

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA

NILTON GOMES DE MORAES

SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS:  
CIDADE DE CAÇAPAVA

SÃO PAULO  
NOVEMBRO – 2011

NILTON GOMES DE MORAES

SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: CIDADE DE  
CAÇAPAVA

Dissertação apresentada como exigência parcial para obtenção do Título de Mestre em Tecnologia no Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, no Programa de Mestrado em Tecnologia: Tecnologias Ambientais, sob orientação do Prof. Dr. Dirceu D'Alkmin Telles.

SÃO PAULO  
NOVEMBRO – 2011

FICHA ELABORADA PELA BIBLIOTECA NELSON ALVES VIANA  
FATEC-SP / CEETEPS

M827s Moraes, Nilton Gomes de  
Sistema de captação de águas subterrâneas: cidade de  
Caçapava / Nilton Gomes de Moraes. – São Paulo : CEETEPS,  
2011.  
100 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Dirceu D'Alkmin Telles.  
Dissertação (Mestrado) – Centro Estadual de Educação  
Tecnológica Paula Souza, 2011.

1. Aquífero Taubaté. 2. Gestão de poços tubulares  
profundos. 3. Águas subterrâneas. 4. Sistema de  
Abastecimento Público de Água. I. Telles, Dirceu D'Alkmin.  
II. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza.  
III. Título.

NILTON GOMES DE MORAES

SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: CIDADE DE  
CAÇAPAVA

---

Prof. Dr. Dirceu D'Alkmin Telles - Orientador

---

Prof. Dra. Silvia Pierre Irazusta - Examinador

---

Prof. Dr. Chang Hung Kiang - Examinador

São Paulo, 28 de novembro de 2011

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho, primeiramente aos meus pais, Alarico e Lourdes, que sempre me deram apoio e ensinaram o verdadeiro significado do verbo aprender.

Dedico, ainda, à minha esposa, Bernadete e aos meus dois filhos, Caio e Matheus, que souberam compreender a distância naqueles muitos momentos em que eu estudava, faltando-lhes com a atenção.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos os colaboradores do Programa de Mestrado do CEETEPS e em especial à Cleonice Viana Lima da Silva e à Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Helena Gemignani Peterossi que foram vitais nesta jornada.

Sou grato a minha segunda família que me assistiu e compartilhou comigo nesta disciplina, que são meus Colegas de Curso, sempre me enriquecendo com informações preciosas, que me sensibilizaram principalmente a favor da ética e do profissionalismo no exercício de nossas atividades.

Agradeço, especialmente, ao Professor Dr. Dirceu D'Alkmin Telles que muito habilmente coordenou essa jornada e a todos os professores do Programa de Mestrado do CEETEPS. Também agradeço aos Professores Silvia Pierre Irazusta e Chang Hung Kiang que muito agregaram ao meu trabalho na fase de qualificação.

Finalmente agradeço a meus amigos César, Fernando, Manoel e Eric da Geologia da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, bem como ao seu Corpo Técnico, que além de me orientarem ainda disponibilizaram as informações necessárias.

“Pensamos demasiadamente, sentimos muito pouco.

Necessitamos mais de humildade que de máquinas.

Mais de bondade e ternura que de inteligência.

Sem isso, a vida se tornará violenta e tudo se perderá.”

**Charles Spencer Chaplin**

## RESUMO

MORAES, N. G. **Sistema de Captação de Águas Subterrâneas: Cidade de Caçapava**. 100 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2011.

A escassez de água para os diversos usos gera uma procura crescente e tem causado a exploração cada vez maior da água subterrânea, muitas vezes esgotando os aquíferos num ritmo insustentável. Com isso a operação correta e os programas de manutenção de poços tubulares profundos tornam-se cada vez mais necessários para a exploração equilibrada deste recurso. Esta dissertação estuda o sistema de abastecimento público de água da Cidade de Caçapava/SP, que utiliza primordialmente a exploração das águas subterrâneas provindas do Aquífero Taubaté, que é um dos principais aquíferos do Estado de São Paulo. Os 19 poços que compõem este sistema público de abastecimento foram visitados e tiveram seus dados referentes à vazão, níveis estáticos e dinâmicos, coordenadas geográficas e outros, medidos e coletados. Foi detectado um acentuado processo de perda da capacidade de produção, não só ao longo da operação, mas também devido a falta de um programa de manutenção preventiva, conforme os registros pesquisados. Os dados destes poços foram estudados e projetados sob uma perspectiva de recuperação baseada em manutenções corretivas já aplicadas em poços tubulares profundos no Estado de São Paulo, projetando uma recuperação de 338,78 m<sup>3</sup>/h que poderia oferecer um conforto operacional para a equalização dos regimes de bombeamento. Como recomendação fica a necessidade de execução periódica de programas de manutenção preventiva, tornando o sistema mais confiável e de melhor gestão já que, atualmente, tem produção no limite da demanda requerida.

**Palavras-chave:** Aquífero Taubaté; Gestão de Poços Tubulares Profundos; Águas Subterrâneas; Sistema de Abastecimento Público de Água.

## **ABSTRACT**

MORAES, N. G. **Capitation System of Groundwater: Caçapava's city.** 100 f. Dissertation (Master of Technology) - Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2011.

The shortage of water for various uses and generates an increasing demand has caused the increasing exploitation of groundwater, often depleting the aquifers at a rate unsustainable. With this proper operation and maintenance programs of deep tube wells become increasingly necessary for the balanced exploitation of this resource. This paper studies the system of public water supply of the City of Caçapava / SP, which uses primarily the exploitation of groundwater emanating from the Taubaté Aquifer, which is one of the major aquifers in the State of São Paulo. The 19 wells that make up this public system supply were visited and had their data to the flow, static and dynamic levels, and other geographic coordinates, measured and collected. It was detected an accentuated process of loss of production capacity, not only throughout the operation, but also because of the lack of a preventive maintenance program, according to the records searched. Data from these wells have been studied and projected from the perspective of recovery based on corrective maintenance as applied to deep wells in the State of São Paulo, projecting a recovery of 338,78 m<sup>3</sup>/h that could offer comfort for the equalization of operating systems of pumping. As a recommendation is the need to periodic execution of preventive maintenance programs, making the system more reliable and better management as it, currently, has production in the limit of demand required.

**Key-words:** Taubaté Aquifer; Wells Manager; Groundwater; Public Water Supply.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Volume de água distribuído pela Sabesp.....  | 18 |
| Figura 2 - Comunidades abastecidas pela Sabesp por tipo de fonte .....  | 18 |
| Figura 3 - Disponibilidade de Água no Planeta .....   | 21 |
| Figura 4 - Disponibilidade de Recursos Hídricos no Mundo e nos Estados Brasileiros<br>.....                   | 22 |
| Figura 5 - Distribuição do Consumo de Água no Brasil.....   | 24 |
| Figura 6 - Evolução do Uso Global de Água .....   | 25 |
| Figura 7 - O ciclo hidrológico.....   | 32 |
| Figura 8 - Variáveis de um teste de bombeamento.....  | 39 |
| Figura 9 - Representação gráfica da equação característica do poço .....                                      | 41 |
| Figura 10 - Mapa de localização de Caçapava .....   | 51 |
| Figura 11 - Sistemas de Aquíferos do Estado São Paulo .....   | 54 |
| Figura 12 - Bacia de Taubaté .....  | 55 |
| Figura 13 - Sistema Aquífero Taubaté .....  | 56 |
| Figura 14 - Faixas de vazão explorável indicadas para os aquíferos sedimentares, em<br>m <sup>3</sup> /h..... | 56 |
| Figura 15 - Localização dos Poços estudados .....   | 60 |
| Figura 16 - Localização do Poço CA018PP .....   | 62 |
| Figura 17 - Localização do Poço CA019PP .....   | 64 |
| Figura 18 - Localização do Poço CA021APP .....  | 65 |
| Figura 19 - Localização do Poço CA022PP .....   | 67 |
| Figura 20 - Localização do Poço CA023PP .....   | 68 |
| Figura 21 - Localização do Poço CA024PP .....   | 69 |
| Figura 22 - Localização do Poço CA025PP .....   | 70 |
| Figura 23 - Localização do Poço CA026PP .....   | 71 |
| Figura 24 - Localização do Poço CA027PP .....   | 72 |
| Figura 25 - Localização do Poço CA029PP .....   | 76 |
| Figura 26 - Localização do Poço CA030PP .....   | 77 |
| Figura 27 - Localização do Poço CA031PP .....   | 78 |
| Figura 28 - Localização do Poço CA032PP .....   | 79 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 29 - Localização do Poço CA033PP .....                           | 81 |
| Figura 30 - Localização do Poço CA034PP .....                           | 82 |
| Figura 31 - Localização do Poço NE001PP .....                           | 83 |
| Figura 32 - Localização do Poço NE002PP .....                           | 84 |
| Figura 33 - Localização do Poço SH001PP .....                           | 85 |
| Figura 34 - Localização do Poço VV001PP .....                           | 86 |
| Figura 35 - Comparativo de vazão dos poços de Caçapava .....            | 88 |
| Figura 36 - Comparativo de níveis dinâmicos dos poços de Caçapava ..... | 89 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Distribuição da Água na Terra.....                           | 17 |
| Tabela 2 – Disponibilidade Hídrica no Brasil.....                       | 23 |
| Tabela 3 - Legislação da Água para Consumo Humano.....                  | 27 |
| Tabela 4 - Comparativo de Área e População de Caçapava .....            | 52 |
| Tabela 5 - Poços da Rede de Monitoramento da Cetesb.....                | 59 |
| Tabela 6 - Poços operados em Caçapava .....                             | 61 |
| Tabela 7 - Comparativo do Poço CA018PP .....                            | 63 |
| Tabela 8 - Comparativo do Poço CA019PP .....                            | 64 |
| Tabela 9 - Comparativo do Poço CA021APP .....                           | 66 |
| Tabela 10 - Comparativo do Poço CA022PP .....                           | 67 |
| Tabela 11 - Comparativo do Poço CA023PP .....                           | 68 |
| Tabela 12 - Comparativo do Poço CA024PP .....                           | 69 |
| Tabela 13 - Comparativo do Poço CA025PP .....                           | 70 |
| Tabela 14 - Comparativo do Poço CA026PP .....                           | 71 |
| Tabela 15 - Manutenção do Poço CA027PP.....                             | 74 |
| Tabela 16 - Comparativo do Poço CA027PP .....                           | 74 |
| Tabela 17 - Comparativo do Poço CA029PP.....                            | 76 |
| Tabela 18 - Comparativo do Poço CA030PP .....                           | 77 |
| Tabela 19 - Comparativo do Poço CA031PP .....                           | 78 |
| Tabela 20 - Comparativo do Poço CA032PP .....                           | 79 |
| Tabela 21 - Comparativo do Poço CA033PP .....                           | 81 |
| Tabela 22 - Comparativo do Poço CA034PP .....                           | 82 |
| Tabela 23 - Comparativo do Poço NE001PP .....                           | 83 |
| Tabela 24 - Comparativo do Poço NE002PP .....                           | 84 |
| Tabela 25 - Comparativo do Poço SH001PP .....                           | 85 |
| Tabela 26 - Comparativo do Poço VV001PP .....                           | 86 |
| Tabela 27 - Comparativo das Vazões Específicas .....                    | 90 |
| Tabela 28 - Resultados de Manutenção de Poços pela Sabesp em 2010 ..... | 94 |
| Tabela 29 - Estudo comparativo dos custos de poços .....                | 94 |

|   |    |
|---|----|
| Tabela 30 - Projeção de ações de recuperação..... | 96 |
|---|----|

# SUMÁRIO

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| <b>1.</b> | <b>INTRODUÇÃO</b> .....   | 16 |
| <b>2.</b> | <b>OBJETIVO</b> .....   | 20 |
|           | 2.1. Objetivo Geral .....   | 20 |
|           | 2.2. Objetivo Específico.....                                       | 20 |
| <b>3.</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....                                  | 21 |
|           | 3.1 Águas Subterrâneas .....  | 31 |
|           | 3.2 Características e Parâmetros Físicos de Aquíferos e Poços ..... | 36 |
|           | 3.3 Aspectos Legais e Institucionais .....                          | 43 |
|           | 3.4 Operação e Manutenção de Poços.....                             | 47 |
| <b>4.</b> | <b>METODOLOGIA</b> .....  | 50 |
| <b>5.</b> | <b>RESULTADOS</b> .....   | 51 |
|           | 5.1 Caracterização do Local dos Estudos.....                        | 51 |
|           | 5.2 Caracterização do Sistema Aquífero Taubaté .....                | 54 |
|           | 5.3 Caracterização dos poços de Caçapava .....                      | 60 |
|           | 5.4 Poço CA018PP .....  | 62 |
|           | 5.5 Poço CA019PP .....  | 64 |
|           | 5.6 Poço CA021APP.....  | 65 |
|           | 5.7 Poço CA022PP .....  | 67 |
|           | 5.8 Poço CA023PP .....  | 68 |
|           | 5.9 Poço CA024PP .....  | 69 |
|           | 5.10 Poço CA025PP .....   | 70 |
|           | 5.11 Poço CA026PP .....   | 71 |
|           | 5.12 Poço CA027PP .....   | 72 |
|           | 5.13 Poço CA029PP .....   | 76 |
|           | 5.14 Poço CA030PP .....   | 77 |
|           | 5.15 Poço CA031PP .....   | 78 |
|           | 5.16 Poço CA032PP .....   | 79 |

|   |           |
|---|-----------|
| 5.17 Poço CA033PP .....                 | 81        |
| 5.18 Poço CA034PP .....                 | 82        |
| 5.19 Poço NE001PP .....                 | 83        |
| 5.20 Poço NE002PP .....                 | 84        |
| 5.21 Poço SH001PP .....                 | 85        |
| 5.22 Poço VV001PP .....                 | 86        |
| 5.23 Sistema de Poços de Caçapava ..... | 88        |
| <b>6. OPERAÇÃO DOS POÇOS .....</b>      | <b>91</b> |
| <b>7. CONCLUSÃO .....</b>               | <b>95</b> |
| <b>8. REFERÊNCIAS .....</b>             | <b>98</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

A vida e o sustento da humanidade dependem da água. A água é vital à sobrevivência de todos os organismos vivos conhecidos no planeta, de tal importância que é capaz de prover a existência (STRUCKMEIER, 2005). Apesar ser um bem naturalmente renovável, apresenta condições desfavoráveis para a sua captação, transporte e tratamento, devido às diversas intervenções humanas no seu ciclo natural. A procura de água doce aumenta continuamente ao ritmo do crescimento populacional. No entanto, muitas pessoas vivem em áreas do mundo onde falta água potável essencial à sobrevivência e a sua prosperidade depende do abastecimento de água segura e barata (BENDASSOLLI, 2009).

Dentre as inúmeras atividades que requerem o uso da água, pode-se citar a agricultura, o abastecimento humano e a indústria, como os maiores consumidores mundiais deste insumo, que para acompanhar a voracidade do crescimento da demanda, implementam um excessivo aumento de produção, consumindo mais água em seus processos produtivos, gerando um ciclo de poluição em níveis críticos para os recursos hídricos (CETESB, 1978).

O Brasil é considerado uma nação privilegiada com relação a sua disponibilidade hídrica (ABES, 2009), formada por rios com grandes volumes de água e clima úmido em algumas regiões, o que favorece o ciclo hidrológico e o abastecimento desses rios. Porém, assim como em outros países, algumas localidades do Brasil são castigadas com a escassez da água, em função da densidade populacional em áreas sem acesso a captação ou com problemas de qualidade da água, que podem ocasionar inúmeras doenças e até mesmo epidemias com alto índice de mortalidade infantil.

Segundo o Programa Hidrológico Internacional (UNESCO, 2003) a distribuição da água na Terra, em suas várias formas, está representada conforme a tabela 1.

**Tabela 1- Distribuição da Água na Terra**

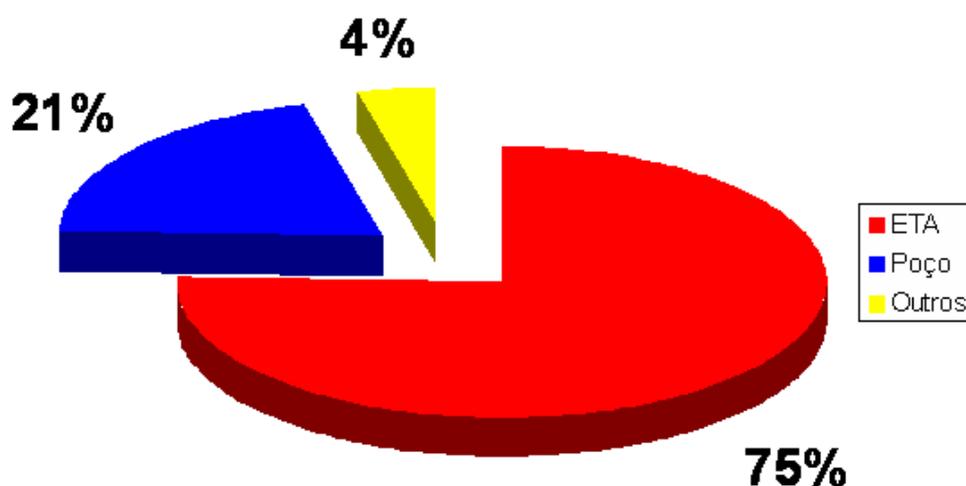
| <b>Tipo</b>             | <b>Ocorrência</b>     | <b>Volumes (km<sup>3</sup>)</b> |
|-------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Água doce superficial   | Rios                  | 1.250                           |
|                         | Lagos                 | 125.000                         |
| Água doce subterrânea   | Umidade do solo       | 67.000                          |
|                         | Até 800 metros        | 4.164.000                       |
|                         | Abaixo de 800 metros  | 4.164.000                       |
| Água doce sólida (gelo) | Geleiras e Glaciais   | 29.200.000                      |
| Água salgada            | Oceanos               | 1.320.000.000                   |
|                         | Lagos e mares salinos | 105.000                         |
| Vapor de água           | Atmosfera             | 12.900                          |
| <b>Total</b>            |                       | <b>1.360.000.000</b>            |

Fonte: Unesco, 2003

Em termos globais é praticamente impossível manter o fornecimento de água doce de qualidade para abastecimento humano, indústria e agricultura se a água subterrânea não for aproveitada, sendo esta a maior e mais segura de todas as fontes de água potável existentes na Terra. Em muitos locais, a maior parte da água potável é de origem subterrânea — 80% na Europa e na Rússia e ainda mais no caso do Norte da África e no Oriente Médio (ABES, 2009).

Os principais recursos de água doce da Terra (ABES, 2009) são: o gelo, a neve e a água subterrânea. Os rios e lagos constituem apenas uma pequena parte do volume total de água doce, como se observa na tabela 1.

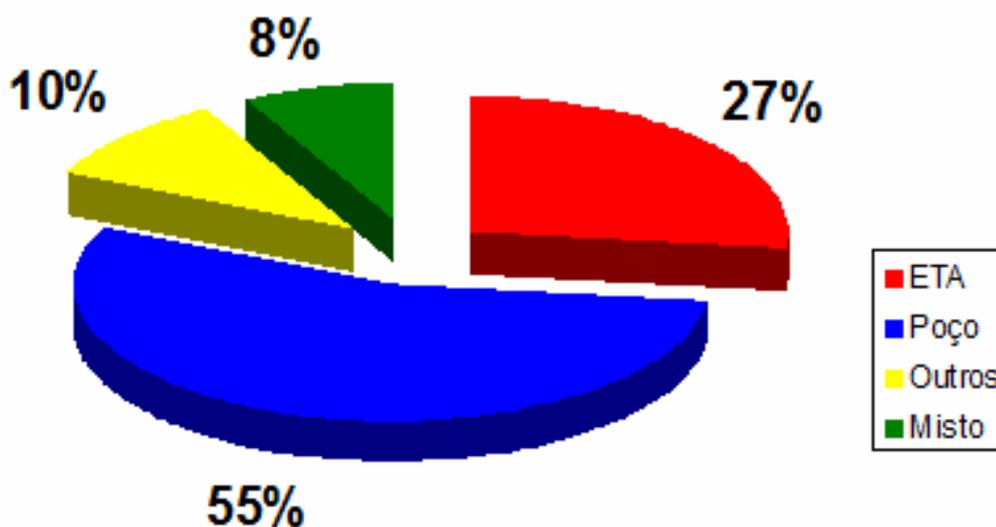
No Estado de São Paulo, cerca de 75% das cidades são abastecidas por águas subterrâneas, sendo que nas cidades abastecidas pela Companhia de Saneamento Básico do Estado (SABESP, 2009), que opera o saneamento básico na maioria das cidades do Estado de São Paulo (368 das 645 cidades), as águas subterrâneas representam 21% do volume total de água distribuído, conforme a figura 1.



**Figura 1 - Volume de água distribuído pela Sabesp**

Fonte: Sabesp, 2009

Porém, quando o observado é a quantidade de comunidades abastecidas com águas subterrâneas, esse percentual chega a 55%, conforme a figura 2. Isso demonstra a importância da utilização desta forma de obtenção de água para consumo.



**Figura 2- Comunidades abastecidas pela Sabesp por tipo de fonte**

Fonte: Sabesp, 2009

No total a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP, 2009) opera 1008 poços em todo interior do Estado e mais de 60 na

Região Metropolitana de São Paulo. Segundo o estudo censitário nacional (IBGE, Censo 2010) 61% da população brasileira é abastecida por água subterrânea.

Outra informação importante é a de que 300 milhões de poços foram perfurados de 1970 a 1995 no Mundo (STRUCKMEIER, 2005) e que, apesar disso, 30% dos habitantes do planeta já sofrem com a escassez.

A utilização de águas subterrâneas apresenta uma série de vantagens e desvantagens (ABES, 2009), conforme listadas abaixo:

- Vantagens: menor custo de investimento; menor prazo de execução; menor custo operacional; parcelamento dos investimentos (perfurações conforme aumento da demanda) e menor impacto ambiental dentre outras;
- Desvantagens: dificuldade de locação devido ao não conhecimento do arquebouço subterrâneo, possibilidade de erro (poços de vazão baixa), presença de elementos de difícil tratamento, etc.

A escolha da cidade de Caçapava para o desenvolvimento deste trabalho levou em conta a dependência da mesma neste tipo de recurso hídrico, já que, é inteiramente abastecida por águas de origem subterrânea. Tudo isso somado aos crescentes relatos de queda de vazão de produção de água em seu sistema de abastecimento.

