



## Hidrogeologia da Várzea do Rio Paraíba do Sul: estudo de caso de uma área de mineração no município de Tremembé, SP, Brasil (doi:10.4136/ambi-agua.155)

Hélio Nobile Diniz<sup>1</sup>; Márcia Helena Galina<sup>1</sup>; Getulio Teixeira Batista<sup>2</sup>; Marcelo dos Santos Targa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Geológico/SMA

E-mail: {heliodiniz, marciagal}@igeologico.sp.gov.br

<sup>2</sup>Universidade de Taubaté (SP), Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

E-mail: getulio@agro.unitau.br; targa.marcelo@gmail.com

### RESUMO

A atividade de mineração de areia na porção paulista do Vale do Paraíba do Sul iniciou-se a partir da década de 50, na porção sudoeste da Bacia do rio Paraíba do Sul, município de Jacareí (SP) e se alastrou para os municípios vizinhos, sob a influência das demandas da urbanização e da industrialização, ainda hoje impulsionadas pela Região Metropolitana de São Paulo. Objetivou-se por meio do presente trabalho testar a hipótese sobre interferências provocadas pelas cavas de mineração de areia nas condições de armazenamento e na qualidade da água no aquífero sedimentar quaternário, uma vez que se notou a carência de estudos hidrogeológicos detalhados nessa área. A presente investigação se deu na escala local, numa área localizada a leste do município de Tremembé (SP), denominada Mineração Paraíso, com base em procedimentos técnicos que englobaram testes de infiltração e de vazão; análises laboratoriais dos índices físicos do solo e da qualidade da água; preparação de infraestrutura para as instalações de equipamentos - poços e piezômetros; sondagens SPT (*Standard Penetration Test*) e trabalho de gabinete. A partir dos resultados das análises dos índices físicos do solo, foi identificada alta porosidade (66%) nos solos friáveis da várzea, condição que quando somada aos valores elevados de transmissividade (15,5 m<sup>2</sup>/h - poço 1- e 33 m<sup>2</sup>/h - poço 3), obtidos a partir dos testes de vazão, proporciona um maior poder de transporte de solutos – incluindo bactérias - nas águas subterrâneas. Os resultados da análise granulométrica mostraram que a técnica de extração de areia utilizada, além de predatória também se mostrou ineficiente, uma vez que a areia do fundo da cava não é aproveitada, assim como no caso das argilas bentoníticas, encontradas nas camadas mais profundas. Os ensaios SPT (*Standard Penetration Test*) indicaram que o aquífero sedimentar quaternário (camada arenosa) possui uma espessura média de 5,5 m; em adição indicaram a existência de uma camada superior, composta por argilas orgânicas impermeáveis - a qual torna os depósitos arenosos confinados; identificaram ainda um aquíclode, formado pelas argilas bentoníticas verdes, logo abaixo da camada confinante. No entanto, é necessário salientar que a condição de confinamento se perde à medida que o solo orgânico - camada confinante - é removido para a instalação das cavas. Nesse caso, os depósitos arenosos passam a ter contato direto com o ar atmosférico, constituindo o aquífero do tipo livre. No que diz respeito à qualidade da água, o elemento nitrogênio amoniacal apresentou ocorrência acima dos limites esperados, tanto nos poços quanto nas cavas em operação. Tal situação é favorecida pelo lançamento do solo agriculturável, rico em ureia (nitrato de amônia), o qual é removido para instalação das dragas de extração de areia. Nas águas subterrâneas também foram registradas bactérias heterotróficas. Diante desse contexto, confirmam-se as consequências negativas nas condições de armazenamento e na qualidade da água do aquífero investigado, produzidas pelas atividades de mineração de areia.

**Palavras-chave:** várzea do Rio Paraíba do Sul; cavas de mineração de areia; interferências no armazenamento e qualidade das águas do aquífero quaternário.

## Hydrogeological characteristics of the Paraíba do Sul river flood plains: a case study of a mining area in the Tremembé municipality, SP, Brazil

### ABSTRACT

The sand mining activity in the São Paulo part of the Paraíba do Sul River Valley started in the 1950s, in the area of Jacareí municipality, located in the Southwestern part of the basin. From there, it advanced by the neighboring municipalities, fostered by urbanization and industrialization processes, especially of São Paulo Metropolitan Region. The lack of detailed hydrogeological studies in this area motivated this study that had the objective of verifying the hypothesis that sand mining pits interfere on the quality and storage of the water in the quaternary sedimentary aquifer. This study focused specifically in the eastern part of the Tremembé Municipality, São Paulo State, in a mining place called “*Mineração Paraíso*”. The investigation involved infiltration and flow tests, laboratory analyses of soil physical parameters and estimation, water quality indices and infrastructure construction for equipment installation including piezometers, dynamic penetration tests – (SPT - *Standard Penetration Test*), wells opening and office analyses. The soil physical parameters analyses revealed high porosity (66%) in the friable soils. This in addition to the high levels of transmissivity (15.5 m<sup>2</sup>/h measured in Well 1 and 33 m<sup>2</sup>/h in Well 3), obtained from the flow test, increases the speed of the transportation of solutes including bacteria, to the underground water. Results of the granulometric analyses showed that the sand mining technique is not only predatory, but also inefficient, since the sand at the bottom of the pit is left unexploited, as well as the bentonite clay found in the deeper layers. According to the penetration tests (SPT), the aquifer has an average thickness of 5.5 m and an upper layer of impermeable organic clays that confine the sand deposits. Furthermore, an aquiclude composed of green bentonitic clays was identified just below the confined layer. However, it is necessary to point out that the confinement condition is lost as soon as the organic soil layer is removed during mining exploitation and the sandy deposits starts to have direct contact with freely circulating air in the atmosphere, therefore the aquifer becomes unconfined. With reference to the results concerning the water quality, the ammoniac nitrogen element was found in a concentration greater than expected, both in the wells and in the active pits. This occurs due to the release of tillage soil, rich in urea (ammonium nitrate), which is removed for the installation of sand mining dredgers. Heterotrophic bacteria were found in the groundwater. Therefore, the negative interference of sand mining pits in the quality and storage of the water in the quaternary sedimentary aquifer was proved.

**Keywords:** sand mining pits; artificial lakes; interferences in the storage and quality of the water of the quaternary sedimentary aquifer.

### 1. INTRODUÇÃO

O Vale do Rio Paraíba do Sul é o principal eixo de ligação entre São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, estados brasileiros que concentram 40% da população e, praticamente 50% do PIB do país (IBGE, 2009). Tal cenário é resultante de um processo histórico que remonta à época da colonização. Em função desses ciclos, a infraestrutura para os processos industrial, comercial e de urbanização acabou se concentrando principalmente no sudeste brasileiro. Nesse contexto, os estados localizados nessa região tornaram-se centros polarizadores da vida econômica, política e financeira do país.

A mineração é considerada como a principal atividade subsidiária dos processos de urbanização e crescimento econômico, no entanto, uma imagem negativa é reproduzida desse setor junto à sociedade, principalmente, em virtude dos profundos impactos que ela provoca no ambiente natural e da falta de ações integradas para a minimização desses efeitos.

Esse cenário não poderia ser diferente, uma vez que o advento da urbanização não ocorreu nem de forma planejada, nem ambientalmente sustentável, ônus que atualmente, de maneira cada vez mais intensa, desafia os atores das diversas esferas do poder público e da sociedade civil, no sentido de buscar soluções imediatas para questões advindas dos processos degradantes de uso e ocupação do solo, os quais foram historicamente instalados em todo o território nacional.

As pressões do crescimento urbano e da paralisação da extração em antigas jazidas de areia, localizadas próximas à metrópole de São Paulo, foram fatores decisivos para a inserção da porção paulista do Vale do Paraíba do Sul, no início da década de 1950, como polo abastecedor de areia para a construção civil. Atualmente, segundo dados da ANEPAC (Associação Nacional das Entidades de Produtores de agregados para Construção civil), essa área é a maior fornecedora de areia para a região metropolitana de São Paulo, que consome praticamente 80% da produção.

Sausen (1988), por meio de um estudo realizado entre 1953 e 1984, no trecho entre Jacareí e Caçapava, considerou a extração de areia como a atividade que provocou as mudanças mais acentuadas na calha do rio Paraíba. A forma de extração de areia praticada nessa região ocorre por meio de cavas submersas, processo em que há a retirada da capa de solo argiloso, com espessura de até 2 m, pouco permeável e de infiltração desprezível. Trata-se da camada de solo apropriada para as culturas de arroz, a qual, depois de retirada, é lançada nas cavas abandonadas situadas nas imediações. Essa técnica de extração é considerada a mais danosa ao meio ambiente, dentre os especialistas, por conta da dificuldade de recuperação das áreas degradadas (Figura 1).



