta desloca-se para o mar, por cima, formando uma espécie de cunha, sendo o limite entre a água doce/salgada, chamada interface água doce/salgada.

A pressão de água doce e o contínuo escoamento para o mar conseguem manter a posição de cunha salina em equilíbrio (Figura 3). Entretanto, se for feita a exploração indiscriminada do aquífero costeiro, sem projetar-se a sua real capacidade de vazão, a água doce diminui a sua descarga no mar e a cunha salina começa a avançar em direção ao continente podendo salinizar todo o aquífero (CABRAL, 1997).

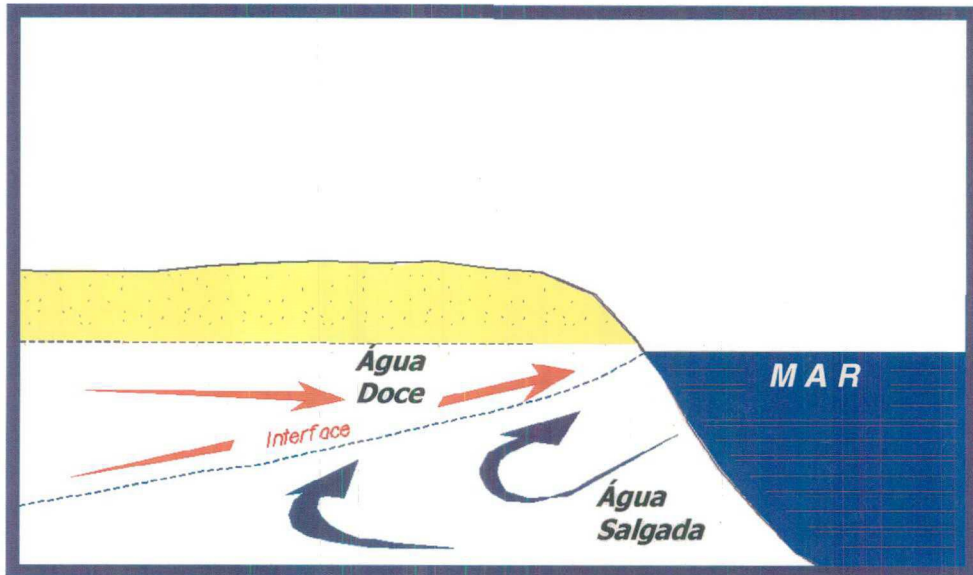


Figura 3. Aquífero Costeiro, água salgada e cunha salina em equilíbrio hidrodinâmico (Modificado de Cooper, 1964 *apud* Cabral, 1997.)

7. RISCOS DE CONTAMINAÇÃO

Segundo BORGES, 1996, os aquíferos sedimentares, comuns no litoral brasileiro, são frágeis e altamente vulneráveis à contaminação, principalmente quando ocorre uma má disposição de resíduos domésticos. Este autor estudou o caso do Balneário do Campeche, Ilha de Santa Catarina, e chegou a resultados preocupantes, quanto ao risco de contaminação dos mananciais subterrâneos naquele local, devido à disposição do esgoto doméstico sem um planejamento adequado.

Para MANOEL FILHO, 1997, os aquíferos apresentam lenta circulação de águas, comparando-se com os mananciais superficiais, levando um foco contaminante a demorar muito tempo até se manifestar. Os aquíferos também possuem uma propriedade natural de depuração e filtragem, evitando em muitos casos a poluição das águas, ainda que exista um foco contaminante no solo. Assim, este autor ressalta que as águas subterrâneas são menos vulneráveis à poluição do que as águas superficiais. Contudo, uma vez contaminado o manancial subterrâneo, a lentidão do movimento das águas produz um efeito contrário, ou seja, torna-se muito mais difícil o seu processo de descontaminação, seja ele natural, ou feito pelo homem. Neste caso, a inviabilização do aquífero como fonte de água para consumo humano é praticamente irreversível em um período de tempo razoável.

Entre as formas mais comuns de contaminação das águas subterrâneas, encontramos a disposição de resíduos sólidos no solo, o lançamento de esgotos, as atividades agrícolas, os resíduos de óleo e os resíduos radioativos.

A *disposição de resíduos sólidos no solo* (lixo) como resultado das atividades industriais e residenciais das grandes cidades é uma das formas frequentes de poluição das águas subterrâneas. Estes resíduos são comumente lançados na superfície do terreno ou dispostos em aterros em locais inadequados, sem projetos construtivos que protejam os mananciais subterrâneos. Estudos executados em locais com altas taxas de precipitação, mostram que resíduos produzidos por lixões (chorumes), percorrem o subsolo por pelo menos 30 a 40 anos (FREEZE & CHERRY, 1979). Já, em locais planejados e operados adequadamente, os resíduos sólidos podem ser dispostos no solo sem oferecer risco às águas subterrâneas, devendo para tanto, ser executado um estudo prévio das condições hidrogeológicas do terreno.

O *lançamento de esgotos* diretamente no subsolo, através de fossas sépticas e drenos, constitui-se na maior causa de contaminação das águas subterrâneas no Mundo (MANOEL FILHO, 1997). Em muitos países, a prática do tratamento primário e secundário do esgoto sanitário é comum, contribuindo na diminuição da contaminação das águas superficiais. Esses tratamentos contudo, produzem grandes volumes de matéria sólida residual (lodo de esgoto). Este lodo de esgoto é então despejado em áreas florestais ou de cultivo, servindo como adubo. O problema é que estes resíduos possuem altas concentrações de nitrogênio, fósforo e metais pesados, altamente danosos à água subterrânea, a qual muitas vezes é consumida pela própria população.

A *atividade agrícola*, com o uso de pesticidas e fertilizantes, é responsável pela degradação da qualidade das águas subterrâneas em áreas de cultivo intenso. Dentre os fertilizantes, o principal contaminante é o nitrogênio (N) sob a forma de *nitrato* (NO_3), o qual se move com a água subterrânea podendo atingir extensas áreas (MANOEL FILHO, 1997). O nitrogênio dissolvido sob a forma de ion *nitrato* (NO_3) é o contaminante mais comum encontrado nas águas subterrâneas hoje em dia, sendo proveniente tanto de atividades agrícolas, como de esgotos domésticos, sendo sua presença uma ameaça à potabilidade de muitos mananciais subterrâneos. Além da forma de nitrato, o nitrogênio ocorre também sob a forma de ion NH_4^+ , amônia (NH_3), nitrito (NO_2), nitrogênio gasoso (N_2), óxido nitroso (N_2O) e nitrogênio orgânico (N). Segundo o Comitê Sobre Acumulação de Nitratos reunidos em 1972, comentado em

LEWIS **et al.**, 1986, **apud** BORGES, 1996, uma pessoa elimina, através das próprias ações fisiológicas, 5,0 Kg de nitratos anualmente, acarretando um grande risco ambiental, se não houver uma correta disposição do esgoto doméstico.

São outros exemplos de contaminantes comuns das águas subterrâneas, os *resíduos de óleo*, os quais são armazenados em milhares de tanques de postos de gasolina e oleodutos que cortam grandes extensões de terra e os *resíduos radioativos* enterrados no solo como rejeito de usinas nucleares.

Em relação à qualidade para consumo humano, a Organização Mundial da Saúde recomenda que o abastecimento de água deve ser considerado como não satisfatório se detectada a existência de bactérias de coliformes fecais (CF) em qualquer amostra de 100ml. As bactérias e vírus podem ser transportados de efluentes domésticos, atingindo as águas subterrâneas, sendo de grande importância proceder à identificação das condições hidrogeológicas vulneráveis à contaminação, para saber-se da possibilidade do uso do solo como sistema de saneamento básico de disposição local (FOSTER **et al.** 1988).

Um problema sério, relacionado ao lançamento dos esgotos no subsolo, é saber quanto tempo sobrevivem os vírus e bactérias e que distância eles percorrem. KINGLER (1921) **apud** FOSTER **et al.** 1988, investigou a sobrevivência da *Salmonella typhi* e da *Shigella dysenteriae* em diferentes tipos de solos a temperatura ambiente (em torno de 20°C), podendo comprovar que algumas bactérias sobreviveram até 70 dias, ainda que a maioria sucumbia em 30 dias. Para a sobrevivência das bactérias nas águas subterrâneas, FOSTER **op. cit.**, aponta casos em que coliformes fecais tenham sobrevivido por mais de 100 dias em depósitos arenosos finos, em períodos quentes.

A distância que as bactérias podem percorrer com a água subterrânea depende da velocidade do fluxo de água, da taxa de mortalidade dos microorganismos e da sua concentração inicial (FOSTER **et al.** 1988). Em aquíferos de permeabilidade uniforme, pode-se calcular sua condutividade hidráulica, para determinar a distância que os microorganismos podem percorrer (Tabela 4). Entretanto, os aquíferos uniformes são raros, podendo os contaminantes utilizar vias preferenciais no subsolo, atingindo velocidades maiores que o fluxo da água subterrânea (FOSTER **op. cit.**).

Local	solo	Dist. percorrida (m)	Velocidade da água subter. (m/d)	Temperatura °C	Investigador
Singapura Malásia	areia média	21	3	-	Yeager (1929)
Alabama USA	areia média	11	0.9-2.5	21	Caldwell & Parr (1937)
Alabama USA	areia grossa	24	4	17-22	Caldwell (1937)
Alabama USA	areia grossa	3	4	17-22	Caldwell (1938)
Alabama USA	areia média	3	0.5	17-22	Caldwell (1938)
Bengala Índia	areia média	3	0.7	26	Dyer & Bhaskaran (1945)
Long Island USA	areia fina	122	-	-	Dappert (1932)
California USA	areia	30-68	22	-	Butler et. all (1954)j

Tabela 4. Transporte de bactérias na zona saturada. Modificado de FOSTER et al., 1988

Para determinar-se exatamente a velocidade do fluxo contaminante, a vulnerabilidade de um aquífero, assim como a qualidade da água, estudos específicos e de detalhe fazem-se necessários.

Segundo BORGES, 1996, a fonte de maior risco de contaminação e de poluição aos aquíferos sedimentares ocorrentes na Ilha de Santa Catarina, são os esgotos domésticos que se infiltram no solo, carreando grande quantidade de minerais provenientes da depuração dos esgotos sanitários e detergentes domésticos fosforados. Outro grande risco, é a incorreta locação de aterros sanitários, os quais levam aos mananciais subterrâneos metais pesados e outras substâncias químicas nocivas e poluidoras.

HIRATA et al., 1990, definem como vulnerabilidade de um aquífero a maior ou menor possibilidade que esse aquífero apresenta de ser contaminado por uma carga poluente. Assim, duas variáveis principais atuam na determinação da vulnerabilidade de um aquífero; primeiro a existência de uma carga contaminante no solo ou subsolo e a segunda a propensão natural do aquífero de ser atingido por essa carga (Figura 4). A carga contaminante, provém da ação antrópica agressiva ao meio ambiente, enquanto a propensão dos sistemas aquíferos a serem atingidas por uma carga poluente depende das características geológicas do terreno.

Desta forma, pode-se controlar ou impedir a existência de uma carga contaminante no solo, mas não se pode modificar, em termos gerais as características geológicas do terreno.

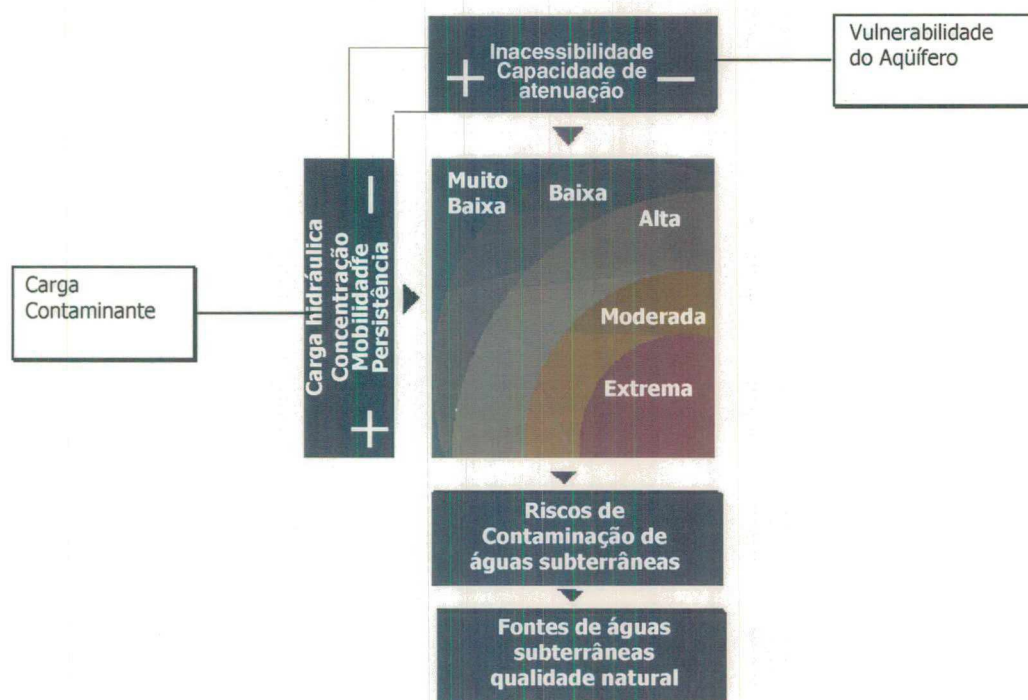


Figura 4. Desenho esquemático mostrando a vulnerabilidade de aquíferos frente a uma carga contaminante, conforme Foster et al., 1987.

Segundo DUARTE COSTA, 1997, o índice de vulnerabilidade mais difundido atualmente chama-se *DRASTIC*, sigla que representa:

- D** (*depth*) – Profundidade do nível freático;
- R** (*recharge*) – Recarga que recebe o aquífero;
- A** (*aquifer*) – Estrutura do meio aquífero;
- S** (*soil*) – Tipo de solo ocorrente, por categorias;

T (*topography*) – Inclinação do terreno (influi no escoamento superficial e subsuperficial das cargas contaminantes);

I (*impact*) – Natureza da zona não saturada. Influi no transporte de contaminantes;

C (*conductivity*) – Condutividade hidráulica do aquífero (permeabilidade).

A cada parâmetro assinala-se um valor entre 1 e 10, sendo então computados os valores e avaliados em termos numéricos, os riscos de contaminação dos aquíferos estudados.

Quando os dados são escassos ou incertos, a aplicação do método *DRASTIC* torna-se arriscada. Assim, tem sido propostos métodos de mais simples aplicação, como o *GOD* (FOSTER, 1987; FOSTER & HIRATA 1991). Por este método avaliam-se apenas três parâmetros:

G (*groundwater*) – Forma de ocorrência da água subterrânea (aquífero livre ou confinado ou não há aquífero);

O (*overall*) – Caracterização global do aquífero quanto a porosidade e permeabilidade.

D (*depth*) – Profundidade do nível freático.

São atribuídos então valores entre 0 e 1 para cada parâmetro, multiplicando-se os três valores, para obter-se um índice. O índice 0, significa que não há aquífero, ou seja, é inviável a captação de água subterrânea neste meio, enquanto o valor 1 corresponde a alta vulnerabilidade máxima do aquífero. Valores intermediários significam que quanto mais próximo de 1, maior a vulnerabilidade. Com este método pode-se relacionar um aquífero a uma das quatro categorias de vulnerabilidade:

- ☒ **Vulnerabilidade Extrema** – Aquífero vulnerável à contaminação por poluentes carreados pela água, com impacto relativamente rápido;
- ☒ **Vulnerabilidade Alta** – Aquíferos vulneráveis a muitos contaminantes, com exceção daqueles muito absorvíveis ou transformáveis;
- ☒ **Vulnerabilidade Baixa** – Aquífero vulnerável apenas a poluentes persistentes e a longo prazo;
- ☒ **Vulnerabilidade Desprezível** – As camadas confinantes impedem a passagem de fluxos contaminantes.

8. *ASPECTOS LEGAIS DA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL*

A Lei de Direito da Água do Brasil é o *Código de Águas*, de 10 de julho de 1934. Esta Lei, mesmo com mais de 60 anos, ainda é considerada pela Doutrina Jurídica como um dos textos modelares do Direito Positivo Brasileiro. Em 8 de janeiro de 1997 foi sancionada pelo Senhor Presidente da República a Lei nº 9.433, que organiza o setor de planejamento e gestão, em âmbito nacional, tratando-se de uma *Lei de Organização Administrativa* para o setor de recursos hídricos.

O texto desta Lei, proclama os princípios básicos praticados hoje em todos os países avançados na gestão dos recursos hídricos, os quais são descritos abaixo:

Primeiro princípio: “*A adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento*”. Tendo-se os limites da bacia hidrográfica como fator de definição do perímetro da área a ser planejada.

Segundo princípio: “*Usos múltiplos*”. Quebrando-se a hegemonia de um setor usuário sobre os demais.

Terceiro princípio: “*Reconhecimento da água como bem mineral finito e vulnerável*”.

Quarto princípio: “*Reconhecimento do valor econômico da água*”. Induz a um uso racional da água, servindo de base à instituição da cobrança pela utilização dos recursos hídricos.

Quinto princípio: “*Gestão descentralizada e participativa*”. Prioriza as decisões a níveis mais baixos do governo, ou seja, tudo que pode ser decidido em níveis hierárquicos inferiores do governo, não será decidido por escalões mais elevados, permitindo que usuários, a sociedade civil organizada, as ONGs e outros organismos possam influenciar no processo de tomada de decisão.

Foram definidos também cinco instrumentos essenciais à gestão dos recursos hídricos:

Primeiro: “*Plano Nacional de Recursos Hídricos*”. Reúne os chamados Planos Diretores de Recursos Hídricos, elaborados pelos “Comitês de Bacias Hidrográficas”;

Segundo: “*Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos*”. Instrumento pelo qual o usuário recebe uma permissão para fazer uso da água;

Terceiro: “*Cobrança pelo uso da água*”. Essencial para criar as condições de equilíbrio entre as forças de oferta e demanda de recursos hídricos;

Quarto: “*Enquadramento dos corpos de água em classes de uso*”. Estabelece um sistema de vigilância sobre os níveis de qualidade da água dos mananciais;

Quinto: “*Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos*”. Encarregado de coletar, organizar, criticar e difundir a base de dados relativa aos recursos hídricos, seus usos, o balanço hídrico de cada manancial e de cada bacia, permitindo que os usuários, gestores, e a sociedade civil em geral possa opinar, ou mesmo tomar decisões com respeito ao abastecimento.

Dentre os princípios apresentados acima, ressalta-se neste trabalho, aquele que versa sobre a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão. Quanto aos instrumentos, este trabalho visa contribuir na organização de sistemas de informações sobre os recursos hídricos.

A Bacia Hidrográfica como Unidade de Gestão

Pela definição de *Colliard*, mencionado por ROUSSEAU *apud* MACHADO GRANZIERA, 1993: “*A noção de bacia fluvial significa o conjunto constituído por um rio, seus afluentes e mesmo as águas subterrâneas, formando o que se chama de sistema hidrográfico.*”

A tendência moderna de gestão dos recursos hídricos, é direcionada para o aproveitamento amplo dos recursos disponíveis nas bacias hidrográficas. Isto porque as

bacias são consideradas um todo indivisível, cujo aproveitamento deve ser o mais otimizado possível, a partir do conhecimento das características e necessidades locais (MACHADO GRANZIERA, 1993). Também neste sentido, o artigo 11 da carta Européia da Água, proclamada pelo Conselho da Europa em Estrasburgo, França, em maio de 1968, afirma que:

“art. 11: A gestão dos recursos hídricos deve inserir-se no âmbito da bacia hidrográfica natural e não das fronteiras administrativas e políticas”.

A Associação Internacional de Direito de Águas AIDA, 1976, recomenda como princípios fundamentais:

“centralizar o planejamento no âmbito das bacias ou regiões hidrográficas de gestão das águas e confiar os aspectos executivos às entidades públicas ou privadas responsáveis pelas diversas utilizações”;

“adotar a bacia hidrográfica como unidade de gestão dos recursos hídricos sem prejuízo da existência de unidades político-geográficas de gestão mais amplas ou não coincidentes com as bacias hidrográficas”.

9. PROJETO DE LEI DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARA OS ESTADOS

A Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – ABAS, apresentou em setembro de 1997, uma minuta de Anteprojeto de Lei das Águas Subterrâneas, sob a forma de “sugestão aos Estados e ao Distrito Federal contendo disposições que poderiam constar em suas Leis sobre a administração, proteção e conservação das respectivas águas subterrâneas, respeitadas as peculiaridades de cada um, sua localização geográfica e eventuais normas em vigor”. No ano de 1998, foi apresentado à Câmara Legislativa do Estado de Santa Catarina, o Projeto de Lei n. 207/98, o qual baseia-se integralmente no Anteprojeto de Lei das Águas Subterrâneas. Neste Projeto destacam-se:

Art 3º : O gerenciamento das águas subterrâneas incluirá:

- I- A sua avaliação quantitativa e qualitativa ao planejamento do seu aproveitamento racional;
- II- A outorga e fiscalização dos direitos de uso destas águas;
- III- O controle de qualidade; e
- IV- A adoção de medidas relativas a sua conservação.

Art 4º : O poder executivo desenvolverá ações visando a promover o gerenciamento eficaz das águas subterrâneas, mediante:

- I - Instituição e manutenção de cadastro de poços e outras captações;
- II- proposição e implantação de programas permanentes de conservação e proteção dos aquíferos (áreas de proteção), visando ao uso sustentado;
- III- Implantação de um sistema de outorgas e de consulta permanente, de forma a otimizar o atendimento aos usuários, na obtenção de produtos e serviços; e

.....

Art 5º : É vedada qualquer ação ou atividade que cause ou possa causar a poluição das águas subterrâneas.

Art 9º : Os projetos de disposição, no solo, de resíduos e efluentes de qualquer natureza devem conter descrição detalhada da caracterização hidrogeológica da área de localização, das medidas de proteção a serem adotadas, de modo a permitir perfeita avaliação de vulnerabilidade das águas subterrâneas, e das ações para protegê-las.

.....

Art 10º : Quando no interesse da conservação, proteção ou manutenção do equilíbrio natural das águas subterrâneas, dos serviços públicos de abastecimento de água, ou por motivos geológicos, geotécnicos ou ecológicos, se fizer necessário restringir à captação ou uso dessas águas, poderão ser delimitadas áreas destinadas a sua proteção e controle.

.....

Esta Dissertação de Mestrado visa contribuir no interesse da utilização, conservação e proteção das águas subterrâneas em conformidade com este projeto de Lei.

10. CARTOGRAFIA

De acordo com ROBINSON & SALE, 1969 *apud* STAR & ESTES, 1990, na cartografia misturam-se ciência e arte na produção de mapas. Esta interação é importante para o entendimento das informações contidas nas cartas pelo usuário.

Segundo a Associação Cartográfica Internacional *apud* NASCIMENTO, 1998, a cartografia constitui o “conjunto de estudos e operações científicas, artísticas e técnicas que intervêm a partir de observações diretas ou da exploração de uma documentação em vista a elaboração e da confecção de mapas, planos e outros modos de expressão, assim como de sua utilização”.

Os primeiros mapas conhecidos datam de 2500 A.C., nas culturas mesopotâmicas e egípcias, tratavam-se de tabletes de barro com desenhos de determinados locais, ainda que outros tipos de mapas possam ter existido antes disto. Simples arranjos de paus e pedras foram provavelmente utilizados na pré-história para designar relações geográficas (STAR & ESTES, 1990).

O mapa, objeto principal da cartografia, é a principal via para a descrição da terra ou de um tema, devendo conter dois aspectos fundamentais: a localização de feições, e os atributos destas feições, ainda que os atributos possam ser armazenados em outros locais que não os mapas.

10.1 MAPAS E CARTAS

Mapa é um dos modos de expressão gráfica da superfície terrestre e de corpos celestes, desenhados sobre um plano, obedecendo uma escala e um sistema de projeção, valendo-se de convenções, com o fim de mostrar a localização de informações dentro de um espaço que está referido a um sistema de coordenadas; *Carta* é um tipo especial de mapa que na sua confecção deve obedecer a regras rígidas quanto a escala (médias ou

grandes), ao sistema de projeção adotado (na Carta do Brasil ao Milionésimo é usada a Projeção Cônica conforme Lambert), ao formato e tamanho das folhas e à precisão da localização dos objetos.

Linhas da rede geográfica

Rede geográfica é o conjunto formado por Meridianos e Paralelos. Os meridianos são arcos cujas extremidades são os dois polos geográficos. O plano de cada meridiano contém o eixo da Terra e todos eles tem como ponto comum os polos verdadeiros. A expressão Meridiano Verdadeiro ou superior refere-se à linha que passa pelo local que estamos medindo ou à linha que contém o zênite. Meridiano inferior, ou anti-meridiano é o oposto, encontrando-se a 180° do Meridiano Verdadeiro (contém o Nadir).