## **2. OBJETIVO**

### ***2.1. Objetivo Geral***

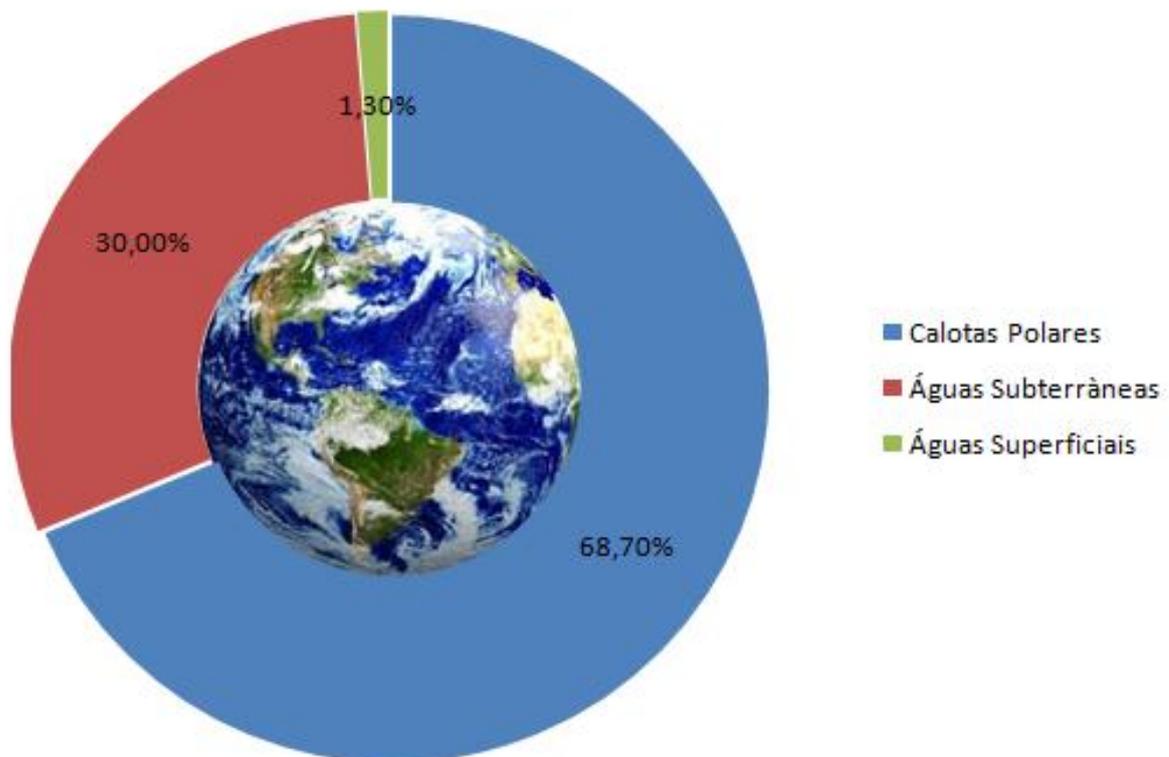
A proposta deste trabalho é a caracterização de um sistema de abastecimento público que se utiliza exclusivamente de águas subterrâneas, seus indicadores e controles e, por intermédio de estudo de caso, realizar uma análise comparativa com resultados das operações e manutenções de poços no Estado de São Paulo.

### ***2.2. Objetivo Específico***

Relacionar as ações propostas por especialistas do setor para aprimoramento da operação dos poços e projetar o reflexo dessas ações propiciando uma otimização da produção no estudo de caso da cidade de Caçapava.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A disponibilidade de água do planeta (ABES, 2009) sofre variações em função do tempo e do espaço, ou seja, são influenciadas por condições climáticas e pelas estações do ano. Desta disponibilidade, apenas uma pequena fração constituída por água doce, em torno de 1% de toda a água existente é considerada própria para consumo. Esse quantitativo de água doce encontra-se fracionado conforme a figura 3.



**Figura 3 - Disponibilidade de Água no Planeta**

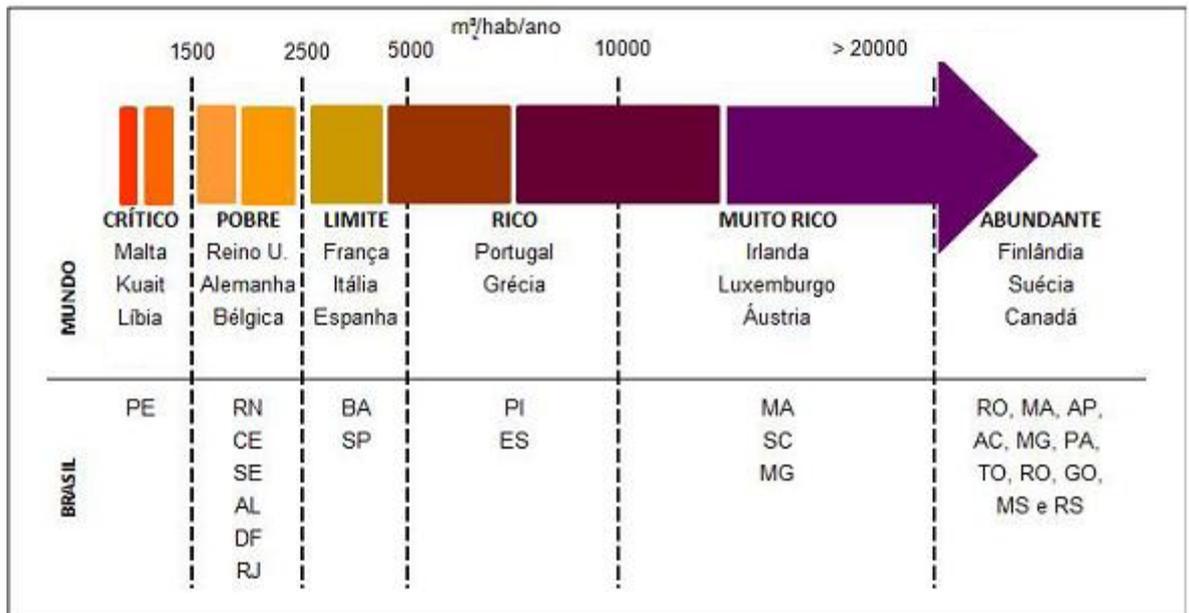
Fonte: Abes, 2009

A partir deste panorama, percebe-se a importância de criar ações e desenvolver tecnologias para racionalizar e aperfeiçoar o uso da água, conscientizando sobre o consumo sustentável e alertando sobre a preservação deste recurso.

A tecnologia ambiental consolida a vivência sustentável como o único caminho de continuidade de desenvolvimento humano, ou seja, o próprio meio ambiente manifestará uma nova condição de subsistência de qualquer atividade (TELLES e COSTA, 2007).

Ainda, segundo os referidos autores, a conscientização ocorre em escalas múltiplas, e a realização depende de contextos políticos, culturais, sociais,

econômicos e geográficos. É necessária especial atenção à atual situação crítica que alguns países e também alguns estados brasileiros encontram-se em relação a essa questão, como é possível verificar na Figura 4.



**Figura 4 - Disponibilidade de Recursos Hídricos no Mundo e nos Estados Brasileiros**

Fonte: Melfi, 2009

O Brasil caminha na direção da sustentabilidade, adotada mundialmente, inclusive no que se refere ao uso inteligente da água, ao controle ambiental e consequentes vantagens sócio-econômicas. Assim, é requisito básico a conferência dos modelos burocráticos, agilidade das políticas institucionais e integração nas organizações públicas e privadas, juntamente com o setor educacional, numa ação que refletirá na conduta de cada indivíduo e adequação dos diversos setores (TELLES e COSTA, 2007).

Com aproximadamente 13% do total de água doce do planeta, que representam uma disponibilidade hídrica de 5.759,50 km³/ano (MIERZWA e HESPANHOL, 2005), levando-se em consideração a vazão média de descarga, o Brasil é considerado um país privilegiado sob o ponto de vista da abundância deste recurso natural.

Porém, a relação concentração de água e população distorce este conceito já que, em algumas regiões do país, é possível verificar o desequilíbrio entre população e disponibilidade hídrica (MIERZWA e HESPANHOL, 2005) aproximadamente 81%

da população brasileira encontra-se em áreas urbanas e desse total 40% concentra-se em 22 regiões metropolitanas. A Tabela 2 apresenta a disponibilidade hídrica no Brasil.

**Tabela 2 – Disponibilidade Hídrica no Brasil**

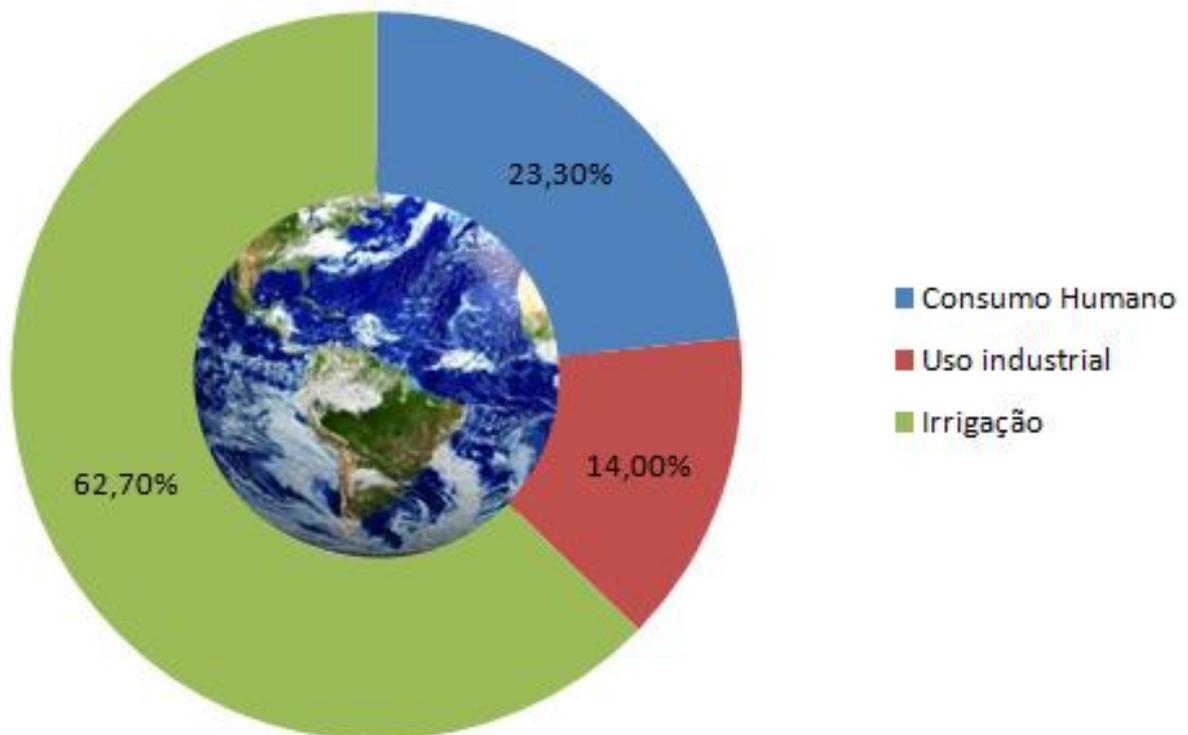
| <b>REGIÃO</b>         | <b>POPULAÇÃO<br/>(hab)</b> | <b>DISPONIBILIDADE<br/>(m<sup>3</sup>/ano.hab)</b> |
|-----------------------|----------------------------|--|
| REGIÃO NORTE          | 12.911.170                 | 285.591,97   |
| REGIÃO NORDESTE       | 47.782.488                 | 4.880,26   |
| REGIÃO SUDESTE        | 72.430.194                 | 4.448,44   |
| REGIÃO SUL            | 25.110.349                 | 14.434,23  |
| REGIÃO CENTRO - OESTE | 11.638.658                 | 100.493,98   |
|                       |                            |  |
| <b>BRASIL</b>         | <b>169.872.859</b>         | <b>33.994,73</b>                                   |
|                       |                            |  |
| Estado de São Paulo   | 37.035.456                 | 2.906,11   |

Fonte: Mierzwa e Hespanhol, 2005

Reconhecida como uma preocupação mundial, a demanda do uso da água, a escassez causada pelo crescimento da população e a necessidade de serviços básicos se agravam, devido ao uso irracional da água e a falta de medidas contra o desperdício. Estima-se que atualmente 80% das doenças nos países em desenvolvimento têm relação com o consumo e a qualidade da água, causando a morte de inúmeras pessoas diariamente (FEITOSA, 2008).

O aumento da população gerou um ciclo de crescimento na agricultura e nos produtos industrializados, que dependem da água para seus processos de produção, aumentando significativamente a procura por fontes de captação e a poluição dos corpos d'água. Portanto, vê-se a necessidade de criar técnicas de consumo eficazes e a conscientização sobre o uso racional da água, revertendo esse quadro com condições de aprimorar a qualidade de vida da população (TELLES, 2006).

O Brasil possui uma considerável quantidade de água doce em seu território, distribuídas em categorias de uso, conforme a figura 5. Porém em função das atuais técnicas utilizadas para o uso da água e a falta de responsabilidade de uma parcela significativa da população, é possível afirmar que todos os setores da economia e da sociedade utilizam a água com pouca eficiência, evitando assim a utilização dos recursos naturais de maneira sustentável (MIERZWA e HESPANHOL, 2005).



**Figura 5 - Distribuição do Consumo de Água no Brasil**

Fonte: Adaptado de Mierzwa e Hespanhol, 2005

No cenário mundial a agricultura e a indústria também configuram os grandes “vilões” dessa realidade, pois estudos recentes revelam que aproximadamente menos da metade da população mundial tem acesso à água potável (ANA, 2007).

De acordo com Rocha, 2005, no Estado de São Paulo a demanda atual por água superficial é da ordem de  $350 \text{ m}^3/\text{s}$ , assim distribuída:

- abastecimento público:  $110 \text{ m}^3/\text{s}$
- uso industrial:  $93 \text{ m}^3/\text{s}$
- irrigação:  $143 \text{ m}^3/\text{s}$
- uso doméstico rural  $4 \text{ m}^3/\text{s}$

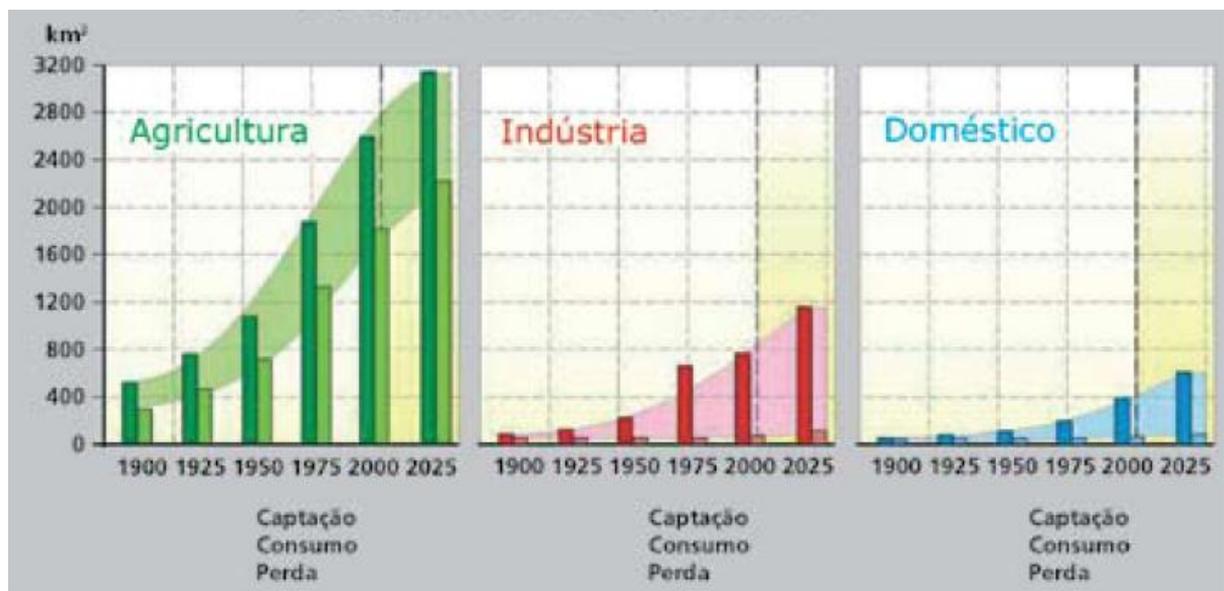
Algumas nações já demonstram interesse em reverter essa situação, com ações de conscientização e valoração dos recursos naturais. A procura de água aumenta à medida que a população, a atividade econômica e a rega também aumentam

(REBOUÇAS, 2006). No entanto, os recursos mundiais acessíveis de água estão a diminuir devido à sua utilização indiscriminada e à poluição.

O equilíbrio entre a procura (consumo) e a oferta (recursos) começa a deixar de existir. Mais de 30 países sofrem de uma séria crise crônica de falta de água e a água subterrânea é cada vez mais usada para fazer face à procura (ABES, 2009).

Esforços consideráveis têm sido feitos para reduzir o consumo na indústria e nos lares (CETESB, 2011), mas muito se tem por fazer no que diz respeito à eficiência na irrigação agrícola. O aumento do uso, não sustentável, de água subterrânea para irrigação em zonas áridas é de particular gravidade.

A proporção de água utilizada nestes três setores varia de região para região e em função dos níveis de desenvolvimento económico (STRUCKMEIER, 2005). Na Europa e na América do Norte, a água é utilizada, preferencialmente, pelo setor industrial, enquanto que na Ásia e na África o principal consumidor é a agricultura. Desta forma, em muitas regiões áridas e semi-áridas, cerca de 30% da água subterrânea é extraída para rega e a tendência tem aumentado. A figura 6 mostra a evolução do uso da água no mundo.



**Figura 6 - Evolução do Uso Global de Água**

Fonte: Struckmeier, 2005

Os vários usos da água estão descritos a seguir (CETESB, 2011):

#### **a) Consumo Humano**

A Qualidade da água para o consumo humano deve atender a padrões de qualidade e de potabilidade, garantindo que suas características físicas, químicas e biológicas estejam dentro dos padrões recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS) (CETESB, 2011). Devido ao fato da água ser vital para as atividades do corpo humano, também para a higiene e preparo de alimentos devem ter seu uso priorizado. No Brasil estes padrões estão definidos na Portaria 518/04 do Ministério da Saúde. Na tabela 3 estão descritas de forma cronológica a evolução das legislações brasileiras para a água para consumo humano.

**Tabela 3 - Legislação da Água para Consumo Humano**

| <b>Legislações – Água para o consumo humano</b> |                           |  |
|---|---------------------------|--|
| <b>Publicação</b>                               | <b>Ato</b>                | <b>Descrição</b>   |
| 03/04/2008                                      | Resolução 396             | Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.   |
| 17/03/2005                                      | Resolução 357             | Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. |
| 25/03/2004                                      | Portaria Ministerial 518  | Estabelece os proc. e resp. relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.  |
| 10/01/2003                                      | Resolução Estadual SS 4   | Estabelece os proc. e resp.s relativos ao Controle e Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano no Estado de São Paulo  |
| 29/12/2000                                      | Portaria Federal 1.469    | Estabelece os proc. e resp. relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.  |
| 29/11/2000                                      | Resolução Federal 274     | Classificação das águas doces, salobras e salinas essencial à defesa dos níveis de qualidade, parâmetros e indicadores específicos.  |
| 17/07/2000                                      | Lei Fed. 9.984            | Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Água – ANA   |
| 31/03/1999                                      | Resolução Estadual SS 48  | Dispõe sobre o transporte e comercialização de água potável através de caminhões-pipa e dá outras providências.  |
| 26/08/1997                                      | Res. Conjunta SS/SMA 1    | Dispõe o teor mínimo de cloro residual livre na rede de abastecimento de água.   |
| 08/01/1997                                      | Lei Federal 9.433         | Institui a Política de Recursos Hídricos, cria o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos   |
| 25/10/1996                                      | Resolução Estadual SS 293 | Estabelece os procedimentos do Programa de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano no Est. de São Paulo.   |
| 15/08/1995                                      | Resolução Estadual SS 250 | Define teores de concentração de íon fluoreto nas águas para consumo humano, dos sistemas públicos de abastecimento.   |
| 26/04/1995                                      | Resolução Estadual SS 50  | Dispõe sobre a utilização do processo de cloroaminação para desinfecção de água para consumo humano.   |
| 31/01/1992                                      | Resolução Estadual SS 45  | Institui o Prog. de Vigilância da Qualidade da Água para o Cons. Humano (PROÁGUA) e aprova diretrizes para sua implantação   |
| 30/12/1991                                      | Lei Estadual 7.633        | Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Rec.Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos  |
| 24/12/1991                                      | Portaria CVS 22           | Padrão de potabilidade da água para produção de gelo   |
| 19/12/1991                                      | Portaria CVS 21           | Disciplina o padrão bacteriológico das águas de irrigação de plantações de hortaliças e frutas rasteiras   |
| 27/06/1991                                      | Com. CVS 36               | Desinfecção de Reservatório Domiciliar   |
| 27/06/1991                                      | Com. CVS 37               | Desinfecção de Poços Freáticos   |
| 19/01/1990                                      | Portaria Federal GM 36    | Aprova as normas e o padrão de Potabilidade da Água destinada ao Consumo Humano.   |
| 02/06/1988                                      | Lei Estadual 6.134        | Dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo, e dá outras providências   |
| 18/06/1986                                      | Resolução CONAMA 20       | Estabelece classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional.   |
| 10/03/1978                                      | Portaria Federal 443      | Estabelece os requisitos sanitários mínimos para projeto, construção, operação e manutenção dos serviços de abastecimento público de água, para obter e manter a potabilidade da água.             |
| 13/09/1977                                      | Decreto Estadual 10.330   | Dispõe sobre a atuação dos órgãos estaduais, no tocante à aplicação das normas federais que disciplinam a fluoretação ao abastecimento público.  |
| 09/03/1977                                      | Dec. Federal 79.367       | Dispõe sobre normas e o padrão de potabilidade de água e da outras providências.   |
| 26/12/1975                                      | Portaria Federal 635      | Aprova as Normas e Padrões sobre a fluoretação da água dos sistemas públicos de abastecimento.   |
| 22/12/1975                                      | Decreto Federal 76.872    | Regulamenta a Lei 6.050, de 24 de Maio de 1974, que dispõe sobre Fluoretação em Sistemas Públicos de Abastecimento.  |
| 24/05/1974                                      | Lei Federal 6.050         | Dispõe sobre a Fluoretação da Água em Sistemas de Abastecimento quando existir Estação de Tratamento.  |
| 10/07/1934                                      | Dec. Federal 24.643       | Código de Águas  |

## **b) Uso Industrial**

No caso da indústria, a água pode ser utilizada como matéria-prima ou fazer parte do processo de industrialização. É geralmente um potencial consumidor de água e gerador de efluentes. Dependendo de como será aplicado o uso da água em seus processos, deve apresentar grau de pureza refinado e os padrões de qualidade bem definidos.

