



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
GESTÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL

ÁREAS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL PARA POÇOS DE
ABASTECIMENTO PÚBLICO EM AQÜÍFEROS
COSTEIROS

Alexandre Guedes Junior

Florianópolis, junho de 2005.

ALEXANDRE GUEDES JUNIOR

**ÁREAS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL PARA POÇOS DE
ABASTECIMENTO PÚBLICO EM AQUÍFEROS COSTEIROS**

*TESE SUBMETIDA AO CURSO DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA
CATARINA EM CUMPRIMENTO AOS REQUISITOS
PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE DOUTOR EM
ENGENHARIA*

Orientador: PROF. DR. MARCUS POLETTE

Florianópolis, 2005.

ALEXANDRE GUEDES JUNIOR
ÁREAS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL PARA POÇOS DE
ABASTECIMENTO PÚBLICO EM AQUÍFEROS COSTEIROS

*Esta TESE foi julgada e aprovada para obtenção do grau de **DOUTOR** em Engenharia, pelo Programa de Pós - Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina.*

Florianópolis, 30 de junho de 2005.

Prof. Dr. Edson Pacheco Paladini,
Coordenador do Programa

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcus Polette
Oceanógrafo/Geógrafo, PPGE
Universidade Federal de Santa Catarina
ORIENTADOR

Prof. Dr. Edis Mafra Lapolli
Eng. Civil, PPGE
Universidade Federal de Santa Catarina
MODERADOR

Dr. Liane Silva Bueno
Eng. Civil – MEMBRO EXTERNO

Prof. Dr. Nelson Infanti Jr.
Geólogo, ECV - MEMBRO
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Efigênia Soares Almeida
Eng. Geóloga - MEMBRO EXTERNO
Universidade do Vale do Itajaí

Prof. Dr. Alexandre Ávila Lerípio
Agrônomo, PPGE - MEMBRO
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

O autor gostaria de expressar aqui seus sinceros agradecimentos a todos aqueles que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho:

Em primeiro lugar aos meus pais, irmã, e antepassados, sem os quais eu não estaria aqui para desenvolver esta Tese.

À Universidade Federal de Santa Catarina, através do Curso de Pós Graduação em Engenharia de Produção pela oportunidade;

A Universidade do Sul de Santa Catarina, UNISUL, a qual me apoiou através da Fundação ACADE, nos primeiros anos.

Ao exemplarmente competente Professor Orientador e amigo Marcus Polette, por sua orientação, compreensão e apoio;

A querida amiga e também exemplarmente competente Professora Edis Mafra Lapolli, pelo precioso período de orientação, nos quais trago além da convivência profissional uma grande amizade;

A minha primeira orientadora de Tese, Professora Dora Orth, cuja convivência desde os tempos de mestrado, muito colaboraram para minha formação profissional;

Aos demais professores da banca: Prof. Dr. Alexandre Ávila Lerípio, Prof. Dr. Efigênia Soares Almeida, Dr. Liane Silva iBueno e Prof. Dr. Nelson Infanti Jr, muitos dos quais tenho como amigos pessoais e muito contribuíram no conteúdo deste trabalho.

Aos demais amigos e colegas, sintam-se todos homenageados, pois todos foram importantes neste processo, meu muito obrigado!

GUEDES JUNIOR, ALEXANDRE. ÁREAS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL PARA POÇOS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO EM AQUÍFEROS COSTEIROS. Florianópolis, 2005. Tese de Doutorado. Programa de Pós – Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, Santa Catarina.

RESUMO

O modelo de desenvolvimento econômico global vigente tem trazido profundas transformações sociais e ambientais onde já não é mais possível ignorar ou desconsiderar o seu caráter predatório e devastador, sendo necessário conhecer cada vez mais profundamente as relações homem – natureza para que se possam impor limites ou condicionantes mais claros e efetivos. Este aspecto torna-se ainda mais relevante com relação à água, pois esta é fundamental à vida humana. Segundo estudos realizados pela UNESCO, oito milhões de pessoas morrem a cada ano no mundo por doenças e desastres ligados à qualidade e ao abastecimento de água, se considerando o abastecimento de água potável o maior desafio do século 21. O rápido processo de urbanização da costa brasileira, por exemplo, sem um acompanhamento adequado de medidas estruturais, faz com que sejam lançados efluentes domésticos e industriais no subsolo, o que aliado a um bombeamento excessivo dos poços de captação de água, pode inviabilizar o uso futuro dos mananciais subterrâneos. A atual Política Nacional de Recursos Hídricos a qual se baseia na bacia hidrográfica como unidade de gestão, torna-se de difícil aplicação no caso dos aquíferos costeiros, pois as águas subterrâneas neste caso, pouco ou nada tem a ver com este tipo de morfologia do terreno. Assim, esta Tese apresenta a caracterização geral dos aquíferos costeiros brasileiros e suas peculiares características hidrogeológicas e hidráulicas, em particular o raio de influência de bombeamento de poços, pois se entende que com o conhecimento do comportamento destes mananciais é possível estabelecer um método científico de proteção das águas subterrâneas e aproveitamento destes recursos hídricos sob a ótica do desenvolvimento sustentável. Para tanto foi realizada uma descrição destes mananciais em escala continental, levantamentos de campo em áreas específicas da costa e um estudo mais aprofundado na Ilha de Santa Catarina, sendo abordadas questões como a densificação urbana, incremento na demanda por água, uso intensivo de recursos hídricos subterrâneos e falta de políticas e ações visando à proteção destes. A partir dos dados levantados é proposta uma metodologia de estabelecimento de áreas de proteção de poços de abastecimento público que captam água em aquíferos costeiros. Para validar o método, foi analisado um experimento prático, ou teste de aquífero. Neste sentido, buscou-se subsidiar a legislação pertinente sobre os recursos hídricos, objetivando um ordenamento da ocupação dos espaços da costa sob a ótica do desenvolvimento sustentável.

PALAVRAS CHAVE: água subterrânea; aquíferos costeiros; poços para captação de água; áreas de proteção.

GUEDES JUNIOR, ALEXANDRE. **ÁREAS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL PARA POÇOS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO EM AQUÍFEROS COSTEIROS**. Florianópolis, 2005. Tese de Doutorado. Programa de Pós – Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, Santa Catarina.

ABSTRACT

The global model of economic development has brought deep social and environmental transformations where already it is not more possible to ignore or to disrespect its predatory and devastador character, being necessary to know each time more deeply the relations man - nature so that is possible to impose clearer and effective limits. This aspect becomes still more important relating the water, therefore this it's basic to the human's life. According to studies carried by UNESCO, eight million people die each year in the world for illnesses or disasters related to the quality of the water supply, considering the potable water supply the greatest challenge of the 21 century. The fast process of urbanization of the Brazilian coast, for example, without an adequate accompaniment of structural actions, makes with domestic seepage and industrials effluent being launched underground, what together whith an large water well pumping, can make impracticable the future use of the ground water sources. The current National Politics for Hydrical Resources which is based on the river's basins as unit of management, becomes of the difficult application in the case of the aquifers of the coastal zones, therefore the groundwaters in that case, little or nothing has to see with this type of morphology of the land. Thus, this Thesis presents the general characterization of the coastal brazilian aquifers and its peculiar hydrogeological and hydraulical characteristics, in particular the ray of influence of pumping wells, therefore it understands that with the knowlege of the behavior of these sources it is possible to establish a scientific method for protection of groundwaters and exploitation of these hydrical resources under the optics of the sustainable development. For that, was carried through a description of these sources, in a continental scale, local studies in specific areas of the coast and a deepened study in the Santa Catarina Island, being pointed questions as the dense urban process, increment in the demand for water, intensive use of groundwater and lack of politics and action aiming at to the protection of these. From the gained data, is proposal an methodology of establishment of areas for protection for public supplying wells. To validate the method, a practical experiment, or aquifer test was analyzed. In this direction, searches to subsidize the pertinent legislation on the hydrical resources, objectifying a order of the occupation of the spaces of the coast under the optics of the sustainable development.

KEY WORDS: ground water, coastal aquifers; water wells; protection areas.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

TEMA E PROBLEMA DA PESQUISA _____	10
HIPÓTESES OU PREMISSAS DESTE TRABALHO _____	12
JUSTIFICATIVAS _____	13
OBJETIVOS DA TESE _____	15
Objetivo Geral _____	15
Objetivos Específicos _____	16
METODOLOGIA UTILIZADA NA PESQUISA _____	16

CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O DESENVOLVIMENTO SOB A ÓTICA CAPITALISTA E A SOCIEDADE

OCIDENTAL _____	20
A EVOLUÇÃO DO PENSAMENTO COM RELAÇÃO AO MEIO AMBIENTE _____	23
Reflexões sobre a evolução do pensamento ambientalista até 1900 _____	23
As Ilhas Galapagos _____	25
Evolução do pensamento ambientalista nos séculos XX e XI _____	27
Concepção da Terra como organismo vivo _____	29
Desenvolvimento Sustentável _____	30
A ÁGUA _____	33
A história do uso da água _____	33
Hidrogeologia _____	47
CONSIDERAÇÕES BÁSICAS SOBRE O MOVIMENTO DA ÁGUA EM MEIOS POROSOS _____	51

Parâmetros Hidrogeológicos	52
Parâmetros Hidráulicos	55
Transmissividade	55
Raio de Influência dos Poços	57
CRITÉRIOS PARA DELIMITAÇÃO DOS PERÍMETROS E ÁREAS DE PROTEÇÃO DE POÇOS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA	61
OS AQUIFEROS COSTEIROS BRASILEIROS	65
Maceió	67
Planície do Recife	68
Riscos de contaminação das águas subterrâneas em aquíferos costeiros	69
Vulnerabilidade dos aquíferos	74
A OCUPAÇÃO DA COSTA BRASILEIRA	77
Distribuição populacional	77
A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA COM RELAÇÃO AOS RECURSOS HÍDRICOS	80
A Norma Constitucional e o Código de Águas	80
Licenciamento Ambiental e as águas subterrâneas	86
Legislação Ambiental Brasileira sobre águas	87

CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

DESCRIÇÃO GERAL DOS AQUIFEROS COSTEIROS BRASILEIROS	92
Características geológicas e geomorfológicas	92
Caracterização hidrogeológica geral dos aquíferos costeiros	96
A inclusão do Grupo Barreiras no Sistema Aquífero Costeiro Brasileiro	101
LEVANTAMENTOS DE CAMPO EXECUTADOS	104
Itajaí, SC.	105
Praia do Campeche, Florianópolis, SC.	106
Observações sobre o problema de pesquisa na Ilha de Santa Catarina	109
Geologia	113

Hidrogeologia da Ilha de Santa Catarina	117
Sistema Aquífero Sedimentos Inconsolidados - SISTEMA AQUÍFERO COSTEIRO BRASILEIRO	118
Sistemas de abastecimento de água existentes na Ilha de Santa Catarina e as águas subterrâneas	125
Esgotamento Sanitário	128
A ocupação humana e riscos de contaminação das águas subterrâneas na Ilha de Santa Catarina	129
MÉTODO PROPOSTO: O RAIOS DE INFLUÊNCIA E A DEFINIÇÃO DE ÁREAS DE PROTEÇÃO DE POÇOS	132
Problemática de obtenção dos parâmetros hidráulicos, na prática	134
O caso específico dos aquíferos costeiros	136
Proposta metodológica	137
VALIDAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO	139
Curvas características do poço	144
Análise dos dados do teste	158
Transmissividade	158
Rebaixamentos teóricos	162
Efeito do Bombeamento do Poço 1 sobre o Poço 2	163
A POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS E SUA APLICAÇÃO NO CASO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM AMBIENTES COSTEIROS	165

CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONCLUSÕES	169
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	174

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

TEMA E PROBLEMA DA PESQUISA

A visão com relação ao meio ambiente tem mudado ao longo dos anos, conforme a evolução do ser humano. De algo desafiador que devia ser superado e suplantado pelos antigos, de matéria prima para a indústria ou algo que está na “nossa volta” do qual não fazemos parte, vemos hoje a natureza como o conjunto de todas as coisas, o ar a água, os animais, plantas, incluindo o homem. Neste sentido, firma-se cada vez mais o conceito de desenvolvimento sustentável, onde nossa passagem pela Terra deve garantir a qualidade ambiental para a presente e para as futuras gerações. Agredir ao meio ambiente é prejudicar a nós mesmos; precisamos da água do ar, das plantas e dos animais. Tudo é interligado e não há outro lugar conhecido para viver que não a Terra. Da teoria para a vida prática, a manutenção da qualidade ambiental ou o desenvolvimento sustentável não é algo que se vislumbra dentro do cenário atual. A utilização indiscriminada dos recursos naturais sob a bandeira do desenvolvimento econômico, a geração de resíduos e disposição inadequada no meio ambiente, configura-se como um modelo predatório de desenvolvimento da qual nossa própria espécie é causadora e vítima ao mesmo tempo.

A água sempre teve um significado profundo para o homem. Como fonte da vida, substancia medicinal, como fluido purificador. Talvez por essa visão “purificadora da água” criamos a cultura que qualquer coisa jogada nas águas, principalmente dos rios e oceanos, seria naturalmente purificada por elas. Este hábito profundamente enraizado nos antigos levou a um

estado atual de degradação alarmante dos recursos hídricos da Terra. Nos últimos anos se deu um grande avanço no sentido de se entender que apesar de renovável, a água é um bem finito e vulnerável. Sua escassez ou contaminação em grande escala pode levar a um verdadeiro colapso da vida no Planeta como conhecemos.

Os mananciais subterrâneos de água também sofrem com a degradação da qualidade das águas. Com cerca de 97% da água doce, no estado líquido se encontrando nos aquíferos, não se pode mais ignorar a grande importância que estes mananciais representam. Na costa brasileira, por exemplo, muitas cidades abastecem a maioria da população por intermédio de água subterrânea. Entretanto, pouca importância se dá à questão da infiltração de esgotos domésticos e outros tipos de efluentes nestes mananciais. Como na costa do Brasil os aquíferos são representados por depósitos arenosos de com alta permeabilidade, muitas vezes a população, por falta de opções em termos de saneamento, opta por infiltrar os esgotos ou outros resíduos por intermédio de fossas e sumidouros. Este fato ocorre justamente pela boa absorção que o solo arenoso oferece. O que ocorre é que justamente essa boa permeabilidade das areias pode levar a uma carga poluente a entrar rapidamente em contato com as águas subterrâneas que em última instância é captada para servir a própria população. Neste sentido, o problema que se apresenta é que a falta de conscientização sobre a fragilidade destes mananciais pode levar a invisibilização de seu uso por esta ou por futuras gerações.

Norteados por esta premissa, este trabalho busca então caracterizar em escala nacional os aquíferos que ocorrem na costa do Brasil, suas principais características, a questão do uso destes mananciais frente ao crescimento da população e da conseqüente demanda por água.

Na determinação das características destes mananciais, além de extenso levantamento bibliográfico, foram levantados também dados de campo em pontos específicos da costa. A partir dos dados obtidos e das análises realizadas a luz da legislação pertinente sobre o assunto, como a

Política Nacional de Recursos Hídricos, é proposto o estabelecimento de áreas de proteção para os poços de abastecimento público, baseados nas características hidrogeológicas e hidráulicas próprias destes mananciais.

HIPÓTESES OU PREMISAS DESTE TRABALHO

O modelo de desenvolvimento da costa brasileira é impactante sobre os recursos hídricos subterrâneos, no sentido em que não há um conhecimento generalizado com relação aos mananciais que ocorrem na costa. Este fato torna frequentes os casos de utilização inadequada destas águas, com seu uso intensivo crescente e com a disposição de resíduos e efluentes contaminantes no subsolo o que pode levar a degradação da qualidade das águas subterrâneas dos aquíferos costeiros.

Um estudo sobre os aquíferos que ocorrem ao longo da costa deve apresentar primeiramente a extensão de ocorrência em escala adequada, conjuntamente com suas características hidrogeológicas comuns. Contudo, devido a grande extensão da costa brasileira um estudo deste tipo poderia cair em generalidades, sendo necessário aprofundar ou detalhar as características destes mananciais. Neste sentido, torna-se importante coletar dados de campo, através de experimentos práticos para determinação mais precisa dos parâmetros hidrogeológicos e também hidráulicos destes aquíferos. Estes procedimentos permitem a confirmação dos dados de bibliografia.

Devido à fragilidade dos aquíferos costeiros e os riscos de contaminação das águas subterrâneas é necessária a proposição de um método de proteção de poços de captação de água subterrânea e também a validação do método proposto.

Tem-se também como hipótese que para que este estudo se torne completo, é importante uma abordagem sobre as leis relativas à água, aprofundando a análise com relação às águas subterrâneas, principalmente se analisando a política nacional vigente, a qual se entende que não é totalmente adequada ao caso dos aquíferos costeiros. Desta maneira, acredita-se que este trabalho possa subsidiar a Política Nacional de Recursos Hídricos, fundamentado nas bases estabelecidas pelo desenvolvimento sustentável.

JUSTIFICATIVAS

Segundo estudos realizados pela UNESCO, oito milhões de pessoas morrem a cada ano no mundo por doenças e desastres ligados à qualidade e ao abastecimento de água, sendo considerado o abastecimento de água potável o maior desafio do século 21. Se realmente ocorrerem as perspectivas de declínio das reservas de água potável na taxa de 1% ao ano, como prevê o Instituto Worldwach (WWI, 2003), pode-se antever que em 50 anos teremos metade das reservas de água potável de hoje.

Dentre as fontes de água existente no mundo, as águas subterrâneas ou água dos sistemas aquíferos, abrangem aproximadamente 97% da água doce do planeta no estado líquido, enquanto que os recursos hídricos superficiais (rios e lagos) correspondem a apenas 3%.

Os aquíferos costeiros brasileiros; denominados comumente de “lençol freático” têm sido captados pela população residente do litoral por pequenos poços rudimentares chamados de “ponteiras” ao longo de muitos anos. A existência destes aquíferos permitiu o crescimento de muitas cidades litorâneas, pois são aquíferos livres, de nível freático bastante superficial que apresentam água de excelente qualidade, com baixo custo de captação, facilitando captações individuais, independente da presença de uma empresa concessionária de água.

Uma análise em escala continental permite observar que estes mananciais subterrâneos ocorrem repetidamente ao longo da costa atlântica sul – americana. Ainda assim, estudos versando sobre o comportamento hidrogeológico da costa atlântica sul – americana são raros, resumindo-se a estudos locais, quando existentes. O resultado disto é que o real potencial destes mananciais é desconhecido pela maioria da população e mesmo ignorado pelo meio técnico, sendo superexplorados e contaminados indiscriminadamente. Despejos de efluentes industriais, infiltração de esgotos domésticos, vazamentos de tanques combustíveis, são alguns exemplos de como estes mananciais podem ser contaminados.

Os poços de abastecimento público, muitas vezes sofrem com a pressão da urbanização acelerada, ficando cercados por edificações. Com a carência de um destino adequado dos esgotos e etc, muitos destes poços são colocados em risco, devido a eminente contaminação das águas subterrâneas.

Outro aspecto a salientar é a questão da Política Nacional de Recursos Hídricos. O Governo brasileiro, através da Lei 9433 de 1997, estabeleceu a política nacional relativa à água a qual, foi considerada um avanço em termos de gestão da água. No entanto, esta Lei baseia-se nas características dos corpos d’água superficiais, pouco se referindo às águas subterrâneas e sendo de difícil aplicação na questão da proteção ou uso sustentável das águas subterrâneas costeiras.

Áreas de proteção ambiental são áreas de uso restrito onde se procura preservar algum bem natural específico ou vários, no caso, um ecossistema. Especificamente com relação às águas subterrâneas em aquíferos costeiros, torna-se difícil a proteção integral do manancial, pois ocorrem numa faixa de planície bastante extensa, ao longo da costa brasileira. Entretanto, tendo-se como base um procedimento científico, é possível se estabelecer áreas que venham a proteger os poços de abastecimento público que captam água destes mananciais.

OBJETIVOS DA TESE

Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é propor um método para estabelecimento de áreas de proteção ambiental para os poços de abastecimento público que captam água dos aquíferos costeiros brasileiros, baseado nas características próprias dos mananciais subterrâneos, o qual possa subsidiar um ordenamento da ocupação dos espaços da costa sob a ótica do desenvolvimento sustentável.

Objetivos Específicos

- ? Apresentar em escala adequada os aquíferos costeiros sedimentares brasileiros;
- ? Descrever as características hidrogeológicas gerais destes aquíferos;
- ? Aprofundar o estudo através de levantamentos de campo e estudo de caso;
- ? Propor e validar um método de estabelecimento de áreas de proteção dos poços de abastecimento público, baseada nas características hidrogeológicas e hidráulicas dos aquíferos costeiros;
- ? Subsidiar a Política Nacional de Recursos Hídricos tendo como objeto de análise as águas subterrâneas em ambientes costeiros.

METODOLOGIA UTILIZADA NA PESQUISA

Na **apresentação em escala adequada dos aquíferos costeiros sedimentares brasileiros**, partiu-se do Mapa Hidrogeológico do Brasil, escala 1:5.000.000 (CPRM, 1983). Neste mapa estão agrupadas diversas províncias hidrogeológicas, e estas subdivididas em sistemas aquíferos, os quais englobam rochas ou solos de características hidrogeológicas semelhantes. Este mapa apresenta a Província Hidrogeológica Costeira, envolvendo seqüências sedimentares de idade cretácea, terciária e quaternária, tais como rochas sedimentares conglomeráticas e seqüências sedimentares inconsolidadas, principalmente areias derivadas das

oscilações marítimas dos últimos 150.000 anos. Para o entendimento e caracterização preliminar, foi utilizado também o Mapa Geológico do Brasil, escala 1:5.000.000, em ambiente GIS (CPRM, 2001).

Descrevendo-se **as características hidrogeológicas gerais destes aquíferos**, utilizaram-se também os mapas citados, extraindo-se destes as características geológicas ocorrentes na costa. (características geológicas das diversas formações que compõem a Província Hidrogeológica Costeira). Com este material, se interpretou as características hidrogeológicas das mesmas, ou seja, a capacidade de armazenar e transmitir água subterrânea. Também se estudou uma série de artigos científicos apresentados em Congressos Nacionais de Águas Subterrâneas (Congressos da ABAS - Associação Brasileira de Águas Subterrâneas e da ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos). Além de artigos pertinentes ao assunto publicados na Revista Brasileira de Águas Subterrâneas da ABAS.

Complementando o trabalho de escritório, visitou-se a região costeira dos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Bahia, Alagoas e Rio Grande do Norte. Nestes locais foram feitas diversas tomadas fotográficas, observado o modelo de abastecimento de água doméstico, a disposição de esgotos e os problemas mais comuns relativos ao assunto.

Utilizou-se também na confirmação das características hidrogeológicas destes aquíferos, **levantamentos de campo** realizados por este autor em pontos específicos da costa. Estes levantamentos foram realizados na Praia Brava, Itajaí, SC; Praia do Campeche, Florianópolis, SC. Os levantamentos de campo se consistiram de ensaios técnicos e coleta de amostras para análise em laboratório.

Em Itajaí, SC, foram executados dois ensaios de permeabilidade em campo, com perfuração de poços de experimentação. Foi utilizado trado manual, e uma tubulação de material PVC, cravada até o nível freático, sendo então calculado o volume do tubo. O tubo foi então

preenchido com água, e monitorado o tempo de infiltração, com os resultados anotados em uma tabela específica.

Em Florianópolis, SC, mais especificamente na Praia do Campeche, foram executados duas perfurações com trado manual, visando à determinação do nível freático do aquífero e sua permeabilidade. Efetuou-se coleta de material para análise granulométrica em laboratório e assim uma caracterização detalhada do meio aquífero.

Também em Florianópolis, especificamente na sua porção insular, a Ilha de Santa Catarina, se exemplificou o problema de pesquisa, detalhando-se o modo de ocorrência dos mananciais subterrâneos, a situação do esgotamento sanitário, a urbanização e os riscos de contaminação das águas subterrâneas.

Com base nos dados obtidos, foi possível **propor uma metodologia de estabelecimento de áreas de proteção dos poços de abastecimento público, baseada nas características hidrogeológicas e hidráulicas dos aquíferos costeiros**, onde se procura delimitar cientificamente uma área de proteção em torno dos poços de captação de água. Esta metodologia é baseada nas características hidráulicas destes aquíferos, ou seja, a resposta do meio geológico frente ao bombeamento de poços. Destas características, é destacado principalmente o raio de influência dos poços.

Na **validação do método proposto**, se utilizou um experimento de campo, realizado em Palhoça, SC, (na planície costeira, junto a Serra do Mar), o qual foi consistido de 2 poços tubulares de 6" de diâmetro onde se efetuou um "teste de aquífero". O teste de aquífero constituiu-se de um bombeamento contínuo realizado com quatro estágios de vazão crescente (degraus), com duas horas de duração cada uma das três primeiras e o quarto estágio na vazão ideal de ser extraída até completar 1800 minutos, ou 30 horas de duração. Este bombeamento foi feito em apenas um dos poços, enquanto no outro era controlado o nível de água. Antes do teste

foi executada uma avaliação preliminar de 2 horas de bombeamento na máxima vazão possível de ser extraída pela bomba, medindo-se o comportamento da coluna de água do poço de modo que esta ficasse em equilíbrio, ou seja, cessando os rebaixamentos, o que indicaria ser esta a vazão ideal de bombeamento contínuo. Os dados do teste, tanto durante o bombeamento, quanto na recuperação dos níveis de água (tanto do poço bombeado como do de monitoramento) foram anotados em planilhas individuais.

Dos resultados do teste se calculou os parâmetros hidráulicos, tais como a transmissividade, o coeficiente de armazenamento e o raio de influência de poços. O Raio de influência de poços tubulares profundos (poços em atividade) é cientificamente conhecido e utilizado em uma série de cálculos hidrogeológicos e de engenharia. Da análise do teste foi ressaltado o cone de depressão (raio de influência) gerado por poços de bombeamento. Neste cone de depressão a água subterrânea é forçada para dentro do poço a uma velocidade maior que o fluxo subterrâneo natural. A partir desta característica então é proposto um raio mínimo de proteção em torno dos poços de estabelecimento público, o qual deve ser designado como Área de Proteção Permanente.

Para subsidiar a Política Nacional de Recursos Hídricos tendo como objeto de análise as águas subterrâneas em ambientes costeiros, e apresentar as conclusões do trabalho, analisou-se primeiramente a situação legal atual, relativa ao assunto, através de Constituição Brasileira (BRASIL, 1988) e a seguir a própria Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9433/1997). Pesquisaram-se também as resoluções do CONAMA a respeito do assunto e diversos artigos e tese sobre o assunto, destacando-se a Tese de Doutorado de HUGUENEY IRIGARAY, 2003.

CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O DESENVOLVIMENTO SOB A ÓTICA CAPITALISTA E A SOCIEDADE OCIDENTAL

Descreve-se neste item, um breve histórico das raízes e evolução da sociedade ocidental a qual estamos inseridos, objetivando embasar a hipótese da necessidade da adoção de práticas e tecnologias sustentáveis relativas à água, no momento atual e futuro.

No império romano, unificado por Júlio César em 44 A.C., existia um conceito de desenvolvimento baseado na conquista de novas terras e na escravidão dos povos derrotados para que estes trabalhassem no campo e alimentassem o império. Roma apresentou para a época avanços de organização social imenso e o império ainda durou aproximadamente 400 anos. Não haviam grandes preocupações com a melhora tecnológica na produção de alimentos ou mesmo na medicina, apesar da notável organização das cidades. A maior preocupação era mesmo a defesa do império contra as invasões dos bárbaros (PINSKY, 2001). Contudo, a falta de conhecimento com relação à natureza levou a grandes crises na produção de alimentos em épocas de ocorrências climáticas extremas, o que combinada a ocorrência de epidemias, acabou dizimando um terço da população romana, permitindo as invasões dos Vândalos e Visigodos que acabaram por fragmentar o império pondo fim a uma organização social construída em 800 anos; iniciada ainda muito antes do Império (FRANCO JUNIOR, 1986). Segue-se então a chamada Idade Média, onde a estagnação e inércia cultural predominam na Europa Ocidental. Após a queda

Roma, sobrevive o Império Bizantino no oriente, com a cidade de Constantinopla como destaque, graças à resistência do Imperador oriental Justiniano. Na Europa ocidental a organização social baseava-se na agricultura e no escambo, não havendo mais moedas. Saques, invasões e a desorganização da estrutura social eram marcantes, além disto, o conhecimento estava estagnado e a ignorância e o misticismo dominavam. A expectativa de vida era de 30 anos e não havia muitos conhecimentos sobre higiene, ressaltando-se que milhões de pessoas morreram durante a idade média por doenças de veiculação hídrica, (PINSKY, op. cit.). Com o final das devastações causados por Vikings, Húngaros e Muçulmanos e alguns avanços tecnológicos, como o uso de animais arando o campo e o rodízio de culturas, houve um aumento da produção agrícola. Logo se inventou o moinho, com uso da energia eólica aumentando a produção de óleos, tecidos e a moagem de grãos. Já no início do milênio (ano 1000) a expectativa de idade passa então de 30 para 50 anos e em 1300 voltam as moedas e a urbanização se intensifica, fortalecendo-se as monarquias nacionais, como a França e Inglaterra (HAUCORT, 1994).

Nota-se com esta breve retrospectiva que em aproximadamente 1000 anos, após a queda do Império Romano a sociedade ocidental estagnou-se sendo inventado com destaque apenas o moinho! Apesar deste pequeno avanço, a população carecia ainda de conhecimentos sobre a natureza, constantemente esgotando os solos pela produção agrícola. Além disto, os hábitos de vida das pessoas não eram muito higiênicos com relação à água, culminando com a peste negra que é uma combinação de peste bubônica com peste pneumônica, dizimando grande parte da população e levando a necessidade do desenvolvimento da medicina e de hábitos mais saudáveis de vida (HAUCORT, 1994).

A partir de 1500, entramos na chamada Idade Moderna com a Europa ocidental passando a dominar o mundo, através do uso da bússola, navegação oceânica e a pólvora com seu poder devastador. O desenvolvimento da modernidade teve ainda fatores menos evidentes, como

a invenção da imprensa em 1450 e a popularização dos relógios em 1650, alterando a cultura do tempo (LOBATO, 1995). Começa na Alemanha a Revolução Protestante que acaba com a uniformidade religiosa da Idade Média e fomenta o individualismo e a racionalidade. Entre 1600 e 1789 ocorreu a revolução intelectual que culminou com o Iluminismo, ou exaltação da razão. Em 1778, ocorre a revolução Francesa em busca da liberdade, igualdade e fraternidade. Junto a esta, inicia na Inglaterra a Revolução Industrial, com o uso do vapor e os teares mecânicos a qual evolui para a utilização da eletricidade no final do século XIX e a produção em série dos anos 1930, chegando na Segunda metade do século XX com a automação e o capitalismo moderno (ROBSBAWN, 2003).

Destaca-se neste ponto, a utilização do carvão como força motriz a partir do aperfeiçoamento da máquina a vapor que além de ampliar a capacidade de produção industrial, implantou ferrovias e facilitou o transporte marítimo, de tal forma que ficou fácil buscar matéria prima e fornecer produtos acabados para o mundo inteiro. Com a revolução industrial uma verdadeira expansão imperial começava (HEILBRONER & CABRAL, 1987). Assim como Roma antiga, a Europa como um todo, liderada pela Inglaterra inicia uma expansão e dominação econômica nunca antes visto. A revolução Industrial começou com os teares e logo alcançou o processo de produção do aço. Inventou-se o dínamo que substituiu o vapor na geração de eletricidade e a indústria automobilística e a produção de carros em série (ROBSBAWN, 2003).

A expansão iniciada na Inglaterra continuou firme até os dias de hoje com o propósito de aumentar a produção a qualquer custo e de dominar os mercados a qualquer preço. A busca incessante pelo lucro e o processo de retirar do planeta matéria prima para as indústrias, incluindo-se aí a água, desperdiçando na extração, tratamento, transporte e distribuição, expelindo no final lixo e poluição descontrolada é a linha seguida pelo sistema capitalista que ainda persiste no mundo inteiro. Com este procedimento, apelidado de Capitalismo Selvagem,

atualmente se destrói a natureza mais do que em qualquer outra época da humanidade. A cada ano, navios derramam cerca de 600 toneladas de óleo no mar; Nos países ditos desenvolvidos, a geração de lixo deve aumentar de 4 a 5 vezes até 2025, enquanto nos países em desenvolvimento, menos de 10% do esgoto é tratado. Se nada for feito, para reverter esta situação, por volta de 2025 o Planeta estará sufocado por lixo e esgoto, enquanto 1/3 dos países não terão água potável para beber (WWI, 2003).

A EVOLUÇÃO DO PENSAMENTO COM RELAÇÃO AO MEIO AMBIENTE

Reflexões sobre a evolução do pensamento ambientalista até 1900

A breve retrospectiva do item anterior deixou proposadamente a questão ambiental e em específico, a água, a margem do relato, pois se crê que a questão merece uma atenção a parte: Apesar de evidentemente fazer parte da natureza, o homem pouco buscou ao longo das chamadas idades antiga e média, compreender a natureza e harmonizar o conceito de desenvolvimento com respeito ao meio natural. O desafio de “vencer a natureza” ou a lei do mais forte, conquistando e transformando ambientes, por mais inóspitos que parecessem, sempre foi a tônica da humanidade, pouco se importando com as relações e a importância da manutenção da vida de outras espécies ou da qualidade da água, que por princípio, é fonte de vida.

