

6

POÇOS TUBULARES E OUTRAS CAPTAÇÕES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS ORIENTAÇÃO AOS USUÁRIOS

Secretaria de Estado de **Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável**

Secretaria de Estado de **Energia, da Indústria Naval e do Petróleo**

Estado do Rio de Janeiro

Departamento de Recursos Minerais - DRM

Projeto **PLANÁGUA SEMADS/GTZ**



SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
SEMADS

SECRETARIA DE ESTADO DE ENERGIA, DA INDÚSTRIA NAVAL E DO PETRÓLEO
SEINPE

POÇOS TUBULARES E OUTRAS CAPTAÇÕES DE

ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

- ORIENTAÇÃO AOS USUÁRIOS -

Autores
Egmont Capucci
Aderson Marques Martins
Kátia Leite Mansur
André Luiz Mussel Monsores

DEPARTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS DRM - RJ
Projeto PLANÁGUA SEMADS/GTZ de Cooperação Técnica Brasil – Alemanha
Junho de 2001

Departamento de Recursos Minerais DRM - RJ

Presidente Marco Aurélio Lemos Latgé

Vice Presidente Kátia Leite Mansur

Diretor Técnico Flavio Luiz da Costa Erthal

Projeto Planágua SEMADS / GTZ

Coordenadores Antônio da Hora
Wilfried Teuber

DEPARTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS DRM - RJ

vinculado à Secretaria de Estado de Energia, da Indústria Naval e do Petróleo

Rua Marechal Deodoro 351

Centro – Niterói – RJ – CEP 24030-060

Tel: 21- 2620-2525 – Fax: 21-2620-9132

e-mail: drm@drm.rj.gov.br

Home page: <http://www.drm.rj.gov.br>

APRESENTAÇÃO

O Governo do Estado do Rio de Janeiro, através do Departamento de Recursos Minerais – DRM – RJ, entidade vinculada à Secretaria de Estado de Energia, da Indústria Naval e do Petróleo – SEINPE e com o apoio do Projeto PLANÁGUA SEMADS/GTZ, está lançando a publicação “POÇOS TUBULARES E OUTRAS CAPTAÇÕES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: ORIENTAÇÃO AOS USUÁRIOS”. Trata-se da primeira publicação estadual voltada para a orientação aos usuários de águas subterrâneas, como parte do esforço de nosso Governo em prestar serviços de qualidade ao cidadão fluminense.

O DRM – RJ, órgão estadual de geologia, de apoio ao desenvolvimento da mineração em base sustentável e do estímulo ao conhecimento de nossos recursos minerais, vem consolidar, com esta publicação, sua competência técnica e institucional no setor águas subterrâneas. Divulgar para o cidadão as informações básicas para utilização racional dos recursos hídricos é fundamento da Lei Estadual de Recursos Hídricos, que nosso Governo aprovou em 1999. O DRM – RJ está cumprindo sua parte nesta tarefa.

As águas subterrâneas vêm-se constituindo em importante alternativa para abastecimento de comunidades rurais e urbanas, para uso agrícola e industrial. O nosso Estado possui recursos que somente agora estamos descobrindo, a água subterrânea é um deles. E, no momento em que vivemos uma crise de escassez de água, este assunto se reveste da maior atualidade, sendo papel do Estado orientar para a utilização racional dos recursos naturais, estimulando e disseminando as boas práticas.

É desta maneira que entendemos a importância desta publicação.

Secretaria de Estado de Energia, da Indústria Naval e do Petróleo

Depósito legal na Biblioteca Nacional conforme decreto nº 1.825 de 20 de dezembro de 1907.

P 741

Poços tubulares e outras captações de águas subterrâneas:
orientação aos usuários / Egmont Capucci...[et al]. --

Rio de Janeiro: SEMADS 2001.

70p.: il.

ISBN 85-87206-11-7

Cooperação Técnica Brasil-Alemanha, Projeto
PLANÁGUA-SEMADS/GTZ.

1. Recursos hídricos. 2. Águas subterrâneas. 3.
Captações. 4. Poços. I. Capucci, Egmont. II. Martins,
Aderson Marques. III. Mansur, Kátia Leite. IV. Monsores,
André Luiz Mussel.

CDD 627

Capa

Publicidade RJ 2001

Fotos:

Egmont Capucci

Projeto PLANÁGUA SEMADS / GTZ

O Projeto PLANÁGUA SEMADS/GTZ, de Cooperação Técnica Brasil – Alemanha vem apoiando o Estado do Rio de Janeiro no Gerenciamento dos Recursos Hídricos com enfoque na proteção dos ecossistemas aquáticos.

SERLA - Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas
Campo de São Cristóvão, 138/315
20.921-440 Rio de Janeiro - Brasil
Tel/Fax [0055] (21) 2580-0198
E-mail: serla@montreal.com.br

Autores:

Egmont Bastos Capucci	Consultor do Projeto PLANÁGUA SEMADS/GTZ
Aderson Marques Martins	Departamento de Recursos Minerais DRM - RJ
Kátia Leite Mansur	Departamento de Recursos Minerais DRM - RJ
André Luiz Mussel Monsores	Serviço Geológico do Brasil CPRM

Agradecimentos

*Gerson Cardoso da Silva Jr. (UFRJ); Humberto José T. R. de Albuquerque (CPRM);
Lucio Carramillo Caetano e Mário Therezo Lopes, pelas contribuições ao texto.*

*CPRM – Serviço Geológico do Brasil, pela cessão de informações
e tempo de seus técnicos.*

*A todos os participantes do Encontro de Perfuradores de Poços e Usuários de Águas
Subterrâneas no Estado do Rio de Janeiro, ocorrido em Outubro/2000, para discussão
preliminar do texto, pelas contribuições.*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. ÁGUA SUBTERRÂNEA E CICLO HIDROLÓGICO	11
3. FORMAÇÕES GEOLÓGICAS E AqüÍFEROS	12
3.1. LOCALIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO SUBSOLO	12
3.2. PERMEABILIDADE E POROSIDADE	12
3.3. CONCEITO DE AqüÍFERO	13
3.4. REABASTECIMENTO DO AqüÍFERO OU RECARGA	15
4. POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	15
4.1. INTRODUÇÃO	15
4.2. MAPA DE FAVORABILIDADE HIDROGEOLÓGICA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	16
4.3. POTENCIALIDADE HIDROGEOLÓGICA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	18
5. COMO PROCEDER PARA CAPTAR ÁGUA SUBTERRÂNEA	23
5.1. ASPECTOS GERAIS	23
5.2. A LOCAÇÃO DE UM POÇO	24
5.3. QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	25
5.4. PADRÕES DE QUALIDADE AMBIENTAL	25
6. ÁGUA SUBTERRÂNEA E MEIO AMBIENTE	26
6.1. POLUIÇÃO	28
6.2. SUPEREXPLOTAÇÃO	28
6.3. RISCOS DE LONGO PRAZO	29
6.4. A PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	30
7. CONSTRUÇÃO DE POÇOS TUBULARES NOS AqüÍFEROS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.	30
7.1 MÉTODOS DE PERFURAÇÃO DE POÇOS EM TERRENOS DE ROCHAS CRISTALINAS	31
7.1.1. <i>Percussão a Cabo</i>	31
7.1.2. <i>O Sistema Roto-Pneumático</i>	36
7.2. PERFURAÇÃO DE POÇOS EM TERRENO SEDIMENTAR	39
7.3. APLICAÇÃO DO REVESTIMENTO.	42

7.4. ENCASCALHAMENTO	45
7.5. DESENVOLVIMENTO	45
7.6. CIMENTAÇÃO.	45
7.7. TESTES DE PRODUÇÃO.	47
7.8. POÇOS DOMÉSTICOS	49
7.8.1. <i>Construção de Poços Freáticos ou Domésticos para Regiões Servidas por Energia Elétrica</i>	49
8. OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE POÇOS TUBULARES	62
8.1. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PROPOSTOS	54
9. ORIENTAÇÃO PARA CONTRATAÇÃO DE CONSTRUÇÃO DE POÇOS TUBULARES.	56
9.1. ÍNDICE GUIA PARA ELABORAÇÃO DE PROJETO DE POÇO TUBULAR EM ROCHAS DURAS	57
9.2. ÍNDICE GUIA PARA ELABORAÇÃO DE PROJETO DE POÇO TUBULAR EM TERRENOS SEDIMENTARES	57
10. CAPTAÇÃO DE FONTES	60
11. CONCLUSÕES	61
12. BIBLIOGRAFIA	61
GLOSSÁRIO	63
SIGLAS CITADAS	64
PLANÁGUA.....	65



Foto da Capa: Teste de bombeamento em poço tubular construído em terrenos sedimentares no Município de Campos dos Goytacazes
(Egmont Capucci)

1. INTRODUÇÃO

Aproximadamente $\frac{3}{4}$ da superfície da Terra é coberta por água, razão pela qual, vista e fotografada do espaço, foi apelidada de Planeta Água. Substância essencial para manutenção dos seres vivos, a água é reconhecida pela ciência como o ambiente em que surgiu a própria vida. Por esse motivo, sua ocorrência é considerada uma das condições básicas para a admissão da existência de vida, como a conhecemos, em outros planetas.

A existência da água nos estados sólido, líquido e gasoso na Terra, envolve o gigantesco fenômeno denominado Ciclo Hidrológico, a contínua circulação entre os oceanos, a atmosfera e os continentes, responsável pela renovação da água doce, há pelo menos 3,8 bilhões de anos. Entretanto, 97,6% da água do planeta é constituída pelos oceanos, mares e lagos de água salgada. A água doce, representada pelos 2,4% restante, tem sua maior parte situada nas calotas polares e geleiras (1,9%), inacessível aos homens pelos meios tecnológicos atuais. Da parcela restante (0,5%), mais de 95% é constituída pelas águas subterrâneas.

A água é também veículo para os mais diversos tipos de doenças, quando poluída ou contaminada. Estudo recente do BNDES sobre saneamento no Brasil indicou que 51% da população urbana (aproximadamente 63 milhões de pessoas) não é atendida por rede de água dos sistemas de abastecimento e que cerca de 45% das águas tratadas distribuídas são desperdiçadas. A pesquisa constatou ainda a alarmante realidade de que 90% dos esgotos são lançados “in natura” nos solos e rios, sem qualquer tratamento. Em nível mundial, os números são ainda mais assustadores. Estima-se que 1,2 bilhão de pessoas no mundo carecem de água potável e que 1,9 bilhão não dispõe de adequados serviços de saneamento. A falta de água potável e de saneamento básico provoca a morte de cerca de 4 milhões de crianças anualmente, vitimadas por doenças de veiculação hídrica como a cólera, a diarreia, etc.

Devido à degradação de sua qualidade, que se acentuou a partir da II Guerra Mundial, a água doce líquida que circula em muitas regiões do mundo já perdeu sua característica especial de recurso renovável, em particular nos países ditos do Terceiro Mundo, na medida em que os efluentes e/ou os resíduos domésticos e industriais são dispostos no ambiente sem tratamento ou de forma inadequada.

Além dos desequilíbrios da oferta de água às populações, a questão da disponibilidade e dos conflitos pelo seu uso também apresentam seus aspectos preocupantes. Assim é que alguns países apresentam escassez hídrica absoluta, tais como Kuwait, Egito, Arábia Saudita, Barbados, Singapura e Cabo Verde; outros como Burundi, Argélia e Bélgica padecem de seca crônica; em regiões como o semi-árido nordestino há o alerta de escassez e em vários locais afloram conflitos decorrentes de desequilíbrios entre demanda e disponibilidade, tais como Madrid e Lisboa pelo Rio Tejo, Síria e Israel pelo Rio Golã, Síria e Turquia, pelo Rio Eufrates, Iraque e Turquia pelo Rio Eufrates, Tailândia e Laos pelo Rio Mekong, Barcelona e Alicante pelo Rio Ebro, entre outros (Albuquerque e Oliveira, 1999).

Diante desse cenário turbulento, a água subterrânea vem assumindo uma importância cada vez mais relevante como fonte de abastecimento. Devido a uma série de fatores que restringem a utilização das águas superficiais, bem como ao crescente aumento dos custos

da sua captação, adução e tratamento, a água subterrânea está sendo reconhecida como alternativa viável aos usuários (ver *Tabela 1*) e tem apresentado uso crescente nos últimos anos, obtidas através de poços bem localizados e construídos. Além dos problemas de contaminação inerentes às águas superficiais, o maior interesse pelo uso da água subterrânea vem sendo despertado, pela maior oferta deste recurso e em decorrência do desenvolvimento tecnológico, o que promoveu uma melhoria na produtividade dos poços e um aumento de sua vida útil.

Tabela 1 – Fatores de Competitividade das Águas Subterrâneas (Albuquerque e Oliveira, 1999)

1.	Volumes estocados muito grandes (192.000 km ³ no Brasil) e suas velocidades de fluxo muito baixas (cm/dia) resultam em que o manancial é pouco afetado pelas variações sazonais de pluviometria, podendo propiciar um abastecimento regular durante os períodos de seca ou estiagem prolongadas.
2.	Pelo fato de ocorrerem no subsolo sob uma zona de material rochoso não-saturado ou camadas rochosas pouco permeáveis, as águas subterrâneas encontram-se relativamente melhor protegidas contra agentes potenciais ou efetivos de poluição.
3.	Quando captadas de forma adequada, na sua utilização, geralmente, não se tem custos de clarificação, tratamento ou purificação – os processos de filtração e biogeoquímicos de depuração do subsolo proporcionam um alto nível de purificação e potabilidade das águas subterrâneas.
4.	A forma de ocorrência extensiva possibilita sua captação nos locais onde são geradas as demandas.
5.	Os prazos de execução das obras de captação são relativamente curtos – da ordem de dias até alguns meses.
6.	Os investimentos em geral são relativamente pequenos – variando entre dezenas a centenas de milhares de reais.
7.	Os aquíferos não sofrem processos de assoreamento, nem perdem grandes volumes de água por evaporação.

Não obstante o volume de água doce estocado no subsolo representar mais de 95% desses recursos disponíveis para os homens através dos meios tecnológicos atuais, os níveis de utilização de águas subterrâneas no mundo em geral e no Brasil em particular, são ainda relativamente modestos e desigualmente distribuídos, apesar do forte crescimento do consumo nos países desenvolvidos, nas últimas décadas. A Primeira Conferência Mundial da Água, realizada em Mar del Plata em 1977, considerou que cerca de 70% das cidades carentes de água potável no Terceiro Mundo poderiam ser abastecidas ou reforçadas de forma mais barata e rápida, utilizando-se águas subterrâneas, como também a maioria das comunidades rurais.

A exemplo dos Estados de Pernambuco, São Paulo e Ceará, entre outros, só agora o Estado do Rio de Janeiro começa a contar com dispositivos institucionais que disciplinem, controlem e fiscalizem o exercício da atividade de captação e exploração de águas subterrâneas. A falta de instrumentos legais, de normas técnicas e de uma estrutura técnico-administrativa que garanta a eficácia na exploração e controle desse recurso vêm colocando em risco (ver *Tabela 2*) nossos principais aquíferos, pois não há limitações para uso, nem normas de proteção. A partir da sanção da Lei Estadual de Recursos

Hídricos, em 1999, a preservação e o controle do uso das águas subterrâneas passaram a fazer parte da legislação do Estado do Rio de Janeiro. Neste aspecto a Lei nº 3.239/99 apresenta-se bastante avançada em relação a outros estados brasileiros, porque trata dos recursos hídricos como um todo, não separando na legislação as águas superficiais das subterrâneas. Sua regulamentação já se encontra em andamento.

Tabela 2 – Fatores de Risco para Utilização das Águas Subterrâneas (Albuquerque e Oliveira, 1999)

Grande número de poços mal localizados, construídos e operados sem manutenção. Nestas condições, o resultado do poço é incerto ou sua vida útil é tão curta que a alternativa do uso da água subterrânea apresenta, com freqüência, um grande risco político – administrativo – financeiro para os tomadores de decisão.
Falta de controle governamental. Qualquer indivíduo, condomínio, indústria, agricultor, empresa privada ou estatal pode construir um poço, freqüentemente, pelo menor preço e sem a tecnologia adequada.
Falta de estudos hidrogeológicos básicos, rede de monitoramento e de banco de dados consistentes e acessíveis ao público.

Mister se faz, portanto, a conscientização para o problema, de modo a se equacionar corretamente a atividade e de se promover definitivamente as condições de preservação desse recurso estratégico para a utilização das gerações futuras.

2. ÁGUA SUBTERRÂNEA E CICLO HIDROLÓGICO

A água subterrânea nada mais é do que água infiltrada no subsolo, presente nos espaços intergranulares dos solos ou nas fraturas das rochas. Para um melhor entendimento é fundamental a noção de Ciclo Hidrológico. A *Figura 1* ilustra bem esse fenômeno de renovação da água no planeta através da gigantesca circulação entre os mares, lagos e rios, atmosfera e continentes (solos e rochas).

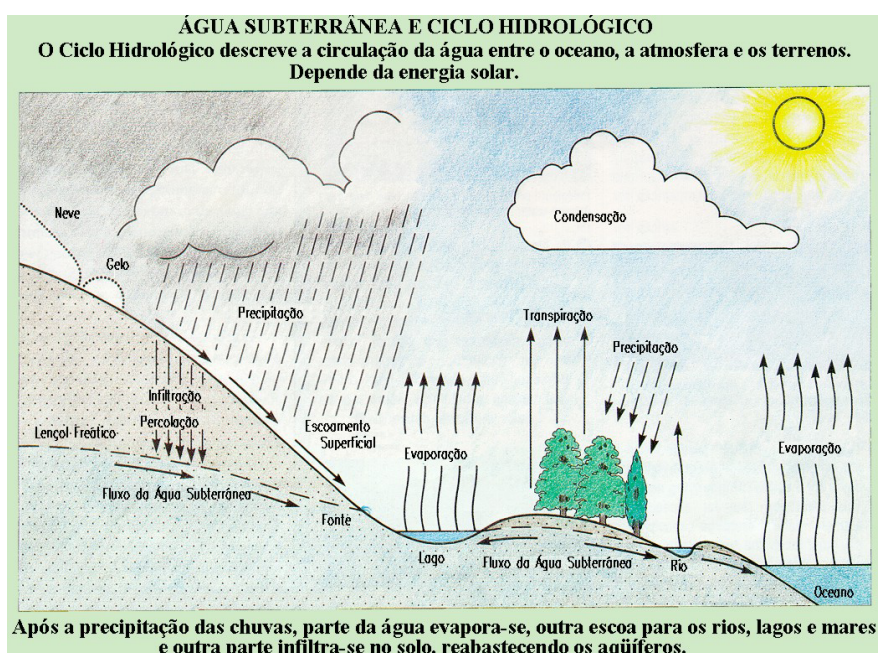


Figura 1 - Ciclo Hidrológico (adaptado de UNESCO, 1992)

Por efeito da radiação solar, as águas dos mares, rios e lagos evaporam-se e formam nuvens. Estas, ao encontrarem correntes frias de ar ou baixas pressões atmosféricas, condensam-se e precipitam-se sob a forma de chuvas, granizo ou neve. Da água precipitada, uma parte evapora-se antes mesmo de atingir o próprio solo ou serem interceptadas pelas folhas dos vegetais; outra parte escoar para os rios, lagos e mares; e, finalmente, outra parte infiltra-se no subsolo formando os reservatórios naturais de água subterrânea ou aquíferos. A água subterrânea, através de um fluxo muito lento, também alimenta os rios, lagos e mares ou emerge à superfície, formando fontes. A água dos lagos, rios e mares evapora-se outra vez e assim o ciclo é reiniciado.