O meridiano inicial é aquele que recebe o nome de meridiano de Greenwich e recebe o valor 0° . A partir dele, conta-se 180° de longitude tanto para leste como para oeste. O seu antimeridiano fica no Oceano Pacífico e marca a mudança de datas. Ao atravessarmos esse meridiano devemos adiantar, ou atrasar um dia na data.

Os paralelos são círculos paralelos ao plano do Equador, cujo valor é 0° . Outros paralelos também recebem nomes especiais: Trópico de Câncer e Capricórnio e, os Círculos polares Ártico e Antártico (DUARTE, 1991).

Com base nesta rede de linhas, podemos determinar qualquer ponto da superfície terrestre pelo cruzamento de meridianos e paralelos, o que chamamos *Coordenadas Geográficas* daquele lugar (Latitude e Longitude).

10.2 PROJEÇÕES CARTOGRÁFICAS

O princípio básico das projeções cartográficas é o de colocarmos o globo terrestre entre uma fonte de luz e uma tela (superfície plana). Assim, ocorre que os mapas sempre trazem consigo distorções.

A maioria das projeções cartográficas baseiam-se no princípio de lançar a rede geográfica sobre a superfície de um cilindro ou cone para obter-se então as projeções

cilíndricas ou cônicas. Quando for diretamente sobre um plano, recebem o nome de projeções planas, zenitais ou azimutais.

Na concepção de uma projeção, devem ser considerados os seguintes aspectos:

- ❑ Conservar relação entre as áreas;
- ❑ Conservar relação entre os ângulos;
- ❑ Conservar relação entre as medidas lineares.

As projeções podem ser:

- ❑ Equivalentes: Conserva equivalência entre as áreas da superfície real e a projetada.
- ❑ Conforme: Mantém a forma e altera as áreas, ou seja, não possui deformação angular.
- ❑ Equidistante: Não possui deformação nas distâncias
- ❑ Afilática: Não conserva nem área nem ângulos, mas reduz a deformação de ambos.
- ❑ Quanto a superfície de projeção:
 - ❑ Azimutal: Os paralelos e meridianos são projetados
 - ❑ Cônica: A superfície é projetada sobre um cone tangente ou secante a esfera.
 - ❑ Cilíndrica: A superfície é projetada sobre um cilindro cujo eixo coincide com o eixo da Terra.

Sistema Transverso de Mercator

Baseado na projeção cilíndrica transversa conforme, tal sistema concebe o globo terrestre fracionado em fusos de longitude determinada, com a preocupação de não ultrapassar os limites aceitáveis de deformação. Assim o globo foi dividido em 60 fusos de amplitude 6° , a partir do antimeridiano de Greenwich. Com vistas às deformações para latitudes superiores a 80° (N,S) a aplicação sofre restrições, sendo aplicada então a Projeção Universal Stereographic (UPS)

Projeção Conforme Gauss

É uma projeção semelhante à de Mercator, com a diferença que o cilindro é transversal ao eixo de rotação da Terra, ou seja, a tangência se dá ao longo do meridiano central do fuso (MC)

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)

- ❑ Adota projeção conforme Gauss;
- ❑ Fusos de 6° de amplitude em número de 60 a partir do antimeridiano de Greenwich, em coincidência com a carta do Mundo ao milionésimo de 1:1.000.000;
- ❑ Com objetivo de diminuir distorções é introduzido nos cálculos o fator redução de escala $K_0 = 1 - 1/2.500 = 0,9996$;
- ❑ O sistema é limitado para latitudes superiores a 80°;
- ❑ O sistema apresenta dois eixos ortogonais: abcissa pela transformada do equador e ordenadas pela transformada do meridiano central;
- ❑ As coordenadas deste sistema são representadas por N e E, para latitude e longitude.
- ❑ Para pontos no hemisfério sul, deve-se somar 10.000.000 às ordenadas, para leste do meridiano central, soma-se 500.000. Esta especificação objetiva sempre obter-se coordenadas UTM positivas, evitando-se os inconvenientes de números negativos.

Neste trabalho utilizou-se a projeção UTM, como sistemas de coordenadas para os mapas digitais, permitindo um ajuste entre os mais diversos mapas temáticos digitalizados neste sistema, quando dispostos juntos, na tela do computador.

10.3 PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA

Um trabalho de cartografia, principalmente em utilizando-se a tecnologia GIS, deve ser fundamentado em especificações cartográficas técnicas, de modo que este possa desenvolver-se dentro de um padrão de qualidade e acurácia.

A classificação de um documento cartográfico no Brasil, segundo MARISCO, 1997, é feita tomando-se em conta a sua exatidão, a qual é regida pelo Decreto n.

89.817, publicado no Diário Oficial da União, em junho de 1984. Este decreto define o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) desta forma:

“O Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) é um indicador estatístico da dispersão, relativo a 90% de probabilidade, definindo a exatidão dos trabalhos cartográficos”.

Em linhas gerais, podemos entender por esta definição, que 90% dos pontos representados na carta estariam precisamente locados. A seguir mostramos o valor do PEC para cartas classificadas no Brasil, na escalas 1:10.000 e 1:2.000 como padrão A, B e C:

Escala	Classe	PEC				Erro Padrão			
		Planimétrico		Altimétrico		Planimétrico		Altimétrico	
		Carta (mm)	Terreno (m)	Carta (fração da eqd.)	Terreno	Carta (mm)	Terreno (m)	Carta (fração da eqd.)	Terreno (m)
1:10.000	A	0,5	5	1/2	2,5	0,3	3	1/3	1,67
	B	0,8	8	3/5	3,0	0,5	5	2/5	2,0
	C	1,0	10	3/4	3,75	0,6	6	1/2	2,5
1:2.000	A	0,5	1	1/2	0,5	0,3	0,6	1/3	0,33
	B	0,8	1,6	3/5	0,6	0,5	1,0	2/5	0,4
	C	1,0	2	3/4	0,75	0,6	1,2	1/2	0,5

Tabela 5. Padrões de Exatidão Cartográfica (PEC) e Erros Padrões para escalas 1:10.000 e 1:2.000 (Extraído de MARISCO, 1997).

10.4 CARTOGRAFIA TEMÁTICA

A Cartografia Temática, é um ramo da cartografia, no qual representa-se em mapas, temas específicos DUARTE, 1991. A cartografia temática, desta forma trataria de temas específicos, além dos dados gerais contidos nas bases cartográficas, como a topografia e a geografia.

Para DUARTE, 1991, os mapas temáticos seriam representações gráficas de temas que não a simples representação do terreno, incluindo-se aí, a geologia, pedologia, vegetação, hidrologia, etc. Devido à especificidade e à necessidade de representação de cada tema, a cartografia temática explora bastante os recursos de texturas, cores e símbolos, buscando uma fácil compreensão da realidade representada na carta, para os usuários.

Neste trabalho, a Hidrogeologia é o tema central, representado pelo Mapa Hidrogeológico.

Mapas Hidrogeológicos

Segundo IPT, 1995, os mapas hidrogeológicos formam uma representação gráfica sobre o comportamento natural, da dinâmica e da química das águas subterrâneas, sendo os principais aspectos de interesse para o abastecimento público:

- ☒ Profundidade do lençol freático;
- ☒ Localização de zonas de recarga das águas subterrâneas;
- ☒ Principais mananciais, bacias e corpos d'água de interesse ao abastecimento público (âmbito local e regional);
- ☒ Áreas de proteção de mananciais.

A cartografia hidrogeológica é reconhecida como ferramenta útil no planejamento e desenvolvimento, assim como na proteção ambiental em quase todos os países do Mundo (MENTE, 1997). Mapas hidrogeológicos podem ser considerados como produtos gráficos no campo das ciências das águas, devendo sintetizar a informação disponível sobre as condições hidrogeológicas. Em muitos países do Mundo, organizações como a UNESCO, PNUD e etc., patrocinam trabalhos neste sentido.

A vantagem da representação hidrogeológica sobre um mapa é no sentido de facilitar a resposta a duas questões relevantes (MENTE **op. cit.**):

Onde posso encontrar aquilo que me interessa?

Quais são as condições em determinado lugar ou área?

Os mapas hidrogeológicos são elaborados a partir de outros mapas, como geológico e topográfico, em conjunto com informações sobre o clima e poços perfurados. Imagens de satélite e fotografias aéreas são também ferramentas importantes, servindo como fonte de análise geomorfológica e estrutural das rochas, permitindo ao geólogo antever o comportamento das águas que infiltram no subsolo.

Com o desenvolvimento progressivo do conhecimento humano, tem-se extraído dos mapas hidrogeológicos, em conjunto com outros mapas, outros planos de informações relevantes (Figura 5).

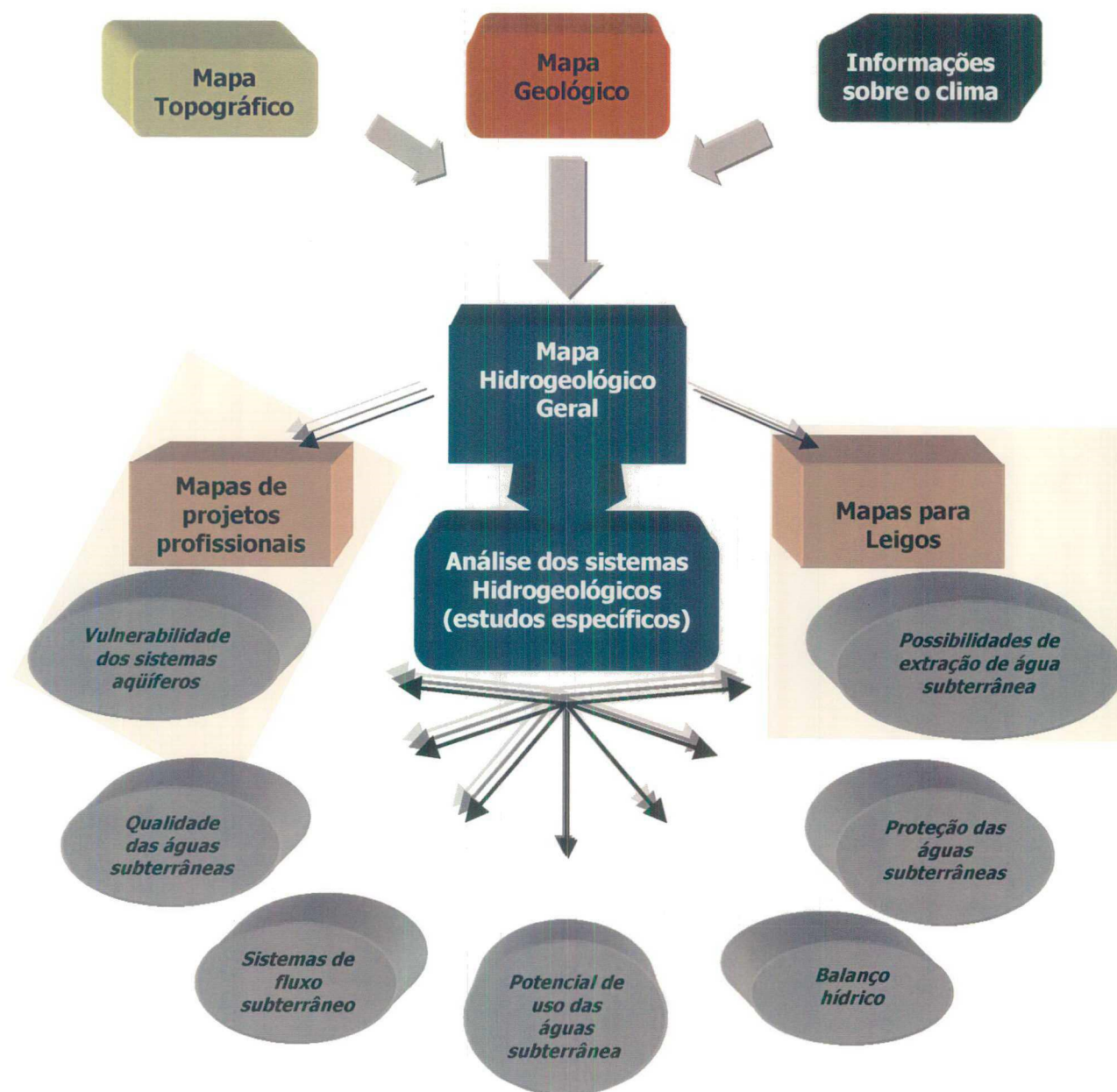


Figura 5. Evolução dos Mapas Hidrogeológicos. Modificado de MENTE, 1997.

O valor econômico do conhecimento das condições hidrogeológicas de um lugar, cidade ou país, é indiscutível, já que permite uma visão das relações hidrogeológicas e seus limites, indicando os locais mais favoráveis à captação de água e às vazões esperadas.

O conteúdo a legenda e a representação de um mapa hidrogeológico devem ser adaptados em função do usuário, devendo a informação ser atual, correta e confiável.

Em áreas de poucos dados hidrogeológicos, mapas hidrogeológicos gerais devem ser preparados em forma de levantamentos contínuos e sistemáticos.

O mapa produzido neste documento é chamado de Mapa Hidrogeológico por apresentar limites teóricos, em subsuperfície, de diferentes tipos de ocorrências das águas subterrâneas, indicando onde um aquífero teoricamente termina e outro começa. É um mapa geral, sendo que estudos mais detalhados sobre a hidrogeologia da Ilha deverão segui-lo.

11. SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA – GIS e GEOPROCESSAMENTO

Um GIS (iniciais de *Geographic Information System*) é um sistema informatizado, para aquisição, armazenamento, análise e visualização de dados geográficos (EASTMAN, 1998). A tecnologia GIS, avança, conforme os avanços tecnológicos, sendo muito confundida com softwares que trabalham com dados geográficos. Muitos destes softwares chamam a si mesmo de GIS, quando na verdade um software é uma ferramenta auxiliar no processo de armazenamento e análise espacial.

Pela definição de EASTMAN, 1998, nota-se a estreita ligação dos GIS aos sistemas computacionais. Para STAR & ESTES, 1990, o termo GIS (*Geographic Information System*) ou seu sinônimo, SIG (*Sistema de Informações Geográficas*) aparece como um sistema de informações capaz de trabalhar com dados referenciados por coordenadas espaciais ou geográficas, tanto de forma manual como automatizada. Ainda segundo estes autores, hoje em dia devido aos avanços da tecnologia, dificilmente se desvincula o termo GIS aos sistemas computacionais. Utilizou-se neste trabalho o termo *Sistema de Informações Geográficas*, com a sigla GIS, visto que a sigla SIG pode ser confundida com outros termos, tais como “*Sistema de Informações Governamentais*” ou “*Sistema de Informações Gerenciais*”.

Outra confusão que comumente se faz é quanto à definição de GIS e Geoprocessamento.

Segundo ALMEIDA TEIXEIRA, & CHRISTOFOLETTI, 1997, **geoprocessamento** é tecnologia que abrange o conjunto de procedimentos de entrada, manipulação armazenamento e análise de dados espacialmente referenciados. As

atividades envolvendo o geoprocessamento são executadas por sistemas específicos mais comumente chamados de *Sistema de Informações Geográficas* (GIS).

Entende-se assim, que Geoprocessamento refere-se ao processo em si, enquanto que GIS, abrangeria a tecnologia como um todo.

Outro aspecto a ressaltar-se é a confusão entre GIS e CAD (Computer Aided Design). Para BURROUGH, 1994, GIS e CAD são capazes de relacionar objetos espaciais a um sistema de referência. A diferença é que os sistemas CAD são específicos para desenho gráfico, podendo-se descrever o meio físico sob a forma de mapa, enquanto o GIS vai além, produzindo análises e gerenciando dados gráficos e não gráficos em um sentido mais amplo.

Neste trabalho, utilizou-se de técnicas de geoprocessamento na geração de diversos mapas temáticos e organização de dados de texto, montando uma base de dados gráfica (mapas) e alfanumérica (tabelas), totalmente relacionáveis.

11.1 COMPONENTES DE UM GIS

Segundo EASTMAN, 1998, um Sistema de Informações Geográficas abrange um conjunto de elementos gráficos (espaciais), e de atributos (alfanuméricos), os quais, formam o centro do sistema. Estes elementos, são trabalhados por sistemas computacionais (softwares e hardwares), os quais permitem as operações de geoprocessamento onde pode-se, ao longo do processo, chegar aos resultados desejados.

Visto que os elementos computacionais não fornecem respostas prontas, apenas aquelas extraídas pelo analista (EASTMAN, *op. cit.*), podemos por esta linha de pensamento, concluir que as partes principais que compõem um GIS seriam: *o próprio analista, os bancos de dados (gráficos e alfanuméricos) e os sistemas computacionais.*

Bancos de dados espaciais e de atributos

Um banco de dados pode ser entendido como uma coleção organizada de dados. Estes dados podem ser agrupados sob a forma de tabelas ou listas (dados alfanuméricos de atributos) ou mesmo sob a forma de mapas.

Os *bancos de dados espaciais, ou gráficos*, são compostos por um conjunto de mapas dos mais diversos temas e escalas, fotografias, imagens e desenhos.

Os dados gráficos são convertidos para o meio digital por intermédio de *scanners*, gerando imagens do tipo *raster*; ou digitalização manual (mesa digitalizadora ou diretamente na tela do computador), formando desenhos do tipo *vector*.

Já os *bancos de dados de atributos*, segundo BENTLEY, 1995, dizem respeito a uma coleção ordenada de tabelas, ou arquivos que representam objetos, suas propriedades e a relação entre os objetos. Estes bancos de dados são chamados *relacionais*, por permitirem uma relação entre os dados de uma tabela com outra tabela ou mesmo com mapas.

Cada tabela do banco de dados relacional, possui colunas e linhas, onde armazena-se os atributos dos elementos. A primeira coluna da tabela, geralmente é reservada para o código de relação entre as tabelas e os objetos.

Interface de bancos de dados é um conjunto de ferramentas de programação que permitem a associação (*linkagem*) de uma linha em um banco de dados relacional a um elemento do desenho. Este processo é feito pelo armazenamento de um mesmo número, tanto no elemento gráfico quanto na linha do banco de dados. Este conjunto de ferramentas geralmente engloba *drivers* e fontes de dados (MICROSOFT, 1998).

Uma *fonte de dados* armazena as informações de como conectar-se ao fornecedor de dados (banco de dados). A fonte de dados possui um nome, designado pelo usuário e um driver de acesso, com a extensão correspondente ao software banco de dados.

As ferramentas da interface de programação, permitem que os aplicativos acessem sistemas de bancos de dados que utilizam a linguagem *SQL (Structured Query Language)* como padrão de entrada de dados.

Atributos

Em geoprocessamento, descreve-se uma propriedade ou uma característica de um determinado elemento, por meio de caracteres alfanuméricos (letras e números), normalmente armazenados em forma tabular e relacionados ao elemento por uma chave (código de ligação-link) definida pelo usuário. Por exemplo, o tipo de uso do solo é um atributo de uma determinada localidade geográfica, assim como os atributos das curvas

de nível são as diferentes altitudes. Os atributos também podem ser de natureza gráfica, diferenciando-se por cores, diferentes padrões, símbolos, etc. (ALMEIDA TEIXEIRA & CHRISTOFOLETTI, 1997).

11.2 SISTEMAS COMPUTACIONAIS

Os sistemas computacionais são formados pelo computador (*hardware*) e programas computacionais (*softwares*), além de periféricos, como equipamentos de impressão de mapas (*plotters*), impressoras, sistemas de digitalização por varredura (*scanners*) e mesas digitalizadoras. Utilizaremos neste trabalho, denominações consagradas no meio computacional, como *hardware*, *software*, *drivers*, *scanners etc.*

Hardware

Segundo BURROUGH, 1994, um equipamento básico para trabalhar com GIS é composto por uma unidade central de processamento CPU (*central processing unit*), um dispositivo para digitalização, com o qual converte-se os dados para a forma digital, uma unidade de impressão e um monitor de alta resolução para a visualização dos dados gráficos.

É importante ressaltar que o rápido avanço da tecnologia computacional, permitindo cada vez mais e de modo mais acessível o acesso e manipulação de dados em meio digital, transforma técnicas e equipamentos, hoje modernos, em obsoletos em um curto espaço de tempo.

Softwares

Um projeto envolvendo GIS pode utilizar-se de um ou mais softwares no processo. Isto porque nem sempre um único software é capaz de reproduzir todas as operações e resultados desejados. Segundo EASTMAN, 1998, é importante no entanto, que o software ou os softwares possuam os seguintes elementos básicos:

Sistema de visualização cartográfica

O sistema de visualização cartográfica permite a visualização dos dados gráficos em tela ou a produção de mapas em papel através de impressoras ou *plotters*. A variação de saída de dados gráficos em um GIS é ampla, sendo uma grande qualidade inerente a um software, a possibilidade de editoração dos dados gráficos, tais como a separação de cores e símbolos. Softwares que permitem apenas a possibilidade de acesso e visualização de dados gráficos na tela do computador são geralmente chamados de “Atlas Eletrônicos”.

Sistema de digitalização de mapas

O sistema de digitalização de mapas permite a conversão de mapas em papel para o meio digital. Pelo método de digitalização mais comum, fixa-se o mapa em papel, na mesa digitalizadora, estabelece-se um sistema de coordenadas espaciais de trabalho, de forma que a mesa identifique pontos coordenados e então, percorre-se com o cursor por sobre as feições de interesse transmitindo a informação para o computador. Neste processo, define-se entre dois métodos possíveis de digitalização: O modo contínuo (*stream*) e ponto a ponto (*point mode*).

No modo ponto a ponto, a cada ponto coordenado do mapa, aciona-se um botão do mouse e transfere-se esta coordenada para o meio digital.

No modo contínuo, a mesa transfere automaticamente para o computador as coordenadas, à medida que percorre-se com o mouse por sobre a mesa. Para tanto deve-se definir alguns parâmetros:

Delta (Δ) = Distância mínima entre dois pontos coordenados, quando percorre-se o mouse livremente pela mesa digitalizadora, desenhando-se linhas. Quando esta distância é atingida, um novo ponto coordenado é registrado pelo computador.

Tolerância (t) = Distância máxima entre dois pontos coordenados, desde que o desvio angular não exceda o ângulo definido pelo usuário. É útil na minimização do uso de memória RAM, quando digitalizamos feições retas, onde pontos coordenados podem estar separados por distâncias maiores que o *delta*.

Ângulo Máximo (θ) = Ângulo formado por retas definidas entre dois pontos registrados e um terceiro a ser registrado na seqüência. Objetiva uma melhor precisão de digitalização com uma menor locação de memória RAM. Quando excede-se este ângulo, um novo ponto coordenado é registrado, conforme o delta. Se o ângulo não for excedido, o sistema utiliza a tolerância para registrar dois pontos coordenados (Figura 6).

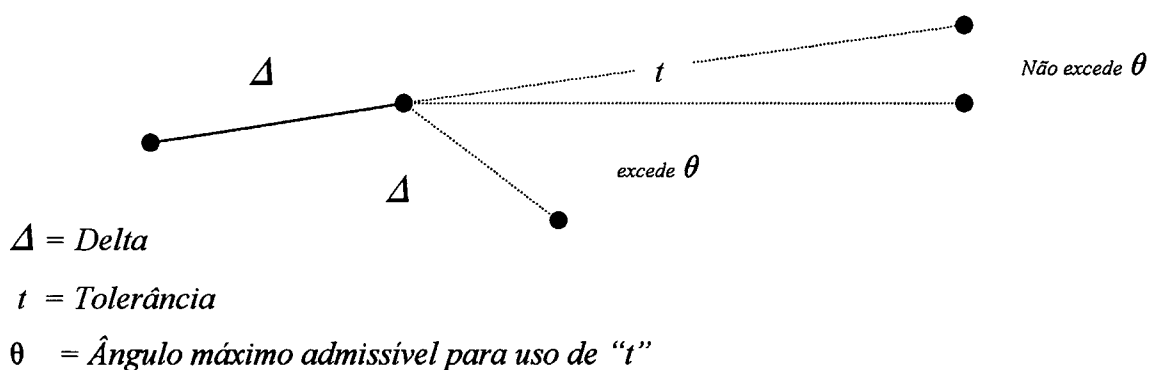


Figura 6. Modificado de NASCIMENTO, 1998.

Segundo WOLSKI, 1997, é aconselhável o uso de valor 5° e *delta* igual ao erro admissível para o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), da carta a ser digitalizada.

Sistema de gerenciamento de bancos de dados

Os sistemas de gerenciamento de bancos de dados são sistemas que permitem a execução de funções de gerenciamento, como consultas específicas, interligações (*links*) e acesso por diversos usuários.