Com relação aos estudos da natureza, temos os filósofos e naturalistas gregos como Aristóteles, ou romanos como Plínio, como os primeiros destacadamente a estudarem e listarem os tipos de organismos conhecidos em suas épocas e esboçaram esquemas para classificá-los. Estes trabalhos faziam parte da "Filosofia natural", no longo período em que as ciências naturais não se separavam claramente da percepção religiosa ou mística (MICHELET, 2003).

Bem mais recentemente, ainda que deixando o homem num plano à parte da natureza, o entendimento do nosso planeta como um sistema em que haveria uma conexão entre as espécies começou a ser desenhada com os primeiros estudos biológicos com relação às comunidades animais, no século XIX, chamada de ecologia. A palavra ecologia deriva do grego oikos, que significa "lar", estabelecidas em 1866, pelo biólogo alemão Ernst Haeckel, como "a ciência das relações entre o organismo e um mundo externo circunvizinho" (DELEAGE, 1993).

É importante destacar no século XIX a figura de Charles Darwin, o qual publicou, em 1859, sua teoria da origem das espécies pela via da seleção natural.

Darwin, por ocasião do lançamento de sua teoria, tinha 50 anos de idade, e suas idéias revolucionárias eram resultado de estudos e dados coletados ao longo de uma longa expedição marítima e científica de volta ao mundo, a qual iniciou no ano de 1831 com o navio Beagle.

Na lenta navegação ao longo da costa da América do Sul, o naturalista encontrou nos pampas argentinos seus primeiros fósseis, descobrindo restos de grandes animais que já não existiam. Observou então que, apesar da crença generalizada sobre o recente nascimento da Terra já com o formato atual, o planeta, bem como a vida nele, havia evoluído durante muito tempo, antes de assumir as características do presente. Concluiu a partir daí, baseando-se no estudo da geologia, que todas as formas de vida sobre a Terra seriam derivadas de modificações lentas e graduais (DARWIN, 1985).

As Ilhas Galapagos

Ao final dessa incursão sul-americana o Beagle aportou no arquipélago de origem vulcânica Galapagos. Galapagos situa-se a mil quilômetros do Equador, e pode-se dizer que suas ilhas constituem um mundo à parte. Não é sem motivo que suas características excepcionais em relação a sua flora e fauna transformaram essas ilhas em uma reserva biológica mundial (Figura 1).

Refúgio de lobos marinhos, lagartos terrestres, grandes tartarugas, as maiores do mundo (galapago), pássaros exóticos, de diferentes hábitos conforme a ilha do arquipélago, as ilhas fascinaram e embasaram a teoria da seleção natural. (DARWIN, 1985).



Figura 1. Galapagos, Equador. Foto: do Autor.

Por toda parte, a vida assumiu formas bastante especiais em Galapagos. Existem diferenças que podem ser observadas entre as populações das várias ilhas. É bastante difícil atravessar os canais devido às violentas correntezas. Nem mesmo os pássaros passavam de uma ilha a outra. Assim, o naturalista teve a confirmação de que, de fato, de uma única origem nasceram espécies variadas, por influência de diversos fatores (meio ambiente, alimentação, transmissão hereditária de características adquiridas acidentalmente).

O relato de sua viagem e suas idéias a respeito da evolução geológica e biológica suscitaram interesse e em 1859 ele viria a publicar a *Origem das Espécies*, embora o título completo fosse *A origem das espécies por meio da seleção natural ou a Preservação das raças favorecidas na luta pela vida* (GOULD, 1987).

É importante ressaltar anteriormente à Darwin, a figura de James Hutton (1726-1797), considerado Pai da geologia. Em uma época dominada pela idéia de uma Terra criada nos padrões que se via e que não sofria modificações (*“criacionismo”*), Hutton, observando a composição das rochas, o processo de sedimentação e erosão, postulava que a terra sofria lentas e graduais modificações e seria muito mais antiga do que se acreditava. Seus estudos, sobre as espécies, descobertas no livro: *“elementos de agricultura”* (escritos 60 anos antes da publicação da *“origem das espécies”* de Darwin, mostraram conexões e interação entre as espécies e o ambiente, conceitos que embasam a teoria de Darwin) (CIÊNCIA HOJE, 2003).

Evolução do pensamento ambientalista nos séculos XX e XI

No final do século XIX, o termo “biosfera” foi utilizado pela primeira vez pelo geólogo austríaco Eduard Suess para descrever a camada de vida que envolve a Terra. Este conceito ganhou força algumas décadas mais tarde com a publicação do livro *Biosfera* do geoquímico russo Vladimir Vernadsky. Baseado nas idéias de outros pensadores como Goethe e Suess, Vernadsky considerou a vida como um agente geológico que cria e controla e transforma o ambiente planetário. Em 1909 a palavra “Umwelt” (meio ambiente) foi utilizada pela primeira vez, enquanto somente na década de 20, com a publicação do livro: *Animal Ecology* de Charles Elton foram introduzidos os conceitos das cadeias alimentares e dos ciclos de alimentos (CAPRA, 1999). Desta forma, nota-se que o pensamento de uma Terra em transformação e das relações entre as espécies é bastante recente para a humanidade e em particular a sociedade ocidental. Inserida em um paradigma mecanicista, baseado na dominação e poder do homem sobre a natureza e dos homens sobre os homens, a sociedade ocidental foi modelada por uma luta competitiva pela existência, comparando-se o corpo humano a uma máquina e na crença da expansão e do crescimento econômico e tecnológico ilimitado (CAPRA, op. cit.).

A partir de 1970, justamente quando a o capitalismo e o desenvolvimento tecnológico começam a ganhar força máxima, idéias de que o uso dos recursos naturais é limitado e que o homem é parte da natureza e não seu senhor começam a surgir no meio científico. Destaca-se neste ponto, o químico James Lovelock. Lovelock trabalhava para a Jet Propulsion Laboratories da NASA projetando instrumentos para detecção de vida em Marte em um programa espacial que visava uma série de experimentos no solo marciano. Lovelock comparou então a atmosfera de Marte com a de Terra e descobriu que ambas possuem os mesmos compostos químicos, mas em

quantidades diferentes. A razão para este fato é que em Marte todas as reações químicas da atmosfera já se processaram estando esta em equilíbrio químico. Na Terra, a atmosfera contém gases como oxigênio e metano coexistindo em altas proporções, mesmo com grandes probabilidades de reação entre elas, resultando numa mistura de gases afastados do equilíbrio químico (LOVERLOCK, 1991). Ele então compreendeu que este fato deve-se a presença da vida na Terra. As plantas produzem constantemente oxigênio enquanto outros organismos produzem outros gases, de modo que a atmosfera recebe uma reposição destes gases enquanto estes reagem em direção ao equilíbrio. Lovelock propôs então que a Terra seria um sistema vivo autorregulador, com as plantas e os animais reciclando grandes quantidades dos gases oxigênio e CO₂, expelidos por vulcões e que voltam ao interior da Terra por intermédio de rochas calcárias (formadas por acúmulo de animais marinhos mortos) que então se fundem por pressão e temperatura elevada, voltando a serem expelidos para atmosfera pelos vulcões. O ciclo completo, ligando os vulcões a erosão das rochas, bactérias do solo, algas no mar, rochas calcárias e novamente os vulcões atua como um gigantesco ciclo de realimentação que regula a temperatura do Planeta e permite a existência da vida. Assim Lovelock sugeriu o nome de Teoria de Gaia para o Planeta, em homenagem a deusa grega da Terra, descrevendo este como um sistema vivo. Esta hipótese vem de encontro ao pensamento do cacique Seattle da tribo Duwamish, na sua carta ao então presidente dos EUA, Frankling Pierce em 1855: *“a Terra não pertence ao homem; o homem pertence a Terra. Isto sabemos: todas as coisas estão ligadas, como o sangue que une uma família. Há uma ligação em tudo. O que ocorre com a terra recairá sobre os filhos da terra. O homem não teceu o tecido da vida: ele é simplesmente um de seus fios. Tudo o que fizer ao tecido, fará a si mesmo.”*

Concepção da Terra como organismo vivo

A antiga cultura grega considerava a Terra como “deusa mãe”, a qual possuía o nome de “Gaia” (FINLEY, 1989). Antes do século XIX, a idéia de uma Terra viva, era aceita pelos cientistas da época. Inclusive James Hutton, ao observar e descrever todas as mudanças ocorrentes no relevo devido aos processos erosivos e sedimentares, diretamente relacionados à vida no planeta postulou uma correlação da Terra como um super organismo, sendo um estudo apropriado através da comparação com a fisiologia humana, como a analogia entre a circulação do sangue e a circulação dos elementos nutrientes da Terra (LOVERLOCK, 1991).

Essa visão holística de nosso planeta foi sendo abandonada com o desenvolvimento da ciência.

Pode-se entender que nossa atmosfera encontra-se desequilíbrio, quimicamente falando. É como a mistura de gases que penetra no coletor de um motor de combustão interna, ou seja, hidrocarbonetos e oxigênio misturados, enquanto nossos parceiros mortos Marte e Vênus têm atmosferas de gases exauridos por combustão.

Com base nessa evidência, Lovelock (1991), resgatou a visão de que a Terra seria realmente um super organismo.

A teoria de Gaia entende os organismos vivos, as rochas, o ar e os oceanos como existências de uma entidade fortemente conectada. Sua evolução é um processo único, e não vários processos fragmentados.

Esta teoria tem um significado modificador na Teoria evolutiva de Darwin, pois talvez não seja mais suficiente entender que os indivíduos que deixarem o maior número de

descendentes terão êxito na perpetuação da espécie. Será necessário acrescentar que estes podem conseguir contanto que não afetem adversamente o meio ambiente (LOVERLOCK, op. cit.).

Um Todo organismo vivo, interage e afeta o seu meio. Se esta ação for positiva para o meio ambiente, ela então poderá se multiplicar até atingir uma escala global. O inverso também é verdadeiro, e qualquer espécie que afete o meio ambiente desfavoravelmente está sentenciada, mas a vida no Planeta deve continuar.

A filosofia de Gaia vê o mundo como um organismo vivo do qual os seres humanos são parte; não donos, nem sequer os simples habitantes. Exaurir os recursos naturais numa escala insustentável seria tão tolo quanto considerar supremo o cérebro e dispensável os outros órgãos do corpo (LOVERLOCK, 1991).

Desenvolvimento Sustentável

Passando por críticas iniciais, a Teoria de Gaia começa a ganhar força no meio científico a medida que aumentam as preocupações com relação a degradação ambiental do planeta. Assim, entre os dias 5 e 16 de junho de 1972, a Organização da Nações Unidas (ONU), atenta à necessidade de um critério e de princípios comuns que ofereçam aos povos do mundo inspiração e guia para preservar e melhorar o meio ambiente humano, reuniu os países membros em uma conferência de cúpula histórica, de onde proclamou-se 26 princípios sobre a relação do Homem e meio ambiente.

Em 1983 a ONU criou a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento para discutir e propor meios de harmonizar os dois objetivos - desenvolvimento econômico e

conservação ambiental. Presidida pela primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, a Comissão lançou no relatório "Nosso Futuro Comum" com a definição mais aceita para Desenvolvimento Sustentável: aquele que é capaz de suprir as necessidades da geração atual sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações. É o desenvolvimento que não esgota os recursos para o futuro (ONU, 1988).

Em 1992, entre 3 a 14 de junho, ocorre no Rio de Janeiro o evento chamado ECO 92, ou Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. A Conferência reuniu 108 chefes de Estado na busca de mecanismos que rompessem o abismo econômico entre os países, preservando os recursos naturais da Terra. Após negociações marcadas por diferenças de opinião entre os ditos primeiro e o terceiro mundos, a reunião produziu a Agenda 21, documento com 2.500 recomendações para implantar a sustentabilidade econômica e ambiental no planeta (BRASIL, 2002).

Alguns Resultados da Convenção:

- * Convenção da biodiversidade: estabelece metas para preservação da diversidade biológica e para a exploração sustentável do patrimônio genético, sem prejudicar ou impedir o desenvolvimento de cada país;
- * Convenção do clima: estabelece estratégias de combate ao efeito estufa. A convenção deu origem ao Protocolo de Kyoto, pelo qual as nações ricas devem reduzir suas emissões de gases que causam o aquecimento anormal da Terra;
- * Declaração de princípios sobre florestas: garante aos Estados o direito soberano de aproveitar suas florestas de modo sustentável, de acordo com suas necessidades de desenvolvimento;
- * Agenda 21: conjunto de 2.500 recomendações sobre como atingir o desenvolvimento sustentável, incluindo determinações que prevêm a ajuda de nações ricas a países pobres.

Dez anos depois, em 2002, a Rio + 10 ou reunião da *Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável*, teve lugar em Johannesburgo (África do Sul) a qual foi a sucedânea natural de dois eventos: a *Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento*, ocorrida no Rio de Janeiro em 1992 (a chamada *Rio 92 ou ECO 92*); e a *Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano*, ocorrida em Estocolmo em 1972.

Um dos objetivos da reunião foi a avaliação dos resultados decorrentes da implementação ou não das propostas da "Agenda 21".

A "Agenda 21" representava um grande avanço, pois propunha 2.500 medidas, elaborando um quadro geral para responder ao conceito, então novo, do Desenvolvimento Sustentável. Cada país devia elaborar a sua própria "Agenda 21", adaptada à sua realidade. Na dinâmica da caída do muro de Berlim, o tema da sustentabilidade surgia como nova prioridade para o futuro da humanidade. Além da "Agenda 21", duas Convenções sobre o clima e a biodiversidade propunham metas mais concretas. As ONGs e os movimentos sociais foram convidados a participar na elaboração dos objetivos; fizeram muitas propostas e publicaram a bela 'Carta da Terra' (BARBIERI, 2000).

No entanto, os resultados obtidos entre o Rio e Johannesburgo não foram bem aqueles esperados. Houve altos e baixos, tanto do lado dos governos como da parte da sociedade civil. Na "Rio + 5", em 1997, em Kyoto (Japão), a avaliação da aplicação das propostas do Rio deixou claro que a implementação da Agenda 21 era bastante deficiente na maioria dos países. O número de ONGs ambientais tinha aumentado sensivelmente, mas não conseguiam se articular, nem entre si, nem entre as do Norte e as do Sul, nem entre as ambientais e as sociais ou dos Direitos Humanos (LEPARGNEUR, 2002).

Os poucos avanços podem ser relacionados ao fato da onda do livre mercado ter avançado mais rapidamente que as propostas do desenvolvimento sustentável. Os governos dos países em desenvolvimento ficaram mais preocupados em aplicar os programas de ajuste estrutural e econômico do FMI do que em implementar as recomendações da Agenda 21 (LEPARGNEUR, 2002). Foi assim que o Brasil publicou a sua própria "Agenda 21" apenas em julho de 2002, dois meses antes de Johannesburgo. A criação da OMC em 1995 deu um novo impulso à liberalização multilateral do comércio, enquanto as políticas neoliberais não resolveram os problemas da miséria e da marginalização de parte crescente da população mundial. Ampliou-se o conflito entre a lógica capitalista de maior produção e consumo, sem freio e com enorme desperdício, e a visão dos ambientalistas, alarmados diante dos riscos e ameaças crescentes de destruição irreversível do Planeta. O poder das multinacionais na definição das políticas econômicas e financeiras foi substituindo o dos Estados, enquanto surge a figura da sociedade civil mobilizada pelas causas ambientais e pela via de desenvolvimento de forma sustentável.

A ÁGUA

A história do uso da água

Água é uma substância ou composto químico, formada por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio. Essencial para a sobrevivência das espécies, esta simples combinação

molecular, permitiu que a houvesse o surgimento da vida e desenvolvimento da espécie humana no Planeta. Conforme Press & Siever, (1985), A água que hoje se encontra na hidrosfera e no subsolo provém originalmente da atividade magmática do planeta, onde uma mistura complexa de elementos químicos ao ser liberada permitiu a combinação do elemento Hidrogênio e Oxigênio, formando a água, primeiramente no estado vapor e depois condensando e passando ao estado líquido e, resfriando a própria superfície terrestre. Um ponto interessante de destaque é a singular característica geológica da Terra, sua massa (força gravitacional) e sua distância do sol, por exemplo, permitem a existência da água no planeta nos três estados físicos.

Acredita-se que a própria vida no planeta tenha surgido na água. A impossibilidade de existência de organismos flutuantes no espaço sideral, pois tais seres seriam destruídos pelos raios cósmicos e ultravioletas levou Alexander Oparin, em 1936 a propor que a origem da vida teria se dado no próprio planeta e surgido em um meio líquido, formado por **metano, amônia, hidrogênio e vapor de água** Press e Siever, (1985), os quais combinavam-se formando proteínas por ativação de centelhas elétricas da atmosfera.

O certo é que talvez pela associação com a vida e sua origem ou sua abundância na Terra, ou mesmo sua constante movimentação, passando por seus mais diversos estados físicos, a água sempre exerceu fascínio no ser humano.

Nos primórdios, via-se a água por uma abstrata visão simbólica, sendo motivo de veneração nas mais diferentes culturas. Sob o ponto de vista mitológico, o oceano, por exemplo, traz consigo as sementes da vida, os segredos profundos, além dos medos que às vezes são evocados por figuras míticas, como o deus dos mares **Poseidon**, capaz de terríveis tempestades (SILVA, 1998).

Devido ao seu papel fundamental na economia e na sobrevivência, os agrupamentos humanos antigos direcionaram as ações sobre a água, integrando-as de maneira complexa a

outras técnicas, através de um conjunto de adorações, rituais simbólicos e mitos, como por exemplo, os da criação e da fecundidade. Os deuses podiam simbolizar tanto a admiração quanto o pavor provocado pelos grandes fenômenos naturais, gerando rituais de devoção e oferendas aos deuses aquáticos. Na Mitologia egípcia, por exemplo, **Osíris** cujo nascimento foi fruto dos amores entre o céu e a terra era a personificação da fecundidade, a fonte total e criadora das águas. O Rio Nilo teria sido originado da união entre **Osíris** aquático e **Ísis** terrena, da qual nasceu o menino-deus **Hórus** que ao eliminar **Tifão**, obrigou o potente oceano a recuar, deixando nas margens do Rio Nilo o fértil lodo aluvial para as plantações.

Os sacerdotes do Egito antigo louvavam a água, pois, para eles, as coisas presentes no mundo só podiam existir graças à ação da umidade, sendo as águas provenientes dos templos, dádivas dos deuses e consideradas sagradas pelos súditos. Graves, 1967 apud Silva, (1998), descreve na origem da criação grega, um dos mitos em que, no princípio de tudo, o ar uniu-se ao dia dando o nascimento da Mãe Terra, o Céu e o Mar. O Céu e a Terra (**Gaia**) eram os símbolos masculino e feminino que, através da fertilização das águas, produziam a vida, a qual passava a ser regida por **Eros**. Os rios e as fontes, ao serem considerados filhos dos Oceanos pelos gregos, eram divinizados e a eles dedicavam oferendas.

Também nesta época, inicia o uso das águas em tratamentos médicos, o qual também tem origem na mitologia, onde consideravam-se as fontes de águas que “brotavam” da terra, com poderes especiais de cura. O deus **Herbes** curava a infertilidade com águas de uma fonte natural. Segundo a lenda, **Pégasus**, o cavalo de **Poseidón**, ao quebrar uma rocha com seu casco, criou a fonte de Hipocrene, de onde vem o termo “crenos” ou fonte, derivando a ciência da crenoterapia (terapia com águas minerais). FINLEY, (1989), Destaca-se que o primeiro médico da história foi Hipócrates, considerado pai da medicina, (descendente do deus grego **Esculápio**) o qual considerava a água das fontes naturais como presente de Herbes, as quais poderiam curar febre e

outras enfermidades. Para Rudhardt (1990), as águas nesta configuração mística e religiosa, manifestavam as forças temíveis que os deuses administravam e usavam de acordo com o humor, ou segundo seus desígnios. Adequada para lavar, a água era ainda considerada agente de purificação e, de maneira mais fundamental, ela possibilitava a dessedentação e o crescimento da vegetação sobre a terra irrigada. Schama (1996) sugere que o rio Jordão, o qual representaria a pureza no deserto, foi simbolicamente utilizado nos rituais rudimentares de purificação, os quais evoluíram ao batismo cristão.

Contudo, apesar dos apelos mágico-religiosos, no início da história das civilizações, o homem se viu diante de situações e desafios concretos, os quais necessitava enfrentar e vencer. O domínio da água era perseguido, sendo limitado ao desenvolvimento de técnicas primitivas, como por exemplo, de irrigação por canalizações exteriores ou subterrâneas, de construção de diques, sendo estes desafios, as sementes da ciência humana que hoje chamamos hidráulica (DECROSSE, 1990 apud SILVA, 1998). Com relação às primeiras concepções científicas e filosóficas da cultura ocidental com relação à água, destacam-se as elaboradas pela Escola de Mileto na Jônia. Tales de Mileto (558 a.C.) teria afirmado já nesta época que a água era a origem de todas as coisas - sendo o princípio da natureza úmida e continente de todas as coisas, por isso ela era o princípio de tudo, e a terra se encontrava sobre ela. Para explicar a origem dos rios, acreditava-se que eles fossem alimentados pela água dos oceanos, que entraria por debaixo da terra e chegava à superfície através da destilação provocada pelo fogo interior das rochas livrando a água do sal ou ainda, por meio do refluxo capilar da água em movimento ascendente, devido ao peso exercido pelas montanhas. Entretanto, não era possível aos antigos filósofos explicar, cientificamente, o funcionamento do ciclo hidrológico e responder corretamente às suas interrogações como, por exemplo, o fato do nível do mar ser constante apesar do fluxo contínuo dos rios. Aristóteles (384-322 a.C.), refletindo sobre o surgimento da água, especulava acerca das

correlações entre a água proveniente da chuva e da água subterrânea, postulando que os rios se originariam, em parte, da água da chuva, bem como da umidade do ar no interior das cavernas nas montanhas que, ao se condensar no solo, davam origem aos mananciais (PINSKY, 2001).

Com relação às tecnologias de uso da água, os primeiros documentos escritos da humanidade, obra dos sumérios de aproximadamente 4.000 a.C. já continham instruções sobre a irrigação de lavouras dispostas em terraços. Na civilização egípcia, o fluxo do Nilo era controlado por meio de um dispositivo administrativo, gerindo as relações entre as partes à montante e à jusante do rio, e projetando os níveis d'água durante os períodos anuais (MICHELET, 2003).

Azevedo Netto (1984) apud Silva, (1998), cita outros locais com diversas obras relacionadas à irrigação e ao saneamento, tais como: as galerias de esgotos construídas em Nippur, na Índia, por volta de 3.750 a.C.; o abastecimento de água e a drenagem encontrados no Vale do Indo em 3.200 a.C., onde muitas ruas e passagens possuíam canais de esgotos, cobertos por tijolos com aberturas para inspeção, casas dotadas de banheiras e privadas, lançando o efluente diretamente nesses canais; o uso de tubos de cobre como os do palácio do faraó Cheóps no Egito; a clarificação da água de abastecimento pelos egípcios em 2.000 A.C., utilizando o Sulfato de Alumínio (SILVA, 1998).

Na América, os Maias dispunham canos para captação da água proveniente da precipitação das chuvas nas bases das suas pirâmides. Com técnicas similares, os povos do mediterrâneo, cobriam os canais com tampas enquanto os canos conduziam a água para cisternas impermeabilizadas de alvenaria construída com um material similar ao cimento (LIEBMANN, 1979 apud SILVA, 1998).

Quanto aos aspectos qualitativos da água, Platão (427-347 a.C.) já considerava a necessidade de disciplinar o seu uso e prescrevia alguma forma de penalização para aqueles que a

causassem algum dano, pois, para ele, a água era a coisa mais necessária à manutenção das plantações (NICOLAZO, 1989 apud SILVA, 1998).

Para Azevedo Netto, (op. cit.), desde os primórdios já existiam preocupações quanto ao uso da água. Segundo este autor, documentos em sânscrito datados de 2.000 a.C. aconselhavam o acondicionamento da água em vasos de cobre, à sua exposição ao sol e filtragem através do carvão, ou ainda, pela imersão de barra de ferro aquecida, bem como o uso de areia e cascalho para filtração da água. Por volta de 1500 a.C., os egípcios utilizavam a decantação. Bem mais tarde, a partir de 450 a.C., poços artesianos começaram a ser escavados na busca por água em regiões áridas.

Várias civilizações entraram em decadência em função de desequilíbrios ambientais ligados à água. Os Maias, por exemplo, teriam abandonado suas cidades, provavelmente, pela carência de água e erosão do solo provocadas pela destruição da mata primitiva (LIEBMANN, 1979 apud SILVA, 1998). Desta forma, se observa que na instalação dos grupos humanos, uma das primeiras preocupações era de estabelecer uma rede para a circulação de água. Inicialmente, as povoações sempre se localizavam nas proximidades das fontes, mas com a transformação dos povoados em cidades, as reservas das vertentes tornavam-se, em alguns casos, insuficientes e muitas vezes contaminados.

Na Pérsia, descreve Liebmann (1979) apud Silva (1998), a água era canalizada através dos ‘jubes’ (galerias subterrâneas escavadas no solo com até 10 metros de profundidade) utilizados para conduzir a água das montanhas até as planícies habitadas. No século VI a.C., o túnel para condução da água construído em Samos, foi considerado por Heródoto como a ‘maior’ obra que teria havido na Grécia até então. Ao sistema hidráulico, aplicava-se o princípio dos vasos comunicantes, bem como a pressurização dos encanamentos.

As condições climáticas muitas vezes desfavoráveis, com suas grandes variações

sazonais afetando a vazão dos rios, obrigavam alguns povos a armazenar água. Por outro lado, por motivos estratégicos, as cidades eram construídas normalmente em encostas e, dificilmente, possuíam fontes perenes dentro de seus muros. Assim, era comum que a água de chuva fosse acumulada em cisternas para o abastecimento em períodos de carência, sendo necessário dispor de grandes áreas como pátios, telhados das casas, dos templos e dos palácios, para a coleta das águas pluviais.

Os gregos possuíam preocupações sanitárias comprovadas pelo suprimento de água e a eliminação dos esgotos. Nas construções localizadas em partes mais altas das cidades, coletava-se a água pluvial em cisternas, das quais partiam canalizações transportando a água até às regiões mais baixas. O grau de sofisticação do sistema grego pode ser demonstrado pelas descargas em vasos sanitários encontrado em Atenas (FINLEY, 1989).

No século IV a.C., os romanos construíram importantes obras hidráulicas. Em Roma, nesta época, havia 856 banhos públicos e 14 termas, onde o consumo de água era de 750 milhões de litros por dia (LIEBMANN, 1979 apud SILVA, 1998). Quanto aos esgotos, esses eram transportados por canalizações, evitando o lançamento de águas servidas nas ruas. Desta forma, supõe-se não ter havido grandes epidemias nesta época, em parte, devido ao suprimento de água para o abastecimento público, banhos e privadas, bem como aos cuidados com os esgotos. A construção da '*cloaca máxima*', afirma Azevedo Netto (1959) apud Silva, (1998), era um conduto livre em pedra com 4,3 metros de diâmetro, tornando-se o coletor tronco dos esgotos de Roma, em 514 A.C.

Os aquedutos, embora não tivessem sido criados pela engenharia romana, foram disseminados por todo o seu Império. O transporte de água potável das montanhas para as cidades era concebido através destes dispositivos e foram construídos também, na Alemanha, Itália, França, Espanha, Grécia, Ásia Menor e África do Norte. Liebmann, (1979) apud Silva

(1998) diz que em 312 a.C., Appius Claudius Crassus construiu o primeiro aqueduto romano (*via Appia*), com 16,5 km de extensão. Por volta de 50 d.C., Roma possuía 10 grandes canalizações para abastecimento de água potável, com mais de 400 km e cada cidadão recebia cerca de 95 litros diários de água. A água pressurizada nas tubulações já era conhecida e tais instalações foram descobertas na antiga Grécia e atual Turquia, datando do ano de 180 a.C.

Na República Romana, junto às construções dos aquedutos, foram erguidos reservatórios ou castelos de água (*castella*), os quais possuíam câmaras, onde a central recebia o excedente das partes externas e alimentava as fontes. Das partes externas saíam encanamentos para os banhos públicos e casas de particulares mediante licença do imperador, e em certos trechos das canalizações eram construídos tanques de sedimentação (*piscinae*), servindo de filtros.

Neste período, o controle do suprimento de água ficava sob o encargo de algumas pessoas, as quais induziam a população a utilizá-la adequadamente. Um papel decisivo no abastecimento de água das cidades romanas cabia, por exemplo, ao armazenamento preventivo de água em depósitos especiais cujos canos de escoamento eram colocados, em geral, em alturas diversas. Os mais elevados destinavam-se ao abastecimento das residências particulares e abaixo deles partiam os canos para os edifícios públicos como os banhos e hospitais. Na parte mais baixa eram conectados os canos de alimentação dos poços públicos. As residências particulares sofriam as primeiras conseqüências em caso de falta d'água, a qual era poupada para os banhos, poços públicos e hospitais. Os romanos também desenvolveram dispositivos especiais de medição de consumo de água, os quais eram testados e lacrados, pagando-se uma taxa única por tal serviço.

Um dos problemas enfrentados pelos romanos era o das derivações clandestinas realizadas pelos habitantes ribeirinhos. Na época da República Romana, somente a água que transbordava fora das fontes poderia ser desviada para os banhos mediante o pagamento de taxas,

e certos ‘notáveis’ se beneficiavam com o ‘acordo dos cidadãos’(SILVA, 1998).

No auge do Império Romano havia abundância de água transportada por adutoras e distribuídas em fontes públicas e nas casas de banho. Segundo Costa (1994), Roma era abastecida por um sistema constituído por onze aquedutos, contando com uma distribuição diária de água de cerca de 1000 litros por habitante. Contudo, esta preocupação com relação à distribuição e à quantidade de água parece ter sido reduzida durante a época medieval havendo, de maneira geral, um declínio das condições sanitárias, bem como um avanço das epidemias.

Na Idade Média a água foi uma das grandes questões, a ponto de ser considerada a ‘*Idade da Água*’ (LERAY, 1982 apud SILVA, 1998). Por outro lado, ao comparar este período com o desenvolvimento de algumas cidades da Antigüidade, Liebmann, (1979) apud Silva, (1998), nota que houve um retrocesso considerável do ponto de vista sanitário. Tal fato pode ser comprovado pelo baixo consumo de água que, em algumas localidades que chegava a menos de um litro diário por habitante, gerando graves conseqüências para a saúde da população.

Com o aumento do comércio e das disputas bélicas, incrementados pela navegação interior, esse período foi marcado por uma forte preocupação defensiva das cidades que se desenvolveram à margem dos rios europeus. A crise econômica, política e religiosa ocorrida na segunda metade do século III, tornou necessária a construção de fortificações ao redor das cidades através de muralhas e fossos, os quais eram abastecidos com a água retirada de um rio considerado sagrado, localizado em suas proximidades.

Já nos séculos X e XI, as cidades se formavam às margens dos cursos d’água e, posteriormente, os pântanos foram sendo drenados e aterrados, servindo para novas ocupações. As primeiras obras portuárias situadas às margens dos rios teriam sido construídas pelos normandos. Leray, (1982) apud Silva, (1998), remarca que tais portos ribeirinhos não existiam até a segunda metade do século XII, após a ocupação do solo rural pelos artesãos e, desde então,

os cursos d'água tornar-se-iam importantes meios de transporte com a construção de barragens, eclusas, canais artificiais e portos.

Em algumas cidades, o planejamento urbano era feito em função da circulação interior das águas como em Veneza. Calabi, (1990) apud Silva, (1998) afirma ser esse modelo de cidade, entrecortada por canais, uma realidade que marcou profundamente a paisagem urbana medieval de várias cidades européias. A infra-estrutura hidráulica dessa cidade, iniciada no século XI e concluída num século e meio, foi tão importante a ponto de permanecer quase inalterada durante os sete séculos posteriores.

No século XII, as fontes artificiais, vistas como sinal de urbanidade, eram importantes locais de sociabilidade urbana e mantidas coletivamente pelos cidadãos, sendo que parte do consumo diário de uma família era garantido através da compra de água transportada pelos 'carregadores'. A maior parte da população escavava poços no interior das casas para suprir suas necessidades domésticas e artesanais, mas a presença de fossas e adubos em suas proximidades, contaminava quase todas essas fontes de água subterrânea, contribuindo para o avanço das doenças (SILVA, 1998).

Com o crescimento das aglomerações, as autoridades locais implantavam sistemas de esgotos, ou transferiam certas atividades para a periferia. Em algumas dessas cidades, as administrações regulamentaram normas para rios como o Tibre (em Roma) e o Sena (em Paris), proibindo o lançamento de animais mortos em seus cursos d'água, solicitando aos curtidores não lavar peles de animais nas águas ribeirinhas e impedindo os tintureiros de jogar corantes nos rios.