**Figura 1.** Exemplo de uma cava de mineração ativa no município de Tremembé (SP), em 2009.

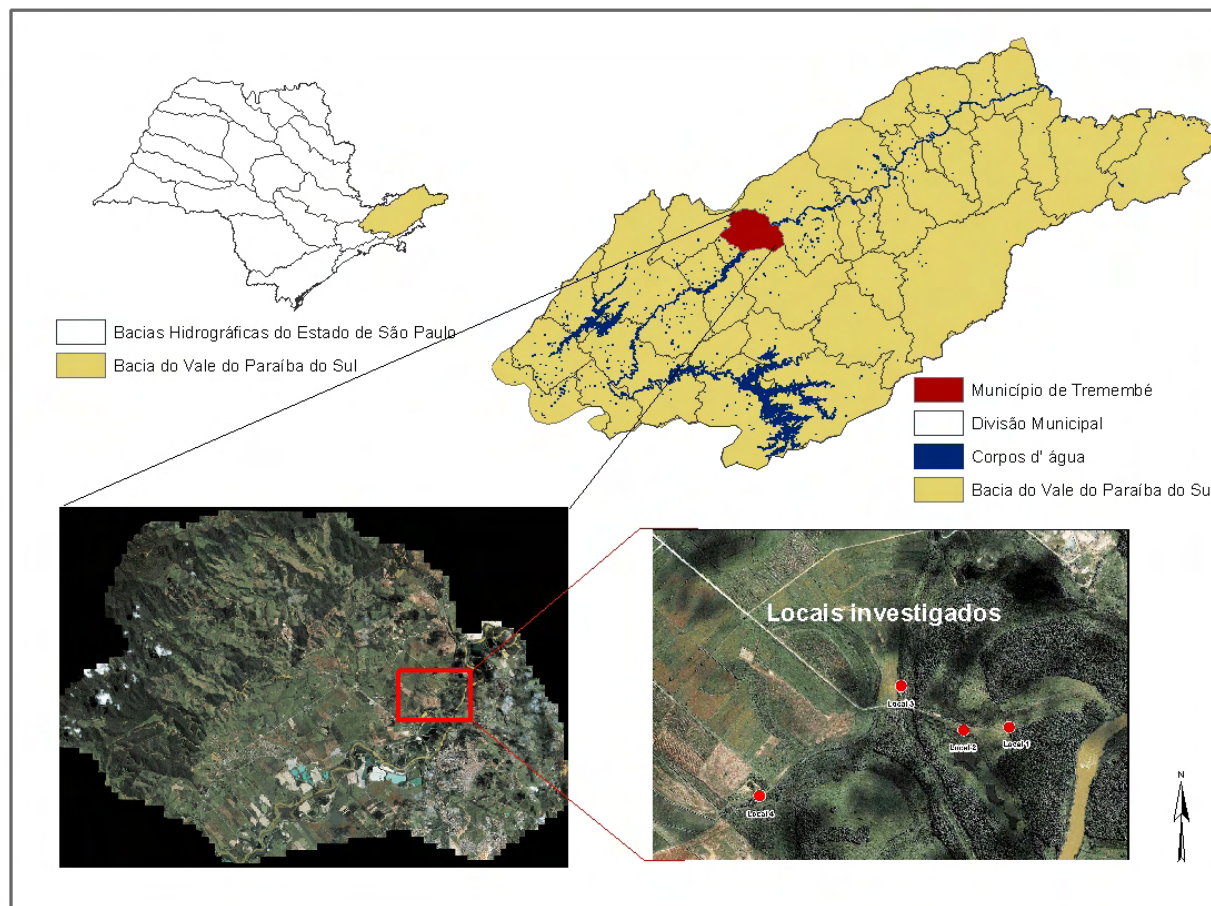
Em meados da década de 1990, a Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo criou um grupo de trabalho (Resolução 35/96) que reuniu e articulou vários órgãos na busca do controle e planejamento dessa atividade. A área piloto para o estabelecimento das ações foi delimitada em função da intensidade da prática de extração de areia – entre os municípios de Jacareí e Pindamonhangaba. Destaca-se a investigação da potencialidade de areia no Vale do Paraíba do Sul, realizada pelo Instituto Geológico (São Paulo, 1997 e 2009), a qual norteou as ações de regularização (São Paulo, 1996) e, sobretudo, de planejamento dos empreendimentos (São Paulo, 1999) por meio do zoneamento ambiental para a mineração de areia.

No entanto, estudos efetuados por meio de imagens orbitais, ao longo de séries temporais, têm mostrado a necessidade do monitoramento e da fiscalização do avanço dessa

exploração, tanto nos municípios englobados pelo zoneamento minerário, instituído pelo Decreto SMA 28/99, quanto naqueles não contemplados pelo referido zoneamento, como é caso do município de Roseira, por exemplo (Galina et al., 2010).

As cavas diminuem a área agrícola e produzem grandes lagos abastecidos pela água do aquífero sedimentar quaternário. Tal fato tem transformado a área de várzea do rio Paraíba do Sul num conjunto de lagos artificiais (Reis et al., 2006b). Entretanto, percebeu-se, por meio da literatura levantada, a carência de pesquisas hidrogeológicas mais detalhadas que vinculem a questão dos avanços das cavas e suas consequências diretas sobre o aquífero sedimentar quaternário.

Com o intuito de preencher tais lacunas, o presente trabalho tem como objetivo principal a investigação sobre possíveis interferências existentes entre as cavas de extração de areia e as alterações nas condições de armazenamento e qualidade da água do aquífero sedimentar quaternário que ocorre na várzea do rio Paraíba do Sul. A investigação foi sistematizada por meio de procedimentos técnicos que possibilitaram o levantamento de dados hidroclimático, hidrogeológico, hidrodinâmico (condutividade hidráulica, transmissividade e coeficiente de armazenamento) e da qualidade das águas do aquífero quaternário. O estudo se deu numa área localizada na porção leste no município de Tremembé, SP, denominada “Mineração Paraíso”, inserida na fazenda Crozariol (Figura 2).



**Figura 2.** Localização da área de estudo. Bacia do Rio Paraíba do Sul, município de Tremembé e Mineração Paraíso na imagem de satélite Ikonos2.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia do trabalho englobou procedimentos técnicos relacionados a obras e instalações de equipamentos, análises laboratoriais e trabalho de gabinete. Para a determinação dos parâmetros físicos do solo e de sedimentos quaternários foram elaborados

testes de infiltração superficial, de resistência à penetração (SPT), realização de sondagens para amostragem, testes de vazão nos poços tubulares, monitoramento dos níveis de água do aquífero por meio de piezômetros, análise do regime pluvial e fluvial, e análises da qualidade da água dos poços, do rio e das cavas.

### **2.1. Realização dos ensaios de infiltração**

A análise da infiltração será apresentada a partir dos resultados de Kather et al. (2009), trabalho em que houve a realização de cinco ensaios de infiltração na área da Fazenda Cruzariol, local onde se encontra instalada a “Mineração Paraíso”.

Comumente são usados dois métodos para a determinação da infiltração, um realizado com aplicação de chuva artificial e outro com inundação, por meio do emprego de anéis metálicos para manter uma lâmina de água na superfície do solo. Existe ainda a possibilidade da determinação da infiltração por chuva natural, a partir do cálculo da diferença da precipitação e do escoamento superficial (Reichardt, 1987).

O método adotado para as medições de infiltração correspondeu ao de anéis cilíndricos concêntricos (Bernardo, 1982). Essa técnica pode demorar de 1 a 2 horas em solos arenosos, e até 6 ou mais horas em solos argilosos (Targa, 2003). O objetivo dos testes foi a determinação da dinâmica superficial da água em cinco áreas com ocupação e usos distintos, a saber: *local 1*- coberto por mata ciliar, situado a cerca de 30 metros do Rio Paraíba do Sul; *local 2*- situado a menos de 10 metros de distância da mata ciliar do rio Paraíba do Sul, totalmente coberto com vegetação de *Brachiaria decumbens*; *local 3*- área de aterro de uma cava abandonada situada a 5 metros de um divisor de cavas e a, aproximadamente, 250 metros da mata ciliar do Rio Paraíba do Sul; *local 4* - ocupado por cobertura vegetal e por fim, *local 5*, situado a 20 metros de uma cava de areia em plena atividade.

Os locais escolhidos para efetuar os ensaios de infiltração situam-se próximos aos locais onde foram realizadas as sondagens SPT (Figura 2, locais investigados), por conta do conhecimento prévio dos tipos sedimentares, fato que permitiu a análise das correlações entre a dinâmica de infiltração superficial da água das chuvas e as oscilações dos níveis d'água do aquífero sedimentar quaternário.

Para cálculo da infiltração acumulada utilizou-se o modelo de Kostiaikov, descrito por Prevedello (1996), em que os parâmetros utilizados não têm significado físico próprio e são avaliados a partir de dados experimentais. Utilizou-se também o modelo empírico de Horton (Panachuki, 2003).

### **2.2. Coleta de amostras do solo e determinação dos índices físicos**

Foram coletadas quatro amostras de solo nas profundidades de 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 m, por meio de cilindros amostradores de aço inox, de 2”. As amostras contidas nos cilindros foram enviadas para o Laboratório de Solos do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté para análises das seguintes variáveis: teor de umidade natural, massa específica dos grãos e massa específica natural. A partir desses dados e das fórmulas de correlação foram obtidos os índices físicos dos solos.

As amostras também foram colhidas durante a realização dos ensaios SPT. Utilizou-se a cravação do amostrador para cada metro de avanço da sondagem, a fim de se obter o índice de penetração do solo, assim como, os sedimentos para coleta de amostras. Em algumas profundidades não foram obtidas amostras em virtude das características do solo friável. Nas profundidades onde houve recuperação, as amostras foram coletadas em sacos plásticos, identificadas quanto ao local e profundidade. No laboratório, as análises granulométricas foram elaboradas pelo método do peneiramento, para separação das frações de areia e pedregulho, e pelo método da sedimentação ou do densímetro para a quantificação das frações silto-argilosas.