## **c) Agricultura**

Considerada como uma das mais antigas aplicações para o uso da água, a técnica de irrigação é utilizada para suprir os tempos de estiagem, possibilitando colheitas mais produtivas em função da disponibilidade da água. Deve atender a padrões de qualidade, que podem variar de acordo com o tipo de plantação, principalmente para produtos destinados ao consumo humano.

No mundo, a agricultura é responsável pelo consumo de quase 70% das águas captadas nos rios, lagos e aquíferos (HESPANHOL, 2002), razão pela qual seu potencial de desperdício é um dos mais alarmantes no mundo, uma vez que a água que não é absorvida pela plantação com a transpiração das folhas, sofre o fenômeno da evaporação. Também o reabastecimento dos aquíferos pela infiltração no solo, torna uma grande quantidade de água improdutiva, fazendo com que a agricultura afete de forma negativa as reservas hídricas com o uso intenso da água.

## **d) Geração de Energia**

A água apresenta um enorme potencial gerador de energia elétrica, para tanto é necessário que um conjunto de fatores transforme a energia cinética, potencial ou térmica disponível na água em energia elétrica (HESPANHOL, 2002). Tanto no processo de transformação, como no processo que utiliza o vapor para a geração de energia a partir da água, deve-se obedecer a alguns requisitos de pureza, a fim de evitar que os equipamentos apresentem problemas causados por incrustação ou corrosão, necessitando de paradas para manutenção ou substituição dos equipamentos.

## **e) Transporte**

A água é utilizada para o transporte de pessoas e cargas desde os tempos primórdios da humanidade, ultrapassando fronteiras, encurtando distâncias e influenciando na potencialização do comércio. Atualmente, as hidrovias e os mares possuem capacidade de transpor distâncias com o uso de barcos ou navios, com capacidade para carregar cargas ou pessoas a baixo custo em relação a outros meios de transportes, devido a sua grande capacidade de carregamento.

Não é necessário preocupar-se com questões de qualidade da água, porém há restrições com relação às características geográficas, vazões e dimensões dos cursos d'água para navegação em rios e canais, e em alguns pontos característicos dos oceanos.

#### **f) Recreação**

Divide-se seu uso em duas categorias, sendo as de contato primário para atividades como natação, banhos de recreação e esportes aquáticos e contato secundário para as atividades de náutica e pesca. Deve-se levar em conta a qualidade da água em função do contato com o ser humano, principalmente para casos onde pode ocorrer a ingestão. A legislação brasileira classifica as águas como excelente, muito boa, satisfatória, próprias ou impróprias.

#### **g) Paisagismo**

Utilizada para acrescentar características estéticas em diversas áreas, a água pode criar uma forma harmônica em jardins, e apresentar-se sob diversas formas, em movimento ou em repouso, na forma de lagos ou espelhos d'água. Em regiões de clima mais seco contribui para a qualidade do ar, melhorando as condições de umidade do ambiente.

#### **h) Transporte de Efluentes**

Considerada como o uso menos nobre da água, transporta as substâncias com as quais entra em contato até o local destinado a descarte. Para esta aplicação, não é necessário preocupar-se com o grau de exigência da qualidade da água e sim com o impacto causado no meio ambiente.

#### **i) Água de Reúso**

O reuso da água consiste na utilização dessa substância por duas ou mais vezes, reproduzindo o que ocorre espontaneamente na natureza através do “ciclo da água”, com a finalidade de evitar que as indústrias ou grandes condomínios residenciais e comerciais continuem consumindo água limpa em atividades em que seu uso é dispensável. Com isso, preserva-se a água potável para o atendimento exclusivo das necessidades que exigem sua pureza e para o consumo humano (MELFI, 2009).

A água reaproveitada pode ser utilizada na recarga do lençol freático, na geração de energia, na irrigação, na reabilitação de corpos d’água e industrial, na refrigeração de equipamentos, na lavagem de ruas e feiras livres, na limpeza de monumentos, em sistemas de controle de incêndio, na limpeza de banheiros e pátios, em descargas sanitárias, nas fontes luminosas, etc. Em vários países do mundo o reuso planejado da água já é uma solução adotada com sucesso em diversos processos (MELFI, 2009).

### **3.1 Águas Subterrâneas**

A água subterrânea está situada em formações geológicas sub-superficiais chamadas aquíferos (REBOUÇAS, 2006). Ela corresponde a aproximadamente 30 % da totalidade de água potável da Terra e 94 % de toda a água doce disponível (água doce não armazenada nos glaciares e lençóis de gelo).

Ao contrário de outros recursos naturais ou matérias-primas, a água subterrânea existe em todo o mundo. A possibilidade de ser extraída varia grandemente de local para local, dependendo das condições de precipitação e da distribuição dos aquíferos (ABES, 2009). Geralmente, a água subterrânea apenas é renovada em determinado período do ano, mas pode ser extraída durante o ano inteiro. Desde que o seu reabastecimento seja adequado e que a fonte se encontre protegida da poluição, a água subterrânea pode ser extraída indefinidamente.

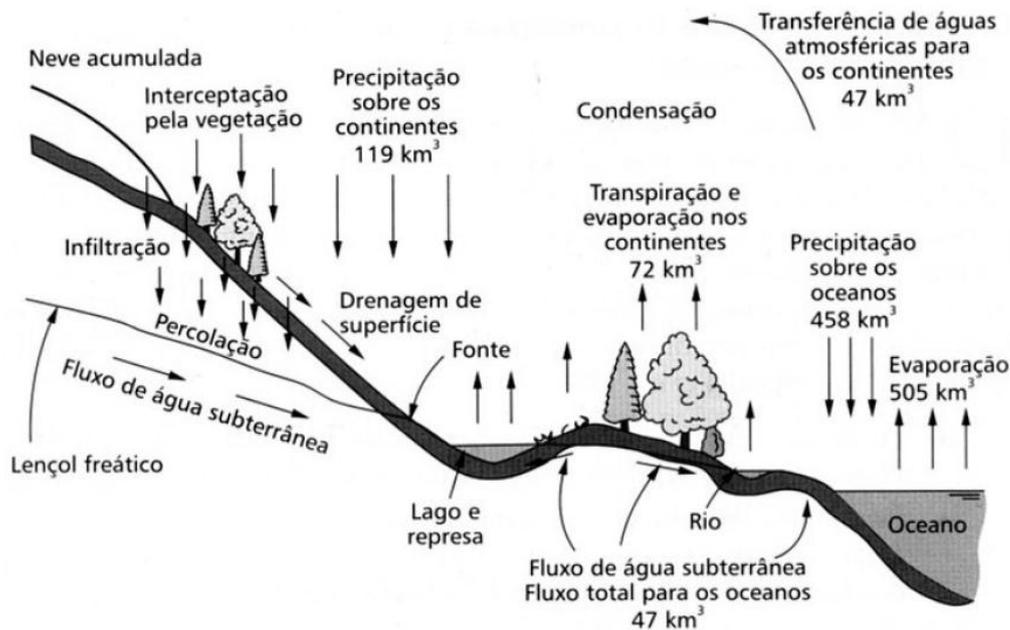
A água subterrânea faz parte do ciclo da água (REBOUÇAS, 2006), portanto, encontra-se intimamente relacionada com processos atmosféricos e climáticos, com o regime de águas superficiais de rios e lagos e com as nascentes e as terras úmidas que a água subterrânea alimenta naturalmente ao chegar à superfície. Todas estas fontes são complementares umas das outras, mas podem ser extremamente variadas, estendendo-se desde as zonas áridas, onde praticamente não existe água, até as zonas tropicais úmidas com abundante água superficial e elevada precipitação.

A quantidade de água subterrânea envolvida, hoje em dia, no ciclo da água é muito menor do que o volume de água subterrânea que se encontra armazenada em estratos porosos ou fraturados, a uma profundidade de poucos milhares de metros abaixo da superfície (REBOUÇAS, 2006).

Estima-se que a totalidade dos recursos subterrâneos de água doce seja de cerca de 10.000.000 km<sup>3</sup> — mais de duzentas vezes o total dos recursos de água doce renovados anualmente pela chuva (STRUCKMEIER, 2005). Isto acontece porque a maior parte dos recursos de água subterrânea se acumulou ao longo de séculos, ou mesmo milênios. Em alguns locais, eles são testemunhos de climas mais úmidos que existiram no passado.

A enorme quantidade de água doce existente no globo é renovada, anualmente, devido à precipitação atmosférica. Os rios são de primordial importância na

distribuição desta quantidade de água. Na Figura 7 está representado simplificada o Ciclo Hidrológico da água.



**Figura 7 - O ciclo hidrológico**

Fonte: Tundisi, 2003

O Ciclo Hidrológico é a movimentação contínua da água na superfície, por baixo da superfície da terra e entre a terra e a atmosfera. A água está presente em várias formas enquanto ela circula (TUNDISI, 2003). A água na superfície é conhecida como Água Superficial. A água debaixo da superfície da terra é conhecida como Água Subterrânea, enquanto que o vapor de água é chamado água atmosférica. O ciclo hidrológico inclui evaporação e transpiração, condensação do vapor de água na atmosfera, provocando a precipitação e o movimento da água superficial e da água subterrânea na terra. A água da atmosfera chega à terra como precipitação: chuva, neve e granizo.

Depois de atingir a superfície da terra, a água pode (TUNDISI, 2003):

- Infiltrar no solo para se transformar em água do solo, ou penetrar mais para baixo para alimentar a água subterrânea;
- Acumular-se como água nos lagos, zonas úmidas e oceanos ou como neve e gelo, em zonas frias tais como nos glaciares;

- Escoar como água superficial, de montante a jusante, num trajeto através de cursos de água, rios, lagos, e zonas úmidas; ou
- Evaporar-se do solo e da superfície das águas ou transpirar da vegetação (coletivamente designada por evapo-transpiração) para se transformar em água atmosférica. Esta, então, está disponível para formar a precipitação quando arrefece e se condensa, completando assim o ciclo hidrológico.

Nas zonas áridas do mundo (ABES, 2009), a água doce é, normalmente, escassa, forçando as populações locais a usar toda a água subterrânea disponível. Na África Austral, a água subterrânea constitui um recurso crítico devido à limitada disponibilidade e à qualidade variável dos recursos de água superficial. Todavia, uma utilização tão intensiva da água subterrânea deveria ser evitada, uma vez que tal recurso não é sustentável e pode originar alguns riscos, tais como subsidência e fissuração dos solos. A captação de água subterrânea apenas é praticável em casos relativamente raros, nos quais a reserva estática de água subterrânea é, proporcionalmente, muito maior do que a população residente.

No Brasil, as reservas de águas subterrâneas são estimadas em 112.000 km<sup>3</sup>. Um grande volume dessas águas é destinado ao abastecimento público. A maioria das cidades do Maranhão, São Paulo e Piauí são abastecidas com águas subterrâneas. Essas águas constituem-se uma fonte de suprimento permanente para varias cidades do Brasil (ANA, 2002).

A possibilidade concreta da escassez de água doce começa a tornar-se, cada vez mais, a grande ameaça ao desenvolvimento econômico e à estabilidade política do mundo nas próximas décadas. As disputas pelo uso da água poderão, inclusive, desencadear conflitos e guerras em escala imprevisível (REBOUÇAS, 2006).

Os países que detêm grandes reservas naturais de água doce, como o Brasil, são acompanhados de perto como potenciais fornecedores (ONU, 2006). Como a demanda por água potável cresce em todo mundo, este é um mercado de dimensões ainda incalculáveis.

Para a solução desse problema, o passo inicial é o completo conhecimento do ciclo hidrológico, que vai possibilitar correta avaliação da disponibilidade dos recursos

hídricos de uma determinada região (REBOUÇAS, 2006). Uma das partes mais importante desse estudo é entender o que acontece com as águas subterrâneas, sem dúvida a menos conhecida do referido ciclo.

A procura crescente de água tem causado a exploração cada vez maior da água subterrânea (MELFI, 2009), muitas vezes esgotando os aquíferos num ritmo insustentável. Enquanto que o aumento da procura tem forçado ou mesmo esgotado recursos de águas superficiais, autoridades nacionais e regionais tem se voltado, cada vez mais, para a água subterrânea, um recurso largamente ignorado e mal entendido no passado como uma solução.

Aquíferos são habitualmente definidos como camadas de rocha dura ou sedimentos não consolidados que podem reter quantidades relevantes de água (REBOUÇAS, 2006). Um aquífero que ocorra em sedimentos não consolidados é referido como um aquífero primário (ou tendo porosidade primária), significando que a água é retida nos espaços entre as partículas da rocha. Um aquífero secundário é aquele que ocorre em rocha consolidada, onde a água não é absorvida no interior da rocha, mas sim retida entre maciços de pedra impermeáveis. Estes espaços são fraturas, fissuras ou falhas na rocha, criados quando a rocha se formou, ou mais tarde devido a processos geológicos ou tectônicos.

O nível de água no corpo de uma rocha é conhecido como lençol freático (PENNER, 2007); num aquífero primário este é o nível físico na rocha, até onde a água está presente. Num aquífero secundário, o nível freático constitui uma representação abstrata da quantidade de água retida nos espaços entre as rochas.

Num aquífero confinado, o limite superior do aquífero encontra o corpo impermeável não fraturado de rocha que bloqueia ambos os fluxos de água para o aquífero: de cima para baixo (recarga) e a extração da água da parte superior (TODD, 2006). Aquíferos confinados devem ser recarregados por fluxos laterais de uma zona de recarga adjacente. Um aquífero não confinado não é limitado por uma camada impermeável; ele pode ser recarregado por água que se infiltra do solo, ou em caso da água existente no aquífero estiver sob pressão, esta pode ser infiltrada para a superfície sem restrição.

A água subterrânea é um recurso renovável, alimentado ou recarregado quando a chuva é absorvida através do solo e flui para baixo para se juntar à água já existente no aquífero (REBOUÇAS, 2006). A recarga de água subterrânea ocorre através de:

- Infiltração de precipitação através do solo
- Água de lagos ou rios que se infiltram através dos leitos e margens.
- Vazamentos de fontes adjacentes de água subterrânea
- Recarga artificial de irrigação, fugas de tubagem, injeção directa, etc.

Descarga de água subterrânea ocorre através de:

- Evaporação de lençóis freáticos elevados próximos da superfície
- Infiltrações para a superfície em cursos de água ou nascentes
- Fugas para fontes de água subterrânea adjacentes
- Extração artificial

Para que a água subterrânea se mantenha disponível para abastecimento, ela tem que ser continuamente alimentada através de recarga dos cursos de água da superfície (PENNER, 2007). Estas fontes normalmente incluem a chuva e correntes de água. O processo e o índice de recarga dependem da natureza do aquífero, uma vez que ela afeta a sua habilidade em receber e armazenar água e controla o seu movimento dentro do aquífero. Por exemplo, tratando-se de aquíferos fraturados, a chuva pode ser uma fonte importante de recarga que eventualmente reemerge como caudal de base nos cursos de água durante a estação seca.

Contudo, se a extração de água subterrânea (por vezes denominada “exploração”) é superior à taxa de recarga, o recurso minguará e pode ser esgotado (TODD, 2006). Em alguns casos, a gestão insustentável de água subterrânea pode conduzir ao colapso de um aquífero, dificultando a extração de água.

A água subterrânea é normalmente explorada através de poços de água subterrânea ou furos (REBOUÇAS, 2006). Estes poços são perfurados através da

camada do solo para o interior da rocha até ao lençol freático. Os furos são normalmente perfurados, utilizando sondas montadas em caminhões. A água subterrânea pode ser mantida sob pressão por uma camada confinante; quando a broca penetra o aquífero, a água é libertada sob pressão: isto é conhecido por aquífero artesianos ou poço.

A localização correta de furos depende da geologia de uma determinada área. Um alvo de sondagem é normalmente escolhido para interceptar um aquífero primário ou para interceptar uma grande fissura ou fratura na rocha, permitindo que a água seja bombeada para fora, ou seja, libertada sob pressão (REBOUÇAS, 2006). Furos são localizados utilizando mapas geológicos, fotografias aéreas, imagens de satélites que, combinados com um conhecimento do tipo de rocha e a maneira como foi formada, permite ao geólogo estimar onde é que a água pode ser encontrada.

Adicionalmente, conhecimentos de geomorfologia e das características da água subterrânea a nível local e regional são utilizados para identificar locais potenciais para a perfuração. Em zonas mais secas, a presença de vegetação pode também indicar a presença de água subterrânea.

Devido às características ambientais de interconexão dos corpos hídricos superficiais e subterrâneos (REBOUÇAS, 2006), para que seja possível promover a gestão integrada destes recursos é necessário que se tenha conhecimento da ocorrência e do potencial hídrico dos aquíferos do país. Mais ainda, é necessário fomentar o desenvolvimento do conhecimento das inter-relações entre os sistemas atmosférico, subterrâneo e superficial (ciclo hidrológico). Nesse contexto as informações disponíveis sobre as águas subterrâneas são ainda insuficientes e muito dispersas.

### ***3.2 Características e Parâmetros Físicos de Aquíferos e Poços***

Um aquífero subterrâneo pode ser definido como uma unidade geológica saturada, permeável, capaz de transmitir economicamente quantidades significativas de água para poços (FEITOSA, 2008). Os aquíferos mais comuns são areia não consolidada e cascalho. Rochas sedimentares permeáveis como arenito e calcário,

rochas vulcânicas e cristalinas fraturadas também podem ser classificadas como aquíferos.

Após a perfuração de poços profundos, quando estes são executados com equipamentos modernos e de acordo com as normas técnicas atuais, é realizado o chamado “teste de vazão” do poço (SAGGIORO, 2005). Este teste consiste em se extrair continuamente uma vazão conhecida e de crescimento escalonado ao longo do tempo, medindo-se periodicamente seu nível dinâmico, sendo que no instante inicial do teste o nível medido é considerado como sendo o nível estático. Com os resultados obtidos deste teste, determina-se o ponto máximo de trabalho deste poço, ou seja, qual deverá ser a vazão máxima extraída e qual será seu nível dinâmico para esta situação. Uma outra característica determinada é a “curva de rebaixamento” do poço, a qual representa o rebaixamento do nível dinâmico em função da vazão de trabalho do poço (SAGGIORO, 2005). Esta curva normalmente é de segundo grau e oferece grau de precisão decrescente ao longo dos anos de operação.

O rebaixamento real em um poço bombeado obedece aproximadamente à equação:

$$s = BQ + CQ^2$$

Onde:

**s** é o rebaixamento real, medido no poço em bombeamento, em metros.

**B** é o coeficiente de perda do aquífero

**C** é o coeficiente de perdas do poço

**Q** é a vazão, em m<sup>3</sup>/h

O termo BQ da equação representa o rebaixamento devido às perdas do aquífero (ROCHA, 2007). O coeficiente B é função do tempo de bombeamento.

O termo CQ<sup>2</sup> representa o sobre-rebaixamento devido às perdas de carga do poço. O coeficiente C independe do tempo.

Para determinar os coeficientes B e C é necessário conhecer os rebaixamentos correspondentes a três ou quatro vazões distintas, ou seja, é necessário efetuar um teste de bombeamento em etapas ou teste de produção.

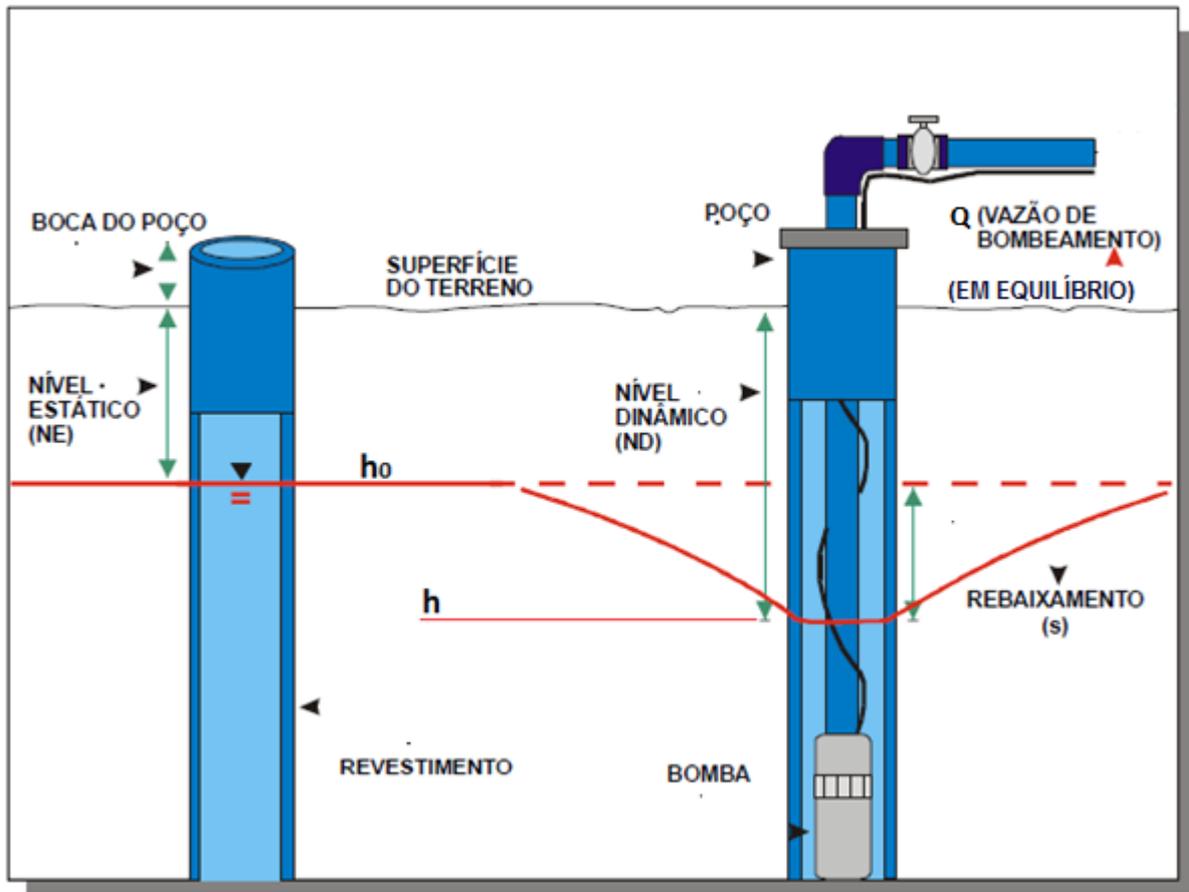
Os testes de bombeamento representam, sem nenhuma dúvida, a forma de mais fácil aplicação e maior garantia em seus resultados, que é usada tradicionalmente para a determinação dos parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos e para a verificação da qualidade da construção das obras de captação de água subterrânea, além de ser a ferramenta indispensável para a determinação de vazões de exploração de poços (ROCHA, 2007).