3. FORMAÇÕES GEOLÓGICAS E AQUIFEROS

3.1. Localização e Distribuição da Água no Subsolo

Ao infiltrar-se, em seu movimento descendente, a água preenche gradualmente os poros, saturando a faixa inferior dos solos e rochas. A parte que permanece preenchida parcialmente denomina-se *zona de aeração*, enquanto a parte onde os interstícios estão repletos de água é denominada *zona saturada* (Figura 2). Na parte superior da *zona não saturada* localiza-se uma pequena faixa de onde os vegetais retiram água, por isso denominada zona de água do solo.

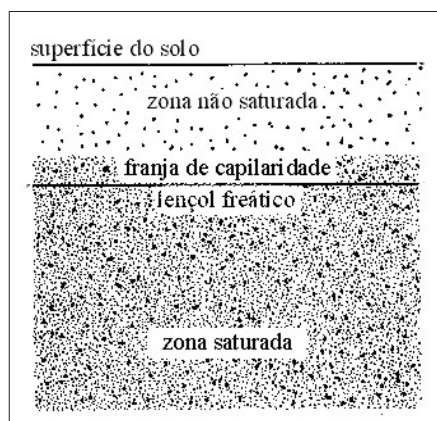


Figura 2 - Água no subsolo (adaptado de Fetter, 1994)

Na *zona saturada* é onde de fato está localizada a água subterrânea propriamente dita. Sua espessura pode variar de alguns decímetros até centenas de metros, dependendo de fatores como a natureza geológica do subsolo e suas propriedades hidrogeológicas, vegetação e pluviosidade. A superfície superior da zona de saturação é denominada *lençol freático* ou superfície freática e nela a água contida nos poros encontra-se sob pressão atmosférica.

3.2. Permeabilidade e Porosidade

Porosidade é a capacidade que o solo ou rocha tem de armazenar água. É medida pelo percentual de volume ocupado pelos vazios ou poros no volume do corpo rochoso. *Permeabilidade* é a capacidade que tem a rocha ou solo para armazenar e transmitir a água. Ela depende do tamanho dos poros e da intercomunicação entre eles.

As rochas sedimentares (rochas moles) têm alta porosidade ao contrário das rochas cristalinas (rochas duras), mas nem todas possuem alta permeabilidade. As argilas têm poros tão pequenos que não deixam passar água, sendo por isso consideradas praticamente impermeáveis. Outras rochas sedimentares como os arenitos e areias inconsolidadas possuem tanto porosidade quanto permeabilidade elevadas. Já nas rochas cristalinas, a permeabilidade será proporcional ao número de fraturas e da interconexão entre elas (ver *Tabela 3*).

Tabela 3 - Variações de Porosidades Representativas para Materiais Sedimentares

Material	Porosidade (cm/s)	Permeabilidade (cm/s)
Solos	50-60	
Argila	45-55	10^{-9} - 10^{-6}
Silte	40-50	10^{-6} - 10^{-4}
Mistura de areia média e grossa	35-40	
Areia uniforme	30-40	
Mistura de areia fina e média	30-35	10^{-5} - 10^{-3}
Pedregulho	30-40	10^{-3} - 10^{-1}
Pedregulho e areia	20-35	10^{-2} - 1
Arenito	10-20	
Folhelho	1-10	
Calcário	1-10	

Fonte: Finkelstein (1970); Fetter (1994)

3.3. Conceito de Aquífero

Aquíferos ou **reservatórios naturais de água subterrânea** são formações rochosas ou camadas geológicas que armazenam e transmitem água economicamente passível de extração.

Existem três tipos básicos de aquíferos (*Figura 3*) de acordo com a formação rochosa na qual está contido:

- **Aquíferos granulares ou porosos** – aqueles em que a água está armazenada e flui nos espaços entre os grãos em sedimentos e rochas sedimentares de estrutura granular. Exemplo: arenitos e aluviões.
- **Aquíferos fissurais** – aqueles nos quais a água está presente nas fraturas e fendas das rochas cristalinas. Exemplo: granitos, gnaisses e diabásios
- **Aquíferos cárstico ou cavernoso** – aqueles nos quais a água se faz presente em cavidades produzidas pela dissolução causada pela águas. Exemplo: calcários e mármore.

Quando a superfície que limita a zona saturada dos aquíferos coincide com o lençol freático eles são chamados **aquíferos livres** (*Figura 4*). Quando o aquífero encontra-se entre duas camadas impermeáveis, diz-se que está confinado. Nessa condição, a água está sob pressão superior à pressão atmosférica. O aquífero nesse caso é denominado **aquífero confinado** ou **artesiano**. O poço que capta esses tipos de aquífero é chamado **poço artesiano** porque o seu nível d'água está acima do lençol freático. Esse nível d'água

é denominado *nível artesiano*. Quando o nível artesiano eleva-se acima da superfície do solo o poço é chamado *surgente* ou *jorrante*.

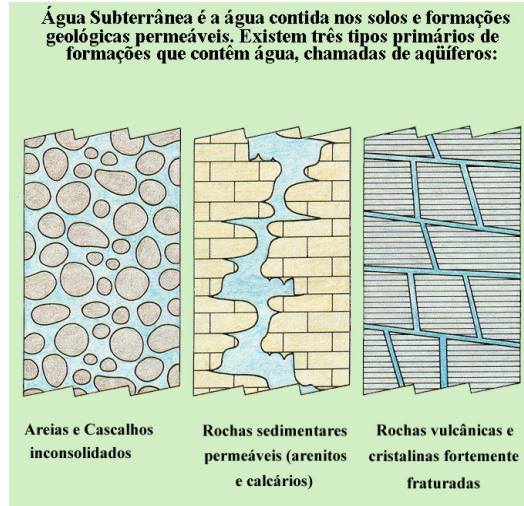


Figura 3 - Tipos de aquífero (adaptado de Unesco, 1992)

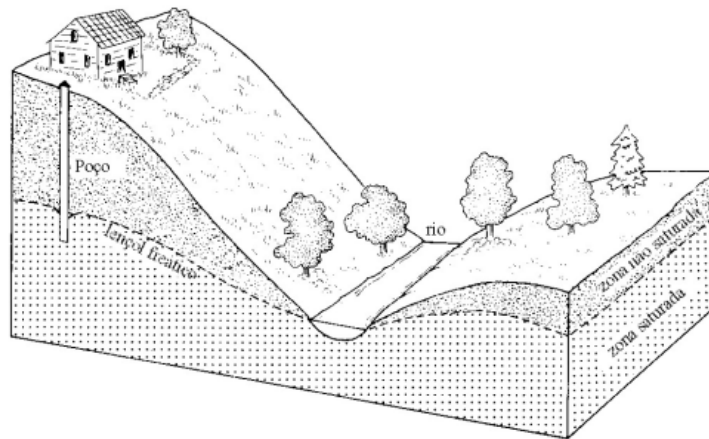


Figura 4 - Aquífero livre (adaptado de Fetter, 1994)

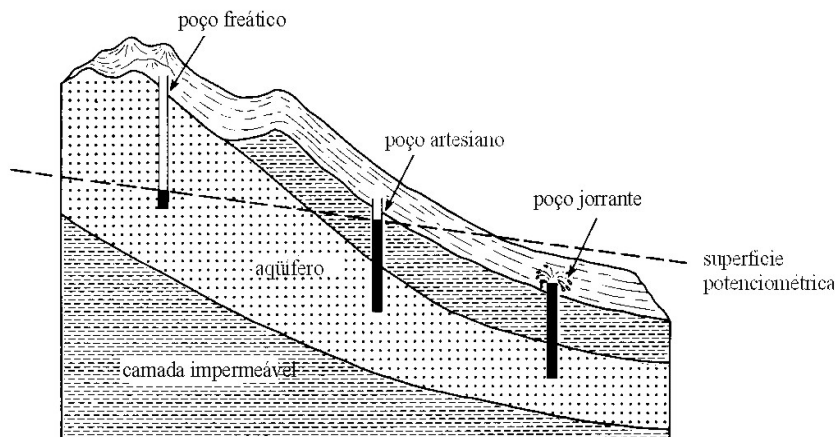


Figura 5 - Aquífero artesiano (adaptado de Fetter, 1994)

3.4. Reabastecimento do Aquífero ou Recarga

O reabastecimento de um aquífero ocorre basicamente a partir da infiltração de água das chuvas e, em menor escala, de corpos d'água superficiais. O maior ou menor grau de reabastecimento ou recarga depende de fatores como clima, vegetação, relevo, drenagem e geologia da região. A existência de solos porosos e permeáveis favorece a infiltração, mas essa condição pode ser ampliada se o solo for coberto por vegetação e estiver em relevo plano. Já em áreas de relevo íngreme e solos pouco permeáveis, a maior parte da água precipitada transforma-se em cursos superficiais, dificultando a infiltração. Em regiões de clima úmido e solos permeáveis, a recarga pode atingir até 25% da precipitação pluviométrica anual.

Os aquíferos podem ser reabastecidos localmente pela infiltração da água das chuvas. É a chamada recarga direta, característica dos aquíferos livres. Já nos aquíferos confinados o mais comum é que aconteça a recarga indireta onde o reabastecimento ocorre somente nos locais onde a camada que contém o aquífero aflora. Esses locais são denominados zona de recarga desses aquíferos. Nos aquíferos fissurais a recarga pode ser direta ou indireta ou ambas de acordo com as condições e local de ocorrência.

4. POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

4.1. Introdução

O Estado do Rio de Janeiro compreende uma área de aproximadamente 44.000 km², com uma geologia complexa. Em cerca de 80% do seu território ocorrem rochas metamórficas e magmáticas (gnaisses, migmatitos, granitos, rochas alcalinas, entre outras). Isto implica em que o principal sistema aquífero do Estado do Rio de Janeiro é do tipo fissural. A água circula e armazena-se em fissuras e falhas nas rochas. No restante do Estado, cerca de 20% de sua área, ocorrem rochas sedimentares e sedimentos variados relacionados à porção continental da Bacia Sedimentar de Campos (municípios de Campos, São João da Barra, São Francisco de Itabapoana, Quissamã e Carapebus) e Bacias Sedimentares menores como a de Resende (municípios de Resende, Quatis, Porto Real e Itatiaia), a de Volta Redonda, a de Itaboraí, nos municípios de mesmo nome, além das Formações Macacu e Caceribu, nos municípios de Itaboraí, São Gonçalo, Magé, Guapimirim, Duque de Caxias e Rio de Janeiro. Os sedimentos aluvionares de grandes rios, como o Guandú, Guapiaçu, o Macaé, o Iguazu e o Macacu, importantes por sua extensão e espessura. Nestas rochas e sedimentos os aquíferos são do tipo poroso, com diferentes potencialidades, dependendo normalmente da permeabilidade e espessura dos pacotes sedimentares. Em condições favoráveis, os aquíferos porosos tendem a ser mais produtivos que os fissurais.

Dentro do aspecto da produtividade, ambos os sistemas aquíferos são importantes, com características distintas. O estudo e entendimento de suas propriedades é fundamental, sendo importante que todas as captações sigam critérios técnicos construtivos bem definidos.

Nos aquíferos sedimentares a locação normalmente é mais simples, mas a construção dos poços deve ser bem criteriosa, de forma a garantir produtividade e eficiência. Nos aquíferos fissurais, têm maior peso esses critérios a locação dos poços, o que maximizará as taxas de acerto.

4.2. Mapa de Favorabilidade Hidrogeológica do Estado do Rio de Janeiro

O mapa apresentado em anexo, foi desenvolvido pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil (Barreto, Monsore, Leal & Pimentel, 2000), em conjunto com o DRM-RJ e outras empresas e instituições públicas e privadas. Foi originalmente publicado na escala de 1:500.000, com o objetivo principal de dar uma visão geral da favorabilidade à utilização da água subterrânea no Estado do Rio de Janeiro. Para a locação de poços, devem ser feitos estudos locais, em escala apropriada.

Pelas próprias características dos sistemas aquíferos do Estado do Rio de Janeiro, se fez necessário a utilização e desenvolvimento de metodologias que permitissem a compreensão e representação dos índices de favorabilidade hidrogeológica. A primeira grande divisão dos sistemas aquíferos, necessária à utilização de qualquer metodologia, restringe-se à identificação dos aquíferos fissurais e dos porosos, que foram tratados de forma distinta. Para os primeiros foram utilizadas técnicas de geoprocessamento e, para a caracterização dos sedimentares, foi utilizada a metodologia usual em mapeamento hidrogeológico.

Para a definição da favorabilidade hidrogeológica dos *aquíferos fissurais* do Estado do Rio de Janeiro, foram reunidos diversos temas determinantes para a ocorrência da água subterrânea e feita uma modelagem utilizando análise multi-critério. A metodologia consiste em dar pesos e notas para cada tema, obtendo-se um valor que corresponde a um índice de favorabilidade. Os temas utilizados foram: Mapa de Declividades, Mapa de Densidade de Fraturas, Mapa de Densidade de Drenagens, Mapa Litológico, Mapa de Uso e Coberturas do Solo e Mapa de Solos.

Como resultado desta modelagem obteve-se 4 classes de favorabilidade: Desfavorável (índices de 0 a 2), baixa a muito baixa (índices 3 e 4), mediana (índices 5 e 6) e alta a muito alta (índices 7 a 10). A análise destes dados indica que aproximadamente 85% da área de ocorrência dos aquíferos fissurais é classificada com favorabilidade acima de mediana. Relacionando a modelagem aos dados de 527 poços aleatórios, o resultado é de que 95% destes estão concentrados nas áreas com indicação de índice de favorabilidade acima de mediano. Somente 5% dos poços com alguma vazão estão em áreas classificadas como desfavoráveis ou baixas. O resultado deste trabalho aponta no sentido de que os aquíferos fissurais do Estado do Rio de Janeiro são favoráveis a utilização da água subterrânea, principalmente para o abastecimento de pequenas comunidades, sendo sempre necessário um estudo mais pormenorizado, de caráter local.

Os *aquíferos sedimentares* do Estado do Rio de Janeiro estão restritos às bacias sedimentares de Campos, de Resende e outros sistemas de menor expressão, associados a pequenas bacias sedimentares e depósitos aluvionares, lagunares e costeiros. Para a cartografia destes aquíferos utilizou-se como metodologia a análise de perfis de poços

tubulares e análise bibliográfica em conjunto com estudos geofísicos, reunindo-se informações sobre a litologia, estratigrafia, geologia estrutural e hidrogeologia destas áreas. Como resultado foram individualizados 11 sistemas aquíferos, reunidos em três grupos.

a) *Bacia Sedimentar de Campos:*

Os aquíferos mapeados correspondem à porção continental desta bacia, onde ocorrem sedimentos Terciários e Quaternários, depositados sobre embasamento cristalino e sedimentos mais antigos. A evolução estrutural da bacia influencia diretamente a geometria dos sistemas aquíferos, principalmente os eventos recentes. De modo geral existe o espessamento dos sedimentos de NW para SE. Neste grupo encontram-se cinco aquíferos:

- ◆ Aquífero Flúvio – Deltáico - localiza-se na margem sul do Rio Paraíba do Sul, próximo a cidade de Campos. Compreende sedimentos quaternários arenosos intercalados com argilas, com espessuras de aproximadamente 90 metros. O aquífero é livre, com a capacidade específica média da ordem de 90 m³/h/m. A vazão de poços neste sistema pode atingir 200.000 l/h, com águas de boa qualidade.
- ◆ Aquífero Emborê (?) - localiza-se nos arredores da localidade de Farol de São Tomé. Trata-se de sedimentos principalmente arenosos, com intercalações de argilas, níveis conchíferos e presença de madeira fóssil. Tem a espessura média de 200 metros. O aquífero é confinado a semi-confinado, e tem a capacidade específica média de 3,50 m³/h/m. A vazão de poços neste sistema pode atingir a ordem de 100.000 l/h, com águas de boa qualidade.
- ◆ Aquífero São Tomé II - ocorre em quase toda a região, com espessuras que variam desde 200 metros até mais de 2000 metros. Trata-se de sedimentos terciários variados, com intercalações de areias avermelhadas e argilas, com níveis conchíferos. O aquífero é confinado, com a capacidade específica média da ordem de 2,35 m³/h/m. A vazão dos poços pode atingir 60.000 l/h, as águas normalmente são de boa qualidade, mas podem apresentar-se ferruginosas.
- ◆ Aquífero São Tomé I - ocorre formando um eixo alongado no sentido NE-SW, com espessuras de até 160 metros. Idêntico ao anterior, diferindo pela sua espessura e potencialidade. A capacidade específica média é de 0,5 m³/h/m. Ocorrem águas ferruginosas e a vazão dos poços pode atingir 20.000 l/h.
- ◆ Aquífero Barreiras - localiza-se na borda oeste da Bacia Sedimentar de Campos. Compreende sedimentos arenosos avermelhados a argilosos continentais, terciários. O aquífero é livre e pouco produtivo, capacidade específica média de 0,33 m³/h/m. As vazões dos poços normalmente não ultrapassam 2.000 l/h.

b) *Bacia Sedimentar de Resende:*

A Bacia Sedimentar de Resende está localizada na região do Médio Paraíba do Sul. Os sedimentos são de idade terciária e quaternária, depositados sobre embasamento cristalino. Como descrito para a Bacia de Campos, a evolução estrutural regional também influencia fortemente a geometria dos aquíferos da Bacia de Resende. De modo generalizado, ocorre um alto do embasamento na região central da bacia,

ocasionando a diminuição da espessura dos sedimentos, e zonas mais profundas nas extremidades, onde as espessuras podem atingir mais de 200 metros. Neste item foi individualizado apenas o Sistema Aquífero Multi-camadas Resende. Um outro sistema aquífero está associado aos aluviões do Rio Paraíba do Sul, porém este está agrupado junto com os Sistemas Flúvio-Lagunares.

- ◆ *Aquífero Multi-camadas Resende* - localiza-se em toda a área da bacia, composto por intensa intercalação de areias e argilas de idade terciária. Tem espessuras de até 220 metros, fortemente afetado por falhamentos normais. O aquífero é confinado a semi-confinado, com capacidade específica média da ordem de 0,559 m³/h/m. As vazões podem atingir 70.000 l/h, apresentando água normalmente de boa qualidade, podendo ser ferruginosa.

c) Outros Sistemas Aquíferos:

Os demais sistemas aquíferos sedimentares são de pouca expressão e aproveitamento restrito, no Mapa de Favorabilidade Hidrogeológica do Estado do Rio de Janeiro são individualizados os seguintes sistemas:

- ◆ *Aquífero Terciário Volta Redonda* - ocorre nas imediações da cidade de mesmo nome, com espessura de até 30 metros. Tem baixa produtividade, menor que 1.000 l/h.
- ◆ *Aquífero Macacu* - localizado na parte sul da bacia do Rio Macacu, com espessuras de até 40 metros. A potencialidade é baixa, com vazões da ordem de 1.500 l/h.
- ◆ *Aquíferos Alúvio-Lacustres* - agrupam vários aquíferos, associados a depósitos sedimentares quaternários de grandes rios. Normalmente são pouco espessos e pouco produtivos, podendo ser mais expressivos quando atingem maiores espessuras.
- ◆ *Aquíferos Cordões, Restingas e Terraços Marinhos* - ocorrem nas regiões costeiras indiscriminadamente. São pouco produtivos, podendo ser salinizados. Aproveitam-se normalmente os níveis de água superiores onde ocorrem águas doces.
- ◆ *Argilas Orgânicas Costeiras* - sem nenhuma expressão como aquífero, associados a ambientes de Mangues.

4.3. Potencialidade Hidrogeológica do Estado do Rio de Janeiro

A potencialidade hidrogeológica do Estado do Rio de Janeiro, pode ser mais facilmente visualizada se analisadas as informações dos 1.700 poços tubulares, organizados em um banco de dados pela CPRM, com a parceria do DRM-RJ, Universidades, e empresas públicas e privadas. Estes dados foram organizados na forma de tabelas, constando o somatório dos poços, as médias de profundidades, as médias de vazões e as médias das capacidades específicas, para cada município. Também são mostrados os somatórios e médias para cada Região Programa do Estado.