No laboratório, foram determinados três índices: umidade natural (%), segundo a NBR-6457/1986, massa específica dos grãos ( $\text{g/cm}^3$ ), segundo a NBR-6508, e massa específica natural ( $\text{g/cm}^3$ ), úmida e seca. Os demais parâmetros foram calculados por meio de fórmulas de correlação, são eles: o Índice de Vazios ( $e$ ), a Porosidade ( $n$ ), o Grau de Saturação ( $S_r$ ) e o Grau de Aeração ( $A_r$ ). A massa específica dos sólidos e as análises granulométricas foram feitas em ensaios à parte.

Com os resultados dos ensaios de laboratório, os demais parâmetros foram calculados utilizando-se as fórmulas de correlação (Nogueira, 1995), a saber:

#### **Índice de Vazios:**

$$e = \frac{\gamma_s(1+w) - \gamma}{\gamma} \quad [1]$$

sendo:

$\gamma_s$  – massa específica dos sólidos;

$w$  – teor de umidade;

$\gamma$  – massa específica natural (seca)

#### **Porosidade:**

$$n = \frac{e}{1+e} \quad [2]$$

sendo:

$e$  – índice de vazios

#### **Grau de Saturação:**

$$S_r = \frac{\gamma_s \cdot w}{e \cdot \gamma_w} \quad [3]$$

sendo:

$\gamma_w$  – massa específica da água ( $1\text{g/cm}^3$ ).

#### **Grau de aeração:**

$$A = 1 - S_r \quad [4]$$

sendo:

$S_r$  – grau de saturação

Para a estimativa da profundidade do solo e da argila bentonítica foram utilizados dados de sondagens obtidos junto à empresa de pesquisa mineral “AGRA”. Elaborou-se um modelo 3D a partir do software ArcGis 9.3.1, por meio de 175 sondagens para determinação da capa de solo e da profundidade do topo da argila bentonítica para fins de comparação com medidas de níveis obtidas nos piezômetros.

### **2.3. Realização das sondagens SPT (*Standard Penetration Test*)**

Antes do início da execução das sondagens foi necessária a limpeza do local e a preparação do terreno. O processo de perfuração foi iniciado com uso do trado até atingir o nível de água do aquífero. O avanço da perfuração foi realizado mediante a utilização do trépano de lavagem com circulação de água, conforme descrito na NBR 6484-1980.

O ensaio ocorreu com o amostrador padrão, conectado às hastes de perfuração, que desceu até ser apoiado no fundo. A cabeça de bater foi colocada no topo da haste e o martelo sobre a cabeça de bater. Marcou-se na haste de perfuração, com fita adesiva, um segmento de 0,45 m dividido em três trechos iguais de 0,15 m. Para que houvesse a cravação do martelo de 65 kgf, ele foi erguido até a altura de 0,75 m, marcado nas hastes guias, e então foi lançado

em queda livre. Em cada profundidade amostrada, o teste (SPT) encerrou-se quando atingiu o impenetrável.

#### 2.4. Construção de poços e piezômetros

A fim de se estabelecer pontos de acesso ao aquífero sedimentar quaternário contido nos depósitos aluvionares, tanto para monitoramento das características físico-químicas e bacteriológicas quanto para a realização de testes de vazão, foram construídos poços e piezômetros. Na quantidade de dois para cada poço, os piezômetros auxiliaram na medição dos níveis d água durante os testes de vazão e permitiram a instalação de medidor de nível automático.

Quatro poços tubulares de 4” de diâmetro foram perfurados e revestidos; eles atravessaram toda a sequência de solo e depósitos aluvionares quaternários e foram concluídos dentro da camada de argila verde de alteração dos sedimentos terciários (folhelhos e argilitos betuminosos). Um total de oito piezômetros de 2” foram perfurados e revestidos, formando conjuntos de dois piezômetros construídos nas imediações de cada poço. Os locais onde os conjuntos de poços e piezômetros foram construídos encontram-se representados na Figura 2 (locais investigados).

Os poços foram perfurados com sonda rotativa de 6” e revestidos com tubos lisos, de filtro de 4”, de filtros com ranhura de 0,5 mm, constituídos por tubos geomecânicos de PVC, nervurado azul, com espessura de 10 mm. O espaço entre a perfuração de 6” e os tubos de 4” foi preenchido com pré-filtro de granulometria entre 1 e 3 mm. Toda a camada formada por sedimentos quaternários arenosos foi atravessada pelas perfurações, assim como as camadas argilosas terciárias alteradas, constituídas por argilas bentoníticas. As perfurações foram terminadas no argilito betuminoso terciário subjacente.

Os piezômetros foram perfurados em 4” e revestidos com tubos lisos e filtro de 2”, constituídos por tubos nervurados de PVC azul, geomecânicos, com espessura de 5 mm e tubos de filtro com ranhuras de 0,25 mm.

A sondagem para a construção dos poços foi paralisada a cada metro de avanço para a realização dos ensaios SPT. O esquema construtivo dos poços e piezômetros auxiliares é mostrado na Figura 3.

Os poços foram construídos em terrenos com diferentes usos, com o intuito de se identificar a influência nas características físico-químicas e bacteriológicas do aquífero sedimentar quaternário:

- **Poço 1:** próximo de uma mata nativa - UTM 444,060 E e 7463,245 N. Os piezômetros ficaram a 1,91 m e 4,07 m de distância do poço, formando ângulo reto com o poço.
- **Poço 2:** dentro da área de aterro de uma cava abandonada - UTM 443,863 E e 7463,300 N. Um piezômetro foi construído junto ao poço e outro na direção perpendicular à margem da cava, a 1,5 m daquele.
- **Poço 3:** junto a uma das estradas que dá acesso aos tabuleiros de cultivo de arroz - UTM 443,696 E e 7463,420 N. Os piezômetros auxiliares ficaram perpendicularmente situados a 2,87 m e 1,45 m do poço.
- **Poço 4:** área desmatada, mas com solo natural, próximo de uma cava em operação - UTM 443,200 E e 7463,059 N. Os piezômetros foram construídos a 2,59 m e 1,63 m do poço.

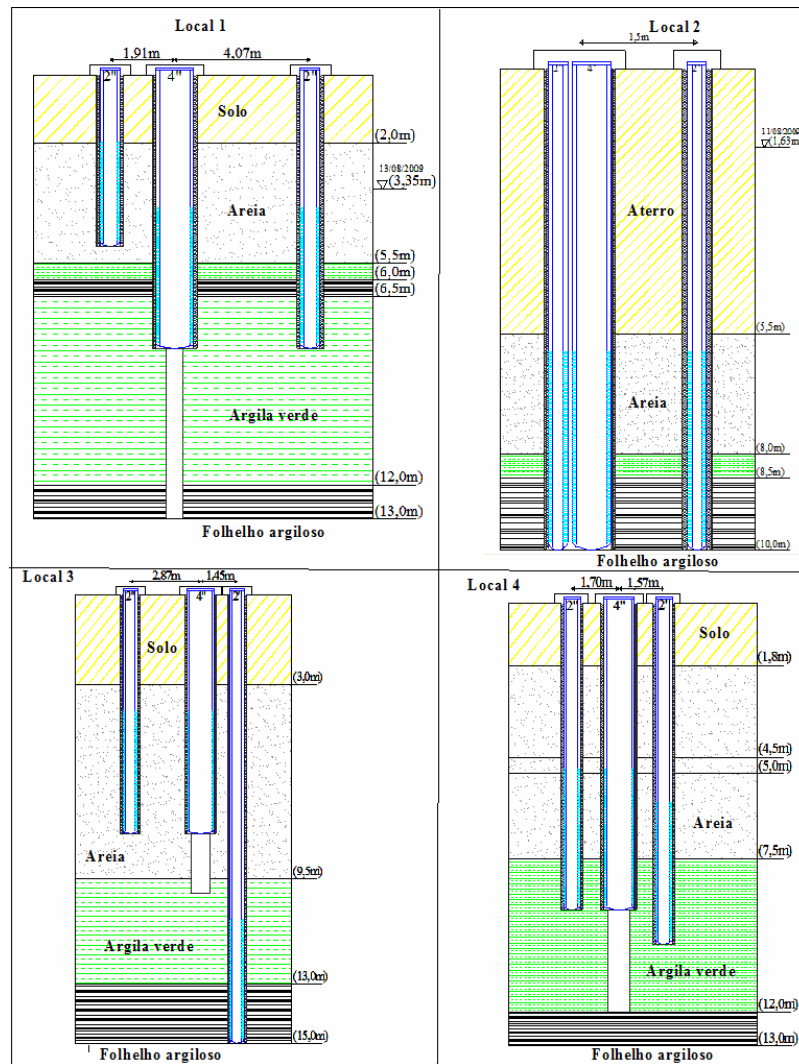


Figura 3. Esquema construtivo dos Poços e piezômetros auxiliares.

Com objetivo de se monitorar a dinâmica do aquífero sedimentar quaternário, em cada um dos quatro agrupamentos de piezômetros, foi instalado um medidor de nível d'água automático - WL-16 Water Level Logger, da marca Global Water Instrumentation Inc., com sensor a 7 m de profundidade e calibrados para registro de altura da água a cada seis horas. O nível d'água inicial foi determinado por medidor de nível d'água por contato elétrico simples.