Os softwares que permitem a visualização cartográfica, digitalização de mapas, e interação com banco de dados, permitindo consultas automáticas, são frequentemente denominados de sistemas AM/FM (*Automated Mapping and Facilities Management*).

Um GIS difere-se de um sistema AM/FM por permitir além dos recursos citados para estes, a integração de diversos temas e dados gerando novos planos de informações.

11.3 DADOS GRÁFICOS

BURROUGH, 1994, cita que os dados geográficos em um GIS descrevem os objetos de um mundo real em termos da sua posição, em relação a um sistema de coordenadas conhecido, os seus atributos, os quais não estão relacionados a posição, tais como nome, cor, altura, pH, etc e as relações topológicas entre eles.

WOLSKI, 1997, considera a topologia uma das características de maior importância dos dados tratados por um GIS, definindo as complexas relações de vizinhanças entre os objetos, as quais devem ser preservadas no processo de conversão do meio analógico para o digital.

Segundo DALE & McLAUGHLIN, 1990 *apud* NASCIMENTO, 1998, os dados digitais apresentam-se sob duas formas principais: A forma vetorial, *vector* e a forma matricial, *raster*.

Para EASTMAN, 1998, as formas *raster* e *vector* são as duas formas básicas de representação gráfica em meio computacional, havendo muitos softwares que trabalham especificamente com uma das formas, enquanto outros permitem a combinação das duas.

Dados tipo Vetorial ou Vector

A estrutura de dados tipo vetorial ou *vector* é aquela cujos limites entre os objetos são definidos por uma série de pontos, que quando unidos por linhas retas, formam a representação gráfica das feições (EASTMAN, *op. Cit.*). Os pontos, nesta estrutura, possuem uma coordenada X e Y, definida por um sistema cartesiano, tal como coordenadas planas locais ou coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator).

Dados tipo Matricial, Celular ou Raster

Na estrutura de dados do tipo *raster* para STAR & ESTES, 1990, tem-se a área de estudos subdividida em uma matriz ou malha de células onde são registradas as condições ou atributos daquele porção. As feições na verdade, não são definidas. Como a área de estudos é dividida em uma malha de células, a cada célula é designado um valor numérico, ou código identificador, o qual designa um atributo qualitativo ou quantitativo. Por exemplo, uma célula pode Ter o valor “9” para indicar que esta célula

está a uma altitude de 9 metros (atributo quantitativo) ou que possui o tipo de solo 9 (atributo qualitativo).

Segundo STAR & ESTES *op. Cit.* As células ou *pixeis (picture element)* são considerados pontos da matriz que divide toda a imagem. Como os *pixeis* formam uma malha quadrada, operações comuns de álgebra matricial podem facilmente ser executadas. Quanto menor o tamanho do *pixel*, maior a resolução espacial, pois pode-se distinguir um maior número de feições do terreno. Em contrapartida, maior será a memória RAM locada no disco rígido.

11.4. SISTEMAS CAD

Sistemas CAD ou *Computer Aided Design* são aplicativos que permitem a construção de projetos e desenhos utilizando-se um sistema computacional. Os dados gráficos são transmitidos para o computador, informando-se as coordenadas dos pontos que construirão as retas, ou por digitalização em mesa. Desta forma os sistemas CAD, são sistemas designados principalmente para criar e editar desenhos sob a forma vetorial.

Conversão de mapas em papel para o meio digital – digitalização manual

O processo de digitalização manual é até este momento o método mais comum e acessível de passagem de dados gráficos do papel, como mapas, para o meio digital. Utiliza-se freqüentemente uma mesa digitalizadora, acoplada à CPU, a qual possui um cursor, ou caneta digitalizadora (*mouse*). Este processo transfere para o computador as coordenadas dos pontos digitalizados (BURROUGH, 1994). Esta atividade é possível, porque a mesa possui na parte interna da sua superfície um dispositivo em grade, com linhas ortogonais, as quais detectam impulsos elétricos emitidos pelo *mouse*, imediatamente transferindo ao computador a coordenada do ponto onde ocorre o pulso. Neste processo é necessário obedecer alguns critérios básicos, como a utilização de sistemas de coordenadas adequadas aos objetivos do trabalho e a adoção de um padrão de tamanho de linhas (vetores), as quais irão compor as feições dos mapas (feições irregulares), como o Padrão de Exatidão Cartográfica.

Outra maneira de transferir os mapas em papel para o meio digital é através de *scanners*. O scanner é um equipamento ótico, o qual detecta a reflectância de cada ponto interpretável sobre uma malha ortogonal (BURROUGH, *op. cit.*). O tipo de produto digital gerado é no formato raster, devendo quase sempre ser transformado no tipo vetorial (conversão de formatos), para que possam ser separadas as diferentes feições, com posterior utilização em análises espaciais.

CAPÍTULO III – METODOLOGIA DE PESQUISA

1. CONFIGURAÇÃO E LINHA DE PESQUISA

O presente trabalho de pesquisa enquadra-se na linha de pesquisa em **Planejamento Regional e Urbano - Mapeamentos Temáticos** do Curso de Pós-Graduação da Engenharia Civil, Cadastro Técnico Multifinalitário, tendo sido configurado em três fases distintas e subsequentes:

- ❑ Fase de mapeamento propriamente dito;
- ❑ Fase de entrada dos dados em meio digital;
- ❑ Fase de manipulação e análise dos dados obtidos e gerados.

1.1. FASE DE MAPEAMENTO PROPRIAMENTE DITO

O objetivo desta fase foi a produção do Mapa Hidrogeológico da Ilha de Santa Catarina em meio analógico (papel).

Aquisição e interpretação preliminar dos dados

A etapa de aquisição de dados é muito importante por envolver o planejamento do trabalho onde procura-se antever as etapas e os resultados.

O processo inicia com o levantamento da bibliografia pertinente, a organização das fotografias aéreas, imagens e mapas referentes a Ilha de Santa Catarina e a coleta de dados de poços tubulares profundos existentes, cadastrados pela CASAN e por empresas privadas.

Nesta fase foram principalmente aquilatados, os dados necessários para a produção do Mapa Hidrogeológico. Decidiu-se pela utilização da escala 1:25.000 para entrada dos dados, por existirem bases cartográficas em papel, disponíveis nesta escala, no Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis – IPUF. Além disto, este mesmo órgão possui um jogo de fotografias aéreas também na escala 1:25.000, as quais estão disponíveis no

LABCIG-UFSC, permitindo uma fotointerpretação geológica passível de ser sobreposta a base cartográfica, com as devidas correções.

Dois mapas geológicos referentes à Ilha foram utilizados no trabalho para interpretação hidrogeológica: o primeiro de autoria de COITINHO *et al.*, 1991, na escala 1:50.000 e o segundo de autoria de CARUSO Jr, 1991, na escala 1:100.000.

A CASAN, por intermédio do geólogo ZANATTA, representante da ABAS/SC, forneceu os parâmetros hidrogeológicos dos poços para abastecimento público na Ilha. O Departamento Nacional da Produção Mineral - DNPM, através do geólogo JOÃO COITINHO, permitiu o acesso a dados como vazão e nível estático de poços perfurados no município de São José, Grande Florianópolis, os quais cortam granitóides muito semelhantes aos ocorrentes na Ilha, o que permitiu uma correlação, visto a similaridade na geologia e a escassez de dados no local de estudo. Outros dados de poços foram obtidos junto a empresas particulares e condomínios residenciais.

Da Tese de Doutorado de SANTOS, 1997, obteve-se vários perfis de sondagem tipo SPT, com descrição do subsolo, além da caracterização detalhada da geotecnia da Ilha, através do Mapa Geotécnico da Ilha de Santa Catarina, escala 1:25.000, o qual serviu como importante base para descrição, principalmente dos depósitos sedimentares e suas características intrínsecas (granulometria, homogeneidade etc). Do IPUF, obteve-se também um mapa na escala 1:25.000 com a divisão das Unidades Especiais de Planejamento – UEP, contendo a altimetria, o qual foi utilizado para demarcação das microbacias da ilha (pela união das linhas de crista dos morros). Juntou-se ao material coletado, uma imagem LANDSAT, composição colorida, bandas 3,4,5, na escala 1:50.000, servindo de suporte para análise do relevo.

As consultas bibliográficas foram feitas principalmente aos laboratórios da Engenharia Civil da UFSC, a biblioteca universitária da UFSC, a biblioteca do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS e a Internet. As Dissertações de Mestrado de WOLSKI, 1997; e NASCIMENTO, 1998, formaram grandes alicerces na construção deste trabalho, no tocante ao geoprocessamento, enquanto a Dissertação de Mestrado de BORGES, 1996, auxiliou no entendimento das características hidrogeológicas dos aquíferos sedimentares do sul da Ilha de Santa Catarina.

Pré-processamento (mapeamento e representação gráfica)

O pré-processamento configurou-se como a fase de produção do material para entrada no meio digital. O Mapa Hidrogeológico foi produzido analisando-se a geologia da Ilha, representada nos mapas geológicos e geotécnico, assim como pela análise geomorfológica extraída das fotografias aéreas e da imagem LANDSAT.

Na aerofotointerpretação, escala 1:25.000, delimitou-se as unidades de mesma característica geológica, onde deu-se ênfase aos aspectos que influenciam os fenômenos hidrogeológicos, definindo-se os aquíferos da ilha. A aerofotointerpretação foi complementada por extensos trabalhos de campo, onde percorreu-se toda a extensão da Ilha de Santa Catarina, buscando refinar os limites entre as unidades geológicas e consequentemente entre os aquíferos ocorrentes.

Os aspectos relevantes na delimitação dos aquíferos foram a geologia e o comportamento do meio geológico com relação às águas subterrâneas. Separamos a Ilha de Santa Catarina assim, em dois sistemas aquíferos principais, o Sistema Aquífero Fraturado e o Sistema Aquífero Sedimentos Inconsolidados. No caso das rochas ígneas e metamórficas (granitos, gnaisses, diabásios e riolitos), admitimos como sendo um único Sistema Aquífero, o Sistema Aquífero Fraturado, com dois aquíferos principais: o aquífero relacionado aos granitos, gnaisses e diabásios, e o aquífero relacionado às rochas vulcânicas (riolitos). Em ambos os casos, a captação de água restringe-se às juntas e diaclases das rochas.

No caso dos pacotes sedimentares (Sistema Aquífero Sedimentos Inconsolidados), reunimos em unidades individuais, aqueles pacotes sedimentares de composição de sedimentos e permeabilidade semelhantes ao longo do perfil. A captação de água neste caso depende das características do perfil geológico e em muitos casos do nível freático. Estão representados no mapa, os aquíferos sedimentares livres a semiconfinados, aflorantes, ainda que comumente abaixo destes ocorra uma camada aquífera confinada.

A fase de pré-processamento envolveu, a preparação das cartas topográficas e dos dados em texto (alfanuméricos) para conversão ao meio computacional. Através das cartas topográficas, escala 1:25.000 do IPUF-SC traçou-se os limites das microbacias da Ilha. Para tanto seguiu-se as linhas de crista dos morros da Ilha, tracejando os limites sobre a carta em papel (Figura 7).

Como resultado desta fase gerou-se o Mapa Hidrogeológico e o Mapa das Microbacias da Ilha de Santa Catarina, escala 1:25.000, em papel, assim como montou-se várias tabelas com os dados da população, parâmetros hidrogeológicos dos aquíferos e áreas das microbacias.

1.2. FASE DE MANIPULAÇÃO EM MEIO DIGITAL

Os dados adquiridos na fase de pré-processamento foram convertidos para o meio digital, com o seguinte método:

Dados gráficos – Mapas

Os dados gráficos (mapas) foram convertidos para o meio digital, através do processo de digitalização manual, em mesa digitalizadora utilizando-se o software *MicroStation 95* da Bentley Systems, Inc. e uma mesa digitalizadora tamanho A1, modelo Van Gogh da *Digigraph*. Por este método, fixa-se o mapa, em papel, sobre a mesa digitalizadora, traçando-se as feições de interesse, com um cursor ou “*digitizer*”, acionando o modo automático, contínuo (*stream*). Este processo exige uma atenção especial do operador, visto que é necessário percorrer o cursor exatamente por sobre a linha a ser digitalizada, enquanto o software desenha automaticamente esta linha no computador.

Definimos para o trabalho, os seguintes parâmetros de digitalização:

- Distância mínima entre dois pontos (*delta*) = 12,5 m
- Distância máxima entre dois pontos (*tolerância*) = 25,0 m
- Ângulo limite = 5°

Estes parâmetros são necessários devido à opção pelo modo automático e vêm a atender o padrão de exatidão cartográfica “*classe A*” de uma base cartográfica, ou seja, 0,5 mm na escala da carta (cada linha desenhada possui no mínimo 0,5 mm e no máximo 1 mm). A escala de entrada dos dados no meio digital foi de 1:25.000.

O trabalho inicia com a adoção de um sistema de coordenadas comum entre todos os mapas, possibilitando uma perfeita integração entre todos os dados gráficos. Informa-se então ao computador, as coordenadas limites do desenho, a partir da mesa digitalizadora e inicia-se o processo de digitalização.

Os diversos temas, ou cartas temáticas como a Hidrogeologia, Microbacias, Unidades de Planejamento Especiais e Feições Plani-Altimétricas foram digitalizadas em arquivos gráficos individuais, minimizando a utilização de memória RAM. Tomou-se cuidado contudo, em utilizar-se o mesmo limite ilha-mar em todos os arquivos, para que desta forma o ajuste entre os arquivos gráficos fosse perfeito (Figura 8).

Dentro de cada arquivo gráfico temático, separou-se as diferentes informações em níveis diferentes (*Layers*), possibilitando a completa seleção e manipulação de informações a serem visualizadas ou utilizadas em estudos específicos (Tabela 6).

<i>Layer</i>	<i>Aqüíferos</i>	<i>Cor</i>	<i>linha</i>
1	<i>Ilha</i>	<i>Verde Escuro</i>	1
2	<i>Cambirela</i>	<i>Verde Claro</i>	1
3	<i>Joaquina</i>	<i>Azul Escuro</i>	1
4	<i>Conceição</i>	<i>Azul Médio</i>	1
5	<i>Rio Vermelho</i>	<i>Cian</i>	1
6	<i>Inglezes</i>	<i>Azul Claro</i>	1
7	<i>Canasvieiras</i>	<i>Bege</i>	1

Tabela 6. Cores, layers e estilo de linha na representação gráfica dos aqüíferos da Ilha.

Dados não gráficos – tabelas

Os dados no formato texto (alfanuméricos), foram ordenados em tabelas de um banco de dados criado no software *Microsoft Access*. Cada tabela individualmente agrupa as características de um tema, as quais são ordenadas em colunas de atributos. A primeira coluna de cada tabela, é reservada para os códigos de ligação das linhas da tabela com as feições dos mapas. Este código é chamado *MSLINK* e consiste de uma série numérica crescente a partir do número 1, para a primeira linha, terminando na última linha da tabela, correspondendo cada número a uma feição no mapa.

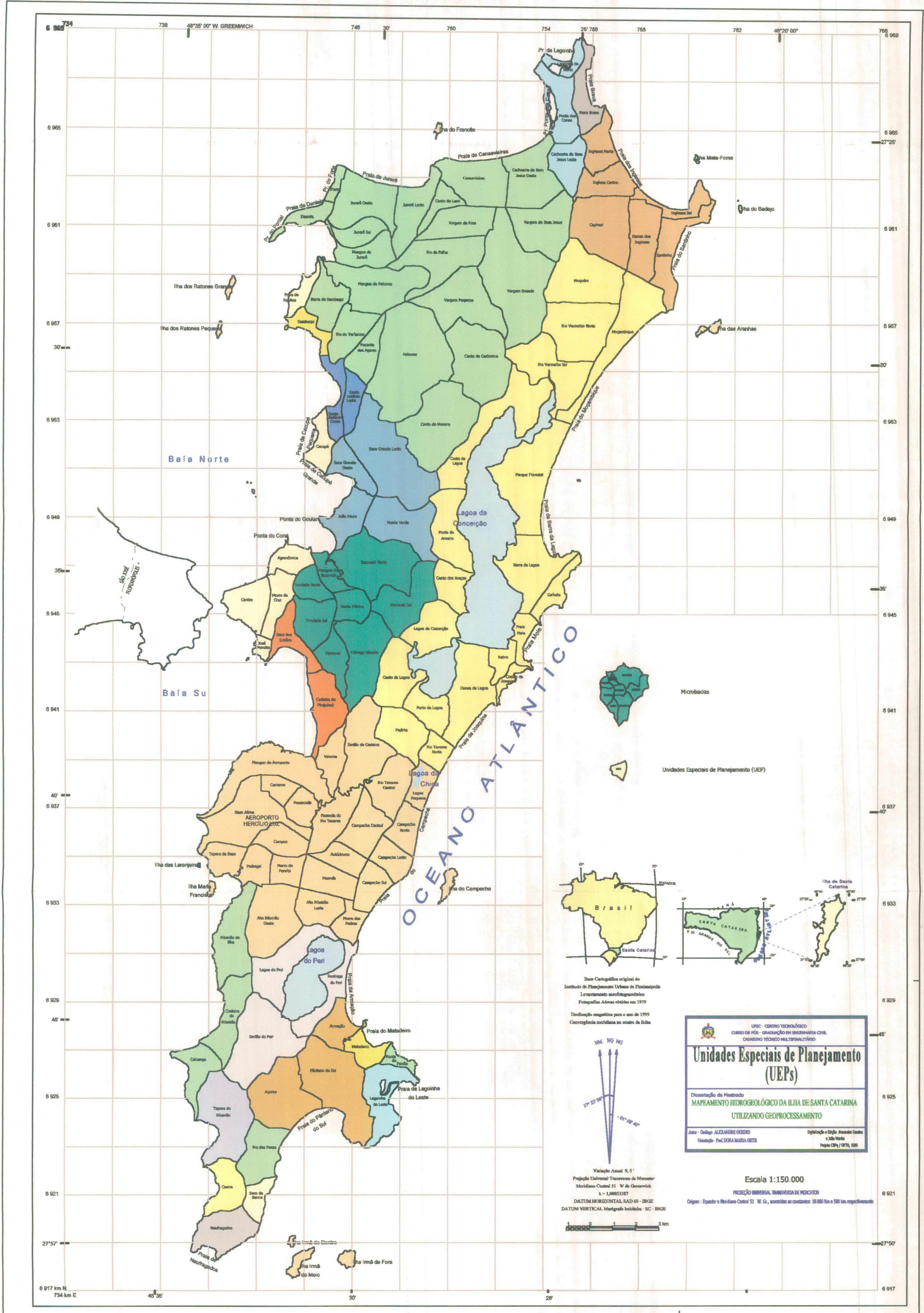


Figura 8. Mapa das Microbacias e Unidades Especiais de Planejamento

1.3. MANIPULAÇÃO E ANÁLISE

A fase de Manipulação e Análise abrange principalmente as operações de conexão das tabelas armazenadas no banco de dados aos mapas criados no MicroStation 95 e análise dos recursos hídricos subterrâneos como fonte de abastecimento para as microbacias da Ilha.

Para que a conexão entre os mapas e as tabelas torne-se possível é necessário a utilização de um aplicativo auxiliar chamado ODBC 32 bits da Microsoft. O ODBC é uma interface de programação que permite ao usuário uma comunicação de um aplicativo a um sistema de banco de dados o qual utilize *Structured Query Language* (SQL) como padrão de acesso de dados.

No ODBC foi criada uma fonte de dados específica, chamada “Alex” utilizando um driver de ligação para o Access. Esta fonte de dados possui as informações, ou o “caminho” de como conectar-se com o banco de dados. Desta forma, desejando saber dados de texto, detalhados sobre determinada feição do mapa digital, basta clicar como *mouse* sobre a feição e realizar a consulta (a feição deve estar previamente conectada). Tanto a feição do mapa como a linha da tabela do banco de dados, devem conter um mesmo código (código de ligação ou chave primária), chamado no nosso caso de *MSLINK*.

Com a base de dados estruturada em linguagem GIS, é possível sobrepor diferentes mapas ou mesmo interrelacioná-los, de maneira rápida e precisa. A sobreposição dos limites das microbacias com a hidrogeologia da Ilha, permite visualizar, por exemplo, que em praticamente todas as microbacias hidrográficas da Ilha, existem mananciais de água subterrânea expressivos, permitindo sugerir o abastecimento público com a microbacia como fonte e unidade de gestão dos recursos hídricos. Adicionando-se a este estudo específico, dados de população, pode-se antever as demandas atuais necessárias, assim como pode-se também medir a extensão de ocorrência dos aquíferos (eletronicamente), possibilitando que se inicie um trabalho de avaliação de reservas hídricas. Algumas destas análises foram iniciadas já neste trabalho e os resultados estão no final desta Dissertação. Outras mais detalhadas devem seguir com trabalhos subseqüentes.

6. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA PESQUISA

- Jogo de Fotografias aéreas esc. 1:25.000 da Ilha de Santa Catarina (vôo; maio de 1994);
- Imagem de Satélite LANDSAT, esc. 1:50.000, composição colorida, bandas 3,4,5;
- Papel poliéster, transparente;
- Computador com processador Pentium PRO-S 200 MHz, 64 de MB RAM, HD de capacidade 4,046 GB;
- Mesa Digitalizadora marca *Digigraph*, modelo *Van Gogh*, tamanho A 1;
- Softwares: *MicroStation 95 Bentley Systems*, *Microsoft Access*, *Word* versões 6 e posteriormente 97 e *ODBC 32 bits*, devidamente licenciados – LABCIG- UFSC;
- Cartas Topográficas esc. 1:25.000 da Ilha de Santa Catarina – IPUF;
- Mapa Geotécnico 1:25.000 da Ilha de Santa Catarina – SANTOS, 1997;
- Mapa Geológico 1:100.000 da Ilha de Santa Catarina - CARUSO Jr., 1993;
- Mapa Geológico esc. 1:50.000 da Ilha de Santa Catarina – COITINHO *et al.* 1991;
- IBGE – Censo Demográfico/1991.
- População por Unidade Especial de Planejamento, IPUF, 1996.
- Relatório com as Condições de Abastecimento de Água de Florianópolis e Esgotamento Sanitário – Consulta Nacional sobre a Gestão e Saneamento e do Meio Ambiente Urbano (SANTOS *et al.*, 1998).

CAPÍTULO IV - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

1. LOCALIZAÇÃO, CLIMA, POPULAÇÃO E BREVE HISTÓRICO DA ÁREA DE ESTUDOS

A Ilha de Santa Catarina situa-se no município de Florianópolis, capital do Estado de Santa Catarina, constituindo-se por uma Ilha costeira de considerável extensão, (52 km), limitada pelas coordenadas 27 ° 22' S e 27 ° 50' S (Sul do equador) e 48 ° 20' 48 ° 35' W (Oeste de Greenwich). A Ilha é ligada ao continente por intermédio de três pontes construídas neste século, as quais marcam o limite entre o que se convencionou chamar de Baía Norte e Baía Sul (figura 9).

A área insular expressiva, mais meridional da costa brasileira, foi denominada de Ilha de Santa Catarina por Sebastião Caboto em 1526 para homenagear Santa Catarina de Alexandria, festejada em 25 de novembro, ou para reverenciar Catarina de Medano, sua esposa, já que anteriormente a Ilha, era denominada por outros navegadores como Ilha dos Patos. Sebastião Caboto também fundou na Ilha uma pequena vila que denominou de “Vila de Nossa Senhora do Desterro” (PIAZZA, 1991).

A partir de 1673, foi construída a primeira igreja dedicada a Nossa Senhora do Desterro, padroeira do lugar, pelo bandeirante Francisco Dias Velho que mandou seu filho, José Pires Monteiro, com 100 homens para iniciar a ocupação agrícola sistemática da Ilha. Após a morte de Dias Velho, assassinado por piratas espanhóis, em 1687, que saquearam a vila, houve uma dispersão dos habitantes para o interior da Ilha, deixando a vila quase deserta. A partir de 1738 ocorre a “intensificação da pesca da baleia e o corte de madeira como monopólio real” iniciando o desmatamento em grande escala na Ilha (PIAZZA, *op. cit.*).

A Vila de Nossa Senhora do Desterro entrou no século XVII como uma simples vila de pescadores. A madeira retirada das florestas era usada para lenha, para construção civil e para conserto das embarcações. Com a visita de D. Pedro II, em 1845, quando percorreu várias freguesias do interior da Ilha, foi aberta a estrada Real pelo

Governador João José da Silva Coutinho. Esta estrada dava acesso à Freguesia de Nossa Senhora do Ribeirão da Ilha e Lagoa da Conceição pelo caminho da “Costeira do Pirajubaé”, Rio Tavares e Campeche (PIAZZA, 1991).