É importante ressaltar que os dados dos poços utilizados nas tabelas, em grande parte não seguem um critério de locação, ou qualquer forma de seleção dos dados. É possível que se fossem utilizados apenas informações de poços localizados com técnica e construídos com o objetivo de obterem a máxima eficiência, os resultados seriam melhores. Alguns municípios não constam nas tabelas, devido a não existência de dados sobre os poços em seus territórios.

a) Região Metropolitana do Rio de Janeiro

O resultado desta análise chama a atenção pelo potencial apresentado, relativamente alto. Porém algumas médias são influenciadas por valores extremos, como o caso de São Gonçalo, onde a média dos poços com captação mista tende por aumentar significativamente a média geral. Assim, os valores apresentados devem ser vistos com cuidado, sabendo-se até onde podem ser aplicáveis. Na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, salvo algumas áreas, a qualidade das águas subterrâneas é um problema maior do que a quantidade, principalmente devido às variadas formas de contaminação.

Municípios	Nº Poços	Aqüífero Captado	Profundidade Média dos Poços (m)	Vazão Média dos Poços (m ³ /h)	Capacidade Específica Média (m ³ /h/m)
Belford Roxo	14		64.71	3.01	0.07
Duque de Caxias	112		73.95	4.67	0.56
S. João de Meriti	61		88.08	5.42	0.18
Rio de Janeiro	162		79.49	5.93	0.39
Niteroi	4	Misto	62.50	4.73	0.34
	46	Faturado	85.24	5.05	0.49
Nova Iguaçu	103	Misto	73.75	6.26	0.36
	3	Poroso	45.67	3.73	0.21
	16	Faturado	75.46	5.25	0.23
Guapimirim	1	Faturado	98.50	1.50	
Itaboraí	1	Poroso	80.00	9.00	0.23
	18	Faturado	50.91	3.00	0.05
Itaguaí	4	Poroso	41.92	3.13	0.17
	25	Misto	86.56	3.99	0.17
	9	Faturado	85.11	6.25	0.31
Japeri	7		77.29	5.48	0.22
Magé	2	Poroso	60.00	2.20	0.07
	3	Misto	44.73	3.61	0.68
	18	Faturado	52.00	2.78	0.10
Maricá	9		65.44	3.71	0.29
Nilópolis	2	Faturado	90.00	1.71	0.05
	13	Misto	52.63	6.99	0.84
Paracambi	13	Faturado	89.50	6.52	0.33
Queimados	15	Faturado	75.27	4.34	0.17
São Gonçalo	1	Poroso	40.00	1.50	0.15
	3	Misto	96.67	5.67	6.74
	26	Faturado	64.39	3.83	0.37
Seropédica	3	Faturado	77.00	3.10	0.33
Tanguá	8	Faturado	87.86	0.99	0.02
Região Metropolitana	11	Poroso	53.52	3.91	0.17
	151	Misto	69.47	5.21	1.52
	540	Faturado	76.68	4.03	0.25

b) Região Noroeste Fluminense

Para a Região Noroeste as informações existente sobre as captações dos poços, indicam serem exclusivamente no aquífero fraturado. Isto não exclui a importância de alguns aquíferos superficiais, principalmente pelo fato de que em algumas regiões, apesar do alto potencial, as águas contidas no aquífero fraturado podem apresentar teores altos de ferro. Outro fato importante é a ocorrência de águas minerais carbo-gasosas, captadas a pequenas profundidades, provavelmente associadas a aquíferos rasos.

Municípios	Nº Poços	Aquífero Captado	Profundidade Média dos Poços (m)	Vazão Média dos Poços (m³/h)	Capacidade Específica Média (m³/h/m)
Aperibé	9	Faturado	54.14	8.31	3.61
B. J. Itabapoana	10	Faturado	64.30	11.09	0.52
Cambuci	9	Faturado	64.98	10.81	0.72
Varre Sai	15	Faturado	54.98	3.31	0.67
S. J. de Ubá	6	Faturado	85.83	16.50	1.22
S. A. Pádua	40	Faturado	57.50	8.41	0.64
Miracema	12	Faturado	87.50	3.73	0.37
Natividade	6	Faturado	53.33	8.87	0.60
Porciúncula	9	Faturado	63.00	7.42	0.54
Italva	5	Faturado	69.60	5.19	0.17
Itaocara	28	Faturado	61.69	7.72	0.99
Itaperuna	62	Faturado	55.80	6.03	0.38
L. do Muriaé	2	Faturado	97.00	11.50	2.18
Região Noroeste	213	Faturado	66.90	8.38	0.97

c) Região Norte Fluminense

A importância dos aquíferos da Bacia Sedimentar de Campos é inegável. O alto potencial associado a uma qualidade muito boa da água, fazem desta região uma das mais importantes do Brasil em termos de água subterrânea. Ao mesmo lado, a vulnerabilidade de alguns aquíferos é muito alta e devem ser tratados com cuidado. Dependendo do sistema aquífero e da profundidade perfurada, a água pode estar enriquecida em ferro e algumas vezes em cloretos. Existem poucas informações sobre poços perfurados no cristalino, o que dificulta a obtenção de resultados mais seguros.

Municípios	Nº Poços	Aquífero Captado	Profundidade Média dos Poços (m)	Vazão Média dos Poços (m ³ /h)	Capacidade Específica Média (m ³ /h/m)
Campos	4	Faturado	115.50	3.73	0.18
	44	Poroso	92.75	34.18	14.43
S. F. Itabapoana	1	Misto	81.50		
	15	Poroso	113.96	25.11	1.70
S. J. Barra	17	Poroso	178.46	47.10	6.54
S. Fidélis	5		66.00	9.74	0.45
C. Moreira	2		55.00	4.78	0.16
Carapebus	3		109.33	10.67	0.64
Macaé	1	Poroso	50.00	4.00	0.20
Quissamã	1		60	2.5	
Região Norte	15	Faturado	81.17	6.28	0.36
	1	Misto	81.50		
	77	Poroso	108.79	27.60	5.72

d) Região Serrana

Justifica-se o valor anômalo para o município de Cordeiro, pela ocorrência de um poço com valores de vazão e capacidade específica muito altos, aumentando a média geral de forma significativa. A qualidade da água nesta região é geralmente boa, tendendo a ocorrer águas leves. Também, ressalta-se a existência de grandes pacotes de mármores nesta região, propiciando a circulação das águas através de cavidades formadas por dissolução (aquéferos cársticos).

Municípios	Nº Poços	Aquífero Captado	Profundidade Média dos Poços (m)	Vazão Média dos Poços (m ³ /h)	Capacidade Específica Média (m ³ /h/m)
Bom Jardim	3		69.50	8.33	0.43
Cantagalo	16		97.80	9.75	0.39
S. J. V. R. Preto	23		100.66	4.76	0.34
Teresópolis	106		79.07	4.10	0.46
Petrópolis	102	Faturado	96.03	6.93	0.55
	19	Misto	78.11	5.24	0.57
Carmo	15		113.67	12.13	
Cordeiro	4		77.50	92.75	6.36
Duas Barras	4		103.25	6.00	0.19
Macuco	2		86.00	2.70	0.75
Nova Friburgo	19		83.48	7.52	0.27
Madalena	1				
S. Sebastião Alto	14		98.62	4.74	0.21
Sumidouro	4		111.75	4.73	0.12
Trajano de Moraes	1		37.00	4.00	
Região Serrana Fluminense	314	Faturado	88.79	12.96	0.92
	19	Misto	78.11	5.24	0.57

e) Região das Baixadas Litorâneas

No cadastro de poços utilizado existem muito poucas informações sobre esta região. Os dados apontam para um potencial médio a baixo e a qualidade das águas tende a ser ruim.

Entretanto, alguns sistemas aquíferos associados a sedimentos aluvionares e marinhos podem ser mais expressivos. Este é o caso dos depósitos de areia em Unamar e Guriri (em Cabo Frio) e da Restinga de Massambaba (Araruama e Arraial do Cabo).

Municípios	Nº Poços	Aquífero Captado	Profundidade Média dos Poços (m)	Vazão Média dos Poços (m ³ /h)	Capacidade Específica Média (m ³ /h/m)
Araruama	9	Faturado	61.00	1.23	0.24
	1	Misto	23.00	2.20	0.24
Búzios	4		40.25	3.26	0.86
C. Frio	5	Poroso	28.10	3.62	0.78
C. Macacu	1		60.00	4.00	0.13
C. Abreu	3	Poroso	35.87	1.35	0.47
Iguaba	1		200.00	0.90	0.00
Rio Bonito	8	Faturado	99.60	4.34	0.05
	2	Misto	47.50	3.57	0.36
Rio das Ostras	6	Faturado	23.00	3.29	0.45
	2	Poroso	42.21	5.34	0.38
Região Baixadas Litorâneas	29	Faturado	80.64	2.84	0.29
	3	Misto	35.25	2.88	0.30
	10	Poroso	35.39	3.43	0.55

f) Região do Médio Paraíba

Os aquíferos relacionados a Bacia Sedimentar de Resende geralmente tem um potencial elevado. Nas demais áreas, o potencial é variável, tendo como um fator limitante para a utilização da água subterrânea a sua qualidade, uma vez que podem ocorrer águas ferruginosas.

Municípios	Nº Poços	Aquífero Captado	Profundidade Média dos Poços (m)	Vazão Média dos Poços (m ³ /h)	Capacidade Específica Média (m ³ /h/m)
B. Mansa	19	Faturado	83,81	9,00	0,92
R. das Flores	10	Faturado	84,56	9,04	0,41
Resende	11	Faturado	103,45	9,36	0,54
	7	Misto	97,25	8,09	0,47
	40	Poroso	108,67	15,07	0,56
Itatiaia	1	Faturado	100,00	1,20	0,02
	3	Misto	117,67	3,60	0,11
	6	Poroso	77,75	4,86	0,17
P. Real	2	Poroso	191,50	30,00	0,46
Quatis	1	Poroso	139,5	8	0,105
R. Claro	8	Faturado	66,21	3,67	0,15
Piraí	5	Faturado	79,12	4,29	0,21
Valença	8	Faturado	99,63	5,47	0,60
V. Redonda	22		81,05	7,13	0,15
Região Médio Paraíba do Sul	84	Faturado	87,23	6,14	0,38
	3	Misto	107,46	5,84	0,29
	49	Poroso	129,36	14,48	0,32

g) Região Centro - Sul Fluminense

O potencial para a utilização das águas subterrâneas é variável, tendendo a ser maior na área do Graben do Paraíba. Quanto a qualidade, ressalta-se a possibilidade de ocorrência de águas ferruginosas.

Municípios	Nº Poços	Aqüífero Captado	Profundidade e Média dos Poços (m)	Vazão Média dos Poços (m ³ /h)	Capacidade Específica Média (m ³ /h/m)
Vassouras	29	Faturado	74,67	5,74	0,22
Três Rios	16	Faturado	88,71	13,43	2,13
Miguel Pereira	25	Faturado	73,28	3,01	0,28
Paraíba do Sul	25	Faturado	74,35	8,78	0,84
Areal	12	Faturado	135,00	15,40	0,55
Com. Levy Gasparian	5	Faturado	135,20	21,38	1,07
	1	Misto	64,00	9,00	0,60
Eng. P. de Frontin	1	Faturado	60,00	10,56	1,96
Mendes	9	Faturado	79,78	6,28	0,15
Paty do Alferes	3	Faturado	82,33	4,74	0,02
Sapucaia	14	Faturado	78,30	9,71	0,45
Região Centro-Sul Fluminense	139	Faturado	88,16	9,90	0,77
	1	Misto	64,00	9,00	0,60

h) Região da Baía da Ilha Grande

A utilização de água subterrânea não é comum nesta região, principalmente devido a oferta de água superficial e pelo relevo acidentado. As informações sobre captações por poços restringem-se ao município de Angra dos Reis, onde é comum a ocorrência de águas salinizadas.

Municípios	Nº Poços	Aqüífero Captado	Profundidade Média dos Poços (m)	Vazão Média dos Poços (m ³ /h)	Capacidade Específica Média (m ³ /h/m)
Angra dos Reis	8	Misto	51,65	2,78	0,11
	24	Faturado	85,63	4,75	0,27

5. COMO PROCEDER PARA CAPTAR ÁGUA SUBTERRÂNEA

5.1. Aspectos Gerais

Embora, teoricamente, a água subterrânea esteja presente em qualquer lugar, isso não significa que um poço possa ser localizado em qualquer lugar. A captação de água subterrânea tem um custo por vezes elevado e, portanto, não deve ser feita sem critérios. Existem fatores naturais que condicionam a distribuição e concentração da água subterrânea em certos locais, de maneira a melhorar o rendimento e a vazão do poço, tornando o empreendimento mais proveitoso e evitando ou diminuindo a taxa de insucessos.

O mesmo se aplica em relação à construção do poço. Um poço é uma obra de engenharia que leva em consideração as condições hidrogeológicas, hidrodinâmicas e físico-químicas da formação geológica a ser explorada. Não é um simples furo com paredes parcial ou totalmente revestidas. Portanto, se corretamente locado, projetado, fiscalizado e executado, o poço propiciará um rendimento e uma vida útil bem maiores.

Geralmente, o interessado em uma captação de água subterrânea é tentado a resolver seu problema de abastecimento sempre pelo menor custo. Este procedimento, muitas vezes, torna-se mais oneroso, quando é feita a opção pela contratação direta de um perfurador selecionado apenas pelo menor custo de “metro perfurado”, sem levar em conta a necessidade de estudo de viabilidade e, em caso favorável, a elaboração das *especificações técnicas construtivas do poço*. Este projeto exigirá do construtor a utilização de material técnico e humano adequados à boa execução da obra, anexando-se uma *lista de quantitativos de materiais e serviços* a ser empregados, facilitando ao usuário a escolha do melhor preço entre os proponentes previamente habilitados.

Para obter maior taxa de sucesso na empreitada de um poço tubular, é necessária a contratação de um profissional especializado, já que se trata de uma atividade complexa. Esse profissional deve ser um *geólogo* ou um *engenheiro de minas com especialização ou experiência em hidrogeologia*, o qual conduzirá os trabalhos em três fases básicas: *a locação, a elaboração do projeto construtivo e o acompanhamento técnico da construção do poço*, visando o dimensionamento final da obra, ficando sob sua responsabilidade os resultados quantitativos e qualitativos a serem obtidos. Ficará sob responsabilidade do construtor a execução da obra que, em caso de falhas mecânicas, imperícias ou acidentes, deverá ser refeita ou corrigida.

5.2. A Locação de um Poço

O primeiro passo para qualquer estudo planejado de um aproveitamento econômico de águas subterrâneas é o *estudo de seleção do local da perfuração*, devendo ser iniciado através da utilização de dados geológicos publicados e de possíveis poços cadastrados na área de interesse, complementado por um reconhecimento geológico de campo.

O conhecimento da geologia da área ou da região pode indicar as formações portadoras de água, assim como dar uma idéia da vazão a ser obtida. Por sua vez, o estudo da geologia estrutural tornará possível fazer uma adequada escolha do local da perfuração, bem como fornecerá os elementos básicos do *projeto construtivo do poço*, como método de perfuração, profundidades e diâmetros de perfuração a alcançar, profundidades a serem revestidas, necessidade ou não de aplicação de seções filtrantes, métodos de serviços de limpeza, testes de produção, etc.

Para a locação de um poço, uma investigação de geologia de superfície é, em geral menos dispendiosa, mas nem sempre seus resultados dão garantia de êxito. Uma ferramenta de grande valor, principalmente no caso de rochas cristalinas, é a fotointerpretação da área ou da região, permitindo obter informações como: (a) direção e características das estruturas geológicas; (b) contatos litológicos; e (c) rede e padrão de drenagem, permitindo inferir as condições de subsuperfície. A interpretação e conclusão dos estudos nesta fase muitas vezes é suficiente para selecionar corretamente o local

exato da perfuração, levando-se em conta ainda as condições de acesso e da infra-estrutura existente.

No caso de persistirem dúvidas, pode-se recorrer a investigações de subsuperfície. Os métodos mais usuais são os geofísicos, que consistem em detectar as anomalias nas propriedades físicas das rochas, baseadas em medições indiretas. As interpretações dos dados apresentados em gráficos são muitas vezes difíceis, devendo ser cuidadosamente avaliadas. Os métodos mais comuns são os elétricos e os eletromagnéticos.

A investigação de subsuperfície através de sondagens rasas é uma outra ferramenta eficaz e muitas vezes necessária, quando se pretende um estudo de maior precisão. Através dessas investigações é possível avaliar a existência de água subterrânea, podendo estimar a quantidade e qualidade dos recursos. Entretanto, o nível de conhecimento final só é possível de ser obtido mediante a realização de poços de investigação e produção, com realização de testes de bombeamento e amostragem para análises da água dos diversos aquíferos encontrados.

5.3. Qualidade das Águas Subterrâneas

Na captação de água subterrânea através de poços, não é importante apenas o aspecto da quantidade, isto é, a vazão a ser obtida. A qualidade da água subterrânea é outro fator a ser considerado, tendo em vista o uso proposto para a água a ser captada.

A qualidade das águas subterrâneas é dada, a princípio, pela dissolução dos minerais presentes nas rochas que constituem os aquíferos por ela percolados. Mas, ela pode sofrer a influência de outros fatores como composição da água de recarga, tempo de contato água/meio físico, clima e até mesmo a poluição causada pelas atividades humanas.

Devido ao maior contato com os materiais geológicos, baixa velocidade de fluxo e maiores pressões e temperaturas, as águas subterrâneas são geralmente mais mineralizadas do que as águas superficiais. Pelas mesmas razões, possuem menores teores de matérias em suspensão e matéria orgânica, esta última devido também à ação dos microorganismos presentes no solo. Também, devido as suas condições de circulação, as águas subterrâneas tendem a possuir menor teor de oxigênio dissolvido do que as superficiais.

A qualidade é definida pelas características físicas, químicas e biológicas da água. Dentro dos valores encontrados para cada um destes parâmetros, é possível estabelecer os diferentes usos: consumo humano, irrigação, industrial e outros.

5.4. Padrões de Qualidade Ambiental

O estabelecimento dos padrões de qualidade ambiental visa fundamentalmente o controle de substâncias potencialmente prejudiciais à saúde humana, como microorganismos patogênicos, substâncias tóxicas e radioativas. Segundo a Resolução nº 20/86 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, as águas são classificadas em nove grupos, segundo os seus usos preponderantes:

a) Águas Doces

I – Classe Especial – águas destinadas ao abastecimento doméstico, sem tratamento prévio ou com simples desinfecção e à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;

II – Classe 1 - águas destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento simplificado, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário e à irrigação de hortaliças e frutas consumidas cruas;

III – Classe 2 – águas destinadas ao consumo doméstico após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário, à irrigação de hortaliça e plantas frutíferas e à criação de natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana;

IV – Classe 3 – águas destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento convencional, à irrigação de espécies arbóreas, cerealíferas e forrageiras e à dessedentação dos animais;

V – Classe 4 – águas destinadas à navegação, à harmonia paisagística e aos usos menos exigentes;

b) Águas Salinas

VI – Classe 5 – águas destinadas à recreação de contato primário, à proteção das comunidades aquáticas, à proteção das comunidades aquáticas e à criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana;

VII – Classe VI – águas destinadas à navegação comercial, à harmonia paisagística e à recreação de contato secundário;

c) Águas Salobras

VIII – Classe 7 – águas destinadas à recreação de contato primário, a proteção das comunidades aquáticas e à criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana;

IX – Classe 8 – águas destinadas à navegação comercial, à harmonia paisagística e à recreação de contato secundário.

O enquadramento dessas classes obedece aos limites fixados na *Tabela 4*, a seguir. Pelo que se pode facilmente concluir, as águas subterrâneas só se enquadram nas 4 primeiras classes (da Especial até a Classe 3).