Ao fim da Idade Média, o conhecimento sobre as relações entre o saneamento do meio e a relação com as doenças, embora empírico e até mesmo intuitivo, foi sendo estabelecido, podendo ser comprovado através da implantação de algumas normas legais.

Na Inglaterra, por exemplo, a partir de 1300 surgiram leis que proibiam o lançamento de dejetos lixo e detritos em fossas, rios e outras águas. Em 1453, em Augsburg, leis rígidas de proteção dos mananciais foram instituídas a fim de se controlar a contaminação dos rios que serviam ao abastecimento público (HAUCOURT, 1994).

A ocorrência da peste negra no século XIV demonstrava um período de crise e que um terço da população, acometida pela doença, teria sido dizimada na Europa. Uma razão disto é que na Idade Média, ao contrário da Antigüidade, os hábitos higiênicos eram pouco considerados, visto a gravidade dos problemas sanitários com a deposição de restos orgânicos e lixo nas vias públicas, na falta de instalações sanitárias e nas reduzidas possibilidades de banho para a população. Este período foi marcado por grandes epidemias além da peste, dentre elas, do tifo, da varíola, da cólera, e da lepra. Menezes (1984) refere-se a essa época como um violento retrocesso nas condições de salubridade, a ponto do consumo de água *per capita* chegar a um litro por dia.

O crescimento econômico iniciado no século XIII, embora lento e apesar das crises sucessivas, criou novas possibilidades na Europa. O surgimento do setor empresarial apoiado no desenvolvimento dos estudos seculares, principalmente do humanismo clássico, da ciência e da tecnologia, possibilitou o surgimento de um importante período na história - a Renascença Cultural Européia. A expansão marítima do Ocidente associada à 'efervescência cultural', demarcaram a linha divisória entre o mundo medieval e o moderno.

Nesta época iniciou uma percepção da água pela ótica do aproveitamento tecnológico ou da investigação científica. As cidades ainda conservavam a tradição energética medieval dentro dos muros, as quais eram dotadas de uma rede hidráulica própria ligada aos moinhos. Por necessidade, devido às guerras sucessivas, as cidades fortificadas aumentaram os fossos ao seu redor, onde inúmeros canais foram escavados, tornando as águas estagnadas e foco potencial de doenças, como a malária, chegando a ponto de em torno do século XV, formar-se uma espécie de

microclima com forte nebulosidade que desapareceu somente no século XIX, com o aterramento dos fossos.

No que concerne à hidráulica, conhecida através da literatura fluvial de fins do século XV e início do XVI constata-se a importância das fontes (chafarizes) que eram projetadas pelos artistas clássicos, inspirando-se em diversas mitologias hídricas como, por exemplo, as do rio Nilo e as da origem da criação grega.

No século XIII, muitos *experts* foram contratados para executar as obras do programa de reforma papal. A renovação da água pura e corrente era vista, por esta congregação, como parte essencial a ser concretizada através de várias obras hidráulicas, dentre elas a reconstrução de alguns aquedutos da época do Império Romano. Nesta época, construíram-se vários equipamentos sanitários no Vaticano, tais como chafarizes, novos encanamentos, banhos públicos, mecanismos para despejo, cubas para lavagem de lã e outros. Neste aspecto, os chafarizes desempenharam um papel de destaque para a Igreja, originando uma ‘nova hidráulica sacra’ que utilizando a concepção mística e cristianizada da Fonte da Criação buscava resgatar a imagem simbólica do culto à fertilidade e do símbolo de pureza da água, e ainda recuperar a tradição da engenharia romana na utilização das águas correntes. Tal modelo disseminou-se por toda Europa. Em Paris, por exemplo, ao final do século XV, controlava-se a distribuição de água através de canalizações e uma dezena de fontes, sob a vigilância da municipalidade, abastecia alguns privilegiados detentores de concessões gratuitas, às vezes honorárias (FRANCO Jr, 1986). No governo de Henrique IV, ocorreram importantes transformações a partir da construção de grandes obras, garantindo-se uma maior vazão de água para abastecimento. Na época, foi implantada a vigilância das águas por oficiais do rei, sendo obrigatório o pagamento das concessões para consumo, demonstrando já haver conflitos de poder em torno da apropriação dos recursos hídricos.

Durante vários séculos, a água esteve no centro das preocupações arquitetônicas e mecânicas, seguindo o modelo vitruviano. Schama (1996) explica que no nascimento da hidrologia moderna, houve um reencontro deste antigo modelo, a partir da tradução dos '*Dez livros de Arquitetura de Vitruvius*', em 1673, com os trabalhos de Pierre Perrault, de 1674, (considerado Pai da Hidrogeologia, como será visto mais adiante) que deu origem ao clássico Tratado intitulado '*Da Origem das Fontes*' de Henry Darcy. Hubert, (1990) apud Silva (1998), argumenta que este último, conjuntamente com Edmé Mariotte e Edmond Halley, foram nomes importantes no início da hidrologia científica.

O período moderno foi marcado por grandes transformações técnicas, e Roche (1990) exemplificando algumas dessas mudanças, constata que por ocasião da seca ocorrida na França, entre 1639 e 1660, ocorreu uma micro-revolução na tecnologia hidráulica, com o aumento do rendimento das bombas, as quais captavam mais água diretamente dos rios, obrigando o governo da época a melhorar o controle do uso das águas de domínio público e privado. Assim, tais tecnologias inovadoras introduzidas no setor hidráulico, associadas à fabricação de tubos de ferro fundido, em 1664, possibilitariam, posteriormente, um aumento considerável na distribuição de água canalizada para abastecimento.

Com o desenvolvimento industrial têxtil, dependente tanto de água em abundância como de novos terrenos, as atividades manufatureiras instalaram-se nas regiões mais baixas e pantanosas, fora das cidades. Além disso, o vapor d'água, indispensável à boa qualidade dos tecidos, apareceu como o motor econômico da urbanização ocidental. A revolução termodinâmica, possibilitada pela máquina a vapor em 1764, tornou-se a principal força geradora de movimento e da aceleração do processo produtivo, causando um forte impacto sócio-econômico e ambiental.

Em 1783, foi possível a interpretação correta da natureza da água e sua composição. Coube ao químico Lavoisier, com a ajuda do físico matemático Simon Laplace, provar que a água não era um único elemento. Através de um experimento, no qual foram queimando juntos: o hidrogênio (ar inflamável) e oxigênio em um recipiente fechado, rapidamente eles provaram que se poderia obter água neste processo, compreendendo que a água era um composto de hidrogênio (cujo significado é: produtor de água) e oxigênio. (SILVA, 1998). Nesta época, com os novos avanços científicos, a tecnologia hidráulica também necessitava de um salto tanto quantitativo como qualitativo, em função da demanda crescente de água e do crescimento urbano. Para isso, era preciso impulsionar as pesquisas por novas soluções técnicas para possibilitar a implantação das redes para abastecimento público de água e do esgotamento sanitário. A partir de meados do século XIX, num contexto de fortes mudanças de mentalidades, iniciou-se a implantação do saneamento, bem como da administração e legislação destes e de outros serviços.

No século XIX e início do século XX, a visão higienista tornou-se dominante, tentando superar o problema das epidemias que assolou vários países europeus durante séculos. Impulsionou-se a busca por medidas técnicas sanitárias, possibilitadas pela revolução científica e tecnológica. Contudo, a visão da água como bem finito e vulnerável somente começaria a surgir nas últimas décadas devido às graves crises de abastecimento e as previsões pouco otimistas quanto a este bem mineral.

Hidrogeologia

Segundo Davis e 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).

Como visto anteriormente, 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. O Padre Edmé Mariotte, dando continuidade aos trabalhos de

Perrault desenvolveu uma metodologia para medir as velocidades de escoamento e das vazões, como parte de seu '*Tratado do Movimento das Águas e de outros Corpos Fluídos*', publicado em 1686. Na Inglaterra, em 1690, Edmond Halley, com interesse particular no problema da medição da evaporação, permitiu explicar o déficit do escoamento evidenciado por seus antecessores, concluindo que os rios, as fontes e as águas subterrâneas eram oriundas das precipitações (HUBERT, 1990 apud SILVA, 1998).

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).

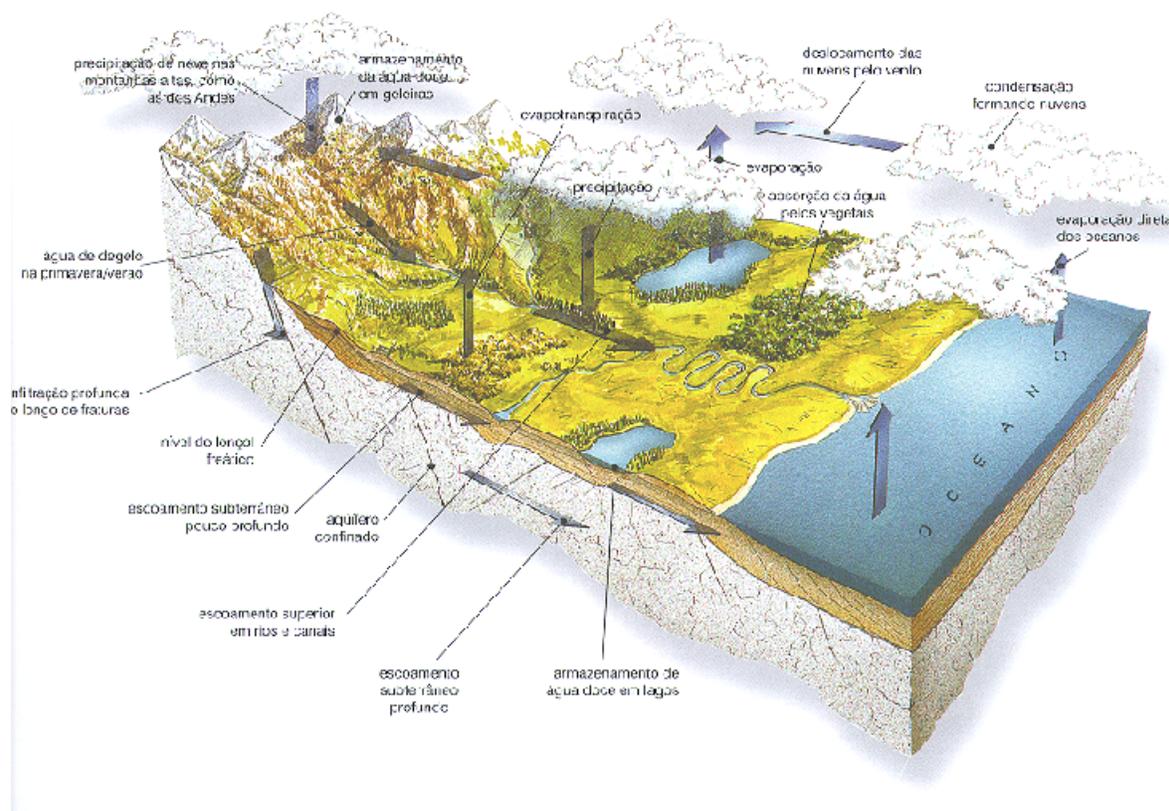


Figura 2. Ciclo Hidrológico. Fonte: Atlas Ambiental de Porto Alegre.

Durante a primeira metade do século XIX as águas subterrâneas foram mais intensamente estudadas na França, graças a intensa 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 PAPER, 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.

CONSIDERAÇÕES BÁSICAS SOBRE O MOVIMENTO DA ÁGUA EM MEIOS POROSOS

Parte da água precipitada sobre a superfície terrestre penetra no terreno, se movimentando lentamente pelos poros do meio geológico pela força gravitacional. O meio geológico saturado, capaz de armazenar e transmitir a água subterrânea é chamado de aquífero.

Os aquíferos podem ser (quanto à geologia):

- Rochas metamórficas ou ígneas (fissural);
- Rochas sedimentares (aquífero poroso);
- Rochas carbonáticas (aquífero cárstico);
- Depósitos sedimentares (sedimentos inconsolidados).

Quanto à situação da água subterrânea:

- Aquífero livre (freático);

- Aquífero confinado.

Quanto a homogeneidade do meio geológico;

- Aquífero homogêneo;
- Aquífero heterogêneo.

Quanto a direção do fluxo da água subterrânea:

- Aquífero Isótropo (fluxo em uma direção);
- Aquífero anisótropo.(fluxo de direção variável).

Parâmetros Hidrogeológicos

É importante inicialmente, a separação entre os termos “hidrogeologia” e “hidráulica”. Enquanto a hidrogeologia refere-se ao entendimento do meio geológico (rochas e sedimentos) como meio por onde flui a água subterrânea, hidráulica refere-se à movimentação da água subterrânea em si, principalmente a movimentação forçada, devido ao bombeamento de poços (GARCEZ, 1990). Existe um campo em comum entre as duas ciências, e neste sentido, separaram-se os **parâmetros hidrogeológicos**, como aqueles relacionados ao meio natural e a movimentação natural da água subterrânea e, os **parâmetros hidráulicos**, aqueles relacionados ao bombeamento de poços.

Dentre os parâmetros hidrogeológicos importantes na compreensão do comportamento das águas subterrâneas nos aquíferos costeiros, pode-se destacar a Porosidade, Condutividade Hidráulica, e o Gradiente hidráulico.

Os aquíferos costeiros, formados na sua maioria por grãos de areia inconsolidados, apresentam espaços vazios entre estes grãos, ou “poros”, gerando o que se denomina “meio poroso”. Assumindo-se um certo volume (V) do aquífero, a **Porosidade** deste se define como a divisão do volume de vazios pelo volume total do aquífero (CLEARY, 1989). A porosidade, apesar de parâmetro importante não está diretamente ligada à vazão de água que pode ser obtida do aquífero, pois muitos meios porosos (como algumas argilas) apresentam baixa produtividade. Neste caso, torna-se importante na captação das águas subterrâneas a capacidade de transmissão de água de um aquífero, a qual é relacionada à Permeabilidade do meio poroso, ou sua Condutividade Hidráulica. Pode-se assumir que 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).

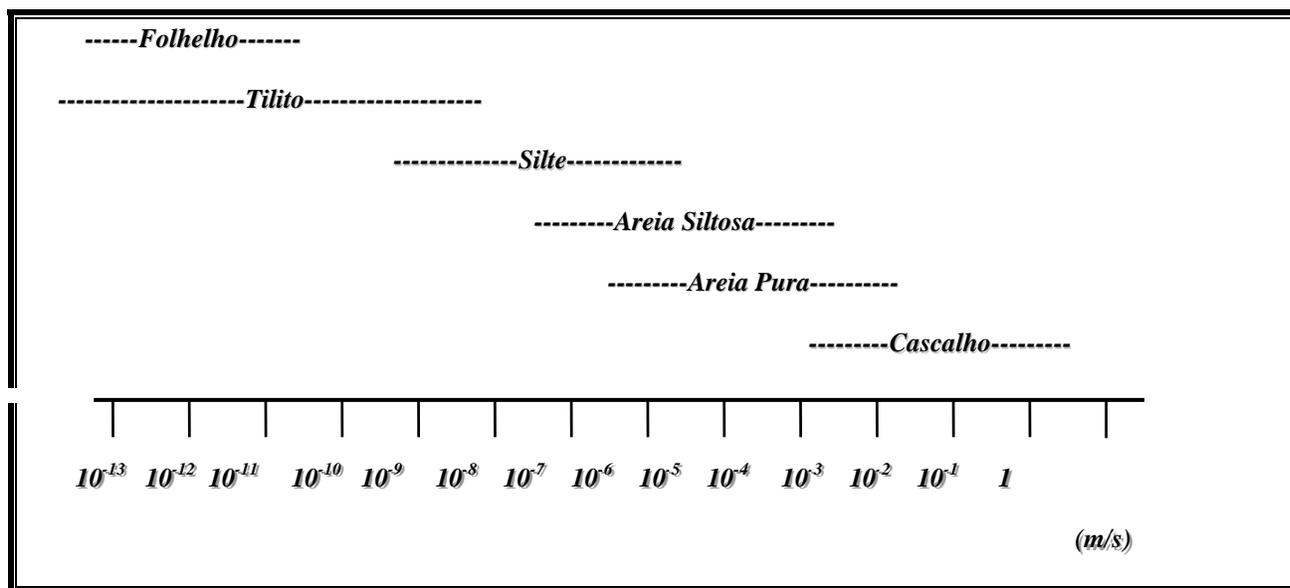


Figura 3. Condutividade hidráulica de alguns meios geológicos.

A permeabilidade de um meio poroso foi definida por Darcy em 1856, através de seu célebre experimento onde um tubo preenchido por diferentes materiais porosos foi submetido à percolação de água; a vazão ou os diferentes volumes de água captado na saída do tubo estaria diretamente relacionados a permeabilidade do meio poroso (coeficiente k) ou a sua capacidade de transmissão de água (Figura 3).

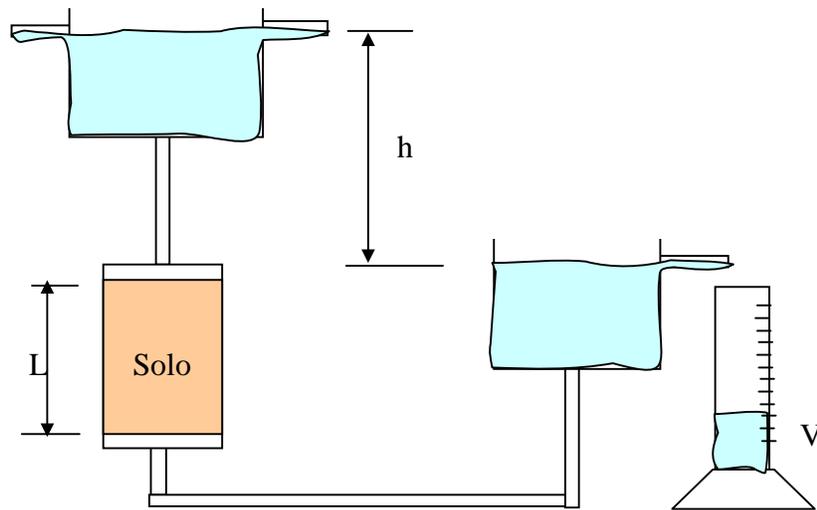


Figura 4. Esquema do experimento de Darcy.

Segundo Rodrigues Alonso (1999), Darcy a partir deste experimento, definiu que a vazão em meios porosos pode ser expressa pela equação abaixo, a qual foi testada posteriormente por diversos pesquisadores, atestando sua veracidade para fluxos laminares, mas não se aplicando para fluxos de altas velocidades (regime turbulento).

Equação (“Lei”) de Darcy:

$$Q = k \times h / L \times A$$

Onde:

$Q =$ Vazão;

$h =$ Diferença de nível entre a água que entra no sistema e a que sai;

$L =$ Distância percorrida pela água na amostra;

$A =$ Área da amostra.

Desta equação tem-se que h / L corresponde ao que se determinou como **Gradiente hidráulico (i)**. Podendo ser a equação escrita da seguinte forma:

$$Q = k \times i \times A$$

Parâmetros Hidráulicos

Descrevem-se como parâmetros hidráulicos os parâmetros obtidos dos aquíferos a partir de bombeamento de poços.

Transmissividade

O conceito de transmissividade foi introduzido por Theis em 1935 e é definido como a vazão de infiltração através de um perfil vertical de terreno com altura igual a altura da zona saturada, com dimensões de velocidade, em relação a área como: m^2/dia , m^2/seg .

Segundo a Lei de Darcy: $Q = k \cdot i \cdot A$. Se a seção “A” representa todo aquífero, tem-se uma altura b (largura) e o comprimento para o mesmo:

$$A = b \cdot L \text{ ou } Q = K \cdot b \cdot L \cdot i$$

Onde o produto $k \cdot b$ é chamado Transmissividade $Q = T \cdot L \cdot i$

Já o **Coefficiente de armazenamento (S)** (adimensional) é definido como o volume de água que um aquífero libera ou armazena por unidade de área superficial do aquífero por unidade de variação de carga e é igual a porosidade efetiva ou seja o volume de água que pode ser obtido por unidade de aquífero saturado.

O valor do coeficiente de armazenamento depende se o aquífero é confinado ou não-confinado. O volume de água derivada da expansão da água e compressão do aquífero é negligível, sendo S virtualmente igual a produção específica, variando entre 0,001 e 0,00001, podendo ser calculada:

$$S = yb (n\beta + x)$$

Y = espessura do aquífero

β = coeficiente de compressibilidade dinâmica da água

n = porosidade total do aquífero

x = coeficiente de compressibilidade dinâmica vertical.

O cálculo da transmissividade e do coeficiente de armazenamento se dá através da comparação da curva: Rebaixamento x tempo em escala logarítmica, do poço de observação, com a curva padrão de Theis, para obtenção de $W(u)$ (função de poço em aquífero confinado) e u (parâmetro do poço).

Cálculo da transmissividade:

$$T = \frac{QW(u)}{4p s_p}$$

Cálculo do Coeficiente de Armazenamento:

$$S = \frac{4p T t u}{r^2}$$

$Q = \text{Vazão};$

“W(u)” e “u” = Parâmetros do poço;

$S_p = \text{Rebaixamento};$

t = tempo de teste;

r = raio da boca do poço.

Raio de Influência dos Poços

Um fator que influi de maneira decisiva na direção e velocidade do fluxo natural da água subterrânea é o bombeamento de poços. A água bombeada para dentro de um poço, entra por uma superfície cilíndrica relativamente pequena, necessitando para tanto, um gradiente hidráulico grande para que seja atendida a Lei de Darcy e, a vazão de fluxo para dentro do poço

seja igual à vazão bombeada para fora do poço (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1983). A forma gerada neste processo é de um cone invertido, chamado “cone de depressão” da água subterrânea.

Um poço tubular profundo para captação de água subterrânea, induz a água do aquífero, formando uma “zona de captura” (na forma de cone de depressão) da água que flui não mais no seu sentido natural, mas para dentro do poço (US GEOLOGICAL SURVEY, 1982). Esta “zona de captura” é normalmente modelada sob a forma de um “cone de depressão” relativo ao rebaixamento do nível dinâmico do poço, rebaixamento este que diminui gradualmente à medida que se afasta do poço, determinando-se um círculo de influência, normalmente designado pelo seu raio que é chamado “Raio de Influência do Poço”. Assim, por definição, o Raio de Influência de um poço é a distância que existe entre o poço tubular em bombeamento e o ponto na superfície freática ou nível da água subterrânea onde já não são observados os efeitos do bombeamento, ou seja, à distância a partir da qual, o rebaixamento do nível da água subterrânea são nulos (RODRIGUES ALONSO, 1999).

Os trabalhos de Dupuit de 1863 constituem a base dos estudos de comportamento das águas subterrâneas bombeadas por poços tubulares, em regime de fluxo permanente (vazão constante), podendo ser modelado em três dimensões (fluxo convergente para dentro do poço) (CASTANY, 1971).

$$Q = p k (H^2 - h^2) / \ln (R/r) \quad (\text{equação de Dupuit})$$

ou:

$$\ln R = (Q / p k (H^2 - h^2)) + \ln r$$

Q = Vazão;

k = Coeficiente de permeabilidade;

R = Raio de influência efetivo;

r = Raio interno do poço;

H = Equivale ao nível estático do poço;

h = Equivale ao nível dinâmico do poço;

Para aplicação da equação de DUPUIT é necessário que:

- A vazão seja mantida constante;
- Entenda-se a água e o aquífero como incompressíveis;
- Assumam-se as superfícies equipotenciais como planas;
- Aplique-se a Lei de Darcy;
- Entenda-se o meio como homogêneo, isótropo, o Raio de Influência como constante e a componente vertical da velocidade do fluxo de água como nula com relação à horizontal.

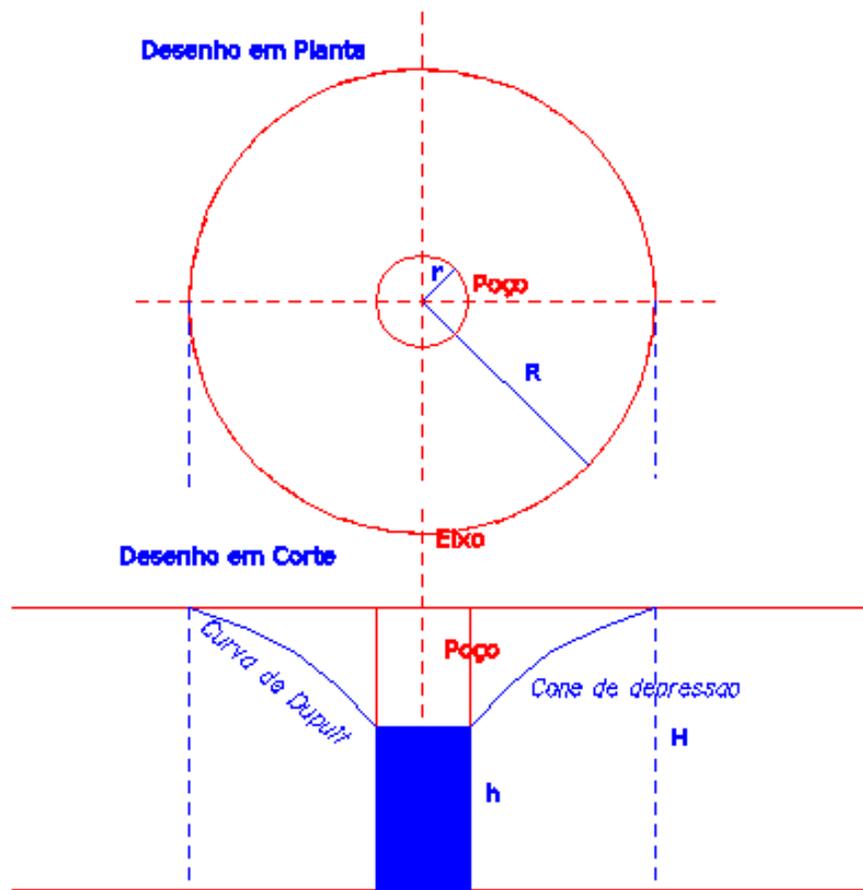


Figura 5. Desenho Esquemático mostrando o cone de depressão e o raio de Influência de um poço em bombeamento.

Pode-se concluir pelas fórmulas apresentadas que o Raio de Influência aumenta com a permeabilidade do aquífero e com a vazão bombeada e conseqüentemente com o rebaixamento do nível da água no poço. Segundo Castany (1971), para vazões elevadas, a equação de Dupuit chega a valores demasiadamente elevados. Neste aspecto, outros autores como W. Sichert e H. Cambefort postularam fórmulas empíricas para determinação de R, chegando a resultados práticos muito pouco satisfatórios.

Existindo poços de monitoramento (no mínimo 2) e no caso de um regime permanente, devido à manutenção da vazão estável, o raio de influência assume um valor teoricamente constante, podendo ser determinado facilmente através de um método gráfico, prolongando a reta que une os valores medidos em diferentes piezômetros de observação, no gráfico do rebaixamento versus distância ao poço de bombeamento, até interceptar a ordenada zero, que corresponde ao rebaixamento nulo.

No caso do regime transitório (vazão variável), o raio de influência varia com o tempo. Neste caso, também se pode utilizar o método gráfico, mas há que ter em conta, que o valor obtido para o rebaixamento, corresponde apenas ao instante de bombeamento considerado.

Segundo a Us Geological Survey, (op. cit.), a determinação do raio de influência de um poço em atividade **só é possível realizando-se um “teste de aquífero”**. O teste é realizado através do bombeamento do poço, o controle do nível dinâmico do mesmo (rebaixamento) e o monitoramento de pelo menos dois outros poços de observação em diferentes distâncias do poço bombeado, pois o rebaixamento destes dois últimos poços pode ser analisado com a equação e a curva padrão de Theis (THEIS, 1935), para determinar a Transmissividade do aquífero e conseqüentemente o Raio de Influência do poço bombeado (GUEDES Jr, 2003). Ainda segundo a Us Geological Survey, op. cit., é desejável que em testes de aquífero, os dois outros poços de observação estejam em diferentes distâncias do poço bombeado e em diferentes direções.

Segundo Custódio e Llamas (1983) a teoria geral da hidráulica aplicada aos poços em bombeamento a vazão constante, permite o cálculo do raio de influência através da seguinte fórmula:

$$R = 1,5 \times \sqrt{T \times t / S}$$

onde:

R = Raio de influência do poço;

S = Coeficiente de armazenamento;

T = transmissividade do aquífero;

t= Tempo de bombeamento.

Para Rodrigues Alonso (1999) experimentalmente, observa-se que R nunca se estabiliza, mesmo sem alterar a vazão de bombeamento, o que ocorre é que R aumenta com o tempo, embora lentamente.

CRITÉRIOS PARA DELIMITAÇÃO DOS PERÍMETROS E ÁREAS DE PROTEÇÃO DE POÇOS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA

O conceito de perímetro ou área de proteção das captações surgiu primeiramente na Europa, onde diversos países como Alemanha, França, Bélgica e Dinamarca, dependem grandemente da água subterrânea para o abastecimento público. Conforme Margat (1989) apud Iritani (1998), nestes países, mais de 60% do volume captado de água subterrânea é destinado

para uso doméstico. Esta situação levou a preocupação em proteger as águas subterrâneas de forma efetiva, surgindo, então, o conceito de perímetro ou área de proteção das captações. A sua eficiência levou outros países como EUA e Canadá a adotarem medidas de proteção.

Para Iritani (1998), o potencial de uso efetivo, assim como a fragilidade dos mananciais mostra a necessidade de adoção de medidas concretas para proteção da água subterrânea também no Brasil, principalmente visando a proteção das captações destinadas ao abastecimento público.

Conforme Iritani (1998), os estudos visando à proteção da água subterrânea pode abordar duas linhas: A primeira aborda a proteção geral de um aquífero importante, controlando as fontes potenciais de contaminação existentes e controlando o processo de uso do solo em toda a sua extensão. A segunda linha é a proteção pontual, como a proteção de uma área ou perímetro entorno de um poço tubular de captação de água subterrânea. No Anexo VII, encontram-se os conceitos de vulnerabilidade de aquífero.

Visando a proteção do manancial, o conjunto: poço água subterrânea e aquífero, e o processo de movimentação da água podem ser entendidos através de três áreas físicas do terreno:

Zona de Contribuição (ZC): São grande áreas físicas que recebem as águas da chuva que ao infiltrar recarregam o aquífero. Para a delimitação da Zona de Contribuição das captações, as características hidrogeológicas aquífero devem ser levadas em consideração, pois, estas influenciam as direções do fluxo da água subterrânea e conseqüentemente, o formato da Zona de Contribuição. É importante ressaltar que todo poço tubular capta água em um aquífero, água esta que pode ser recarregada a grandes distâncias até chegar no ponto de captação (HIRATA, 1990).

Zona de Influência (ZI): É a área afetada pelo bombeamento de um poço, formando o cone de depressão no nível estacionário da água subterrânea. Para a delimitação desta zona é necessário modelar o cone de depressão. Para tanto é necessária execução de um teste específico, onde o

bombeamento do poço é acompanhado pelo monitoramento de um ou mais poços de observação (U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 1987).

Zona de Transporte (ZT): É a área do terreno que vai da Zona de Contribuição até atingir a captação. Esta zona é mais difícil de ser definida, pois o caminho percorrido pela água subterrânea, desde sua recarga até o ponto de captação é complexo. Dependendo do aquífero, a água pode atingir grandes profundidades, tomar caminhos diversos (no caso do meio fraturado) ou mesmo possuir deferentes áreas de recarga.

Para a proteção dos poços de água subterrânea, o sistema não pode ser considerado como estacionário, pois, os limites da área a ser protegida são definidos em função das taxas de bombeamento, da recarga/infiltração e da interferência antrópica no meio (DELIN & ALMENDINGER 1993, apud IRITANI, 1998).

Os perímetros de proteção visam adotar medidas rígidas de controle e prevenção da poluição nas áreas mais próximas das captações, de forma a otimizar os esforços e os custos.

Ainda conforme Iritani (1998), a **capacidade de assimilação** é um critério que pode ser utilizado em situações específicas, considerando os processos de atenuação da concentração do contaminante no aquífero, como diluição, dispersão, adsorção, biodegradação e precipitação química. A definição deste critério entende que um contaminante existente na Zona de Contribuição atingirá a captação em níveis aceitáveis de concentração, cujos valores são estabelecidos pelo órgão de controle, ou ainda, o tempo de chegada da substância à captação será suficiente para a tomada de medidas de controle ou contenção da contaminação. A área delimitada por este critério é denominada: **Zona de Atenuação (ZA)**. Este é um critério pouco prático de ser utilizado devido à dificuldade de caracterização física e química do aquífero, além da modelação de cenários com múltiplos contaminantes existentes, o que freqüentemente ocorre (IRITANI, 1998).

Em aquíferos fraturados ou cársticos, onde o fluxo da água subterrânea é diretamente relacionado aos condicionantes geológicos, o critério utilizado pode ser as **fronteiras de fluxo**.

No Estado de São Paulo, de acordo com o Decreto 32.955/91, que regulamenta a lei estadual 6.134/88, deve-se utilizar os critérios de distância e tempo de trânsito para a definição da Área de Proteção de Poços e Outras Captações. Na Área de Proteção Máxima, que abrange a área de recarga de aquíferos vulneráveis, associa-se o critério de fronteiras de fluxo. Para a Área de Restrição e Controle não há nenhuma referencia que possa identificar o critério que deva ser considerado, podendo-se adotar um zoneamento intermediário entre as duas áreas de proteção definidas acima, de forma a otimizar as ações de prevenção da poluição e controle das atividades de risco (IRITANI, 1998).