O crescimento populacional do Desterro, comparando-se às demais capitais brasileiras, mostrou-se um tanto lento até a metade do século XX (CECCA, 1997). No início do século XX, quando a iluminação elétrica começou a substituir os lampiões a gás ou querosene, as carroças puxadas a burro iam caindo em desuso, assim como ocorria um declínio das atividades rurais e pesqueiras. Em 1900, os habitantes de Florianópolis, somavam **32.220**, dos quais **15.000** habitavam o interior da Ilha (CECCA, *op. cit.*). Já em 1940, o Censo registrou **46.771** pessoas para Florianópolis, mantendo-se cerca de **15.000** no interior. Em 1980, apontou-se **187.871** pessoas em Florianópolis, das quais apenas **14.500** habitavam o interior da Ilha.

Nesta década, o número de pessoas que visitam e formam residência na Ilha é grande, evidenciando a questão do planejamento do abastecimento hídrico. Quanto ao *consumo de água*, segundo dados da CASAN (SANTOS *et al.*, 1998), o consumo *per capita* em Florianópolis é de **250 l/dia**, para uma população de **271.281** habitantes (IBGE, 1991), perfazendo um total de **67.820.250** litros de água por dia. Este consumo é quase 100 X maior que no ano de 1900, onde a população total da Ilha era de **32.220** habitantes (CECCA, 1997).

O clima predominante na Ilha é do tipo Cfa, mesotérmico úmido, sem estação seca, com verão de altas temperaturas, segundo os critérios de classificação climática de KÖPPEN in AYODE, 1988. As precipitações são acentuadas e bem distribuídas durante o ano, com médias chegam a 1406 mm anuais e temperatura média anual de 20°. Estas características climáticas são inerentes ao litoral sul brasileiro, com estações de verão e inverno bem definidas e outono e primavera com características similares.

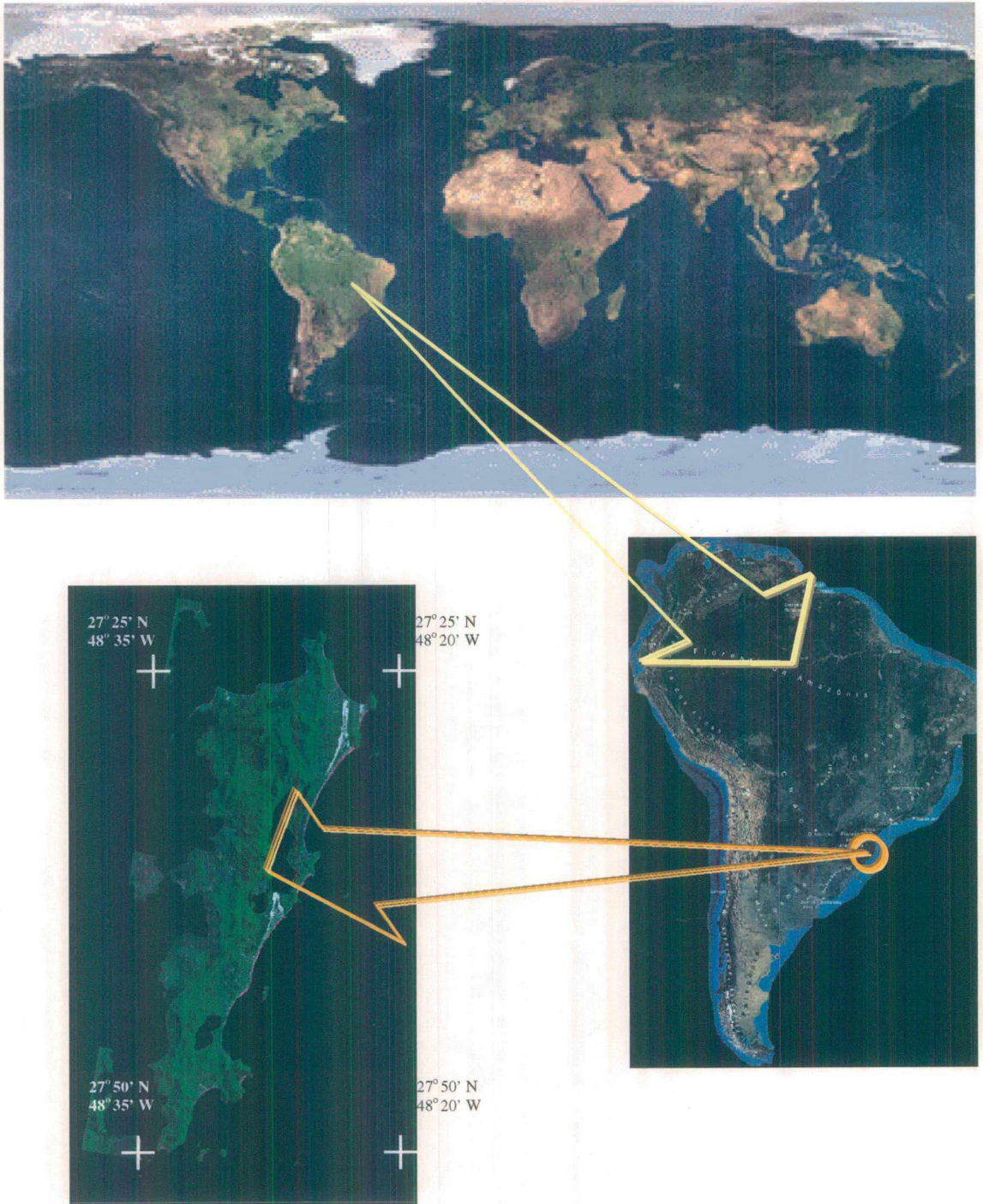
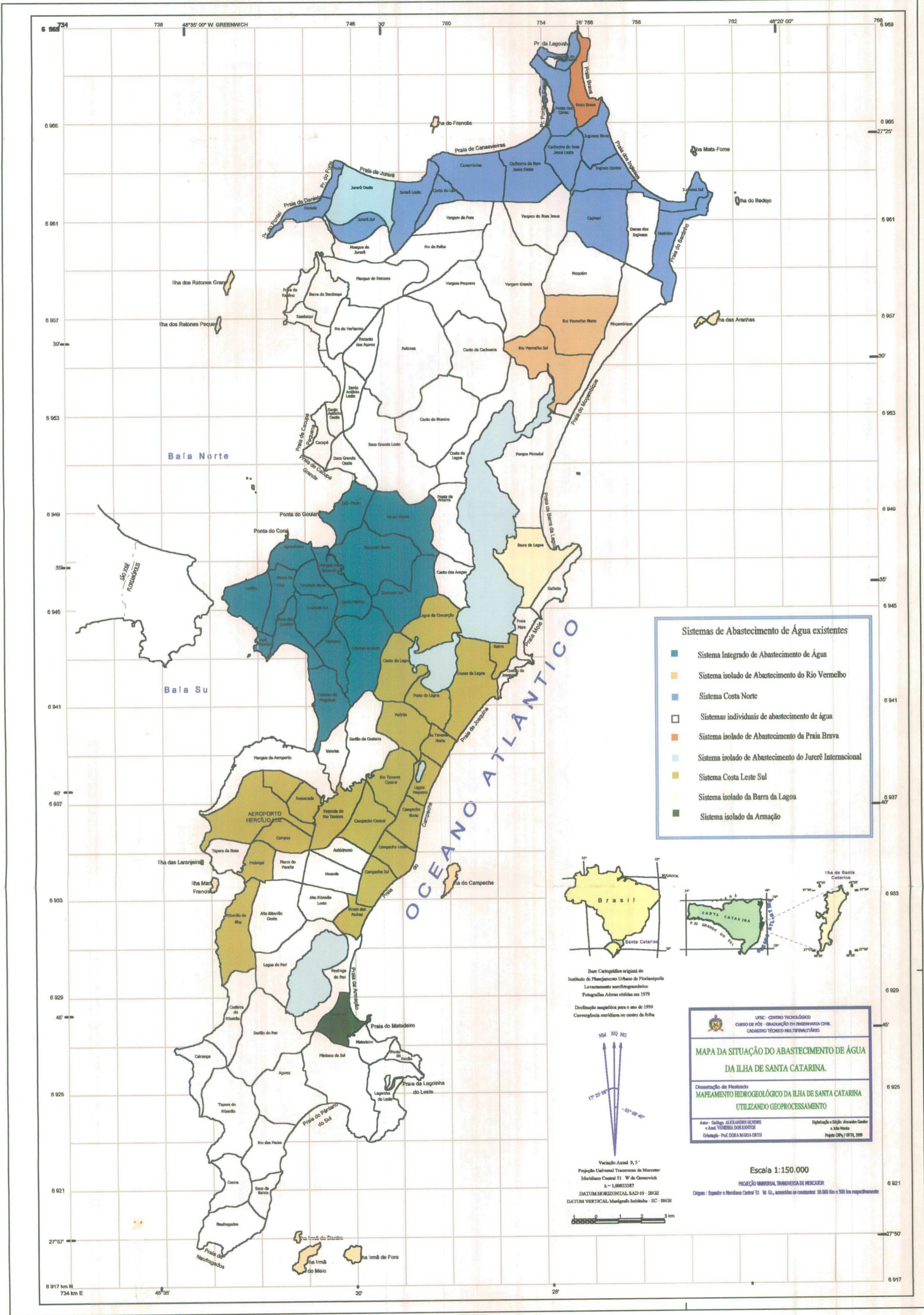


Figura 9. Localização da Ilha de Santa Catarina.

Além da posição geográfica, para BORGES, 1996, as variações de temperatura na Ilha de Santa Catarina, sofrem a influência do Oceano Atlântico, que se comporta como um regulador térmico.

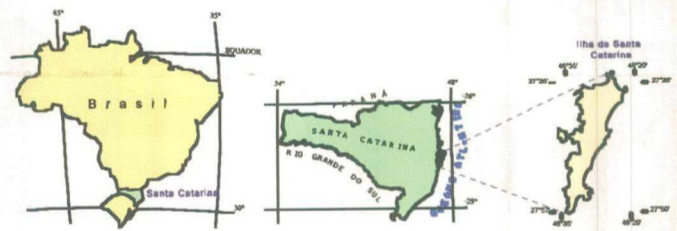
pequenos mananciais de superfície localizados na Ilha que contribuem com alguma vazão para complementar o abastecimento (Figura 10).

**² A pesquisa com os dados referentes ao abastecimento de água e esgotamento sanitário da Ilha de Santa Catarina utilizados neste trabalho, foram realizados pela acadêmica em Engenharia Sanitária Vanessa dos Santos, Consulta Nacional sobre Meio Ambiente Urbano - LABCIG-CTC-UFSC.*



Sistemas de Abastecimento de Água existentes

- Sistema Integrado de Abastecimento de Água
- Sistema isolado de Abastecimento do Rio Vermelho
- Sistema Costa Norte
- Sistemas individuais de abastecimento de água
- Sistema isolado de Abastecimento da Praia Brava
- Sistema isolado de Abastecimento do Jurerê Internacional
- Sistema Costa Leste Sul
- Sistema isolado da Barra da Lagoa
- Sistema isolado da Armação



Base Cartográfica original do Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis
 Levantamento aerofotogramétrico
 Fotografias Aéreas obtidas em 1979
 Declinação magnética para o ano de 1999
 Convergência meridiana no centro da folha

$\begin{matrix} \text{NS} & \text{NQ} & \text{NO} \\ \uparrow & \uparrow & \uparrow \\ 17^{\circ} 25' 00'' & & - 01^{\circ} 08' 40'' \end{matrix}$

Variação Anual 9,5"
 Projeção Universal Transversa de Mercator
 Meridiano Central 51 W de Greenwich
 $k = 1,00033387$
 DATUM HORIZONTAL SAD 69 - IBGE
 DATUM VERTICAL Marégrafo Imbituba - SC - IBGE

UFSC - CENTRO TECNOLÓGICO
 CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
 CADASTRO TÉCNICO MULTIMULTIMÉDIA

MAPA DA SITUAÇÃO DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA ILHA DE SANTA CATARINA.
 Dissertação de Mestrado
MAPEAMENTO HIDROGEOLÓGICO DA ILHA DE SANTA CATARINA UTILIZANDO GEOPROCESSAMENTO

Autor - Geólogo ALEXANDRE GEBERS e José VILHENA MORESINI
 Orientador - Prof.ª DORA MARIA GRIZ
 Digitalização e Edição - Araceli Guedes e Jilka Werba
 Projeto DTP/UFSC, 1999

Escala 1:150.000
 PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCADOR
 Origem - Equador e Meridiano Central 51 W Gr., ascensões as constantes: 10 000 Km e 500 Km respectivamente

Figura 10. Mapa com a situação atual do abastecimento de água

2.1. SISTEMA INTEGRADO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

A CASAN, considera o Sistema Integrado de Abastecimento de Água como o mais importante. A captação dos recursos hídricos é feita nos rios Vargem do Braço e Cubatão. A água bruta vai para a estação de tratamento de Morro dos Quadros em Santo Amaro da Imperatriz. Dali a água tratada é transportada por 4 adutoras de ferro fundido para suprir parte do abastecimento de água de Florianópolis. O sistema integrado abastece a totalidade das áreas na parte continental de Florianópolis e na Ilha de Santa Catarina tem seus limites ao norte, no balneário de Santo Antônio de Lisboa, ao sul na localidade de Rio Tavares, a leste nos bairros Itacorubi, Trindade e Pantanal. Este abastecimento possui razoáveis condições de abastecimento (pressão, reservação e qualidade), atendendo aproximadamente 78.000 economias de água (Tabela 8).

Reservação de água da Ilha

- ☒ Reservatório R-0, com capacidade de 3000 m³, no Morro da Caixa;
- ☒ Reservatório R-1, com capacidade de 2000 m³, no Morro da Caixa;
- ☒ Reservatório R-5, com capacidade de 1750 m³, na Agronômica;
- ☒ Reservatório R-6, com capacidade de 1940 m³, na UFSC;
- ☒ Reservatório R-7, com capacidade de 2500 m³, na Serrinha;
- ☒ Reservatório R-8, com capacidade de 200 m³, no Morro do Antão;
- ☒ Reservatório R-9, com capacidade de 8000 m³, na Serrinha.

A malha de rede de distribuição no centro e bairros da Ilha é composta de tubulações de ferro fundido e de plástico, com diâmetros que variam desde 600 mm até 50 mm. Para transpor zonas altas ou mesmo para atendê-las com água, o sistema dispõe de cinco estações de recalque (bombeamento) nos seguintes pontos:

- ☒ Major Costa ao Reservatório R-0, com 48 m de altura de elevação;
- ☒ Major Costa ao Reservatório R-8, com 110 m de altura de elevação;
- ☒ Rede do Pantanal ao Tercasa, com 85 m de altura de elevação;
- ☒ Zona alta do Itacorubi, com 50 m de altura de elevação.

Segundo a CASAN, a Ilha conta atualmente com nível de cobertura de 87% em água tratada, o equivalente a uma população abastecida de 114.169 habitantes (Tabela 8).

Florianópolis/ Localidades	População Abastecida	N ligações de água	N de economias de água
Centro e continente	210.684	34.457	77.649
Canasvieiras	8.258	5.342	12.304
Ribeirão da Ilha	12.592	4.108	4.490
Lagoa da Conceição	6.088	2.204	2.674
Daniela	543	725	790
Inglese	5.389	3.572	4.984
Rio Vermelho	1.266	1.771	1.878
Barra da Lagoa	3.394	1.087	1.438
Jurerê	1.274	463	983
Vargem Pequena	565	239	259
Campeche	13.937	4.316	4.602
Saco Grande	10.860	2.807	3.462

Tabela 8. População atendida pelo Abastecimento de Água da CASAN. Fonte: CASAN setembro de 1998.

2.2. SISTEMA COSTA NORTE

O sistema Costa Norte funciona com captação de água bruta a partir de poços tubulares profundos na localidade de São João do Rio Vermelho e tratamento no balneário de Inglese do Rio Vermelho, com distribuição de água aos balneários do Santinho, Inglese do Rio Vermelho, Vargem Pequena, Cachoeira do Bom Jesus, Ponta das Canas, Lagoinha, Canasvieiras, parte do Jurerê e Daniela; este sistema atende atualmente a 16.787 economias. Nos Inglese do Capivari (região entre os Inglese e o Rio Vermelho), existem ainda 7 poços e nos Inglese próximo às dunas existem mais 4 poços. No total existem 11 poços, com profundidade média de 40m e vazão média total de 220 l/s.

Sistema isolado de abastecimento de São João do Rio Vermelho

Neste sistema, o abastecimento é efetuado a partir da captação de água de três poços tubulares profundos atendendo aproximadamente 1.500 economias.

Sistema isolado de abastecimento da Praia Brava

A Praia Brava possui um sistema de abastecimento independente, não sendo servida pela CASAN, e sim por uma empresa particular, a qual abastece o balneário a partir de dois poços tubulares profundos e uma fonte.

Sistema isolado de abastecimento do Jurerê Internacional

No balneário de Jurerê, na parte denominada Jurerê Internacional, existe um sistema isolado de abastecimento, que também não é de responsabilidade da CASAN.

2.3. SISTEMA COSTA LESTE-SUL

O sistema Costa Leste-Sul funciona com captação de água bruta de poços tubulares profundos, localizados no balneário do Campeche e em Rio Tavares, atendendo as localidades de Lagoa da Conceição, parte de Rio Tavares, Campeche, Morro das Pedras, Ribeirão da Ilha, Carianos e bairro Aeroporto, atendendo a aproximadamente 9.500 economias. No Campeche existem 10 poços, 3 no Rio Tavares e 1 na Lagoa da Conceição. No total são 14 poços profundos, com profundidade média de 30m vazão média total de 10l/s ou 36.360 l/h.

Sistema isolado da Barra da Lagoa

O sistema da Barra da Lagoa funciona a partir de captação de poços tipo ponteiras com tratamento e distribuição somente a aquele balneário. O abastecimento é intermitente e conforme informação da CASAN, sofre prejuízo quanto a qualidade de

água face à existência de grande quantidade de ferro que ocorre nas águas nos locais de captação.

Sistema isolado da Armação

Atualmente a Armação é abastecida por um sistema de captação de poços tipo ponteira, composto por 16 ponteiros, com vazão média de 6 l/s.

Sistema de abastecimento a Ratonos

A localidade de Ratonos terá seu abastecimento através do Sistema Costa Norte a partir da Daniela. Segundo a CASAN, as obras iniciaram em abril de 1997 e estão em andamento.

Localidade	Capacidade máx. de tratamento	Fases do processo de Tratamento
Cubatão	1710 l/s	coagulação, filtração, neutralização, desinfecção, fluoretação
Ingleses	240 l/s	neutralização, desinfecção
Barra da Lagoa	16 l/s	pré-cloração, aeração, abrandamento, decantação, filtração, desinfecção
Braço São João	5 l/s	desinfecção
Rio Tavares	8 l/s	desinfecção
Córrego Grande	5 l/s	desinfecção
Monte Verde	5 l/s	desinfecção
Ribeirão da Ilha	3 l/s	desinfecção
Vargem Grande I e II	7 l/s	desinfecção
Itacorubi/ Quilombo	2 l/s	desinfecção
Cacupé	15 l/s	desinfecção
Ana D'Ávila	5 l/s	desinfecção

Tabela 9. Fonte: CASAN/ 98.

2.4. SISTEMAS EM IMPLANTAÇÃO OU A IMPLANTAR

Sistema de abastecimento do Morro da Lagoa da Conceição

A CASAN projeta para a localidade do Morro da Lagoa, o abastecimento através do córrego do Itacorubi, sendo que as obras estão em andamento.

Sistema de abastecimento Lagoa do Perí

O sistema de abastecimento Lagoa do Perí está em fase de licitação, com projeto de captação de água através da Lagoa do Perí (sul da ilha). O sistema da Lagoa do Perí irá reforçar as áreas já atendidas e atender as localidades do sul da ilha que não tem atendimento, além de incorporar aqueles sistemas particulares que hoje existem e que distribuem água sem as menores condições de qualidade, técnicas ou de quantidade. As áreas a serem atendidas, pelo projeto, além das já citadas no sistema costa leste-sul, são: costeira do Ribeirão da Ilha, Naufragados, Pântano do Sul até praia da Armação, praia dos Açores, Tapera de Caiacanga, Costa de Dentro e Armação. A CASAN, pretende com o sistema da Lagoa do Perí, a eliminação definitiva do sistema existente da Barra da Lagoa.

3. ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Os serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário, na Ilha de Santa Catarina, são realizados, pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento-CASAN, através de concessão da Prefeitura Municipal. O convênio que outorga a concessão de exploração de serviços públicos municipais de abastecimento de água e coleta e disposição de esgotos sanitários entre o município de Florianópolis e a CASAN, data de 25 de fevereiro de 1977, devendo perdurar até o ano de 2007.

Segundo dados fornecidos pela CASAN, o nível de atendimento com infraestrutura de esgotos sanitários, considerando-se apenas a coleta, no aglomerado urbano de Florianópolis é de **20%** (Figura 11). Este número é superior a cobertura do Estado, que situa-se na casa dos 7%. Isto deve-se ao fato de que 38% da população da capital ser atendida (Tabelas 10 e 11).

Bacia	Pop. Com potencial de ser beneficiada	N. de ligações	N. de economias
Centro	110.342	14.003	43.617
Saco Grande	1.437	53	425
Canasvieiras	3.862	1.422	5.905
Lagoa da Conceição	2.334	799	1.077

Tabela 10. População atendida com esgoto Fonte: CASAN/ Dezembro 98.

<i>Região</i>	<i>Rede/estação de tratamento</i>	<i>População a ser atendida</i>	<i>Projeto de Engenharia</i>	<i>Situação de Abastecimento</i>
REGIÃO INSULAR	Rede/interceptores/emissários/EE Centro, José Mendes, Saco dos Limões, Agrônômica e Trindade;	113.200	Projeto executivo concluído	65% das obras de implantação em andamento
	Estação de Trat. De Esgoto Lodo Ativado com aeração prolongada	150.000	Projeto executivo concluído	Obras concluídas e em fase de pré- teste
	Rede/interc/emissários/EE Carvoeira, Santa Mônica, Córrego Grande, Pantanal e complexo da UFSC e ELETROSUL	21.200	Projeto executivo em elaboração	Licitação dependendo da disponibilidade de recursos financeiros
	Estação de Trat. De Esgoto	30.000	Projeto executivo em elaboração	Em estudo a possibilidade de eventual utilização da ETE existente no aterro da Baía Sul
NORTE DA ILHA	Rede/interc/emissários/EE Cachoeira do Bom Jesus, Ponta das Canas, Lagoinha e Praia Brava	19.100	Concluído	Em operação
CANASVIEI RAS	Rede/interc/emissários/EE, Estação de Trat. De Esgoto	25.000	Concluídos	Em operação
JURERÊ, DANIELA E INGLESES	Rede/interc/emissários/EE, Estação de Trat. De Esgoto	20.800	Básico da rede concluída	obra a contratar
SUL DA ILHA (Campeche, Costeira, Aeroporto, Alto Ribeirão e Morro das Pedras).	Rede/interc/emissário/EE, Estação de Trat. De Esgoto	21.300	Não existe projeto	Sem previsão
LAGOA DA CONCEIÇÃO	Rede/interc/emissário/EE	3.850	Concluído	em operação
	Estação de Trat. De Esgoto	5.000	Concluído	em operação

Tabela 11. Estações de Tratamento existentes ou a implantar e população atendida Fonte: CASAN/ Dezembro 98.