6. ÁGUA SUBTERRÂNEA E MEIO AMBIENTE

As águas subterrâneas e as superficiais são partes integrantes do ciclo hidrológico e do meio ambiente. Frequentemente, as áreas de descarga da água subterrânea localizam-se

em brejos, lagos ou rios, alimentando seus níveis de base e ecossistemas aquáticos. Em outros casos, são esses corpos d'água de superfície que alimentam a recarga dos aquíferos. A direção do fluxo da água de um corpo d'água superficial muitas vezes varia sazonalmente: durante a estação chuvosa, a água flui dos corpos d'água superficiais para a água subterrânea, enquanto na estiagem a direção do fluxo se inverte.

Parâmetro	Unidade	Classes							
		1	2	3	4	5	6	7	8
pH	-	6,0-9,0	6,0-9,0	6,0-9,0	6,0-9,0	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	5,0-9,0
OD	mg/L O ₂	≥ 6	≥ 5	≥ 4	≥ 2	≥ 6	≥ 4	≥ 5	≥ 3
DBO	mg/L O ₂	≤ 3	≤ 5	≤ 10	-	≤ 5	≤ 10	≤ 5	-
Turbidez	UNT	≤ 40	≤ 100	≤ 100	-	-	-	-	-
Cor	Pt/L	Natural	≤ 75	≤ 75	-	-	-	-	-
Alumínio	mg/L Al	0,1	0,1	0,1	-	-	-	-	-
Amônia Não Ionizável	mg/L NH ₃	0,02	0,02	-	-	0,4	-	0,4	-
Arsênio	mg/L As	0,05	0,05	0,05	-	0,05	-	0,05	-
Bário	mg/L Ba	1,0	1,0	1,0	-	1,0	-	-	-
Berílio	mg/L Be	0,1	0,1	0,1	-	1,5	-	-	-
Boro	mg/L B	0,75	0,75	0,75	-	5,0	-	-	-
Benzeno	mg/L	0,01	0,01	0,01	-	-	-	-	-
Cádmio	mg/L Cd	0,001	0,001	0,01	-	0,005	-	0,005	-
Cianetos	mg/L CN	0,01	0,01	0,2	-	0,005	-	0,005	-
Chumbo	mg/L Pb	0,03	0,03	0,05	-	0,01	-	0,01	-
Cloreto	mg/L Cl	250	250	250	-	-	-	-	-
Cloro Residual	mg/L Cl ₂	0,01	0,01	-	-	0,01	-	-	-
Cobalto	mg/L Co	0,2	0,2	0,2	-	-	-	-	-
Cobre	mg/L Cu	0,02	0,02	0,5	-	0,05	-	0,05	-
Cromo Hexavalente	mg/L Cr	0,05	0,05	0,05	-	0,05	-	0,05	-
Cromo Trivalente	mg/L Cr	0,5	0,5	0,5	-	-	-	-	-
1,1 Dicloroetano	mg/L	0,0003	0,0003	0,0003	-	-	-	-	-
1,2 Dicloroetano	mg/L	0,01	0,01	0,01	-	-	-	-	-
Estanho	mg/L Sn	2,0	2,0	2,0	-	2,0	-	-	-
Índice Fenol	mg/L	0,001	0,001	0,3	1,0	0,001	-	0,001	-
Ferro Solúvel	mg/L Fe	0,3	0,3	5,0	-	-	-	-	-
Fluoretos	mg/L F	1,4	1,4	1,4	-	1,4	-	1,4	-
Fosfato Total	mg/L P	0,025	0,025	0,025	-	-	-	-	-
Lítio	mg/L Li	2,5	2,5	2,5	-	-	-	-	-
Manganês	mg/L Mn	0,1	0,1	0,5	-	0,1	-	-	-
Merúrio	mg/L Hg	0,0002	0,0002	0,002	-	0,0001	-	0,0001	-
Níquel	mg/L Ni	0,025	0,025	0,025	-	0,1	-	0,1	-
Nitrato	mg/L N	10	10	10	-	10	-	-	-
Nitrito	mg/L N	1,0	1,0	1,0	-	1,0	-	-	-
Prata	mg/L Ag	0,01	0,01	0,05	-	0,005	-	-	-
Pentaclorofenol	mg/L	0,01	0,01	0,01	-	-	-	-	-
Selênio	mg/L Se	0,01	0,01	0,01	-	0,01	-	-	-
STD	mg/L	500	500	500	-	-	-	-	-
Surfactantes	mg/L LAS	0,5	0,5	0,5	-	0,5	-	-	-
Sulfatos	mg/L SO ₄	250	250	250	-	-	-	-	-
Sulfetos	mg/L S	0,002	0,002	0,3	-	0,002	-	0,002	-
Tetracloroetano	mg/L	0,01	0,01	0,01	-	-	-	-	-
Tricloreto Carbono	mg/L	0,03	0,03	0,03	-	-	-	-	-
Tetracloroetano	mg/L	0,003	0,003	0,003	-	-	-	-	-
2,4,6 Triclorofenol	mg/L	0,01	0,01	0,01	-	-	-	-	-
Urânio Total	mg/L U	0,02	0,02	0,02	-	0,5	-	-	-
Vanádio	mg/L V	0,1	0,1	0,1	-	-	-	-	-
Zinco	mg/L Zn	0,18	0,18	5,0	-	0,17	-	0,17	-
Aldrin	µg/L	0,01	0,01	0,03	-	0,003	-	0,003	-
Clordano	µg/L	0,04	0,04	0,3	-	0,004	-	0,004	-
DDT	µg/L	0,002	0,002	1,0	-	0,001	-	0,001	-
Dieldrin	µg/L	0,005	0,005	0,03	-	0,003	-	0,003	-
Endrin	µg/L	0,004	0,004	0,2	-	0,004	-	0,004	-
Endosulfan	µg/L	0,056	0,056	150	-	0,034	-	0,034	-
Epóxidoheptacloro	µg/L	0,01	0,01	0,1	-	0,001	-	0,001	-
Heptacloro	µg/L	0,01	0,01	0,1	-	0,001	-	0,001	-
Lindano	µg/L	0,02	0,02	3,0	-	0,004	-	0,004	-
Metoxicloro	µg/L	0,03	0,03	30	-	0,03	-	0,03	-
Dodecaclorononaci	µg/L	0,001	0,001	0,001	-	0,001	-	0,001	-
PCB's	µg/L	0,001	0,001	0,001	-	-	-	-	-
Toxafeno	µg/L	0,01	0,01	5,0	-	0,005	-	0,005	-
Demeton	µg/L	0,1	0,1	14,0	-	-	-	0,1	-
Gusation	µg/L	0,005	0,005	0,005	-	0,01	-	0,01	-
Malation	µg/L	0,1	0,1	100	-	0,1	-	0,1	-
Paration	µg/L	0,04	0,04	35	-	0,04	-	0,04	-
Org. Fosfarados	µg/L	10	10	10	-	10	-	10	-
2,4 D	µg/L	4,0	4,0	20	-	10	-	10	-
2,4,5 - TP	µg/L	10	10	10	-	10	-	10	-
2,4,5 - T	µg/L	2,0	2,0	2,0	-	10	-	10	-
Coliformes Fecais	n°/100mL	200	1000	4000	-	1000	4000	1000	4000

Tabela 5.9 - Padrões de qualidade ambiental no Brasil (CETESB, 1990 - Compilação de Padrões Ambientais).

Tabela 4 - Padrões de Qualidade da Água (Res. CONAMA 20/86)

Problemas ambientais com as águas subterrâneas são comuns, variando quanto ao tipo e grau de gravidade. Podem ser agrupados em duas principais categorias: os causados por contaminação e aqueles causados por superexploração.

6.1. Poluição

A poluição das águas subterrâneas é geralmente difícil de detectar, de monitoramento dispendioso e muito prolongado. Na maioria das vezes, a contaminação só é descoberta no momento em que substâncias nocivas aparecem nos reservatórios de água potável, quando a poluição já se espalhou sobre uma grande área. A despoluição da água subterrânea é particularmente demorada e cara, através de sofisticadas tecnologias. Os Estados Unidos possuem um fundo estimado de 20 a 100 bilhões de dólares para ações nesse setor.

Depois que o monitoramento da água subterrânea tornou-se mais usual, um quadro alarmante começou a aparecer. A qualidade da água subterrânea vem declinando muito lentamente, mas com certeza, em todos os lugares. A maior parte dos contaminantes são provenientes dos usos urbanos, industriais e da agricultura. No passado, foi dada maior atenção às fontes pontuais de poluição, a exemplo dos rejeitos e resíduos industriais, aterros sanitários e lixos químicos e tóxicos injetados no subsolo (*Figura 6*). Muitas soluções técnicas foram desenvolvidas para recuperar ou no mínimo conter esses tipos de poluição.

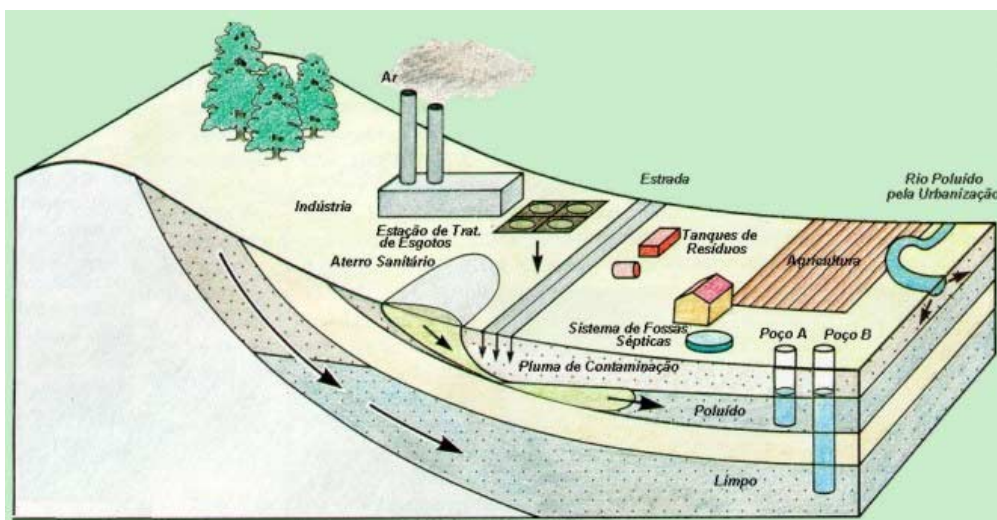


Figura 6 - Poluição de águas subterrâneas (adaptada de UNESCO, 1992)

Hoje torna-se evidente que as fontes de poluição da água subterrânea são muito mais disseminadas e relacionadas a uma variedade muito maior de atividades. A poluição em áreas não industrializadas pode ser atribuída a origens diversas tais como fertilizantes, pesticidas, fossas sépticas, drenagens urbanas e poluição do ar e das águas de superfície. O único método eficaz de controle desse tipo de poluição é o manejo integrado dos usos do solo e da água.

6.2. Superexploração

A água subterrânea sempre foi vista como uma fonte inesgotável de abastecimento. Com o desenvolvimento das modernas técnicas de prospecção, perfuração e extração, essa atitude

não pode mais continuar. Embora seja um recurso renovável, poucos aquíferos podem suportar enormes e indefinidas taxas de extração, na maior parte do mundo. Para assegurar suprimentos de água subterrânea para as gerações futuras, a filosofia do desenvolvimento sustentável preconiza que a extração de água de um aquífero nunca deve exceder sua recarga.

Quando a extração de água subterrânea ultrapassa a recarga natural, por longos períodos de tempo, os aquíferos sofrem depleção e o lençol freático começa a baixar. Nessa situação, os seguintes problemas são ocasionados:

- poços rasos, usados para abastecimentos locais e irrigações, secam;
- poços de produção têm que ser perfurados a profundidades cada vez maiores, dependendo mais energia para bombeamento;
- aquíferos litorâneos podem sofrer contaminação por intrusão da água do mar; e
- compactação gradual do subsolo, provocando subsidência de terrenos.

Alguns desses problemas podem ser controlados ou revertidos pela redução das extrações, mas, a contaminação pela água do mar persiste por muitos anos, enquanto a subsidência de terrenos costuma ser irreversível. Na Cidade do México, o bombeamento excessivo causou sérias subsidências de terreno que desceu de 8 a 9 metros, durante o século passado. Hoje, apesar da subsidência ter diminuído devido ao controle da extração, muitos danos foram causados a edifícios, estradas e à rede de abastecimento d'água e esgotamento sanitário da cidade. No Estado de São Paulo é conhecida a subsidência ocorrida na cidade de Cajamar. No Estado do Rio de Janeiro são conhecidos casos em Petrópolis e Cordeiro. Dependendo da gravidade do impacto, o aquífero poderá até ser abandonado enquanto fonte de abastecimento d'água. A solução mais eficaz e menos onerosa é o estabelecimento de um programa de proteção das águas subterrâneas.

6.3. Riscos de Longo Prazo

A poluição e a superexploração de água subterrânea podem ter sérias conseqüências:

- **rações de água** – a contaminação ou a perda de reservas de água subterrânea pode levar a drásticos racionamentos e medidas emergenciais. No caso de ilhas, os racionamentos podem ser dramáticos, porque a única alternativa poderá vir a ser a dessalinização da água do mar;
- **ameaças à saúde** – a contaminação de reservas de água potável coloca a saúde pública em risco pela exposição a uma série de organismos patogênicos e substâncias cancerígenas e tóxicas, entre outras;
- **danos a ecossistemas** – devido à interação entre águas subterrâneas e águas superficiais, certos ecossistemas aquáticos podem sofrer graves danos. Por exemplo: (a) o florescimento de algas ou outros efeitos de eutroficação causados pela descarga de águas subterrâneas ricas em nutrientes em lagoas; (b) aporte de metais pesados e compostos orgânicos na cadeia alimentar, atingindo níveis tóxicos; e (c) rebaixamento do espelho d'água de lagoas, desaparecimento de brejos e redução da umidade do solo causados pela redução do fluxo de base de rios, devido à superexploração de água subterrânea;

- **danos a estruturas e inundação de áreas baixas** – a subsidência de terrenos pode danificar as fundações de prédios e ocasionar inundações em áreas por ela afetadas;
- **prejuízos financeiros** – tecnologias existem para localizar, extrair e tratar água contaminada segundo os mais rigorosos padrões de qualidade, assim como para mitigar os problemas da água subterrânea. Os custos podem ser exorbitantes. A limpeza de um vazamento de gasolina em um aquífero pode custar dezenas de milhares de dólares. A depleção de um aquífero pode também levar à perda de produtividade agrícola ou industrial.

6.4. A Proteção das Águas Subterrâneas

O mundo desenvolvido vem dando mais atenção à proteção e recuperação dos aquíferos. A legislação está implantada e em execução por agências governamentais bem equipadas. A coleta de dados e os programas de monitoramento são avançados. Além disso, o padrão de vida é alto e os custos do tratamento d'água podem ser sustentados pelos usuários, onde for necessário.

Já nos países em desenvolvimento, a ênfase é para com a extração da água subterrânea e, onde a necessidade de proteção já é reconhecida, a implementação é difícil, devido à escassez de dados, falta de pessoal especializado e ausência de legislação e recursos institucionais, além do baixo nível de financiamentos. Finalmente, por causa da disseminação de doenças de veiculação hídrica através das águas de superfície, a proteção das águas subterrâneas tem importância crucial.

As implicações financeiras da proteção das águas subterrâneas não devem ser subestimadas. Os custos normalmente incluem a coleta e processamento de dados, salários de pessoal técnico e administrativo, aquisição de terrenos de interesse para áreas de proteção, monitoramentos, etc. Estes custos, entretanto, são somente uma fração do custo total para despoluição ou para o desenvolvimento de novas fontes de suprimento de água.

Também, cabe ao usuário de águas subterrâneas uma boa parcela de responsabilidade na proteção dos aquíferos quanto à poluição. Não é incomum a identificação de poços abandonados sem tamponamento ou servindo de depósito para lixo ou outros resíduos e, também, construídos sem a devida proteção sanitária.

7. CONSTRUÇÃO DE POÇOS TUBULARES NOS AQUÍFEROS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.

A construção de um poço tubular, em rochas duras ou moles, pode ser desdobrada nas seguintes operações distintas: (a) Perfuração; (b) Aplicação do revestimento; (c) Encascalhamento - quando for o caso de aplicar seções filtrantes no revestimento; (d) Desenvolvimento - destinado a assegurar a produção de água limpa sem carreamento de areia; (e) Cimentação - necessária para confecção de uma proteção sanitária ou isolamento de águas de má qualidade; e (f) Teste de produção.

Serão apresentados a seguir os princípios básicos de construção de poços aplicados às principais formações geológicas do Estado, objetivando dar uma noção de sua forma

construtiva e de emprego dos equipamentos disponíveis no mercado e estabelecendo informações básicas para a melhor orientação ao usuário interessado na captação de água subterrânea.

7.1 Métodos de Perfuração de Poços em Terrenos de Rochas Cristalinas

Os principais métodos de perfuração utilizados são os de *Percussão* e *Roto-pneumático*.

7.1.1. *Percussão a Cabo*

O sistema à percussão é *bastante eficaz em materiais rochosos compactos*, correspondentes aos granitos e gnaisses. Consiste na elevação e queda de uma série de pesadas ferramentas sustentadas por um cabo de aço dentro do furo, acionadas por meio de um motor diesel que move um excêntrico conectado a um balancim. (*Figura 7*). A ferramenta cortante, denominada trépano, rompe e esmaga a rocha dura em pequenos fragmentos ou, quando opera em rochas moles não consolidadas, amolece o material. Em ambos casos, a ação de vai e vem das ferramentas mistura essas porções trituradas com água para formar uma lama. A lama é retirada a intervalos, do fundo da perfuração, por meio de uma caçamba de limpeza. O conjunto de ferramentas é assim constituído: trépano, haste de perfuração, percussor, porta cabo, cabo de percussão e balancim.

Durante o início da perfuração pelo método de percussão em *formações inconsolidadas*, é necessário revestir preliminarmente as paredes do poço para evitar desmoronamentos. Esta proteção é efetuada com a aplicação, durante a perfuração nos horizontes inconsolidados, de *tubos de revestimento preliminar*, telescopados em diversos diâmetros, que deverão ser aplicados à medida em que a perfuração evolui (*Fotografia 1*), operação esta semelhante à cravação de estacas.

Somente após a conclusão da fase de perfuração e a aplicação do revestimento definitivo do poço, os tubos de cravação serão retirados, com o emprego de *saca-tubos soldados aos tubos de cravação por meio de pancadas do percussor* ou por macacos hidráulicos. É evidente que, caso ocorram desmoronamentos a grandes profundidades, será impossível cravar tubos devido ao excessivo atrito das paredes do furo. Neste caso deve-se procurar alargar o diâmetro do furo, através de trépanos especiais (*Fotografia 2*). Nesta situação, deve-se aplicar fluidos para sustentação das paredes, através da confecção de um tanque de lama devidamente preparada por bomba centrífuga. Regularmente, à medida que a perfuração evolui, os trépanos gastos são apontados em forja aquecida a aproximadamente 1.200°C e preparados com golpes de marreta de forma artesanal (*Fotografia 3*).

Apesar deste equipamento ser bastante versátil, *seu emprego somente será adequado quando a sonda estiver devidamente equipada com diversos acessórios*, como brocas de perfuração e alargamento em diâmetros diversos (*Fotografia 4*), grupo gerador para cortes de tubos e serviços de soldas, compressor de ar, solda a acetileno, equipamento de apontamento e gabaritos de brocas, tubos de serviço com vários diâmetros, equipamentos de desenvolvimento, ferramentas de pescaria, etc. (*Fotografia 5*). Na

Fotografia 6 é apresentado um exemplo de obra onde a sonda percussora é empregada de forma inadequada.