A delimitação dos Perímetros ou Áreas de Proteção de Poços pode ser efetuada utilizando diferentes métodos, que variam em complexidade, precisão e também em custos.

Segundo USEPA (1994) apud Iritani (1998), os métodos mais utilizados de delimitação de áreas de proteção podem ser agrupados, segundo sua abordagem, em quatro grupos, que aumentam em complexidade de aplicação, mas também na confiabilidade para a determinação da Zona de Contribuição da captação. Estas abordagens são: geométrica, analítica, física e numérica.

Os métodos mais complexos, como através da utilização de modelação matemática, fornecem maior confiabilidade no traçado da Zona de Contribuição por permitir considerar as heterogeneidades encontradas no meio físico, necessitando-se, por outro lado, de uma quantidade maior de informações e um conhecimento técnico mais especializado sobre o assunto.

Outro critério utilizado para a determinação de perímetros de proteção é o **rebaixamento** do nível da água causado pelo bombeamento de um poço. É o mais simples dos critérios adotados, mas que apresenta pouca precisão. Neste caso adota-se a **distância** ou um raio ao redor da captação para a delimitação do perímetro de proteção. Este tipo de critério, apesar de

sua fácil aplicação, protege áreas desnecessárias e deixa de proteger áreas que contribuem para a captação.

Muitas localidades utilizam estes critérios de forma combinada para a definição das diferentes categorias de perímetros de proteção como é o caso de alguns estados americanos como Geórgia e Idaho, na Alemanha e na Grã-Bretanha (BOULDING 1995; SCHIEVER et al. 1992; ADANS & FOSTER 1992 apud IRITANI, 1998).

OS AQUÍFEROS COSTEIROS BRASILEIROS

Os Aquíferos costeiros brasileiros correspondem à “Província Costeira” do Mapa Hidrogeológico do Brasil (CPRM, 1983) e do Mapa Hidrogeológico da América do Sul (UNESCO et al., 1996), cuja característica principal é de serem depósitos sedimentares bastante homogêneos, compostos quase que exclusivamente por grãos de quartzo, tamanho: areia fina a média, que formam acumulações espessas, alcançando grandes profundidades, de alta permeabilidade, nível freático com poucos metros de profundidade e excelente qualidade de água. São decorrentes principalmente de processos marinho - praias e eólicos pleistocênicos e principalmente holocênicos que ocorreram ao longo de toda costa atlântica sul-americana. englobando os aquíferos sedimentares da costa atlântica da América do Sul desde as margens do Rio da Prata, no Uruguai ao sul, passando pela costa brasileira, Guianas, Venezuela, chegando até a Colômbia, de maneira descontínua. As melhores ocorrências estão no Brasil no setor sul, e norte/nordeste, podendo-se estimar que 90% do sistema aquífero está em território brasileiro. O

sudeste brasileiro mostra ocorrências localizadas, porém igualmente importantes, enquanto o nordeste as ocorrências são limitadas pela predominância do relevo de falésias do Grupo Barreiras. O relevo onde ocorre o sistema aquífero é característico plano, ondulado (quando da ocorrência de dunas) arenoso, coberto por vegetação rasteira ou de pequeno porte.

A proximidade direta com o Oceano Atlântico e a ocorrência de barreiras naturais, como a Serra do Mar que muitas vezes levam as massas de ar quase saturadas a descarregarem grande parte de sua umidade sobre a costa, garante uma taxa de precipitação anual em torno de 1200 mm a 1600 mm, podendo chegar a 2400 mm no norte brasileiro e nas Guianas.

Uma característica importante dos aquíferos da costa brasileira é a presença da cunha salina. 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 6). 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).

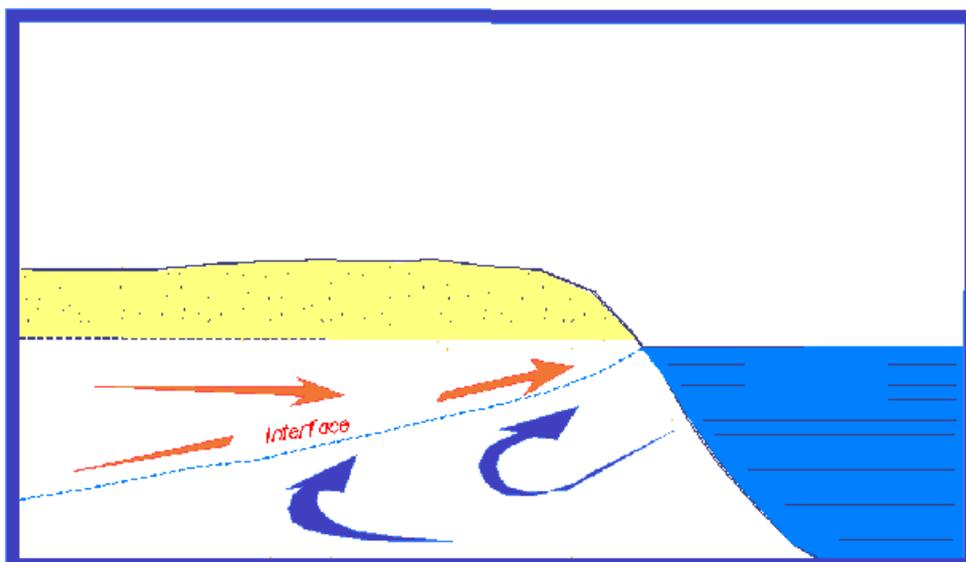


Figura 6. Desenho esquemático mostrando a posição da cunha salina.

Alguns exemplos:

Maceió

A exploração de água subterrânea na região de Maceió remota aos tempos do povoamento inicial, mas somente a partir de 1970 a CASAL – Companhia de Abastecimento d'Água e Saneamento do estado de Alagoas começou a utilizar este manancial para complementar a oferta d'água para esta capital, que até então era atendida pelo sistema de superfície do Catolé, implantado no final da década de 1940, com uma produção estimada em 30.000 m³ / dia.

As pesquisas realizadas em 1972 pela ACQUA-PLAN, e complementadas, posteriormente, pela UFAL – Universidade Federal de Alagoas, indicaram um grande potencial

de águas subterrâneas de excelente potabilidade na Bacia de Alagoas, na região de Maceió. A partir desses estudos, foram iniciadas perfurações para captação de água subterrânea para complementar a produção de sistema de superfície.

Atualmente a CASAL opera, em Maceió, cerca de 190 poços, isolados ou sob a forma de baterias, com uma produção total de 122.400 m³ / dia que representa, aproximadamente, 80% do consumo local, sendo o restante proveniente do sistema de superfície Catolé/Aviação.

A excelente potabilidade, os baixos custos de produção da água subterrânea, que pode ser captada dentro do perímetro urbano de Maceió, e as pequenas despesas de adução fizeram com que a CASAL optasse, nos últimos anos, por esta alternativa para ampliar o sistema de abastecimento d'água.

Inicialmente foram implantadas as baterias de poços de Bebedouro e do Reginaldo. Com a grande expansão urbana, principalmente no domínio dos tabuleiros Costeiros ou parte alta de Maceió, através da implantação de conjuntos habitacionais, industriais e outras atividades, a exploração de água subterrânea foi bastante intensificada.

Planície do Recife

Nos últimos 20 anos o número de poços da Região Metropolitana do Recife aumentou excessivamente, tendo sido atingida uma situação de super exploração dos aquíferos. Em alguns locais do bairro de Boa Viagem, na costa sul, onde ocorre intenso bombeamento, os níveis rebaixaram excessivamente em relação aos níveis de 20 anos atrás.

O problema é de grande relevância para a Região Metropolitana de Recife e agravou-se bastante em 1998 devido às baixas precipitações pluviométricas e ao pouco volume acumulado nas barragens de abastecimento público, o que levou a população a perfurar novos poços nos condomínios residenciais.

Riscos de contaminação das águas subterrâneas em aquíferos costeiros

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 freqüentes 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 íon *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 íon 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.).

Tabela 1. Transporte de bactérias na zona saturada. Modificado de FOSTER et al., 1988

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

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.

A contaminação das águas subterrâneas devido à ocupação humana e o despejo de efluentes e resíduos tóxicos no subsolo sem a devida atenção é freqüente na costa brasileira.

No norte do País, Oliveira (et. al., 2002); Dos Anjos (et. al. 2002) alertam para o grave problema de vazamento de combustíveis em postos de gasolina que ocorre na cidade de Belém do Pará, pois os compostos do tipo BTEX, presentes na gasolina, possuem elevada carga de toxicidade para o ser humano.

Em Maceió ocorre o problema de superexploração dos poços com riscos de esgotamento das reservas hídricas subterrâneas com graves problemas para a população (DOS SANTOS, et. al. 2002).

Foppa, (2003), ao analisar diversos parâmetros indicadores de contaminação, em poços de abastecimento do município de Balneário Camboriú em Santa Catarina, concluiu que a rápida urbanização da orla marítima ocasionou a contaminação de grande parte dos poços de abastecimento. Esta autora estudou a localidade de Taquaras, onde 75% poços apresentam água de qualidade comprometida, com elevadas concentrações de fosfato, nitrato e organismos patogênicos. Salienta ainda que a contaminação está intimamente ligada à má disposição do esgoto doméstico.

No município de Bombinhas também em Santa Catarina, que recebe milhares de turistas todo o verão, e que é abastecido quase que 100% por intermédio de aquíferos costeiros, grande parte dos poços de abastecimento apresenta-se também comprometido (BORGES, 2002).

Vulnerabilidade dos aquíferos

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 7). A carga contaminante, provêm 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.

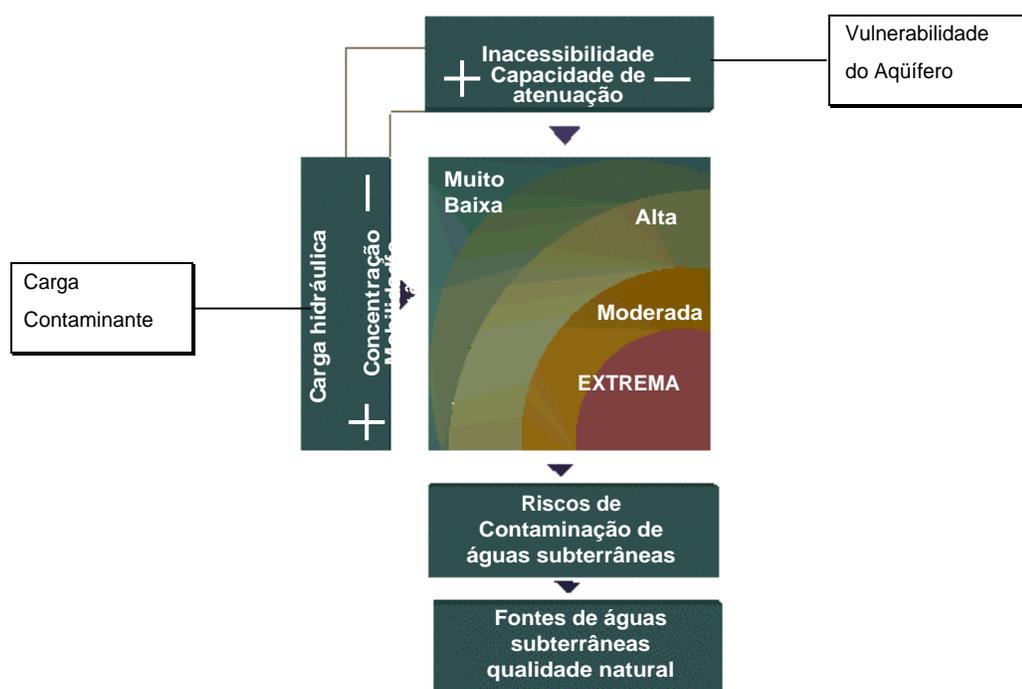


Figura 7. Desenho esquemático mostrando a vulnerabilidade de aquíferos frente a uma carga contaminante, conforme Foster et al., 1987.

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.

A OCUPAÇÃO DA COSTA BRASILEIRA

Distribuição populacional

Segundo critérios estabelecidos pelo Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro, a zona costeira brasileira possui 398 municípios ao longo dos 17 estados costeiros. A gestão desta área consiste em um desafio técnico, institucional, legal e de gerenciamento, especialmente se considerarmos não apenas as diversas realidades regionais, mas também no entendimento em como desenvolver estratégias de acordo com diferentes níveis de distribuição populacional, e distribuição etária entre outras.

As áreas costeiras com uma baixa densidade populacional foram alvo de um rápido processo de ocupação que teve como vetores básicos a urbanização, o turismo e a industrialização. Porém, a concentração demográfica na zona costeira tem sido centralizada em alguns pontos do litoral.

Cinco das nove regiões metropolitanas brasileiras encontram-se à beira-mar, correspondendo a cerca de 15% da população do país. Quando se adicionam a essas regiões os efetivos das seis outras conurbações litorâneas mais expressivas, atinge-se quase 25 milhões de habitantes, distribuídos em apenas onze aglomerações urbanas na costa. Metade da população brasileira reside a não mais de 200 Km do mar, o que equivale a um efetivo de mais de 70 milhões de habitantes cuja forma de vida impacta diretamente os ambientes litorâneos. Essas áreas de adensamento populacional convivem com amplas extensões de povoamento disperso e rarefeito. São os habitats das comunidades de pescadores artesanais, dos remanescentes dos quilombos, de tribos indígenas e de outros agrupamentos imersos em gêneros de vida “tradicionais”.

Assim, verifica-se que a zona costeira do Brasil apresenta situações que exigem tanto ações corretivas como preventivas para seu planejamento e gestão com o fim de atingir padrões de desenvolvimento sustentável. Trata-se de uma zona prioritária em face dos objetivos e interesses nacionais.

Segundo Polette et al., (2001), os dados levantados exprimem os resultados da realidade atual da zona costeira brasileira (Tabela 2).

Tabela 2: População na zona costeira brasileira. Fonte: Polette et al., (2001).

	UF	Extensão (Km)	Percentual em relação ao litoral brasileiro	População 1996	População 2000	Taxa de crescimento anual	Município com maior crescimento		Município com menor crescimento	
							Município	Taxa de crescimento	Município	Taxa de crescimento
NORTE	AM	598	8,1	379.459	475.843	5,82	Tartarugalzinho	11,40	Mazagão	1,45
	PA	562	7,6	5.510.849	6.188.685	2,94	Benevides	5,88	Cachoeira do Arari	- 2,12
NORDESTE	AL	229	3,1	2.633.251	2.817.903	1,71	Maragogi	6,58	São Luis do Quituti	- 1,42
	BA	932	12,7	12.541.675	13.066.764	1,03	Porto Seguro	10,16	Pirai do Norte	- 12,60
	CE	573	7,8	6.809.290	7.417.420	2,15	Jijoca	5,51	Bela Cruz	0,49
	MA	640	8,7	5.222.183	5.638.381	1,94	Bacuri	8,98	Luiz Domingues	- 6,35
	PB	117	1,6	3.305.616	3.436.718	0,98	Conde	7,62	Rio Tinto	- 1,62
	PE	187	2,5	7.399.071	7.910.992	1,69	Ipojuca	5,13	S.Lourenço da Mata	0,16
	PI	66	0,9	2.673.085	2.840.969	1,53	Ilha Grande	1,94	Bom Princípio	- 0,64
	RN	399	5,4	2.558.660	2.770.730	2,01	Pernamirim	9,41	Guamaré	- 1,19
	SE	163	2,2	1.624.020	1.779.522	2,31	Sta. Luzia do Itanhy	5,96	Pacatuba	0,73
SUDESTE	ES	392	5,3	2.802.707	3.093.171	2,50	Piúna	5,92	Presidente Kennedy	- 0,03
	RJ	636	8,6	13.406.308	14.367.225	1,75	Rio das Ostras	6,95	São João da Barra	- 0,56
	SP	622	8,5	34.119.110	36.966.527	2,02	Ilha Comprida	17,78	Iporanga	- 0,92
SUL	PR	98	1,3	9.003.804	9.558.126	1,50	Matinhos	6,60	Guaratuba	- 3,67
	SC	531	7,2	4.875.244	5.333.284	2,27	Bal. Barra do Sul	11,61	Imaruí	0,79
	RS	622	8,5	9.634.688	10.179.801	1,39	Cidreira	8,65	Morrinhos do Sul	- 0,25
	BRASIL	7.367	100	157.070.163	169.544.443	2,09	Ilha Comprida (SP)	17,78	Pirai do Norte (BA)	- 12,60

Segundo o ranking da taxa de crescimento geral dos estados costeiros, o estado do Amapá possui a maior taxa de crescimento (5,82%), seguindo do Pará (2,94%) e Espírito Santo (2,50%). É interessante notar que o estado do Amapá foi também o estado em que a população dos municípios costeiros mais cresceu (6,12%), seguindo pelo estado de São Paulo (4,46%) e Santa Catarina (4,21%). No Amapá isto pode ser claramente explicado pelo fato de 87,25% da

população estar concentrada nos municípios costeiros. Nos outros dois estados, o processo migratório é um forte indicador para o incremento demográfico. Rio de Janeiro (5,60%) possui a maior concentração populacional dos estados na zona costeira fato este verificado por concentrar-se neste setor litorâneo, uma megacidade – Rio de Janeiro.

O Brasil possui atualmente cerca de 57% de municípios costeiros, ou seja, 222 municípios (47 % situados na região Norte; 55% na região Nordeste; 71% na região Sudeste e 46 % na região Sul) com população superior a 20.000 habitantes. Segundo a Constituição Federal de 1988 no Art. 182, parágrafo 1, o plano diretor, aprovado pela câmara Municipal, obrigatório para cidades com mais de 20.000 habitantes, é o instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana. A presente análise populacional demonstra o desafio existente em organizar os espaços litorâneos de acordo com as políticas públicas existentes e que infelizmente nem sempre são levadas em consideração pelas administrações estaduais.

A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA COM RELAÇÃO AOS RECURSOS HÍDRICOS

A Norma Constitucional e o Código de Águas

O princípio de Direito diz que a lei deve ser clara, precisa, concisa, genérica. Mais que isso, ela deve ser possível, isto é, adequada às necessidades sociais presentes e aos interesses econômicos da coletividade. Muitas leis deixam de ser cumpridas porque lhes faltam a

praticidade, a funcionalidade. Em matéria de águas, os princípios específicos que devem reger a elaboração das normas são simples. Mas a norma também deve sê-lo, sob pena de não ser aplicada. E, em matéria ambiental, nada mais nefasto do que uma lei de proteção deixar de ser aplicada por falta de instrumentação administrativa para tanto.

Por isso, quanto mais singela, porem adequada à realidade, for a norma, maiores possibilidade de aplicação e efetividade ela possuirá. Passemos, então, às normas jurídicas referentes às águas. Desde 1934 têm-se a preocupação com a proteção das águas, principalmente no que toca á questão da poluição, pertencendo primeiramente, ao código de Águas, aprovado pelo decreto nº 24.643 de 1934 e modificado pelo Decreto-Lei nº 852 de 1938, o ato de proferir normas sobre a proteção das águas contra a poluição.

Sendo a Lei do Direito de Águas do Brasil, o Código de Águas, de 10 de julho de 1934. e mesmo com 70 anos, ainda é aceita pela Doutrina Jurídica como um dos textos exemplares do Direito Positivo Brasileiro.

No que tange á Constituição Federal, foi a Constituição de 1934 que primeiro abordou o tema das águas de forma clara, considerando os aspectos de desenvolvimento e econômicos nele contidos; a de 1937 conferiu à União competência privativa para legislar sobre “os bens de domínio federal, águas e energia hidráulica”; já a de 1946 conservou a permanência de um título voltado para a ordem econômica e social, buscou regulamentar a uso dos recursos naturais objetivando a exploração econômica dos mesmos, de acordo com as idéias que estavam em vigor na época, ainda, estabelecia, como sendo de competência da União, legislar sobre riquezas do solo, mineração, metalurgia, águas, energia elétrica, florestas, caça e pesca (art. 5º,XV,I). além disso, consentia que os Estados legislassem sobre as águas, de forma supletiva ou complementar; a de 1967, com a Emenda Constitucional nº 1/69, deu caráter ainda de exploração aos recursos ambientais, numa visão desenvolvimentista de época e enunciando, apenas, algumas regras

genéricas. Nesse sentido, o art. 8º, XVII, estabelecia como competência da União legislar sobre: florestas, caça e pesca; 1) águas, telecomunicações, serviço postal e energia (elétrica, térmica, nuclear ou qualquer outra).

Na Constituição Federal de 1988 ficou assegurada à União a competência para legislar sobre águas e energia (art. 22, IV), permitindo a exploração dos “serviços e instalações de energia elétrica e o aproveitamento energético dos cursos de águas, em articulação com os Estados onde se situam os potenciais hidrenergéticos”, diretamente ou mediante concessão, permissão ou autorização (art. 21, XII, *b*) e afirmando que “os potenciais de energia hidráulica constituem propriedade distinta da do solo, para efeito de exploração ou aproveitamento” (art. 176), ficando sujeitos ao regime de autorização ou concessão da União (art. 176, 1º), com ressalva quanto ao “aproveitamento do potencial de energia renovável de capacidade reduzida” (art. 176, 4º), vedando ainda, autorizações ou concessões a estrangeiros ou sociedades organizadas fora do País (art. 176,1º).

No que tange ao domínio público, a Constituição Federal manteve como bens da União “os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais” (art. 20, III). Incluindo-se, ainda, como bens dos Estados “as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União” (art. 26, I).

A Constituição Federal atribui competência à União para “instituir o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e definir critérios de outorga de direitos de seu uso” (art. 21, XIX).

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 possam opinar, ou mesmo tomar decisões com respeito ao abastecimento.

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) apud Machado Granziera (1993) 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.

Em matéria de recursos hídricos, há de se levar em consideração a questão ambiental, pois ambas estão nitidamente conjugadas. A água é um recurso natural que faz parte da natureza e do o patrimônio ambiental, como elemento essencial à vida deve ser necessariamente resguardada e protegida, levando-se sempre em consideração o uso da coletividade. Assim, com o ritmo acelerado do desenvolvimento ocorrido, sobretudo no século XX, tornou-se sujeita às ações predatórias que são fruto das atividades humanas.

Uma vez que o uso da água tornou-a cada vez mais escassa, não somente em razão do uso, mas também e especialmente da poluição, normas que visem proteger os recursos hídricos tornaram-se mister. Ao fazer uma abordagem sobre a legislação que tem por finalidade proteger as águas e o meio ambiente (Lei 6.938/81) e (Lei 9.433/97) faz-se necessário ver em que se constitui a situação de risco que envolve os aspectos de quantidade e qualidade dos recursos hídricos, no que tange aos aspectos referentes à poluição, saneamento, direito e economia.

No Brasil o chamado Direito das Águas está devidamente estruturado, na Lei 9.433 - Política Nacional de Recursos Hídricos, pois o Código de Águas desatualizou-se ao longo do tempo, sendo alterado por leis esparsas sobre a matéria, e uma vez que a água é um recurso natural, a maioria das normas aplicáveis à água encontrava-se nas normas universais de proteção ambiental.

Com exposto, fica claro que a Lei 9433/97 baseou os aspectos de gerenciamento e proteção das águas, na Bacia Hidrográfica. Neste caso, os ambientes costeiros mereceriam uma atenção a parte, pois estes muitas vezes extrapolam estes limites da morfologia do terreno. No caso das águas subterrâneas na costa esta característica é ainda mais marcante. Os mananciais

ocorrem ao longo de toda planície costeira, não sendo limitados por morfologias do tipo “bacias hidrográficas”. Se pode observar este aspecto comparando-se os Anexos VI e VIII, respectivamente os mapas do Sistema Aquífero Costeiro Brasileiro na Ilha de Santa Catarina e o Mapa geológico – hidrogeológico da bacia da Lagoa da Conceição.

Licenciamento Ambiental e as águas subterrâneas

A licença é um ato administrativo vinculado, isto é, cujos requisitos e condições para outorga são estabelecidos por lei, e através do qual o Poder Público faculta ao administrativo o desempenho de atividades ou a realização de fatos materiais antes vedados aos particulares, desde que atendidas as exigências legais para tanto. Assim, é não ser legal o direito adquirido de poluir. De qualquer forma, a licença ambiental é precária, podendo ser cassada a qualquer momento, se o licenciamento não estiver cumprindo as condições fixadas. Nota-se aí o fato de o Poder Público atuar, nessa área, para prevenir o dano.

A primeira manifestação legal no Brasil sobre licenciamento ambiental, como hoje é entendido, encontramos na Lei 6.803, de 1980, que dispõe sobre o zoneamento industrial nas áreas críticas de poluição. Trata-se do licenciamento para instalação, operação e ampliação de indústrias (art. 6º, parágrafo primeiro), sob a competência dos órgãos estaduais de controle de poluição. Não excluindo a exigência de licenças para outros fins (art. 9º, “caput” e parágrafo único).

O licenciamento tornou-se, através da Lei 6.938/81, um instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente (arts. 9º, IV e 10). Ficaram, assim, condicionados ao prévio

licenciamento a construção, a instalação, a ampliação e o funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, bem como aquelas capazes de causar degradação ambiental.

A Resolução CONAMA 001, de 23.1.86, estabelece a lista de atividades que dependem de EIA – Estudo de Impacto Ambiental – e respectivo RIMA – Relatório de Impacto Ambiental – para obterem o licenciamento.

A Resolução CONAMA 06, de 24.1.86, aprovou modelos de publicação de licenciamento de quaisquer de suas modalidades, sua renovação e a respectiva concessão e aprovou os novos modelos para publicação de licenças.

No caso das águas subterrâneas, tem destaque o Decreto Estadual nº 32955/91 que regulamenta a Lei 6134/98 do Estado de São Paulo, que trata especificamente da proteção dos aquíferos. Esta Lei, trata na sua Seção I, do estabelecimento de áreas de proteção de aquíferos.

Legislação Ambiental Brasileira sobre águas

A seguir, apresenta-se um resumo sobre a legislação relativa a captação de águas subterrâneas instituída na forma da Constituição Federal de 1988, Constituição Estadual de Santa Catarina de 1989, Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 que Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei Nº 9.748, de 30 de novembro de 1994 que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos.

CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL DE 1988

Art. 20. São bens da União:

III – Os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais.

Art. 21. Compete à União:

XIX – instituir sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir critérios de outorga de direitos de seu uso (BRASIL, 1988).

CONSTITUIÇÃO DO ESTADO DE SANTA CATARINA DE 1989

Art. 8º Ao Estado cabe exercer, em seu território, todas as competências que não lhe sejam vedadas pela Constituição Federal, especialmente:

VIII – explorar, diretamente ou mediante concessão ou permissão:

a) - (...);

b) – os recursos hídricos de seu domínio.

Art. 12 São bens do Estado:

II – as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União (BRASIL, 1989).

LEI Nº 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997 (Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989).

Art. 1º A Política Nacional de Recursos Hídricos baseia-se nos seguintes fundamentos:

I - a água é um bem de domínio público;

II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;

III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;

IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;

Art. 12. Estão sujeitos a outorga pelo Poder Público os direitos dos seguintes usos de recursos hídricos:

I - (...)

II - extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;

Art. 14. A outorga efetivar-se-á por ato da autoridade competente do Poder Executivo Federal, dos Estados ou do Distrito Federal.

§ 1º O Poder Executivo Federal poderá delegar aos Estados e ao Distrito Federal competência para conceder outorga de direito de uso de recurso hídrico de domínio da União.

Art. 18. A outorga não implica a alienação parcial das águas que são inalienáveis, mas o simples direito de seu uso.

Art. 20. Serão cobrados os usos de recursos hídricos sujeitos a outorga, nos termos do art. 12 desta Lei.

Art. 21. Na fixação dos valores a serem cobrados pelo uso dos recursos hídricos devem ser observados, dentre outros:

I - nas derivações, captações e extrações de água, o volume retirado e seu regime de variação;

Art. 49. Constitui infração das normas de utilização de recursos hídricos superficiais ou subterrâneos:

I - derivar ou utilizar recursos hídricos para qualquer finalidade, sem a respectiva outorga de direito de uso;

II - iniciar a implantação ou implantar empreendimento relacionado com a derivação ou a utilização de recursos hídricos, superficiais ou subterrâneos, que implique alterações no regime, quantidade ou qualidade dos mesmos, sem autorização dos órgãos ou entidades competentes;

IV - utilizar-se dos recursos hídricos ou executar obras ou serviços relacionados com os mesmos em desacordo com as condições estabelecidas na outorga;

V - perfurar poços para extração de água subterrânea ou operá-los sem a devida autorização (BRASIL, 1997).

LEI Nº 9.748, DE 30 DE NOVEMBRO DE 1994 (Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências).

Art. 3º - O Estado, obedecidos os critérios e normas estabelecidos pelo Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, assegurará os meios financeiros e institucionais para:

I - utilização racional dos recursos hídricos, superficiais e subterrâneos, assegurado o uso prioritário para o abastecimento das populações;

Art. 4º - A implantação de qualquer empreendimento ou atividade que altere as condições quantitativas ou qualitativas das águas superficiais ou subterrâneas, depende de autorização da Secretaria de Estado responsável pela Política Estadual de Recursos Hídricos, através da Fundação do Meio Ambiente - FATMA, ou sucedâneo, na qualidade de órgão gestor dos recursos hídricos.

Parágrafo único - As atividades que após a vigência desta Lei estiverem utilizando, de alguma forma, os recursos hídricos, deverão efetuar o seu cadastramento perante o órgão gestor, no prazo de 01 (um) ano.

Art. 5º - São dispensados da outorga os usos de caráter individual para satisfação das necessidades básicas da vida.

Art. 7º - Constitui ainda infração à presente Lei:

I - utilizar recursos hídricos para qualquer finalidade, com ou sem derivação, sem a respectiva outorga do direito de uso;

II - iniciar a implantação ou implantar empreendimento, bem como exercer atividade relacionada com a utilização de recursos hídricos, superficiais ou subterrâneos, que implique em alterações no regime, quantidade ou qualidade das águas, sem autorização do órgão gestor dos recursos hídricos;

III - operar empreendimento com o prazo de outorga vencido;

IV - executar obras e serviços ou utilizar recursos hídricos, em desacordo com as condições estabelecidas na outorga;

V - executar perfuração de poços ou captar água subterrânea sem a devida aprovação;

VI - declarar valores diferentes das medidas aferidas ou fraudar as medições dos volumes de água captados;

VII - o não atendimento ao cadastramento, conforme artigo 4º, parágrafo único.

Art. 11 – Será cobrado uso dos recursos hídricos superficiais ou subterrâneos, segundo as peculiaridades das bacias hidrográficas, na forma a ser estabelecida pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CERH, obedecidos os seguintes critérios:

I – a cobrança pela utilização considerará a classe de uso preponderante em que estiver enquadrado o corpo d'água onde se localiza o uso, a disponibilidade hídrica local, o grau de regularização assegurado por obras hidráulicas, a vazão captada em seu regime de variação, o consumo efetivo e a finalidade a que se destina;

Art. 14 - O Plano Estadual de Recursos Hídricos terá como elementos constitutivos:

V - as diretrizes para à outorga do uso da água, que considerem a aleatoriedade das projeções dos usos e das disponibilidades da água.

Art. 29 - O Estado poderá delegar aos municípios, que se organizarem técnica e administrativamente, o gerenciamento de recursos hídricos de interesse exclusivamente

local, compreendendo, entre outros, os de bacias hidrográficas que se situem exclusivamente no território do Município e os aquíferos subterrâneos situados em áreas urbanizadas (BRASIL, 1994).

DECRETO do Estado de São Paulo, nº 32.955, de 7 de fevereiro de 1991

(Regulamenta a Lei nº 6.134, de 2 de junho de 1988)

Art. 19 - Sempre que, no interesse da conservação, proteção e manutenção do equilíbrio natural das águas subterrâneas, dos serviços de abastecimento de águas, ou por motivos geotécnicos ou geológicos, se fizer necessário restringir a captação e o uso dessas águas, o Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE e a CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental proporão ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos a delimitação de áreas destinadas ao seu controle.

Parágrafo 1º Nas áreas a que se refere este artigo, a extração de águas subterrâneas poderá ser condicionada à recarga natural ou artificial dos aquíferos.

Parágrafo 2º As áreas de proteção serão estabelecidas com base em estudos hidrogeológicos pertinentes, ouvidos os municípios e demais organismos interessados.

Art. 20 . Para os fins deste DECRETO, as áreas de proteção classificam-se em:

I - Área de Proteção Máxima: compreendendo, no todo ou em parte, zonas de recarga de aquíferos altamente vulneráveis à poluição e que se constituam em depósitos de águas essenciais para abastecimento público;

II - Área de Restrição e Controle: caracterizada pela necessidade de disciplina das extrações, controle máximo das fontes poluidoras já implantadas e restrição a novas atividades potencialmente poluidoras e,

III - Área de Proteção de Poços e outras Captações: incluindo a distância mínima entre poços e outras captações e o respectivo perímetro de proteção.