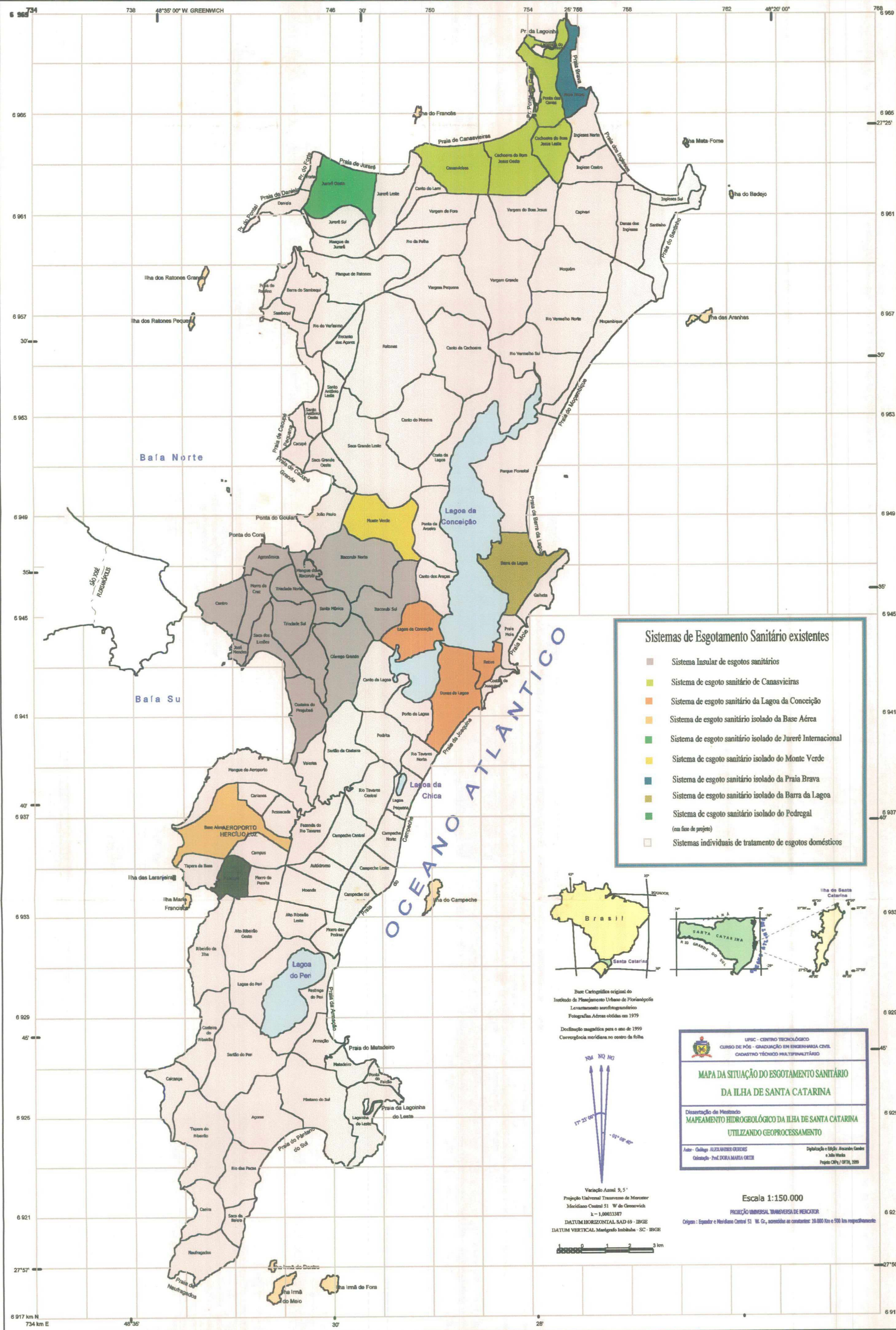


Figura 11. Mapa com a situação atual do Esgotamento Sanitário

4. GEOLOGIA

Sob o ponto de vista da morfologia, a Ilha de Santa Catarina, pode ser dividida em maciços rochosos, ocorrendo sob a forma de morros altos escarpados, atingindo mais de 500m, como o pico do morro do Ribeirão da Ilha, que contrastam com planícies sedimentares de origem marinha e costeira.

A geologia pode ser descrita como um conjunto de rochas cristalinas (granitos, gnaisses e riolitos) representando o Ciclo Tectônico Brasileiro, cortados localmente por diques de diabásio de idade Juro-Cretácica, sobrepostos por coberturas sedimentares recentes, relativas aos eventos Terciários / Quaternários (CARUSO Jr, 1993).

As rochas cristalinas (ígneas) constituem os morros, formando um conjunto de elevações alinhadas na direção NE, ao longo de toda a extensão da Ilha. Estes morros, servem como anteparos para o acúmulo de material sedimentar, comumente retrabalhado, muitas vezes derivado dos próprios morros. Os granitóides afloram principalmente nos topos dos morros sob a forma de matacões de médio e grande porte, onde a alteração superficial é bastante pronunciada e, nos costões como lajeados, quase não apresentando solos.

Os diques de diabásio possuem extensão limitada, com direção predominante N-S e NE-SW (direção predominante das falhas e fraturas da Ilha, como observável no Mapa Hidrogeológico), apresentando-se geralmente alterados devido ao intemperismo. Estes diques, ocorrem cortando os granitos, ao longo de toda a Ilha, alcançando em geral, alguns metros a dezenas de metros de largura e centenas de metros de extensão.

Os depósitos sedimentares possuem diferentes características e gêneses e formam as baixadas e planos da Ilha.

QUATERNÁRIO <i>HOLOCENO E/OU PLEISTOCENO</i>
Depósitos de praia
Depósitos de Leques Aluviais e Aluviais atuais (calhas de drenagens)
Depósitos de manguezais
Depósitos eólicos atuais
Depósitos lagunares
Depósitos eólicos Antigos
Depósitos transicionais lagunares
Depósitos de turfas
Depósitos marinhos praias
TERCIÁRIO / QUATERNÁRIO
Depósitos de encosta
JURO-CRETÁCEO
Diques de diabásio
PROTEROZÓICO SUPERIOR ao EO-PALEOZÓICO
<i>Magmatismo pós-tectônico</i> Suite Vulcano-Plutônica Cambirela (Riolito Cambirela, Granito Itacorubí) Suite Pedras Grandes (Granito Ilha)
<i>(CICLO TECTÔNICO BRASILIANO)</i>
<i>Magmatismo tardi-tectônico</i> (Granitóide São Pedro de Alcântara)
<i>Magmatismo sin-tectônico</i> (Granitóide Paulo Lopes)

Figura 12. Coluna Estratigráfica modificada de CARUSO Jr. 1993

4.1. CICLO TECTÔNICO BRASILIANO

A maior parte das rochas graníticas que afloram na Ilha de Santa Catarina foram descritas no Mapeamento da Quadricula Florianópolis, escala 1:250.000 originalmente como pertencentes ao Complexo Pedras Grandes e Complexo Tabuleiro por SHULTZ JR. *et al.* 1970, sendo este, posteriormente redefinido por SILVA, & BORTOLUZZI, 1987, como Suite Intrusiva Pedras Grandes. Segundo estes últimos autores, esta Suite representa um batólito alongado no sentido meridiano, com 150 km de extensão e área aflorante de 4.500 km² ocorrendo desde o norte de Biguaçu até as proximidades de Criciúma ao sul (ZANNINI *et al.*, 1997). SCHEIBE & TEIXEIRA, 1970, descreveram as rochas ígneas da Ilha como granitos e migmatitos (além de diabásios e riolitos), subdividindo os granitos em duas fácies: uma representada por um granito cinza médio e outra por um granito cinza claro grosseiro, o qual foi denominado “Granito Grosseiro Ilha”.

Adotou-se, em conformidade com CARUSO Jr, 1993, o modelo geodinâmico de BASEI (1985), à luz da tectônica de placas, situando as ocorrências ígneas da Ilha, com relação ao Ciclo Tectônico Brasileiro. Desta forma temos: o *Granitóide Paulo Lopes*, como expressão do magmatismo sintectônico; o *Granito São Pedro de Alcântara* como correspondente do magmatismo tardi-tectônico; o *Granito Ilha, Riolito Cambirela e Granito Itacorubí*, como representantes do magmatismo pós-tectônico, pertencentes a *Suite Pedras Grandes*.

Granitóide Paulo Lopes

Este granitóide aflora na porção extrema NE da Ilha de Santa Catarina, sendo observado no morro que separa a praia de Ingleses e a praia do Santinho e o morro que separa a praia do Santinho e Rio Vermelho. ZANNINI *et al.*, 1997, sugerem que estas rochas granito-gnaissicas possam pertencer ao embasamento pré-brasiliano.

Afloram sob a forma de blocos e lajeados de cor superficial cinza. Compõe-se principalmente por granodioritos de cor cinza escura, com textura porfírica. Evidências de deformação dúctil cortam a rocha, mostrando bandas de cisalhamento milimétricas, paralelas, compostas principalmente por lamelas de biotita alinhadas.

Apresenta-se comumente cortada por diques de diabásio, inseridos em falhas e fraturas, conferindo, estas falhas, em determinados locais, também uma textura cataclástica a esta rocha.

Granito São Pedro de Alcântara

Para CARUSO Jr. 1993, este granito é a expressão do magmatismo terditectônico, aflorando principalmente na região do Rio Tavares ao sul da Lagoa da Conceição.

É composto petrograficamente por monzogranitos e granodioritos, mostrando comumente enclaves máficos. Sua textura é porfirítica média a grossa com fenocristais freqüentes de k-feldspato e ocasionais de plagioclásio.

Granito Ilha

Corresponde à maior parte das rochas descritas como Granito Florianópolis por COITINHO *et al.*, 1991. Estas rochas, também têm sido descritas por vários autores, informalmente, como granito róseo, ou granito rosa claro.

Segundo CARUSO Jr. 1993, a maior parte das rochas da Ilha de Santa Catarina são compostas por estas rochas, ocupando aproximadamente 90% das ocorrências rochosas na Ilha.

CARUSO Jr. *op. cit.*, descreve uma grande variedade composicional para estas rochas, que vão de monzogranitos a biotita a leucosienogranitos, colocando-as dentro de uma mesma unidade.

O Granito Ilha, ocorre em quase todos os morros da Ilha, com exceção dos morros da praia do Sambaqui e na região do bairro Itacorubí, onde ocorre o Granito Itacorubi, na praia do Santinho, onde ocorre o granitóide Paulo Lopes, na região da Praia da Armação, onde ocorrem derrames de riolito e na região do Rio Tavares, onde CARUSO Jr, *op. cit.*, identificou o Granito São Pedro de Alcântara. São sienogranitos heterogranulares, comumente de textura média a grossa, de cor rosa com tonalidade clara, ou com a cor cinza claro.

Granito Itacorubi

Corresponde à Formação Cambirela de COITINHO *et al.* 1991.

Ocorrem encaixadas no Granito Ilha, em zonas de falha de direção predominantemente NNE- SSW de expressão marcante nos morros da Cruz, Cacupé e Sambaqui, fazendo contato do tipo intrusivo com o granito encaixante.

São monzo a sienogranitos, com cor castanho médio a cinza , por vezes esverdeado, de textura heterogranular média, em alguns locais podendo ocorrer textura fina, com cristais de feldspato alcalino de cor castanho esverdeado, destacando-se na rocha, mostrando também, textura subvulcânica pelos agregados máficos microcristalinos.

Riolito Cambirela

O Riolito Cambirela é a expressão vulcânica do Granito Itacorubí, estando relacionado a este de maneira temporal e espacial. Estas rochas possuem a cor vermelho escura ou cinza escura, textura porfirítica, com pórfiros de quartzo e/ou feldspato imersos em uma matriz microcristalina, tipicamente vulcânica, de cor vermelha ou cinza. Agregados máficos ocorrem como vidro vulcânico. O quartzo apresenta como característica peculiar, o brilho opalescente, a cor levemente leitosa e, as bordas do mineral corroídas.

Ocorre principalmente no Morro das Pedras, nas Praia da Armação e Lagoinha do Leste.

4.2. JURO/CRETÁCEO

Formação Serra Geral

A Formação Serra Geral é representada na ilha, sob a forma de diques de diabásio de expressão métrica a quilométrica, podendo alcançar também, dezenas de metros de espessura lateral. São diques que ocorrem encaixados nos granitóides da ilha, cuja direção principal é NE - SW e secundariamente NW - SE.

É marcante, o dique de diabásio que corta o Morro da Cruz, no sentido N-S, visto que este alcança uma espessura de até 300 m.

4.3. TERCIÁRIO / QUATERNÁRIO (PLIOCENO AO HOLOCENO)

Depósitos de encostas

Os depósitos de encostas são acumulações de material detrítico, proveniente do intemperismo das rochas graníticas que compõem os morros da ilha. São sedimentos tipicamente de origem continental, cuja força principal, responsável pelo acúmulo de material, é a força gravitacional. São compostos por seixos e partículas tamanho areia, angulosos, imersos em uma matriz siltico argilosa, podendo ter desde alguns centímetros de espessura a metros. Em alguns pontos da ilha, estes depósitos sofreram a ação marinha e eólica, sendo retrabalhados, formando “rampas de dissipação”, interrelacionando-se com depósitos tipicamente marinhos e eólicos. É como no caso da Praia dos Ingleses, próximo aos morros, onde temos depósitos de origem eólica, interdigitados com depósitos coluvionares.

4.4. QUATERNÁRIO (PLEISTOCENO E/OU HOLOCENO)

Segundo CARUSO Jr. 1993, são relacionáveis ao Pleistoceno e/ou Holoceno os depósitos marinhos praias, os depósitos transicionais lagunares, os depósitos lagunares, os depósitos eólicos, os depósitos paludais e turfáceos e os depósitos de manguezais.

Depósitos marinhos praiais (Depósitos de Maré)

São acumulações de areia de formato alongado, chamados cordões litorâneos, individualizados como “cordões internos e cordões externos”, relacionáveis a oscilações do nível do mar ocorridas no Pleistoceno e Holoceno. CARUSO Jr., 1993.

Podemos relacionar o cordão interno à idade pleistocênica, mais antiga, enquanto que o cordão externo pode ser relativo ao Holoceno, mais recente.

O cordão interno, apresenta-se como depósitos marinho-praiais, geralmente recobertos por depósitos eólicos (paleodunas) podendo sua gênese relacionar-se ao evento trans-regressivo do mar ocorrido a mais de 100.000 anos e conhecido como Transgressão Cananéia (SUGUIO & MARTIN, 1976). Estes depósitos são compostos principalmente por areias quartzosas de granulação média a grossa, com cores marrons, devida a presença de silte, proveniente da alteração das rochas dos morros. Os depósitos de maior extensão superficial, situam-se nas regiões de Ingleses, Rio Vermelho e Campeche.

O cordão externo encobre geralmente depósitos de turfas, e depósitos marinhos, sendo recoberto por depósitos eólicos. CARUSO Jr. **op.cit.**, sugere, a partir da idade de turfas coletadas na base deste cordão (2.600 ± 170 anos) que este cordão esteja relacionado a um movimento oscilatório do nível do mar desta época, ou seja pós Transgressão Holocênica, a qual atingiu seu máximo há aproximadamente 5.100 anos. Este evento transgressivo é conhecido no litoral brasileiro como Transgressão Santos (SUGUIO & MARTIN, 1976) representando os depósitos marinho praiais, na forma de Terraços e Barreiras, no Rio Grande do Sul, de VILWOCK **et al.**, 1987, os quais se estendem para o litoral catarinense.

ZANNINI **et al.**, 1997, designa a estes depósitos, o nome de depósitos de maré, citando a ocorrência de tubos de *Calichirus* e a presença de estratificação cruzada tipo espinha de peixe. Para estes autores, estes depósitos de terraços atingem cotas máximas de 8 metros, estendendo-se desde o Uruguaí até a Paraíba.

Para a Hidrogeologia da Ilha, estes depósitos de areia ocorrem como aquífero livre na região da Praia dos Ingleses e Barra da Lagoa/Moçambique e como aquífero confinado (profundidades superiores a 40 metros) em praticamente todas as áreas planas da Ilha. São designados com o nome de *Aquífero Ingleses*.

Depósitos eólicos antigos

ZANNINI *et al.*, 1997, consideram as dunas estacionárias de coloração vermelha, constituídas por quartzo, com contribuição de óxidos de ferro e minerais argilosos (em pequena quantidade), como dunas antigas (holocênicas). Estes depósitos são marcantes na região do Sítio Capivarí (entre Rio Vermelho e Ingleses) e na Praia Mole. São tipicamente recobertos por vegetação de pequeno porte e mostram-se intensamente erodidas pela ação litorânea de avanço de marés.

A estes depósitos designou-se o nome de *Aqüífero Rio Vermelho*.

Depósitos transicionais lagunares

Os depósitos transicionais lagunares, foram assim descritos por CARUSO Jr. 1993, para depósitos holocênicos marinho-praias que adquiriram temporariamente as características de depósitos lagunares a partir de processos de inundação, combinada com erosão continental, em função do aumento do nível do mar no Pleistoceno (formação de grandes lagos). Estes depósitos mostram-se parcialmente erodidos, sendo a sua maior expressão, no norte da Ilha, nas praias de Canasvieiras e Cachoeira e ao sul no Pântano do Sul, onde a ingressão de águas do mar, que invadiu estas regiões, com posterior regressão, proporcionou a formação de vários lagos e manguezais. São terraços lagunares, correspondendo geomorfologicamente às regiões baixas, com superfícies aplainadas. São depósitos heterogêneos que apresentam variadas proporções entre sedimentos finos e areia. Designamos para estes depósitos o nome "*Aqüífero Canasvieiras*".

Depósitos lagunares

Os depósitos lagunares estão representados pela lagoas do Peri e Conceição, com predominância de sedimentos arenosos nas margens e finos nas partes centrais, mais profundas. Segundo CARUSO Jr. *op. cit.*, os sedimentos depositados na margem oeste destas lagoas têm por característica a imaturidade mineralógica e textural, enquanto que na borda leste os sedimentos são maduros. Isto ocorre devido à borda oeste

receber sedimentos provenientes dos morros, sendo a ação gravitacional e os pequenos córregos, os principais agentes transportadores destes sedimentos. Na borda leste, por sua vez, os sedimentos são provenientes principalmente dos cordões de dunas eólicas.

Depósitos eólicos atuais

Os depósitos eólicos atuais possuem a cor branca ou amarelada. São dunas ativas que podem estar parcial ou totalmente fixas pela vegetação nativa, como no caso das dunas da praia da Joaquina. A estes depósitos pode-se referenciar a Barreira IV de VILWOCK *et al.*, 1987.

Dois depósitos eólicos atuais destacam-se na ilha, o campo de dunas da Joaquina e das Aranhas. O campo de dunas da Joaquina possui aproximadamente 3,5 km de extensão e 1,5 km de largura. O vento que predomina na região é o que sopra da direção nordeste, porém o que sopra com intensidade maior é o que vem do quadrante sul, principalmente nos meses de inverno. Este agente ocasiona um cavalgamento das dunas por sobre o Morro da Joaquina e um avanço dos sedimentos nas partes marginais da Lagoa da Conceição.

Os depósitos que compõem o campo de dunas das Aranhas, situam-se na região norte-nordeste da Ilha, junto às Praias do Santinho e Ingleses. É um campo de dunas alongado na direção norte, cuja principal fonte de sedimentos provém da região da Praia do Moçambique, visto que o sentido do transporte de sedimento se dá de sul para norte, carregado pelo vento sul. No flanco oeste, este depósito encobre parcialmente um extenso depósito marinho praiial pleistocênico.

Designou-se para estes depósitos de areia o nome de *Aquífero Joaquina*.

Depósitos paludais e turfáceos

Ocorrendo preferencialmente no flanco leste da Ilha, os depósitos paludais ou turfáceos, formam-se em depressões inter-cordões de dunas, caracterizando-se por serem zonas semi-alagadas com grande quantidade de sedimentos tamanho silte-argila, com presença de material orgânico e areia. Em subsuperfície são marcantes principalmente no lado norte e sudoeste da ilha, onde as planícies alagadas pelas transgressões marinhas, propiciaram a formação de grandes lagos e mangues. Formam camadas impermeáveis aproximadamente entre os 15 e 20 metros de profundidade, que

confinam a camadas aquíferas inferiores, como observável em furos de sondagem tipo SPT (SANTOS, 1997).

Depósitos de manguezais

São depósitos formados em regiões planas, de desembocadura de rios ou córregos no mar, sendo depósitos sedimentares finos, ricos em matéria orgânica, com ocorrência atual de vegetação gramínea, algas e espécies típicas de dicotiledôneas (CARUSO Jr. 1993). As principais ocorrências são: A região do Itacorubí, aeroporto, Saco Grande, Daniela, Ratonas e Canasvieiras, Armação e Tapera.

Depósitos de Leques Aluviais e Aluvionares atuais

Segundo ZANNINI *et al.*, 1997, os depósitos de encostas e de leques aluviais ocorrem nas encostas dos morros, formando depósitos heterogêneos, entre silte, argila, areia e cascalho, enquanto os depósitos aluvionares, ocorrem preenchendo as calhas de drenagem e suas planícies de inundação. São constituídos por sedimentos mal classificados, variando também entre cascalho e areia, com contribuição menor de silte e argila. Para a hidrogeologia designou-se a estes depósitos o nome de *Aquífero Conceição*.

Depósitos de Praia

Nos bordos da Ilha, junto ao mar, ocorrem extensos cordões de areias finas a grossas, esbranquiçadas, com contribuição marcante de fragmentos de conchas, retrabalhadas pela ação das marés, o que representa a sedimentação litorânea atual (ZANNINI *op. cit.*). Em alguns locais existe a presença também de minerais pesados, como no caso da região do Pântano do Sul.

CAPÍTULO V – RESULTADOS E ANÁLISES

1. *HIDROGEOLOGIA DA ILHA DE SANTA CATARINA*

A caracterização da Hidrogeologia da Ilha de Santa Catarina é representada neste trabalho pelo Mapa Hidrogeológico, escala 1:50.000, inédito, sendo este, o produto mais importante gerado (Figura 13). Este mapa foi elaborado através da análise geológica e geomorfológica do terreno, obtida pela interpretação de uma imagem LANDSAT TM, composição colorida, bandas 3,4,5 de 1996; fotografias aéreas pancromáticas, na escala 1:25.000 de 1994; coleção de dados de poços tubulares profundos e sondagens tipo SPT ocorrentes na Ilha, interpretação hidrogeológica de mapas geológicos existentes, além de extenso trabalho de campo para reconhecimento detalhado da Geologia/Hidrogeologia.

A escolha das cores que representam os aquíferos da Ilha deu-se em função da vazão média possível de ser obtida para poços perfurados na unidade referente, utilizando-se uma adaptação da *International Legend for Hydrogeological Maps*, UNESCO, 1983. Assim escolheu-se tons de azul para os aquíferos sedimentares e cores em tons de verde para as rochas, onde a ocorrência de água subterrânea concentra-se nas fraturas (tabela 12). Os aquíferos sedimentares mais produtivos possuem as cores azuis em tons mais escuros, enquanto os menos produtivos, tons claros. Na mesma forma, os aquíferos fissurais mais produtivos receberam as cores verdes em tons mais escuros, enquanto os menos produtivos em tons claros. A cor amarela foi reservada para Depósitos de Praia (junto ao mar) e aterros artificiais, enquanto as cores marrons reservadas para os depósitos sedimentares com muita argila (camadas impermeáveis). Para depósitos heterogêneos, onde há muita variação entre camadas de areia, silte e argila, o qual neste trabalho designados “Aquífero Canasvieiras”, utilizou-se uma cor entre o amarelo e marrom. As fraturas das rochas foram representadas por traços contínuos e descontínuos. Os contínuos referem-se às fraturas mais visíveis do terreno e os descontínuos, às inferidas.

Nas camadas sedimentares, é comum a sobreposição de aquíferos. Adotou-se representar no mapa o aquífero aflorante, ainda que possam ocorrer casos, de o aquífero aflorante ser muito menos produtivo do que um confinado em subsuperfície.

A vazão atribuída a cada aquífero (unidade) relaciona-se a uma estimativa média e foi obtida com base em:

- ⇒ Tipo de aquífero e suas características litológicas (aquífero fissural ou sedimentar; granulometria, permeabilidade, etc.);
- ⇒ Regime pluviométrico da Ilha (fator clima – recarga dos aquíferos);
- ⇒ Extensão de ocorrência dos aquíferos;
- ⇒ Existência de poços na unidade (dados de vazão, nível estático etc.);
- ⇒ Não existindo poços na unidade, ou sendo escassos os dados, analogia a poços em unidades semelhantes da Grande Florianópolis ou por bibliografia.

O Mapa Hidrogeológico da Ilha de Santa Catarina, escala 1:50.000 configura-se como um documento inédito, visto que, ao longo dos trabalhos de pesquisa não se encontrou documento similar. Assim, a denominação dos aquíferos, no conjunto da Ilha é feita pela primeira vez. Procurou-se atribuir nomes, relacionados a já consagrados nomes de rochas, para os aquíferos fissurais e nomes de lugares típicos de ocorrência, para os aquíferos sedimentares (Tabela 13).

Produtividade (vazão)	Tipo de Aquífero	
	Granular (sedimentar)	Fissural (Fraturado)
Alta	azul escuro	verde escuro
Média	azul claro	verde claro
Baixa	marrom	

Tabela 12. Cores dos aquíferos conforme a produtividade.