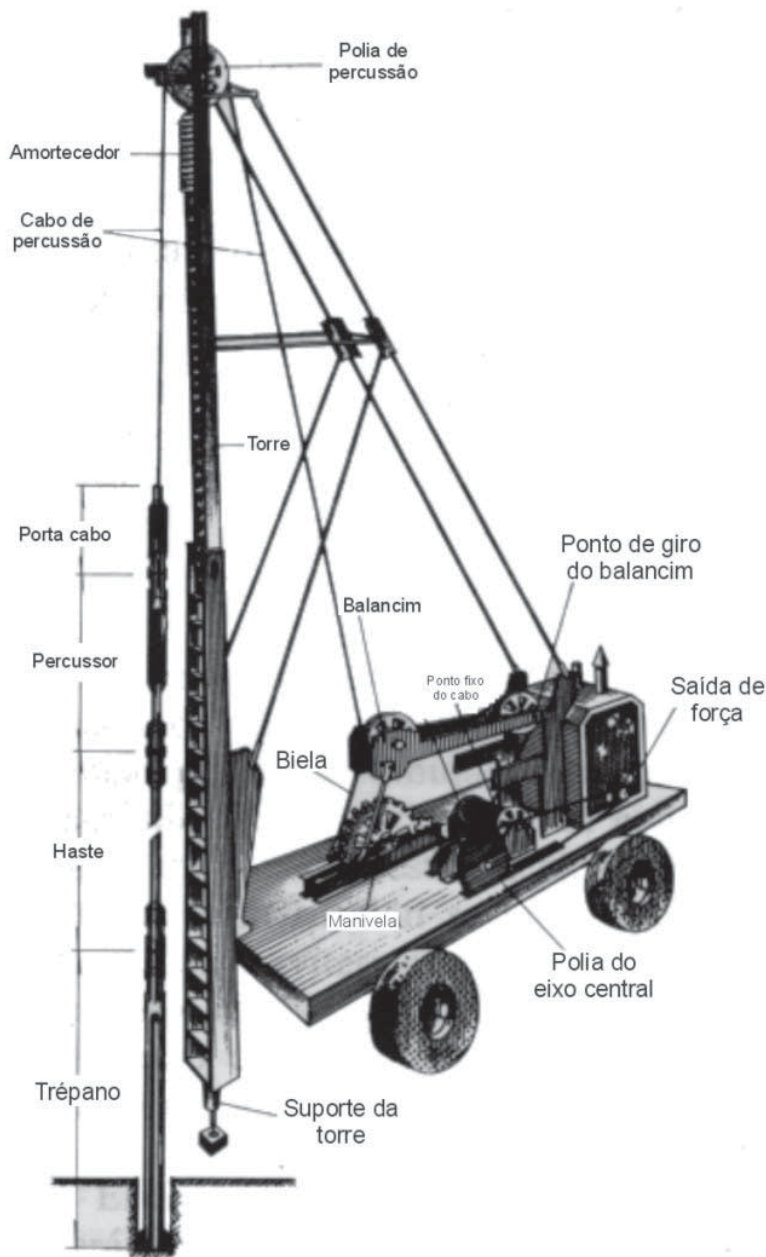


Figura 7 - Sonda percussora (Custodio & Llamas, 1996)

Este tipo de equipamento é também bastante eficaz quando utilizado na fase de desenvolvimento do poço, quer pelo método de reversão de fluxo, injeção de ar comprimido ou pistoneamento, sendo usualmente empregado para serviços de manutenção (Fotografias 7 e 8). Por outro lado, considerando que as ferramentas ao cair possuem pequeno movimento giratório, as paredes do furo não apresentam “calos”, bem como o método, atuando como fio de prumo, permite uma boa verticalidade e alinhamento do furo, o que não cria dificuldades para instalação de bomba.



Fotografia 1- Tubos de cravação telescopados a partir de 14 polegadas.



Fotografia 2- Detalhe de broca de alargamento tipo estrela.



Fotografia 3 – Apontamento de broca, aquecida em forja e apontada a golpes de marreta.



Fotografia 4- Tipos de brocas e ferramentas de pescaria utilizadas para perfuração de diversos tipos litológicos, a partir de 14 polegadas.



Fotografia 5- Sonda percussora devidamente equipada.



Fotografia 6 – Sonda percussora mal equipada, perfurando incorretamente “por dentro” do revestimento definitivo. Observa-se a ausência de tubos de serviço, brocas de grandes diâmetros, grupo gerador, etc.



Fotografia 7 – Trabalho de desenvolvimento de poço utilizando-se pipa d’água e bomba de grande capacidade.



Fotografia 8 - Água com elevada turbidez proveniente da lavagem da seção filtrante do poço.

O equipamento revela-se adequado quando o canteiro de obras possui reduzida área de serviço. Em resumo, este equipamento é eficaz quando perfura-se em cristalino em situações adversas, como caimento de paredes, alternância de camadas duras e moles, e prisões e desvios de ferramentas provocadas por blocos instáveis e matacões. ***Não é recomendado para perfuração em rochas moles, principalmente quando pretende-se alcançar grandes profundidades.*** Geralmente, poços construídos em cristalino no Estado do Rio de Janeiro pela CEDAE são iniciados ou totalmente concluídos por percussão à cabo. Via de regra são revestidos com tubos de aço norma DIN 2440, encaixados firmemente por meio de pancadas na rocha sã para efeito de correto isolamento de águas de infiltração, eventualmente contaminadas.

Nos poços construídos para produção de ***águas minerais e potáveis de mesa*** em ambiente cristalino, ***o emprego de sonda à percussão é especialmente recomendado***, devido a necessidade de evitar-se ao máximo utilização de qualquer fluido (geralmente à base de bentonita) para sustentação das paredes de perfuração ou óleos de lubrificação do martelo, utilizados por sonda roto-pneumática. Estas operações podem propiciar contaminação e aumento da turbidez da água mineral a ser rigorosamente analisada, inviabilizando o sucesso do empreendimento. Estes poços são locados em ambientes geológicos favoráveis, em áreas livres de qualquer atividade antrópica e, em geral, produzindo águas com qualidade excelente. Dessa forma, cada fratura com água deverá ser testada em termos de quantidade e qualidade, de forma a fornecer os elementos técnicos para o correto dimensionamento final do poço.

Um ***perfil básico construtivo para poço de água mineral e potável de mesa*** executado em rocha cristalina é apresentado na *Figura 8*, indicando diâmetros de perfuração, profundidades e tipo de material a ser adequadamente empregado.

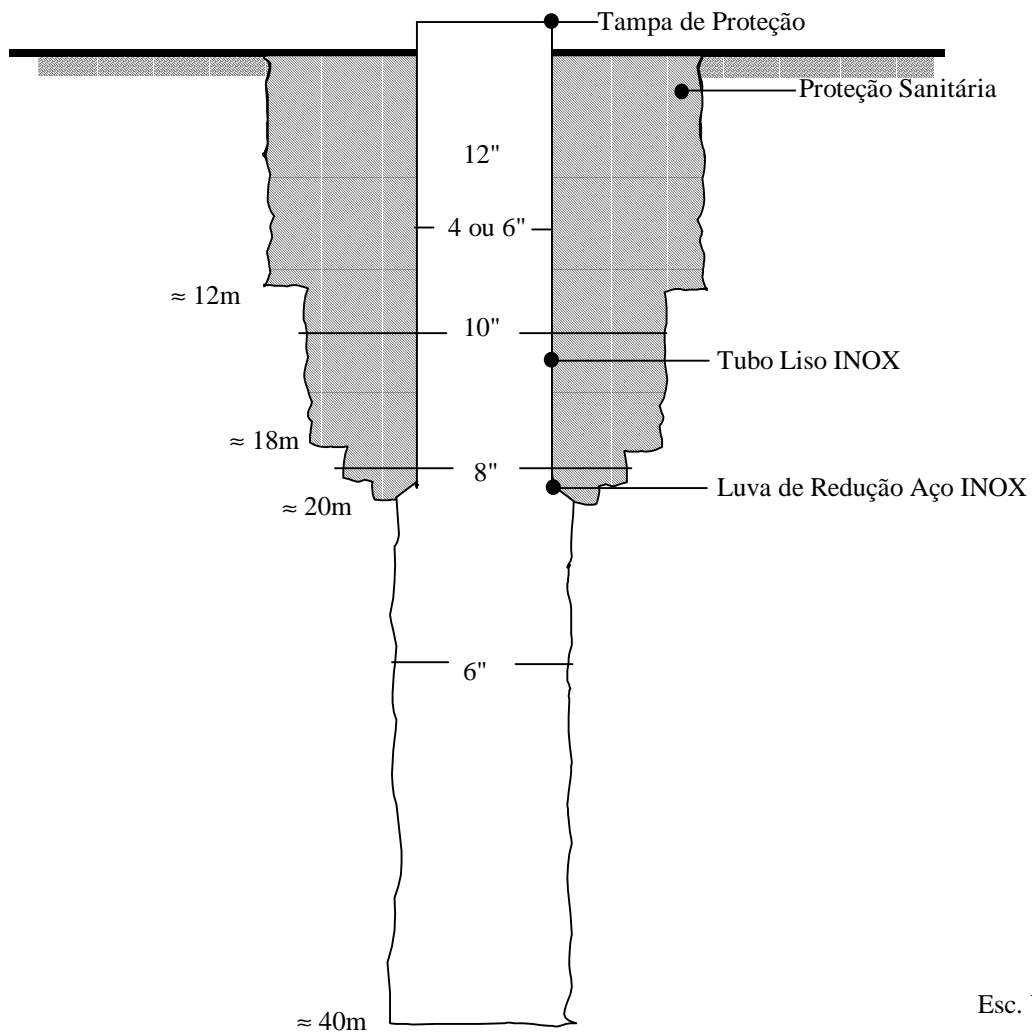
7.1.2. O Sistema Roto-Pneumático

Sua principal vantagem consiste na velocidade de perfuração. Inicialmente, são utilizadas brocas tricônicas nas formações superficiais não consolidadas, de forma análoga ao sistema rotativo (*Fotografia 9*), com emprego de circulação de lama para refrigeração e arraste do material perfurado. Encontrada a rocha sã, o encaixe é realizado com brocas de vídia e a perfuração é aprofundada por martetele acionado a ar comprimido por compressor de grande capacidade, percutindo um martelo pneumático com bit terminal geralmente com 6,5” ou 6”. Para refrigerar o bit é necessário a utilização de água, geralmente armazenada em um carro-pipa, para evitar a formação de poeira, necessitando-se assim de grande espaço para o canteiro de obras.

Este método é mais adequado quando perfura-se poços com pequena cobertura de solo, como os encontrados no Norte e Noroeste do Estado. Tem a vantagem de detectar imediatamente a profundidade aproximada das fraturas produtoras eventualmente ultrapassadas, no momento que a água jorra expelida junto com o ar comprimido na boca do furo. Ao mesmo tempo, permite fornecer um valor aproximado da vazão do poço e conhecer a qualidade expedita da água produzida (*Fotografia 10*).

PERFIL TÉCNICO CONSTRUTIVO DO POÇO TUBULAR PARA ÁGUA MINERAL E POTÁVEL DE MESA

Figura 8



Esc. Vert. 1:300

EGMONT CAPUCCI
CREA 19525 - D



Fotografia 9 - Brocas tri-cônicas e de vídia utilizadas por sonda rotativa.



Fotografia 10 - Serviço de perfuração utilizando-se sonda roto-pneumática. Observar volume de água produzida na ocasião do alcance da fratura.



Fotografia 11- Canteiro de obras utilizando sonda rotativa. Poço GRUSSAI, CEDAE, em S. João da Barra.

Normalmente, quando a parede do furo é estável, sem problemas de desmoronamento, é possível construir um poço de 100 metros com este método em apenas 3 dias de serviço. Em determinados casos, para agilização dos serviços nos poços em cristalino, é empregada sonda percussora a cabo para confecção da “cabeça do poço” até o encontro da rocha sã. A partir daí utiliza-se equipamento roto-pneumático para aprofundamento.

A seguir são apresentados **2 perfis típicos de poços em terrenos cristalinos** do Estado (Figuras 9 e 10), indicando os diâmetros de perfuração, profundidades médias, diâmetro e tipo de material de revestimento e de tubos lisos e filtros usualmente empregados.

7.2. Perfuração de Poços em Terreno Sedimentar

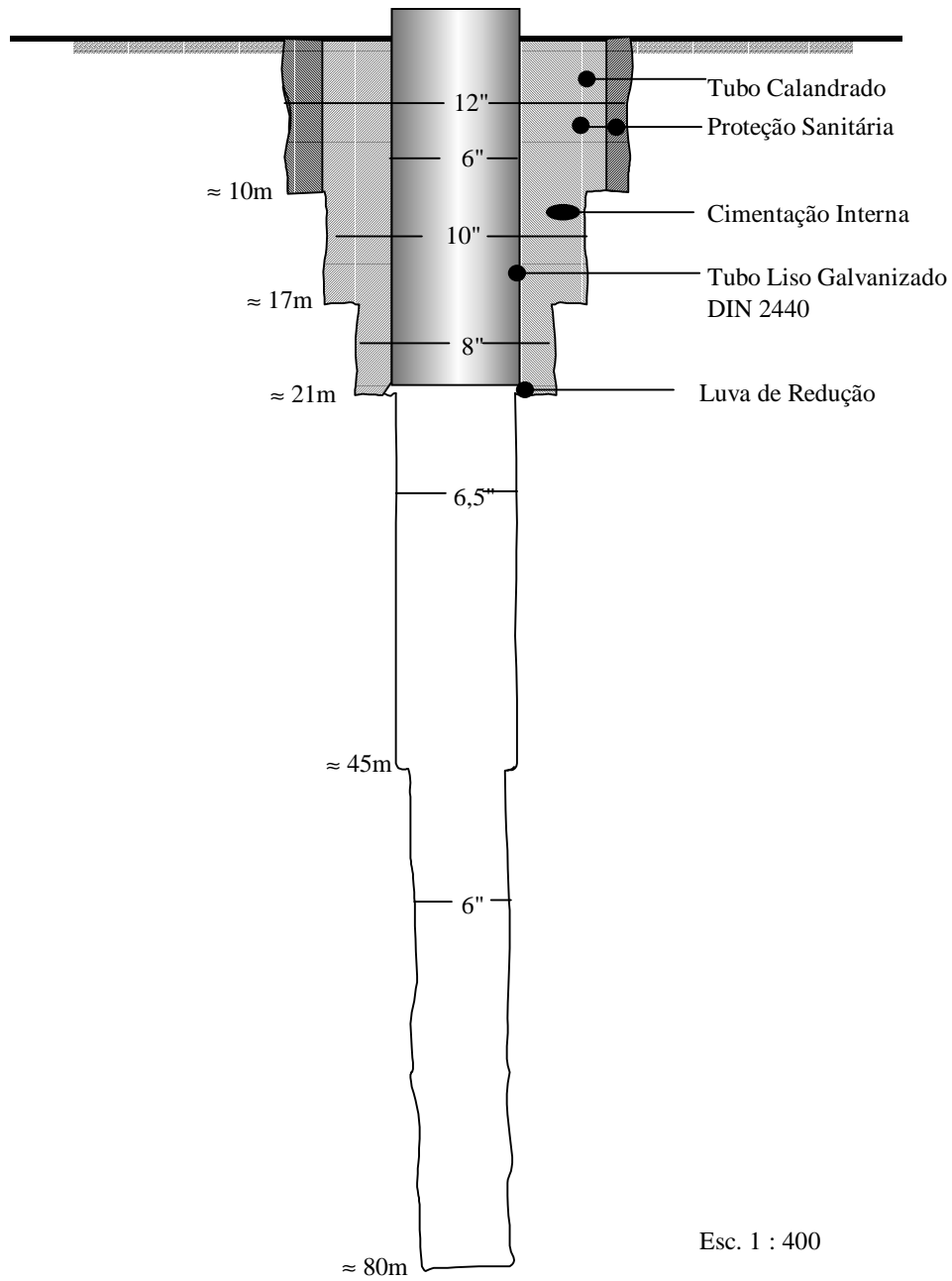
O **sistema rotativo** é o mais rápido e indicado para perfuração em rochas sedimentares não consolidadas e sedimentos encontrados nas Bacias de Campos, em Duque de Caxias, Itaboraí e Resende (Fotografia 11). O sistema opera geralmente por circulação direta de lama injetada por bomba através das hastes, dotadas em sua extremidade de uma broca oca em rotação. A lama ascende pelo espaço anelar do furo até chegar à superfície, onde passa por uma peneira vibratória (Fotografia 12), sendo depois canalizada para um tanque de sedimentação. A partir daí passa para um segundo tanque de armazenamento, onde é captada por uma nova bomba retornando à perfuração (Fotografia 13). A perfuratriz é girada por uma mesa rotativa permitindo que a haste de perfuração deslize para baixo, na medida em que o furo evolui.

Normalmente, neste tipo de terreno é necessário a confecção de uma “cabeça de poço” que consiste na aplicação de um tubo de aço como revestimento preliminar, que tem por finalidade evitar desmoronamentos superficiais, permitindo reduzir vibrações e trabalhar com fluidos de perfuração mais leves (Fotografia 14). Concluído o revestimento preliminar, não é necessário aplicar nenhum outro revestimento durante a perfuração, porque a lama forma um reboco na parede do poço e evita seu desmoronamento. Em seguida, caso a perfuração revele-se favorável, em função principalmente de sua amostragem e resultados da interpretação de serviços de perfilagem geofísica, o furo é alargado. Então, o revestimento é descido com as seções filtrantes, aplicadas judiciosamente frente às camadas produtoras de água potável, isolando-se por cimentação as camadas geológicas portadoras de águas salobras e/ou ferruginosas. Para remover o reboco de lama das paredes do furo, geralmente, o poço é “lavado” com injeção de água limpa e desinfetantes, através das hastes de perfuração a partir do fundo do poço. Este processo é feito concomitante ao encascalhamento, provocando a ascensão de água limpa através dos filtros e do espaço anelar do furo, com a boca do revestimento tamponada.

Revestido, encascalhado e com as cimentações realizadas o poço é concluído com os serviços de limpeza e testes de produção. Os poços construídos em sedimentos pela CEDAE são revestidos com PVC geomecânico, em diâmetros entre 8” a 10”, sendo utilizada cimentação para isolamento de águas indesejáveis, comumente encontradas em todos os aquíferos sedimentares do Estado. Devido a necessidade de revestir totalmente o furo em formações inconsolidadas, geralmente o custo de construção de um poço em sedimento é de 3 a 5 vezes mais alto que no cristalino. Por outro lado, suas vazões são geralmente bastantes expressivas, da ordem de 24 a mais de 150 m³/h, dependendo de sua posição geológica (Fotografia 15).