Art. 24 . Nas Áreas de Proteção de Poços e Outras Captações, será instituído Perímetro Imediato de Proteção Sanitária, abrangendo raio de dez metros, a partir do ponto de captação, cercado e protegido com telas, devendo o seu interior ficar resguardado da entrada ou penetração de poluentes (BRASIL, 1991).

CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

DESCRIÇÃO GERAL DOS AQUÍFEROS COSTEIROS BRASILEIROS

Características geológicas e geomorfológicas

A planície costeira atlântica sul – americana, na sua porção leste, com relação ao quaternário, caracteriza-se principalmente pela ocorrência de cordões de dunas, planícies arenosas e lagunas, típico de sistemas do tipo “laguna – barreira”, passando para planícies dominadas por marés de grande amplitude no norte. Esta morfologia costeira pode alcançar mais de 100 km de largura, como no Rio Grande do Sul e desaparecer em outras partes (TOMAZELLI, et al. 1985). É limitada pelo oceano atlântico à leste e à oeste por relevos destacados, como as serras do Mar e Geral no sul e o Grupo Barreiras, principalmente no norte e nordeste do Brasil. A formação dos depósitos sedimentares é direta ou indiretamente relacionada às variações climáticas e alterações no nível do mar na costa que ocorreram durante o Cenozóico, Período Quaternário (MARTINS, 1987).

A costa brasileira com cerca de 7.367 km de faixa de praia, sem levar em conta os recortes litorâneos, como baías e reentrâncias (MMA, 1996), pode ser dividida cinco setores (SILVEIRA, 1964 apud VILLWOCK, 1994): Norte, Nordeste Leste, Sudeste e Sul, cujo relevo da costa mostra uma sucessão de falésias e costões rochosos, alternando-se com extensas

planícies sedimentares de idade terciária / quaternária; acumuladas em processos continentais, transicionais e marinhos.

A costa sul, cujo padrão de largas e extensas planícies costeiras se inicia na verdade nas margens do Rio da Prata no Uruguai, vai até o Cabo de Santa Marta e apresenta ampla planície com aproximadamente 1370 km de comprimento e um máximo de 120 km de largura, no Rio Grande do Sul (JACKSON, 1985). É característica importante deste setor a pequena amplitude das marés (micromarés de amplitude inferior a 2 metros) e a grande atividade das ondas. A geomorfologia mostra uma sucessão de barreiras e planícies arenosas que aprisionam lagunas em um sistema típico “laguna – barreira” (MARTIN et al., 1988).

Conforme MARTIN et al. op cit., VILLWOCK et. al., (1986), CARUSO Jr, (1987), a faixa litorânea quaternária do sul do Brasil pode ser agrupada em dois tipos de sistemas: O sistema de “Leques Aluviais”, relacionados aos processos de intemperismo e erosão continentais e, o sistema do tipo “Laguna – Barreira”, relacionado diretamente aos processos de sedimentação marinho costeiros.

O sistema de leques aluviais engloba sedimentos clásticos próximos das encostas de morros (embasamento cristalino), formando depósitos típicos de “Talus”, podendo ou não ter sofrido retrabalhamento fluvial. Estes depósitos são sobrepostos por sedimentos do sistema “Laguna – Barreira” que são por sua vez compostos por areias de origem marinha praias, areias finas eólicas (dunas) e localmente por sedimentos finos, lagunares, podendo neste caso ocorrer depósitos orgânicos do tipo: turfas. Estes dois sistemas podem ser ainda subdivididos segundo o ambiente deposicional, a idade e formas do relevo (GIANINI & SUGUIO, 1994).

A partir do Cabo de Santa Marta, ocorre o setor da costa sudeste que vai até Cabo Frio. Neste setor a Serra do Mar apresenta-se bastante próxima da linha de costa, sendo a ocorrência de largas planícies arenosas mais limitadas, com a morfologia do terreno apresentando

morros e promontórios adentrando o Oceano Atlântico. Os sedimentos quaternários ficam restritos as planícies que entremeiam o relevo montanhoso, representado por múltiplos sistemas tipo “laguna – barreira” ou cordões litorâneos regressivos (MARTIN et al., 1991).

Chegando-se ao Estado do Espírito Santo inicia a costa leste ou oriental, com o Grupo Barreiras de idade terciária mostrando falésias arenosas compactas, próximas da linha de costa, servindo de anteparo para a sedimentação marinho – praias, enquanto os costões rochosos representando o embasamento cristalino, desaparecem a partir da Baía de Vitória. Nos locais onde o Embasamento Cristalino e o Grupo Barreiras ocorrem longe da linha de costa, ocorrem expressivas planícies arenosas e campos de dunas, como por exemplo, no entorno da desembocadura dos rios Jequitinhonha, Doce e Paraíba do Sul (LANDIM, 1983; ALBINO, 1999). É característico deste setor a amplitude das marés que se situa entre 2 e 4 metros (mesomarés).

A Baía de Todos os Santos, na Bahia, marca o final da costa leste e o início da costa nordeste. Neste setor os sedimentos terciários do Grupo Barreiras encontram-se retrabalhados, dando origem à “tabuleiros costeiros”. Até a Costa do Calcanhar, onde a costa inflete para norte, a característica é de grande destaque das falésias do Grupo Barreiras e franjas de recifes. Nas imediações dos principais rios desenvolvem-se sistemas “laguna – barreira” e campos de dunas, como na foz do Rio São Francisco (Figura 8). Após a Costa do Calcanhar destacam-se mais os sistemas “laguna – barreira” de pequena envergadura e estuários com manguezais além de extensas planícies cobertas por dunas, como nos “Lençóis Maranhenses” (VILLWOCK 1994).



Figura 8. Extensa planície arenosa (aqüíferos costeiros de idade quaternária). Foz do Rio São Francisco, entre Sergipe e Alagoas. Foto: do Autor.

A costa norte, também chamada de Litoral Amazônico ou Equatorial inicia na Baía de São Marcos, no Maranhão. Neste setor ocorrem as macromarés (marés com amplitudes maiores que 4 metros) sobre extensas planícies de maré lamosas com grande desenvolvimento de manguezais e pântanos costeiros, em uma típica costa deposicional dominada por marés que recebe a lama amazônica que a Corrente Equatorial Brasileira direciona para norte. No complexo deltaico – estuarino do Rio Amazonas desenvolvem-se planícies alagadas e um grande número de ilhas que constituem o Arquipélago Marajoara (VILLWOCK op cit.).

Caracterização hidrogeológica geral dos aquíferos costeiros

Os aquíferos costeiros correspondem à “Província Costeira” do Mapa Hidrogeológico do Brasil (CPRM, 1983) e do Mapa Hidrogeológico da América do Sul (UNESCO *et al.*, 1996), cuja característica principal é de serem depósitos sedimentares bastante homogêneos, compostos quase que exclusivamente por grãos de quartzo, tamanho: areia fina a média, que formam acumulações espessas, alcançando grandes profundidades, de alta permeabilidade, nível freático com poucos metros de profundidade e excelente qualidade de água. São decorrentes principalmente de processos marinho - praias e eólicos, depositados no Período Geológico Quaternário (PLEISTOCENO e principalmente Holoceno) que ocorreram ao longo de toda costa atlântica sul-americana (Figura 9).

Segundo a CPRM, *op. cit.*, os aquíferos costeiros ocorrem ao longo da costa atlântica da América do Sul que ocorrem desde as margens do Rio da Prata, no Uruguai ao sul, passando pela costa brasileira, Guianas, Venezuela, chegando até a Colômbia, de maneira descontínua.

As melhores ocorrências estão no Brasil no setor sul, e norte/nordeste, podendo-se estimar que 90% do sistema aquífero está em território brasileiro. O sudeste brasileiro mostra ocorrências localizadas, porém igualmente importantes, enquanto o nordeste as ocorrências são limitadas pela predominância do relevo de falésias do Grupo Barreiras, sendo inclusive, neste trabalho agrupadas como um sistema aquífero único, como será visto adiante. O relevo onde ocorrem estes aquíferos é característico plano, ondulado (quando da ocorrência de dunas) arenoso, coberto por vegetação rasteira ou de pequeno porte.

Os aquíferos costeiros apresentam excelentes características para o desenvolvimento de água subterrânea, como a alta taxa de recarga (na costa ocorrem boas taxas de precipitação), boa permeabilidade, condutividade hidráulica e qualidade das águas para consumo.



Figura 9. Planície Costeira no sul do Brasil, representando os aquíferos costeiros brasileiros (sem a presença do Grupo Barreiras).

A proximidade direta com o Oceano Atlântico e a ocorrência de barreiras naturais, como a Serra do Mar que muitas vezes levam as massas de ar quase saturadas a descarregarem grande parte de sua umidade sobre a costa, garante uma taxa de precipitação anual em torno de 1200 mm a 1600mm, podendo chegar a 2400 mm no norte brasileiro e nas Guianas.

A ocorrência de camadas confinantes para a água subterrânea nestes aquíferos é bastante limitada, classificando-se este aquífero como livre, freático. As camadas de solo sobre estes depósitos também são desprezíveis e pode-se dizer que toda a área da planície costeira funciona como área de recarga dos mananciais subterrâneos. Este fator, combinado às altas taxas de precipitações anuais, garante uma recarga direta e relativamente constante ao longo do ano. O conjunto de aquíferos costeiros apresenta depósitos sedimentares bastante semelhantes, em termos de composição, variando mais a sua gênese do que as características sedimentológicas (variam de areias finas a médias). Os depósitos marinhos praias têm origem nas transgressões marinhas e formam os aquíferos mais importantes. São formados por areias finas a médias e podem ser livres ou localmente confinados, ocorrendo geralmente recobertos por depósitos de origem eólica (dunas), podendo entre eles aparecer camadas sedimentares finas (impermeáveis ou com baixa permeabilidade), representando antigos lagos colmatados.

Os depósitos eólicos (dunas) apresentam a composição mais homogênea, sendo compostos basicamente por quartzo, tamanho areia fina. 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, sendo as dunas o topo de um aquífero livre ou representam o próprio aquífero. Desta forma, os pacotes sedimentares que compõem os aquíferos formam um conjunto de aquíferos livres e/ou confinados derivados das oscilações do nível do mar no quaternário (Figura 10).



Figura 10. Perfil de depósito arenoso de origem marinha e fluvial, típica de aquífero costeiro, mostrando estratificação plano paralela. Local: Bahia, Foto: do Autor.

Nas áreas de desembocaduras de rios, como no Espírito Santo e Amapá, é evidente a contribuição fluvial nos depósitos arenosos (aquíferos). No sul do Brasil e Uruguai, a extensa planície costeira coberta principalmente por sedimentos arenosos de origem marinho – praias e eólicos associados a um regime pluviométrico de cerca de 1.400 mm/ano, configura-se como um sistema aquífero destacado, possibilitando o desenvolvimento de diversas cidades litorâneas, como Tramandaí, Araranguá e Laguna. No setor sudeste da costa brasileira destacam-se ocorrências contínuas, no litoral do Paraná e sul de Santos (litoral sul paulista). O litoral norte paulista mostra ocorrências limitadas pela Serra do Mar que atinge a orla marítima e boas ocorrências no Rio de Janeiro.

No setor leste da costa brasileira mostra uma ocorrência expressiva do conjunto de aquíferos costeiros na desembocadura do Rio Doce, no Espírito Santo.

No setor nordeste os aquíferos costeiros aparecem como estreitas e contínuas faixas arenosas limitadas pelas falésias do Grupo Barreiras e o Oceano Atlântico, além de expressivos campos de dunas, como no norte de Natal e no Estado do Ceará. Já o setor norte da costa brasileira mostra relevantes ocorrências dos aquíferos costeiros, principalmente no Maranhão, marcadamente nos “Lençóis Maranhenses”, enquanto nos Estados do Amapá e Macapá, os aquíferos costeiros mostram-se como largas planícies de grande influência da sedimentação fluvial, sendo restrito às camadas arenosas.

A sistemática ocorrência destes mananciais subterrâneos levou a ser proposto um nome único para este grupo de aquíferos, de Sistema Aquífero Janaína (GUEDES Jr, 2001).



Figura 11. Planície Costeira (aquíferos costeiros) na Barra de São Miguel, Alagoas.
Foto: do Autor.

A inclusão do Grupo Barreiras no Sistema Aquífero Costeiro Brasileiro

O Grupo Barreiras é sem dúvida o principal conjunto de sedimentos inconsolidados que ocorre na costa sudeste e nordeste brasileira (COSTA, 1994).

São sedimentos que se depositaram na Era Cenozóica, Períodos Terciário e Quaternário, os quais comumente se apresentam como relevo em forma de tabuleiro e falésias junto ao mar, limitando a planície costeira. Possuem textura variável, ocorrendo principalmente: areias finas, médias e grossas com intercalações de argilas. Os depósitos arenosos apresentam sedimentos de granulometria variada, com areias, geralmente feldspáticas e de cores claras, com intercalações de sedimentos finos sob a forma de camadas e lentes de argila e / ou silte. Também ocorrem, de maneira mais ocasional, conglomerados de cor creme a avermelhada com seixos e grânulos sub-angulosos de quartzo e blocos de argila retrabalhada, em corpos tabulares a lenticulares de espessura métrica (BIGARELA, 1975) (Figura 12).

Esta seqüência sedimentar variada é chamada comumente de **Aquífero Barreiras**, ainda que sejam ocorrências sedimentares heterogêneas e descontínuas lateralmente ao longo da costa, por suas características hidrogeológicas particulares e com grande importância no abastecimento de água, principalmente na costa nordeste, servindo como principal manancial hídrico da maioria das capitais nordestinas, com destaque para Maceió, Recife e Natal (LUCENA et. al., 2004). Este aquífero por si só é de fundamental importância para o País. A capital do Rio Grande do Norte (Natal), por exemplo, utiliza deste manancial para abastecimento de água em cerca de 70% para as zonas sul, leste e oeste e 30% da zona norte da cidade (LUCENA et. al., op. cit.).

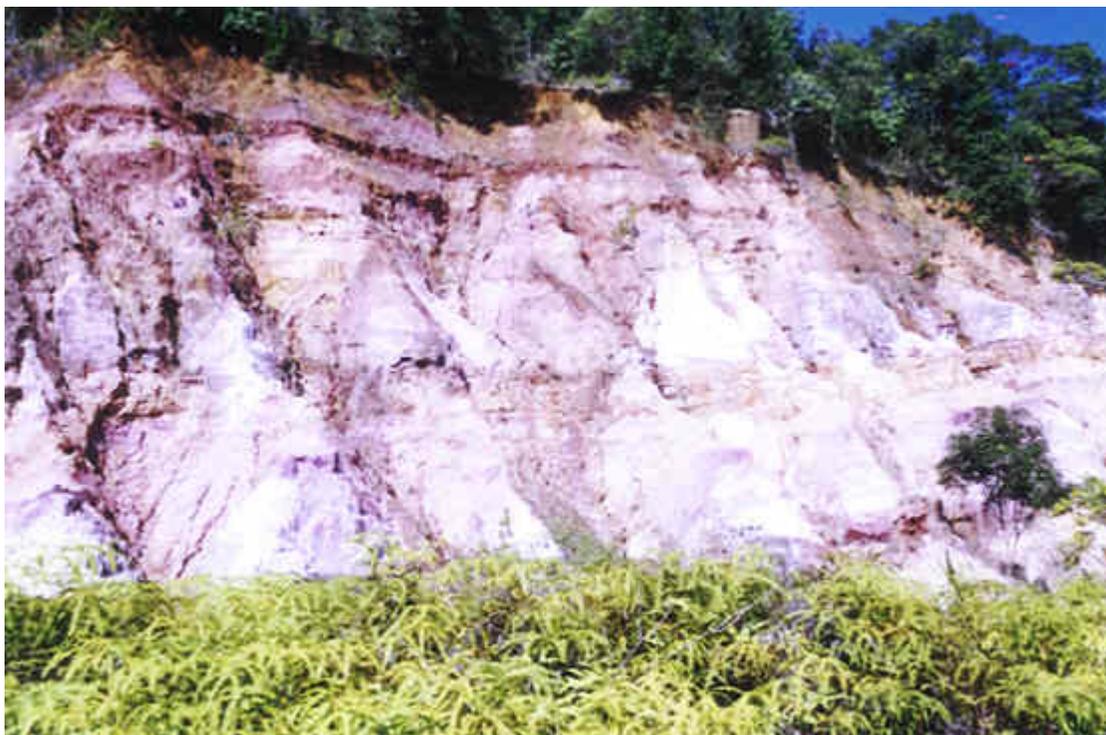


Figura 12. Falésia do Grupo Barreiras, Bahia. Foto: do Autor.

A Secretaria de Recursos Hídricos de Pernambuco editou uma legislação específica para o controle do uso desse manancial (COSTA, 1994) devido sua importância para abastecimento humano. As águas do Aquífero Barreiras geralmente possuem excelente potabilidade para consumo doméstico, porém, em locais de densa ocupação humana, como nas cidades de Natal e Belém, tem sido constatada uma gradual contaminação deste aquífero por nitratos devido ao acúmulo de efluentes no solo por fossas e sumidouros (LUCENA et. al., 2004).

O Aquífero Barreiras serve muitas vezes como área onde ocorre a recarga dos aquíferos costeiros quaternários, aparecendo na forma de extensas áreas planas, com cotas superiores a planície costeira, justaposto e a oeste desta. Como os sedimentos do Grupo Barreiras apresentam boa permeabilidade, a água de precipitação ao atingir o solo infiltra rapidamente, migrando cada vez mais profundamente no subsolo por força da gravidade e posteriormente para leste, em direção ao mar. Neste processo, o Barreiras recarrega continuamente os aquíferos

costeiros quaternários. Outra situação ocorre quando os sedimentos quaternários sobrepõem o Aquífero Barreiras, servindo como área de recarga do Barreiras que está abaixo. Observa-se também que não existem camadas impermeáveis que separam nitidamente o Aquífero Barreiras dos sedimentos costeiros quaternários, tais como dunas e depósitos marinho – praias.

Devido a característica de não haver uma distinção nítida entre a água subterrânea do Aquífero Barreiras, nem tampouco física (camadas impermeáveis) com relação aos aquíferos costeiros (dunas etc.), propõe-se neste trabalho o agrupamento todas estas ocorrências sedimentares costeiras sob a denominação de **Sistema Aquífero Costeiro Brasileiro**.

Tabela 3. Agrupamento dos aquíferos que ocorrem na costa em um único sistema aquífero.

SISTEMA AQUÍFERO COSTEIRO BRASILEIRO	Aquífero Barreiras	Denominações locais de cunho geológico ou geográfico
	Aquíferos Costeiros Quaternários	Denominações locais de cunho geológico ou geográfico
	Outros aquíferos sedimentares ocorrentes na costa	Denominações locais de cunho geológico ou geográfico

LEVANTAMENTOS DE CAMPO EXECUTADOS

Visando um maior detalhamento do trabalho e mesmo a confirmação de alguns parâmetros hidrogeológicos relacionados aos aquíferos costeiros brasileiros, foram coletadas informações e mesmo executados ensaios técnicos em pontos específicos da costa.

Foram visitados pontos nas porções sul e nordeste da costa, destacando-se os Estados do **Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Bahia, Alagoas e Rio Grande do Norte**. Nestes locais foram feitas diversas tomadas fotográficas, observado o modelo de abastecimento de água doméstico, a disposição de esgotos e os problemas mais comuns relativos ao assunto. Nas cidades de Itajaí e Florianópolis (Santa Catarina), foram também realizados ensaios de campo e coletadas amostras para ensaios de laboratório. Em Palhoça, também em Santa Catarina, foi realizado um outro tipo de ensaio de campo, utilizando-se poços tubulares profundos.

Um ponto significativo que se observou ao longo destes trabalhos de campo é a grande extensão de ocorrência dos aquíferos costeiros estudados (ao longo de praticamente toda costa atlântica da América do sul, incluindo o Brasil) e suas características bastante homogêneas. Logicamente, na natureza não existe ambiente geológico 100% homogêneo, ainda mais se tratando de depósitos sedimentares, os quais são relacionados a processos de deposição complexos, envolvendo ventos, correntes marinhas e costeiras, clima, ação fluvial e etc. Contudo, em linhas gerais pode-se agrupar estes depósitos em um conjunto de aquíferos de características bastante semelhantes, tais como a alta permeabilidade, a constituição dos depósitos (predominantemente areia), o nível freático bastante próximo da superfície (aquíferos livres) e a presença da cunha salina. Além destas características ocorre também o fator antrópico, com uma urbanização que raras vezes destina os esgotos domésticos para estações de tratamento de

efluentes, sendo freqüente o uso de fossas e “sumidouros”. Neste sentido pode-se dizer que são aquíferos com alto risco de contaminação das águas subterrâneas.

Alguns experimentos foram executados ao longo desta pesquisa visando confirmar parâmetros hidrogeológicos importantes destes aquíferos.

Itajaí, SC.

Em Itajaí, SC, foram executados dois ensaios de permeabilidade em campo, com perfuração de poços de experimentação. Foi utilizado trado manual, e uma tubulação de material PVC, cravada até o nível freático, sendo então calculado o volume do tubo. O tubo é então preenchido com água, e monitorado o tempo de infiltração da água, com os resultados anotados em uma tabela específica.

Os dois pontos de execução dos ensaios localizavam-se a uma distância do mar de aproximadamente 150 e 200 metros. Os níveis freáticos situavam-se em torno de 2 metros de profundidade (o nível freático pode variar conforme as marés e o regime de chuvas).

O aquífero é constituído basicamente de areias, variando de granulometria média a grossa, ocorrendo porções areno-argilosas as quais não chegam a formar camadas confinantes para a água subterrânea.

Os valores de K obtidos situam-se na ordem de $4,9 \times 10^{-5}$ m/s, ou cerca de 20 cm por hora, confirmando os dados da bibliografia (Anexo II).



Figura 13: Execução de ensaio de permeabilidade em campo visando também a determinação do nível freático da água subterrânea. Praia Brava, Itajaí, SC, 2005. Fotos: do Autor.

Praia do Campeche, Florianópolis, SC.

Em Florianópolis, SC, mais especificamente na Praia do Campeche, foram executados duas perfurações com trado manual, visando a determinação do nível freático do aquífero e sua permeabilidade. Os pontos localizam-se cerca de 500 metros do mar e são caracterizados como depósitos sedimentares de origem eólica, de idade Pleistocênica (CARUSO Jr, 1993) os quais sobrepõem areias de origem marinha. As perfurações atingiram o limite do trado manual utilizado (6 metros) e não encontraram o nível freático. O depósito é extremamente homogêneo,

apresentando, conforme análise realizada no Laboratório de Solos da UNIVALI, cerca 90 % de areia fina, além de óxidos de ferro e argilas, os quais conferem uma cor castanha avermelhada ao local. (Anexo III).

Além da perfuração, foi coletada amostra indeformada para realização de ensaio de permeabilidade em laboratório.

O valor de K obtido em laboratório é de $8,93 \times 10^{-5}$ m/s ou cerca de 30 cm por hora. (Anexo IV).



Figura 14: Ensaio de campo e coleta de material para ensaio de permeabilidade em laboratório. Praia do Campeche, Florianópolis, 2002. Fotos: do Autor.



Figura 15. Trado de 6 metros utilizado no ensaio. Praia do Campeche, Florianópolis.

Observou-se ao longo dos trabalhos de pesquisa bibliográfica que a infiltração de esgotos domésticos no subsolo é a principal maneira em que pode ser contaminada a água subterrânea dos aquíferos costeiros. A grande permeabilidade dos depósitos arenosos contribui para o rápido movimento das cargas contaminantes que por ventura estejam presentes no subsolo. Além disso, o nível freático próximo à superfície também contribui para o contato das águas subterrâneas com as cargas contaminantes, mesmo que estas estejam dispostas na superfície do terreno. Aliando a estes fatores o bom volume de chuvas que ocorre na região costeira, soma para a rápida movimentação de efluentes do solo no sentido descendente.

Um aspecto importante de se pontuar é o uso intenso destes mananciais pela população.

Como estes mananciais são largamente utilizados, é possível a ocorrência de rebaixamentos expressivos, ocasionado um aumento na velocidade da água subterrânea, especialmente nas proximidades dos poços em atividade. Agrega-se a isso o fato de serem, comumente expostos a contaminação, o que leva a necessidade de estabelecimento de áreas ou zonas de proteção para os poços de captação, principalmente aqueles destinados a abastecimento público.

Observações sobre o problema de pesquisa na Ilha de Santa Catarina

Devido a grande área de extensão do Sistema Aquífero Costeiro Brasileiro, será focada uma área específica da costa a Ilha de Santa Catarina, onde se pode analisar a importância, o uso e os riscos de contaminação das águas subterrâneas.

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 14).

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° C. Estas características climáticas são inerentes ao litoral sul brasileiro, com estações de verão e inverno bem definidas e outono e primavera com características similares.

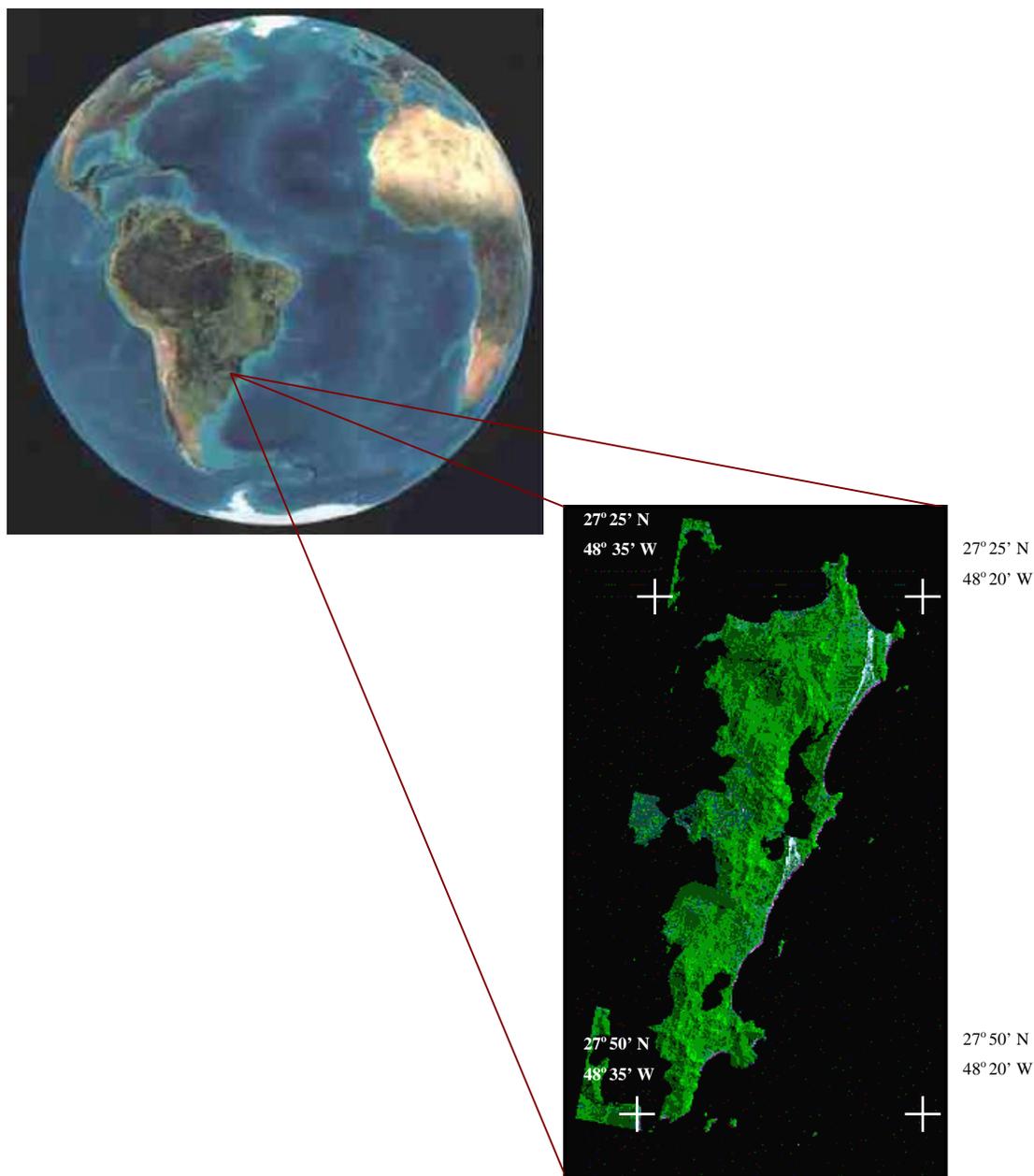


Figura 16. Localização da Ilha de Santa Catarina.

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.

Conforme observado nos índices pluviométricos medidos (Tabela 3), nota-se que não ocorre uma estação prolongadamente seca na Ilha de Santa Catarina. O verão é a estação mais chuvosa, onde o mês de janeiro é o representante com índice médio de precipitação de 159,19 milímetros. O período de menos chuva é o inverno, com o mês de junho, apresentando precipitação média mensal de apenas 85,56 mm.

Não considerando as anomalias climáticas do tipo “El Niño”- justificadas pelo aquecimento anormal das águas do Oceano Pacífico associadas com as do Atlântico Sul formando intensa pluviosidade na Região Sul do país e em países vizinhos - o índice pluviométrico médio, entre 1968 e 1994 foi de 1389,89 milímetros de chuva. Este índice, entretanto, atingirá o valor de 1561,1 milímetros no caso de tomar-se em conta o efeito do tipo “EL Niño” (BORGES, 1996).

Tabela 4. Precipitações médias mensais. Período considerado (1968 a 1994). Fonte: EPAGRI, CLIMERTH.

Mes	Precipitação	Mes	Precipitação
Janeiro	159,19	Agosto	90,62
Fevereiro	151,69	Setembro	107,01
Março	153,36	Outubro	107,01
Abril	95,05	Novembro	113,76
Mai	107,31	Dezembro	122,11
Junho	85,56		
Julho	95,72	Total anual	1389,89

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 17. Coluna Estratigráfica modificada de CARUSO Jr. 1993

Com relação à temática deste trabalho, destacam-se os depósitos sedimentares, os sedimentos inconsolidados.

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.

Os **depósitos marinhos praias (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).

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 Uruguai 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.

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 (Paleodunas)** (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.

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). São depósitos heterogêneos que apresentam variadas proporções entre sedimentos finos e areia.

Os **depósitos eólicos atuais (Dunas)** 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 compõe 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.

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 (GUEDES Jr, 1999).

As cores que representam os aquíferos da Ilha representam a vazão média possível de ser obtida para poços perfurados na unidade referente, as quais provêm de uma adaptação da *International Legend for Hydrogeological Maps*, UNESCO, (1983). Os tons de azul representam os aquíferos sedimentares e cores em tons de verde as rochas, onde a ocorrência de água subterrânea concentra-se nas fraturas. 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). Os depósitos heterogêneos, onde há muita variação entre camadas de areia, silte e argila, a cor representativa é o amarelo ocre. As fraturas das rochas aparecem como traços contínuos e descontínuos. Os contínuos referem-se às fraturas mais visíveis do terreno e os descontínuos, às inferidas.

Os Aquíferos da Ilha podem ser agrupados da seguinte forma:

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

O termo Sistema Aquífero Sedimentos Inconsolidados, do Mapa Hidrogeológico da Ilha de Santa Catarina é entendido neste trabalho como parte do Sistema Aquífero Costeiro Brasileiro. No Anexo V encontra-se o Mapa Hidrogeológico da Ilha de Santa Catarina.

Sistema Aquífero Sedimentos Inconsolidados - SISTEMA AQUÍFERO COSTEIRO BRASILEIRO

O Sistema Aquífero Costeiro Brasileiro ocorre na ilha como depósitos sedimentares capazes de armazenar e transmitir água, ocorrentes principalmente na porção norte e leste da ilha. São depósitos de idade quaternária 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. Os aquíferos são compostos por acumulações de sedimentos que variam principalmente em areia grossa a fina, podendo apresentar quantidades pequenas de silte e argila.

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.

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 5). Estendem-se desde a Praia do Campeche ao sul, até a Praia dos Ingleses ao norte. No Anexo VI encontra-se o mapa com os aquíferos do Sistema Aquífero Costeiro Brasileiro na Ilha de Santa Catarina.

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.

Tabela 5. Granulometria da unidade Dunas Quaternárias. SANTOS , 1997.

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

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 Aquífero 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 19).