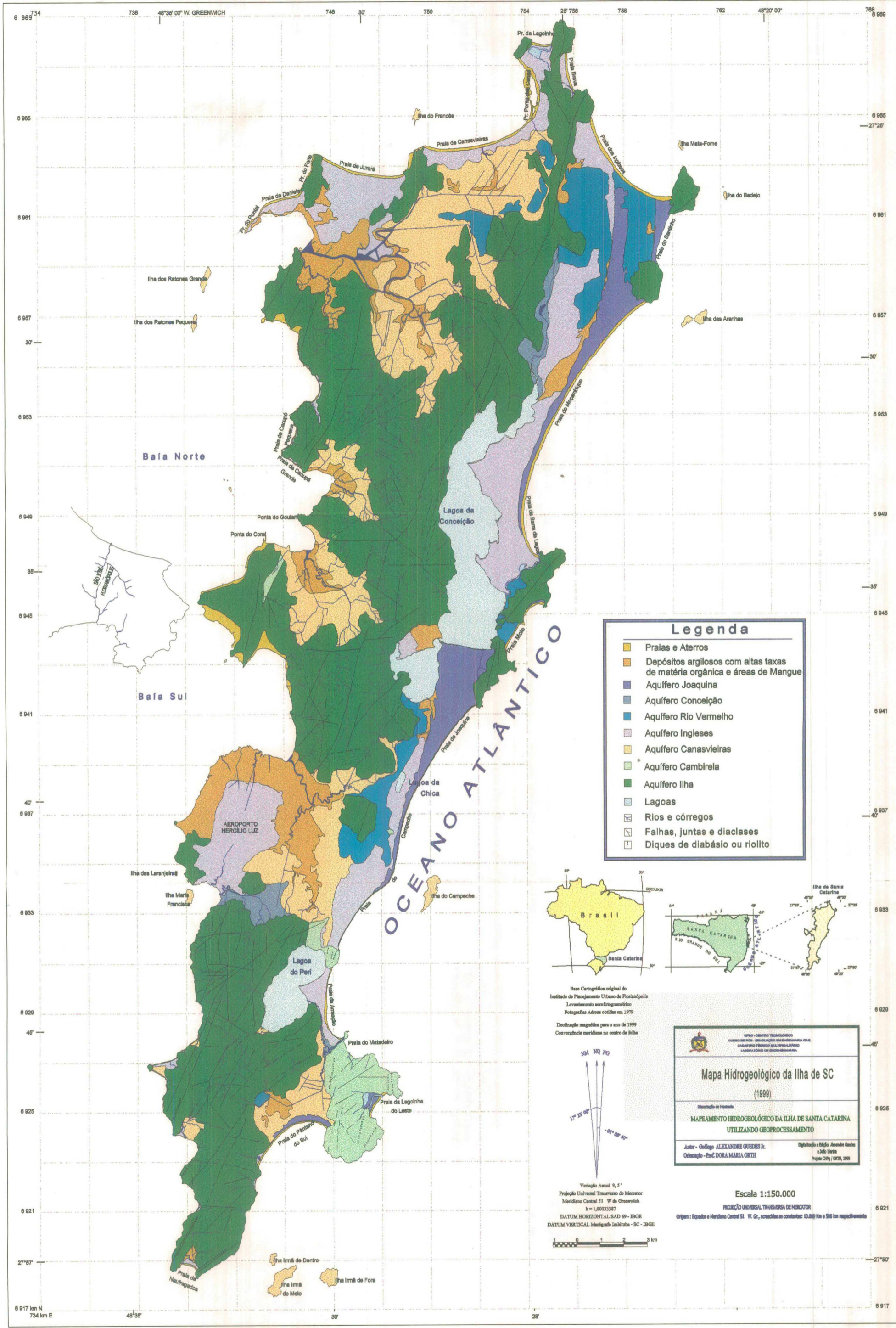


Figura 13. Mapa Hidrogeológico da Ilha de Santa Catarina

A partir destes trabalhos de caracterização e mapeamento, pôde-se definir dois sistemas aquíferos distintos ocorrentes:

- ❑ Sistema Aquífero Cristalino, Fraturado;
- ❑ Sistema Aquífero Sedimentos Inconsolidados.

	Aquífero	Proveniência do nome
Sedimentares	Aquífero Joaquina	Dunas da Praia da Joaquina.
	Aquífero Conceição	Depósitos aluvionares na nascente da Lagoa da Conceição
	Aquífero Rio Vermelho	Paleodunas que ocorrem entre o Rio Vermelho e Sítio Capivarí.
	Aquífero Canasvieiras	Planície sedimentar ocorrente nas Praias de Canasvieiras e Cachoeira do Bom Jesus.
	Aquífero Ingleses	Planície sedimentar da Praia dos Ingleses.
Fissurais	Aquífero Cambirela	Riolito Cambirela/ Formação Cambirela. CARUSO Jr. op. cit. Coitinho et. ali , 1985.
	Aquífero Ilha	Granito Ilha (CARUSO Jr., 1987) / diques de diabásio

Tabela 13. Nomenclatura dos aquíferos da Ilha.

1.1. SISTEMA AQUÍFERO CRISTALINO – FRATURADO

O Sistema Aquífero Cristalino – Fraturado abrange as rochas ígneas e metamórficas ocorrentes na Ilha, tanto as rochas ígneas intrusivas e metamórficas (granitos, diabásios e gnaisses), quanto as rochas vulcânicas (riolitos).

Nestas rochas, a água proveniente de precipitação infiltra no solo e acumula-se nas juntas não mineralizadas, as quais, interconectadas, formam o Sistema Aquífero Fraturado. Neste tipo de meio, a porosidade primária encontrada nas rochas é mínima, ficando no máximo entre 0,05% e 3%. Como os poros não são interconectados, a

permeabilidade do meio refere-se exclusivamente às fraturas secundárias da rocha. Assim, quanto maior a quantidade de fraturas ocorrentes na rocha, maior a possibilidade de ocorrência de água subterrânea. As águas subterrâneas percorrem caminhos específicos na rocha, não se distribuindo homogeneamente no meio: Este tipo de aquífero é chamado então de heterogêneo, anisótropo.

Na Ilha de Santa Catarina, as camadas de solo sobrepostas a estas rochas, variam em espessura podendo atingir até 10 m e grande variação de tamanho e composição dos minerais. Os solos, são provenientes da alteração das rochas do embasamento cristalino e formam comumente três horizontes diferentes, A, B e C, de acordo com um maior ou menor grau de alteração dos minerais da rocha e a ação pedogenética. Podemos dizer, que são formados por grãos de quartzo de textura média a grossa, imersos em uma matriz de silte e argila. Uma maior ação intempérica formará uma quantidade maior de argilas. Nos topos dos morros, a camada de solo é pequena assim como as declividades, permitindo uma maior infiltração das águas de precipitação (áreas de recarga). Já nas encostas, a maior declividade e uma maior espessura de solo, predominando a fração argila, permite um maior escoamento superficial das águas de precipitação, infiltrando menos água para alimentar o aquífero. Podemos dizer que nas encostas, o manto de alteração forma uma espécie de aquífero. Os solos em geral contudo, são relativamente bem drenados, impedindo apenas parcialmente a passagem das águas de precipitação, sendo estes aquíferos classificados como livres, freáticos.

No Sistema Aquífero Cristalino – Fraturado, separou-se dois aquíferos principais: O Aquífero Ilha, referente aos granitos, diabásios e gnaisses e, o Aquífero Cambirela, referente aos riolitos (Figura 14).

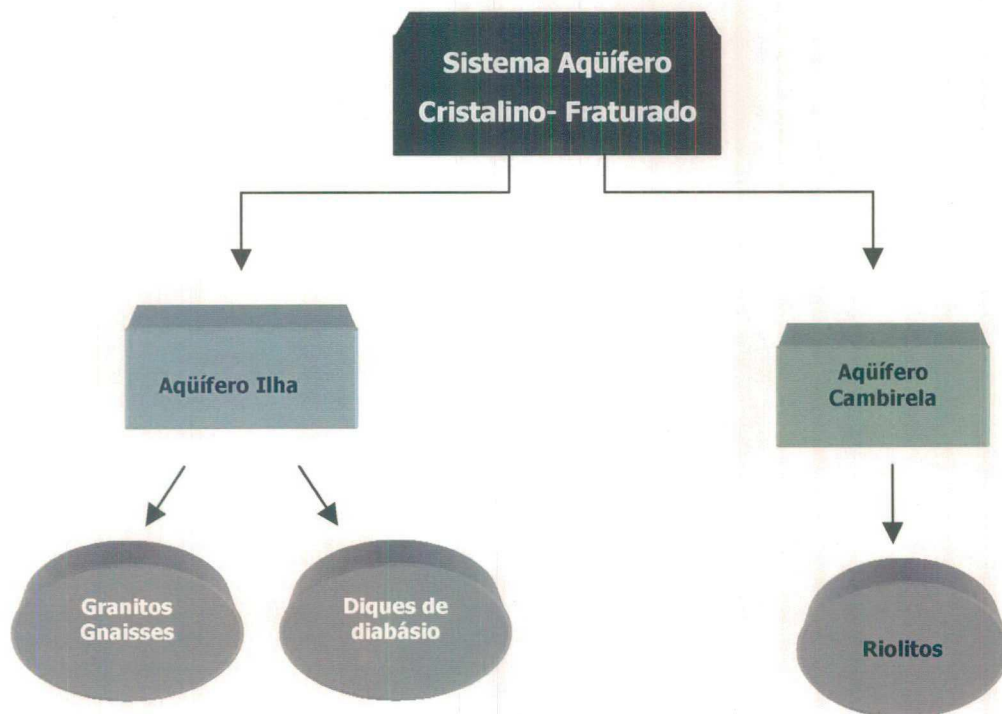


Figura 14. Sistema Aquífero Cristalino Fraturado.

Aquífero Ilha

O Aquífero Ilha, abrange o Granito Ilha, Granito Itacorubí, diques de diabásio e os metagranitos ocorrentes no Costão do Santinho e costão sul da Praia dos Ingleses (Granitóide Paulo Lopes). Estas últimas rochas, são consideradas irrelevantes para captação de águas subterrâneas, pela limitada expressão aflorante, frente aos extensos aquíferos sedimentares que as circundam.

O Aquífero Ilha é classificado como um aquífero fraturado, livre, freático, anisótropo e heterogêneo. A captação de água é feita exclusivamente nas fraturas da rocha, o que faz a locação dos poços tubulares profundos um trabalho de grande técnica e precisão.

As rochas que compõe este aquífero mostram-se intensamente fraturadas ao longo de toda a Ilha, o que facilita a ocorrência de boas vazões, tratando-se de rochas ígneas.

No Mapa Hidrogeológico, podemos observar fraturas regionais na direção preferencial N-S ou NE-SW. Nestas fraturas, a ocorrência de diques e veios de quartzo é comum, como observado nos trabalhos de campo, demonstrando que esta direção não

seria a mais adequada para locação de poços tubulares profundos, sendo a direção mais favorável a NW-SE. Esta hipótese poderia ser comprovada, caso houvessem vários poços tubulares profundos perfurados nesta unidade, o que não ocorre, não permitindo uma análise estatística mais precisa.

As fraturas N-S e NE-SW, contudo, são bastante extensas, podendo atingir dezenas de quilômetros. É comum nestes casos, o preenchimento por extensos diques de diabásio, os quais por sua vez, apresentam também muitas fraturas. Este fato é comprovado por poços tubulares profundos que captam água nestes locais, e chegam a apresentar até 5.000 l/h de vazão.

As rochas que compõe o Aquífero Ilha ocorrem relativamente próximas ao mar (distâncias inferiores a 10 km), que é o local de descarga das águas subterrâneas. Como o fluxo das águas subterrâneas em aquíferos fissurais é relativamente rápido, poderia supor-se que estas regiões, pela proximidade com o mar, apresentariam pequenas vazões. Este não seria o caso, já que a taxa pluviométrica da Ilha é alta (em torno de 1400 mm/ano), assim como são as quantidades de fraturas, garantindo uma boa recarga para este sistema aquífero. Deve-se contudo evitar locais junto ao mar para perfuração, visto que neste caso, a recarga do aquífero não seria suficiente para garantir um armazenamento de água em grandes quantidades, enquanto as áreas mais favoráveis, seriam as regiões centrais da Ilha, em cruzamento de pelo menos dois sistemas de falha ou fraturas.

Outro fato que favorece a ocorrência das águas subterrâneas nestas rochas é o fato das áreas de recarga (topos dos morros) serem em geral, bem preservadas, por densa vegetação nativa, além de possuírem espessuras de solo incipiente, diminuindo o escoamento superficial das águas de precipitação (“runoff”) e facilitando a infiltração das águas no subsolo.

Os poços tubulares profundos nas rochas do embasamento cristalino da Ilha são raros, ainda que ocorram inclusive para exploração comercial, como no caso da “Água Cachoeirinha”, cuja fonte de captação é um poço tubular com profundidade de 90 metros, localizado na meia encosta do Morro da Cruz. No continente, em locais de geologia semelhante, ocorrem várias captações de água deste tipo, algumas inclusive para uso comercial, devido ao teor de minerais da água (água mineral). O DNPM, possui dados de alguns destes poços, devido a solicitação de alvará para exploração de

água mineral, os quais possuem vazões em torno de 5.000 l/h, para bombeamento contínuo de 12 horas/dia e profundidade de captação de água em torno de 40 m.

Os **diabásios** aparecem encaixados nas falhas e fraturas dos granitóides, podendo ocorrer sob a forma de diques centimétricos em largura e extensão, assim como podem apresentar extensões quilométricas e larguras maiores que 100 metros, como acontece no Morro da Cruz. O mais comum entretanto, é a ocorrência de intrusões métricas em largura e extensão, o que torna a ocorrência de água subterrânea neste meio, bastante limitada. Contudo, estas rochas, como ocorrem encaixadas nas juntas e falhas do granito, e este por si só, apresenta boas vazões, há possibilidade de uma interconexão destes dois aquíferos, em um único sistema, podendo, os poços perfurados nesta unidade, apresentar boas respostas quanto à vazão. O melhor local de captação é o Morro da Cruz, onde ocorre o referido dique de expressão marcante. Este dique tem sua extensão no sentido NNE-SSW e ocorre intensamente fraturado, podendo apresentar boas alternativas de locais para captação de água, já que estes locais (Morro da Cruz e demais partes altas da região central da Ilha) sofrem constantemente com problemas de falta de água.

A qualidade das águas deste aquífero é excelente, podendo serem consumidas *in natura*, não sendo necessário nenhum tipo de tratamento especial, enquanto que a vazão média fica entre 4.000 à 6.000 l/h e profundidades de captação de água entre 30 e 90 metros.

Aquífero Cambirela

O Aquífero Cambirela abrange os riolitos ocorrentes na Ilha. Os **riolitos** ocorrem sob a forma de diques e derrames, sendo sua maior expressão de ocorrência no Morro adjacente a Praia da Armação, onde aparece sob a forma de derrame. Correspondem a porção vulcânica dos granitos (rocha consolidada na superfície terrestre, enquanto os granitos consolidaram-se em grandes profundidades); assim, o rápido resfriamento destas rochas sob bruscas mudanças de temperatura, não permitiram um melhor desenvolvimento dos cristais que a compõe, facilitando assim como nos diabásios, a ocorrência de diversas fraturas, permitindo quanto a este aspecto, a ocorrência de boas vazões. Contudo, estas rochas possuem relativamente pouca expressão em área, e além disto ocorrem bastante próximas ao mar, o que pode facilitar uma “fuga d’água” para o mar. Poços tubulares nesta unidade podem ser uma

alternativa, na falta de locais mais próprios. Devem ser estrategicamente locados, e podem apresentar boas respostas quanto às vazões (4.000 l/h, já seria suficiente para atender em torno de 100 famílias, com apenas um poço*³).

1.2. SISTEMA AQUÍFERO SEDIMENTOS INCONSOLIDADOS

O Sistema Aquífero Sedimentos Inconsolidados agrupa os depósitos sedimentares capazes de armazenar e transmitir água, ocorrentes na Ilha de Santa Catarina. São depósitos de idade quaternária*⁴ compostos por acúmulo de material sedimentar, proveniente principalmente dos morros (embasamento cristalino), os quais foram retrabalhados pelo vento, ação fluvial e marinha. Estes depósitos formam os melhores aquíferos para captação de água na Ilha. O Sistema Aquífero Sedimentos Inconsolidados, é composto por acumulações de sedimentos que variam principalmente em areia grossa a fina, podendo apresentar quantidades pequenas de silte e argila. Apenas no Aquífero denominado “Canasvieiras” a ocorrência de camadas de sedimentos finos (silte e argila) é predominante. Neste caso, as camadas aquíferas referem-se a pacotes arenosos ou lentes de areia subsuperficiais (Figura 15).

O relevo é em geral plano ou suave ondulado, sendo característica marcante deste sistema a alta permeabilidade dos materiais constituintes. Os solos são pouco espessos ou mesmo inexistentes, enquanto as áreas de recarga relacionam-se a completa extensão do aquífero, recebendo águas diretamente de precipitação e da superfície dos morros (“*runoff*”). Contribuições de água provenientes do aquífero fraturado também são possíveis, principalmente para camadas profundas, geralmente confinadas.

*³ Assumindo-se 12 horas de bombeamento diário e um consumo médio de 500 l/dia/economia. Vazão por analogia aos granitos e diabásios de Ilha (não encontrou-se dados).

*⁴ Os sedimentos coluvionares terciários foram interpretados como camadas de solo (aquítardos), pertencentes ao Sistema Aquífero Cristalino Fraturado.

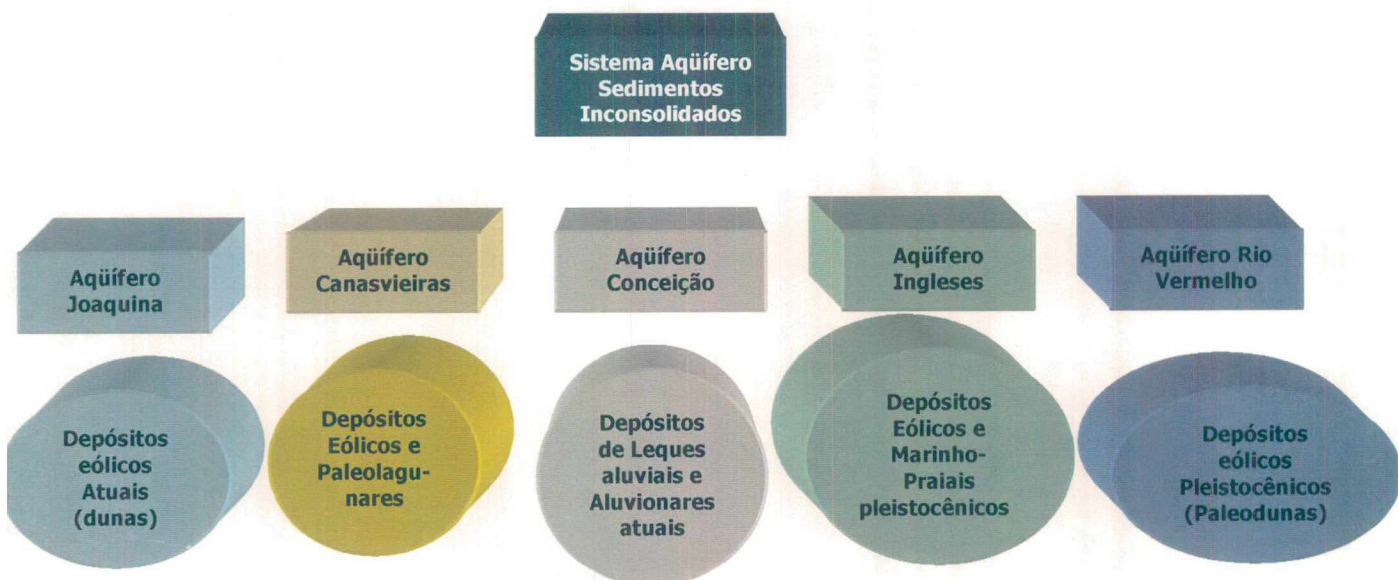


Figura 15. Sistema Aquífero Sedimentos Inconsolidados

Aquífero Joaquina (Dunas eólicas ativas)

O Aquífero Joaquina é composto por depósitos eólicos holocênicos (dunas ativas), de expressão marcante no leste da Ilha.

São depósitos sedimentares compostos quase que exclusivamente por grãos de quartzo, tamanho areia fina, que formam acumulações espessas, podendo atingir até 50 metros de altura e grandes profundidades (Tabela 14). Estendem-se desde a Praia do Campeche ao sul, até a Praia dos Ingleses ao norte.

As Dunas da Ilha de Santa Catarina são excelentes para o desenvolvimento de água subterrânea pela sua alta taxa de recarga (quando ocorrem boas taxas de precipitação), boa permeabilidade, condutividade hidráulica e qualidade das águas para consumo. É um aquífero livre (freático), isótropo e homogêneo. Neste meio, a porosidade refere-se aos espaços ocorrentes entre os grãos. Estes espaços são interconectados ao longo de toda a extensão, o que explica a homogeneidade e isotropia do meio. A não ocorrência de uma camada confinante para a água subterrânea, classifica este aquífero como livre, freático.

Não existem camadas de solo sobre estes depósitos e pode-se dizer que toda a área de ocorrência das dunas funciona como área de recarga.

Unidade Geotécnica	Profundidade do perfil	Argila (%)	Silte (%)	Areia Fina (%)	Areia Grossa (%)	Pedregulho (%)
Dunas Quaternárias	0,50 m	0	1	99	0	0

Tabela 14. Granulometria da unidade Dunas Quaternárias (Aqüífero Joaquina). SANTOS, 1997.

Os depósitos eólicos mostram tipicamente estratificação cruzada, devido à alternância constante na direção dos ventos. Contudo, esta característica, não impede que a água subterrânea distribua-se de maneira homogênea no meio, guardando, o Aqüífero Joaquina, propriedades hidrogeológicas praticamente uniformes em toda sua extensão. O nível freático é bastante superficial em toda a extensão, sendo aflorante em muitos locais, formando depressões ou “lagos interdunas” (Figura 16).

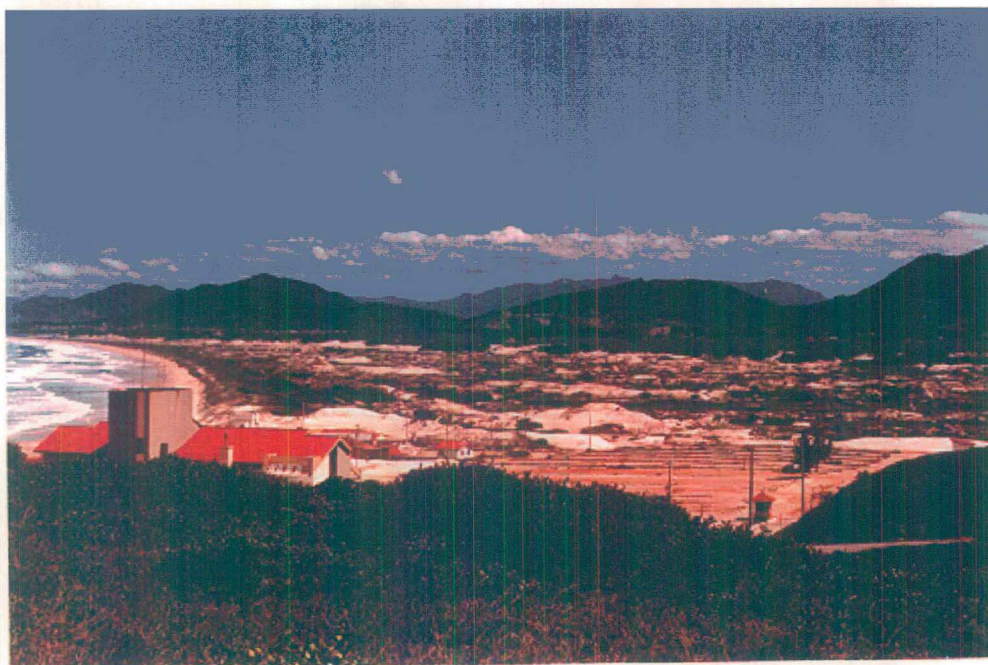


Figura 16. Dunas da Joaquina (Aqüífero Joaquina). Extraído de SANTOS, 1997.