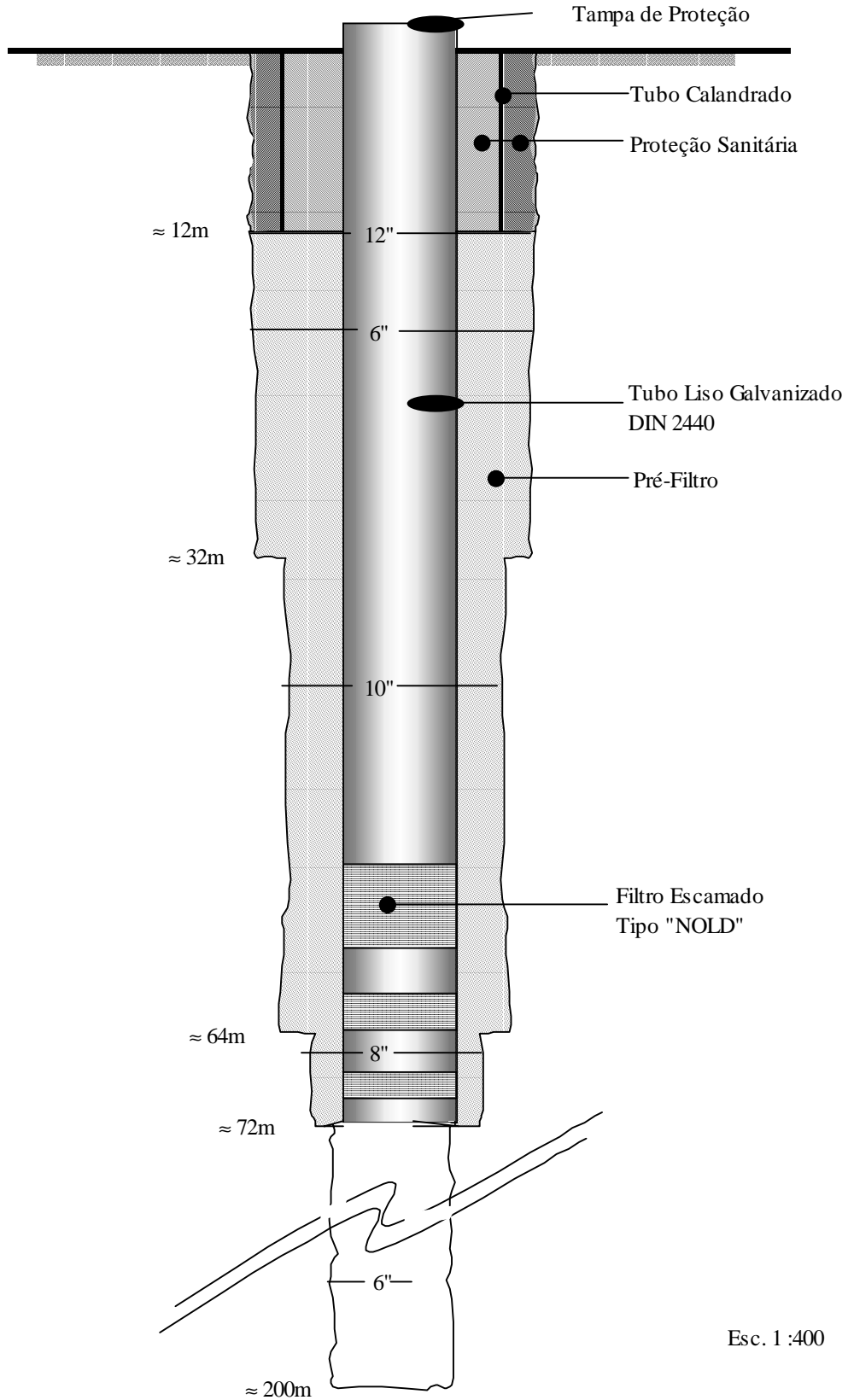
**PERFIL TÍPICO CONSTRUTIVO DE POÇO TUBULAR EM
FORMAÇÃO CRISTALINA COM PEQUENA COBERTURA DE SOLO**

Figura 9



**PERFIL TÍPICO CONSTRUTIVO DE POÇO TUBULAR EM FORMAÇÃO
FORMAÇÃO CRISTALINA COM ESPESSA COBERTURA DE SOLO E ROCHA ALTERADA**

Figura 10



Esc. 1 :400



Fotografia12- Peneira vibratória de sonda rotativa.



Fotografia 13- Tanques de bomba de lama em obra executada por sonda rotativa em BARRA DO AÇU, S. J. da Barra, CEDAE.

Adiante é apresentado um *perfil típico de poço construído em sedimentos* do Estado (Figura 11), indicando diâmetros de perfuração, profundidade e diâmetro e material de revestimento de tubo liso e filtros usualmente empregados.

7.3. Aplicação do Revestimento.

O revestimento é a fase que corresponde ao acabamento do poço, e geralmente deverá ser aplicado somente quando as características quantitativas e qualitativas obtidas na fase de perfuração justificarem a continuidade das serviços. Via de regra, poços construídos em sedimentos no Estado do Rio exigem aplicação de revestimento. São constituídos por seções de tubos lisos e filtros, funcionando como uma espécie de tela. Constituem-se na parte mais frágil do poço, ou seja, aquela que virá a requerer os futuros serviços de limpeza e manutenção.

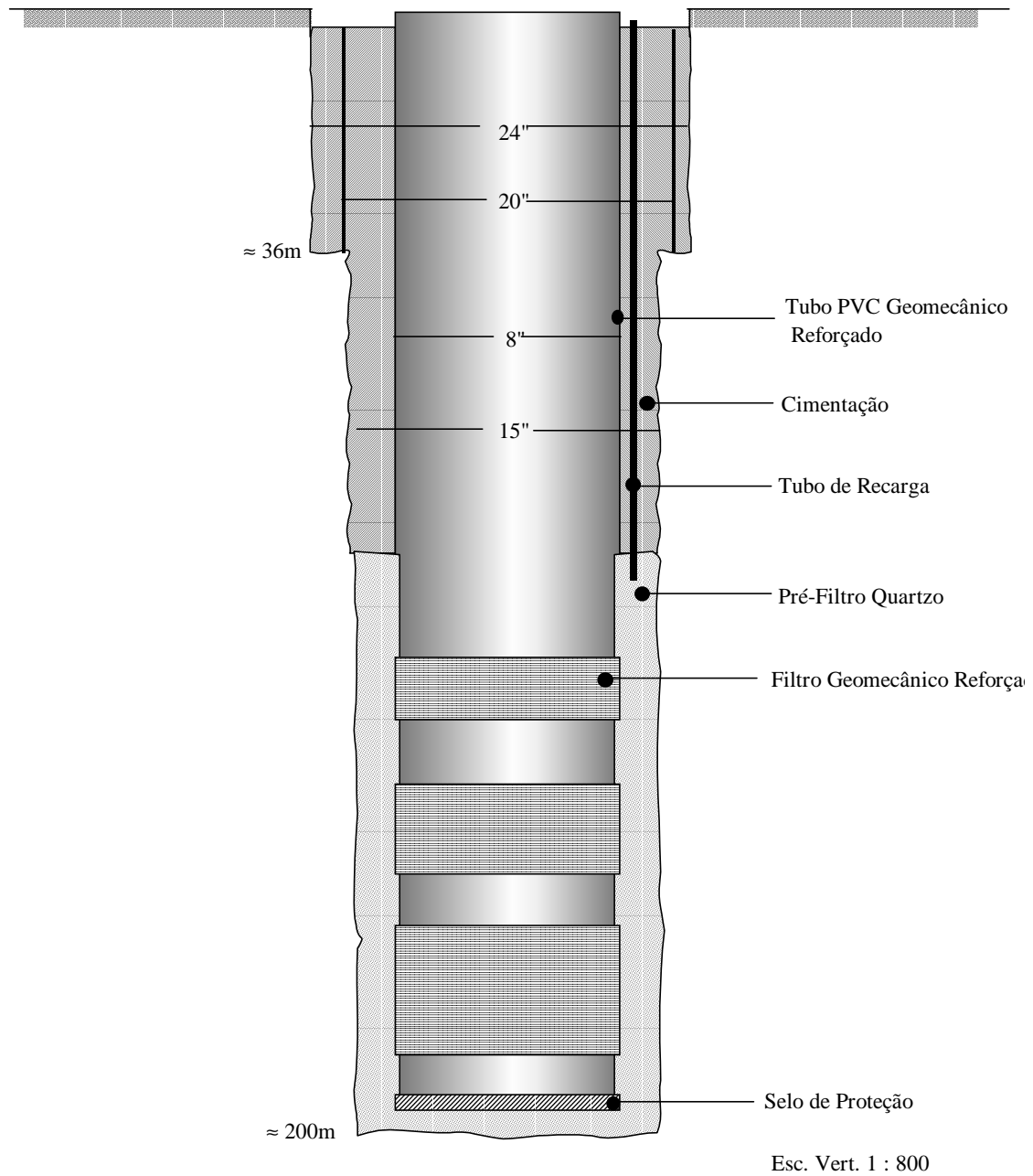


Fotografia 14- Em primeiro plano, tubos de revestimento preliminar em obra de construção de poço em sedimento, utilizando sonda rotativa em ATAFONA, S. J. da Barra, CEDAE.



Fotografia 15- Serviços de bombeamento do Poço de DONANA-01 com taxa de bombeamento de 500 metros cúbicos por hora.

**PERFIL TÍPICO CONSTRUTIVO DE POÇO TUBULAR EM
FORMAÇÃO SEDIMENTAR DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**
Figura 11



Assim, os filtros tem a finalidade de permitir que a água contida nas formações produtoras fluam livremente para o interior do poço, impedindo ao mesmo tempo que a areia penetre. Servem também como um suporte estrutural sustentando a perfuração no referido material. O projetista do poço, em função principalmente da granulometria e da espessura do aquífero, deverá especificar corretamente seu comprimento, material, abertura e forma de ranhuras, de modo que o poço não produza areia ou venha a provocar elevadas perdas de carga.

Via de regra, poços construídos pela CEDAE em sedimentos são revestidos com tubos de material em PVC geomecânico, devido à franca corrosão de suas águas, enquanto que poços construídos no cristalino são revestidos com tubos de aço com espessura 4,5 mm, aplicando-se, quando necessário, filtros escamados (*Fotografia 16*).

7.4. Encascalhamento

Após a instalação do revestimento do poço, é aplicado cascalho de quartzo com granulometria apropriada em torno do filtro. O cascalho aumenta o diâmetro efetivo do poço, atuando como um *pré-filtro*. Permite a passagem do material fino para o poço durante a fase de limpeza (desenvolvimento), protegendo o revestimento do desmoronamento das formações produtoras circundantes. A granulometria do cascalho a empregar varia com o tipo da formação, sendo importantíssimo a correta escolha de sua dimensão, considerando que a areia deve ser retida em seu envoltório, onde a velocidade de entrada é mais baixa. Deve haver, entretanto, uma zona bastante permeável em torno dos filtros. O filtro utilizado deverá ter aberturas que retenham de 75% a 90% do material envoltório.

7.5. Desenvolvimento

O objetivo do desenvolvimento é melhorar a quantidade e qualidade da água, aumentando a capacidade específica do poço e evitando o bombeamento de areia e alta turbidez. Tais resultados são conseguidos pela remoção do material fino das formações naturais que envolvem o filtro. Todo o método de perfuração obstrui os poros da formação aquífera em torno do furo aberto, em maior ou menor extensão. Assim, o correto desenvolvimento desobstrui os poros do aquífero, aumentando sobremaneira a sua permeabilidade na vizinhança dos filtros.

Os principais métodos de desenvolvimento de um poço são: *pistoneamento, injeção de ar comprimido, bombeamento com injeção de água sob pressão ou com bomba submersa e lavagem com adição de gelo seco* (*Fotografias 17 e 18*). Normalmente, são utilizados métodos combinados, concluindo-se os serviços com aparecimento de água isenta de turbidez.

7.6. Cimentação.

A cimentação do poço consiste no enchimento do espaço que se forma entre o tubo de revestimento e a parede da formação, com uma pasta conveniente de água, cimento e areia. A cimentação visa essencialmente o seguinte:



Fotografia16 - Aspecto da instalação de filtros tipo NOLD em poço em cristalino.



Fotografia17 - Desenvolvimento de poço pelo método de pistoneamento, utilizando-se produtos químicos a base de ácido cítrico.



Fotografia 18- Surgência de poço em sedimento, Município de São João da Barra.

- Evitar a penetração de água superficial contaminada ao longo da face externa do revestimento;
- Isolar a água de qualidade indesejável contida em camada situada acima da formação aquífera desejada;
- Fixar o revestimento; e
- Formar um envoltório protetor ao redor do tubo, para prolongar sua vida útil mediante proteção contra corrosão externa.

7.7. Testes de Produção

Concluído o desenvolvimento do poço, ele deve ser ensaiado para avaliação de sua vazão ótima de operação para um determinado rebaixamento. As informações obtidas de rebaixamento versus vazão fornecem uma base de cálculo para determinação do nível dinâmico máximo a ser alcançado, imprescindível para escolha do correto equipamento de recalque a ser instalado (*Figura 12*). Normalmente, em testes bem executados, emprega-se bomba submersa, aferindo-se as vazões por meio de vertedouros ou *tubos de Pitot*, mantendo-se constante a vazão durante todo o tempo que o poço é testado e aferindo-se os rebaixamentos em escala logarítmica.

Via de regra, poços com vazões de até 10 m³/h são testados com vazão única durante pelo menos 24 horas (*Fotografia 19*), enquanto que em poços com grandes vazões são efetuados 3 a 5 bombeamentos escalonados (*Fotografia 20*) para correta determinação das perdas de carga no aquífero e no poço, permitindo avaliar adequadamente seqüelas construtivas oriundas da possível má construção do poço. Em resumo, as medições a serem efetuadas em um teste de poço são: (a) nível estático, (b) taxa(s) de bombeamento, (c) níveis dinâmicos (estabilizados) em vários escalões de bombeamento, (d) o instante do início do bombeamento, (e) de mudanças de vazão e o instante em que ocorrem e (f) o instante do término do bombeamento.

O conhecimento destes dados permite selecionar corretamente a profundidade e o equipamento de recalque ideal para instalação do poço, aumentando sensivelmente sua vida útil. Medidas dos níveis de água após o encerramento do bombeamento (ensaio de

recuperação) também são importantes para avaliação dos parâmetros hidráulicos do aquífero, necessários para conhecer quando se planeja explorar água subterrânea em grandes volumes através de uma bateria de poços.

curva característica do poço

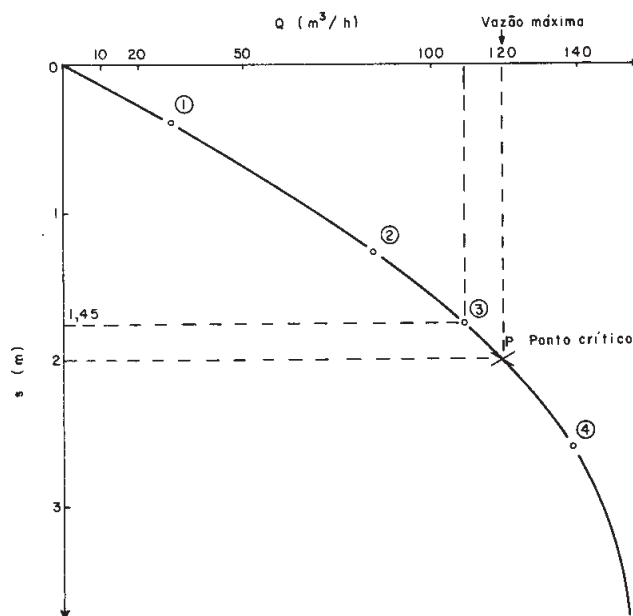


Figura 12 - Curva indicativa de vazão máxima (DAEE, 1982)



Fotografia 19- Teste de bombeamento em poço perfurado em cristalino, em BEM POSTA, para a Prefeitura de AREAL, com vazão de 22 m^3/h .

Testes de bombeamento mal executados geralmente acarretam rápida perda da vida útil do poço, provocados na maioria dos casos por excessivas extrações através da instalação de bombas submersas superdimensionadas.



Fotografia 20- *Aspecto do ensaio de bombeamento escalonado com bomba submersa e tubo de Pitot executado para Usina do Queimado, em CAMPOS, vazão de 230 m³/h.*

7.8. Poços Domésticos

Entende-se por **poço doméstico** qualquer captação rasa, aproveitando essencialmente o lençol freático, construído manualmente, utilizando-se revestimento de anéis de concreto ou tubos PVC de pequeno diâmetro. Este tipo de captação, amplamente utilizado por populações de periferia e do interior, geralmente desprovidas de rede de abastecimento de água e esgoto, é responsável pela maioria das doenças de veiculação hídrica por ingestão de águas contaminadas, especialmente por coliformes fecais. Os principais motivos da contaminação das águas obtidas em poços domésticos são:

- Poços abertos sem qualquer preocupação com a confecção de um envoltório de proteção sanitária, facilmente contaminadas por águas servidas ou de escoamento superficial.
- Poços construídos sem qualquer revestimento ou desprovidos de tampa de proteção de boca, em contato direto com a luz solar, poeira, lixo, etc.
- Poços construídos em regiões não servidas por rede de energia elétrica, captando-se água por meio de corda / caçamba contaminadas pelo contato com o solo.
- Poços abertos e em seguida abandonados, transformando-se em futuros depósitos de lixo contaminando em muitos casos de forma irreparável o lençol freático.

Assim, objetivando orientação aos técnicos responsáveis por serviços de saúde, principalmente aqueles ligados às Prefeituras, é fornecida uma **especificação técnica simplificada para construção de poço doméstico** na tentativa de criar, através das Prefeituras, um controle de padrão construtivo deste tipo de captação junto aos usuários.

7.8.1. Construção de Poços Freáticos ou Domésticos para Regiões Servidas por Energia Elétrica

a) Métodos de perfuração e revestimento em áreas de baixada sedimentar

Os poços deverão ser iniciados a trado, com diâmetro de 150 a 200 mm, provido de seções de 1 metro de tubos galvanizados ¾”, com rosca e luvas em suas extremidades, e um T provido com 2 braços de 20 cm utilizado para sua rotação. A perfuração deverá atingir o lençol freático, geralmente na profundidade máxima de 5 metros, devendo prosseguir até o desmoronamento das paredes do poço.

Atingida esta profundidade, o furo será revestido inicialmente com tubo PVC liso, diâmetro 100 mm, até o fundo, devendo em seguida ser envolto em pasta de cimento e água descida por gravidade através de tubo de recarga em PVC 1,5” até a superfície. Deve-se aguardar cura de 1 dia, constituindo-se na primeira proteção sanitária do poço.

A perfuração terá continuidade por jato de água clorada, injetada por meio de um motor a gasolina, acoplado a bomba auto-escorvante, com mangueira de sucção e recalque aplicada em tanques de 200 litros. A água será injetada no furo por tubulações de aço galvanizado 1½” em seções de 3 metros, com ponteira terminal, avançando concomitantemente ou não com o tubo de revestimento definitivo em PVC, diâmetro de 75 mm, em seções de 1,5 metros, já ranhurado. Deve-se aplicar o tubo ranhurado nas camadas aquíferas, geralmente encontradas nas profundidades entre 8 e 15 metros.

No caso da perfuração avançar em terreno muito permeável (areias soltas) deverá ser utilizada válvula chata ou de bola (bomba de areia), que trabalhará como válvula de sopapo com movimentos ascendentes e descendentes, permitindo a introdução do revestimento definitivo. Caso o conjunto não apresente rendimento em velocidade de perfuração, por atrito e excesso de peso, deverá ser utilizado um tripé com sistemas de roldana e sarrilho para facilidade de sustentação das hastes. Revestido definitivamente, deverá ser introduzida, por gravidade, nova pasta de cimento e areia entre o tubo de 100 e 75 mm, aplicando-se um caps protetor na boca do revestimento de 75 mm.