## 2.5. Realização dos testes de vazão

O objetivo da realização dos testes de vazão foi a obtenção do conhecimento do comportamento hidráulico dos poços tubulares. Sua interpretação adequada possibilita o cálculo preciso para extração de água dos poços e a determinação dos parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos (Diniz e Michaluate, 2002), ou seja, a transmissividade, dada pela expressão:

$$T = K.b \quad [5]$$

em que:

$K$  = condutividade hidráulica,  $b$  = espessura do aquífero

Tais parâmetros ( $T$  e  $K$ ) possibilitam o conhecimento da velocidade da água no aquífero. Outro parâmetro obtido foi o Coeficiente de Armazenamento ( $S$ ), que permitiu a estimativa da quantidade da água armazenada nos poros do aquífero que contribuiu para a vazão bombeada, em cada metro de rebaixamento.



Como os poços foram revestidos com tubos lisos e tubos de filtro de 4” até uma profundidade média de 8 m, utilizaram-se nos testes de vazão uma moto bomba Honda, modelo WB20, com tubo de entrada e de saída de 2”, autoescorvante, com funcionamento por motor à gasolina com 4,0 HP, vazão máxima de 36.000 L/h e altura manométrica de bombeamento até 8 m.

Durante os testes, as vazões foram medidas em tambores de 50 L e os níveis d’água nos piezômetros situados nas imediações, em número de dois, para cada poço construído.

## 2.6. Fonte dos dados hidrológicos, pluviométricos e cálculo do balanço hídrico

As análises estatísticas das variáveis vazão, precipitação e evaporação da bacia Piracuama se deram por meio de dados secundários de postos do DAEE e da estação UNITAU/INMET de Taubaté. No primeiro caso, foram utilizados dados do posto fluviométrico 2D-054 (UTM 443.351 E e 7467.042 N) e dados de chuva do posto D2-067 (UTM 440.490 E e 7472.969 N) para o período de 1970 a 1994. Quanto aos dados de evaporação -Tanque Classe A - estes foram obtidos a partir da estação UNITAU/INMET n° 83784 de Taubaté (UTM 447.797E e 7452.716N) para o período de 1992 a 2003.

O ciclo hidrológico pode ser quantificado a partir da equação que se baseia na lei de conservação das massas. É expressa por: entradas d’água = saídas +/- mudanças no armazenamento. Rushton e Ward (1979) adotam a seguinte expressão para o balanço hídrico:

$$P = E + R + \Delta A \quad [6]$$

em que:

$P$ = precipitação,

$E$ = evapotranspiração,

$R$ = escoamento superficial e

$\Delta A$ =incrementos no armazenamento.

Na área da várzea do rio Paraíba do Sul, em Tremembé, pode-se estabelecer um balanço hídrico reescrevendo-se a equação 2 sob a forma:  $R + \Delta A = P - E$ , e admitindo-se que a condição  $P - E$ , represente o excedente hídrico (quando positivo) ou deficiência hídrica (quando negativo). Assim, pode-se comparar a expressão  $R + \Delta A$  com o excedente ou deficiência hídrica (D’Angiolella e Vasconcellos, 2002).

A diferença de armazenamento de água no solo ( $\Delta A$ ) pode ser conhecida por meio da Porosidade ( $n$ ) e Grau de Saturação ( $S_r$ ), encontrados a partir da determinação dos índices físicos do solo e Capacidade de Armazenamento ( $C_A$ ). Considera-se esta última como a diferença entre a Porosidade ( $n$ ) e a Porosidade ( $n$ )  $\times$  quantidade de poros preenchidos com água ( $S_r$ ), ou seja:

$$C_A = n - n \times S_r \quad [7]$$

Para um armazenamento unitário ( $A_U$ ), considerando-se um volume de solo com 1 m de altura, 1 m de largura e 1 m de extensão, tem-se:

$$A_U = 1 \text{ m}^3 \times C_A \quad [8]$$

Definindo-se a infiltração d’água no solo (lâmina d’água infiltrada) num período chuvoso, como sendo  $I = A_U \times (h_2 - h_1)$ , em que  $h_2$  é o nível d’água do solo após um período em que o nível d’água medido inicialmente era  $h_1$ , temos que:

$$\Delta A = A_U \times (h_2 - h_1) \quad [9]$$

ou seja,

$$R + I = P - E \quad [10]$$

sendo:

$I$  = altura da coluna d'água infiltrada no período considerado;

$R$  = lâmina d'água escoada.

Pode-se dizer ainda que,

$$I + R = \text{infiltração} + \text{escoamento superficial} = \text{excedente hídrico} \quad [11]$$

Quando o valor encontrado para  $A_U \times (h_1 - h_2)$  é igual ao excedente hídrico, conclui-se que toda a água disponível na superfície infiltrou. Caso o valor seja inferior ao excedente hídrico, diz-se que parte da água precipitada escoou superficialmente e não infiltra (Santoro et al., 2007).

## 2.7. Procedimentos envolvidos na análise da qualidade da água

Para análises expeditas das características físico-químicas das águas superficiais e subterrâneas, foi utilizado um equipamento analisador de multiparâmetros da água, da marca Horiba, modelo W-22XD, para determinações de campo do pH, condutividade, oxigênio dissolvido, salinidade, sólidos totais dissolvidos, peso específico da água salgada, turbidez, profundidade, potencial de óxido-redução e temperatura.

As determinações de  $DBO_5$  - Demanda Bioquímica de Oxigênio de cinco dias- e bacteriológicas foram obtidas no Laboratório de Processos Biológicos Aplicados ao Meio Ambiente, do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da UNITAU. Quanto às análises de nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal e fósforo, estas foram elaboradas no Laboratório de Águas e Efluentes Líquidos do Departamento de Engenharia Civil da mesma universidade.

Análises dos outros parâmetros previstos na Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde, que englobam os metais chumbo, ferro, manganês, turbidez, cor, índices bacteriológicos e nitrogênio amoniacal entre outros, foram efetuadas no Laboratório de Controle Sanitário (RVOC) da SABESP de São José dos Campos. Tais análises se deram a partir de métodos específicos para cada elemento, assim, o método de Espectrometria Absorção Atômica/Chama-3111B-SM foi utilizado para os elementos chumbo, arsênio, bário, cádmio total; o método Eriocromo Cianina R-3500- ALB-SM para o elemento alumínio, e assim por diante.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

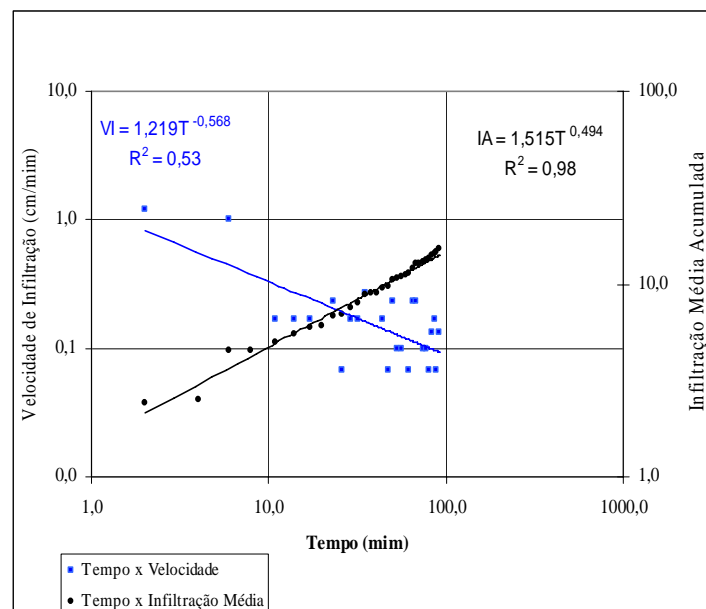
Por conta da grande gama de dados gerados a partir dos diversos testes e análises, os resultados foram analisados e avaliados segundo o seguinte agrupamento: testes de infiltração; índices físicos, perfil do solo e sondagens SPT - *Standard Penetration Test*; testes de vazão nos poços; dados hidrológicos, pluviométricos e balanço hídrico da bacia hidrográfica do rio Piracuama; e por fim, análises físico-químicas e bacteriológica das águas superficiais e subterrâneas.

### 3.1. Análise dos testes de infiltração

Foram realizados cinco testes de infiltração, em diferentes locais na área da de estudo, próximos aos locais investigados da Figura 2, num tempo de aproximadamente 100 minutos, que serão apresentados segundo resultados da investigação de Kather et al. (2009). As características dos locais encontram-se descritas a seguir:

- *Local 1* - coberto por mata ciliar, situado a cerca de 30 metros do Rio Paraíba do Sul, com solo composto por um Gleissolo Melânico Distrófico em associação com Organossolos Distróficos e Neossolos Flúvicos;
- *Local 2* - situado a menos de 10 metros de distância da mata ciliar do rio Paraíba do Sul, totalmente coberto com vegetação de *Brachiaria decumbens*. O solo é caracterizado por um Latossolo Amarelo Distrófico, associado com Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico;
- *Local 3* - localizado num aterro de uma cava abandonada situada a 5 metros de um divisor de cavas e a, aproximadamente, 250 metros da mata ciliar do Rio Paraíba do Sul. Observou-se a presença de aterro, composto por Latossolo Vermelho Amarelo com característica argilosa;
- *Local 4* - ocupado por cobertura vegetal - *Brachiaria decumbens*, algumas plantas daninhas como guanxuma, tiririca e mudas de árvores nativas em processo lento de regeneração, com no máximo 25 cm de altura. O solo é composto por Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, a 4 metros da lamina d'água da rizicultura irrigada;
- *Local 5* - situado a 20 metros de uma cava de areia em plena atividade. O tipo de solo preponderante aqui é o Latossolo Vermelho Amarelo Argiloso.