Estes depósitos recobrem depósitos também eólicos, mais antigos, depósitos paleolagunares e depósitos marinho-priaias. Um perfil completo destas unidades teria a seguinte característica (Figura 18):

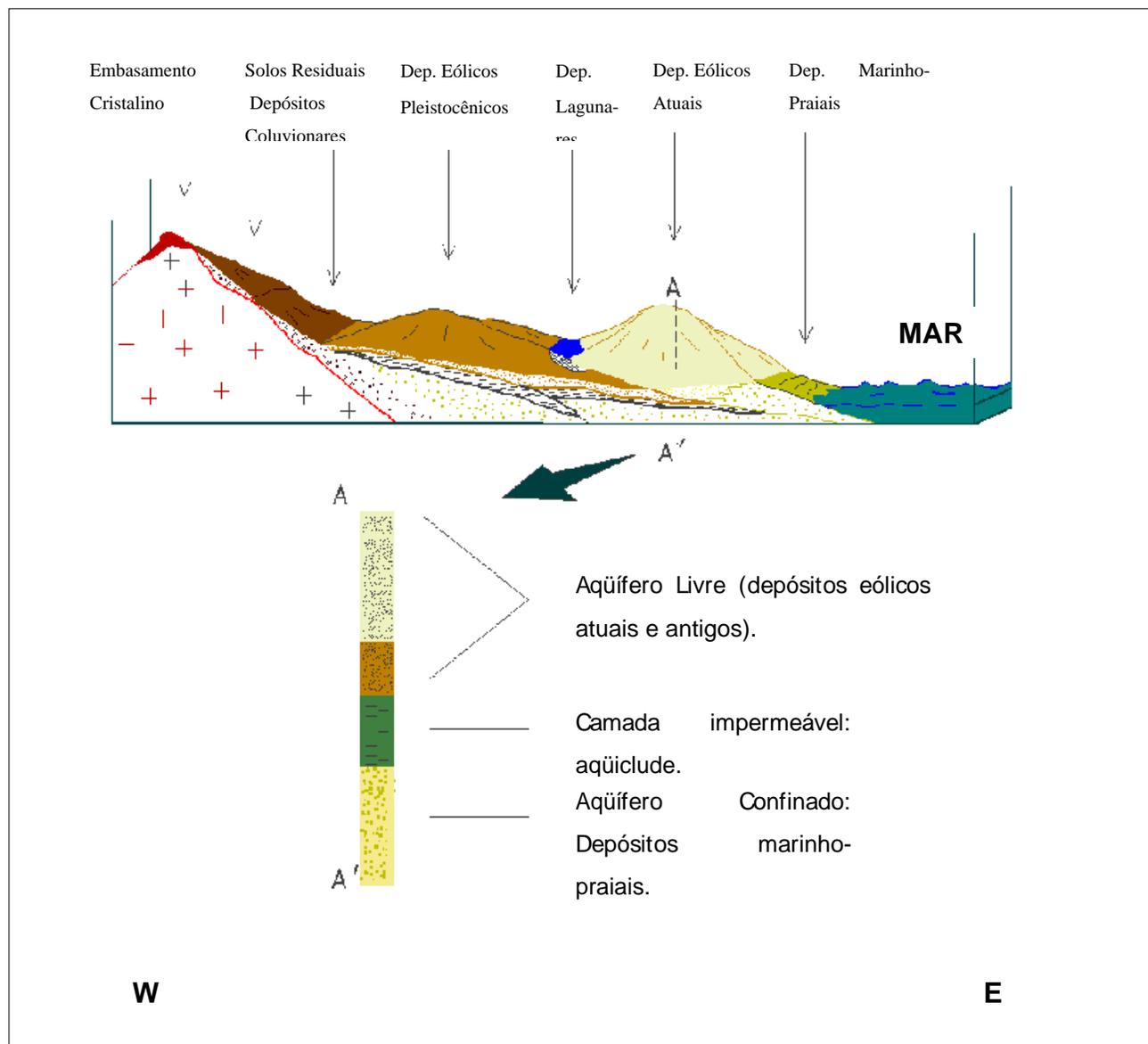


Figura 18. Desenho esquemático, mostrando a disposição dos depósitos sedimentares na borda Leste da Ilha de Santa Catarina.

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).

Já os aquíferos provenientes de depósitos de origem eólica antigos (paleodunas), de idade Holocênica *⁵ ou aproximadamente 2.600 anos, Zannini, (1997), 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. *⁵ CARUSO Jr, 1993, infere a idade Pleistocênica a estes depósitos.

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.



Figura 19. Dunas na costa leste da Ilha de Santa Catarina

Sua ocorrência é mais limitada espacialmente, quando comparada às dunas atuais, apresentando, contudo, características hidrogeológicas semelhantes sendo aquíferos livres

homogêneos e isotropos. 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 6).

Tabela 6. Granulometria da unidade Areias Quartzosas (Rampas de Dissipação). Extraído de Santos, (1997).

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

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 a 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.

O aquífero relacionado aos depósitos arenosos de origem marinho - praial 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. 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 isotrópico. 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.

Tabela 7. Granulometria da unidade Podzol (sed. Quaternário). Extraído de SANTOS, 1997.

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

Sistemas de abastecimento de água existentes na Ilha de Santa Catarina e as águas subterrâneas

O Abastecimento público de água para todo o município de Florianópolis é de responsabilidade da companhia estadual CASAN (Companhia Catarinense de Águas e Saneamento). A água provém de seis mananciais superficiais: *Rio Cubatão*, *Rio Vargem do Braço*, *Ribeirão Ana D'Ávila*, *Córrego Grande*, *Rio Itacorubi* e *Rio Tavares*, e de um sistema de poços tubulares profundos e “ponteiras”, administrados em sua maioria pela CASAN, embora existam muitos sistemas de abastecimento privados ou individuais.

Segundo dados do CENSO 2000, dos 103.820 domicílios particulares permanentes do município, 93.092 estão ligados a rede geral de abastecimento de água. Os demais 10.728 recebem água de poços, de nascentes, água das chuvas ou carro pipa (IBGE, 2001).

O Sistema de Abastecimento de Água do município de Florianópolis, tecnicamente divide-se em três Sistemas de Abastecimento principais, dois isolados e pequenos mananciais de superfície localizados na Ilha que contribuem com alguma vazão para complementar o abastecimento. Na seqüência se fará uma breve descrição sobre os principais sistemas.

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 em Santo Amaro da Imperatriz. 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.

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).

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

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
Ingleses	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

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 Ingleses do Rio Vermelho, com distribuição de água aos balneários do Santinho, Ingleses 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 Ingleses do Capivari (região entre os Ingleses e o Rio Vermelho), existem ainda 7 poços e nos Ingleses 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.

O sistema de abastecimento que capta a água através da Lagoa do Perí (sul da ilha e atende a região da Costeira do Ribeirão da Ilha, Naufragados, Pântano do Sul até praia da Armação, praia dos Açores, Tapera de Caiacanga, Costa de Dentro e Armação.

Observa-se que o serviço de abastecimento de água do município de Florianópolis não é auto suficiente, ou seja, depende principalmente das águas oriundas do município de Santo Amaro da Imperatriz. Além dos problemas decorrentes da distância entre a área de captação do e o consumidor final, existem problemas de contaminação por agrotóxicos próximos a uma das áreas de captação, onde está situada uma comunidade de agricultores (Vargem do Braço), que faz uso da agricultura intensiva com a utilização de adubos químicos e defensivos agrícolas, principalmente na produção de tomate (CECCA, 2001) *apud* (FARIA, 2005).

Além disto, durante os meses de verão, os problemas no abastecimento de água são agravados devido ao aumento da população em decorrência da atividade turística. As áreas que mais sofrem com esse problemas são os balneários, que se situam principalmente no norte e sula da ilha. Nestes meses o bombeamento dos poços é intensificado para atender a demanda aumentando os riscos de salinização do aquíferos.



Figura 20. Vista parcial da Lagoa do Peri, sul da Ilha de Santa Catarina. Foto: do Autor.

Esgotamento Sanitário

Os serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário, na Ilha de Santa Catarina, também 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 infra-estrutura 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 se situa na casa dos 7%. (Tabelas 9 e 10).

A ocupação humana e riscos de contaminação das águas subterrâneas na Ilha de Santa Catarina

A problemática da ocupação humana sem levar em conta a fragilidade dos mananciais subterrâneos é expressiva na Ilha de Santa Catarina. Borges, (1996), ao estudar a localidade do Campeche, na ilha, chegou a resultados preocupantes com relação aos riscos de expressiva contaminação dos mananciais subterrâneos.

Para que se tenha uma idéia da falta de cuidado ou conhecimento sobre estes mananciais, tem-se que na Ilha, a primeira rede coletora de esgotos foi inaugurada em 1916, apesar de dimensionada para atender uma demanda de 20 anos, 7 anos depois já apresentava-se insuficiente e inadequada.

Em 1951, por falta de ampliação da rede, o esgoto passou a ser jogado diretamente no mar. Desse período até o ano de 1992, foram efetuadas apenas algumas ampliações da rede coletora juntamente com a retirada de vários pontos de lançamentos de esgotos que eram jogados na drenagem pluvial e por sua vez eram despejados nas baías norte e sul, próximos do centro da cidade. (FARIA *apud* CECCA, 2001).

Nos balneários, onde o abastecimento por água subterrânea é intenso, o crescimento desordenado e sem fiscalização, levou a população a lançar os esgotos na drenagem pluvial ou

mesmo utilizar-se de fossas rudimentares e sumidouros. Nestas regiões a ocupação concentrou-se inicialmente em áreas planas perto da orla marítima onde o nível freático encontra-se a pouco mais de um metro de profundidade, ao ponto que em dias de chuvas intensas ocorre o mau funcionamento dos sistemas individuais de tratamento, ou seja, a saturação do solo e o afloramento das águas servidas.

Com esta característica pode-se visualizar o grande risco de contaminação que paira sobre os mananciais subterrâneos.

A companhia responsável pelo abastecimento possui uma série de poços de captação de água ao longo de toda costa leste e norte da ilha. A densificação urbana, decorrente da rápida urbanização da orla não levou em conta a presença destes poços, sendo construídas edificações muito próximas a estas captações.



Figura 21. Poço de abastecimento público situado a menos de 10 metros de uma casa (sem coleta e tratamento de esgoto). Distrito do Rio Vermelho, Ilha de Santa Catarina. Foto: do Autor.



Figura 22. Visão parcial dos aquíferos costeiros. Região dos Ingleses, Distrito do Rio Vermelho, Ilha de Santa Catarina. Foto: do Autor.



Figura 23. Poço de abastecimento público próximo ao limite do terreno ainda sem vizinhança. Distrito do Rio Vermelho, Ilha de Santa Catarina. Foto: do Autor.

Como demonstrado, a Ilha de Santa Catarina possui extensa ocorrência de aquíferos costeiros, com bom potencial de abastecimento público e mesmo individual, por intermédio de poços. Em contrapartida, não há uma legislação que garanta a integridade destas captações, enquanto é intensa a ocupação dos espaços sem a execução adequada de obras de saneamento. Esta característica é mais próxima do padrão ocorrente na costa brasileira do que exceção. Neste sentido torna-se importante o estudo destes aquíferos e o estabelecimento de áreas de proteção dos poços. O estabelecimento de uma metodologia neste sentido é o que se propõe a seguir.

MÉTODO PROPOSTO: O RAIOS DE INFLUÊNCIA E A DEFINIÇÃO DE ÁREAS DE PROTEÇÃO DE POÇOS

Pesquisando na bibliografia, maneiras de se estabelecer áreas de proteção para poços em aquíferos costeiros, se encontrou no Decreto Lei 32.955 do Estado de São Paulo, a obrigatoriedade de definição de áreas de proteção para aquíferos que se apresentem em risco de contaminação, principalmente as áreas de recarga dos mesmos. Também a legislação mineraria (Código de Águas Minerais – Decreto-Lei Nº 7.841 - de 8 de Agosto de 1945, complementado pela Portaria do DNPM nº 231, de 31 de julho de 1998) preceitua um direcionamento para estabelecimento de áreas de proteção em torno de captações de água mineral. A referida Portaria do DNPM estabelece que todas as captações de água mineral devem ter no seu entorno áreas de proteção, preferencialmente não edificáveis, mas em que em hipótese alguma podem ser lançados no solo quaisquer resíduos potencialmente poluentes. O objetivo claro é manter a integridade

destas águas, visto que são comercializadas e consumidas “*in natura*” pela população. Embasando este direcionamento, cita que “*água mineral uma vez poluída, descaracteriza a sua qualificação e que na maioria das vezes o processo é irreversível*”, “*a preservação das fontes de água mineral, a sua conservação e a racionalização do seu uso necessitam de estudos geológicos e hidrogeológicos de detalhe, estudos esses indispensáveis para a definição da área de proteção de uma fonte*”.

A referida legislação também conceitua o que são as áreas ou perímetros de proteção: “*limites dentro dos quais deverá haver restrição de ocupação e de determinados usos que possam vir a comprometer o seu aproveitamento*”.

Também estabelece três zonas de acordo com características hidráulicas do aquífero captado:

ZI (Zona de Influência Direta): Associada ao cone de depressão do poço de bombeamento ou nascente;

ZC (Zona de Contribuição): Área de Recarga associada ao ponto de captação;

ZT (Zona de transporte): Faixa de percolação da água subterrânea, entre a zona de recarga e o poço ou fonte de captação.

Uma fonte de água mineral, antes de qualquer coisa é uma captação em manancial subterrâneo, seja ele um aquífero rochoso ou sedimentar. Se há uma preocupação com relação a possibilidade de contaminação destas fontes, visto que a água é vendida e consumida pela população em geral, por que não existe uma legislação similar para os poços de abastecimento público em aquíferos costeiros?

Outro ponto relevante é como se estabelecer estas zonas de maneira precisa?

A portaria nº 231 do DNPM, textualiza que são necessários estudos e levantamentos criteriosos para o estabelecimento destas zonas, onde podemos destacar:

- Caracterização hidrogeológica e climática;
- Caracterização do uso do solo e identificação das possíveis fontes de contaminação.

Na caracterização hidrogeológica, é textualmente necessário o cálculo dos parâmetros hidráulicos do aquífero, como Permeabilidade, Transmissividade e Coeficiente de Armazenamento.

Obtendo-se estes parâmetros, é possível calcular o Raio de Influência da captação e assim, modelar o cone de depressão do poço bombeado e determinar de maneira precisa a Zona de Influência Direta sobre o mesmo. Desta forma o que se propõe é a utilização do Raio de Influência de um poço em bombeamento como parâmetro base para o estabelecimento de áreas de proteção de poços de abastecimento público em aquíferos costeiros.

Problemática de obtenção dos parâmetros hidráulicos, na prática

Uma grande dificuldade prática que existe na determinação dos parâmetros: Transmissividade, Coeficiente de Permeabilidade, Coeficiente de Armazenamento e conseqüentemente o Raio de Influência de um poço é a necessidade de execução de testes de bombeamento (aquífero) monitorando outros pontos de observação (no mínimo um além do próprio poço).

No caso específico da água mineral, são vários os problemas relacionados a isto, onde podemos destacar:

- 1) Fontes surgentes: Não ocorrem rebaixamentos do nível d'água;

- 2) Poços de captação em aquífero rochoso: Podem ocorrer diversas entradas de água em diferentes direções de fratura ou falha na rocha;
- 3) A dificuldade de perfuração de poços de monitoramento em aquíferos heterogêneos.

Em linhas gerais, a real problemática é a heterogeneidade do meio geológico. Partindo do princípio que a determinação dos parâmetros hidrogeológicos baseia-se em um meio homogêneo, isto dificilmente se aplica à realidade prática. Nos ambientes costeiros, onde se encontram aquíferos do tipo pacotes arenosos com boa homogeneidade, outros fatores podem influenciar no comportamento da água subterrânea, como o relevo do embasamento, variações de maré, presença de construções, etc. Em se tratando de outros meios geológicos, como por exemplo, as rochas, o método de obtenção dos parâmetros hidráulicos, se tornam ainda mais difícil. Uma grande dificuldade é perfurarem-se os poços de monitoramento exatamente sobre a descontinuidade geológica em que circula a água (a qual pode circular por diferentes descontinuidades ao longo do poço - diferentes entradas de água).

Outro aspecto relevante é o alto custo de uma perfuração, o qual seria triplicado no caso da perfuração de outros dois poços de monitoramento, pelos métodos de percussão ou por perfuratriz roto-pneumática (perfuração em material rochoso). Além disto há o dispêndio de tempo para execução dos poços, somado ao tempo de testes e emprenho de pessoal de campo para o correto monitoramento. Além do aumento do custo e tempo, acrescente-se a aplicação do método de cálculo pela curva teórica de THEIS, o que nem sempre gera um resultado 100% preciso. Esta é uma visão crítica do método, principalmente em se tratando de um meio geológico rochoso. Não quer dizer que não seja possível a execução do mesmo (na validação do método proposto se realizou um experimento em ambiente geológico rochoso com boa precisão de resultados). O ambiente costeiro, por exemplo, apresenta uma série de vantagens para execução do trabalho como se verá a seguir.

O caso específico dos aquíferos costeiros

Conforme Iritani, (1998), a área ou perímetro ideal a ser definido para proteção de um aquífero é a área de recarga do mesmo. Em se tratando de aquíferos costeiros, se pode entender que toda extensão dos mananciais funciona como área de recarga. Neste sentido, se deveriam restringir quaisquer infiltrações de contaminantes nestes ambientes. Entretanto, ainda que ideal, tal restrição não condiz com a realidade atual brasileira. Neste sentido se propõe a preservação de pelo menos as áreas de entorno dos poços de captação que em última instância, também funcionam como áreas de recarga. Estas áreas ou perímetros em torno dos poços devem ser calculadas cientificamente, baseada em cálculos hidrogeológicos e de hidráulica de poços.

O cálculo dos parâmetros hidrogeológicos fundamentados nas equações de Dupuit foram baseados em aquíferos teoricamente uniformes e homogêneos, a semelhança dos aquíferos do Sistema Aquífero Costeiro Brasileiro. Nestes aquíferos é possível encaixar de maneira mais precisa os modelos teóricos clássicos encontrados na bibliografia (THEIS, 1935), pois são aquíferos livres, homogêneos e isotrópicos, os quais se podem verificar os parâmetros hidrogeológicos e hidráulicos a partir de um experimento prático.

A água subterrânea nos aquíferos costeiros também se encontra geralmente próxima da superfície, tornando os trabalhos de perfuração de poços de monitoramento de baixo custo de execução (poços perfurados com injeção de água tipo ponteira), além de que os levantamentos de campo deste tipo também seriam menos dispendiosos em termos financeiros, pois os poços de monitoramento são de material PVC comum, cravados com injeção de água, um método bastante simples de se executar.

Neste sentido, é possível concluir que a realização de um teste de aquífero, conforme a US GEOLOGICAL SURVEY e o conseqüente cálculo dos parâmetros hidrogeológicos e hidráulicos torna-se bem mais preciso e não tão dispendioso, tratando-se de aquíferos costeiros. Nestas condições, o modelamento dos cones de depressão dos poços de abastecimento e a determinação do raio de influência podem ser utilizados para determinação de áreas de proteção destas captações. A justificativa para isto é que nestas áreas, a velocidade do fluxo da água subterrânea induzida para dentro do poço é bem maior que o fluxo subterrâneo normal e qualquer bactéria ou contaminante que esteja presente no raio de influência do poço deva puxada para este através do bombeamento da água subterrânea.

Como foi descrito ao longo deste trabalho e exemplificado fotograficamente no local específico de estudos, não existindo uma regra de ordenamento dos espaços que levem em conta a presença dos poços de abastecimento a densificação urbana pode gerar graves prejuízos a população. Os poços de abastecimento público podem ser cercados de edificações sem controle do lançamento de efluentes, as quais funcionariam como focos de poluição das águas subterrâneas. Mesmo que as águas subterrâneas recebam tratamento a base de cloro, contra organismos patogênicos, ainda assim, os efluentes podem conter compostos químicos derivados de detergentes e outros.

Proposta metodológica

Propõe-se com este trabalho, que para cada poço de captação de água para abastecimento público existente em aquífero costeiro, seja determinado seu raio de influência e

delimitada sua área ou perímetro de proteção. Para tanto é necessária a realização de um teste de vazão com no mínimo 24 horas de bombeamento contínuo (teste de aquífero), sendo perfurado, próximo a este no mínimo um outro poço para monitoramento. Os resultados da variação dos níveis d'água dos dois poços devem ser anotados em planilhas separadas.

De posse dos dados obtidos no teste, lança-se o rebaixamento do poço de monitoramento X tempo de ensaio em um gráfico em escala logarítmica. Este gráfico é então comparado com a curva padrão de THEIS, obtendo-se os parâmetros $W(u)$ e u . Com estes parâmetros então, pode-se calcular a Transmissividade e o Coeficiente de Armazenamento do aquífero.

Cálculo da transmissividade:

$$T = \frac{QW(u)}{4p s_p}$$

Cálculo do Coeficiente de Armazenamento:

$$S = \frac{4p T t u}{r^2}$$

Calculados os parâmetros T e S , é possível estabelecer o Raio de Influência do poço, através da seguinte expressão:

$$R = 1,5 \times \sqrt{T \times t / S}$$

Desta forma, propõe-se que o Raio obtido possa modelar uma circunferência, admitindo-se com Área de Preservação da Captação (ou perímetro de proteção) ou Área de

Preservação Permanente, sobre a qual não se pode dispor qualquer elemento nocivo no solo ou mesmo podendo ser considerada como área não edificável.



Figura 24. Observa-se que ainda existem poços onde é possível se proteger o entorno antes da densificação urbana. Florianópolis, SC. Foto: do Autor.

VALIDAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

Neste trabalho, propõe-se o estabelecimento de áreas de proteção de poços em aquíferos costeiros baseado no cálculo do Raio de Influência dos Poços. A metodologia de cálculo do raio de influência de um poço de um bombeamento já consagrada no meio científico.

Ocorre é que é um método pouco utilizado e não há registro legal no País de utilização deste método para estabelecimento de áreas de proteção.

Para testar a obtenção do raio de influência de um poço em bombeamento, a partir de um teste de aquífero se analisaram os resultados de um teste realizado por este autor no município de Palhoça, na planície costeira, junto a Serra do Mar. A geologia local onde foi executado o referido teste é mista, entre sedimentos quaternários de origem continental e rocha do embasamento cristalino.



Figura 25. Local onde foi executado teste de aquífero. Município de Palhoça, às margens do Rio Cubatão (2 km da orla marítima). Foto: do Autor.

O poço de captação de água foi perfurado atravessando uma seqüência de sedimentos de origem continental com 6 metros de espessura, mais 18 metros de rocha alterada, atingindo o limite de perfuração aos 40 metros. A captação de água é feita em falha geológica que corta a rocha aos 30 metros de profundidade (Poço 1).

A origem da sedimentação local reflete as variações do nível do mar no Pleistoceno e Holoceno, a qual alterou o regime fluvial local. Destas variações resultaram alternantes camadas de areia grossa, silte, areia e argila com restos vegetais.

Perfil construtivo esque mático do Poço 1	Prof. (m)	Descrição litológica
<p>6"</p> <p>10"</p>	<p>0,0</p> <p>6,0</p> <p>18,0</p> <p>30,0</p> <p>41,0</p>	<p>Solo argiloso, com presença de matéria orgânica vegetal, cor cinza escuro, alternando camadas de areia grossa e silte cinza claro.</p> <p>Rocha alterada. Granito. Entradas de água com coloração avermelhada (estas entradas de água foram lacradas).</p> <p>Granito vermelho textura granular grossa.</p> <p>Brecha de falha em granito. Amostras: Veios de quartzo com incrustações carbonáticas, "lascas" de rocha mostrando os minerais moidos e recristalizados. Entradas de água fortes.</p>

Figura 26.

Os sedimentos e rocha alterada foram isolados por revestimento tipo geomecânico. A 123,5 metros de distância, na direção da falha geológica, existe um outro poço de captação de água com 6 metros de profundidade, que capta água em uma camada de areia de 1 metro de espessura que ocorre entre os 5 e os 6 metros de profundidade (Poço 2). Assumindo a hipótese que este segundo poço está exatamente sobre a falha geológica, pode se esperar que haja interferência do primeiro sobre o segundo durante o bombeamento. Cabe salientar que se trata de um aquífero heterogêneo e, portanto de difícil aplicação da teoria de cálculo dos parâmetros hidráulicos.

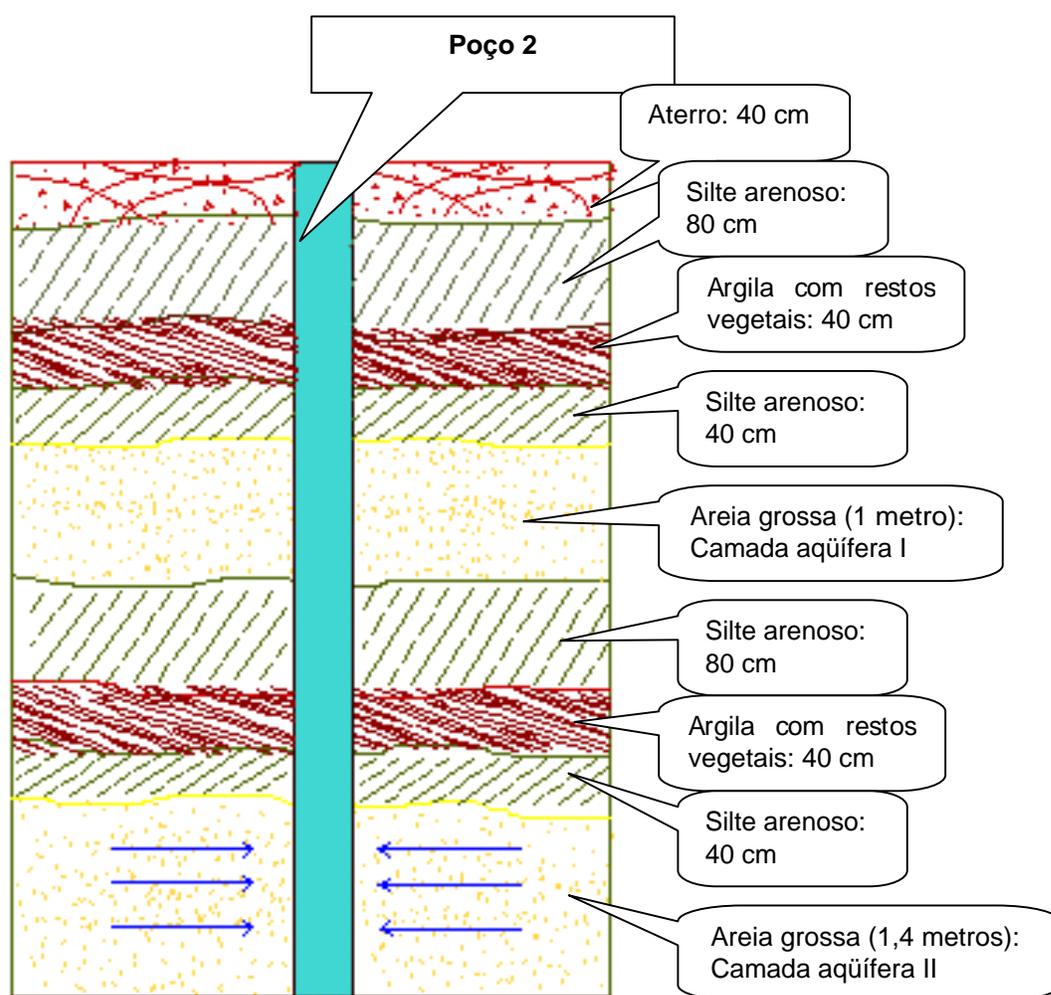


Figura 27.

O teste de aquífero constituiu-se de um bombeamento contínuo realizado com quatro estágios de vazão crescente (degraus), com duas horas de duração cada uma das três primeiras e o quarto estágio na vazão ideal de ser extraída até completar 1800 minutos, ou 30 horas de duração. Antes do teste foi executada uma avaliação preliminar de 2 horas de bombeamento na máxima vazão possível de ser extraída pela bomba, medindo-se o comportamento da coluna de água do poço de modo que esta ficasse em equilíbrio, ou seja, cessando os rebaixamentos, o que indicaria ser esta a vazão ideal de bombeamento contínuo. Com os resultados deste pré-teste foram programados os estágios da seguinte forma:

1º estágio: em torno de 9.000 l/h

2º estágio: em torno de 18.000 l/h

3º estágio: em torno de 27.000 l/h

4º estágio: em torno de 34.000 l/h (vazão ideal).

Durante todo o teste foi monitorado o comportamento do poço 2, como suporte para a determinação dos parâmetros hidrogeológicos do aquífero, com os resultados anotados em planilhas individuais.

Curvas características do poço

A relação: Vazão x rebaixamento e Vazão específica x rebaixamento são chamadas curvas características do poço.

Como vazão específica do poço admitiu-se, o quociente entre a vazão de água bombeada e o rebaixamento do nível d'água inicial do teste (correspondendo o mesmo a zero para fins de cálculo).

$$q = \frac{Q}{s}$$



Figura 28. Medida do rebaixamento do Poço 1. Foto: do Autor.

A vazão específica é parâmetro importante na análise do poço, visto que a tendência de estabilização deste parâmetro em um teste indicaria a vazão ideal de equilíbrio, ou seja a vazão, a qual sendo bombeada, manteria a coluna de água inalterada. Apesar de pontual e de

representar um espaço de tempo muito curto, é um parâmetro imprescindível em um acompanhamento temporal de longo prazo, indicando se ao longo do tempo a água que está sendo extraída está de acordo com as taxas de recarga ou estão sendo utilizadas as reservas permanentes do aquífero.

Tabela 9.
Estágio I – Vazão inicial: 9.279 l/h; vazão final: 9.279 l/h.
Hora inicial: 16:11; hora final: 18:10

HORA	T (min)	ND (m)	S (m)	Q (l/h)	Q/s (m²/h)
16:11	1	2,00	0,00	9.279	0,0
16:12	2	2,06	0,06	9.279	154,7
16:13	3	2,06	0,06	9.279	154,7
16:14	4	2,06	0,06	9.279	154,7
16:15	5	2,06	0,06	9.279	154,7
16:16	6	2,07	0,07	9.279	132,6
16:17	7	2,08	0,08	9.279	116,0
16:18	8	2,09	0,09	9.279	103,1
16:19	9	2,10	0,10	9.279	92,8
16:20	10	2,11	0,11	9.279	84,4
16:22	12	2,13	0,13	9.279	71,4
16:24	14	2,14	0,14	9.279	66,3
16:26	16	2,15	0,15	9.279	61,9
16:28	18	2,15	0,15	9.279	61,9
16:30	20	2,15	0,15	9.279	61,9
16:35	25	2,16	0,16	9.279	58,0
16:40	30	2,17	0,17	9.279	54,6

16:45	35	2,18	0,18	9.279	51,6
16:50	40	2,19	0,19	9.279	48,8
17:00	50	2,20	0,20	9.279	46,4
17:10	60	2,20	0,20	9.279	46,4
17:20	70	2,20	0,20	9.279	46,4
17:30	80	2,20	0,20	9.279	46,4
17:40	90	2,20	0,20	9.279	46,4
17:50	100	2,20	0,20	9.279	46,4
18:10	120	2,20	0,20	9.279	46,4

Rebaixamento x tempo (estágio I)

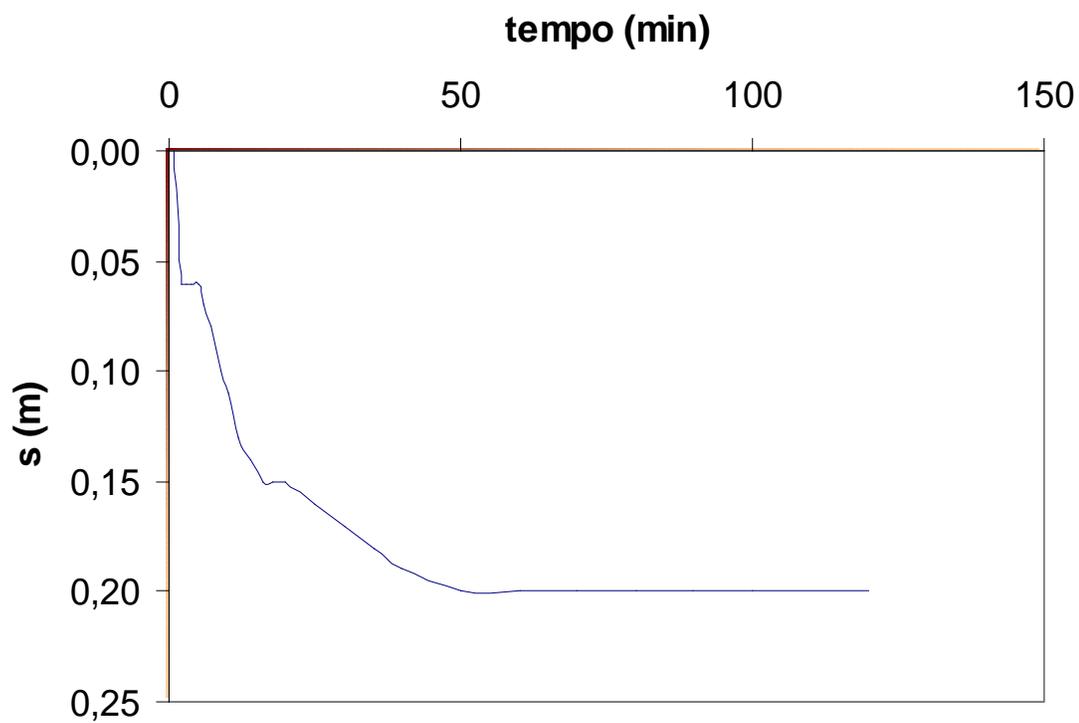


Figura 29.

Tabela 10.
 Estágio II – Vazão inicial: 18.594 l/h; vazão final: 18.594 l/h.
 Hora inicial: 18:11; hora final: 21:10.