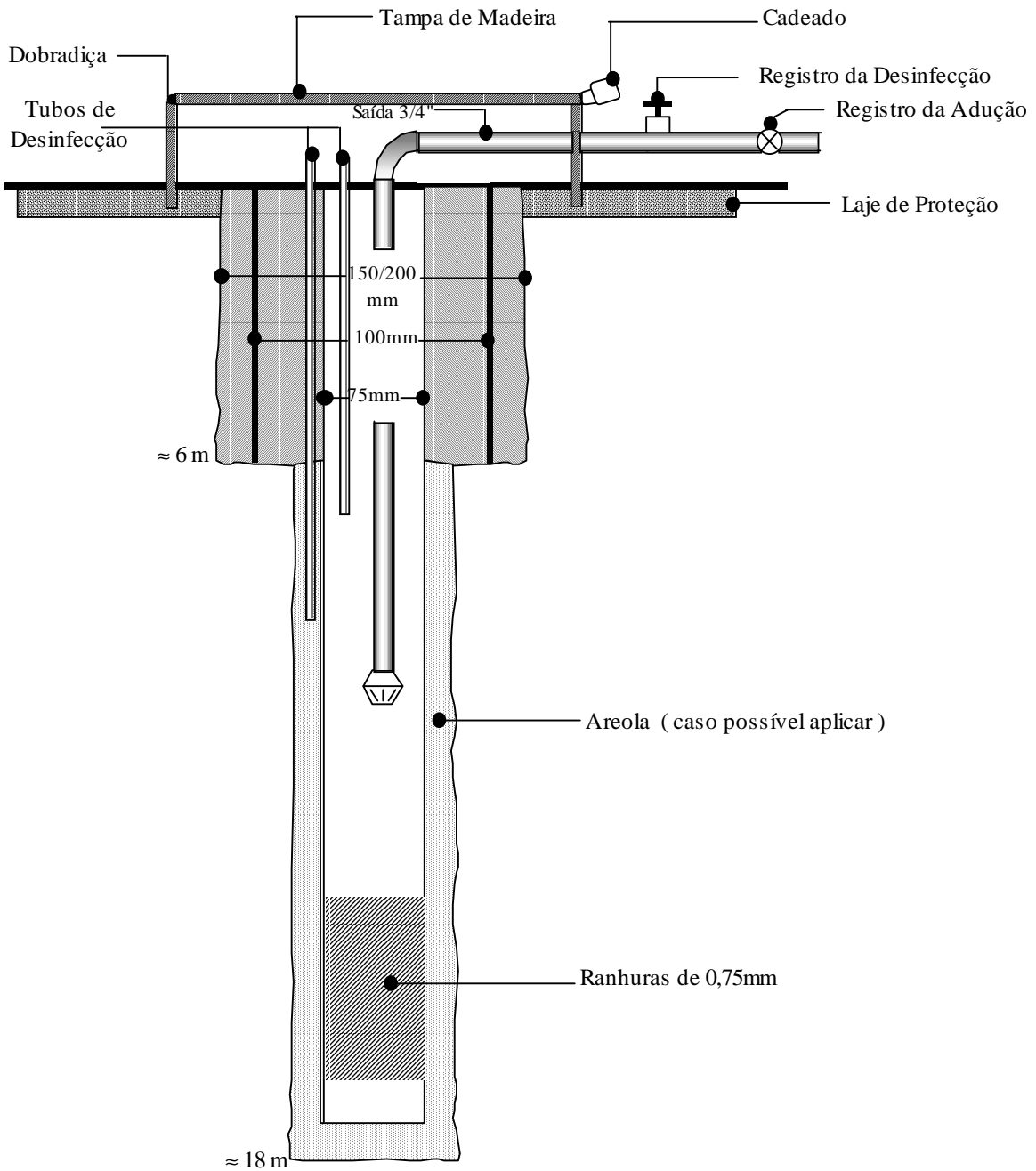
Bombeamento e Desinfecção - Revestido definitivamente, o poço deverá ser testado até que seu nível dinâmico estabilize-se. Em geral estes poços produzem vazões superiores a 200 l/h, através de bomba de sucção direta. Visando serviços de desinfecções periódicas, fundamental para assepsia da obra, deverá ser introduzida no interior do revestimento um tubo de PVC ½” para introdução de água sanitária semanalmente. O desinfetante será vertido pela própria bomba por meio da instalação de um T e um registro. Após a instalação do poço, sua boca deverá ser guarnecida por caixa de madeira provida de uma dobradiça e cadeado, cravada em laje de proteção da boca do poço. Para efeito de ilustração, é fornecido um *perfil construtivo* (Figura 13) da referida captação.

b) Método de perfuração e revestimento em áreas de pequena cobertura de solo.

Nestes casos, os poços deverão ser iniciados a pá e picareta, com diâmetro de até 1,5m, revestidos até o encontro com o lençol freático com manilhas de concreto armado, com diâmetro de 1 metro. Deve-se cuidar para que estas ajustem-se exatamente uma sobre as

**PROJETO BÁSICO CONSTRUTIVO DE POÇO DOMÉSTICO
EM ÁREA DE BAIXADA SEDIMENTAR**

Figura 13



outras, cimentando-se “por fora” todo o espaço anelar existente. No caso das paredes não apresentarem desmoronamento, o furo deverá prosseguir por trado, boca de lobo, pá ou picareta, aplicando-se uma seção filtrante ranhurada geralmente com 2 m de comprimento em PVC 100 mm na camada aquífera, juntamente com um envoltório de brita “0”. O revestimento de PVC deve alcançar a boca do poço.

Finalmente o poço será cimentado com concreto “magro” entre as manilhas e o tubo de PVC, constituindo-se na segunda proteção sanitária. Neste caso, deverá ser introduzido tubo de PVC ½” diretamente no pré-filtro para execução de serviços rotineiros de desinfecção com água sanitária. Os serviços de bombeamento e desinfecção são análogos ao método acima descrito. A *Figura 14* apresenta seu *perfil básico construtivo*.

Evidentemente que em regiões desprovidas de energia elétrica, dada a necessidade de se dispor de uma boca de poço com diâmetro que permita a introdução de baldes ou outros recipientes, os poços domésticos apresentam-se mais sujeitos à contaminação da água, considerando que ficam permanentemente abertos. Assim, recomenda-se a cloração da água dos reservatórios antes de sua utilização.

8. OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE POÇOS TUBULARES

Desde a década de 1970, o Estado do Rio de Janeiro vem sendo objeto de pesquisas e estudos hidrogeológicos. Estes trabalhos foram executados principalmente pela CEDAE, com a finalidade de construção de poços profundos para abastecimento de comunidades interioranas e, também, pelo DNPM e DRM-RJ, para o acompanhamento da exploração do manancial subterrâneo para engarrafamento de águas minerais, além de diversos outros realizados pelas universidades. Como produto básico elaborado cita-se o mapeamento geológico de semi-detulhe do Estado realizado pelo DRM-RJ.

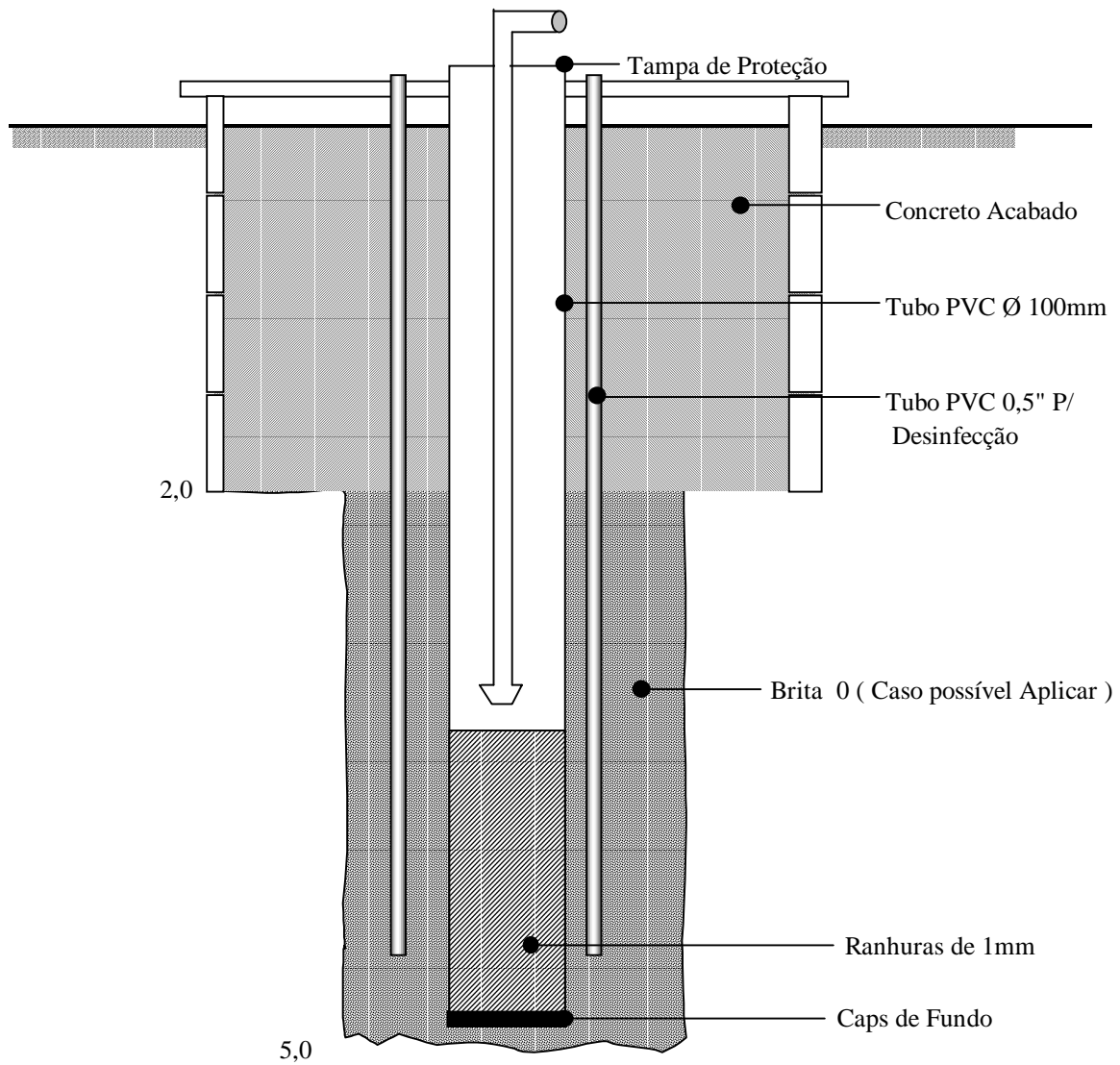
A partir de meados da década de 1990, iniciou-se uma articulação entre as diversas instituições, juntando esforços para integrar as informações existentes e planejamento de ações coordenadas para o futuro. Assim, diversos projetos conjuntos foram iniciados e, atualmente, já existem alguns produtos elaborados.

Recentemente, a CPRM coordenou um trabalho com o DRM-RJ, UFRJ, UFF, UFRRJ, UERJ, do qual resultou o “Mapa de Favorabilidade Hidrogeológica do Estado do Rio de Janeiro”, na Escala 1:500.000”, o que se constitui em excelente ferramenta para o melhor conhecimento de nossos aquíferos. Atualmente, a execução de novos poços segue uma orientação técnica bastante aprimorada, permitindo avaliações hidrogeológicas mais seguras.

Aliados ao contínuo trabalho de construção de poços desenvolvido em diversos aquíferos do Estado, estes trabalhos vêm abrindo para os usuários amplas possibilidades de abastecer ou reforçar com água até mesmo importantes cidades e indústrias, dependendo de sua localização geológica.

**PERFIL CONSTRUTIVO DE POÇO DOMESTICO COM PROTEÇÃO SANITÁRIA
EM ÁREAS COM PEQUENAS COBERTURAS DE SOLO**

Figura 14



Assim, com base em um cadastro selecionado de poços produtores bem localizados e corretamente construídos (com vazões de 10 a 40 m³/h para aquíferos fraturados e vazões de 30 a 150 m³/h para aquíferos sedimentares), pode-se afirmar ser possível reforçar a baixo custo a oferta de água principalmente para as demandas do Interior.

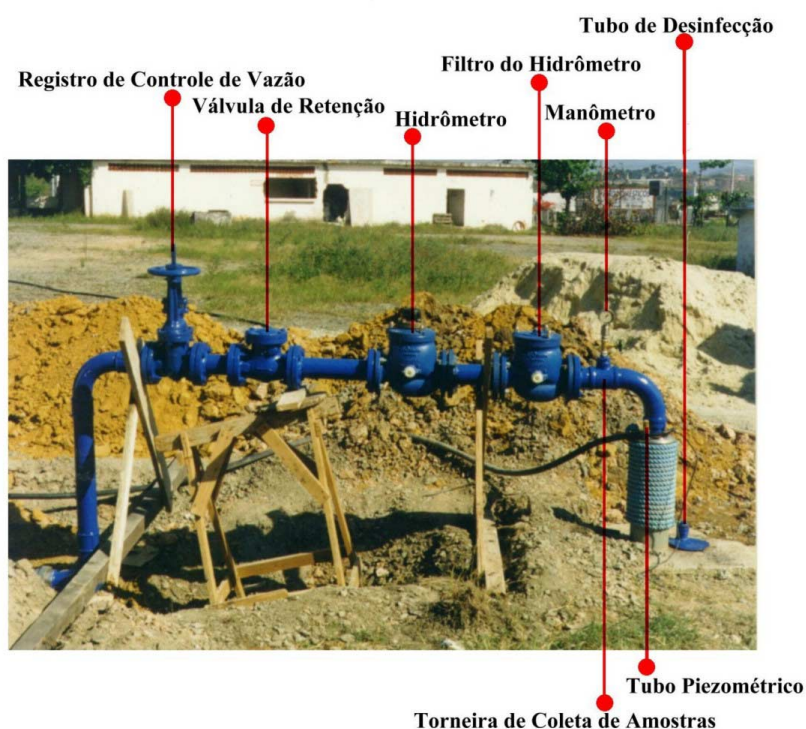
Entretanto, sente-se ainda junto aos usuários de água subterrânea, a falta de uma atuação metódica quanto a ***implantação de um serviço permanente de operação e manutenção dos poços tubulares profundos, prevalecendo, em geral, medidas de caráter emergencial*** quando da iminência de colapso do abastecimento de água. Via de regra, as soluções emergenciais representam altos custos operacionais.

Pretende-se, através deste documento, orientar os interessados em organizar um serviço de operação de poços, em que o acompanhamento sistemático prevaleça sobre a prática aleatória de tipo emergencial, detectando e sanando as causas dos problemas e apresentando soluções antes que as falhas aconteçam. Desta forma pode-se garantir a eficiência dos sistemas de abastecimento.

8.1. Procedimentos Metodológicos Propostos

São apresentados a seguir apenas os aspectos metodológicos básicos, ficando para cada usuário decidir a forma mais adequada ao seu caso específico. Baseado neste conceito, a implantação de um programa mínimo de controle operacional requer uma estrutura simplificada, acompanhada de vistorias periódicas. É parte essencial da infra-estrutura de um poço a instalação de barrilete, constando dos seguintes equipamentos permanentes principais (*Fotografia 21*):

ASPECTO DE BARRILETE DE CONTROLE OPERACIONAL



Fotografia 21 - Barrilete de controle operacional

- hidrômetro
- manômetro
- válvula de retenção
- filtro do hidrômetro (opcional)
- registros
- tubo piezométrico
- torneira para coleta de amostras

Deverão ser instalados no quadro de comando:

- horímetro
- equipamentos elétricos de proteção da bomba (relê de falta de fase, relê de nível, proteção para descargas, etc.)
- voltímetro e amperímetro.

Equipamentos de Uso Móvel:

- medidores de nível de água elétricos
- kits para análise de ferro, dureza total e cloretos
- condutivímetro
- omhmímetro

Durante a visita (que poderá ser diária, semanal ou quinzenal) será preenchida uma planilha de controle, constando de :

- volume bombeado no período.
- total de horas bombeadas e de repouso
- nível de água antes de ligar a bomba
- nível de água antes de desligar a bomba. (nível dinâmico)
- resultado da análise físico-química expedida.
- consumo mensal (kwh)
- observações quanto a anormalidades verificadas no conjunto motor bomba.

Caso se faça opção por barrilete simplificado, poderá ser instalado um simples sistema de desinfecção por retro-lavagem, utilizando-se produtos à base de ácido cítrico para limpeza da bomba e edutor, pelo menos a cada 15 dias ou semanalmente caso água apresente mineralização superior a 100 ppm de sólidos totais dissolvidos e teores de ferro dentro dos padrões permitidos, conforme ilustrado na *Fotografia 22*.

É essencial não superexplorar o poço, mantendo-se sempre a vazão recomendada nos testes de bombeamento executados ou o nível dinâmico - ND acima da primeira seção filtrante ou acima da primeira fratura produtora do poço detectada na fase de perfuração ou bombeamento. Assim, os dados coletados serão interpretados visando comparar eventuais anomalias, como aumento do teor de ferro, cloretos ou dureza, variação do nível dinâmico, gastos excessivos de energia, etc.

Para cada captação deverá ser elaborado um conjunto de medidas corretivas, permitindo sanar a tempo os problemas que poderão ocorrer nos anos seguintes. De uma maneira geral, recomenda-se, mesmo que não ocorram anormalidades, ***retirar a bomba pelo menos***

uma vez por ano (necessidade de manutenção, no caso de águas muito mineralizadas) e limpar o poço utilizando-se sonda à percussão, pistoneando-se os filtros e entradas de água com produtos químicos adequados. Por vezes é utilizada uma simples injeção de ar comprimido o que, todavia, poderá ocasionar danos ao poço. Desta forma, feita a avaliação do conjunto do sistema através da implantação de uma rotina de visita periódica, os serviços de operação se tornarão mais seguros ao longo do tempo, caso se estabeleça uma história anual documentada de cada captação.



Fotografia 22 - Barrilete simplificado com sistema de retro-lavagem

9. ORIENTAÇÃO PARA CONTRATAÇÃO DE CONSTRUÇÃO DE POÇOS TUBULARES.

Serão apresentadas neste item todas as fases que devem ser percorridas pelo usuário, de maneira a que possa conduzir tecnicamente seu empreendimento com a maior taxa de êxito possível.

Poços tubulares são construídos através de perfurações em rochas duras ou moles, em diâmetros variáveis, objetivando explorar o aquífero nos horizontes onde ocorre água. Recebem posteriormente revestimento, por meio da aplicação de uma tubulação de aço ou PVC, o que proporciona um invólucro seguro, de forma a que o furo não se feche ou permita a entrada de material abrasivo no seu interior através de suas seções filtrantes.

Concluído o poço, geralmente é instalado equipamento de recalque, constituído por conjunto moto-bomba submerso, o qual deverá ser dimensionado principalmente em função do cálculo das perdas de carga do poço, com base na capacidade de produção do aquífero ou demanda a ser atendida.

Assim, considerando a diversidade de fatores que determinam as características construtivas dos poços, não é possível estabelecer condições que possam ser aplicadas, indiscriminadamente, a toda captação subterrânea que deseja-se construir. Pretende-se aqui, apenas, estabelecer linhas gerais de procedimentos para construção de poços em rochas duras ou moles, orientando os interessados a solicitar, *previamente à assinatura do contrato* de construção do poço, a *elaboração de um Projeto Básico da obra*, acompanhado de suas *Especificações Técnicas Construtivas e Listas de Materiais e Serviços para fins de tomada de preço*, de forma que façam parte integrante da documentação contratual. A este respeito pode-se também encontrar indicações úteis na publicação das normas técnicas ABNT (NBR-12212 e NB-1290).

Executado o Projeto, e selecionado o empreiteiro, o *projetista deverá acompanhar a obra, ficando sob sua responsabilidade o Dimensionamento Final necessário, bem como os resultados qualitativos e quantitativos obtidos. Sob a responsabilidade do Perfurador fica a execução*, onde, em caso de acidentes ou imperícia, a obra deverá ser refeita ou o problema corrigido. *Assim, a construção de um poço, singelo ou não, é uma obra de construção civil* devendo, portando, ser precedida de um projeto. Em linhas gerais, este projeto deverá conter o que é apresentado nos dois itens a seguir.

9.1. Índice Guia para Elaboração de Projeto de Poço Tubular em Rochas Duras (Ex: Granitos, Gnaises, etc.)