Um teste de bombeamento (ROCHA, 2007) é uma operação que consiste no bombeamento de um poço durante certo intervalo de tempo e o registro da evolução dos rebaixamentos em função do tempo.

As variáveis envolvidas no bombeamento de um poço (FEITOSA, 2008) e que devem ser monitoradas são as seguintes:

- Vazão de Bombeamento (Q)
- Rebaixamento do Nível da Água dentro do Poço (s)
- Tempo (t)

A vazão de bombeamento é o volume de água por unidade de tempo extraído do poço por um equipamento de bombeamento. Já o Rebaixamento do nível da água dentro do poço é a distância entre o nível estático (NE) e o nível dinâmico (ND), sendo que o Nível estático (NE) é a distância da superfície do terreno ao nível da água dentro do poço antes de iniciar o bombeamento e o Nível dinâmico (ND) é a distância entre a superfície do terreno e o nível da água dentro do poço após o início do bombeamento. Essas variáveis estão representadas na figura 8.



**Figura 8 - Variáveis de um teste de bombeamento**

Fonte: Feitosa, 2008

Assim, a curva de rebaixamento determinada a partir do teste de vazão é representativa do poço apenas naquele momento, sofrendo enormes variações ao longo dos anos. Estas variações são devidas a uma série de fatores:

- Alteração na capacidade de recarga do aquífero;
- Interferência de poços vizinhos perfurados posteriormente ou com alterações em sua condição de exploração
- Alteração do nível estático do aquífero quando do início de operação da bomba;
- Ciclo de operação da bomba;
- Tempo de repouso do poço.

A avaliação da capacidade de exploração de um poço ou de uma bateria de poços é uma tarefa que requer uma série de variáveis, envolvendo tanto o aquífero captado quanto a própria obra de captação. Em geral, para a solução deste problema, adota-se um modelo conceitual.

Por definição, o modelo conceitual é um conjunto de hipóteses que descreve, de maneira ideal, as principais feições do meio hidrogeológico real (FEITOSA, 2008). O método do modelo conceitual é considerado como uma das ferramentas mais poderosas que se dispões para investigar fenômenos físicos (sistemas) complicados, assim entendidos aqueles sistemas cujo tratamento matemático se afigura praticamente impossível. De acordo com esse método, o sistema real, ou fenômeno, é substituído por um sistema mais simples, fictício ou ideal, passível de tratamento matemático.

No caso do fluxo de água subterrânea para um poço, o método do modelo conceitual tem sido aplicado de forma generalizada (FEITOSA, 2008), tanto para aquíferos das formações sedimentares granulares, quanto para as zonas aquíferas das formações cristalinas fraturadas, cujo domínio é ainda mais complexo (geometria indefinida, descontinuidade, heterogeneidade, anisotropia, etc.).

Os procedimentos para a realização deste tipo de teste são relativamente simples e podem muito bem ser aplicados por um técnico qualificado. Porém, sua preparação prévia é fundamental; é preciso organizá-lo a partir do conhecimento das condições hidrogeológicas locais, e das características de construção do poço, escolhendo o equipamento mais adequado e programando a execução (ROCHA, 2007).

A partir do Teste de bombeamento é determinada a Vazão específica que consiste na razão entre vazão de bombeamento (Q) e o rebaixamento (s) produzido no poço em função do bombeamento (FEITOSA, 2008), para um determinado tempo, conforme a fórmula abaixo:

$$Q_{esp} = \frac{Q}{s}$$

Onde:

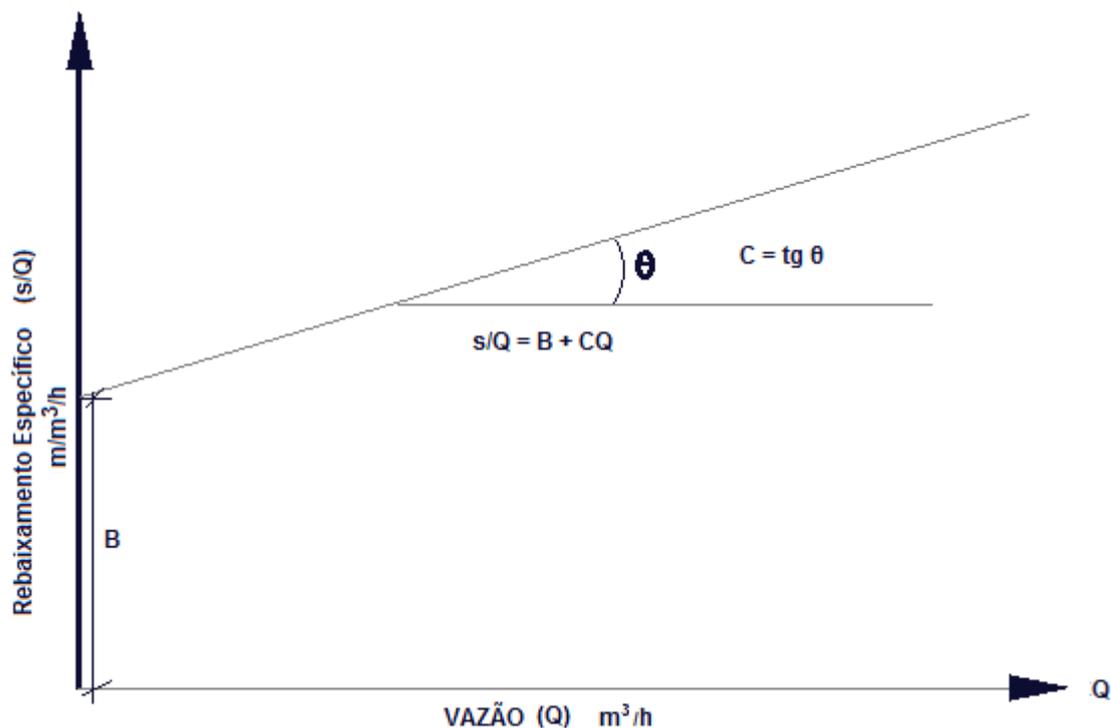
$Q_{\text{esp}}$  = Vazão Específica ( $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ )

$Q$  = Vazão de exploração ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$s$  = Rebaixamento do nível do poço (m) ( $h - h_0$ )

Usualmente, a capacidade específica é expressa em  $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ ,  $\text{L}/\text{h}/\text{m}$ ,  $\text{L}/\text{s}/\text{m}$ , não sendo comum utilizar uma medida diferente do metro para expressar o rebaixamento (FEITOSA, 2008). Este parâmetro, em geral, é utilizado para expressar a produtividade de um poço, mas, ressalta-se que isto é válido para o regime estacionário. Para o regime transiente, a capacidade específica decai ao longo do tempo, portanto deve sempre ser associada ao tempo de bombeamento do respectivo valor do rebaixamento.

Como resultado do teste de bombeamento, determina-se a equação característica do poço, representada graficamente na figura 9 (ROCHA, 2007). Com esta equação pode-se determinar a vazão de exploração do poço.



**Figura 9 - Representação gráfica da equação característica do poço**  
Fonte: Rocha, 2007

A vazão específica é um dos parâmetros mais úteis na avaliação de desempenho de um poço (ROCHA, 2007); quedas acentuadas no valor deste parâmetro são em muitos casos sinal de colmatação de seções filtrantes ou de um processo de incrustação. Em geral, quando o decréscimo ultrapassa os 10%, deve-se investigar as causas e alertar o setor de manutenção.

### **3.3 Aspectos Legais e Institucionais**

A água subterrânea, no que diz respeito aos seus aspectos legais e jurídicos, destaca-se pelo seu marco histórico e institucional vigente e a experiência de alguns estados que já instituíram, regulamentaram e executaram as ações instrumentalizadas conforme as necessidades de gestão, uso ou proteção dos recursos hídricos no âmbito regional (ANA, 2002).

Todos são unânimes pela existência de uma ação de disciplinamento e proteção do recurso água subterrânea, através de uma legislação eficiente que demonstre uma efetiva e real responsabilidade por parte do poder público.

Código de Águas - Decreto Nº 24643, 10 de Julho de 1934 - As águas subterrâneas eram consideradas bens imóveis, associados à propriedade da terra. Incorporava normas reguladoras que preservavam direitos adquiridos, inibiam a monopolização da exploração e a poluição das águas subterrâneas, reconhecia o fato da sua estreita relação com as águas superficiais e limitava o direito e exploração das águas subterrâneas, sempre que o empreendimento interferisse na ocorrência das águas superficiais de domínio público.

Código de Águas Minerais - Decreto-Lei N 7.841, 08 de Agosto de 1945 - Estabeleceu normas para o aproveitamento das águas minerais. Seu conteúdo era confuso em relação à abrangência do conceito de águas minerais, ao distinguir águas minerais das demais águas, relevando no seu aspecto uma "ação medicamentosa" decorrente de características físicas ou químicas distintas das águas comuns. Criou então a Comissão de Crenologia (estudo das águas minerais, para fins terapêuticos) no âmbito do DNPM (Departamento Nacional da Produção Mineral) para verificação destas propriedades. São incluídas as Águas Minerais, Termiais, Gasosas, Potáveis de Mesa e as destinadas para fins de Balneários, estabelecendo a todas, as normas reguladoras que preservem sua qualidade, salubridade pública, os direitos de propriedade dos empreendedores, e informem ao Poder Público as características da exploração para fiscalização e monitoramento.

Código de Mineração -Decreto-Lei N 227, de 28 de Fevereiro de 1967 - Estabeleceu a competência da União na administração dos recursos minerais e a sistemática do regime de aproveitamento dos mesmos e reconheceu as águas

subterrâneas como substância mineral dotada de valor econômico e formadora de jazida. Entretanto, persistia a idéia de regulamentar, em separado, a exploração das águas minerais das águas subterrâneas, exigindo Plano de Aproveitamento Econômico para jazidas de águas minerais, onde se estabelece plano para conservação e proteção das suas fontes.

Regulamento do Código de Mineração de 1968 - Apenas ratifica a inclusão de todas as águas subterrâneas, nos casos contemplados pelo Código de Águas Minerais, sob o conceito de Jazidas Minerais.

Portaria nº 117, de 17 de Julho de 1972 - DNPM. Disciplina as normas para realização dos estudos in loco e análises bacteriológicas de que trata o Código de Águas Minerais. Criação da S.E.M.A. (Secretaria Especial do Meio Ambiente) -1973 com competência para estabelecer normas e padrões relativos à qualidade dos recursos hídricos, foi responsável pela inclusão de novas normas reguladoras e restritivas quanto ao uso e ocupação do solo em locais onde ocorrem fontes de surgência natural (olhos-d água).

Portaria nº 1.628, de 04 de Dezembro de 1984 - Ministério das Minas e Energia. Institui as características básicas dos rótulos nas embalagens de Águas Minerais e Potáveis de Mesa.

Resolução nº 20, de 18 de Junho de 1986 - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Estabelece a classificação das águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional; com base em parâmetros e indicadores específicos para melhor distribuir seus usos, especificando os níveis de qualidade requeridos, de modo a assegurar seus usos preponderantes.

Constituição Federal de 1988 - Muda o status das águas subterrâneas, estabelecendo um novo regime para as mesmas, conferindo-lhes caráter de bem público de propriedade dos Estados e Distrito Federal e distingue claramente águas subterrâneas de recursos minerais do subsolo, sendo, portanto as águas minerais de competência da União.

Portaria nº 159, de 1º de Abril de 1996 - Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) Estabelece os critérios para a importação e comercialização, no mercado brasileiro, de águas minerais.

Lei Federal nº 9.433 -8 de Janeiro de 1997 - Incorpora a mudança na dominialidade das águas subterrâneas, estabelecida pela Constituição de 1988, e mantém tratamento diferenciado para águas ditas "minerais".

Quanto à gestão das águas subterrâneas, recomenda a utilização dos mecanismos de outorga das concessões de exploração como principais instrumentos de gestão.

Quanto às normas reguladoras apresenta significativa contribuição relativa aos aspectos da poluição e super-exploração de aquíferos, proibindo a poluição das águas subterrâneas, monitoramento de aterros sanitários e estudos de vulnerabilidade de aquíferos. No campo da normatização, toda e qualquer obra de captação de água subterrânea é considerada uma obra de engenharia para a qual se exige habilitação legal nas diferentes etapas da pesquisa, projeto e exploração.

Alguns Estados como São Paulo, Pernambuco e Ceará tem se destacado com suas propostas de Lei sobre conservação e proteção das águas subterrâneas, como também pela implantação do sistema de outorga de usos dos recursos hídricos como um todo, todavia, ainda é escassa a atenção dada aos recursos hídricos subterrâneos, sendo priorizado em seus sistemas de gestão dos recursos hídricos, as águas superficiais.

Portaria nº 231, de 31 DE JULHO de 1998 - DNPM. Regulamenta as ações e procedimentos necessários à definição de áreas de proteção das fontes, balneários e estâncias de águas minerais e potáveis de mesa em todo o território nacional, objetivando sua preservação, conservação e racionalização de uso.

Resolução nº 05 de 10 de abril de 2000 - Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) Estabelece diretrizes para a formação e funcionamento dos Comitês de Bacias Hidrográficas, de forma a implementar o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, conforme estabelecido pela Lei 9433.

Lei Federal nº 9.984 de 17 de Julho de 2000 - Criação da Agência Nacional de Águas (A.N.A.). Esta Lei institui a Agência Nacional de Águas, atribuindo à mesma a finalidade de implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos em articulação com os órgãos e entidades públicas e privadas integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, dando competência ao Conselho Nacional de

Recursos Hídricos, nos termos da Lei 9.433, para promover a articulação dos planejamentos, nos diversos níveis, dos setores usuários de água.

A ANA é responsável pela implementação e execução da Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH, ficando a SRH/MMA com a deliberação e formulação da PNRH. Resolução nº 012, de 19 de julho 2000 - Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Estabelece procedimentos para o enquadramento de corpos de água em classes segundo os usos preponderantes, de forma a subsidiar a implementação da PNRH, instituído pela Lei nº 9.433.

### **3.4 Operação e Manutenção de Poços**

A operação e manutenção de poços (ROCHA, 2007), em que o acompanhamento sistemático prevaleça sobre a prática aleatória de tipo corretivo ou emergencial, requerem a elaboração de programas adequados, com base na uniformização de critérios e procedimentos, na implantação da infra-estrutura necessária e na eficiente articulação das equipes encarregadas.

A operação sistemática é concebida como um processo de obtenção e armazenamento de dados que permitam avaliar o desempenho do sistema aquífero-poço-bomba ao longo do tempo, em comparação com suas características iniciais. Assim, o conjunto de atividades de operação deve estar orientado para o conhecimento do problema fundamental de exploração de poços, que é o de saber a vazão segura que o aquífero pode fornecer permanentemente, ao longo dos anos e, em decorrência, aperfeiçoar as condições de exploração. A manutenção, por sua vez, consiste em assegurar inspeção regular nos sistemas, efetuar o registro sistemático das condições do poço, equipamentos e materiais em uso, detectar as causas dos problemas e saná-los, de modo a garantir a eficiência e o bom funcionamento dos sistemas.

Operação e manutenção guardam, portanto, uma estreita relação e interdependência: na operação, a análise da massa de dados produzidos serve para detectar os tipos de problemas apresentados pelo sistema, fornecendo subsídios e pistas para sua solução; cabe à manutenção individualizar o problema, identificar suas causas e aplicar a solução adequada.

Para implantar um programa de operação torna-se necessário, numa primeira etapa, reunir todos os dados históricos de cada poço, complementá-los com medidas e testes atuais e fixar as condições de exploração referidas ao ano base de execução do programa. A segunda etapa, que corresponde à programação propriamente dita, consiste em estabelecer a periodicidade de inspeções e medições, os critérios de processamento e avaliação dos dados e a articulação prática com o setor de manutenção.

A operação de poços abrange dois grupos principais de atividades, que são:

- O controle de funcionamento dos equipamentos de bombeamento;

- O processo de coleta, controle e interpretação de dados.

O programa de manutenção preventiva (ROCHA, 2007) tem como ponto de partida o levantamento dos problemas previsíveis do sistema, cujos indicadores podem ser detectados na fase pré-operatória; estabelece a seguir, a sistemática de execução de medidas, observações e revisões, tanto no poço como no equipamento de bombeamento e prevê a avaliação periódica de desempenho do sistema.

Essas medidas visam o acompanhamento das seguintes condições e indicadores:

- Vazão de produção;
- Nível estático;
- Nível dinâmico;
- Pressão de saída;
- Regime de bombeamento;
- Conservação da área;
- Consumo de energia, entre outros.

A implantação de um programa de operação, tendo como base o conhecimento das condições iniciais de funcionamento do sistema e a instalação permanente de dispositivos e equipamentos de medição, permite avaliar regularmente o desempenho do sistema, aperfeiçoar sua eficiência total, identificar problemas e fornecer indicações para a manutenção preventiva.

Em geral, a sistemática de medições, análises e interpretações é uniformizada nos programas básicos (ROCHA, 2007). As variações mais importantes ocorrem na frequência de obtenção dos dados e no registro de informações adicionais impostas pela operação regular, uma vez que as condições de conjunto tendem a variar com a intensidade e o tempo de exploração. É imprescindível que as unidades de exploração sejam auto-suficientes na coleta dos dados; que a equipe responsável

produza os melhores dados possíveis e que as interpretações obedecam a técnicas e padrões definidos.

#### **4. METODOLOGIA**

A fase inicial da pesquisa consistiu na completa revisão bibliográfica das práticas de gestão de poços tubulares profundos, elencando as medidas necessárias para a correta operação e manutenção dos mesmos, recomendadas pelos principais autores.

Também foi feita pesquisa nos arquivos técnicos de águas subterrâneas da SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo para a busca dos dados construtivos dos poços tubulares profundos estudados e das manutenções efetuadas em poços no Estado de São Paulo em 2010.

Para atender aos objetivos da presente dissertação, foram selecionados os 19 poços tubulares, que compõe o abastecimento urbano da área pesquisada. Foi feita visita de campo para a observação da geologia e coleta das informações referentes aos poços, incluindo: dados de localização geográfica, características construtivas das obras de captação de água subterrânea e de dados operacionais da exploração dessas águas.

Após esta etapa foi elaborada a caracterização individual de cada poço e na sequência do sistema de poços, bem como elencadas algumas recomendações de manutenção e operação dos mesmos, conforme as recomendações dos principais especialistas da área.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Caracterização do Local dos Estudos

A cidade de Caçapava localiza-se no médio Vale do Paraíba do Sul, no Estado de São Paulo, a aproximadamente 108 km da capital, entre as cidades de São José dos Campos e Taubaté, ilustrado na figura 10. A Rede Ferroviária Federal Sociedade Anônima (RFFSA), usada para transporte de carga, atravessa a cidade, interligando-se às demais ferrovias do país, com acesso ao MERCOSUL (PREFEITURA DE CAÇAPAVA, 2009).



**Figura 10 - Mapa de localização de Caçapava**

Fonte: Modificado da Prefeitura Municipal de Caçapava 2009

A economia da cidade baseia-se principalmente no comércio, com 44,29% dos estabelecimentos. A prestação de serviços representa 33,28%, e a indústria, 10,93%. Como exemplos de indústrias há a Fábrica da Nestlé, desde 1971, a Pilkington, produtora de vidros no mundo todo, a TW Espumas e a TI Automotive, todas elas

abastecidas por águas subterrâneas. Na tabela 4 podemos verificar um comparativo da população e de território da cidade de Caçapava com o Estado de São Paulo.

**Tabela 4 - Comparativo de Área e População de Caçapava**

| <b>Território e População</b> | <b>Município de Caçapava</b> | <b>Estado de São Paulo</b> |
|-------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Área                          | 369,91                       | 248.209,43                 |
| População                     | 84.752                       | 41.262.199                 |

Fonte: IBGE, Censo 2010

O nome Caçapava vem de “Caassapaba”, termo tupi-guarani que significa “caminho na mata” ou “clareira na mata” (PREFEITURA DE CAÇAPAVA, 2009).

Caçapava surgiu de dois núcleos, cerca de 5 km distantes entre si. O mais antigo deles, que hoje constitui o bairro de Caçapava Velha, era um lugarejo que cresceu em torno da Capela Nossa Senhora D’Ajuda, nas terras de uma fazenda pertencente a Jorge Dias Velho, e local de descanso no caminho da Estrada Real, que ligava São Paulo a Taubaté. Esse povoado foi elevado à categoria de Freguesia em 18 de março de 1813.

Em 03 de maio de 1850, a Lei Provincial nº 01 transferiu a sede da Freguesia e do Distrito para a Capela Nova de São João Batista. A Freguesia de Nossa Senhora D’Ajuda foi elevada à categoria de Vila, através da Lei nº 20 de 14 de abril de 1855. Caçapava foi elevada à categoria de Cidade em 1875.