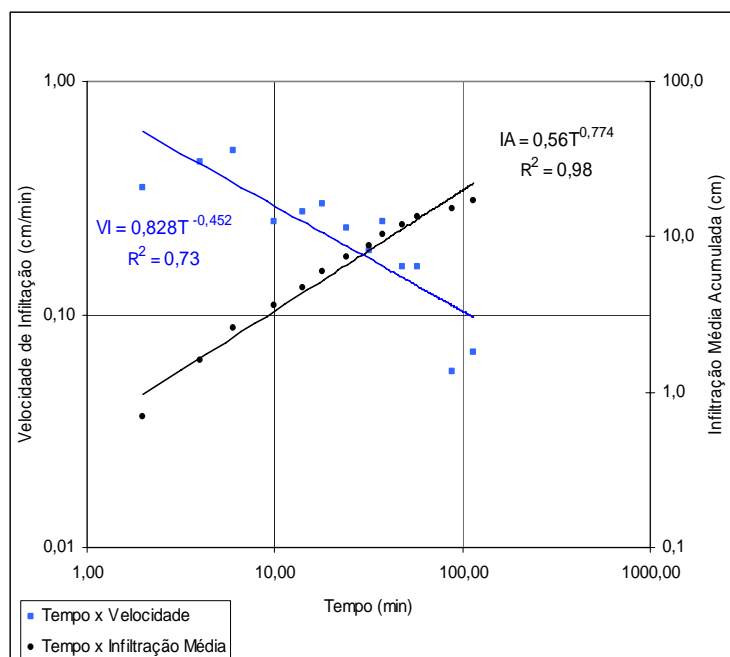
Os autores supracitados constataram que, no teste realizado no local 1 (Figura 4), com cobertura de mata ciliar densa, a velocidade de infiltração variou de 1,2 cm/min no início para 0,07 cm/min no final do teste. Constataram uma dinâmica hídrica de boa infiltração para o lençol freático e altos índices de armazenamento hídrico, capaz de armazenar no solo uma lâmina acima de 200 mm ao final do teste. Atribuiu-se uma maior infiltração à existência de Floresta Ombrófila Mista e à baixa compactação e boa permeabilidade devido à presença de raízes no perfil do solo.



**Figura 4.** Infiltração acumulada e velocidade da infiltração no Local 1.

**Fonte:** Kather et al. (2009).

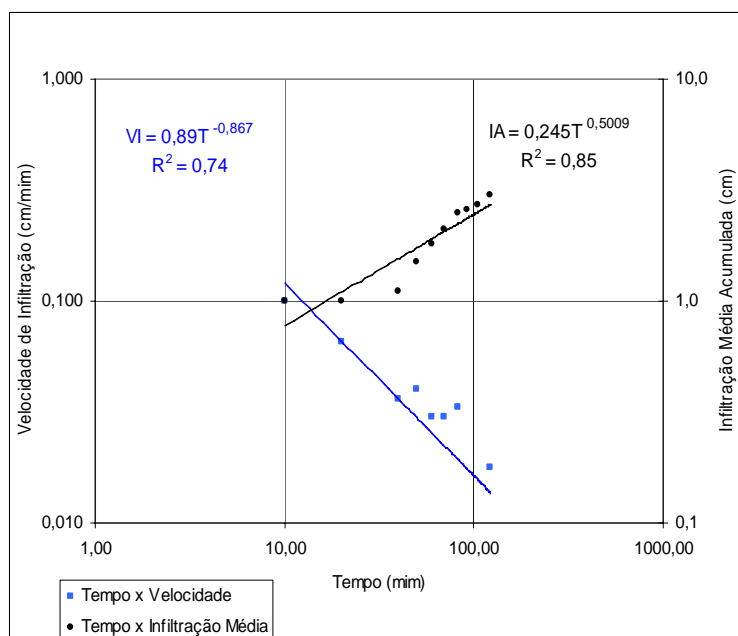
No teste realizado no local 2 (Figura 5), situado a menos de 10 metros de distância da mata ciliar do rio Paraíba do Sul, os autores constataram uma percolação bem mais baixa do que a do local 1 (0,45 cm/min a 0,07 cm/min) e que foi capaz de armazenar no solo uma lâmina acima de 200 mm ao final do teste. Concluíram que a elevada infiltração deve ser atribuída à proximidade e influência da mata ciliar.



**Figura 5.** Infiltração acumulada e velocidade da infiltração no Local 2.

**Fonte:** Kather et al. (2009).

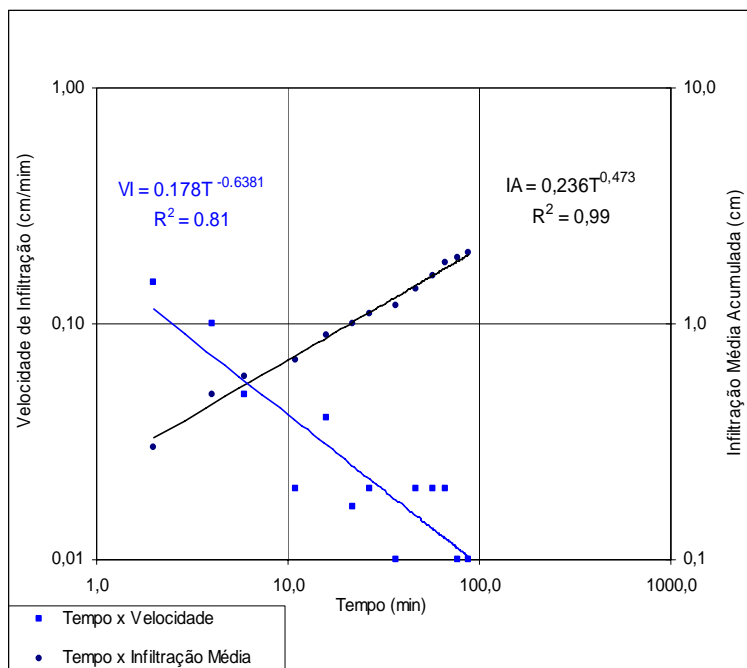
No local 3, situado em um divisor de cavas, Kather et al. (2009) observaram uma velocidade de infiltração básica de 0,07 cm/min, capaz de armazenar cerca de 40 mm de lâmina de água no solo ao final do teste (Figura 6).



**Figura 6.** Infiltração acumulada e velocidade da infiltração no Local 3.

**Fonte:** Kather et al. (2009).

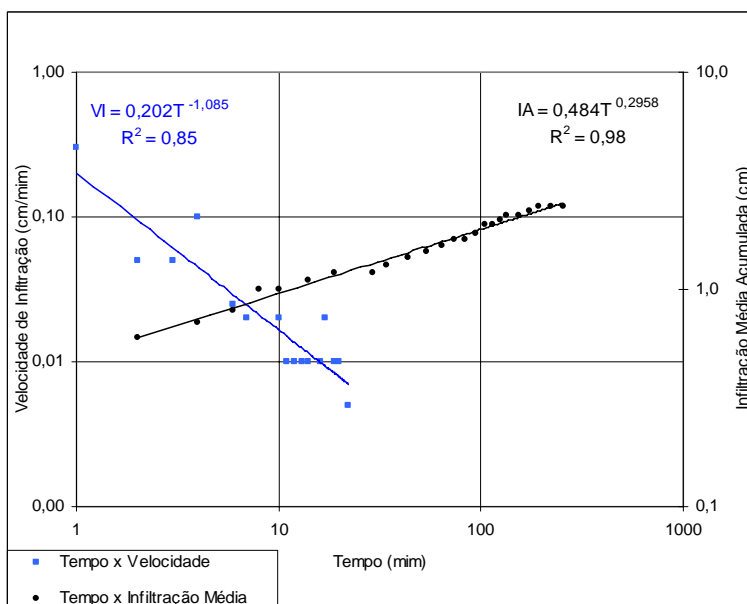
No teste realizado no local 4 (Figura 7), próximo à área de rizicultura, os autores constataram velocidade de infiltração básica média, com a variação de 0,15 cm/min no início do teste até 0,01 cm/min no final, momento em que houve a acumulação de uma lâmina de 36 mm de água no solo. Observaram que tal área é representativa dos solos de várzea e favorece o cultivo de arroz por inundação nos tabuleiros.



**Figura 7.** Infiltração acumulada e velocidade da infiltração no Local 4.

**Fonte:** Kather et al. (2009).

Nos primeiros minutos do teste realizado no local 5, Kather et al. (2009) observaram que a velocidade de infiltração foi de 0,30 cm/min e diminuiu drasticamente, chegando a 0,01 cm/min, indicando uma rápida saturação do perfil do solo e capacidade de acumular uma lâmina de 25 mm de água no solo (Figura 8).



**Figura 8.** Infiltração acumulada e velocidade da infiltração no Local 5.

**Fonte:** Kather et al. (2009).

Por fim, conclui-se que o solo, na área da várzea do rio Paraíba do Sul, apresentou diferentes comportamentos de infiltração em função do tipo de solo, do uso e da cobertura, assim como identificaram os estudo de Aguiar et al. (2007) para a análise do escoamento superficial, realizado pelo método *Curva-Número (CN)* na bacia do Ribeirão Itaim, em Taubaté (SP).

As taxas de infiltração básicas observadas na área de estudo foram consideradas elevadas. Na área de floresta e próxima dela (locais 1 e 2), a média da velocidade de infiltração foi maior do que em outros locais, indicando que a infiltração acumulada na mata ciliar é muito importante para a perenidade do rio Paraíba do Sul.