Principais itens que deverão constar do *projeto do poço*:

- a) **Objetivos pretendidos.** Deverá conter um resumo do eventual sistema de abastecimento existente e justificativas técnicas para execução da obra utilizando o manancial subterrâneo.
- b) **Considerações hidrogeológicas.** Deverá abordar os critérios técnicos utilizados para estudo de locação dos poços e eventuais estudos preliminares, como sondagens de reconhecimento e investigações geofísicas, bem como conclusões obtidas, envolvendo a demanda a ser atendida e a qualidade de água requerida.
- c) **Condições de acesso ao canteiro de obras:** Deverá definir responsabilidades quanto ao fornecimento de energia, água e segurança, bem como o dimensionamento e locação dos tanques de armazenamento de lama de perfuração e seu destino final, definindo responsabilidades quanto à integridade proveniente de eventuais danos à área de serviços provocados, principalmente, durante a fase de perfuração. Atendimento burocrático quanto aos aspectos de exigências legais junto ao Ministério do Trabalho e ao CREA. (Anotação de Termo de Responsabilidade Técnica - ART).
- d) **Elementos do Projeto:** Deverá conter um resumo do perfil geológico básico esperado, o número de poços previstos, expectativa de vazão, ordem construtiva dos poços, vazões específicas previstas e altura manométrica total para efeito de cálculo preliminar das bombas a serem adquiridas. O Projeto deverá conter os seguintes elementos, a saber:

- ❑ **Especificações do Projeto:** Deverá especificar o tipo do(s) equipamento(s) de perfuração a ser(em) utilizado(s), bem como equipamentos acessórios, envolvendo tipo e diâmetro das brocas a serem utilizadas, capacidade de grupo gerador e compressor de ar necessário, tipos de tubos com suas espessuras, comprimentos e diâmetros de revestimentos preliminares e definitivos a serem aplicados, equipamentos de pescaria e desenvolvimento, composição da equipe de trabalho, bem como apoio técnico e logístico necessário ao bom andamento da obra.
 - ❑ **Da Perfuração:** Especificação da aplicação de tubos de revestimento preliminar. Definição das profundidades limites a alcançar nos diferentes diâmetros de perfuração especificados. Definição dos serviços necessários, caso ocorram desmoronamentos em profundidades não revestidas.
 - ❑ **Amostragem:** Especificação dos serviços de controle e definição de intervalos de coletas.
 - ❑ **Profundidades, diâmetros de perfuração e revestimentos previstos:** Estes itens deverão fazer parte integrante do Projeto e anexados à Lista de Quantitativos de Materiais e Serviços elaboradas para fins de tomada de preços junto ao mercado.
 - ❑ **Teste de bombeamento preliminar.** Objetiva definir a profundidade ideal de perfuração, visando conhecer a vazão específica preliminar e a qualidade expedita da água obtida, através da dosagem de ferro, cloretos, dureza total, pH, e Sólidos Totais Dissolvidos - STD.
- e) **Revestimento definitivo:** Deverá especificar tipo, diâmetro e material de revestimento definitivo, de tubos lisos e, eventualmente, filtros a serem aplicados, bem como seus comprimentos e aberturas da seção filtrante.
- f) **Serviços de desenvolvimento:** Deverão ser especificados, objetivando o método mais adequado ao aquífero, ou seja, pistoneamento, reversão de fluxo com bomba submersa ou através do método combinado injeção de ar comprimido / pistoneamento.
- g) **Teste de bombeamento definitivo:** Deverá definir o tipo de equipamento de recalque a ser utilizado, o número de horas necessárias à efetiva realização do teste de vazão, bem como os procedimentos para conhecer as reais capacidades de produção do poço e de sua capacidade específica e perdas de carga originadas no poço e aquífero. Em geral, é recomendável teste com duração mínima de 24 horas, por 6 horas de recuperação.
- h) **Coleta de água para análise definitiva:** Amostra de água deverá ser coletada nesta ocasião para dosagem físico-química completa e bacteriológica. Os resultados deverão ser interpretados, objetivando enquadramento da água às finalidades pretendidas.
- i) **Perfil Técnico do Projeto Básico do Poço:** Deverá ser fornecido um desenho do Perfil Técnico do poço, visando fornecer uma rápida visualização de suas características construtivas básicas.

- j) **Dados e documentos a serem fornecidos pela contratada:** Durante a execução da obra deverão ser anotados em planilhas: os tempos despendidos por cada manobra de diâmetro de perfuração e anotação dos níveis de água. Concluídos os serviços a empreiteira deverá fornecer os resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas, bem como o relatório definitivo da obra.
- k) **Instalação de Equipamentos de recalque e de operação do poço:** O projeto deverá especificar aproximadamente o tipo e modelo da bomba a ser instalada, bem com a instalação de instrumentos necessários à proteção da bomba e ao adequado monitoramento do poço, como hidrômetro, tubo piezométrico, tubo de desinfecção, manômetro, horímetro, válvula de retenção, registros, etc., visando monitorar sua produção e a qualidade de água obtida, bem como definir as épocas seguras dos serviços de manutenção do sistema poço-bomba. A este respeito ver tema “OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE POÇOS TUBULARES”.
- l) **Exigências Técnicas.** Poderão ser feitas exigências técnicas através da solicitação de documentação comprobatória dos equipamentos de perfuração especificados, bem como apresentação de Currículo de Atividades Profissionais dos técnicos envolvidos na obra.

9.2. Índice Guia para Elaboração de Projeto de Poço Tubular em Terrenos Sedimentares (Rochas Moles)

- a) Deverá obedecer a mesma relação das especificações de poços em cristalino, acrescentando-se os seguintes itens:
- Definição do canteiro de obras, envolvendo dimensionamento dos tanques de lama e necessidades construtivas para sua escavação.
 - Disponibilidade de água para o preparo dos fluidos de perfuração e lavagem do poço. Deverá ser indicado ao perfurador uma fonte segura de captação de água potável.
 - Definição das características físico-químicas dos fluidos de perfuração (caso se utilize o método de perfuração por circulação direta de lama). Deverão ser definidas principalmente as características da densidade, viscosidade e pH da lama de perfuração para cada horizonte de formação geológica a ser perfurada, visando a obtenção do melhor reboco das paredes do furo, sem provocar danos que acarretem elevadas perdas de carga ao poço e aquífero.
- b) Para poços construídos em sedimento, concluída sua perfuração piloto, recomenda-se ainda executar serviços de perfilagem geofísica, visando a definição de possíveis horizontes contendo água de diferente qualidade (ex: salobra ou doce), definição do melhor posicionamento de filtros, definição da profundidade ideal do topo do pré-filtro e da cimentação, ou mesmo o abandono da obra em sua fase de furo piloto.

10. CAPTAÇÃO DE FONTES

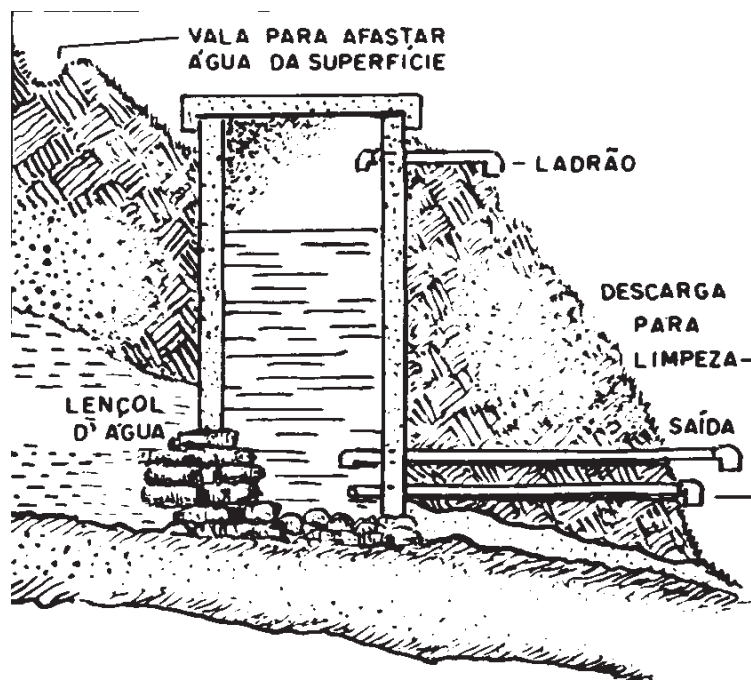
É crença geral entre a população que quem dispõe de uma fonte em seu sítio ou fazenda, tem garantida água pura e cristalina, propiciada pela natureza. A experiência, com base em estatísticas, mostra que se trata de ledão engano, sempre que são feitas campanhas para testar a qualidade em cima de análises de laboratório por parte de serviços públicos de saúde. Os resultados costumam detectar a presença de coliformes fecais e outros indícios de contaminação em percentuais significativos.

A aparente pureza das águas de fontes pode esconder contaminações causadas por agentes na vizinhança, tais como a presença de animais, proximidade de estábulos, chiqueiros e fossas sanitárias. Outra possibilidade de contaminação pode ocorrer em terrenos acidentados quando as águas das chuvas trazem material das partes mais elevadas, contaminando as fontes.

Algumas recomendações básicas para a proteção e para a captação de fontes são apresentadas a seguir:

- Deve ser mantida uma distância horizontal mínima de 30 metros de qualquer fonte potencialmente poluidora como fossas, estábulos, chiqueiros, pastagens, lixo e outras;
- A fonte deve ser captada através de uma caixa cimentada (*Figura 15*) nas partes laterais e superior, onde deve possuir uma tampa de inspeção, se possível com uma abertura mínima de 80x80 cm para permitir a entrada de um homem para limpeza e para realizar a desinfecção periódica com hipoclorito de sódio ou água sanitária;
- A área deve ser protegida por uma cerca para impedir a entrada de animais, afastada, no mínimo, 8 metros da caixa;
- Em volta desta cerca devem ser escavadas canaletas com 40 a 50 cm de profundidade, para escoamento das águas pluviais;
- O fundo dessa caixa deve ser forrado até uma altura de 20 centímetros com areia grossa e pedra britada;
- A caixa deve ser dotada de um ladrão com boca vedada por uma tela fina para impedir a entrada de pequenos animais e de um cano de descarga de fundo com registro, para limpeza; e
- Deve possuir bomba d'água, quando não estiver situada em lugar elevado o suficiente para permitir a condução da água por gravidade, ligada ao reservatório por mangueira bem vedada à caixa.

Caso haja contaminação da fonte, a caixa deve ser esvaziada e seu interior totalmente limpo. Depois, deve-se deixar a água entrar de novo e utilizar meio litro de hipoclorito de sódio a 10% ou 5 litros de água sanitária para cada metro cúbico de água. Deixar descansar por duas horas, esvaziar e encher a caixa novamente. Nestes casos, todos os reservatórios devem passar pelo mesmo processo de desinfecção e a análise da água deve ser repetida dez dias após a limpeza (Revista Benfeitoria).



Caixa de Tomada da Fonte de Encosta

Figura 15 – Caixa de captação (fonte: Fundação SESP, 1981)

11. CONCLUSÕES

Esta publicação foi elaborada com o objetivo de trazer informações sobre as águas subterrâneas do Estado, suas formas de captação e, sobretudo, informar aos usuários sobre sua melhor utilização e formas de preservação, de forma a que participem de sua melhor administração.

A partir da promulgação da Lei Estadual de Recursos Hídricos (Lei nº 3.239, de 02/08/1999), fica obrigatória a concessão de Outorga de direito de uso para exploração de águas subterrâneas. Assim, todos os usuários devem providenciar sua regularização junto ao Governo do Estado do Rio de Janeiro, tanto para quem já utiliza o recurso, quanto para os futuros usuários.

Todavia, nenhuma norma pode ser totalmente fiscalizada e cumprida sem que os usuários do recurso que está sendo normatizado participem de sua aplicação. Isto, também, está implícito na Lei de Recursos Hídricos, tanto na federal como na estadual, onde a sociedade tem papel fundamental na gestão dos recursos hídricos.

12. BIBLIOGRAFIA

Albuquerque, Humberto Rabelo & Oliveira, José Emílio Carvalho. A Importância das Águas Subterrâneas. Revista ABASTECE, nº 4, Out/Nov/Dez de 1999.

- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NB-1290. Construção de Poço para Captação de Água Subterrânea. Março de 1990.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR-12212. Projeto de Poço para Captação de Água Subterrânea. Abril de 1992.
- Barreto, Ana Beatriz da Cunha; Monsore, André Luiz Mussel; Leal, Antônio de Souza & Pimentel, Jorge – Mapa de Favorabilidade Hidrogeológica do Estado do Rio de Janeiro. CPRM Serviço Geológico do Brasil. 2000.
- Cederstron, D.J. Água Subterrânea - Uma Introdução. Rio de Janeiro, 1964.
- Custodio, Emilio & Llamas, Manuel Ramon. Hidrología Subterrânea. Barcelona, 1996.
- Feitosa, Fernando A. Carneiro & Manoel Filho, João. Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM. Fortaleza, 1997.
- Fetter, C.W. Applied Hydrogeology. New Jersey, 1994.
- Finkelstein, Alberto. Publicação Técnica. Companhia T. Janér, 1970.
- Fundação Serviços de Saúde Pública SESP. Manual de Saneamento, Ministério da Saúde, 1981.
- Rebouças, Aldo da Cunha. Caderno Técnico, ABAS, 1994, nº 3
- Revista Benfeitoria. Nascente – Pureza Protegida.
- Rocha, Gerônimo Albuquerque & Jorba, Antônio Ferrer. Manual de Operação e Manutenção de Poços. Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo - DAEE. Junho de 1982.
- UNESCO. GroundWater. Environment and Development Briefs. 1992.

GLOSSÁRIO

Aqüífero – formação geológica da qual pode ser retirada água em níveis suficientes para uma extração econômica por poços.

Aqüífero confinado ou artesiano – tipo de aquífero limitado por cima e por baixo por rochas de permeabilidade muito baixa ou nula.

Aqüífero livre – aquíferos não superpostos por rochas semi ou impermeáveis. O nível d'água de poços desses aquíferos coincidem com a profundidade do lençol freático.

Áreas de descarga – áreas onde a água do aquífero perde-se naturalmente através de fontes, nascentes, brejos ou conexão com outros aquíferos. A água que sai do aquífero é denominada *descarga*.

Áreas de recarga – área por onde as águas (mais freqüentemente das chuvas) se infiltram para reabastecer os aquíferos. As áreas de recarga comumente coincidem com as partes mais elevadas de uma região, em locais onde os aquíferos afloram à superfície.

Barrilete – conjunto de instrumentos utilizados para o controle da operação do poço.

Bit – ferramenta de corte do martelo.

Bomba auto escarvante – bomba que elimina a possibilidade de entrada de ar em seus rotores.

Capacidade específica – é a expressão da produtividade de um poço, obtida pela divisão da sua vazão pelo rebaixamento do nível da água quando bombeada.

Contaminação – poluição causada pela presença de organismos patogênicos ou substâncias tóxicas e/ou radioativas, em teores prejudiciais à saúde humana.

Depleção – situação a que é levado um aquífero que sofre superexploração. Os principais efeitos são a perda de pressão e o rebaixamento do seu nível d'água.

Edutor – tubo de sustentação de bomba submersa (instalada no interior do poço).

Filtro – tubo de revestimento provido de aberturas para permitir a entrada de água proveniente do(s) aquífero(s) no poço.

Franja de capilaridade – pequena faixa acima do lençol freático por onde água da zona saturada move-se para cima, por ação de forças moleculares através de aberturas finas. Onde o lençol freático é muito raso, essa água transfere-se à atmosfera, por evaporação.

Lençol freático – superfície limite entre a zona saturada e a zona não saturada de um aquífero.

Nível dinâmico – é a profundidade atingida sucessivamente pelo nível d'água enquanto esta sendo bombeado.

Nível estático – é a altura alcançada pelo nível d'água com o poço não bombeado.

Perda de Carga – Redução de rendimento do poço.

Poluição – qualquer alteração artificial da qualidade físico-química da água, suficiente para alterar os padrões estabelecidos para determinado uso.

Pré-filtro – material de granulometria adequada, usado como envoltório do filtro, utilizado para evitar a entrada de areia ou materiais abrasivos, e proteger a bomba e aumentar a permeabilidade nas vizinhanças do filtro.

Recarga – processo através do qual, águas das chuvas ou de corpos d'água superficiais infiltram-se até um aquífero.

Remediação – processo de tratamento e recuperação de um aquífero poluído.

Superexploração – extração de água em taxas superiores à recarga por períodos prolongados.

Tubo de Pitot – equipamento utilizado para aferição da vazão do poço.

Tubo liso – tubos de aço ou PVC utilizados para revestir as paredes do poço nas camadas inconsolidadas, de maneira a evitar o desmoronamento e fechamento do furo.

Vazão ótima – vazão máxima estabelecida para a operação do poço sem ultrapassar o nível dinâmico e acarretar fluxo turbulento.

SIGLAS CITADAS

ABAS-RJ - Associação Brasileira de Águas Subterrâneas / Núcleo Rio de Janeiro

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CEDAE – Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Estado do Rio de Janeiro

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

DRM-RJ - Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro

UERJ – Universidade do Estado do Rio de Janeiro / Departamento de Geologia

UFF – Universidade Federal Fluminense / Escola de Engenharia Civil

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro / Departamento de Geologia

UFRRJ – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro / Departamento de Geologia

PROJETO PLANÁGUA SEMADS/GTZ

O Projeto PLANÁGUA SEMADS/GTZ, de Cooperação Técnica Brasil – Alemanha, vem apoiando o Estado do Rio de Janeiro no Gerenciamento dos Recursos Hídricos com enfoque na proteção dos ecossistemas aquáticos. A coordenação brasileira compete à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMADS, enquanto a contrapartida alemã está a cargo da Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).

1ª fase	1997 - 1999
2ª fase	2000 - 2001

Principais Atividades

- Elaboração de linhas básicas e de diretrizes estaduais para a gestão de recursos hídricos**
- Capacitação, treinamento (workshops, seminários, estágios)**
- Consultoria na reestruturação do sistema estadual de recursos hídricos e na regulamentação da lei estadual de recursos hídricos n°. 3239 de 2/8/99**
- Consultoria na implantação de entidades regionais de gestão ambiental (comitês de bacias, consórcios de usuários)**
- Conscientização sobre as interligações ambientais da gestão de recursos hídricos**
- Estudos específicos sobre problemas atuais de recursos hídricos**

Publicações da 1ª fase (1997 – 1999)

- Impactos da Extração de Areia em Rios do Estado do Rio de Janeiro (07/1997, 11/1997, 12/1998)**
- Gestão de Recursos Hídricos na Alemanha (08/1997)**
- Relatório do Seminário Internacional – Gestão de Recursos Hídricos e Saneamento (02/1998)**
- Utilização de Critérios Econômicos para a Valorização da Água no Brasil (05/1998, 12/1998)**

- ❖ **Rios e Córregos – Preservar, Conservar, Renaturalizar – A Recuperação de Rios Possibilidades e Limites da Engenharia Ambiental (08/1998, 05/1999, 04/2001)**
- ❖ **O Litoral do Estado do Rio de Janeiro – Uma Caracterização Físico Ambiental (11/1998)**
- ❖ **Uma Avaliação da Qualidade das Águas Costeiras do Estado do Rio de Janeiro (12/1998)**
- ❖ **Uma Avaliação da Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro (02/1999)**
- ❖ **Subsídios para Gestão dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Macacu, São João, Macaé e Macabu (03/1999)**

Publicações da 2ª fase (2000- 2001)

- ❖ **Bases para Discussão da Regulamentação dos Instrumentos da Política de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro (03/2001)**
- ❖ **Bacias Hidrográficas e Rios Fluminenses – Síntese Informativa por Macrorregião Ambiental (05/2001)**
- ❖ **Bacias Hidrográficas e Recursos Hídricos da Macrorregião 2 – Bacia da Baía de Sepetiba (05/2001)**
- ❖ **Reformulação da Gestão Ambiental do Estado do Rio de Janeiro (05/2001)**
- ❖ **Diretrizes para Implementação de Agências de Gestão Ambiental (05/2001)**
- ❖ **Peixes de Águas Interiores do Estado do Rio de Janeiro (05/2001)**