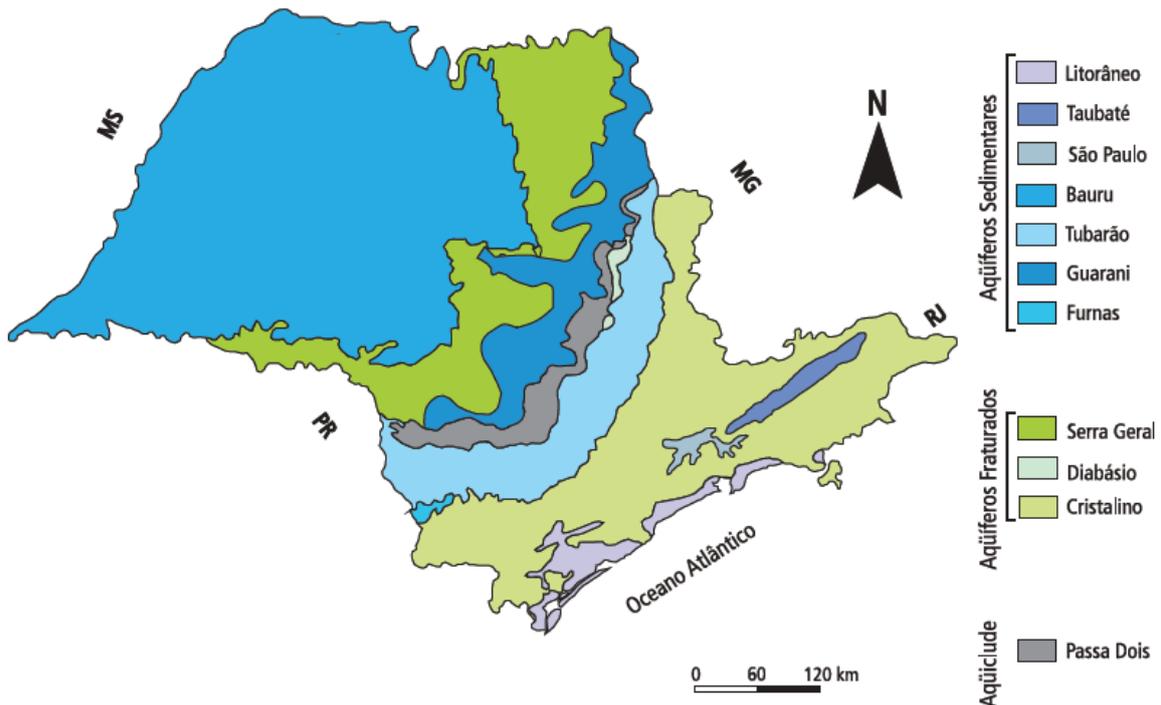
Depois da época do apogeu do Café seguiu-se um período de estagnação econômica e a recuperação só ocorreu neste século, com o cultivo do arroz e a introdução da pecuária de leite, e acelerou-se na década de 70 com a expansão das atividades industriais no município (PREFEITURA DE CAÇAPAVA, 2009).

Do ponto de vista geográfico Caçapava fica no Vale do Paraíba, entre as Serras do Mar e Mantiqueira. Os municípios limítrofes são Taubaté a nordeste, Redenção da Serra a sudeste, Jambuí a sul, São José dos Campos a sudoeste e Monteiro Lobato a noroeste. Caçapava é ondulada na parte alta e plana na várzea do Município e chegando a íngreme nas alturas da Serra do Mar e da Mantiqueira (PREFEITURA DE CAÇAPAVA, 2009).

Banhado pelo rio Paraíba do Sul a altura do bairro Vila Menino Jesus, é definido neste trecho por um conjunto de cavas de areia regularizadas com distância maior de 50 metros da margem, não possui cavas que fazem dragagem no leito do rio, porém possui inúmeros sinais de poluição e assoreamento como algas e trechos onde o rio consegue transbordar suas águas à área urbana.

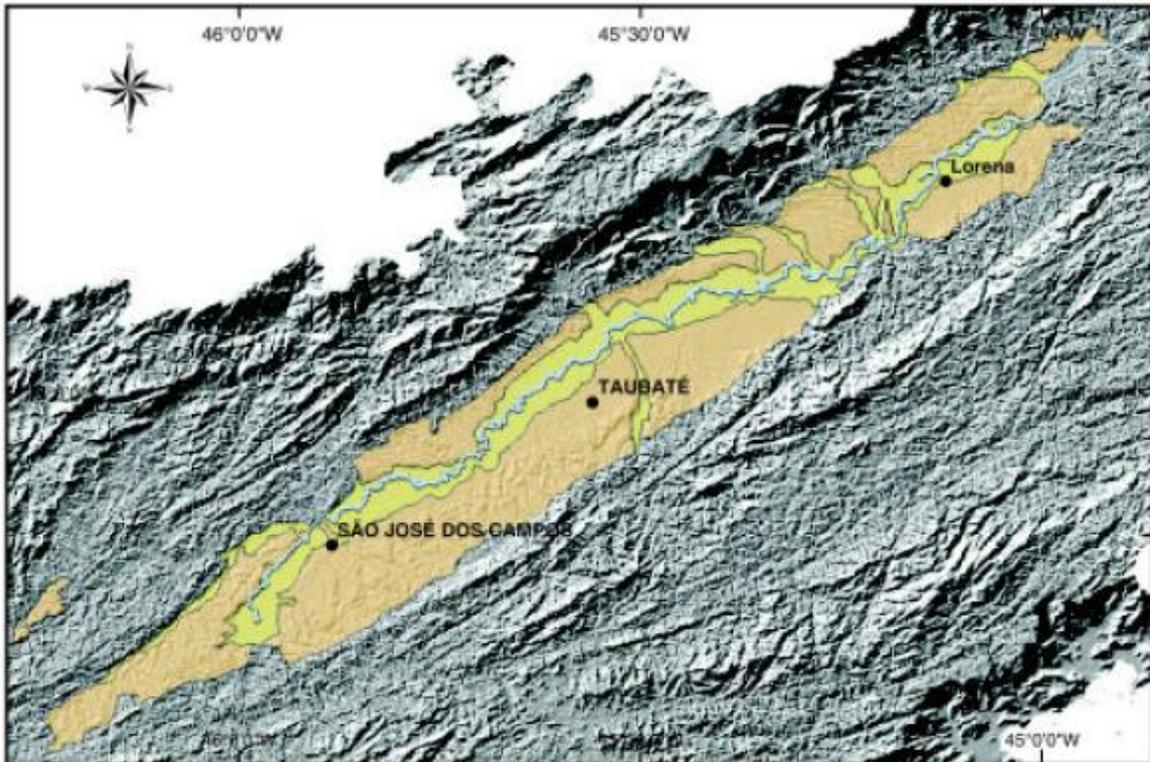
## 5.2 Caracterização do Sistema Aquífero Taubaté

O Sistema Aquífero Taubaté é um aquífero sedimentar de extensão limitada. Localizado entre as Serras do Mar e da Mantiqueira, no nordeste do Estado de São Paulo, ocupa uma área de apenas 2.340 km<sup>2</sup>, com formato alongado, cujo eixo estende-se na direção nordeste sudoeste, ao longo do vale do Rio Paraíba do Sul (figura 11 e 13).



**Figura 11 - Sistemas de Aquíferos do Estado São Paulo**  
Fonte: Rocha, 2007

Os sedimentos arenosos a argilosos que compõem este aquífero foram depositados há mais de 2 milhões de anos, diretamente sobre as rochas do aquífero cristalino. Uma característica marcante deste aquífero é a intercalação entre as diversas camadas de sedimentos arenosos e argilosos, promovendo uma grande variabilidade litológica em subsuperfície (ROCHA, 2007).



**Figura 12 - Bacia de Taubaté**  
Fonte: Rocha, 2007

A Bacia de Taubaté é uma depressão engastada no embasamento de rochas pré-cambrianas (Figura 12). Nela ocorrem, predominantemente, colinas de topos convexos com altitudes predominantes de 600 a 700 m (ROCHA, 2005) e a planície fluvial do rio Paraíba do Sul.

As camadas mais arenosas, predominantes na parte basal do aquífero, foram depositadas em ambiente fluvial e ocorrem, predominantemente, nas regiões sudoeste (ROCHA 2005), entre Jacareí e São José dos Campos, e nordeste, entre Guaratinguetá e Lorena. Nestas porções, o aquífero possui boa produtividade, abastecendo cidades como Jacareí, São José dos Campos, Caçapava e Lorena, e as vazões sustentáveis recomendadas chegam até 120 m<sup>3</sup>/h por poço, conforme demonstra a figura 14.



**Figura 13 - Sistema Aquífero Taubaté**

Fonte: Rocha, 2005

A porção mais argilosa foi formada em ambiente lacustre e ocorre, predominantemente, na porção central do aquífero, entre as cidades de Taubaté a Pindamonhangaba. Nesta região, a produtividade do aquífero é baixa e as vazões recomendadas não ultrapassam 10 m<sup>3</sup>/h por poço (ROCHA 2005).

| Aquífero  | < 10      | 20 | 40 | 80 | 120 | 250 | 360 |
|-----------|-----------|----|----|----|-----|-----|-----|
| Bauru     |           |    |    |    |     |     |     |
| Tubarão   |           |    |    |    |     |     |     |
| Guarani   | Aflorante |    |    |    |     |     |     |
|           | Confinado |    |    |    |     |     |     |
| Taubaté   |           |    |    |    |     |     |     |
| São Paulo |           |    |    |    |     |     |     |
| Litorâneo |           |    |    |    |     |     |     |

**Figura 14 - Faixas de vazão explorável indicadas para os aquíferos sedimentares, em m<sup>3</sup>/h**

Fonte: Rocha, 2005

A espessura do aquífero é variável, aumentando dos limites externos de sua área de ocorrência para a região central, ao longo do Rio Paraíba do Sul, onde se

observam valores entre 200 e 300 metros, podendo superar 400 metros na região de Taubaté.

Por possuir porções aflorante e, predominantemente ter comportamento livre, é recarregado pela água da chuva que infiltra diretamente no solo, sendo, também, responsável por fornecer água aos rios da região que atuam como áreas de descarga do aquífero, impedindo que estes sequem na época de estiagem.

A recarga direta em toda a sua área implica em maior vulnerabilidade a cargas poluentes lançadas na superfície do terreno e que possam infiltrar junto com a água da chuva. Parte do aquífero, entretanto, pode ter comportamento que tende a ser confinado devido à predominância de camadas argilosas em superfície, o que promove certa proteção em determinadas regiões.

Este sistema de aquíferos apresenta, de forma geral, água de boa qualidade para o consumo humano, mas, devido à alta vulnerabilidade à poluição, é necessário, também, um esforço conjunto do governo e da sociedade para promover sua proteção.

Esta bacia representa uma das porções mais expressivas do Rift Continental do Sudeste do Brasil, que se constitui de diversas depressões, onde se desenvolveram bacias sedimentares distribuídas ao longo de uma faixa alongada de direção ENE, localizada entre as cidades de Curitiba (PR) e Barra de São João (RJ) (ROCHA 2005). Dentre as bacias, a de Taubaté destaca-se como a mais expressiva área de exposição de sedimentos terciários.

O Grupo Taubaté (Paleógeno) é subdividido nas formações Resende, Tremembé e São Paulo. A Formação Resende contém arenitos, conglomerados, diamictitos e lamitos, depositados em sistema de leques aluviais associados a planícies aluviais de rios entrelaçados.

A Formação Tremembé, situada na parte central da bacia, é constituída por depósitos de sistema lacustre do tipo playa-lake, que são argilitos, folhelhos, margas e calcários dolomíticos.

A Formação São Paulo, presente na porção sudoeste da bacia, compreende arenitos, argilitos, siltitos e arenitos conglomeráticos, originários de um sistema fluvial

meandrante. Sobrepostos ao Grupo Taubaté ocorrem os sedimentos da Formação Pindamonhangaba (Mioceno), que correspondem a arenitos, conglomerados, argilitos e siltitos, depositados por um sistema fluvial meandrante bem desenvolvido, restrito à porção central da bacia. Os depósitos aluviais e coluviais quaternários, localizados nas calhas fluviais, planícies de inundação e terraços dos rios, sobre os sedimentos terciários, constituem os materiais mais jovens da bacia.

O Sistema Aquífero Taubaté ocorre em duas áreas principais da bacia, uma situada na porção sudoeste e outra, na nordeste. Entre estas duas regiões existe um compartimento preenchido predominantemente por argilitos e folhelhos, pouco permeável e com características de aquíclode (ROCHA, 2005), onde se localizam as cidades de Taubaté, Tremembé e Pindamonhangaba. Como resultado de seus ambientes deposicionais, o aquífero é do tipo multicamadas com alternância de camadas arenosas ou aquíferas, fácies fluvial, e argilosas ou confinantes, fácies lacustre ou planície de inundação.

A produtividade do Sistema Aquífero Taubaté é bastante variável, apresentando valores de capacidade específica entre 0,2 e 14 m<sup>3</sup>/h/m, sendo clara uma menor permeabilidade dos sedimentos na porção central da bacia sedimentar, na região de Tremembé-Pindamonhangaba. Nas porções a oeste e leste desta região predominam sedimentos mais arenosos que refletem na produtividade dos poços, cujas vazões podem ser superiores a 100 m<sup>3</sup>/h.

A recarga desse aquífero se efetua através da precipitação pluvial direta sobre a Bacia, e também pela drenagem para ela das águas do aquífero Pré-Cambriano adjacente, de forma mais limitada. A descarga natural é o Rio Paraíba, atuando o aquífero como reservatório regulador de sua vazão de base (ROCHA, 2005).

Abaixo a tabela 5 apresenta os poços monitorados na Bacia do Paraíba do sul (CETESB, 2007) onde aparece o poço P21A de Caçapava:

**Tabela 5 - Poços da Rede de Monitoramento da Cetesb**

| Município         | Descrição do ponto                 | Aquífero   | Prof. Bomba | Nível Estát. | Coordenadas Zona 23 |          |
|-------------------|------------------------------------|------------|-------------|--------------|---------------------|----------|
|                   |                                    |            |             |              | UTM N               | UTM E    |
| Bananal           | P1 SABESP - Distrito Rancho Grande | Cristalino | --          | 5,5          | 7492533             | 582415,7 |
| Lorena            | P21 - SABESP                       | Taubaté    | --          | 81           | 7483910             | 487640   |
| Roseira           | P8 - SABESP                        | Taubaté    | 73          | 9            | 7467033             | 468065,5 |
| Guararema         | P4 - SABESP                        | Taubaté    | --          | 6,5          | 7421000             | 386400   |
| Jambeiro          | P4, SABESP                         | Cristalino | 199         | --           | 7420190             | 424270   |
| Caçapava          | P21A, SABESP                       | Taubaté    | 210         | 47           | 7441510             | 427510   |
| Redenção da Serra | P1, SABESP/DAEE - (DESATIVADO)     | Cristalino | 160         | 6            |                     |          |
| S José Campos     | P108A, SABESP                      | Taubaté    | 161         | 72           | 7430160             | 408820   |
| S José Campos     | P128, SABESP                       | Taubaté    | 227         | 60           | 7436250             | 414830   |
| Taubaté           | P1 SABESP - Sede Marlene Miranda   | Taubaté    | 102         | 18           | 7448240             | 444450   |

Fonte: CETESB, 2007

### 5.3 Caracterização dos poços de Caçapava

Para a análise do sistema público de abastecimento por águas subterrâneas de Caçapava foram consultados os dados construtivos dos poços e cruzados com dados obtidos em campo, juntamente com as unidades operacionais da empresa (Sabesp, 2009).

Os poços em operação analisados são: Sede (18, 19, 21A, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 33, e 34), Residencial Esperança (P.2), Vitória Vale (P.1). Não foram analisados os seguintes poços: o poço de Vila Mariana que foi desativado e o poço de Caçapava Velha P.3 que está parado por falta de manutenção e água com elevada turbidez. Apresentam, em termos absolutos, queda de vazão da ordem de  $451,71 \text{ m}^3/\text{h}$  (125 l/s). A localização desses poços pode ser verificada na Figura 15.



**Figura 15 - Localização dos Poços estudados**

Fonte: Google, 2011

Na tabela 06 é apresentada a relação dos poços utilizados para o abastecimento público em Caçapava com seus dados relativos à profundidade. Nos próximos itens foram descritos cada um destes poços com a comparação de seus dados construtivos com os valores do controle operacional atuais.

**Tabela 6 - Poços operados em Caçapava**

| Poço     | Profundidade |
|----------|--------------|
|          | (m)          |
| CA018PP  | 212,63       |
| CA019PP  | 229,00       |
| CA021APP | 203,00       |
| CA022PP  | 160,52       |
| CA023PP  | 193,20       |
| CA024PP  | 200,00       |
| CA025PP  | 204,80       |
| CA026PP  | 199,50       |
| CA027PP  | 200,00       |
| CA029PP  | 210,00       |
| CA030PP  | 202,50       |
| CA031PP  | 290,00       |
| CA032PP  | 213,00       |
| CA033PP  | 156,00       |
| CA034PP  | 255,00       |
| NE001PP  | 156,00       |
| NE002PP  | 255,00       |
| SH001PP  | 166,00       |
| VV001PP  | 216,60       |

Fonte: Sabesp, 2009

## 5.4 Poço CA018PP

O Poço CA018PP está localizado na Rua Humberto Rossi, 340 - Nova Caçapava, nas coordenadas NS 7445,15 e EW 429,75 tendo sido perfurado em 10/06/1988 (figura 16).



**Figura 16 - Localização do Poço CA018PP**

Fonte: Google, 2011

Este poço passou por um processo de reencamisamento em decorrência de rompimento em seção filtrante e consequente entrada do pré-filtro que ocupava o espaço anular (perfuração/revestimento). Utilizaram-se materiais resistentes a corrosão, tubos e filtros geomecânico, norma DIN 4925, em diâmetros de 8" e 4". Execução entre 15 e 30 de abril de 1994. Resultado: Vazão de 98 m<sup>3</sup>/h e nível dinâmico (ND) de 72,40 m para máximo de 18 horas/dia. Dados anteriores: diâmetro = 10" ; profundidade do poço= 220 m; ND = 49,70 m e vazão= 120 m<sup>3</sup>/h.

A Tabela 7 apresenta a comparação dos dados construtivos do poço após o reencamisamento e os dados atuais do mesmo.

**Tabela 7 - Comparativo do Poço CA018PP**

| <b>CA018PP</b>     | Profund.<br>(m) | Cota<br>terreno<br>(m) | ND<br>(m) | NE<br>(m) | Vazão<br>m <sup>3</sup> /h |
|--------------------|-----------------|------------------------|-----------|-----------|----------------------------|
| Dados Construtivos | 212,63          | 560,00                 | 72,40     | 25,66     | 98,00                      |
| Medição Atual      |                 |                        | 112,00    | 52,00     | 53,49                      |

Fonte: Sabesp, 2009

O Poço CA018PP apresenta uma redução em seu nível dinâmico de 39,60m e uma queda de vazão de 45%.

### 5.5 Poço CA019PP

O Poço CA019PP está localizado na Rua Padre José Fortunato S. Ramos, s/n - Nova Caçapava, nas coordenadas NS 7445,00 e EW 428,80 e foi perfurado em 22/02/1989 pela empresa Politi (figura 17).



**Figura 17 - Localização do Poço CA019PP**

Fonte: Google, 2011

A Tabela 8 apresenta a comparação dos dados construtivos do poço e os dados atuais do mesmo.

**Tabela 8 - Comparativo do Poço CA019PP**

| <b>CA018PP</b>     | Profund.<br>(m) | Cota terreno<br>(m) | ND<br>(m) | NE<br>(m) | Vazão<br>m <sup>3</sup> /h |
|--------------------|-----------------|---------------------|-----------|-----------|----------------------------|
| Dados Construtivos | 212,63          | 560,00              | 72,4      | 25,66     | 98,00                      |
| Medição Atual      |                 |                     | 112       | 52        | 53,49                      |

Fonte: Sabesp, 2009

O Poço CA019PP apresenta uma redução em seu nível dinâmico de 22,98m e uma queda de vazão de 47%.

## 5.6 Poço CA021APP

O Poço CA021APP está localizado na Rua Projetada, nº 200, nas coordenadas NS 7441,51 e EW 427,51 e foi perfurado em 24/11/1991 pela empresa Hidrogesp (figura 18).

No histórico de manutenção deste poço foi verificada a que em 2006 haviam duas bombas caídas no poço. Foram executados os serviços de limpeza do poço e as bombas foram retiradas. No novo teste de vazão o poço manteve a sua Vazão inicial, mas seu nível dinâmico apresentou redução de 34,18m.

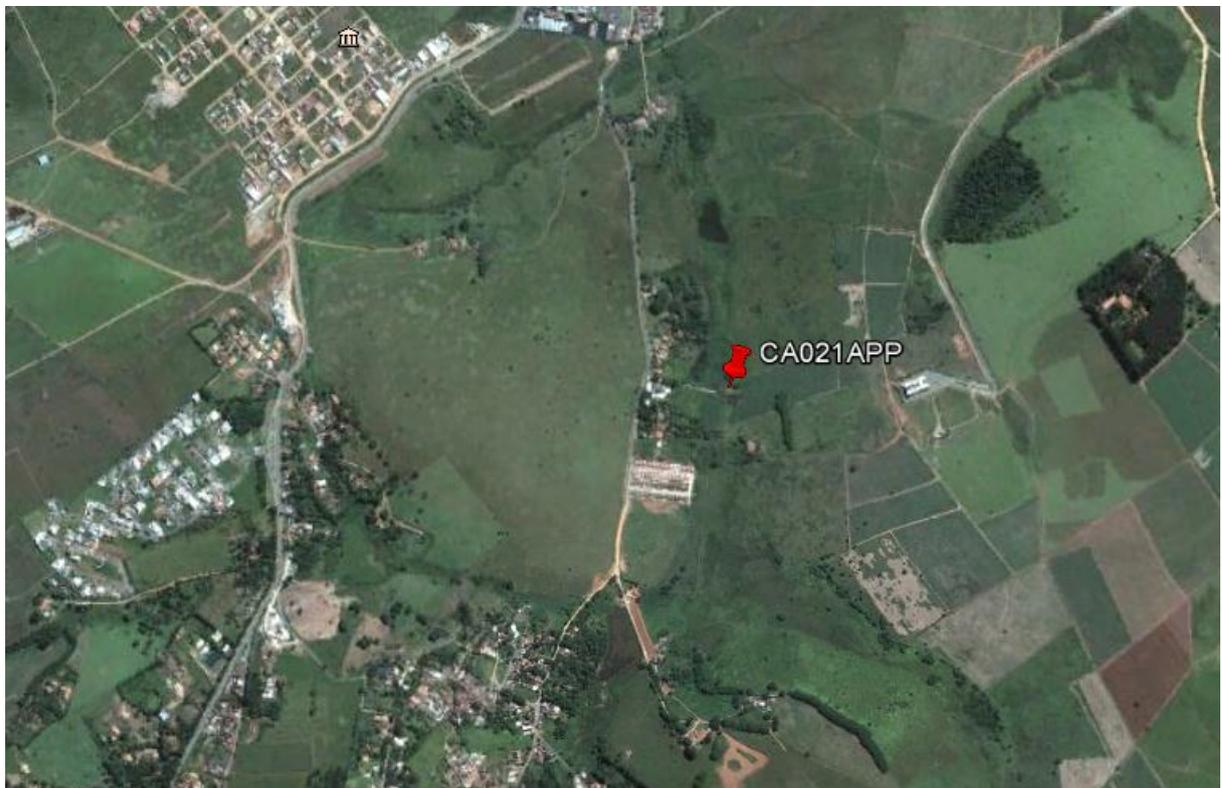


Figura 18 - Localização do Poço CA021APP

Fonte: Google, 2011

A Tabela 9 apresenta a comparação dos dados construtivos do poço e os dados atuais do mesmo.