### 3.2. Análise dos índices físicos, perfil do solo e ensaios SPT (*Standard Penetration Test*)

#### 3.2.1. Avaliação dos índices físicos e do perfil do solo

Índices físicos podem ser definidos como as relações de massas e volumes entre as fases ar, água e sólidos com objetivo de determinar as condições físicas do solo durante a amostragem (Bueno e Vilar, 1984 e Stancati et al., 1981).

Os dados gerados a partir da metodologia descrita no item 2.2 encontram-se na Tabela 1. Pela análise dos dados observa-se a média de 66% de porosidade, 40% de saturação e 60% de aeração.

**Tabela 1.** Índices físicos de amostras de solo.

Amostra	Profundidade (m)	Teor de umidade	Massa específica natural	Massa específica dos sólidos	Índice de vazios	Porosidade (n)	Grau de Saturação (S <sub>r</sub> )	Grau de Aeração (A)
		w	(g/cm <sup>3</sup> )	s (g/cm <sup>3</sup> )				
1	0,5	0,33	1,16	2,67	2,06	0,67	0,43	0,57
2	1,0	0,29	1,22	2,78	1,94	0,66	0,42	0,58
3	1,5	0,26	1,21	2,69	1,8	0,64	0,39	0,61
4	2,0	0,26	1,2	2,76	1,9	0,65	0,38	0,62
<b>Média</b>		<b>0,29</b>	<b>1,20</b>	<b>2,73</b>	<b>1,92</b>	<b>0,66</b>	<b>0,40</b>	<b>0,60</b>

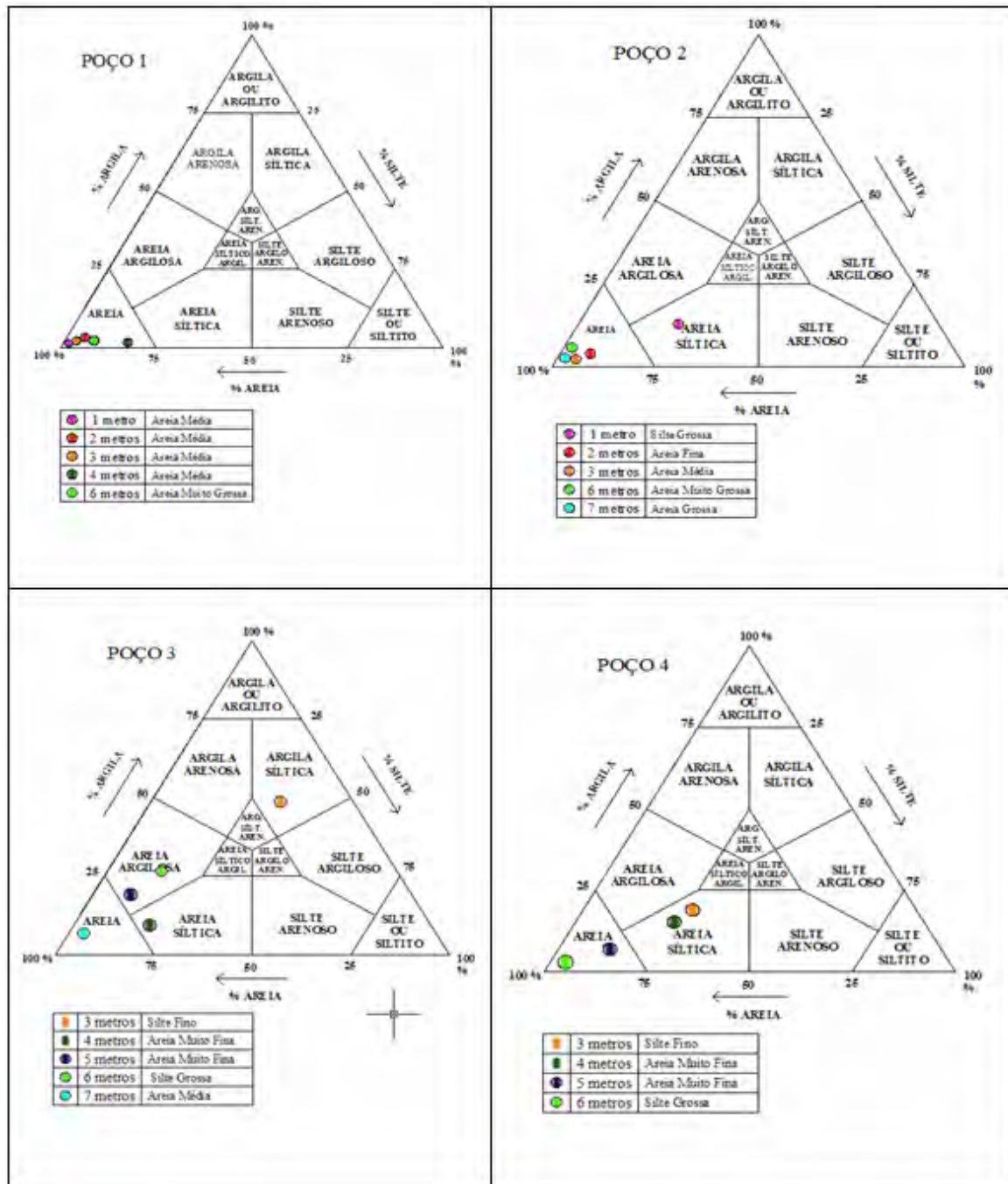
O conhecimento da recarga natural do aquífero sedimentar quaternário no local de estudo é dado pela correlação entre o Armazenamento Unitário e as medidas diárias de variações dos níveis d'água nos piezômetros.

Pela aplicação das equações 7 e 8, Capacidade de Armazenamento ( $C_A = n - n \times S_r \Rightarrow 0,66 - 0,66 \times 0,40 = 0,4$ ) e Armazenamento Unitário ( $A_U = 1 \text{ m}^3 \times C_A \Rightarrow 0,4 \text{ m}^3$ ), temos um resultado de 0,4 m de lâmina d'água infiltrada, o que gera 1 m de subida do nível d'água do aquífero sedimentar quaternário. Por outro lado, para cada acréscimo na subida do nível d'água ou aumento do potencial hidráulico há como mecanismo compensatório, um aumento equivalente na descarga da água do aquífero sedimentar quaternário nas fontes.

A alta porosidade encontrada nos solos friáveis da várzea possibilita um maior poder de transporte de solutos nas águas subterrâneas (Bosco, 2008).

Para completar o conhecimento dos índices físicos do solo, serão analisados os resultados das análises granulométricas, que geram as curvas de distribuição do tamanho dos grãos provindos do material amostrado, auxiliam na determinação do coeficiente de permeabilidade e no dimensionamento dos filtros de proteção dos poços tubulares profundos (Santoro et al., 2007; Bueno e Vilar, 1984).

Na Figura 9, tem-se um conjunto de diagramas triangulares de classificação granulométrica de amostras obtidas durante os ensaios de penetração, realizados para a construção dos poços. Foram analisadas amostras coletadas em diversas profundidades, com variação entre 3 e 7 m de profundidade.



**Figura 9.** Conjunto de diagramas triangulares da textura das amostras obtidas nos Poços.  
 Poço 1 - Próximo da mata nativa secundária na margem do rio Paraíba do Sul;  
 Poço 2 - Localizado no aterro na margem de uma cava abandonada;  
 Poço 3 - Situado na estrada utilizada para acesso à rizicultura;  
 Poço 4 - Próximo de uma cava em operação.

No perfil do poço 1, constatou-se a predominância de areias de granulometria média. No final do intervalo sedimentar quaternário, a partir de 2 m, a granulometria passou a ser de areia muito grossa e de sedimentos aluvionares até 5,5 m de profundidade. A partir desse intervalo, verificou-se a ocorrência de argilas verdes montmoriloníticas, produtos da alteração de folhelhos e argilitos da seção sedimentar terciária - Formação Tremembé.

No poço 2, o material lançado durante o aterro, até a profundidade de 5,5 m, constituiu-se por siltes e areias - granulometria de fina a média, de até 3 m de profundidade, provenientes de solo siltico-arenoso. No intervalo entre 4 e 5 m, não houve recuperação de

amostras devido à maior presença de argilas e siltes finos. Após 5,5 m de profundidade, intervalo não explorado na cava, verificou-se a presença de areias grossas aluvionares.

Vale ressaltar que o perfil litológico encontrado nesse local ilustra as consequências do processo de mineração existentes nas cavas submersas no Vale do Paraíba, já que o equipamento utilizado para bombeamento e extração da areia por dragagem lança a mistura água-areia em um classificador localizado nas imediações e com retorno da água remanescente do processo na própria cava. Observou-se que esse processo de extração de areia (dragagem), além de predatório, por dificultar a recuperação das áreas degradadas, também é ineficiente, uma vez que deixa areia não minerada no fundo da cava assim como argilas bentoníticas produzidas pela alteração intempérica dos xistos betuminosos.

Quanto aos dados do poço 3, observou-se que não houve recuperação de amostras até 2 m de profundidade devido à presença de solo argiloso muito friável. No intervalo de 3 a 7 m, notou-se a ocorrência de depósitos aluvionares arenosos, graduando de maneira ascendente, de areia média até muito fina. Embora os sedimentos tenham se tornado impenetráveis ao amostrador SPT abaixo da profundidade de 7 m, a retirada de fragmentos arenosos durante o avanço por lavagem mostra que os depósitos aluvionares arenosos atingem a profundidade de 9 m.