HORA	T (m)	ND (m)	S (m)	Q (l/h)	Q/s (m²/h)
18:11	1	2,55	0,55	18.594	33,8
18:12	2	2,58	0,58	18.594	32,1
18:13	3	2,61	0,61	18.594	30,5
18:14	4	2,70	0,70	18.594	26,6
18:15	5	2,70	0,70	18.594	26,6
18:16	6	2,70	0,70	18.594	26,6
18:17	7	2,71	0,71	18.594	26,2
18:18	8	2,73	0,73	18.594	25,5
18:19	9	2,74	0,74	18.594	25,1
18:20	10	2,76	0,76	18.594	24,5
18:22	12	2,78	0,78	18.594	23,8
18:24	14	2,8	0,80	18.594	23,2
18:26	16	2,83	0,83	18.594	22,4
18:28	18	2,84	0,84	18.594	22,1
18:30	20	2,84	0,84	18.594	22,1
18:35	25	2,88	0,88	18.594	21,1
18:40	30	2,9	0,90	18.594	20,7
18:45	35	2,92	0,92	18.594	20,2
18:50	40	2,93	0,93	18.594	20,0
19:00	50	2,97	0,97	18.594	19,2
19:10	60	3,02	1,02	18.594	18,2
19:20	70	3,05	1,05	18.594	17,7
19:30	80	3,07	1,07	18.594	17,4

19:40	90	3,10	1,10	18.594	16,9
19:50	100	3,13	1,13	18.594	16,5
20:10	120	3,16	1,16	18.594	16,0

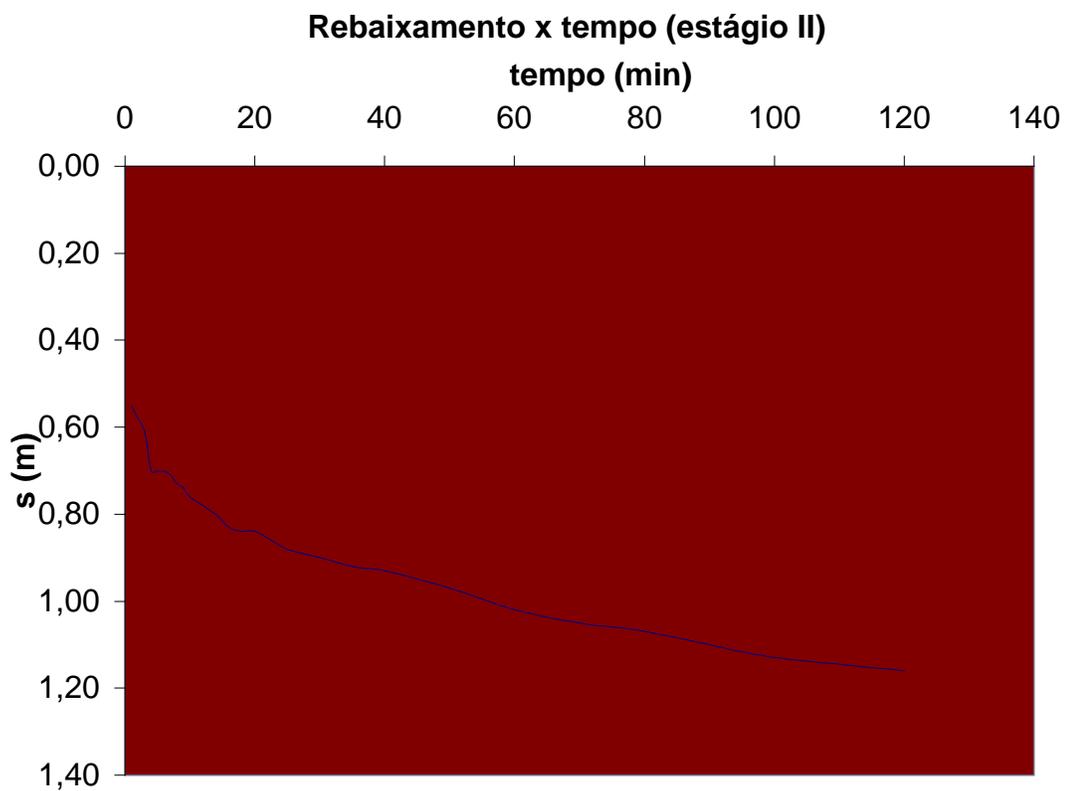


Figura 30.

Tabela 11
Estágio III – Vazão inicial: 20.376 l/h; vazão final: 27.941 l/h.
Hora inicial: 20:11; hora final: 22:10

HORA	T (min)	ND (m)	S(m)	Q (l/h)	Q/s (m²/h)
20:11	1	3,60	1,60	20.376	12,7

20:12	2	3,61	1,61	26.261	16,3
20:13	3	3,72	1,72	26.261	15,3
20:14	4	3,74	1,74	27.941	16,1
20:15	5	3,88	1,88	27.941	14,9
20:16	6	3,91	1,91	27.941	14,6
20:17	7	3,94	1,94	27.941	14,4
20:18	8	4,00	2,00	27.941	14,0
20:19	9	4,00	2,00	27.941	14,0
20:20	10	4,00	2,00	27.941	14,0
20:22	12	4,00	2,00	27.941	14,0
20:24	14	4,06	2,06	27.941	13,6
20:26	16	4,08	2,08	27.941	13,4
20:28	18	4,11	2,11	27.941	13,2
20:30	20	4,14	2,14	27.941	13,1
20:35	25	4,19	2,19	27.941	12,8
20:40	30	4,23	2,23	27.941	12,5
20:45	35	4,27	2,27	27.941	12,3
20:50	40	4,3	2,30	27.941	12,1
21:00	50	4,36	2,36	27.941	11,8
21:10	60	4,42	2,42	27.941	11,5
21:20	70	4,48	2,48	27.941	11,3
21:30	80	4,54	2,54	27.941	11,0
21:40	90	4,58	2,58	27.941	10,8
21:50	100	4,62	2,62	27.941	10,7
22:10	120	4,73	2,73	27.941	10,2

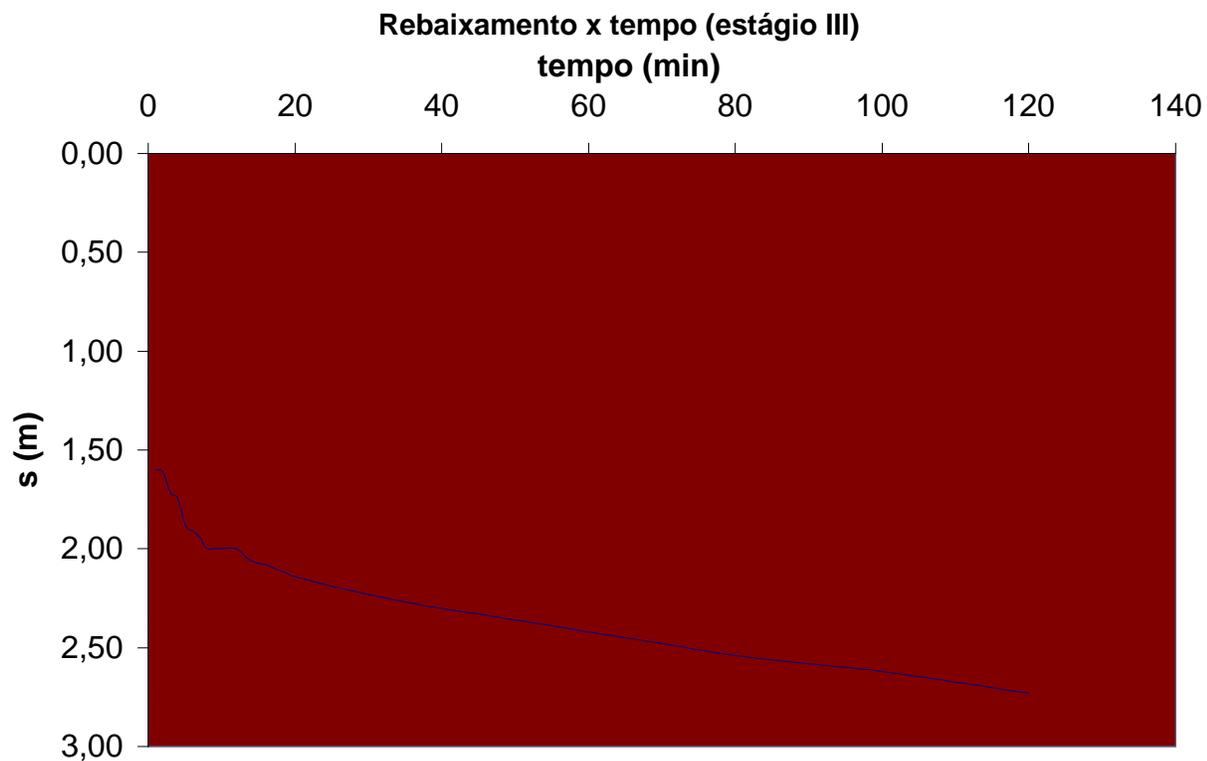


Figura 31.

Tabela 12.

Estágio IV – Vazão inicial: 34.413 l/h; vazão final: 34.413 l/h.
 Hora inicial: 22:11; hora final: 22:10 (24 HORAS)

HORA	T (min)	ND (m)	S (m)	Q (l/h)	Q/s (m²/h)
22:11	1	5,60	3,60	34.413	9,6
22:12	2	5,65	3,65	34.413	9,4
22:13	3	5,70	3,70	34.413	9,3
22:14	4	5,70	3,70	34.413	9,3
22:15	5	5,71	3,71	34.413	9,3
22:16	6	5,73	3,73	34.413	9,2
22:17	7	5,76	3,76	34.413	9,2
22:18	8	5,78	3,78	34.413	9,1

22:19	9	5,80	3,80	34.413	9,1
22:20	10	5,82	3,82	34.413	9,0
22:22	12	5,85	3,85	34.413	8,9
22:24	14	5,89	3,89	34.413	8,8
22:26	16	5,93	3,93	34.413	8,8
22:28	18	5,96	3,96	34.413	8,7
22:30	20	6,00	4,00	34.413	8,6
22:35	25	6,05	4,05	34.413	8,5
22:40	30	6,10	4,10	34.413	8,4
22:45	35	6,11	4,11	34.413	8,4
22:50	40	6,16	4,16	34.413	8,3
23:00	50	6,20	4,20	34.413	8,2
23:10	60	6,40	4,40	34.413	7,8
23:20	70	6,40	4,40	34.413	7,8
23:30	80	6,46	4,46	34.413	7,7
23:40	90	6,51	4,51	34.413	7,6
23:50	100	6,56	4,56	34.413	7,5
00:10	120	6,62	4,62	34.413	7,4
00:30	140	6,76	4,76	34.413	7,2
00:50	160	6,89	4,89	34.413	7,0
01:10	180	6,98	4,98	34.413	6,9
01:40	210	7,19	5,19	34.413	6,6
02:10	240	7,25	5,25	34.413	6,6
03:10	300	7,30	5,30	34.413	6,5
04:10	360	7,55	5,55	34.413	6,2
06:10	480	7,72	5,72	34.413	6,0
08:10	600	7,88	5,88	34.413	5,9

10:10	720	8,00	6,00	34.413	5,7
12:10	840	8,08	6,08	34.413	5,7
14:10	960	8,15	6,15	34.413	5,6
16:10	1080	8,26	6,26	34.413	5,5
18:10	1200	8,30	6,30	34.413	5,5
20:10	1320	8,40	6,40	34.413	5,4
22:10	1440	8,47	6,47	34.413	5,3

Rebaixamento x tempo (estágio IV)

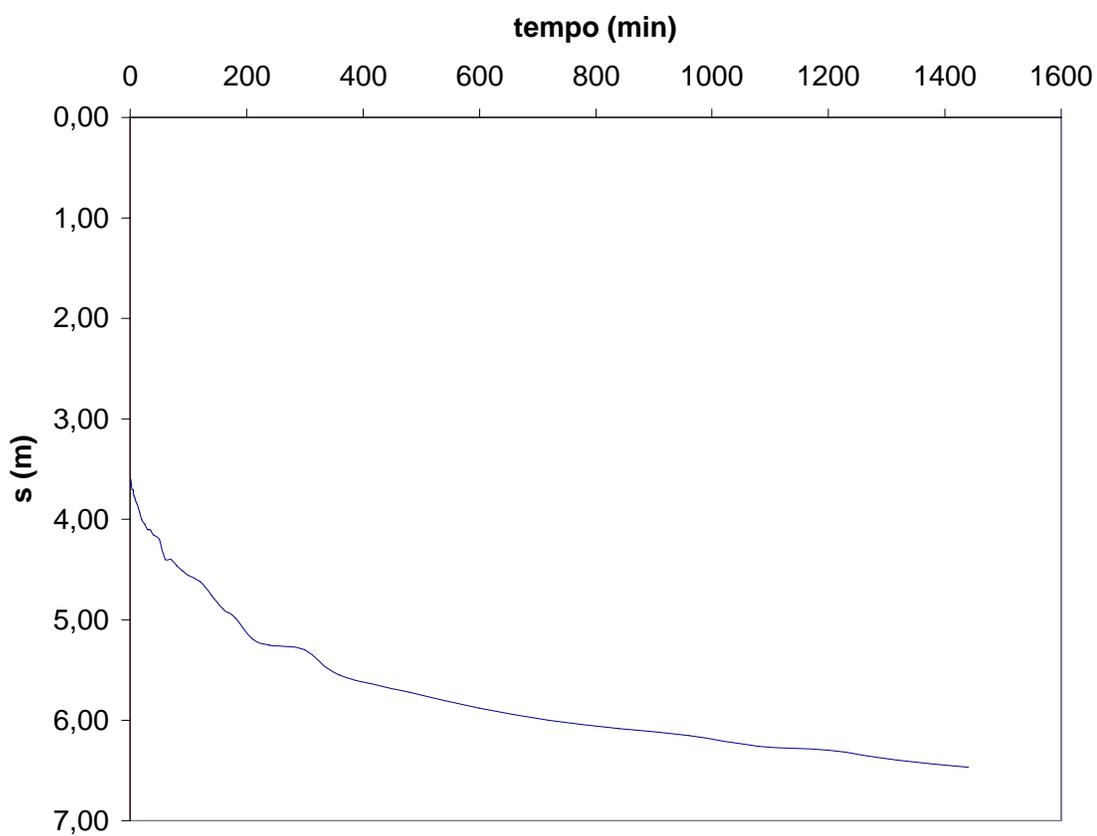
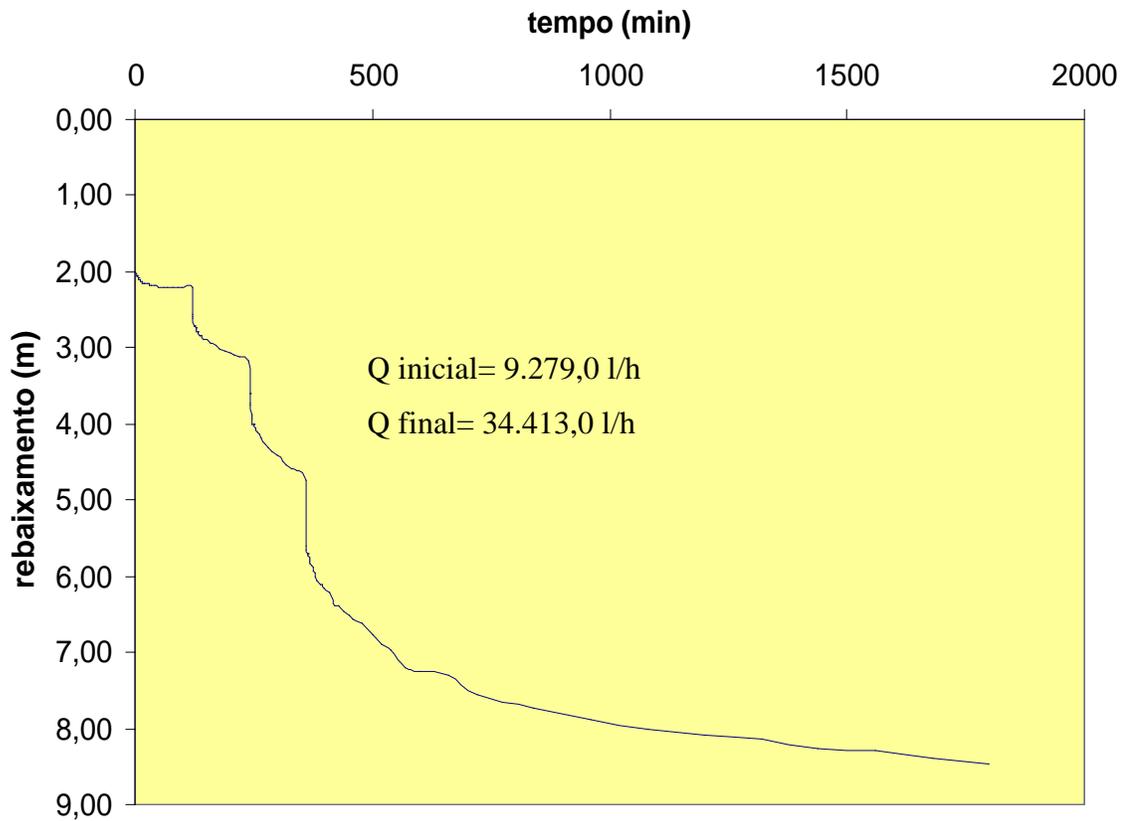
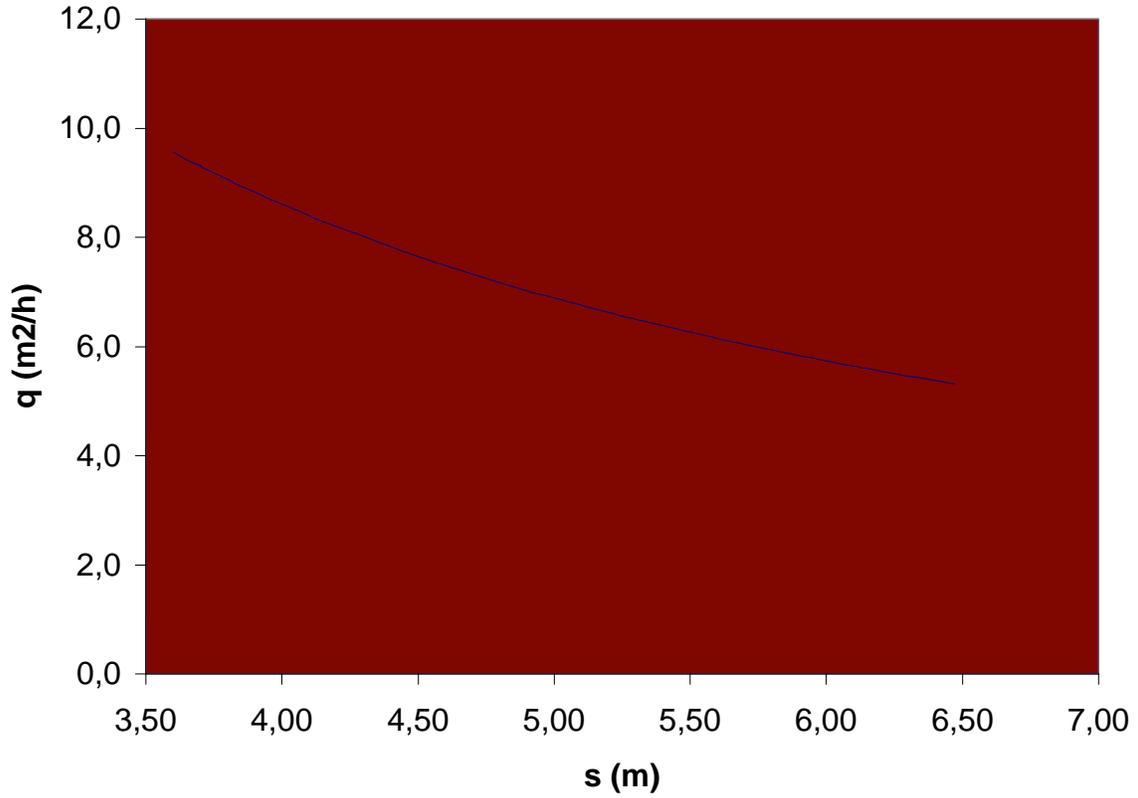


Figura 32.

Vazão específica x rebaixamento (estágio IV)



Figuras 33 e 34.

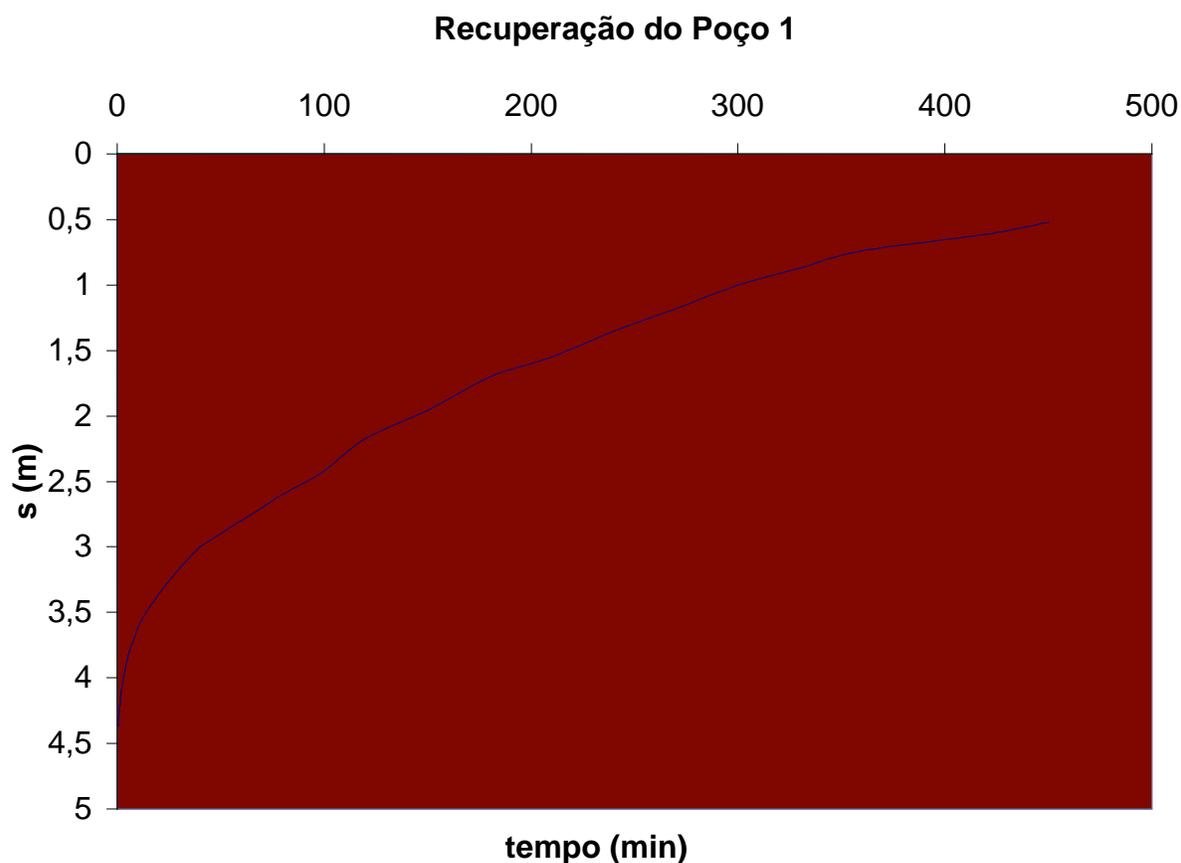


Figura 35.

Recuperação do Poço 1: Encerradas as 30 horas de bombeamento contínuo, sendo 24 horas de bombeamento com a vazão de 34.413 l/h, a equipe de teste iniciou o controle sobre a recuperação da coluna de água do poço. O trabalho de monitoramento teve início com anotação em uma tabela específica do ND = 6,37 m, nível inicial de controle da recuperação, correspondendo a um $s' = 4,37$ m, visto que o ND = 2 m foi assumido como nível inicial de água no teste de bombeamento.

O poço levou 450 minutos para recuperar 3,85 metros (6,37 ao 2,58), sendo que na primeira hora, recuperou 1,57 m, ou 40,77 %, na segunda hora, recuperou 63 centímetros, ou 16,36 % na terceira hora recuperou 47 centímetros ou 12,20 %, enquanto na quarta hora recuperou mais 37 cm, ou 9,6 % , totalizando uma recuperação de aproximadamente 80 % do

nível d'água inicial do teste de bombeamento nestas quatro horas. O poço, além de apresentar uma vazão excelente para um aquífero fraturado de granito, mostrou um ótimo desempenho frente ao teste de bombeamento, rebaixando a coluna de água apenas até os 8,47 metros e recuperando cerca de 80 % em 4 horas de descanso.

Tabela 13: recuperação da coluna de água do Poço 1.

t (min)	ND (m)	s' (m)
0,5	6,37	4,37
1	6,25	4,25
1,5	6,19	4,19
2	6,11	4,11
2,5	6,05	4,05
3	6,00	4
3,5	5,97	3,97
4	5,92	3,92
5	5,86	3,86
6	5,80	3,8
8	5,71	3,71
10	5,62	3,62
12	5,55	3,55
16	5,45	3,45
24	5,28	3,28
32	5,13	3,13
40	5,00	3
50	4,90	2,9
60	4,80	2,8
70	4,70	2,7
80	4,60	2,6
100	4,42	2,42
120	4,17	2,17
150	3,96	1,96
180	3,70	1,7
210	3,55	1,55
240	3,35	1,35
270	3,18	1,18
300	3,00	1
330	2,87	0,87
360	2,74	0,74
420	2,61	0,61
450	2,52	0,52

Análise dos dados do teste

Visando estudos precisos com relação às características hidrogeológicas e hidráulicas do aquífero, o Poço 2 foi monitorado durante o ensaio de bombeamento, caracterizando o ensaio de bombeamento como “teste de aquífero”, do qual se pode então calcular parâmetros hidráulicos importantes..

Transmissividade

Mesmo com a condição de aquífero cristalino fraturado, calculou-se a Transmissividade segundo THEIS, 1935, observando-se o comportamento do Poço 2 que está a 123,5 metros de distância do poço, através da comparação da curva: Rebaixamento x tempo em escala logarítmica, com a curva padrão de THEIS, para obtenção de $W(u)$ (função de poço em aquífero confinado) e u (parâmetro do poço).

Tabela 14: Rebaixamento medido no Poço 2. Nível inicial (estático ou inicial do teste): 1,29 m (medido da boca do poço); Altura da boca do poço ao solo: 1,29m

Horário	ND (m)
16.25	1,29
16.20	1,35
16.30	1.35
16.40	1.38

16.50	1.39
17.00	1.41
17.10	1.43
18.00	1.43
19.10	1.80
20.00	1.94
21.10	2.47
22.00	2.74
23.10	3.10
00.10	3.62
1.10	3.78
2.10	3.99
3.10	4.17
4.10	4.33
5.10	4.45
6.10	4.56
7.10	4.68
8.10	5.4
9.10	5.6
10.10	5.18
11.10	5.32
12.10	5.39
13.10	5.42
14.10	5.48
15.10	5.56
16.10	5.59
17.10	5.64
18.10	5.68
19.10	5.73
20.10	5.78
21.10	5.82
22.00	5.84

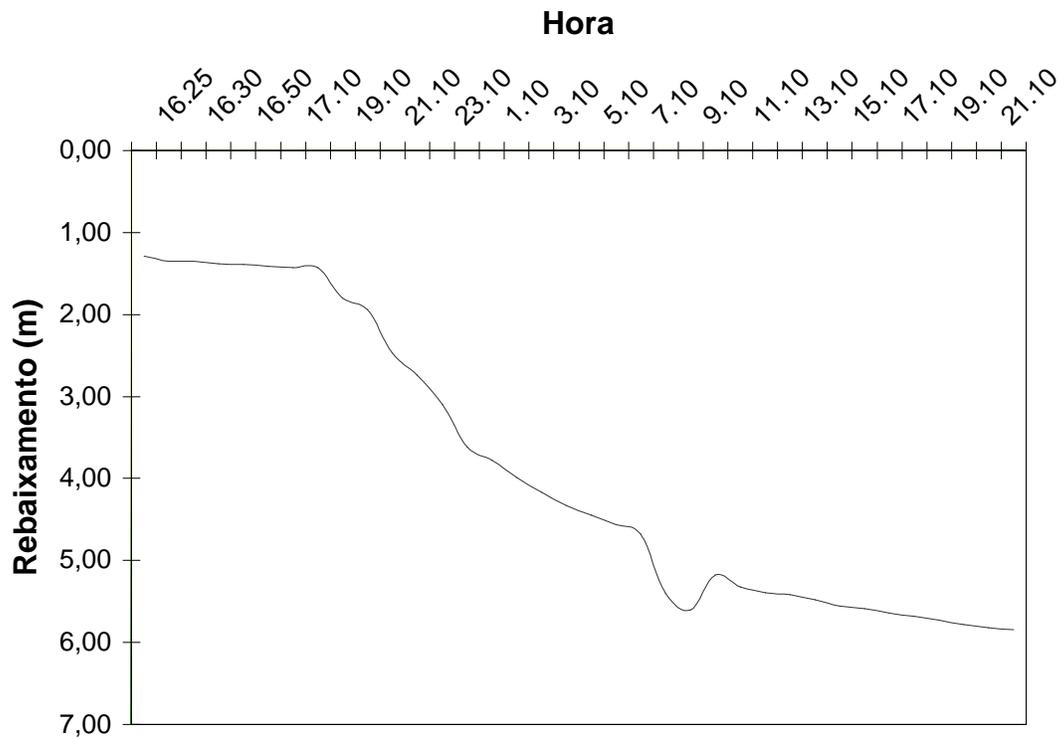


Figura 36.

Valores obtidos da curva de THEIS:

$$W(u) = 1$$

$$u = 0,01$$

Pelo método da comparação (JAEGER, 1959)

$$t_0 = 375 \text{ minutos}$$

$$t_1 = 1365 \text{ minutos}$$

$$s_0 = 1,45 \text{ metros}$$

$$s_1 = 4,27 \text{ metros}$$

$$\frac{u_0}{u_1} = \frac{t_1}{t_0}$$

$$u_1 = \frac{t_1}{t_0} u_0$$

$$W(u_0) = S_0$$

$$\frac{W(u_1) - S_1}{S_1}$$

Valores obtidos das curvas que acompanham o método:

$$W(u_0) = 1,2$$

$$u_0 = 0,06$$

Média dos valores obtidos pelos dois métodos

$$W(u) = 1,1$$

$$u = 0,035$$

Cálculo da transmissividade:

$$T = \frac{QW(u)}{4p s_p}$$

$s_p = 4,27$ m (rebaixamento total medido no Poço 2, NE (inicial) = 1,29 m; ND (final) = 5,56 m.

$$T = 34,413 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,1 / 4 p 4,27 \text{ m}$$

$$T = 0,7 \text{ m}^2/\text{h} \text{ ou } 16,8 \text{ m}^2/\text{dia}$$

Cálculo do Coeficiente de Armazenamento:

$$S = \frac{4 p T t u}{r^2}$$

$$S = \frac{4 p \times 0,7/60 \times 1365 \times 0,035}{123,5^2}$$

$$123,5^2$$

$$S = 0,000459$$

Raio de Influência do poço para um bombeamento de 1365 minutos ou aproximadamente 24 horas a uma vazão de 34,413 m³ / h:

$$R = 1,5 \times \sqrt{T \times t / S}$$

$$R = 1,5 \times \sqrt{0,7/60 \times 1365 / 0,000459}$$

$$R = 279 \text{ metros}$$

Rebaixamentos teóricos

Pode-se calcular os rebaixamentos teóricos (sp) que o Poço 2 deverá sofrer, de acordo com a vazão extraída do Poço 1 pela Fórmula de THIEM:

Sp = rebaixamento total considerando-se como referência o nível inicial (NE ou ND)

$$S_p = 0,366 \frac{Q}{T} \log \frac{R}{r}$$

r = distância do eixo do poço até o ponto de observação = 123,5 metros.

R = 279 metros.

T = 0,7 m²/h

Q = 34,413 m³/h.