**Tabela 9 - Comparativo do Poço CA021APP**

| <b>CA021APP</b>    | Profund.<br>(m) | Cota<br>terreno<br>(m) | ND<br>(m) | NE<br>(m) | Vazão<br>m <sup>3</sup> /h |
|--------------------|-----------------|------------------------|-----------|-----------|----------------------------|
| Dados Construtivos | 203,00          | 565,00                 | 63,23     | 47,10     | 122,90                     |
| Medição Atual      |                 |                        | 103,00    | 87,60     | 67,71                      |

Fonte: Sabesp, 2009

O Poço CA021APP encontra-se relacionado na rede de monitoramento da Cetesb, ainda representado com seu nível estático original sendo que o mesmo apresenta uma redução em seu nível dinâmico de 39,77m e uma queda de vazão de 44,91%.

## 5.7 Poço CA022PP

O Poço CA022PP está localizado na Estrada Municipal do Sapé, 375, nas coordenadas NS 7442,33 e EW 427,32 e foi perfurado em 17/12/1991 pela empresa Hidrogesp (figura 19).



**Figura 19 - Localização do Poço CA022PP**

Fonte: Google, 2011

A Tabela 10 apresenta a comparação dos dados construtivos do poço e os dados atuais do mesmo.

**Tabela 10 - Comparativo do Poço CA022PP**

| CA022PP            | Profund.<br>(m) | Cota terreno<br>(m) | ND<br>(m) | NE<br>(m) | Vazão<br>m <sup>3</sup> /h |
|--------------------|-----------------|---------------------|-----------|-----------|----------------------------|
| Dados Construtivos | 160,52          | 560,00              | 82,50     | 53,80     | 120,00                     |
| Medição Atual      |                 |                     | 128,60    | 99,00     | 84,98                      |

Fonte: Sabesp, 2009

No Poço CA022PP a queda de vazão de exploração foi de apenas 27% mas ele apresenta uma redução em seu nível dinâmico de 39,77m.

### 5.8 Poço CA023PP

O Poço CA023PP está localizado na Rua Nicolau J. Nicolino, s/n, nas coordenadas NS 7453,65 e EW 427,85 e foi perfurado em 30/10/1995 pela empresa Hidrogesp (figura 20).



**Figura 20 - Localização do Poço CA023PP**  
Fonte: Google, 2011

A Tabela 11 apresenta a comparação dos dados construtivos do poço e os dados atuais do mesmo.

**Tabela 11 - Comparativo do Poço CA023PP**

| CA023PP            | Profund.<br>(m) | Cota terreno<br>(m) | ND<br>(m) | NE<br>(m) | Vazão<br>m <sup>3</sup> /h |
|--------------------|-----------------|---------------------|-----------|-----------|----------------------------|
| Dados Construtivos | 193,20          | 575,00              | 73,50     | 56,35     | 80,00                      |
| Medição Atual      |                 |                     | 110,50    | 67,00     | 60,89                      |

Fonte: Sabesp, 2009

No Poço CA023PP a queda de vazão de exploração foi de apenas 23,89% mas ele apresenta uma redução em seu nível dinâmico de 37m.

### 5.9 Poço CA024PP

O Poço CA024PP está localizado na Av. Ângelo Zeppelin, 560, nas coordenadas NS 7443,32 e EW 428,04 e foi perfurado em 25/10/1993 pela empresa Hidrogesp (figura 21).



**Figura 21 - Localização do Poço CA024PP**

Fonte: Google, 2011

A Tabela 12 apresenta a comparação dos dados construtivos do poço e os dados atuais do mesmo.

**Tabela 12 - Comparativo do Poço CA024PP**

| <b>CA024PP</b>     | Profund.<br>(m) | Cota terreno<br>(m) | ND<br>(m) | NE<br>(m) | Vazão<br>m <sup>3</sup> /h |
|--------------------|-----------------|---------------------|-----------|-----------|----------------------------|
| Dados Construtivos | 200,00          | 560,00              | 91,12     | 78,00     | 80,00                      |
| Medição Atual      |                 |                     | 117,50    | 89,30     | 27,88                      |

Fonte: Sabesp, 2009

No Poço CA024PP a queda de vazão de exploração foi de 65,15% e ele apresenta uma redução em seu nível dinâmico de 26,38m, tendo a maior queda de vazão específica dos poços estudados e que abastecem a cidade de Caçapava.

### 5.10 Poço CA025PP

O Poço CA025PP está localizado na Av. Ângelo Zeppelin, 1400, nas coordenadas NS 7442,70 e EW 428,35 e foi perfurado em 01/12/1995 pela empresa Hidrogesp (figura 22).



**Figura 22 - Localização do Poço CA025PP**

Fonte: Google, 2011

A Tabela 13 apresenta a comparação dos dados construtivos do poço e os dados atuais do mesmo.

**Tabela 13 - Comparativo do Poço CA025PP**

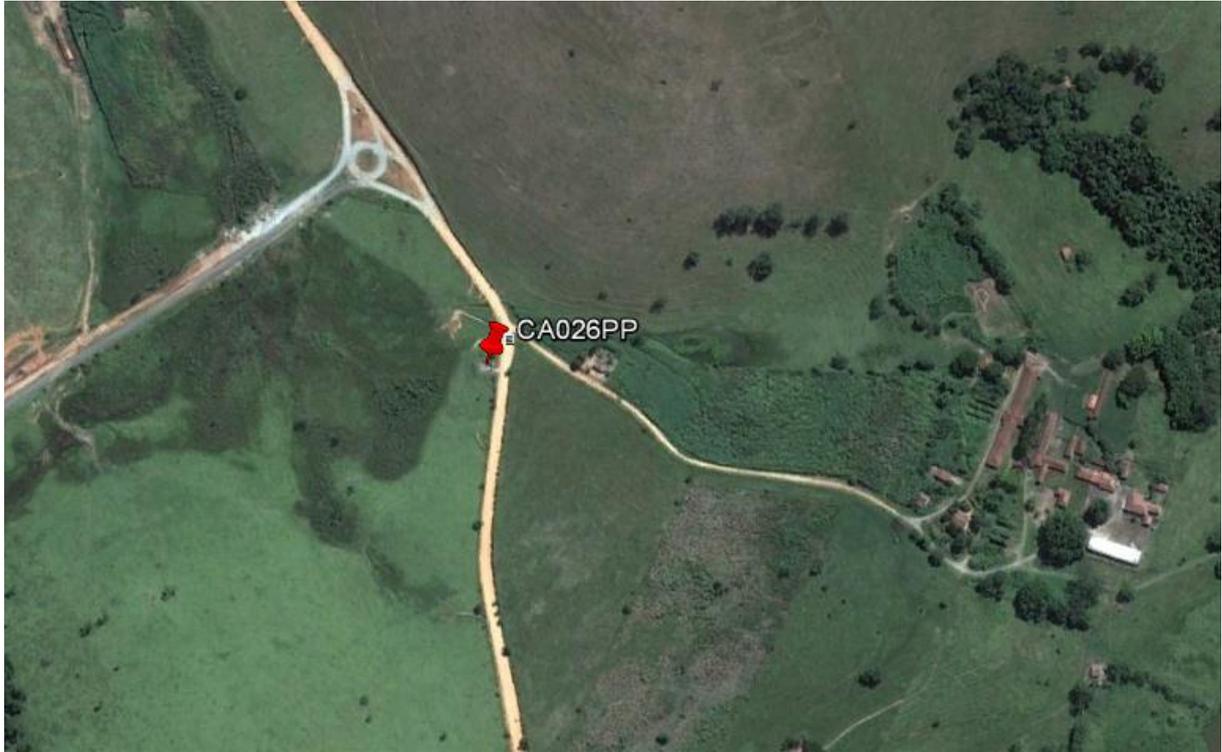
| <b>CA025PP</b>     | Profund.<br>(m) | Cota terreno<br>(m) | ND<br>(m) | NE<br>(m) | Vazão<br>m <sup>3</sup> /h |
|--------------------|-----------------|---------------------|-----------|-----------|----------------------------|
| Dados Construtivos | 204,80          | 575,00              | 92,00     | 72,19     | 80,00                      |
| Medição Atual      |                 |                     | 124,00    | 93,00     | 68,94                      |

Fonte: Sabesp, 2009

No Poço CA025PP a queda de vazão de exploração foi de apenas 13,83% mas ele apresenta uma redução em seu nível dinâmico de 31,00m.

### 5.11 Poço CA026PP

O Poço CA026PP está localizado na Av. Ângelo Zepelin, 2000, nas coordenadas NS 7440,65 e EW 429,45 e foi perfurado em 01/01/1996 pela empresa Didier/CPA (figura 23).



**Figura 23 - Localização do Poço CA026PP**  
Fonte: Google, 2011

A Tabela 14 apresenta a comparação dos dados construtivos do poço e os dados atuais do mesmo.

**Tabela 14 - Comparativo do Poço CA026PP**

| CA026PP            | Profund.<br>(m) | Cota terreno<br>(m) | ND<br>(m) | NE<br>(m) | Vazão<br>m <sup>3</sup> /h |
|--------------------|-----------------|---------------------|-----------|-----------|----------------------------|
| Dados Construtivos | 199,50          | 582,00              | 101,00    | 43,00     | 40,00                      |
| Medição Atual      |                 |                     | 111,00    | 85,00     | 39,50                      |

Fonte: Sabesp, 2009

No Poço CA026PP a queda de vazão de exploração foi de apenas 13,83% mas ele apresenta um aumento em seu nível dinâmico de 10,00m.

## 5.12 Poço CA027PP

O Poço CA027PP está localizado na Rua João Alves, s/n, nas coordenadas NS 7440,65 e EW 429,45 e foi perfurado em 1997 pela empresa Politi (figura 24).



**Figura 24 - Localização do Poço CA027PP**

Fonte: Google, 2011

Durante as medições foi constatada um grande potencial de recuperação deste poço, quando foi elaborado um programa de manutenção completa do mesmo. Conforme o termo de referência desenvolvido para esta manutenção a Sabesp não dispõe de equipamentos próprios para intervenção nos poços tubulares e os serviços de manutenção podem causar transtornos às comunidades abastecidas.

Ainda de acordo com este Termo de Referência os serviços foram contratados para a execução de manutenção/reabilitação através de processos químicos e mecânicos (descritos na sequência), visando à recuperação da vazão de bombeamento.

Os serviços necessários para esta manutenção, de acordo com o Termo de Referência utilizado para a contratação (SABESP, 2009), estão detalhados a seguir:

- Perfilagem ótica Previa – Trata-se da filmagem interna dos poço, sendo que a realização desta perfilagem ótica antes do início dos trabalhos e a análise conjunta da mesma com a fiscalização da Sabesp é de suma importância para a decisão dos procedimentos e sequências a serem executadas;
- Instalação de equipamento: (sonda/guincho) com ferramental específico para manutenção;
- Avaliação preliminar da produção de poço: nível dinâmico, vazão, horas de operação, avaliação laboratorial da qualidade da água (cor, turbidez, presença de sólidos, cheiro, etc.);
- Retirada do equipamento de bombeamento instalado. Verificação do estado geral do edutor, cabo e bomba submersa;
- Limpeza do poço através de sistema de bombeamento a ar comprimido (compressor de ar) até a profundidade final;
- Aplicação de dispersante apropriado a cada situação: Polifosfato de sódio, ácido cítrico, ortofosfato ácido. Associado aos dispersantes utilização de agente bactericida.
- Desobstrução das seções filtrantes e limpeza da coluna de revestimento por escovamento (escovas de nylon);
- Limpeza do poço através de hidrojateamento, com emprego de bomba de lama a pistão;
- Desenvolvimento das seções filtrantes através de pistoneamento com emprego de sonda percussora e pistão com válvula;
- Limpeza do poço através de sistema de bombeamento a ar comprimido (compressor de ar) até a profundidade final.
- Perfilagem ótica – execução de perfilagem ótica para avaliar os resultados obtidos;

- Instalação de bomba submersa;
- Execução de teste de produção;
- Relatório das operações realizadas.

Os trabalhos foram executados de forma ágil e eficaz na recuperação do patrimônio existente (SABESP, 2010), reintegrando-o o mais rápido possível ao sistema de abastecimento, com o objetivo de evitar desabastecimento, melhorando a qualidade dos serviços e a imagem da companhia, associado à redução de custos adicionais de abastecimento.

Na Tabela 15 pode-se observar os dados relativos ao resultado desta manutenção no poço 27. A recuperação da vazão chegou a 1.152%, explorando inclusive uma vazão acima da vazão obtida na época da construção do poço.

**Tabela 15 - Manutenção do Poço CA027PP**

| DATA      | VAZÃO (m <sup>3</sup> /h) | ND (m) | Ganho |
|-----------|---------------------------|--------|-------|
| 18-nov-09 | 7,64                      | 110,90 | 1152% |
| 05-jan-10 | 95,62                     | 121,00 |       |

Fonte: Sabesp, 2009

A Tabela 16 apresenta a comparação dos dados construtivos do poço e os dados atuais do mesmo.

**Tabela 16 - Comparativo do Poço CA027PP**

| CA027PP            | Profund. (m) | Cota terreno (m) | ND (m) | NE (m) | Vazão m <sup>3</sup> /h |
|--------------------|--------------|------------------|--------|--------|-------------------------|
| Dados Construtivos | 200,00       | 582,00           | 91,52  | 78,00  | 80,00                   |
| Medição Atual      |              |                  | 121,00 | 91,00  | 95,62                   |

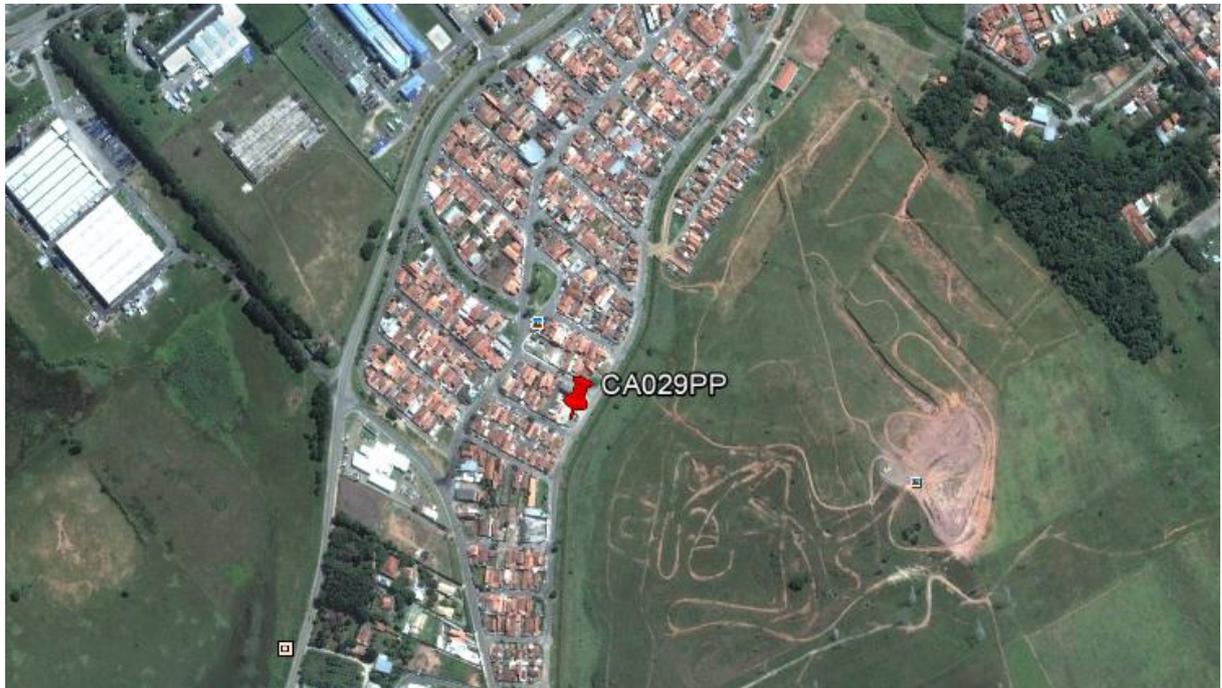
Fonte: Sabesp, 2009

No Poço CA027PP a queda de vazão de exploração antes da manutenção efetuada era de 90,45%. Com a recuperação do poço a vazão de exploração pôde ser aumentada em 19,53% sem o comprometimento do aquífero. Mesmo assim observa-

se uma redução do nível estático de 13,00 m quando comparado com os dados apurados na época de sua construção.

### 5.13 Poço CA029PP

O Poço CA029PP está localizado na Av. dos Imigrantes, 1130, nas coordenadas NS 7442,20 e EW 427,20 e foi perfurado em 07/09/1998 pela empresa CPA (figura 25).



**Figura 25 - Localização do Poço CA029PP**  
Fonte: Google, 2011

A Tabela 17 apresenta a comparação dos dados construtivos do poço e os dados atuais do mesmo.

**Tabela 17 - Comparativo do Poço CA029PP**

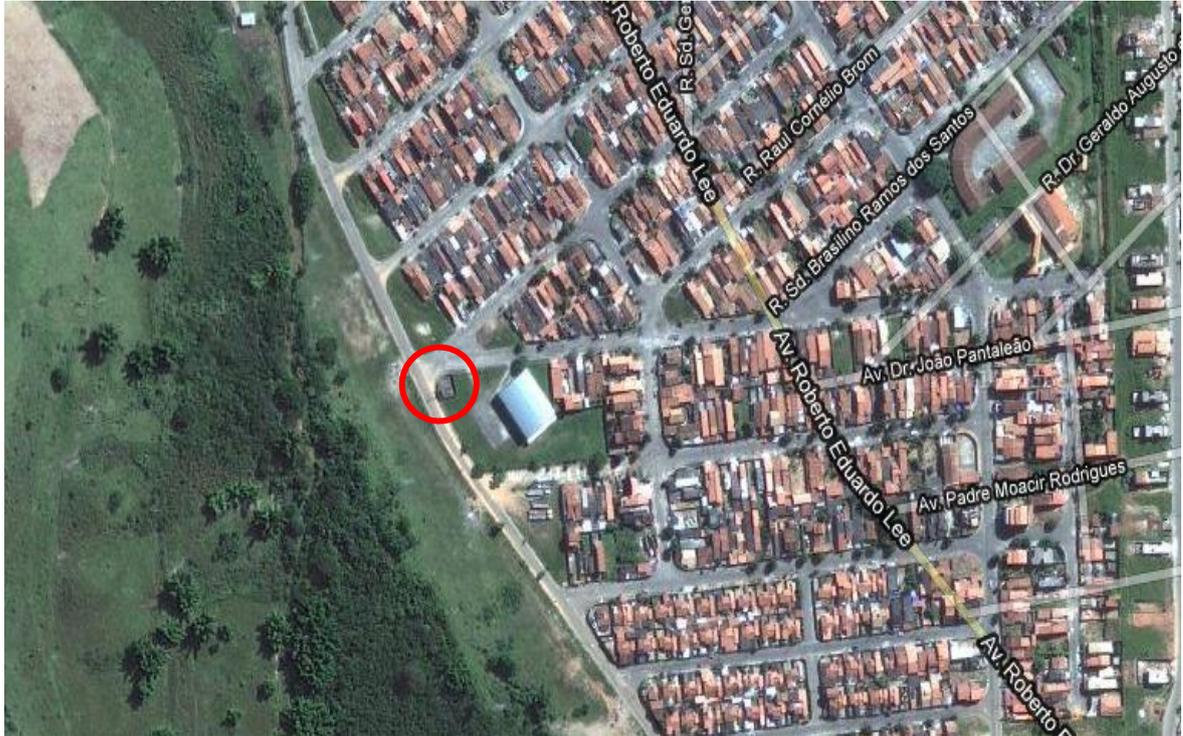
| <b>CA029PP</b>     | Profund.<br>(m) | Cota terreno<br>(m) | ND<br>(m) | NE<br>(m) | Vazão<br>m <sup>3</sup> /h |
|--------------------|-----------------|---------------------|-----------|-----------|----------------------------|
| Dados Construtivos | 210,00          | 580,00              | 109,00    | 79,20     | 35,00                      |
| Medição Atual      |                 |                     | 113,00    | 93,00     | 29,85                      |

Fonte: Sabesp, 2009

Este poço apresentou queda de vazão de exploração de apenas 14,71% e ele apresenta uma redução em seu nível dinâmico de apenas 4,00m. É importante considerar a baixa capacidade de produção deste poço.

### 5.14 Poço CA030PP

O Poço CA030PP está localizado na Av Padre José Fortunato da Silva Ramos c/ Av. João Pantaleão - Nova Caçapava, nas coordenadas NS 7444,66 e EW 429,62 e foi perfurado em 07/09/1998 pela empresa CPA (figura 26).



**Figura 26 - Localização do Poço CA030PP**

Fonte: Google, 2011

A Tabela 18 apresenta a comparação dos dados construtivos do poço e os dados atuais do mesmo.

**Tabela 18 - Comparativo do Poço CA030PP**

| CA030PP            | Profund.<br>(m) | Cota<br>terreno<br>(m) | ND<br>(m) | NE<br>(m) | Vazão<br>m <sup>3</sup> /h |
|--------------------|-----------------|------------------------|-----------|-----------|----------------------------|
| Dados Construtivos | 202,50          | 580,00                 | 83,00     | 49,15     | 80,00                      |
| Medição Atual      |                 |                        | 94,50     | 62,20     | 58,10                      |

Fonte: Sabesp, 2009

O Poço CA030PP apresentou queda de vazão de exploração de 27,38% e ele apresenta uma redução em seu nível dinâmico de 11,50m.

### 5.15 Poço CA031PP

O Poço CA031PP está localizado na Estrada da Germana, s/ n. - Bairro Santa Terezinha, nas coordenadas NS 7443,69 e EW 429,74 e foi perfurado em 22/06/2005 pela empresa Hidroenge (figura 27).