Estes depósitos recobrem depósitos também eólicos, mais antigos, depósitos paleolagunares e depósitos marinho-priaiiais. Um perfil completo destas unidades teria a seguinte característica (Figura 17):

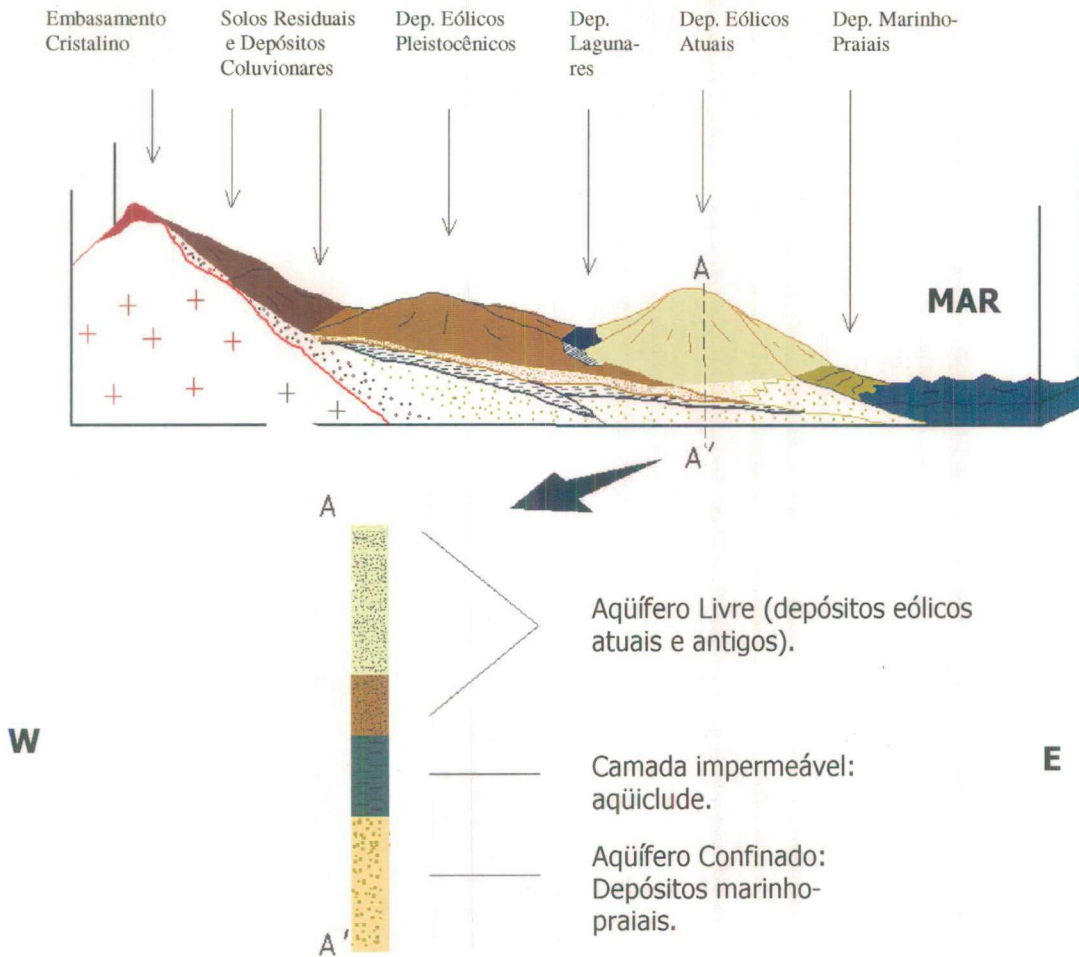


Figura 17. Desenho esquemático, mostrando a disposição dos depósitos sedimentares na borda Leste da Ilha de Santa Catarina

A CASAN possui poços tubulares profundos nesta unidade, explotando uma média de 40.000 l/h em cada poço, o que permite o abastecimento de aproximadamente 960 famílias (para um poço, considerando-se apenas 12 horas de bombeamento diário e um consumo de 500 l/dia para cada família).

É um manancial estratégico e de enorme potencial para abastecimento da Ilha que deve ser valorizado e protegido.

Aqüífero Rio Vermelho

O Aqüífero Rio Vermelho compreende os depósitos de origem eólica antigos (paleodunas), de idade Holocênica *⁵ ou aproximadamente 2.600 anos (ZANNINI, 1997).

Estas acumulações de areia ocorrem principalmente na porção leste e nordeste da Ilha, junto aos morros. A maior ocorrência é na região do Sítio Capivarí, entre Ingleses e Rio Vermelho. O relevo é suave ondulado e a cor do perfil é marrom clara, avermelhada. A composição é extremamente homogênea ao longo do perfil, sendo compostos principalmente por partículas de quartzo tamanho areia fina, com pequenas contribuições de silte e argila, provenientes da ação intempérica sobre os morros.

São acumulações de areia que recobrem depósitos paludais (camadas de argila e turfas) e são parcialmente recobertas pela dunas atuais. Na base do perfil podem ocorrer ainda sedimentos tamanho areia grossa, remanescentes de ação marinho praial antiga, quando o mar atingiu um nível bem mais alto (Transgressões Marinhas).

Sua ocorrência é mais limitada espacialmente, quando comparada às dunas atuais, apresentando contudo, características hidrogeológicas semelhantes ao Aqüífero Joaquina. Assim como o Aqüífero Joaquina, estes depósitos são homogêneos, isotropos, formam um aqüífero livre e são excelentes para a captação de água subterrânea e as áreas de recarga, são relacionadas a própria extensão de ocorrência dos depósitos. Granulométricamente são compostas principalmente por areia fina, podendo apresentar até 15% de silte/argila (Tabela 15).

Unidade Geotécnica	Profundidade do perfil	Argila (%)	Silte (%)	Areia Fina (%)	Areia Grossa (%)	Pedregulho (%)
Areias Quartzosas (Rampas de Dissipação)	0,50 m	9	4	87	0	0

Tabela 15. Granulometria da unidade Areias Quartzosas (Rampas de Dissipação) (Aqüífero Rio Vermelho). Extraído de SANTOS, 1997.

*⁵ CARUSO Jr, 1993, infere a idade Pleistocênica a estes depósitos.

A CASAN também possui alguns poços tubulares profundos nesta unidade, enquanto que individualmente (condomínio - casas) a população local, em sua maioria possui captação de água própria pelo sistema de ponteiras. A ponteira consiste em um cano de PVC, com diâmetro em torno de 2", encravado no solo até a profundidade do nível freático, retirando-se a água com uma bomba localizada na superfície. É um método simples que permite e retirada média de até 4.000 l/h nesta unidade, o que poderia abastecer dezenas de casas. Os poços da CASAN, possuem 6" de diâmetro e atingem profundidades de até 70 m, com vazões médias de 35.000 l/h.

Aquífero Ingleses

O Aquífero Ingleses ocorre em superfície, principalmente na região dos Ingleses, Rio Vermelho e junto à Praia do Moçambique. Representa uma camada aquífera sedimentar livre, composta de areia grossa limpa, areia fina ou areia fina argilosa que perfaz contato direto com a superfície e, uma camada confinada a profundidades maiores do que quinze metros. A tabela 16 mostra a proporção areia-silte-argila em amostras coletadas em uma profundidade de até um metro. A variação textural-composicional deve-se a diferenças no paleoambiente deposicional. A origem principal da camada sedimentar é marinho-praial, sendo areia média a grossa predominante, podendo em alguns locais a contribuição eólica ser grande, favorecendo a ocorrência de areia fina.

O desenvolvimento deste tipo acumulação sedimentar ocorreu concomitantemente aos eventos trans-regressivos ocorridos no litoral brasileiro há aproximadamente 100.000 anos e tem sua gênese principal relativa a um ambiente marinho-praial com contribuição eólica. Desta forma, após a regressão marinha, novos depósitos de origem eólico se formaram, cobrindo os sedimentos finos (Aquífero Rio Vermelho). Esta camada sedimentar, composta principalmente por areia fina, possui entre 6 e 10 metros de espessura e forma uma camada aquífera livre.

A ocorrência de maior expressão é junto à Praia dos Ingleses, na região do Rio Vermelho e próximo à Praia do Moçambique, como aquífero livre, freático, homogêneo e isótropo. Em subsuperfície a camada aquífera geralmente varia em ocorrência em profundidades maiores do que 18 metros, apresentando espessuras de aproximadamente 20 metros, dependendo do local de perfuração, sendo confinada por uma camada de

argila que pode atingir até 10 metros de espessura, sendo um manancial estratégico e utilizado em raríssimas vezes ao longo da Ilha.

As vazões deste aquífero podem chegar a 24.000 l/h, ainda que em pontos de menor extensão de ocorrência, as vazões fiquem entre 2.000 a 6.000 l/h, como no caso da Praia Brava.

Unidade Geotécnica	Profundidade do perfil	Argila (%)	Silte (%)	Areia Fina (%)	Areia Grossa (%)	Pedregulho (%)
Podzol (sed. Quaternário)	0 -20 cm	30,5	39,3	19,4	10,8	0
	60-80 cm	5,2	2	81,7	11,8	0

Tabela 16. Granulometria da unidade Podzol (sed. Quaternário) (Aquífero Ingleses). Extraído de SANTOS, 1997.

Aquífero Canasvieiras

O Aquífero Canasvieiras compreende os depósitos sedimentares ocorrentes principalmente em superfície, com expressão marcante no norte e no oeste da Ilha, tipicamente em regiões planas próximas a mangues. São depósitos compostos por sedimentos finos tamanho silte e argila, podendo ocorrer areia grossa em boa quantidade (até 40 %), assim como de areia fina (70 %). A contribuição de sedimentos tamanho silte/argila, deve-se à formação de pequenos lagos remanescentes dos eventos regressivos-marinhos e da contribuição dos processos intempéricos sobre os morros, além de processos de alagamento atual pelo aumento do nível das marés.

São depósitos heterogêneos ao longo da extensão de ocorrência, podendo haver pontos onde a contribuição de finos é muito grande, totalmente desaconselhável para a captação de águas subterrâneas, ainda que em de subsuperfície, possam ser encontradas camadas ou lentes de areia grossa (camada aquífera confinada). Estes depósitos arenosos ocorrem confinados por sedimentos, principalmente do tamanho argila, de origem marinho-lagunares, visto a formação de grandes mangues, pós regressão marinha (CARUSO Jr, 1993). Este paleoambiente ocorreu com grande expressão principalmente no norte da Ilha, onde hoje encontra-se a Praia de Canasvieiras,

Cachoeira do Bom Jesus, Jurerê e Ponta das Canas; no oeste da Ilha, a ocorrência mais marcante é na região do aeroporto.

O conceito “aquífero” fica restrito a porções mais arenosas do depósito e a camadas e lentes de areia confinadas. Nas porções onde os sedimentos tamanho silte/argila são marcantes, o termo mais adequado seria “aquítardo” ou mesmo “aquiclude”.

Poços tubulares captando água nesta unidade são raros ou mesmo ausentes, visto a abundância de aquíferos de maior qualidade para abastecimento de grande escala. Acredita-se no entanto, que estes depósitos possam produzir boas vazões, extraíndo-se água das camadas arenosas. O trabalho de locação de poços nesta unidade deve ser procedido de estudos específicos, como a geofísica.

Aquífero Conceição

O Aquífero Conceição, corresponde aos depósitos sedimentares de origem continental, de Leques Aluviais, compostos por sedimentos mal classificados de cascalhos a areia fina, com contribuição de silte e argila, e depósitos de aluviões atuais compostos principalmente por areia grossa, com seixos, silte e argila, em menor quantidade. Estes depósitos foram colocados juntos em um mesmo aquífero por formarem caminhos preferenciais de passagem de água, tanto superficialmente como em subsuperfície. Pelas próprias características deste tipo depósito, não apresentam na Ilha ocorrências expressivas, servindo mais como indicativos para locais de captação de água subterrânea, quando entende-se que em subsuperfície, estes podem encobrir bons mananciais de outros tipos de depósito, como depósitos marinho-praias ou mesmo representando fraturas do embasamento cristalino.

Depósitos de Mangue e depósitos argilosos ou orgânicos

Os depósitos de mangue e com altas taxas de argila ou matéria orgânica, não são considerados aquíferos, tanto pela baixa permeabilidade, como pela possível presença de água salinizada por contato com mar (mangues).

Depósitos de Praia

Os depósitos de praia, referem-se a acumulações de areia junto à orla marítima. Devido a esta proximidade, tornam-se inviáveis para a captação de água subterrânea para consumo humano em grande escala (cunha salina).

2. USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA ILHA DE SANTA CATARINA

Apesar de nas ilhas oceânicas e costeiras a água subterrânea ter lugar de destaque, tanto visando o abastecimento, quanto a de proteção dos aquíferos (deles depende a vida da população local), na Ilha de Santa Catarina, a desinformação sobre nossos mananciais subterrâneos é grande. Os estudos sobre a Hidrologia Subterrânea que precedem este trabalho são raros. Em contrapartida, em muitas partes da Ilha o uso das águas subterrâneas é indiscriminado enquanto o esgoto é despejado no solo sem nenhum tipo de tratamento, elevando os riscos de contaminação de aquíferos. Contudo, o potencial de uso das águas subterrâneas para abastecimento da porção insular da capital catarinense é grande, justificando estudos de maior detalhe; além de saber-se do fato de ocorrer um crescimento progressivo da população da Ilha e do turismo receptivo ser fonte relevante para a economia local. Assim, como abastecer a crescente população com qualidade e segurança, sem agressão ao meio ambiente?

Como principais alternativas pode-se destacar:

- ☒ Incremento do abastecimento proveniente da Bacia do Rio Cubatão;
- ☒ Abastecimento a partir dos recursos hídricos superficiais da Ilha, através de pequenos córregos e lagoas, como a Lagoa do Perí;
- ☒ Abastecimento por águas subterrâneas.

A discussão quanto a forma de abastecimento é abrangente e foge aos objetivos deste trabalho, contudo nota-se em um primeiro momento, que a alternativa de abastecimento pelos recursos hídricos superficiais esbarra em problemas operacionais e de custos que a torna praticamente inviável. Neste aspecto deve-se, primeiro avaliar a capacidade de vazão e qualidade destas águas (levando em conta, estiagens e contaminação por defensivos agrícolas, no caso do Rio Cubatão e a salinidade atual e

futura das lagoas da Ilha, no caso de extração de água), assim como os custos de implantação das obras, como ETAs e grandes tubulações.

Quanto ao uso das águas subterrâneas em nível local, estas apresentam as seguintes vantagens:

- ☒ As áreas de captação são pequenas, evitando desapropriações;
- ☒ Permite o abastecimento em nível local, economizando em tubulações;
- ☒ Não necessita tratamentos químicos complexos, como nas ETAs, sendo uma água de excelente qualidade;
- ☒ Não necessita inundar terras, como no caso das barragens;
- ☒ A rede adutora, que leva a água do poço ao reservatório, é de pequena extensão, ao contrário das barragens, as quais requerem redes adutoras longas;
- ☒ A implantação do sistema pode ser feita de maneira gradativa, ao longo do tempo e segundo as necessidades da população, evitando grandes investimentos em curtos períodos de tempo;
- ☒ A vazão independe de períodos de estiagem prolongada, como nos reservatórios superficiais;
- ☒ O prazo de perfuração de poços é de dias, enquanto que a implantação de uma obra de captação de recursos hídricos superficiais demora anos;
- ☒ O custo de implantação do sistema de captação de água subterrânea é muito mais baixo que uma captação superficial;
- ☒ Não se verificam impactos ambientais significativos;
- ☒ A manutenção é mais segura, não paralisando o conjunto;
- ☒ Os poços contruídos conforme as especificações técnicas da ABNT, possuem vida superior a 20 anos;
- ☒ O custo do metro cúbico de água neste sistema é substancialmente mais barato que a captação dos mananciais superficiais, citados no início do texto.

Na bacia do Itacorubí e Centro, onde a CASAN abastece a população pelas águas do Rio Cubatão, o racionamento de água é comum (rodízios), sendo realmente crítico, o problema de falta de água nas encostas do Morro da Cruz e arredores, como nos bairros da Trindade, Serrinha, Carvoeira e etc. Nestes locais, o problema de falta de água poderia ser solucionado com um mapeamento de detalhe, no sistema de falhas e

fraturas das rochas da região, perfurando-se alguns poços estrategicamente locados. Poços tubulares profundos nestas rochas já existem em propriedades particulares, explotando uma quantidade média de 4.500 l/h, cada poço, extraindo uma água de ótima qualidade, em geral dispensando qualquer tipo de tratamento para consumo humano. Um exemplo é a “Água Natural Cachoeirinha”, de grande aceitação no mercado, a qual provém de um poço localizado na encosta do Morro da Cruz.

Nas microbacias da Lagoa da Conceição, Lagoa do Perí e Campeche encontram-se os melhores mananciais subterrâneos da Ilha, com uma expressiva ocorrência dos aquíferos: Joaquina, Rio Vermelho e Ingleses, além dos aquíferos fissurais, como Ilha e Cambirela. Estudos de detalhe sobre o comportamento da água subterrânea, aliado a perfuração de poços nestas unidades, podem garantir com tranquilidade o abastecimento para a crescente população do nordeste da Ilha (Ingleses, Santinho, Rio Vermelho), leste (Lagoa da Conceição), sul (Campeche, Pantano do Sul) e sudoeste, como na região do Aeroporto, Carianos, Ribeirão da Ilha e etc.

No norte da Ilha, Daniela, Jurerê, Canasvieiras, Ponta das Canas e Lagoinha, existem bons mananciais locais, não necessitando o transporte da água que vem do balneário dos Ingleses. Em questão de custo benefício, na extração, distribuição e controle, torna-se mais adequado a captação e reservação em nível local.

3. PLANEJAMENTO POR MICROBACIAS

A Lei n. 9.433, a qual versa sobre os Recursos Hídricos, prevê em seu texto a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos, enquanto o projeto de Lei das Águas Subterrâneas, dispõe em seu texto medidas de proteção e uso racional destes recursos. Estas duas Leis, aplicadas ao Estado de Santa Catarina, perfazem juntas um instrumento legal de planejamento e gestão das águas subterrâneas na Ilha. Adotando-se o ponto de vista previsto nestas Leis e observando-se que praticamente todas as microbacias da Ilha possuem excelentes mananciais de água subterrânea, pode se destacar a possibilidade de implantação de projetos que permitam a captação e distribuição de água a partir dos recursos existentes na própria microbacia. A própria CASAN já utiliza um sistema de captação de água por mananciais subterrâneos no norte da Ilha, ainda que a captação seja feita em locais concentrados (Ingleses) e distribuídos para a microbacia da Lagoa e Norte da Ilha,

estendendo-se desde a Daniela até Rio Vermelho. Esta distribuição de água para balneários que apresentam uma grande concentração populacional nos meses de verão, a partir de um número pequeno de poços, mostra o grande potencial de uso das águas subterrâneas na Ilha de Santa Catarina e a possibilidade de captação e abastecimento em nível local.

Um exemplo de captação e distribuição de água subterrânea dentro de uma microbacia ocorre na Praia Brava. A Praia Brava, localiza-se no norte da Ilha de Santa Catarina, entre Ponta das Canas e Ingleses. As características climáticas locais, acompanham a Ilha, com clima úmido e precipitações médias em torno de 1400 mm anuais e temperatura média anual de 20°. O balneário possui aproximadamente 1.600 m de extensão de faixa de praia, sendo limitado a oeste pelos morros que a separam das praias da Lagoinha e Ponta das Canas. Estes morros possuem em média 150 m de altitude, atingindo 200 m no pico mais alto, formando um relevo fortemente dissecado, contrastando com a faixa de areia plana (Figura 18).



Figura 18. Vista parcial da Praia Brava.

Segundo informações coletadas junto à empresa *Aqualan* (responsável pelo abastecimento do balneário), ao longo do tempo, até o crescimento urbano da praia atingir o seu estágio atual, a água para abastecimento tem sido captada de uma fonte localizada no extremo sul da praia, em um vale de direção nordeste, na nascente de um pequeno riacho. Esta água, é canalizada e bombeada até um reservatório localizado na parte superior de um morro, na porção centro-sul da praia, e então distribuída aos moradores. A nascente é, ainda hoje, uma importante fonte de abastecimento de água do

balneário. A esta fonte, somam-se dois poços tubulares profundos, que captam água de duas camadas aquíferas, uma confinada, profunda e uma livre, superficial (Aquífero Ingleses). Nos primeiros 18 m, ocorre uma camada aquífera livre, composta principalmente por areia fina, com o nível estático a 2 metros de profundidade. Dos 18 m aos 20 m, ocorre uma camada impermeável confinante, e dos 20 m aos 40 m, ocorre uma camada aquífera composta principalmente por areia grossa. As maiores vazões são retiradas da camada livre. Os dois poços tubulares profundos existentes na praia captam água das duas camadas aquíferas e juntos produzem aproximadamente 15.000 l/h. Muitos prédios e casas possuem "ponteiras" encravadas no solo para captação de água, como fonte alternativa de captação de água, principalmente nos meses de verão onde a demanda é maior. Estas ponteiras consistem de um cano encravado no solo com profundidade de 4 a 6 metros, onde a água é extraída por uma bomba disposta na superfície. O nível estático da água fica em torno de 4 metros e a vazão obtida em torno de 4.000l/h. O esgoto doméstico é canalizado para uma estação de tratamento localizada no sul do balneário, a princípio não contaminando o aquífero superficial.

Apesar da pouca extensão de ocorrência dos aquíferos utilizados, o balneário é totalmente independente dos serviços da CASAN, mostrando que é possível a captação e abastecimento de água por microbacias.

4. RISCOS DE CONTAMINAÇÃO

A análise dos riscos de contaminação dos aquíferos da Ilha de Santa Catarina é um trabalho complexo e exige um nível de detalhamento que foge aos objetivos desta Dissertação. Contudo, partindo dos dados obtidos, pode-se fazer algumas breves considerações.

Para que haja um risco de contaminação de um aquífero é necessário que exista uma carga poluente despejada no solo ou subsolo. Assim destacamos duas regiões de risco zero de contaminação de aquíferos: As Áreas de Proteção Permanente (APP), localizadas nos topos dos morros e as Dunas eólicas. A primeira situação representa as áreas de recarga do Sistema Aquífero Cristalino Fraturado, além de alimentar, em subsuperfície, as camadas sedimentares confinadas. No segundo caso (Dunas – Aquífero Joaquina), a proteção por Lei, impedindo a ocupação, preserva a excelente qualidade destes mananciais. Assim, o Aquífero Joaquina, destaca-se como o mais

importante da Ilha da Santa Catarina, tanto pelas excelentes vazões apresentadas (em torno de 35.000 l/h), excelente qualidade de água e riscos zero de contaminação, enquanto permanecerem intocadas.

No Aquífero Ilha e Cambirela, os riscos de contaminação são extremamente baixos. Primeiro por que as áreas de recarga (topos dos morros) estão, em geral, bem preservadas e segundo, porque nas encostas onde localmente ocorre ocupação humana, somando-se a declividade, a grande espessura de solo (em torno de 10m) e quantidade de argila presente no solo, as águas de precipitação, tendem a escorrer em grande quantidade pela superfície do terreno, quando atingem as encostas (*runoff*). A porção que infiltra no solo e que poderia carregar possíveis focos contaminantes, em locais sem sistema de saneamento básico adequado, tende a mover-se lentamente pelo solo, em comparando-se com as areias, não permitindo que organismos vivos atinjam as águas armazenadas profundamente nas rochas, ainda que em caso de concentração excessiva de poluentes, isto possa ocorrer.

Já as regiões onde a ocupação humana é intensa (planícies sedimentares da Ilha), o problema de contaminação de aquíferos torna-se relevante. Segundo dados da CASAN, o atendimento com infra-estrutura de esgotos sanitários, considerando-se apenas a coleta, no aglomerado urbano de Florianópolis (sem levar em conta pequenas comunidades no interior da Ilha) é de 20%. A situação é agravada ainda mais nos meses de verão, em que ocorre um aumento substancial da população, levando os sistemas de coleta e tratamento de esgotos a trabalharem no limite de suas capacidades. Assim a existência de cargas contaminantes no subsolo pela disposição de esgoto doméstico sem nenhum tipo de tratamento é evidente, ainda que seja do conhecimento que esta prática é a maior causa de contaminação das águas subterrâneas no Mundo.

Quanto às condições hidrogeológicas dos aquíferos sedimentares que sofrem ocupação humana na sua superfície (principalmente os Aquíferos Rio Vermelho, e Ingleses), observou-se que geralmente o perfil mostra três camadas sedimentares. Uma camada composta principalmente por areia fina, com menores quantidades de silte e argila, que pode atingir até 80m de profundidade, após ocorre uma camada impermeável de argila e então ocorre uma camada aquífera confinada, composta principalmente por areia grossa. Desta forma, a camada confinada, estaria protegida de possíveis fluxos contaminantes, sendo classificada como de *Vulnerabilidade Desprezível*. O mesmo não ocorre com a camada aquífera livre; não obstante, a camada superficial, livre, apresenta

excelentes vazões, sendo utilizada tanto por poços da CASAN, como por captações simples, do tipo “ponteiras”, individualmente.