Por fim, na análise dos dados do poço 4, também se constatou dados de solo argiloso friável até 2 m, pois não houve a possibilidade de coleta de amostras para análises granulométricas. Entre 3 e 5 m, predominaram depósitos aluvionares siltosos e arenosos, contendo uma camada de turfa situada entre 4,5 e 5 m. Entre 5 e 6 m notou-se a ocorrência de uma camada de conglomerados, linha de seixos, em matriz siltosa. Os depósitos aluvionares persistiram até 7,5 m (após 6 m foram impenetráveis ao amostrador), constituídos por areia grossa.

### **3.2.2. Análise dos ensaios SPT (*Standard Penetration Test*)**

Por meio da realização das sondagens de simples reconhecimento à percussão, pretendeu-se identificar o tipo de solo e sua consistência, a resistência oferecida pelo solo à cravação do amostrador padrão, assim como a densidade e compressibilidade de solos granulares. (Baillot e Ribeiro, 1999).

Foram realizadas sondagens à percussão com ensaios SPT nos quatro locais onde houve a instalação dos poços. As figuras numeradas de 10 a 13 apresentam os resultados obtidos para os poços de 1-4, respectivamente. O gráfico ao lado do perfil litológico mostra a soma dos golpes necessários à cravação dos últimos 30 cm do amostrador bipartido (2° para o 3° e 3° para o 4° com intervalos de 15 cm).

O ensaio SPT no local do poço 1 (Figura 10) indicou solo de 2 m de espessura com baixa consistência e areias aluvionares subjacentes finas, compactas somente a partir de 5 m de profundidade.



NA	Amostra	Profundidade (m)	Classificação Granulométrica	Descrição Litológica	Gráfico			Número de Golpes			
					10	20	30	1 <sup>a</sup> + 2 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup> + 3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup> + 4 <sup>a</sup>	
Nível d'água em 13/08/2009 = 3,35 m	[Amostra 1]	0,5	areia média	solo arenoso, amarelado					2	2	2
		1,5	areia média						1	2	1
	[Amostra 2]	2,5	areia média	areia grossa, cinza médio					1	1	4
		3,5	areia média						1	3	4
		4,5	sem recuperação						1	1	2
		5,5	sem recuperação						1	3	Impenet.
		6	areia muito grossa			argila verde compacta					
	6,5		folhelho argiloso								
	[Amostra 3]	8	lavagem	argila verde compacta							
		9	lavagem								
		10	lavagem								
		11	lavagem								
		12	lavagem								
13	lavagem	folhelho argiloso, cinza escuro									
Coordenadas UTM:		440,060 km E			Data:			Sondador:			
		7463,245 km N			11/8/2009		Felippe				

Figura 10. Resultados do ensaio SPT no local do Poço 1, situado junto a uma mata nativa.

No local do poço 2 (Figura 11), o ensaio SPT mostrou que o aterro até 5,5 m de profundidade é constituído por solos argilosos, de baixa consistência, e que abaixo desta profundidade ocorrem areias grossas com seixos, muito compactas.

NA	Amostra	Profundidade (m)	Classificação Granulométrica	Descrição Litológica	Gráfico			Número de Golpes		
					10	20	30	1 <sup>a</sup> + 2 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup> + 3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup> + 4 <sup>a</sup>
Nível d'água em 11/08/2009 = 1,63 m	[Amostra 1]	1,0	silte grosso	aterro contendo solo argilo arenoso, cinza amarelado						
		2,5	areia fina					3	4	4
	3,5	areia média					1	1	3	
	4,5	sem recuperação					2	2	1	
	5,5	sem recuperação					3	5	4	
	6,5	areia muito grossa	areia grossa, cinza médio, com seixos					4	5	impenetr.
	7,0	areia grossa								
	8,0	lavagem	argila verde							
	8,5	lavagem								
	9,0	lavagem								
10,0	lavagem	folhelho argiloso, cinza escuro								
Coordenadas UTM:		443,863 km E			Data:	29/07/2209 e 04/08/2009		Sondador:		
		7463,300 km N					Felippe			

Figura 11. Resultados do ensaio SPT no local do Poço 2, situado nas margens de um aterro realizado para cobrir as laterais de uma cava abandonada.

O ensaio SPT no local do poço 3 (Figura 12) indicou um aterro formado por solos argilosos, com baixa consistência, sem recuperação de amostras. Após 3 m até a profundidade de 6,5 m, verificou-se um depósito de areia quaternária cinza amarelada, inicialmente fofa, tornando-se compacta a 5,5 m de profundidade.

NA	Amostra	Profundidade (m)	Classificação Granulométrica	Descrição Litológica	Gráfico			Número de Golpes		
					10	20	30	1ª + 2ª	2ª + 3ª	3ª + 4ª
Nível d'água em 23/09/2009 = 4,79 m		1,0	sem recuperação	aterro argiloso						
			sem recuperação							
		2,5	silte fino				0	2	1	
		3,5	areia muito fina	areia, cinza amarelado				1	2	4
		4,5	areia muito fina					3	3	4
		5,5	silte grossa					3	4	4
		6,5	areia média					4	impenetr.	impenetr.
		8,0	lavagem	areia média, cinza médio						
		9,0	lavagem							
		9,5	lavagem							
		10,0	lavagem	argila verde compacta						
		11,0	lavagem							
		12,0	lavagem							
		13,0	lavagem							
				folhelho argil.						
Coordenadas UTM: 443,696 km E 7463,420 km N					Data: 19/8/2009			Sondador: Felipe		

**Figura 12.** Resultados do ensaio SPT no local do Poço 3, localizado na estrada utilizada para acesso à área de rizicultura.

Por fim, no local 4 (Figura 13), o ensaio SPT indicou a presença de um aterro formado por solo argiloso, muito mole, sem recuperação de amostras até 2,0 m. Após essa profundidade, até 5,0 m, constatou-se um depósito de areia cinza média, fofa e com um depósito de turfa muito mole. De 5,0 m até 5,5 m predominam areias grossas com seixos, muito compactas, impenetráveis ao SPT.

Conforme dados dos ensaios SPT, constata-se que o aquífero sedimentar quaternário (camada arenosa) possui espessura média de 5,5 m e apresenta uma camada confinante superior formada por argilas orgânicas impermeáveis, o que torna os depósitos arenosos confinados. Salienta-se, no entanto, que abaixo do aquífero sedimentar confinado há um aquíclode formado pelas argilas bentoníticas verdes. Nos locais onde o solo orgânico foi removido para a construção das cavas, os depósitos arenosos têm contato direto com o ar atmosférico, constituindo aquífero do tipo livre.

Como análise complementar, elaborou-se um modelo 3D, a partir de 175 sondagens para determinação da capa de solo e da profundidade do topo da argila bentonítica (produzida pela alteração intempérica dos sedimentos terciários - folhelhos betuminosos) a partir de dados obtidos junto à empresa de pesquisa mineral AGRA Consultoria Ambiental Ltda, na área da mineração Paraíso (Figuras 14 e 15).

NA	Amostra	Profundidade (m)	Classificação Granulométrica	Descrição Litológica	Gráfico			Número de Golpes		
					10	20	30	1ª + 2ª	2ª + 3ª	3ª + 4ª
Nível d'água em 10/11/2009 = 1,70 m	[Orange]	1,0	sem recuperação	aterro argiloso				0	0	2
		1,5	sem recuperação							
	[Grey]	2,5	silte fino	areia média, cinza médio				3	3	3
		3,5	areia muito fina					3	4	3
		4,5	areia muito fina					1	1	3
	[Dark Green]		seixos c/areia média e turfa							
	[Grey]	5,5	silte grossa	areia grossa, cinza médio, com seixos (e turfa acima dos seixos)				3	4	impene-trável
		6,5	sem recuperação							
	[Green]	7,5	sem recuperação	argila verde compacta						
		8,0	sem recuperação							
		9,0	sem recuperação							
		10,0	sem recuperação							
		11,0	sem recuperação							
	[Grey]	12,0	sem recuperação	folhelho argiloso, cinza escuro						
	13,0	sem recuperação								
Coordenadas:		443,200 E 7463,059 N		Data:	25/8/2009			Sondador: Felippe		

Figura 13. Resultados do ensaio SPT no local do Poço 4, próximo de uma cava em operação.