**Figura 27 - Localização do Poço CA031PP**

Fonte: Google, 2011

A Tabela 19 apresenta a comparação dos dados construtivos do poço e os dados atuais do mesmo.

**Tabela 19 - Comparativo do Poço CA031PP**

| CA031PP            | Profund.<br>(m) | Cota terreno<br>(m) | ND<br>(m) | NE<br>(m) | Vazão<br>m <sup>3</sup> /h |
|--------------------|-----------------|---------------------|-----------|-----------|----------------------------|
| Dados Construtivos | 290,00          | 560,00              | 98,07     | 70,72     | 160,00                     |
| Medição Atual      |                 |                     | 121,50    | 92,00     | 128,17                     |

Fonte: Sabesp, 2009

O Poço CA031PP é o poço de maior vazão já construído em Caçapava e apresentou queda de vazão de exploração de 19,89% e ele apresenta uma redução em seu nível dinâmico de 23,43m. O grande diferencial deste poço refere-se à sua vazão específica que atualmente está em torno de 4,34 m<sup>3</sup>/h/m de rebaixamento.



pode ser exemplificada pela sua vazão específica que caiu de  $3,68\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ , na época de sua construção, para  $0,37\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ , representando uma queda de 89,84%.

### 5.17 Poço CA033PP

O Poço CA033PP está localizado na Rua João B Moreira, 285 - Aldeia da Serra, nas coordenadas NS 7444,34 e EW 428,83 e foi perfurado em 2001 pela empresa Hidrogeo (figura 29).



Figura 29 - Localização do Poço CA033PP  
Fonte: Google, 2011

A Tabela 21 apresenta a comparação dos dados construtivos do poço e os dados atuais do mesmo.

Tabela 21 - Comparativo do Poço CA033PP

| CA033PP            | Profund.<br>(m) | Cota terreno<br>(m) | ND<br>(m) | NE<br>(m) | Vazão<br>m <sup>3</sup> /h |
|--------------------|-----------------|---------------------|-----------|-----------|----------------------------|
| Dados Construtivos | 156,00          | 585,00              | 94,00     | 74,80     | 80,00                      |
| Medição Atual      |                 |                     | 94,00     | 78,00     | 56,57                      |

Fonte: Sabesp, 2009

O Poço CA033PP apresentou queda de vazão de exploração de 29,29%. Apesar da queda de vazão o nível dinâmico é mantido no mesmo patamar devido a posição do equipamento bombeador ser um limitante deste nível.



### 5.19 Poço NE001PP

O Poço NE001PP está localizado na Rodovia João Amaral Gurgel, Km 1,4, Residencial Nova Esperança, nas coordenadas NS 7442,38 e EW 426,99 e foi perfurado em 13/11/2000 pela empresa Geoplan – Assessoria, Planejamento e Perfurações Ltda (figura 31).

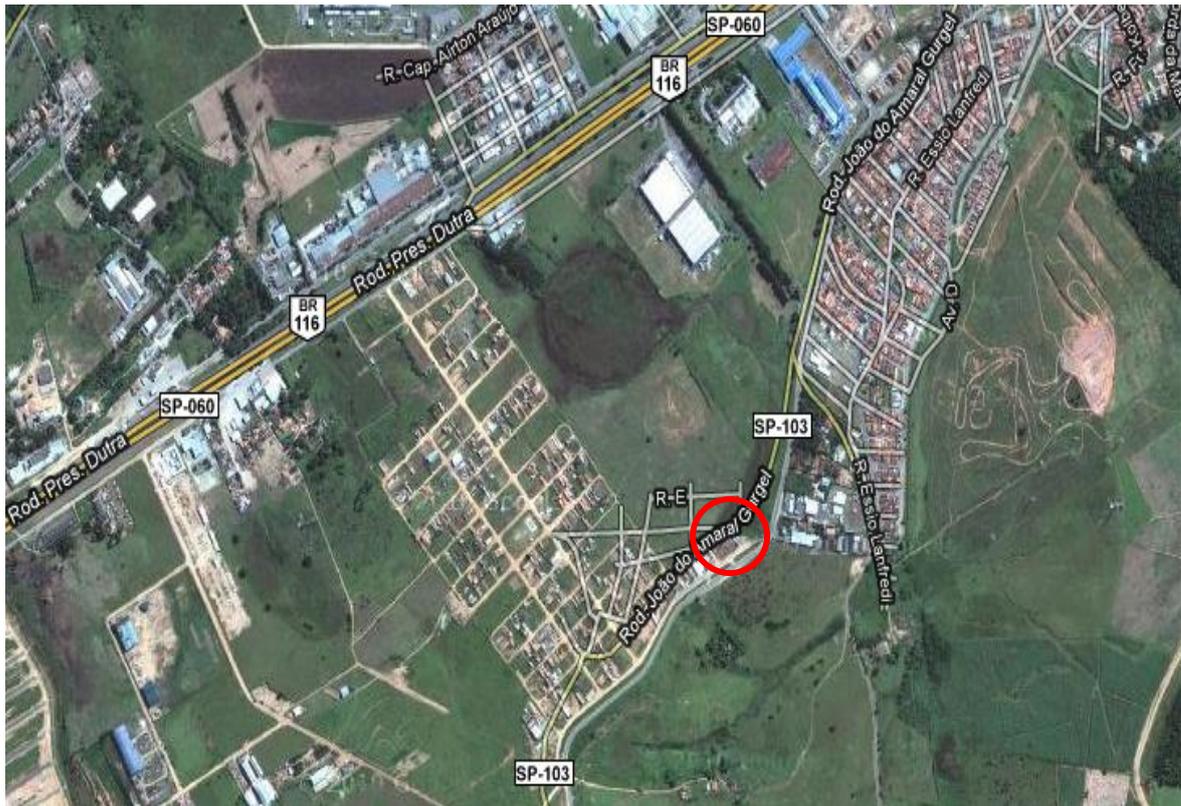


Figura 31 - Localização do Poço NE001PP

Fonte: Google, 2011

A Tabela 23 apresenta a comparação dos dados construtivos do poço e os dados atuais do mesmo.

Tabela 23 - Comparativo do Poço NE001PP

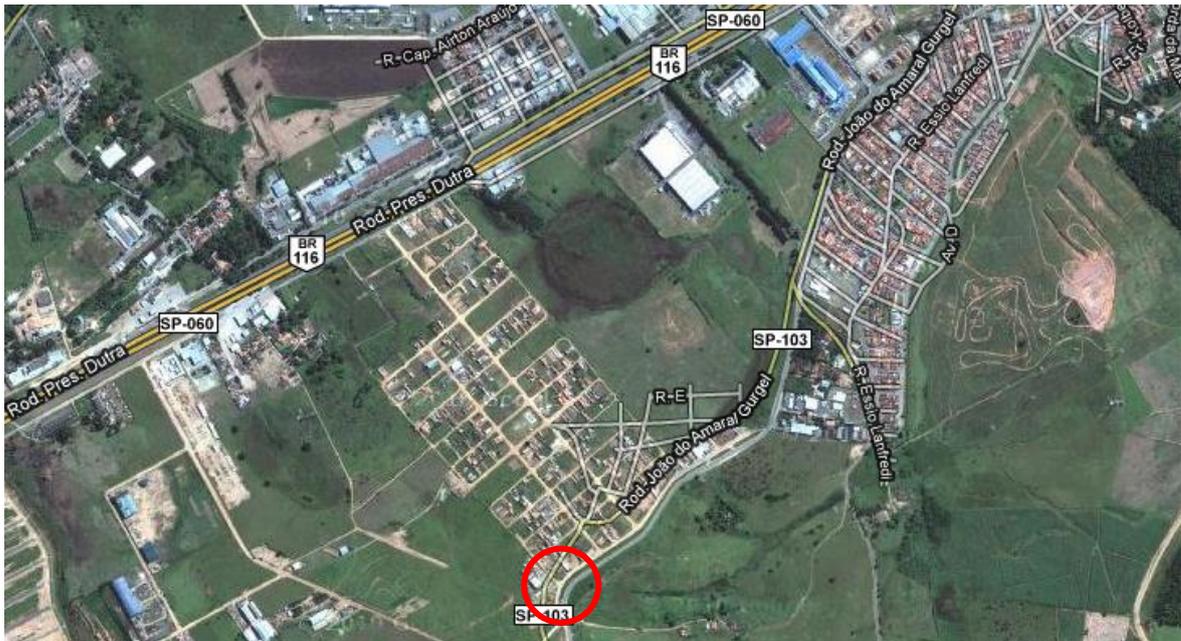
| CA034PP            | Profund.<br>(m) | Cota terreno<br>(m) | ND<br>(m) | NE<br>(m) | Vazão<br>m <sup>3</sup> /h |
|--------------------|-----------------|---------------------|-----------|-----------|----------------------------|
| Dados Construtivos | 212,00          | 590,00              | 101,99    | 93,08     | 42,30                      |
| Medição Atual      |                 |                     | -         | -         | 41,50                      |

Fonte: Sabesp, 2009

Este poço tubular profundo praticamente não apresentou queda de vazão, mas não foi possível avaliar seu nível dinâmico devido ao tubo de medição de nível não apresentar condições para esta operação.

## 5.20 Poço NE002PP

O Poço NE002PP está localizado na Rodovia João Amaral Gurgel, Km 1,7, Residencial Nova Esperança, nas coordenadas NS 7442,36 e EW 426,96, e foi perfurado em 1713/11/2000 pela empresa Geoplan – Assessoria, Planejamento e Perfurações Ltda (figura 32).



**Figura 32 - Localização do Poço NE002PP**

Fonte: Google, 2011

A Tabela 24 apresenta a comparação dos dados construtivos do poço e os dados atuais do mesmo.

**Tabela 24 - Comparativo do Poço NE002PP**

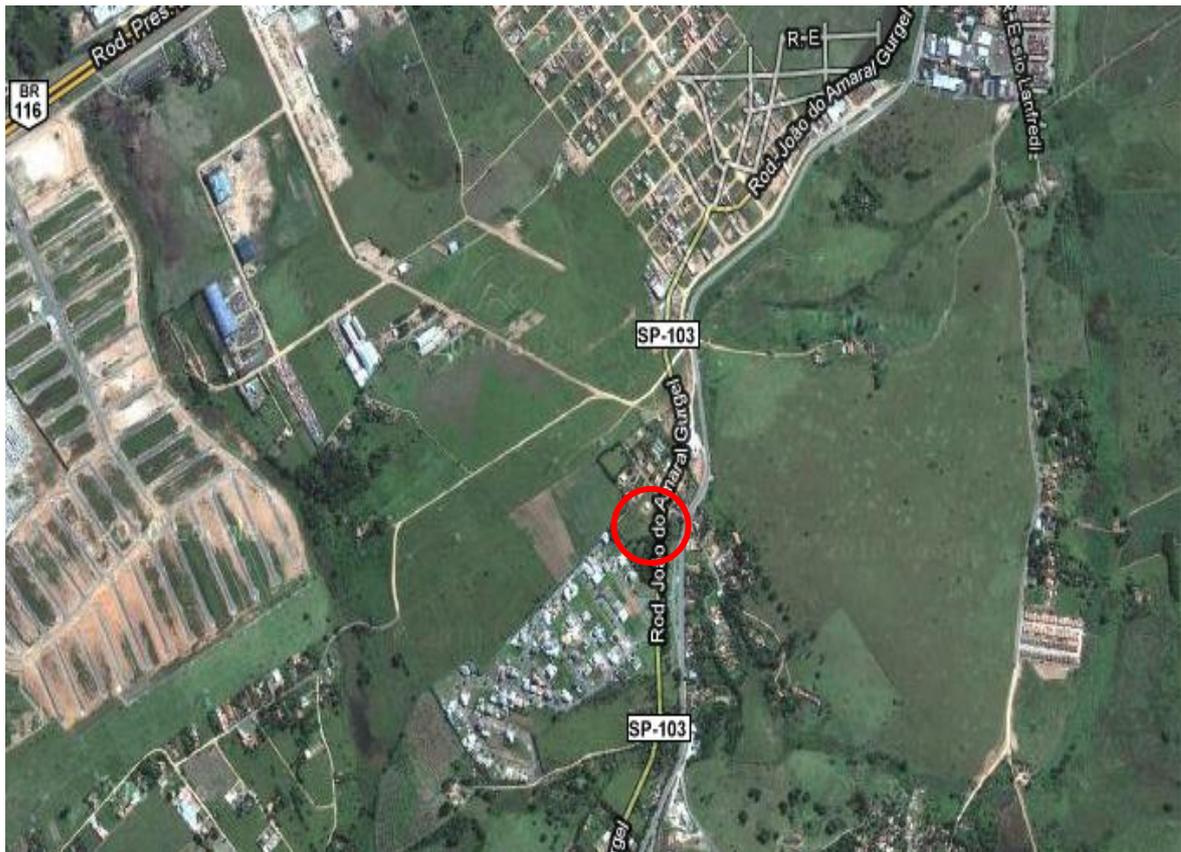
| CA034PP            | Profund.<br>(m) | Cota terreno<br>(m) | ND<br>(m) | NE<br>(m) | Vazão<br>m <sup>3</sup> /h |
|--------------------|-----------------|---------------------|-----------|-----------|----------------------------|
| Dados Construtivos | 255,00          | 560,00              | 130,00    | 98,20     | 90,00                      |
| Medição Atual      |                 |                     | -         | -         | 89,00                      |

Fonte: Sabesp, 2009

Este poço tubular profundo praticamente não apresentou queda de vazão, mas não foi possível avaliar seu nível dinâmico devido ao tubo de medição de nível não apresentar condições para esta operação.

### 5.21 Poço SH001PP

O Poço SH001PP está localizado na Rodovia João do Amaral Gurgel, Km 2,7 - Bairro do Sapé, nas coordenadas NS 7440,97 e EW 426,04 e foi perfurado em 07/07/2001 pela empresa Tec Drill (figura 33).



**Figura 33 - Localização do Poço SH001PP**

Fonte: Google, 2011

A Tabela 25 apresenta a comparação dos dados construtivos do poço e os dados atuais do mesmo.

**Tabela 25 - Comparativo do Poço SH001PP**

| SH001PP            | Profund.<br>(m) | Cota terreno<br>(m) | ND<br>(m) | NE<br>(m) | Vazão<br>m <sup>3</sup> /h |
|--------------------|-----------------|---------------------|-----------|-----------|----------------------------|
| Dados Construtivos | 166,00          | 600,00              | 83,00     | 74,40     | 20,00                      |
| Medição Atual      |                 |                     | 106,60    | 96,00     | 8,86                       |

Fonte: Sabesp, 2009

O Poço SH001PP apresentou queda de vazão de 55,70% e seu nível dinâmico teve queda de 23,60 m.

## 5.22 Poço VV001PP

O Poço VV001PP está localizado no Loteamento Vitória Vale, nas coordenadas NS 7445,53 e EW 430,22 e foi perfurado em 01/04/2000 pela empresa CPA (figura 34).

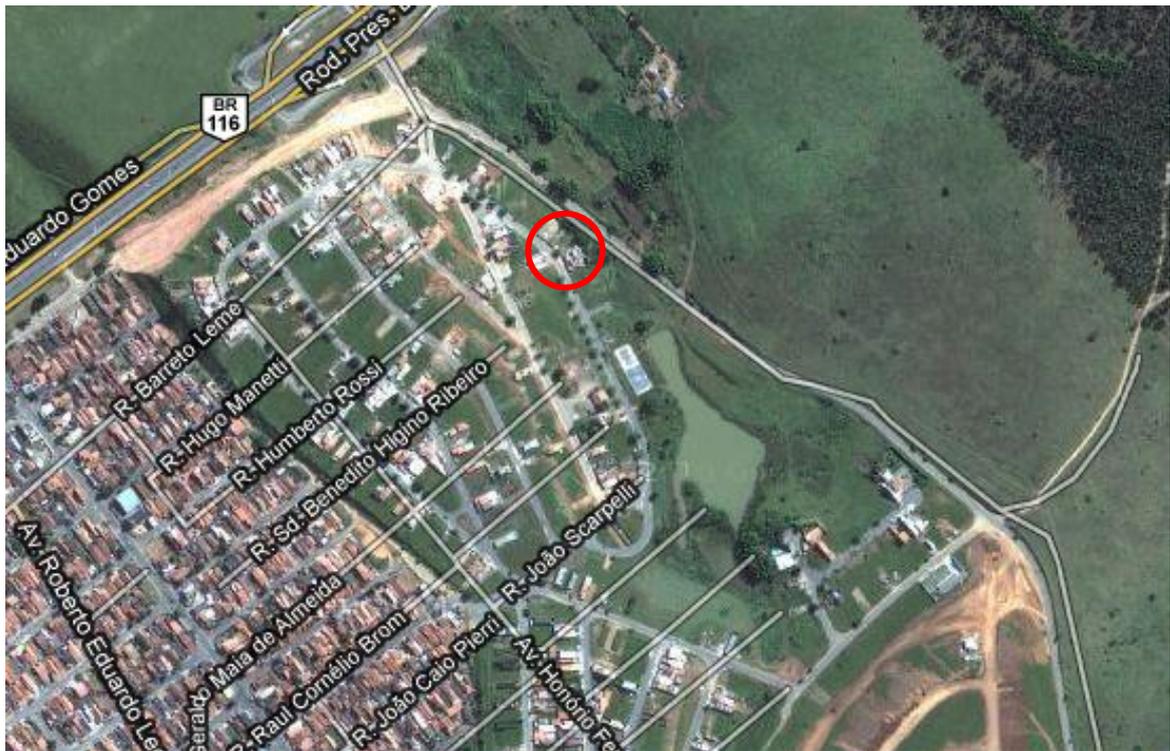


Figura 34 - Localização do Poço VV001PP

Fonte: Google, 2011

A Tabela 26 apresenta a comparação dos dados construtivos do poço e os dados atuais do mesmo.

Tabela 26 - Comparativo do Poço VV001PP

| VV001PP            | Profund.<br>(m) | Cota terreno<br>(m) | ND<br>(m) | NE<br>(m) | Vazão<br>m <sup>3</sup> /h |
|--------------------|-----------------|---------------------|-----------|-----------|----------------------------|
| Dados Construtivos | 216,60          | 580,00              | 98,00     | 62,00     | 80,00                      |
| Medição Atual      |                 |                     | 106,00    | 73,00     | 70,49                      |

Fonte: Sabesp, 2009

O Poço VV001PP apresentou queda de vazão de 11,89% e seu nível dinâmico teve queda de 8,00m. Esta queda é uma das menores ocorridas nos poços do sistema de produção de Caçapava, apesar de não ter sido executada qualquer manutenção preventiva neste poço.

### 5.23 Dados Comparativos dos poços Caçapava

Os poços que estão em operação no sistema de abastecimento público de Caçapava, quando é feita a comparação entre as condições originais da época de construção com a média da produção e os dados atuais, os mesmos apresentam acentuada perda de capacidade média de produção na ordem de **27,86%** e perdas acumuladas que atingiram **42,33%** da vazão original. A Figura 35 apresenta a comparação das vazões originais e as vazões atuais dos poços estudados.

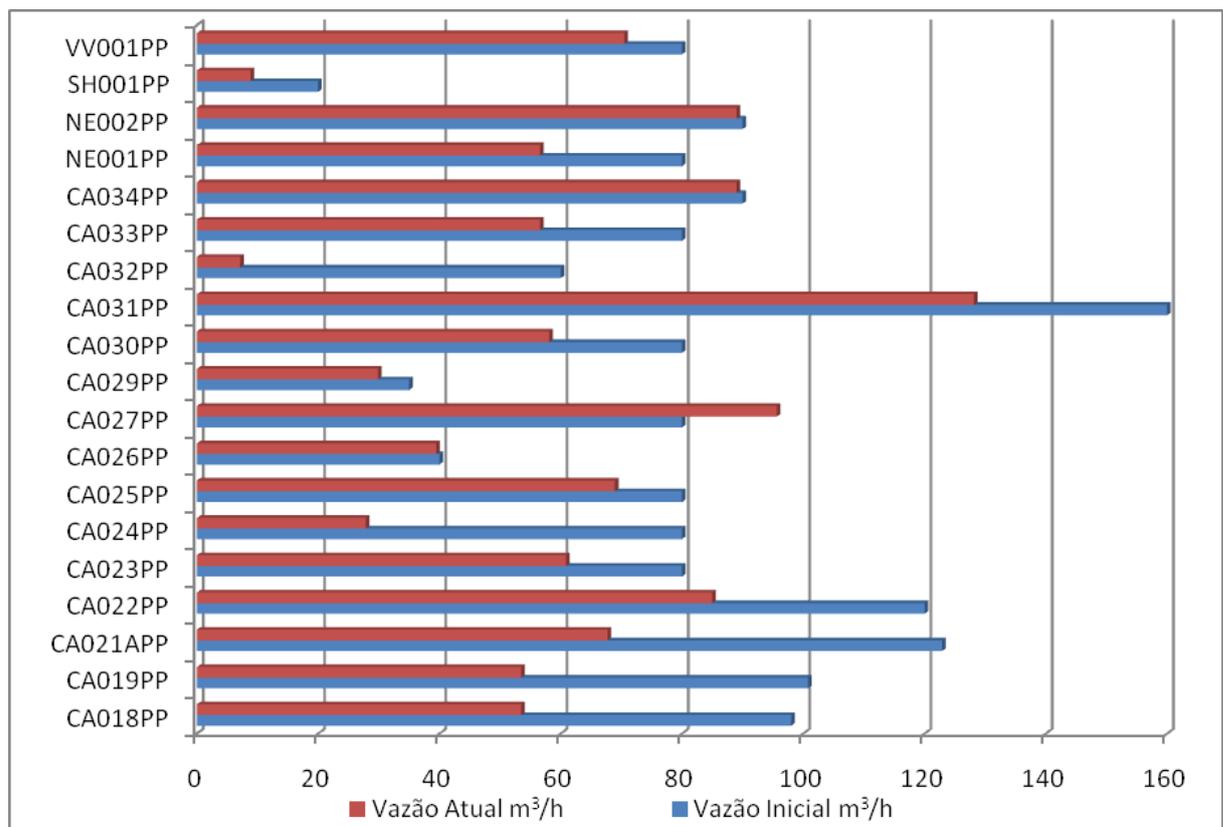
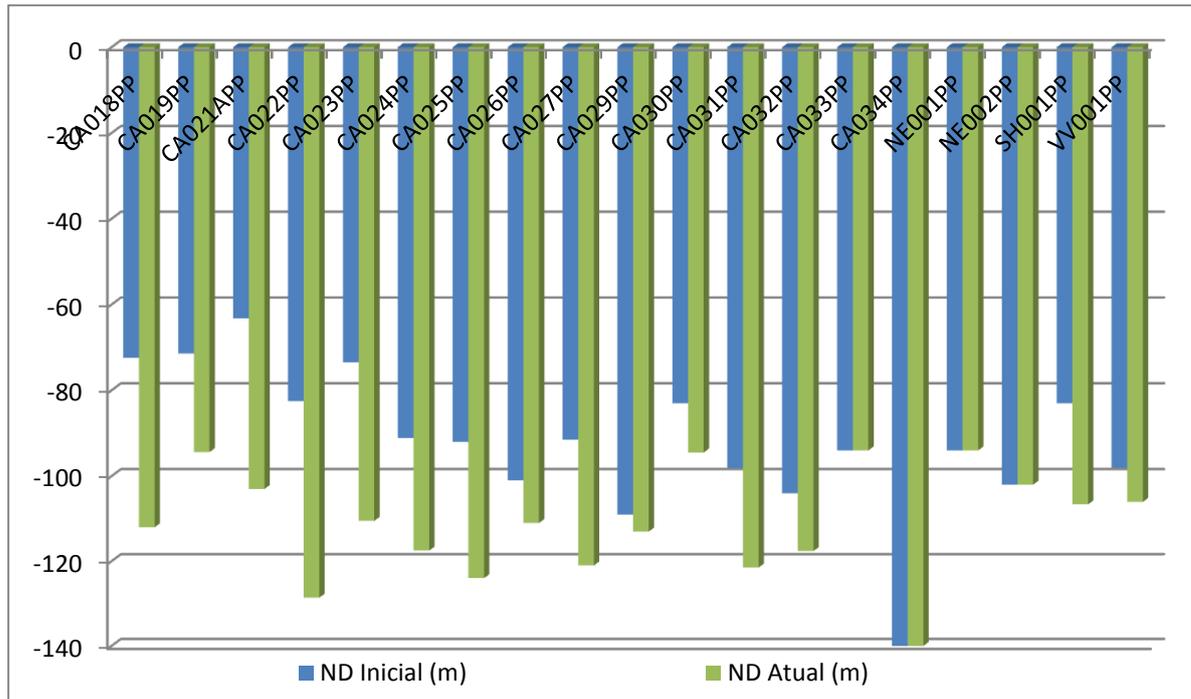


Figura 35 - Comparativo de vazão dos poços de Caçapava

O poço CA0032 apresentou a maior queda de produção com o patamar de 88% de queda, sendo em seguida o Poço CA0024 com 65% de queda de vazão. Já o poço CA027, devido à manutenção realizada apresenta uma vazão 20% maior que sua vazão original.