Quanto às condições hidrogeológicas, a camada sedimentar superficial possui alta permeabilidade, pois os poros do material sedimentar se intercomunicam, permitindo a livre circulação da água subterrânea. As águas de precipitação penetram no solo movimentando-se rapidamente em direção à zona saturada, podendo carregar consigo agentes contaminantes como nitratos (NO_3) e outros contaminantes. Aplicando-se o método *GOD*, nesta situação, temos:

G = 1 (aquífero livre);

O = 1 (sedimentos inconsolidados);

D = 1 (nível freático bastante raso, geralmente em torno de 2 m de profundidade).

Índice final: $1 \times 1 \times 1 \times 1 = 1$

O valor final 1 indica que os Aquíferos Rio Vermelho e Ingleses (camada sedimentar livre), podem ser classificados como *Extremamente Vulneráveis*, de impacto relativamente rápido, devendo-se ater para este fato, combinado com o rápido crescimento da Cidade.

Quanto ao Aquífero Canasvieiras, a contaminação por fluxos poluentes provenientes de esgotos domésticos é complexa, visto a complexidade da distribuição das camadas e lentes de areia (camadas aquíferas). Neste aspecto, poderia-se conjecturar sobre as características semi-confinadas do aquífero o que dificultaria a movimentação de possíveis fluxos contaminantes. Este aspecto carece de estudos mais detalhados; entretanto um outro aspecto que pode-se salientar, é que estes depósitos ocorrem circundando quase sempre áreas de manguezais, ou seja, locais onde a inserção marinha é comum. Assim, pode-se esperar possíveis problemas de contaminação natural destes aquíferos por sais provenientes da ação do mar sobre o continente (água salobra). Isto não é uma regra, apenas um indicativo, sendo, necessárias pesquisas de detalhe, quando da prospecção de água subterrânea nestes depósitos.

5. *AVALIAÇÃO DAS RESERVAS*

A avaliação das reservas hídricas subterrâneas pode ser feita para os aquíferos sedimentares livres, no momento que se tem delimitada suas extensões de ocorrência, em conjunto com dados de poços, de onde se pode obter o nível freático (zona saturada), dados sobre a granulometria (porosidade) e profundidade das camadas.

BORGES, 1996, já realizou um trabalho neste sentido, para o aquífero livre que ocorre no balneário do Campeche chegando a resultados expressivos que variam de um mínimo de 1,1 milhões de metros cúbicos, a um máximo de aproximadamente 54,88 milhões de metros cúbicos; estimando uma média teórica de $27,99 \times 10^6 \text{ m}^3$.

É importante ressaltar que nem toda a água contida nos sistemas aquíferos é possível de ser explorada, visto haver um equilíbrio entre a alimentação (recarga) e descarga dos aquíferos (balanço hídrico), sendo muito importante a realização de estudos detalhados neste sentido. O que se nota no entanto, é que existe uma tendência de exploração indiscriminada dos aquíferos da Ilha. Em locais próximos ao mar, (aquíferos costeiros), não sendo projetada a real capacidade de vazão, a água doce diminui a sua descarga no mar e a cunha salina começa a avançar em direção ao continente podendo salinizar todo o aquífero, comprometendo a qualidade destas águas para consumo humano.

6. *UTILIZAÇÃO DE GEOPROCESSAMENTO*

Para analisar a validade da utilização da tecnologia GIS neste trabalho, deve-se antes supor como haveriam de ser os resultados se não fossem aplicadas as técnicas de geoprocessamento. Em uma suposição de não haver a tecnologia da informática, os mapas teriam sido gerados somente em papel, desenhados, à mão, sobre os produtos cartográficos Plani-Altimétricos da Ilha de Santa Catarina, escala 1:25.000, do IPUF. Como são necessários vários mapas para cobrir toda a extensão da Ilha nesta escala, a primeira dificuldade seria na apresentação final dos mapas. O aspecto gráfico inferior, assim como as dificuldades de manuseio, desqualificariam o real valor do trabalho. Outro ponto importante é no manuseio das informações. Em papel, uma vez sobrepostas as informações (desenho de um tema sobre outro), não há como reverter este processo sem causar danos ao material. A operação de retirar informações de um mapa em papel

transparente (“overlay”), além de dispendiosa de tempo, gera produtos de aspecto visual inferior e com baixa precisão de detalhe. Nestes primeiros aspectos, a tecnologia GIS, mostrou-se extremamente útil no armazenamento dos mapas produzidos, permitindo a armazenagem separada dos diversos temas, tanto em arquivos gráficos independentes, como em “layers” separados. Assim, sendo necessário a utilização de apenas um tema, ou o relacionamento de dois temas independentes, estes podem ser rapidamente acessados e sobrepostos. O armazenamento destas informações também é mais prático e seguro. Enquanto mapas em papel seriam armazenados em grandes gavetas ou tubos, sofrendo danos com o manuseio, os mapas digitais gerados não ocupam espaço real e podem ser impressos a qualquer hora e em diversas escalas. A impressão dos mapas também é fácil, podendo-se escolher cores, textos e tipos de linhas na representação das feições, gerando um produto final de alta qualidade visual.

Os dados alfanuméricos (texto) são alocados em tabelas de um banco de dados digital independente, minimizando o uso de memória RAM dos arquivos gráficos e aumentando assim, o poder de armazenamento de dados. A atualização das tabelas é fácil, assim como seu acesso. Se estes dados fossem armazenados em papel, teriam que ser guardados em arquivos de gavetas, em armários, onde se tornariam facilmente desatualizados, visto que alguns dados (como a população), mudam rapidamente, devendo ser atualizados constantemente. Além disso, com um volume grande de informações podem ocorrer perdas com o tempo, ou por acidente ou por mau uso durante o manuseio das tabelas em papel.

Uma vantagem que somente a tecnologia GIS pode dispor é o acesso rápido de feições dos mapas aos dados de texto. Por exemplo, pode-se acionar um comando de consulta sobre as características hidrogeológicas de determinado aquífero, a cota de uma curva de nível ou a população de uma UEP (Unidade Especial de Planejamento) e o sistema busca a informação armazenada no banco de dados apresentando automaticamente ao usuário. Pode-se realizar consultas tipo onde se encontra determinada condição? Como “em qual UEP ocorre população maior que 2.000 habitantes?” ou “qual Aquífero apresenta vazão igual a 35.000 l/h?”. O sistema rapidamente realiza a operação solicitada, mostrando a região referente (operações em SQL). Este tipo de procedimento (armazenamento e consulta) pode ser realizado em vários níveis de detalhamento, desde informações gerais como a distribuição dos aquíferos na Ilha, como no detalhe da distribuição de água a partir de um poço, com

armazenamento de dados como diâmetro de canos, vazão, numeração das casas atendidas, proprietários e etc.

É importante ressaltar que todos os mapas podem ser sobrepostos e são totalmente correlacionáveis, apesar de armazenados em arquivos gráficos independentes. Isto deve-se ao fato de ter-se utilizado um mesmo sistema de coordenadas para todos os mapas, independente da escala adotada (Universal Transversa de Mercator – UTM).

Os mapas digitais foram gerados no formato vetorial, no *software MicroStation 95*, porque entendeu-se que este é o formato mais adequado aos objetivos do trabalho, ou seja, criar um banco de dados com mapas e tabelas correlacionáveis, sobre a hidrogeologia da Ilha. Este formato é mais preciso na representação dos limites das feições, mais utilizado para operações de conexão de mapas com tabelas e tem maior poder de armazenamento de dados. As feições tipo *polígonos, linha e pontos*, foram armazenados individualmente (*layers* diferentes), da mesma forma que os temas. Esta individualização permite que se realizem análises tema a tema.

Outra possibilidade, é realizar mapeamentos de aptidão de uso, o qual geralmente indica os locais próprios e impróprios a um determinado propósito. Para tanto pode-se analisar um atributo em função de outro, como por exemplo, um determinado aquífero em função da ocupação urbana, relacionando estes dois temas gerando um terceiro, como as partes do aquífero que estão ocupadas. Neste caso é comumente utilizado o formato *raster*. Assim, em desejando-se realizar estudos neste sentido, os mapas ou feições gerados neste trabalho, devem ser exportados individualmente

Os sistemas GIS permitem também a criação de superfícies de distância, onde partindo de um ponto qualquer, pode-se visualizar as distâncias em metros (em trabalhos com UTM) das medidas que separam este ponto, criando uma espécie de “isolinhas de distância”. Com os arquivos digitais gerados neste trabalho pode-se realizar este procedimento, determinando a distância que possivelmente um foco contaminante esteja percorrendo o subsolo, em função da condutividade hidráulica do aquífero.

As possibilidades de análises em GIS a partir dos mapas temáticos gerados são enormes, as quais deverão prosseguir em trabalhos subsequentes.

Como produtos gerados ou resultados deste trabalho, temos três mapas temáticos digitais associados a um banco de dados alfanumérico. O Mapa hidrogeológico da Ilha

de Santa Catarina, possui as características dos aquíferos armazenadas, de maneira que a uma simples ação do *mouse* sobre o aquífero desejado, abre-se uma janela de informações sobre suas características hidrogeológicas.

O Mapa das Microbacias da Ilha, da mesma forma, está ligado a uma tabela com as características de área, perímetro e população, assim como no Mapa das Unidades especiais de Planejamento UEPs. Foram gerados paralelamente, visando subsidiar o Projeto de Pesquisa: Avaliação do Uso e Ocupação do Solo da Ilha de Santa Catarina (Dora, M. Orth – CNPq), em andamento no Laboratório de Ciências Geodésicas, os mapas mostrando a distribuição dos Sistemas de Abastecimento de Água da Ilha de Santa Catarina e Esgotamento Sanitário.

7. CONCLUSÕES

Como resultados obtidos, chegou-se à conclusão que a Ilha de Santa Catarina é abastecida atualmente em parte por águas provenientes do continente e parte por águas subterrâneas. Em um primeiro momento, devido haver uma maior concentração populacional no centro da cidade, a qual localiza-se relativamente próximo ao continente, a companhia responsável pelo abastecimento de água da Ilha, canalizou seus esforços principais em projetos construtivos de captação de água na foz do Rio Cubatão (município de Palhoça). Com o crescimento da população da Ilha, e a ocupação de outras partes da Ilha, que não o Centro da Cidade, o conhecimento da ocorrência das águas subterrâneas torna-se primordial.

Os resultados apresentados neste trabalho mostram que existe um grande potencial de abastecimento da Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, por intermédio de água subterrânea. Os mananciais subterrâneos são largamente utilizados no Mundo todo, principalmente em ilhas costeiras e oceânicas habitadas, onde os recursos hídricos superficiais de porte são escassos. Entretanto, no caso particular da área de estudos, ainda existe um desconhecimento muito grande do real potencial destes recursos, sendo este trabalho, pioneiro em relação à hidrogeologia da Ilha, como um todo.

Existem excelentes mananciais subterrâneos já protegidos por Lei à ocupação humana (APP), como as Dunas, preservando as águas subterrâneas de possíveis focos contaminantes provenientes do despejo de esgotos domésticos. Da mesma maneira

muitas Áreas de Preservação Permanente protegem também as áreas de recarga dos Aqüíferos Fraturados. Apesar disso, se estes locais forem indevidamente ocupados, ou utilizados como área receptora de esgotos domésticos ou resíduos sólidos, a qualidade destas águas para consumo humano pode ser rapidamente comprometida.

Assim, a maioria dos mananciais subterrâneos, a despeito da excelente qualidade de água para consumo humano e grandes vazões, apresenta iminente risco de contaminação se houver um mau direcionamento do esgoto doméstico, devendo estudos urgentes de maior detalhe serem executados, visando avaliar o real panorama das águas subterrâneas em locais onde isto ocorre.

Com os mapas gerados neste trabalho, assim como, com a base de dados tabular é possível avaliar-se de maneira preliminar a extensão das reservas hídricas subterrâneas, além de formar-se uma base importante para outros estudos tais como:

- ☒ Avaliação precisa do volume de água das reservas;
- ☒ Cálculo de balanço hídrico e explotabilidade de poços;
- ☒ Determinação da vulnerabilidade dos aqüíferos;
- ☒ Avaliação dos reais riscos de contaminação dos aqüíferos pelo uso e ocupação do solo;
- ☒ Considerar de maneira mais precisa sobre a capacidade de suporte da Ilha de Santa Catarina, por águas subterrâneas.

CAPÍTULO VI – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ALMEIDA TEIXEIRA, A. L. & CHRISTOFOLETTI, A. Sistemas de Informação Geográfica – Dicionário Ilustrado, Editora Hucitec, 1997.

ANDRÉ CELLIGOI & URIEL DUARTE, 1990. Hidrogeologia da Cidade de Londrina, PR. VI CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS ABAS, Porto Alegre, RS.

AYODE, J. O. *Introdução à climatologia para os trópicos*, trad. De Maria Juraci Z. dos Santos. 2. Ed. Bertrand Brasil, 1988, p. 231-234.

BAIRD, A. J. ; HORN, D. P. "Monitoring and Modelling Groudwater Behaviour in Sandy Beaches". *Journal of Coastal Research*. Florida, USA, n. 12, 1996.

BENTLEY Systems Inc. *MicroStation 95 User's Guide* – Academic Suite. Bentley Systems Incorporated, USA.

BORGES, S. F., 1996. Características Hidroquímicas do Aquífero Freático do Balneário Campeche, Ilha de Santa Catarina-SC. Dissertação de Mestrado, *Área de Concentração em Utilização e Conservação de Recursos Naturais*. Curso de Pós-graduação em Geografia, UFSC. Florianópolis, SC.

BURROUGH, P. A., 1986. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford University Press, N.Y. USA.

- CABRAL, J., 1997. Hidrogeologia Conceitos e Aplicações; Cap. III – Movimento das águas subterrâneas. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Fortaleza, CE.
- CALIJURI, MARIA LUCIA & RÖHM, S. A., 1994. Sistemas de Informações Geográficas. Universidade Federal de Viçosa, CCET, Eng. Civil, Imprensa Universitária, Viçosa, MG.
- CALIJURI, MARIA LUCIA, 1995. Sistemas de Informações Geográficas II. Universidade Federal de Viçosa, CCET, Eng. Civil, Imprensa Universitária, Viçosa, MG.
- CARUSO JR., FRANCISCO, 1987, Interferências Sobre a Migração de Ilhas-Barreira na Região da Lagoa da Conceição, Ilha de Santa Catarina. I Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. Anais pg. 277-298. Porto Alegre, RS.
- CARUSO JR., FRANCISCO, 1993. Mapa Geológico da Ilha de Santa Catarina. Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica UFRGS. Notas Técnicas n. 6.
- CECCA – Centro de Estudos Cultura e Cidadania, 1997. *Uma cidade numa ilha*. Editora Insular, Florianópolis, SC.
- CLEARY, ROBERT, 1989. *Engenharia Hidrogeológica*. Ed. Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
- COITINHO, J. B. L.; FERNANDES, E.; ISSLER, R. S., 1981. Contribuição à Geologia da Folha S6 22-2-D: Relatório da operação 8017/81. Florianópolis: projeto RADAMBRASIL (Relatório Interno RADAMBRASIL 35p.).
- COSTA, D. W. 1997. Hidrogeologia Conceitos e Aplicações; Cap. XIV – Uso e Gestão das águas Subterrâneas. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Fortaleza, CE.

- COSTA, D. W. & BRAZ SILVA, 1997. Hidrogeologia Conceitos e Aplicações; Cap. VII - Hidrogeologia dos Meios Anisótropos. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Fortaleza, CE.
- CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M. R., 1983. *Hidrologia Subterrânea*. 2^a. Ed. Ed. Omega. Barcelona.
- DARCY, H. 1956. *Les Fontaines Publiques de la Ville Dijon*. V. Dalmont, Paris.
- DAVIS, N. STANLEY, DEWIEST, ROGER, J. M. 1966. *Hidrogeology*. John Wiley & Sons, Inc., NY, USA.
- DUARTE, P. A., 1991. *Cartografia Temática*. Ed. UFSC. Florianópolis, SC.
- EASTMAN, J. R. , 1998, *Idrisi For Windows, user's guide version 2.0*. Clark University.
- FEITOSA, E. C., 1997, Hidrogeologia Conceitos e Aplicações; Cap. IV - Pesquisa de Água Subterrânea. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Fortaleza, CE.
- FOSTER, S. S. D. 1987. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. Vulnerability of soil and ground water to pollutants. TNO Committee on Hydrological Research Information. N. 38.
- FOSTER, S. S. D.; DRASAR, B. S., 1988. *Análisis de Contaminación de Las Aguas Subterráneas por Sistemas de Saneamiento Básico*. Lima, Peru. Centro Panamericano de Ingeniería sanitaria y ciencias del Ambiente - CEPIS.
- FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. 1991. Groundwater pollution risk assessment; a methodology using available data. WHO-PAHO/CEPIS.
- FREEZE, R. A., CHERRY, J. A., 1979. *Groundwater*. EPrentice Hall Inc. New Jersey, USA.

- HAUSMAN, A. - Glossário Hidrogeológico. SOP/RS/CIA T.JANER IND. e COM. Porto Alegre, RS, 166p. 1963.
- HIRATA, R; BASTOS, C. R. A.; ROCHA, G. A. R., 1990. Ground Water Pollution Risk and Vulnerability map of the São Paulo state - Brazil. International Seminar of Pollution, Protection and Control of Ground Water. Porto Alegre, p. 236-246.
- HORN F., N. O., 1987. Aspectos geológicos do nordeste da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. I Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Porto Alegre.
- FENZEL, N., 1994. Estudo de Permeabilidade em Rochas Fissuradas e Carstificadas da região de Neue Welt, Áustria. Revista Brasileira de Geociências, vol. 24 n. 1 pg. 60 a 64.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 1991. Censo Demográfico.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT, 1995. *Manual de Abastecimento Integrado*. São Paulo.
- JACOB, C. E. 1950. *Flow of Groundwater*. John Willey and Sons, Engineering Hydraulics. New York.
- KAMIYAMA, H. "Sistema local de tratamento de esgotos e a revisão da NBR 7229/82". II Seminário Sobre Sistemas de Tratamento de Esgotos nas Áreas Litorâneas. Bombinhas, SC. 1995.
- LAU, J. E.; COMMANDER, D. D.; JACOBSON, G., 1987. Hydrogeology of Australia. Department of Resources and Energy. Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics. Sydney, Australia.

- LEWIS, W. J.; FOSTER, S.S.D.; DRASAR, B.S., 1988. Análisis de Contaminacion de las Águas Subterrâneas por Sistemas de Saneamento Basico. Centro Panamericano de Ingenieria Sanitária Y Ciencias del Ambiente (CEPIS).
- LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W., 1987. Remote Sensing and Image Interpretation. 2. Ed., John Wiley & Sons, inc, USA.
- MACHADO GRANZIERA, M. L., 1993. *Direito de Águas e meio Ambiente*. Editora Ícone, São Paulo, Brasil.
- MANOEL FILHO, J., 1997. Hidrogeologia Conceitos e Aplicações; Cap. I: Água Subterrânea, Histórico e Importância. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Fortaleza, CE.
- MARISCO, N. 1997. Utilização de Plantas Cadastrais Utilizando Ortofotos Digitais. *Dissertação de Mestrado*. Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, SC.
- MARTIN, L. & SUGUIO, K., 1976. Mecanismo de Gênese das Planícies Sedimentares Quaternárias do Litoral do Estado de São Paulo. Anais, XXIX Congresso Brasileiro de Geologia, vol. I, p. 295-305.
- MEAD, D. W., 1919. *Hidrogeology*. McGraw Hill Booik Co. New York.
- MENEGAT, R. & KIRCHHEIM, R., 1998. *Atlas Ambiental de Porto Alegre, cap. 3 – lagos, rios e arroios*. p. 35 a 40. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- MENTE, A. Hidrogeologia Conceitos e Aplicações; Cap. VIII: Cartografia Hidrogeológica (Classificação e Utilização de mapas Hidrogeológicos). CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Fortaleza, CE.
- MICROSOFT PRESS, 1993. *Dicionário de Informática, Inglês-Português e Português- Inglês*. Tradução de Fernando B. Ximenes. Rio de Janeiro. Ed Campus.

- NASCIMENTO, G., F. M., ANJOS, C. E., VENEZIANI, P. 1994. Estudo Hidrogeológico da Porção Oeste do Cinturão das Águas, Sul de Minas Gerais, com o emprego de dados TM/LANDSAT-5 e utilização de Sistema de Informações Geográficas. Congresso Brasileiro de Geologia, Camboriu, SC.
- NASCIMENTO, G., G. A., 1998. Mapas e Dados em Meio Digital. Uma Aplicação à Drenagem Urbana. Bacia do Itacorubí, Florianópolis, SC. *Dissertação de Mestrado*. Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, SC.
- NOVO, EVELIN, M. L. M. 1993. Sensoriamento Remoto, Princípios e Aplicações, 2ª ed. Edgard Blucher LTDA, São Paulo, SP.
- ODA, G. H., YOSHINAGA S.; IRITANI, M. A., HASSUDA, S.; CASTRO, S. A. P. & HIRATA, R, 1990. Hidrogeologia da Folha de Salto de Pirapora, SP. VI CONGRESO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS ABAS, Porto Alegre.
- ORTH, D. M., 1991. L'Amenagement du Rhin en Alsace: Objectifs, Moyens, Consequences. *Tese de Doutorado*. Universite de Nancy II – Institute de Geographie.
- PRESS, R. & SIEVER, F. 1985. *Earth*. W. F. Freeman and Company, USA.
- PIAZZA, W. F. - *O Povoamento Açoriano de Florianópolis*. Ed. Lunardelli, Florianópolis, SC, 1991.
- ROBINS, N.S.; SNEDLEY, P. L., 1994. Hydrogeology, and hydrogeochemistry of a small hard-rock island- The heavily stressed aquifer of Jersey. *Journal of Hydrology*. Vol. 163 n. 3-4 pg. 249 a 271.
- SALAMA, R. B., TAPLEY, I., ISHII, T. and HAWKES, G., 1994. Identification of areas de recharge and discharge, using Landsat-TM satellite Imagery and aerial

- photography mapping techniques. *Journal of hydrology*, Vol 162, n. 1-2 pg 119 a 143.
- SANTOS, G. T., 1997. Integração de Informações Pedológicas, Geológicas e Geotécnicas ao uso do solo urbano em obras de engenharia. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- SANTOS, VANESSA; SULAMITA, S., 1998. Consulta Nacional sobre a Gestão do Saneamento e do Meio Ambiente Urbano. Relatório Interno com dados da CASAN sobre abastecimento de água e esgoto da Ilha de Santa Catarina. LABCIG-UFSC. Florianópolis.
- SCHEIBE, L. F. e TEIXEIRA, V. H., 1970. Mapa Topogeológico da Ilha de Santa Catarina. Porto Alegre, DNPM.
- SESAN - Serviço de Saneamento - Ministério da Saúde - Governo do Brasil. *Mananciais Disponíveis para Abastecimento de Água*. Brasília, 1997.
- SOUZA PINTO, N. L.; MARTINS, J. A.; HOLTZ, A. C. T.; GOMIDE, F. L. S., 1976. *Hidrologia Básica*. Edgard Blücher, SP.
- STAR J. & ESTES, J. 1990. *Geographic Information Systems, an introduction*. Prentice Hall, Inc, USA.
- SUGUIO, K. 1973. *Introdução a Sedimentologia*. Ed. Edgard Blücher LTDA, São Paulo, SP.
- SUGUIO, K. & MARTIN, L. 1976. Presença de tubos fósseis de *Callianassa* nas formações quaternárias do litoral paulista e sua utilização na reconstituição paleoambiental. *Boletim do Instituto de Geociências, São Paulo, USP/IGEO*.

- THEIS, C. V., 1935. The relation between the lowering of piezometric surface and the rate and duration of discharge of well using ground water storage. TransAmerica Geophysics Union.
- THIEM, A., 1906. *Hidrologische Methoden*. Leipzig Gebhardt.
- TOMAZELLI, L. J, VILWOCK, A., LOSS, E. L., DEHNHARDT, A., 1985. Aspectos da geomorfologia costeira da região de Osório-Tramandaí, RS. I Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Porto Alegre.
- UNESCO, 1983. International Legend for Hydrogeological Maps. *UNESCO, Paris*.
- U.S. Geological Survey, 1987, Hawaii Advisory Commission on Water Resources. National Water Summary, USA.
- VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J.; LOSS, E. L.; DEHNARDT, E. A.; HORN F., N. O.; BACHI, F. A. & DEHNHARDT, B. A., 1987, Geology of The Rio Grande do Sul Coastal Province. In RABASA, J., ed. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula, A. A. Balkema Publishers, Rotterdam.
- ZANNINI, L. F. P., BRANCO, P. M., CAMOZATTO, E., RAMBGRAB, 1991. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Folha Florianópolis SG-22 -Z-D-V e Lagoa SG-22-Z-D-VI, escala: 1:100.000. Santa Catarina, DNPM-CPRM, Brasília.