Ou pode-se calcular pela fórmula da Transmissividade:

$$S_p = \frac{Q \times w(u)}{T \times 4\pi}$$

Efeito do Bombeamento do Poço 1 sobre o Poço 2

Os parâmetros calculados, T, S e R, podem ser aferidos através da comparação dos rebaixamentos teóricos com os medidos no Poço 2. Observa-se que a média dos rebaixamentos teóricos conferem com os medidos na prática, para a vazão 9,279 m³/h (95 min) e 34,413 m³/h para 1065 minutos com diferença máxima de 11 centímetros, o que é desprezível. Para vazões e tempos intermediários, os rebaixamentos teóricos são sempre maiores que os medidos na prática, o que é um aspecto positivo, pois o poço se comporta melhor do que o esperado. Assim, pode-se dizer que a determinação dos parâmetros do aquífero, como a Transmissividade e o Coeficiente de Armazenamento do poço demonstraram boas respostas quando da estimativa dos rebaixamentos teóricos do Poço 2, assim como qualquer outra captação situada no raio de influência do poço. É importante ressaltar neste sentido, que o valor de 279 metros para o raio de influência dá-se no sentido da falha regional, sendo bastante reduzido na direção perpendicular à mesma, configurando uma elipse teórica de influência e não um círculo. Este raio de influência que compõe o eixo maior de uma elipse teórica, também não forma um cone de rebaixamento,

pois se trata de aquífero fraturado, heterogêneo e anisotrópico. Um desenho esquemático mais ilustrativo da situação encontra-se abaixo:

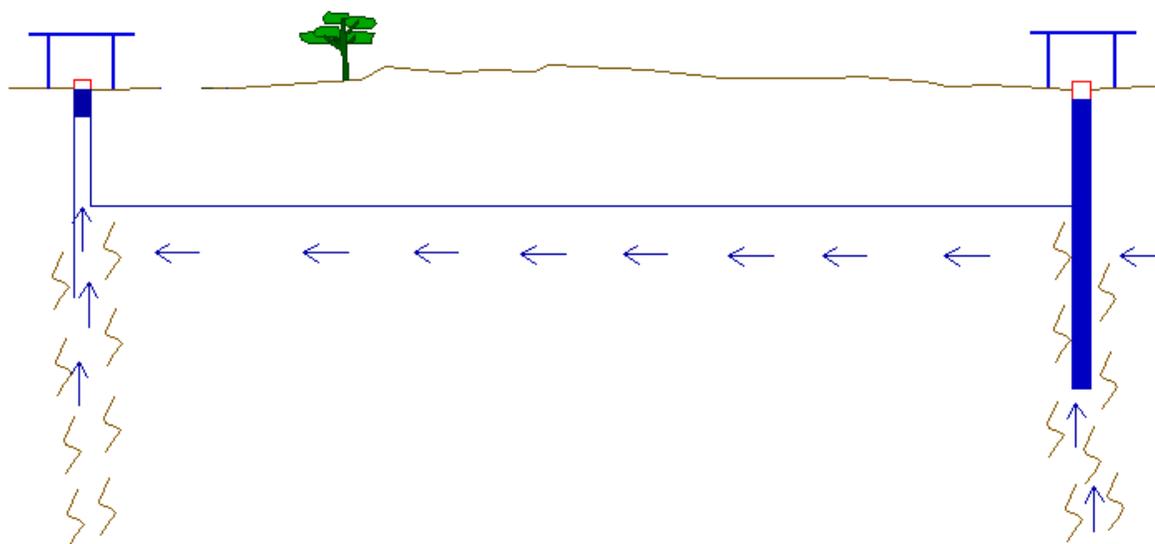


Figura 37. Desenho esquemático mostrando a situação entre os dois poços do teste.

Tabela 15

Q (m ³ /h)	T (min)	S _p (teórico) (THEIS) (m)	S _p (teórico) (THIEM) (m)	ND (medido) (m)	Diferença entre ND e S _p médio (m)
9,279	95	1,16	1,71	1,43	+0,005
18,594	215	2,32	3,44	1,94	+0,94
27,941	285	3,49	5,17	2,47	+1,86
34,413	645	4,30	6,29	4,17	+1,12
34,413	1065	4,30	6,29	5,18	+0,11

Conclui-se que o método de obtenção do Raio de Influência de poços em bombeamento pelo monitoramento de um ou mais poços de observação, é válido. Em se tratando de aquíferos heterogêneos anisotrópicos é um método que exige uma análise geológica bastante criteriosa, mas de possível aplicação. Este método pode ser aplicado também nos aquíferos costeiros, sendo bem mais preciso neste caso, pois os depósitos arenosos são bem mais homogêneos e o nível da água, bastante superficial, o que operacionalmente é mais simples e tem o custo mais reduzido. Com base na valoração do raio de influência se pode então determinar as áreas destinadas à proteção destes poços. Finalmente, é possível afirmar que o método proposto neste trabalho para estabelecimento de áreas de proteção é factível e válido.

A POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS E SUA APLICAÇÃO NO CASO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM AMBIENTES COSTEIROS

Conforme abordado nesta Tese, *“o princípio de direito diz que a lei deve ser clara, precisa, concisa e genérica”*. E mais: *“deve ser adequada às necessidades sociais” e que “muitas leis deixam de ser cumpridas por que falta praticidade”*.

Com relação aos recursos hídricos superficiais, existem uma série de leis já consagradas que resguardam a proteção e disciplinam o uso. O próprio Código de Águas já em 1934 procurou adequar o uso de rios e lagos protegendo-os da poluição.

A Constituição federal de 1988 atribuiu a União à instituição do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, o qual culminou com a Lei 9433 de 1997. Esta Lei trouxe

muitos avanços na gestão dos recursos hídricos, reconhecendo a água como bem finito e vulnerável, estabelecendo a outorga de uso dos recursos hídricos entre outras. Entretanto, a Lei 9433/97, ao abordar os aspectos de gerenciamento e proteção das águas, baseado na Bacia Hidrográfica, deixou a margem os ambientes costeiros, pois estes muitas vezes extrapolam estes limites da morfologia do terreno. Em se tratando das águas subterrâneas na costa esta característica é ainda mais marcante. Os mananciais ocorrem ao longo de toda planície costeira, não sendo limitados por morfologias do tipo “bacias hidrográficas”. Isto é claramente observável comparando-se os Anexos VI e VIII, respectivamente os mapas do Sistema Aquífero Costeiro Brasileiro na Ilha de Santa Catarina e o Mapa Geológico – Hidrogeológico da Bacia da Lagoa da Conceição.

Buscando a legislação relacionada ao meio ambiente, resgata-se a figura do Código Florestal e do Licenciamento Ambiental. Do Código Florestal, pode-se extrair que visando a proteção dos rios, foi fixada uma zona de proteção de 30, 50 ou 100 metros ao longo dos cursos d’água como área de proteção permanente, dependendo da magnitude fluvial. No licenciamento ambiental, parte integrante da Política Nacional de Meio Ambiente (Lei 6938/81), foi estabelecido que *“ficam condicionados ao prévio licenciamento a construção, a instalação, a ampliação e o funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, bem como aquelas capazes de causar degradação ambiental”*. Entretanto, muito pouco é abordado com relação a proteção das águas subterrâneas e nada especificamente com relação aos aquíferos costeiros. Uma das exceções de destaque é o Decreto 32.955/91, que regulamenta a Lei do Estado de São Paulo n. 6.134/88. Nesta Lei são abordadas as definições de aquíferos, áreas de proteção e etc. São estabelecidas obrigatoriedades de proteção de aquíferos ou partes deles, no caso de risco eminente de contaminação das águas subterrâneas.

Sendo que na região costeira, muitas cidades são abastecidas em parte ou na totalidade em aquíferos sedimentares através de poços profundos e que estes aquíferos podem ser contaminados, poluindo assim as águas subterrâneas, surge a necessidade da proteção de áreas em torno dos poços de captação de água ao longo de toda a costa brasileira. Os poços, ao bombear a água subterrânea criam um cone de depressão, acelerando o fluxo em direção ao poço, podendo induzir eventuais substâncias nocivas presentes na água.

De acordo com o exposto, é necessário um aperfeiçoamento da Política Nacional de Recursos Hídricos, principalmente no tocante aos aquíferos costeiros.

A proposta apresentada neste trabalho é de determinação de um raio em torno dos poços de captação de água para abastecimento público como marcador de Áreas de Proteção Permanente e que os locais onde haja poços de abastecimento público sejam destinados principalmente a áreas de lazer, como parques e praças, sem que sejam colocados no solo quaisquer tipos de materiais poluentes e principalmente seja proibida a construção de fossas e sumidouros.

A definição destes raios e áreas deve ser balizado por critérios técnicos, sendo calculado a partir de “testes de aquífero”.

Da Lei 9433/97, no seu art. 49 temos que “*constitui infração a utilização de recursos superficiais e subterrâneos (...) sem a devida outorga (...) perfurar poços de água subterrânea ou operá-los sem a devida autorização*”. Aparece desta forma a “autorização prévia” para perfuração de poços, cuja normatização deve ser realizada em nível estadual. Neste sentido, tem-se o caminho inverso: quando o poço de abastecimento público ainda não foi perfurado. Aparece então o Licenciamento Prévio, o qual deve levar em conta se há pontos de risco de contaminação, próximos ao ponto designado à perfuração para emissão da licença. Levariam-se em conta, da mesma forma a obrigatoriedade de realização de estudos e investigação de campo para

determinação dos parâmetros hidrogeológicos e hidráulicos do aquífero e a conseqüente determinação do raio de influência dos poços.

Revisando-se a legislação fica claro que existem instrumentos legais básicos que visam à proteção dos recursos hídricos. Entretanto não há uma lei específica com relação aos poços de abastecimento em aquíferos costeiros. Utilizando-se as características hidrogeológicas comuns destes mananciais, atentos a sua fragilidade e os eminentes riscos aos quais os poços de abastecimento estão expostos, é possível estabelecer uma obrigatoriedade legal de realização de testes de aquífero e definição de áreas de proteção em torno dos poços. Este trabalho buscou desta forma, subsidiar a Política nacional de Recursos Hídricos no seu aperfeiçoamento, para que se possa buscar através de instrumentos legais complementares a proteção dos poços de captação de água. Estes instrumentos legais podem ter um direcionamento nacional como, por exemplo, ocorre pelas resoluções do CONAMA e possuir caráter estadual. O importante é que a proteção dos poços abranja toda costa brasileira, visto que os mananciais ocorrem ao longo de praticamente toda costa, situação ainda a ser desenvolvida e debatida no âmbito jurídico.

CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma descrição geral dos aquíferos que ocorrem ao longo da costa, a sua extensão de ocorrência e suas características hidrogeológicas comuns. Coletaram-se dados de campo, através de experimentos práticos para determinação mais precisa dos parâmetros hidrogeológicos e também hidráulicos destes aquíferos, confirmando os dados de bibliografia. Analisando os dados adquiridos, foi possível propor um método de estabelecimento de áreas de proteção de poços que captam água em aquíferos costeiros. Este método foi validado, através de um experimento prático, podendo servir este trabalho como subsidio para a Política Nacional de Recursos Hídricos.

Partindo-se da hipótese que o modelo de desenvolvimento e ocupação da costa brasileira é impactante sobre os recursos hídricos subterrâneos, foram pesquisados diversos artigos científicos relacionados às águas subterrâneas da costa brasileira. Este trabalho foi complementado por observações de campo, principalmente no sul e nordeste brasileiro. Concluiu-se que não existe um conhecimento abrangente com relação aos mananciais que ocorrem na costa e são freqüentes os casos de utilização inadequada destas águas, com uso intensivo e disposição de resíduos e efluentes contaminantes no subsolo.

A interpretação dos dados adquiridos da bibliografia e das características dos ambientes costeiros observadas, assim como de suas características hidrogeológicas, possibilitou entender estes aquíferos como um grupo de mananciais de características muito semelhantes, denominados neste trabalho, de Sistema Aquífero Costeiro Brasileiro. Este sistema aquífero engloba tanto depósitos arenosos de origem marinho-praial, de idade Quaternária, como o Grupo Barreiras. Foi então apresentado em mapa de escala adequada para que se possa entender a extensão territorial destes mananciais.

Para um maior detalhamento do trabalho, foram ainda coletados dados através de ensaios de campo em Itajaí e Florianópolis.

Através destes levantamentos de campo foi possível verificar a semelhança dos dados adquiridos com os existentes na bibliografia, ainda que muitos dados de bibliografia se refiram a diferentes porções da costa brasileira. Estes resultados reforçam a tese de homogeneidade dos mananciais subterrâneos de água ao longo de toda costa. Assim, é possível concluir que é verdadeira a hipótese de agrupamento destes mananciais em um único conjunto e da validade de serem apresentados em um mapa de escala adequada.

Também foi analisada a problemática deste trabalho, de maneira mais próxima, na Ilha de Santa Catarina, em Florianópolis. Após extenso levantamento de campo e bibliográfico, se descreveu de maneira detalhada o modo de ocorrência e importância destes mananciais, assim como a falta de um cuidado adequado com sua utilização. Foi possível concluir que é importante o estabelecimento de áreas de proteção para os poços de abastecimento em aquíferos costeiros, tanto na ilha como ao longo de toda região costeira, pois a ocupação dos espaços urbanos sem o devido cuidado com o esgotamento sanitário pode inviabilizar futuramente o uso destas águas.

O método de estabelecimento de áreas de proteção de poços proposto consiste na utilização do rebaixamento do nível da água causado pelo bombeamento de um poço para a

determinação do seu raio de influência e das áreas de proteção. Ou seja, adota-se a distância ou um raio ao redor da captação para a delimitação do perímetro de proteção. Para analisar a viabilidade do método proposto, se utilizou um experimento de campo, realizado em Palhoça, SC, (na planície costeira, junto a Serra do Mar), o qual foi consistido de 2 poços tubulares de 6” de diâmetro onde se efetuou um “teste de aquífero”. Se bombeou continuamente um dos poços, enquanto no outro era controlado o nível de água.

Dos resultados do teste foram calculados os parâmetros hidráulicos, tais como a transmissividade, o coeficiente de armazenamento e o raio de influência de poços. A obtenção destes parâmetros na prática validou a proposta de utilização de um teste nestes moldes para cálculo do raio de influência e delimitação das áreas ou perímetros de proteção.

Conclui-se que apesar de ser importante a proteção integral dos aquíferos costeiros, é possível o estabelecimento de áreas de proteção no entorno dos poços de captação para abastecimento público, áreas estas determinadas tecnicamente através de estudos hidrogeológicos e da hidráulica de poços; o que é de viável aplicação.

Revisando-se a legislação ficou claro que existem instrumentos legais básicos que visam à proteção dos recursos hídricos. Contudo não há uma lei específica com relação aos poços de abastecimento em aquíferos costeiros que abranjam toda costa brasileira. A própria Política Nacional de Recursos Hídricos ao estabelecer os limites da bacia hidrográfica como unidade de gestão deixa a margem os ambientes costeiros, pois estes pouco tem a ver com esta morfologia do terreno.

Utilizando-se as características hidrogeológicas comuns destes mananciais, atentos a sua fragilidade e os eminentes riscos aos quais os poços de abastecimento estão expostos, é possível estabelecer uma obrigatoriedade legal ou direcionamento para realização de testes de aquífero e definição de áreas de proteção em torno dos poços nestes ambientes. Este trabalho

buscou mostrar que é possível tal procedimento e, desta forma, subsidiar a Política nacional de Recursos Hídricos no seu aperfeiçoamento. Estes instrumentos legais podem ter caráter nacional, visto que os mananciais ocorrem ao longo de praticamente toda costa brasileira, situação ainda a ser desenvolvida e debatida no âmbito jurídico.

A evolução do pensamento humano tem levado a uma mudança na visão relativa ao meio ambiente e as suas interações. Observando a história da humanidade, é fácil perceber a conquista territorial do homem, habitando todos os continentes, dominando e modificando ambientes. Passamos de pequenos grupos a sociedades organizadas, de seres que lidavam com ferramentas rudimentares a criação de instrumentos de alta tecnologia. Neste processo passamos pelos que os historiadores chamam de pré-história, idades antigas, médias e modernas, de culturas baseadas na agricultura, na indústria e na informática.

De um pensamento “individualista”, colocando o homem como ser dominante e até mesmo a parte da natureza surge uma corrente de pensamento que vê a Terra e todos os seus elementos como parte de um imenso e complexo sistema onde todos somos interdependentes. As sementes deste pensamento foram “jogadas ao solo” da mente humana por cientistas e pensadores como Darwin, Hutton, Lyell, Malthus, Lovelock, Capra entre tantos outros.

Baseado nas descobertas científicas, principalmente dos séculos XIX e XX, e na observação da perigosa degradação em escala planetária foi lançado na década de 80 o conceito de desenvolvimento sustentável, onde nossa passagem pela Terra deve garantir a qualidade ambiental para a presente e para as futuras gerações.

A água, fundamental à vida, passou então a ser considerada como bem finito e vulnerável, pois sua escassez ou contaminação em grande escala levaria a um verdadeiro colapso da vida no Planeta como conhecemos. Na costa brasileira, por exemplo, muitas cidades abastecem a maioria da população por intermédio de água subterrânea. Contudo, pouca

importância se dá à questão da infiltração de esgotos domésticos e outros tipos de efluentes nestes mananciais. Como na costa do Brasil os aquíferos são representados por depósitos arenosos de com alta permeabilidade, muitas vezes a população, por falta de opções em termos de saneamento, opta por infiltrar os esgotos ou outros resíduos por intermédio de fossas e sumidouros, podendo levar a uma carga poluente a entrar rapidamente em contato com as águas subterrâneas que em última instância é captada para servir a própria população.

Espera-se com os resultados deste trabalho se possa contribuir tanto com a Política Nacional de Recursos Hídricos, como para a vida cotidiana da população, onde a proteção dos poços de abastecimento público possa auxiliar com o desenvolvimento sustentável da região costeira. Finalmente, espera-se que às águas subterrâneas ocorrentes na costa possam sempre garantir um abastecimento de qualidade para esta, assim como futuras gerações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBINO, J. **Processos de sedimentação atual e morfodinâmica das praias de Bicanga à Povoação, ES**. 1999. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo.

ANDRÉ CELLIGOI & URIEL DUARTE. **Hidrogeologia da cidade de Londrina**, VI, Paraná, 1990.

CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS ABAS, Porto Alegre, RS.

AYODE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**, tradução 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, nº 12. Florida, USA, 1996.

BARBIERI, J. C. **Desenvolvimento e meio ambiente: as estratégias de mudanças da agenda 21**. Rio de Janeiro: Vozes, 2000.

BIGARELLA, J.J. **The Barreiras group in northeast Brasil**. Anais da Academia Brasileira de Ciências. Rio de Janeiro, 1975.

BORGES, S. F. **Características hidroquímicas do aquífero freático do balneário Campeche, Ilha de Santa Catarina-SC**. 1996. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Área de Concentração em Utilização e Conservação de Recursos Naturais, Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BORGES, S. F., BONILHA, L. E. C. **Contaminação antrópica de um aquífero costeiro e sua implicação para o planejamento urbano: Estudo de caso do aquífero do Mariscal – Canto Grande (Bombinhas-SC)**. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE HIDROGEOLOGIA. Florianópolis, 2002.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Política Nacional dos Recursos Hídricos**. Brasília, 1997.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Agenda 21 Nacional**. Brasília, 2002.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado, 1988.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Política Nacional do Meio Ambiente**. Brasília, 1981.

BRASIL. Lei nº 6.803, de 02 de julho de 1980. Brasília, 1980.

BRASIL, Lei nº 9.748, de 30 de novembro de 1994. Santa Catarina, 1994.

BRASIL. Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934. **Código de Águas**. Brasília, 1934.

BRASIL. Constituição (1989). **Constituição do Estado de Santa Catarina**. Santa Catarina, SC, 1988.

BRASIL. Lei nº 9.748, de 30 de novembro de 1994. **Política Estadual dos Recursos Hídricos**. Santa Catarina, 1994.

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 32.955, de 7 de fevereiro de 1991. São Paulo, 1991.

BUENO, Liane da Silva. **Zoneamento territorial para fins do uso e ocupação do solo visando à elaboração e atualização de planos diretores**. 2003. 118 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CABRAL, J. **Hidrogeologia conceitos e aplicações**: Cap. III – Movimento das águas subterrâneas. Fortaleza: CPRM 1997.

CAPRA, F. **A teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos**. São Paulo: Cultri, 1999.

CARUSO JR., Francisco. Interferências sobre a migração de Ilhas-Barreira na região da Lagoa da Conceição, Ilha de Santa Catarina. In: I CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO. **Anais...** Porto Alegre, 1987. 277-298 p.

CARUSO JR., Francisco. **Mapa geológico da Ilha de Santa Catarina**. Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Notas Técnicas nº 6. Porto Alegre, 1993.

CECCA – Centro de Estudos Cultura e Cidadania. **Uma cidade numa ilha**. Florianópolis: Insular, 1997.

CLEARY, R. **Engenharia hidrogeológica**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1989.

CASTANI, G. **Tratado práctico de las aguas subterráneas**. Barcelona: Omega, 1971.

CIÊNCIA HOJE, REVISTA. Edição de novembro. Campinas: Instituto Ciência Hoje, 2003.

COITINHO, J. B. L.; FERNANDES, E.; ISSLER, R. S. **Contribuição à Geologia da folha S6 22-2-D: Relatório da operação 8017/81**. Florianópolis: projeto RADAMBRASIL (Relatório Interno RADAMBRASIL 35p.), 1981.

COSTA, D. W.; SANTOS, A.C.; COSTA FILHO, D. W. **O controle estrutural na formação dos aquíferos na planície do Recife**. In: 8º CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - ABAS. Recife, 1994.

COSTA, D. W. **Hidrogeologia conceitos e aplicações**: Cap. XIV – Uso e gestão das águas subterráneas. Fortaleza: CPRM, 1997.

COSTA, D. W. & BRAZ SILVA. **Hidrogeologia conceitos e aplicações**; Cap. VII - Hidrogeologia dos meios anisótropos. Fortaleza: CPRM, 1997.

CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M. R. **Hidrologia subterrânea**. 2. ed. Barcelona: Omega, 1983.

- DARCY, H. **Les fontaines publiques de la Ville Dijon**. V. Dalmont, Paris, 1956.
- DARWIN, C. **Origem das espécies**. São Paulo: USP, 1985.
- DAVIS, N. STANLEY, DEWIEST, ROGER, J. M. **Hidrogeology**. NY, USA: John Wiley & Sons, 1966.
- DELEAGE, J-P. **Historia da ecologia: uma ciência do homem e da natureza**. Lisboa: Dom Quixote, 1993.
- DOMENICO, P.A., SCHWARTZ, F. **Physical and chemical hydrogeology**. 2. ed. NY, USA: John Wiley & Sons, 1997.
- DOS SANTOS, R. J. Q., NETO, J. V. F., CAVALCANTE, A. T., WANDERLEY, T. R. N. **Superexploração de água subterrânea em área do Tabuleiro dos Martins**, In: VI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE. Maceió, 2002.
- DUARTE, P. A. **Cartografia temática**. Florianópolis: UFSC, 1991.
- FEITOSA, E. C. **Hidrogeologia conceitos e aplicações**: Cap. IV - Pesquisa de água subterrânea. Fortaleza: CPRM 1997.
- FENZEL, N. **Estudo de permeabilidade em rochas fissuradas e carstificadas da região de Neue Welt, Áustria**. Revista Brasileira de Geociências. nº 1. 1994. p. 60-64. v 24.
- FETTER, C. W. **Applied hydrogeology**. 3. ed. New Jersey, USA: Prentice Hall Inc, 1994.
- FINLEY, M. I. **Economia e sociedade na Grécia antiga**. São Paulo: Martins Fontes, 1989.
- FOPPA, C. C. **Avaliação da contaminação do recurso hídrico subterrâneo da Praia de Taquaras, Balneário Camboriú – SC, dentro de seu contexto sócio-ambiental**. Monografia (Conclusão de Curso em Ciências Biológicas) – Universidade do Vale do Itajaí, Santa Catarina, 2003.

FOSTER, S. S. D. **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. 1987.

FOSTER, S. S. D.; DRASAR, B. S. **Análisis de contaminación de las aguas subterráneas por sistemas de saneamiento básico**. Centro Panamericano de Ingeniería sanitaria y ciencias del Ambiente - CEPIS. Lima, Peru, 1988.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. **Groundwater pollution risk assessment; a methodology using available data**. WHO-PAHO/CEPIS, 1991.

FRANCO JUNIOR, H. **A Idade média e o nascimento do ocidente**. São Paulo: Brasiliense, 1986.

FREEZE, R. A., CHERRY, J. A. **Groundwater**. New Jersey, USA: Prentice Hall Inc, 1979.

GARCEZ, L. N. **Elementos de engenharia hidráulica e sanitária**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1990.

GIANINI, P. F.; SUGUIO, K. **Diferenciação entre gerações de depósitos quaternários na costa centro – sul de Santa Catarina**. XXXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. Balneário Camboriú.

GUEDES Jr., A. **Mapeamento hidrogeológico da Ilha de Santa Catarina, utilizando geoprocessamento**. 1999. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

GUEDES Jr., A. **The identification of ground water pollution risk areas in Santa Catarina's Island, Brazil, using geoprocessing techniques**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SANITARY AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING – SIDISA 2000. Trento, Itália, 2000.

GUEDES Jr., A. **Reavaliação de jazida de água mineral**. Relatório técnico. Água Mineral Santa Catarina. Ministério de Minas e Energia, DNPM, documento interno. Florianópolis, 2003.

HAUCOURT, G. **A vida na idade média**. Trad. Marisa Dea. São Paulo: Martins Fontes, 1994.

HAUSMAN, A. **Glossário hidrogeológico**. SOP/RS/CIA T. Porto Alegre: Janer 1963. p. 166.

HEILBRONER, R. L; CABRAL, A. **A formação da sociedade econômica**. 5. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: 1987.

HIRATA, R; BASTOS, C. R. A.; ROCHA, G. A. R., 1990. **Ground water pollution risk and vulnerability map of the São Paulo state - Brazil**. In: INTERNATIONAL SEMINAR OF POLLUTION, PROTECTION AND CONTROL OF GROUND WATER. Porto Alegre: 1990. 236-246 p.

HOBSBAWM, E.J. **A era das revoluções: Europa 1789-1848**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2003.

HORN F., N. O. **Aspectos geológicos do nordeste da planície costeira do Rio Grande do Sul**. In: I CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO. Porto Alegre, 1987.

HUGUENEY IRIGARAY, C. T. J. **A gestão dos recursos hídricos no Brasil: Um direito fundamental?** 2003. Tese (Doutorado em Direito) - Centro de Ciências Jurídicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Censo Demográfico. 1991.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. **Manual de abastecimento integrado**. São Paulo, 1995.

IRITANI, M. A. **Modelação matemática tridimensional para proteção das captações de água subterrânea**. 1998. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em recursos minerais e hidrogeologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

JACOB, C. E. **Flow of growndwater**. Enginering Hidraulics. New York: John Willey & Sons, 1950.

KAMIYAMA, H. **"Sistema local de tratamento de esgotos e a revisão da NBR 7229/82"**. In: II SEMINÁRIO SOBRE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS NAS ÁREAS LITORÂNEAS. Bombinhas, 1995.

LAU, J. E.; COMMANDER, D. D.; JACOBSON, G. **Hidrogeology of Australia**. Department of resources and energy. Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics. Sydney, Austrália, 1987.

LEPARGNEUR, H. **Rio + 10**. Revista Fragmentos de Cultura, nº 5. Goiânia, 2002. p. 857-873 v 12.

LOVELOCK, J. E. **As eras de Gaia: a biografia da nossa terra viva**. Rio de Janeiro: Campus, 1991.

LEWIS, W. J.; FOSTER, S.S.D.; DRASAR, B.S. **Análisis de contaminacion de las águas subterráneas por sistemas de saneamento basico**. Centro Panamericano de Ingenieria Sanitária Y Ciencias del Ambiente (CEPIS). 1998.

LOBATO, M. **Historia das invenções**. São Paulo: Brasiliense, 1995.

MACHADO GRANZIERA, M. L. **Direito de águas e meio ambiente**. São Paulo: Ícone, 1993.

MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia conceitos e aplicações**: Cap. I: Água subterrânea, histórico e importância. Fortaleza: CPRM, 1997.

MARTIN, L. & SUGUIO, K. Mecanismo de gênese das planícies sedimentares quaternárias do litoral do estado de São Paulo. XXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, **Anais...** São Paulo, 1976. 295-305 p. 1 v.

MEAD, D. W. **Hidrogeology**. New York: McGraw Hill Book Co, 1919.

MENEGAT, R. & KIRCHHEIM, R. **Atlas ambiental de Porto Alegre**: Cap. 3 – lagos, rios e arroios. Porto Alegre: UFRGS, 1998. p. 35-40.

MENEZES, L. C. C. **Considerações sobre saneamento básico, saúde pública e qualidade de vida**. Revista de Engenharia Sanitária. 1994.

MENTE, A. **Hidrogeologia conceitos e aplicações:** Cap. VIII: Cartografia Hidrogeológica (Classificação e Utilização de mapas Hidrogeológicos). Fortaleza: CPRM

MICHELET, J. **A bíblia da humanidade: mitologia da Índia, Pérsia, Grécia e Egito.** 2.ed. São Paulo: Prestigio, 2003.

NASCIMENTO, G., F. M., ANJOS, C. E., VENEZIANI, P. **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.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Camboriú, 1994.

NASCIMENTO, G., G. A. **Mapas e dados em meio digital:** Uma aplicação à drenagem urbana. bacia do Itacorubí, Florianópolis, SC. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ODA, G. H., YOSHINAGA S.; IRITANI, M. A., HASSUDA, S.; CASTRO, S. A. P. & HIRATA, R. **Hidrogeologia da folha de Salto de Pirapora, SP.** In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS ABAS. Porto Alegre, 1990.

OLIVEIRA, J. R; MELO, F. A. PINTO, A. J. SOUZA, N. A. **Controle de vazamentos em postos de combustíveis na região metropolitana de Belém e seus aspectos jurídicos.** In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE HIDROGEOLOGIA. Florianópolis, 2002.

ONU - Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Nosso futuro comum.** Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas, 1988.

PINSKY, J. **100 textos de história antiga.** 7. ed. São Paulo: Contexto, 2001.

PRESS, R. & SIEVER, F. **Earth.** USA: W. F. Freeman and Company, 1985.

PIAZZA, W. F. **O povoamento açoriano de Florianópolis.** Florianópolis: Lunardelli, 1991.

POLETTE, M., CAVEDON, F. S. **Construindo o desenvolvimento sustentável para o município de Bombinhas.** Itajaí: UNIVALI, 2001.

REBOUÇAS, A. **Água subterrânea - fonte mal explorada no conhecimento e na sua utilização**: Água em Revista. Revista Técnica e Informativa da CPRM. 1997.

ROBINS, N.S.; SNEDLEY, P. L. **Hydrogeology, and hydrogeochemistry of a small hard-rock island - The heavily stressed aquifer of Jersey**. Journal of Hydrology. nº 3 e 4. 1994. p. 249-271. v 163.

SALAMA, R. B., TAPLEY, I., ISHII, T. and HAWKES, G. **Identification of areas of recharge and discharge, using Landsat-TM satellite imagery and aerial photography mapping techniques**. Journal of hydrology, nº 1 e 2. 1994. p 119-143. v 162.

SANTOS, G. T. **Integração de informações pedológicas, geológicas e geotécnicas ao uso do solo urbano em obras de engenharia**. 1997. Tese (Doutorado em Engenharia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SANTOS, VANESSA; SULAMITA, S. **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. Florianópolis: LABCIG-UFSC, 1998.

SCHEIBE, L. F. e TEIXEIRA, V. H. **Mapa topogeológico da Ilha de Santa Catarina**. Porto Alegre: DNPM. 1970.

SESAN - Serviço de Saneamento - Ministério da Saúde - Governo do Brasil. **Mananciais disponíveis para abastecimento de água**. Brasília, 1997.

SCHAMA, S. **Paisagem e memória**. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.

SILVA, E. R. **O curso da água na história: simbologia, moralidade e a gestão de recursos hídricos**. 1998. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Programa de Pós-graduação em Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro.

SIQUEIRA, W., CORREIA DOS ANJOS, G., SOUZA, E. L. **Avaliação preliminar dos riscos potenciais de contaminação das águas subterrâneas por postos de combustíveis no município de Belém**. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE HIDROGEOLOGIA. Florianópolis, SC.

SOUZA PINTO, N. L.; MARTINS, J. A.; HOLTZ, A. C. T.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1976.

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1973.

SUGUIO, K. & MARTIN, L. **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, 1976.

THEIS, C. V. **The relation between the lowering of piezometric surface and the rate and duration of discharge of well using ground water storage**. TransAmerica Geophysics Union, 1935.

THIEM, A. **Hidrologische Methoden**. Leipzig Gebhardt, 1906.

TOMAZELLI, L. J., VILWOCK, A., LOSS, E. L., DEHNHARDT, A. **Aspectos da geomorfologia costeira da região de Osório-Tramandaí, RS**. In: I CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO. Porto Alegre, 1985.

UNESCO. **International legend for hidrogeological maps**. UNESCO. Paris, 1983.

U.S. Geological Survey. **Hidrologia Básica Subterrânea**. Water Supply Paper 2220. Trad. Mário Wrege e Paul Potter, USA, 1982.

U.S. Geological Survey. **Hawaii advisory comission on water resources**. National Water Summary, USA, 1987.

VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J.; LOSS, E. L.; DEHNARDT, E. A.; HORN F., N. O.; BACHI, F. A. & DEHNHARDT, B. A. **Geology of the Rio Grande do Sul coastal province**. In RABASA, J., Quaternary of South America and Antartic Peninsula. Rotterdam: A. A. Balkema Publishers, 1987.

WREGE, M. Termos hidrogeológicos básicos. São Paulo: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 1997. (Caderno técnico, n. 4).

WORLDWATCH INSTITUTE (WWI), **O estado do mundo**. Relatório Integrado. Ed WWI em português. Salvador, 2003.

ZANNINI, L. F. P., BRANCO, P. M., CAMOZATTO, E., RAMBGRAB. **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. Brasília: DNPM - CPRM, 1991.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.