Outra característica importante a ser analisada é a comparação dos níveis dinâmicos originais e atuais dos poços de Caçapava, conforme esquematizado no gráfico da Figura 36. Na média os níveis dinâmicos caíram 23,84% sendo que o poço CA021 apresenta o maior rebaixamento (cerca de 63%).



**Figura 36 - Comparativo de níveis dinâmicos dos poços de Caçapava**

A capacidade específica destes poços, índice que representa o potencial de produção por metro de água rebaixado, apresenta queda acentuada superior a 30%. Os poços CA024 e CA032 são os que apresentam as maiores quedas de vazão específica, confirmando as respectivas quedas de vazão apresentadas. Já o poço CA026 apresenta aumento de sua vazão específica, não necessariamente apresentando-se como um indicador benéfico, já que seu nível estático experimentou a maior queda dentre todos os poços estudados.

A Tabela 27 apresenta o comparativo das vazões específicas dos poços que compõe o sistema de abastecimento de Caçapava.

**Tabela 27 - Comparativo das Vazões Específicas**

| Poço     | Vazão Específica<br>m <sup>3</sup> /h/m |       | %       |
|----------|---|-------|---------|
|          | Inicial                                 | Atual |         |
| CA018PP  | 2,10                                    | 0,89  | -57,48% |
| CA019PP  | 3,41                                    | 1,73  | -49,30% |
| CA021APP | 7,62                                    | 4,40  | -42,29% |
| CA022PP  | 4,18                                    | 2,87  | -31,34% |
| CA023PP  | 4,66                                    | 1,40  | -69,99% |
| CA024PP  | 6,10                                    | 0,99  | -83,79% |
| CA025PP  | 4,04                                    | 2,22  | -44,93% |
| CA026PP  | 0,69                                    | 1,52  | 120,29% |
| CA027PP  | 5,92                                    | 3,19  | -46,13% |
| CA029PP  | 1,17                                    | 1,49  | 27,08%  |
| CA030PP  | 2,36                                    | 1,80  | -23,89% |
| CA031PP  | 5,85                                    | 4,34  | -25,73% |
| CA032PP  | 3,68                                    | 0,37  | -89,84% |
| CA033PP  | 4,17                                    | 3,54  | -15,15% |
| CA034PP  | 2,35                                    | 2,23  | -5,41%  |
| NE001PP  | 4,17                                    | 2,36  | -43,43% |
| NE002PP  | 3,80                                    | 2,23  | -41,45% |
| SH001PP  | 2,33                                    | 0,84  | -64,06% |
| VV001PP  | 2,22                                    | 2,14  | -3,88%  |

## 6. OPERAÇÃO DOS POÇOS

Os sistemas de abastecimento público oriundos de mananciais subterrâneos, normalmente operam na configuração poço-reservatório-distribuição, ou seja, um conjunto moto-bomba do tipo submersível com acionamento elétrico é instalado a certa profundidade no interior do aquífero e bombeia água para um reservatório próximo, posicionado no ponto mais elevado do setor a ser abastecido, e por gravidade a água é distribuída à população (SAGGIORO, 2005).

Devido ao crescimento populacional natural dos municípios, exige-se um aumento correspondente na produção e na oferta de água tratada. Para suprir esta demanda crescente, nos últimos anos na maioria das cidades brasileiras, assim como Caçapava, ocorreu um elevado incremento na extração de água dos aquíferos.

Considerando-se que o limite geográfico dos municípios manteve-se inalterado, aumentando-se apenas sua densidade demográfica, o aumento da produção de água se deu de duas maneiras (SAGGIORO, 2005):

- a) Aumentando-se o volume diário extraído em um determinado poço, quer através do aumento da vazão horária (obtido através da substituição do conjunto moto-bomba submersível), quer através do aumento do período diário (número de horas) de operação do conjunto moto-bomba original;
- b) Perfurando-se novos poços intercalados aos já existentes.

As duas soluções acima significam um aumento no volume de água extraído do aquífero que, como consequência, implica em um rebaixamento em seu nível e numa redução na vazão específica máxima dos poços.

Diante destes fatos, torna-se necessário identificar como varia o nível do aquífero ao longo do tempo de operação do poço, tendo por objetivo evitar-se que o mesmo entre em colapso, ou seja, que seja retirada mais água do que o poço está sendo capaz produzir.

As perdas nos Poços produzem um rebaixamento adicional que corresponde a soma de (ABES, 2009):

- Perda de carga em torno do poço como resultado do aumento de velocidade da água que é influenciada diretamente pelas características construtivas (abertura dos filtros, granulometria do pré-filtro, etc.) e desenvolvimento.
- Perdas de carga devido à ascensão da água desde a zona dos filtros até a bomba. Só é significativa quando a distância é muito grande ou a tubulação é inadequada para a vazão bombeada.
- Perda de entrada na bomba: quando o espaço entre a entrada da bomba (crivo) e a parede do poço é muito pequeno.

Para uma avaliação mais eficiente do sistema deve-se considerar algumas ações prioritárias a serem executadas no município:

- Manutenção em todos os poços (excetos os que já sofreram manutenção e mantêm as suas características);
- Execução de obras de recuperação, em poços passíveis de reaproveitamento (rencamisamento e reparos);
- Adequação dos equipamentos e estruturas instaladas (aumento de produtividade);
- Monitoramento dos poços (manual ou remoto);
- Necessidade de novos investimentos para a cidade (novos poços).

A necessidade de **Monitoramento** das águas subterrâneas da Cidade de Caçapava ocorre devido aos seguintes fatores:

- a) A Cidade de Caçapava é abastecida por extração de águas subterrâneas e esse é o recurso de maior valor natural na terra e estratégico para abastecimento humano;
- b) As informações do monitoramento subsidiam as ações preventivas e proativas para manutenção da qualidade e quantidade, gerenciamento da disponibilidade e garantia ao atendimento das funções de uso social, econômico e ecológico;

- c) Os dados norteiam a tomada de decisões para exploração, desenvolvimento e gerenciamento do recurso, bem como para o desencadeamento de ações mitigatórias, nos casos de poluição/contaminação;
- d) O Monitoramento é ferramenta (essencial) para a gestão integrada dos recursos hídricos;
- e) O monitoramento quali-quantitativo é um dos instrumentos mais importantes de suporte a estratégias e políticas de uso, proteção e conservação do recurso hídrico subterrâneo;

Enfatizando estes procedimentos, na tabela 28, estão detalhados os resultados das manutenções efetuadas nos poços operados pela Sabesp em todo estado de São Paulo em 2010.

Já na tabela 29 é apresentado o estudo comparativo dos custos de manutenção corretiva de poços com os custos relativos à perfuração de novos poços. Esta comparação deixa evidenciada a ampla vantagem da manutenção, sendo que os custos destas manutenções poderiam ser bem menores se estas fossem feitas preventivamente.

É importante enfatizar que, na execução da manutenção, os poços recebem uma sobrevida que não foi avaliada nesta dissertação. Essa sobrevida é inferior a vida útil do poço que está entre 20 a 25 anos.

Tabela 28 - Resultados de Manutenção de Poços pela Sabesp em 2010

| Município              | No. | UN | Vazão (m <sup>3</sup> /h) |        |        |         | Tempo de execução |
|------------------------|-----|----|---------------------------|--------|--------|---------|-------------------|
|                        |     |    | Original                  | Antes  | Após   | Aumento |                   |
| Fernandópolis          | 15  | RT | 450,00                    | 17,00  | 210,00 | 1135%   | 30 dias           |
| Santana da Ponte Pensa | 2   | RT | 4,60                      | 4,60   | 7,92   | 72%     | 7 dias            |
| Pirapozinho            | 12  | RB | 44,00                     | 33,16  | 42,00  | 27%     | 1 dia             |
| Avaré                  | 8   | RA | 200,00                    | 100,08 | 169,74 | 70%     | 2 dias            |
| Capela do Alto         | 11  | RM | 80,00                     | 64,91  | 85,28  | 31%     | 2 dias            |
| Cesário Lange          | 1   | RM | 10,00                     | 4,35   | 9,00   | 107%    | 1 dia             |

Fonte: Acervo Sabesp 2011

Tabela 29 - Estudo comparativo dos custos de poços

| CUSTO MÉDIO DO m <sup>3</sup> /h PRODUZIDO |                        |
|--|------------------------|
| PERFURAÇÃO DE NOVO POÇO                    | EXECUÇÃO DE MANUTENÇÃO |
| R\$ 7.500,00                               | R\$ 3.000,00           |
| <b>PORCENTAGEM</b>                         | <b>40%</b>             |
| PRAZO MÉDIO (Dia)                          |                        |
| 60   | 12                     |
| <b>PORCENTAGEM</b>                         | <b>20%</b>             |

Fonte: Acervo Sabesp 2011

## 7. CONCLUSÃO

O município de Caçapava é abastecido por águas subterrâneas, através de 19 poços (Sede e Sistemas Isolados). Estes poços apresentam acentuado processo de perda da capacidade de produção, não só ao longo da operação, mas também devido a não existência de um programa de manutenção preventiva, conforme os registros pesquisados. Tendo ainda como agravante, as características do sistema aquífero Taubaté que tem altos níveis de ferro e manganês que levam a uma maior colmatação das seções filtrantes, gerando a queda acentuada da produção dos poços.

A constatação das perdas de vazão, consequência da acentuada queda da capacidade específica, são indicações indiscutíveis da urgência na realização de um programa de manutenção em todos os poços.

Em Caçapava existem ainda 18 poços (não tratados nesta dissertação) desativados por motivos diversos, tais como: baixa produção, rompimento de revestimento, qualidade da água, e outros. Atualmente, estão sendo executadas algumas medidas para tentar recuperar a produção do sistema. A manutenção no P.27 (vazão atual= 7,0 m<sup>3</sup>/h – vazão inicial= 80,00 m<sup>3</sup>/h) pode ser citada como exemplo e a interligação do sistema de abastecimento da cidade com uma rede (400 mm) que vem do município de Taubaté que tem mananciais superficiais e disponibilizará cerca de 360m<sup>3</sup>/h.

Podem ser propostas ações para a recuperação de vazão, relacionadas às atuais condições de operação, que consideram a possibilidade de aumento de vazão pela recuperação dos poços através de programas de manutenção corretiva, e o estudo sobre a recuperação viável de alguns poços.

Existe ainda a possibilidade de ganho de vazão melhorando o potencial de alguns poços que estão sub-explorados, readequando o equipamento instalado. Como exemplo, podemos citar os poços 21A, 30 e 33 que, através da adequação de equipamento de bombeamento (profundidade e potencia – necessita estudo mais detalhado), podem obter um ganho de vazão da ordem de 171 m<sup>3</sup>/h o que equivale a

14,00% da vazão atual. Em conjunto com outras ações esta recuperação pode ser ainda maior, conforme demonstrado na tabela 30.

Cabe ressaltar, ainda, que as manutenções devem ser periódicas e monitoradas para evitar problemas de abastecimento. No momento devido à falta de água no sistema as ações emergenciais já estão sendo executadas (manutenção do P.27, manutenção do P.3 de Caçapava Velha, interligação com rede de 400 mm com o município de Taubaté e perfuração do P.2 do Residencial Esperança).

Uma vez minimizado este déficit, deverá ser programada com urgência a manutenção de todos os poços (excluindo-se os que passaram por manutenção recente) para evitar novos colapsos no sistema e projetar os investimentos necessários para a demanda que está em expansão no município.

**Tabela 30 - Projeção de ações de recuperação**

| Poço         | Vazão Inicial (m <sup>3</sup> /h) | Vazão atual (m <sup>3</sup> /h) | Perda (m <sup>3</sup> /h) | Projeção de Vazão Final (m <sup>3</sup> /h) |
|--------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------|---|
| CA018PP      | 98,00                             | 53,49                           | 44,51                     | 86,87                                       |
| CA019PP      | 100,80                            | 47,85                           | 52,95                     | 87,56                                       |
| CA021APP     | 122,90                            | 67,71                           | 55,19                     | 109,10                                      |
| CA022PP      | 120,00                            | 84,98                           | 35,02                     | 111,25                                      |
| CA023PP      | 80,00                             | 60,89                           | 19,11                     | 75,22                                       |
| CA024PP      | 80,00                             | 27,88                           | 52,12                     | 66,97                                       |
| CA025PP      | 80,00                             | 68,94                           | 11,06                     | 77,24                                       |
| CA026PP      | 40,00                             | 39,5                            | 0,50                      | 39,88                                       |
| CA027PP      | 80,00                             | 95,62                           | 0,00                      | 95,62                                       |
| CA029PP      | 35,00                             | 29,85                           | 5,15                      | 33,71                                       |
| CA030PP      | 80,00                             | 58,10                           | 21,90                     | 74,53                                       |
| CA031PP      | 160,00                            | 128,17                          | 31,83                     | 152,04                                      |
| CA032PP      | 60,00                             | 7,14                            | 52,86                     | 46,79                                       |
| CA033PP      | 80,00                             | 56,57                           | 23,43                     | 74,14                                       |
| CA034PP      | 90,00                             | 89,00                           | 1,00                      | 89,75                                       |
| NE001PP      | 80,00                             | 56,57                           | 23,43                     | 74,14                                       |
| NE002PP      | 90,00                             | 89,00                           | 1,00                      | 89,75                                       |
| SH001PP      | 20,00                             | 8,86                            | 11,14                     | 17,22                                       |
| VV001PP      | 80,00                             | 70,49                           | 9,51                      | 77,62                                       |
| <b>TOTAL</b> | <b>1576,7</b>                     | <b>1140,61</b>                  | <b>451,71</b>             | <b>1479,39</b>                              |

Na tabela 30 encontram se projetadas as vazões dos poços de Caçapava após a execução de um programa de manutenções para recuperação dos mesmos. A

projeção baseia-se na eficiência das manutenções dentro das características construtivas de cada poço tubular profundo.

Essas ações projetam uma recuperação de 338,78 m<sup>3</sup>/h que poderiam oferecer um conforto operacional para a equalização dos regimes de bombeamento. Esta equalização é importante, pois os poços devem operar ente 18 e 20 horas por dia e, no caso de Caçapava, este período não está sendo respeitado, de acordo com a informação da operação local. É importante salientar que as manutenções preventivas precisam ser periódicas e que não garantem a recuperação total dos poços, pois vários fatores adicionais agem na redução da capacidade de produção dos poços. Dentre eles podemos citar a superexploração além da própria capacidade de recarga do aquífero e a vida útil do poço.

Sugere-se ainda, fazer uma análise mais apurada para detectar os rebaixamentos de nível da água nos aquíferos, identificar problemas de superexploração e coletar dados para uma modelagem, identificando a influência dos cones de rebaixamento dos poços existentes e determinando os regimes de bombeamento mais adequados para a garantia de uso racional destes aquíferos.

Assim fica evidente a necessidade de execução periódica de programas de manutenção preventiva, tornando o sistema mais confiável e de melhor gestão já que atualmente tem produção no limite da demanda requerida, sendo necessário levantamento e avaliação das condições operacionais atuais, tendo em vista o imediato aumento na capacidade de produção e posterior execução de um programa de manutenção corretiva para recuperação da capacidade de produção perto da original.

## 8. REFERÊNCIAS

- ✚ ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – Apostila do curso: **Águas Subterrâneas e Poços Tubulares Profundos**. Brasília, 2009.
- ✚ ANA – Agência Nacional das Águas – **Águas Subterrâneas** – Superintendência de Informações Hidrológicas SIH, Agosto/2002.
- ✚ ANA – Agência Nacional das Águas – **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. 2007 Disponível em: <http://www.ana.gov.br>, Acesso em: 22 abril 2011.
- ✚ BENDASSOLLI, J. A. (coord). Apostila sobre **Gestão de Água e Energia**. São Paulo: USP, CENA, 2009. 39 p. Disponível em: <http://web.cena.usp.br/apostilas/Bertinho/CEN%200470/Apostila%20Agua%20e%20Energia%202009.pdf>. Acesso em: 13/12/2009.
- ✚ CETESB - Companhia Ambiental de São Paulo – **Água Subterrânea e Poços Tubulares** – 1978.
- ✚ CETESB - Companhia Ambiental de São Paulo - **Relatório de Qualidade de Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo** no Período 2004 – 2006.
- ✚ CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Disponível em: <[www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)>. Acesso em: 05 abril 2011.
- ✚ FEITOSA, F.A.C. (org). **Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações**. CPRM, 2008
- ✚ HESPANHOL, I. **Potencial de reúso de água no Brasil: Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos**. Recursos Hídricos: APRH, Portugal, v. 23, n.2, p.43-65, Nov. 2002.
- ✚ IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010**, Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 13 abril 2010.

- ✚ MELFI, A. J. **Água: Pesquisa para a Sustentabilidade**. São Paulo, 2009.  
Disponível em: <http://www.fapesp.br/pdf/sabesp/melfi.pdf>. Acesso em: Maio 2010.
- ✚ MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na indústria: uso racional e reúso**.  
Sao Paulo: Oficina de Textos, 2005. 143p
- ✚ ONU – Organização das Nações Unidas – Relatório do Desenvolvimento Humano 2006 – **A água para lá da escassez: poder, pobreza e a crise mundial da água**. 2006. 238 p.
- ✚ PENNER G. C. Apostila **ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E POÇOS**. Hidráulica de Águas Subterrâneas – São Paulo, 2007
- ✚ PREFEITURA DE CAÇAPAVA, 2009, Disponível em:  
<http://www.cacapava.sp.gov.br/2009/index.php> . Acesso em: 15 abril 2010.
- ✚ REBOUÇAS, A. - Água doce no Mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A; BRAGA, B; TUNDISI, J. G. (Orgs). **Águas Doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação**. 2ª Edição, São Paulo: Escrituras, 1999. 703 p.
- ✚ REBOUÇAS, A. - Águas Subterrâneas. In: REBOUÇAS, A; BRAGA, B; TUNDISI, J. G. (Orgs). **Águas Doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação**. 2ª Edição, São Paulo: Escrituras, 1999. 703 p.
- ✚ ROCHA, G. A. (Coord.). **Manual de operação e manutenção de poços**. São Paulo, Departamento de Águas e Energia Elétrica, 3ª. ed., 2007.
- ✚ ROCHA, G. A. (Coord.) – **Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. São Paulo: DAEE/IG/IPT/CPRM, 2005. Vários colaboradores.
- ✚ SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – **Acervo Técnico** – Departamento de Manutenção e Automação, 2009.
- ✚ SAGGIORO, N. J. - **Análise Do Comportamento De Aquíferos Em Poços Profundos Utilizando-Se De Redes Neurais Artificiais** – XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005

- ✚ STRUCKMEIER, W. - **International Year of Planet Earth** – Earth Sciences for Society Foundation, Leiden, The Netherlands, 2005
- ✚ TELLES, D. D. - Água na agricultura e pecuária. In: REBOUÇAS, A; BRAGA, B; TUNDISI, J. G. (Orgs). **Águas Doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação**. 2ª Edição, São Paulo: Escrituras, 1999. 703 p.
- ✚ TELLES, D. D. ; COSTA, Regina Helena Pacca Guimarães. **Reúso da Água: Conceitos, Teorias e Práticas**. São Paulo: Blucher, 2007. 311 p.
- ✚ TODD D. K. **Água Subterrânea – Hidráulica de Poços. Hidrologia Aplicada** – CIV 226, Departamento de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.
- ✚ TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: RiMa, IIE, 2003. 247 p.
- ✚ UNESCO- **WWAP 2003. Water for people – Water for life** – The United Nations World Water Development Report. UNESCO Publishing, Paris, 2003.
- ✚ UNESCO – United Nations Educacional And Scientific Organizations. **Programa Hidrológico Internacional**, 2003.