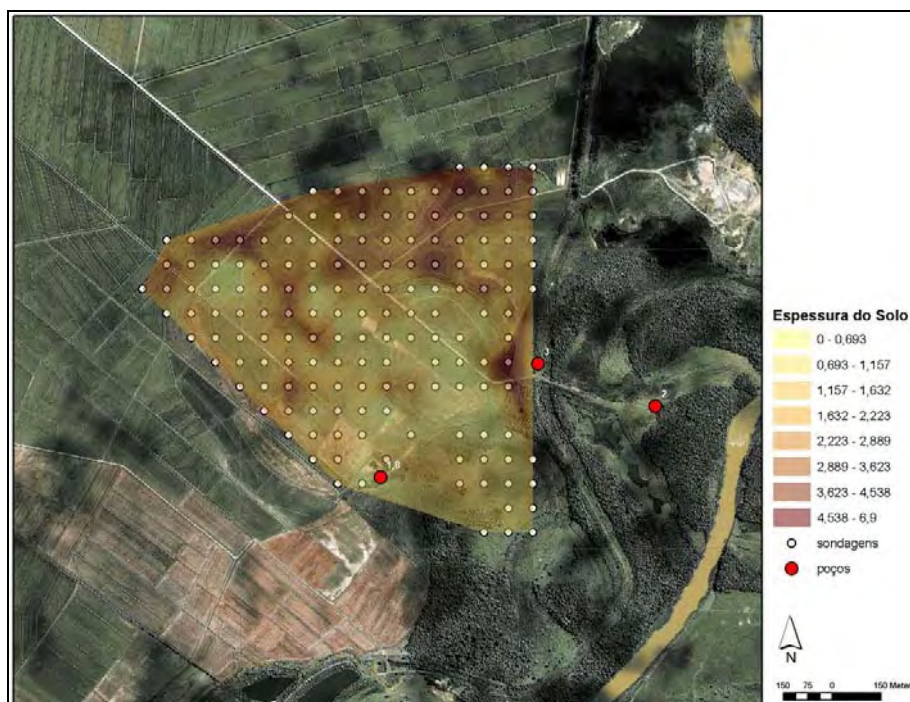
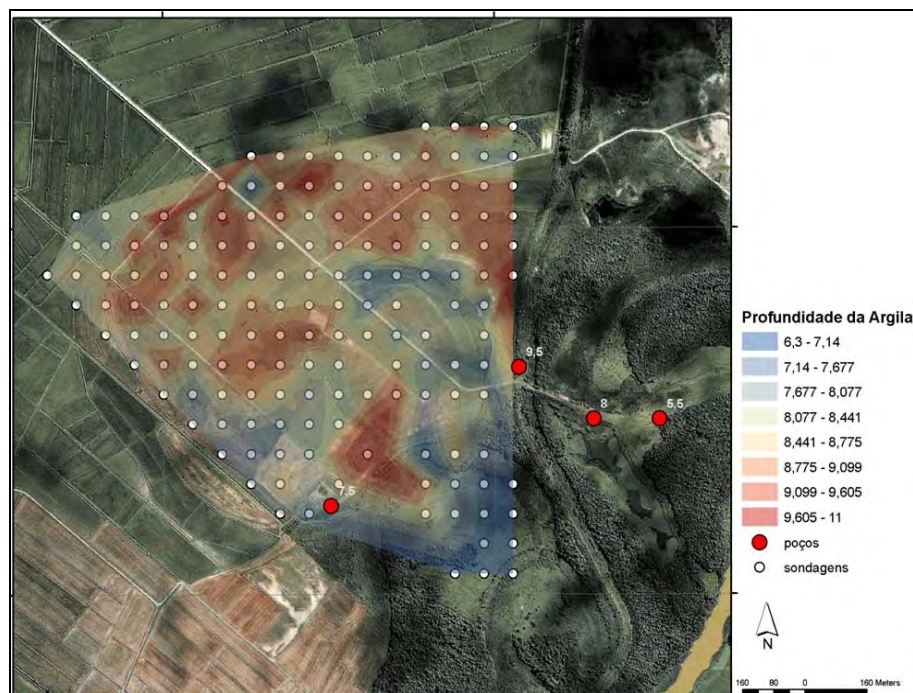


Figura 14. Espessura do solo – topo do depósito de areia - na área de estudo.



**Figura 15.** Profundidade da Argila Bentonítica - base do depósito de areia na área de estudo.

Medidas de níveis obtidas nos piezômetros comparadas com o levantamento planialtimétrico realizado na área mostram que os níveis d'água do aquífero sedimentar quaternário são diferenciados para cada ponto, não constituindo somente um plano (Tabela 2).

**Tabela 2.** Resultados topográficos e potenciométricos dos poços construídos.

Local	Nível d'água (m) em 10/11/2009	Diferenças topográficas (m)	Potenciomtria (m)
Poço 1	2,68	0,00	-2,68
Poço 2	1,37	-1,13	-2,50
Poço 3	4,75	1,12	-3,63
Poço 4	1,70	0,14	-1,56

Esse fato condiz com as variações da capa impermeável de solo, que confina o aquífero conforme sua espessura. Observa-se que a potenciomtria para o poço 1 é de -2,68 m enquanto que para o poço 4 é de -1,56, mostrando que a pressão no topo do aquífero é variável e o nível da água subterrânea é distinto em cada ponto.

### 3.3. Análise dos resultados dos testes de vazão realizados nos poços perfurados

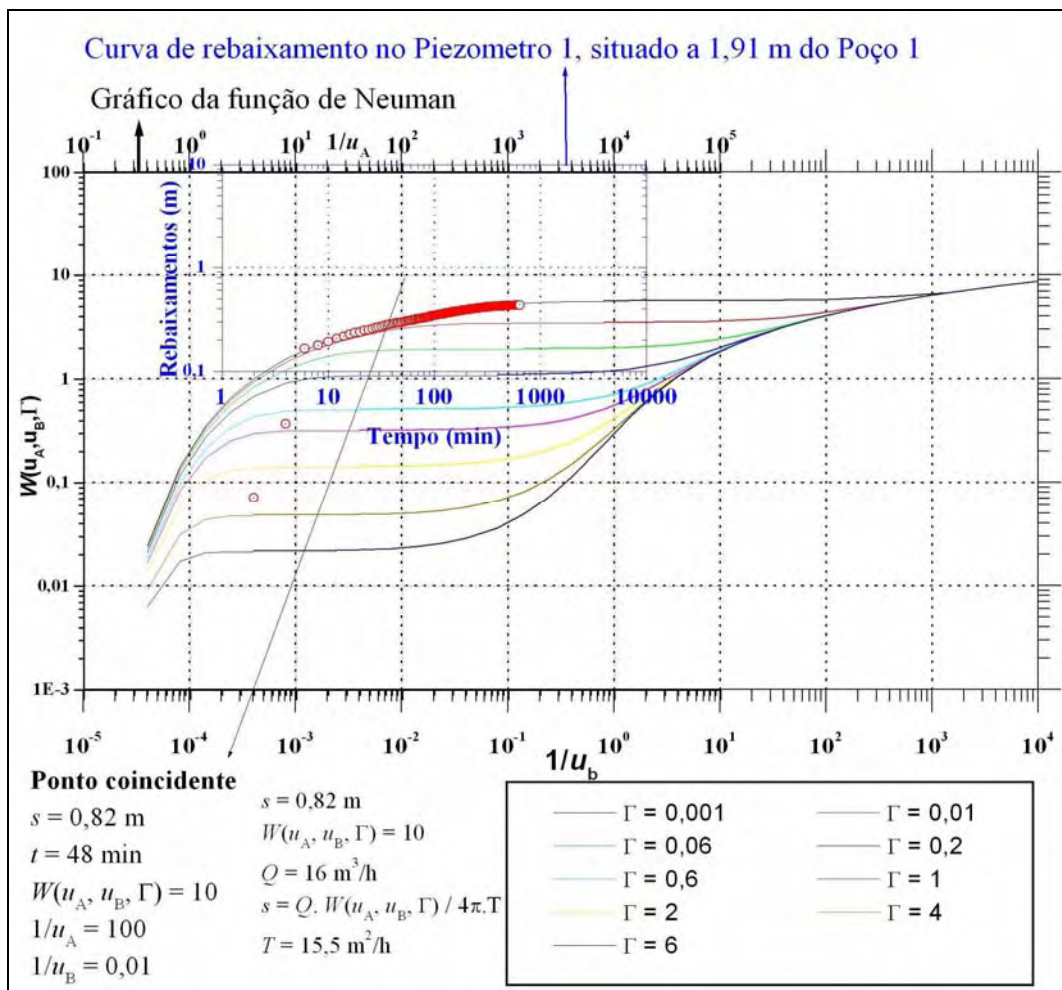
Segue a análise dos testes de vazão para três dos quatro poços analisados. Há que se ressaltar que não foi possível a realização do teste de vazão no poço 2, pelo fato deste apresentar apenas uma fina camada de areia restante de uma área já minerada, com a presença de solo argiloso removido de outro local, formando um aterro na borda de uma cava abandonada.

#### Teste de vazão no poço 1

Nos dias 14 e 15 de setembro de 2010, foi realizado um teste de vazão no poço 1, que apresentou vazão máxima de 16 m<sup>3</sup>/h. Medidas de nível d'água foram realizadas nos piezômetros auxiliares, com duração de 10 horas e 40 minutos de rebaixamento e 10 horas de recuperação. O rebaixamento observado no piezômetro foi pequeno, no máximo de 0,43 m (Figura 16).

A transmissividade encontrada para os depósitos arenosos foi alta ( $T = 15,5 \text{ m}^2/\text{h}$ ) e o gráfico aponta para condições de pouco confinamento, aquífero livre, apesar de haver uma camada impermeável de solo, sobreposta aos depósitos arenosos. Importante considerar que a existência de lagos artificiais formados pelas cavas abandonadas proporciona contato lateral entre o aquífero sedimentar quaternário e as águas superficiais sob pressão atmosférica.

Sabendo-se que a espessura do aquífero ( $b$ ) no local é de 3,5 m (espessura da camada arenosa), temos:  $T = K.b$ , ou seja:  $22,7 \text{ m}^2/\text{h}$ , o que resulta em  $K = 6,5 \text{ m/h}$  ou, ainda,  $K = 156 \text{ m/dia}$ . São valores extremamente altos de Condutividade Hidráulica ( $K$ ) para a camada arenosa que indicam um ambiente muito permeável e altamente saturado. São resultados coerentes com os obtidos por Turco e Buchmiller (2004) e com os modelos de interpretação de parâmetros hidrogeológicos de Kresic (1997).



**Figura 16.** Interpretação do teste de vazão no poço 1 da mineração Paraíso.

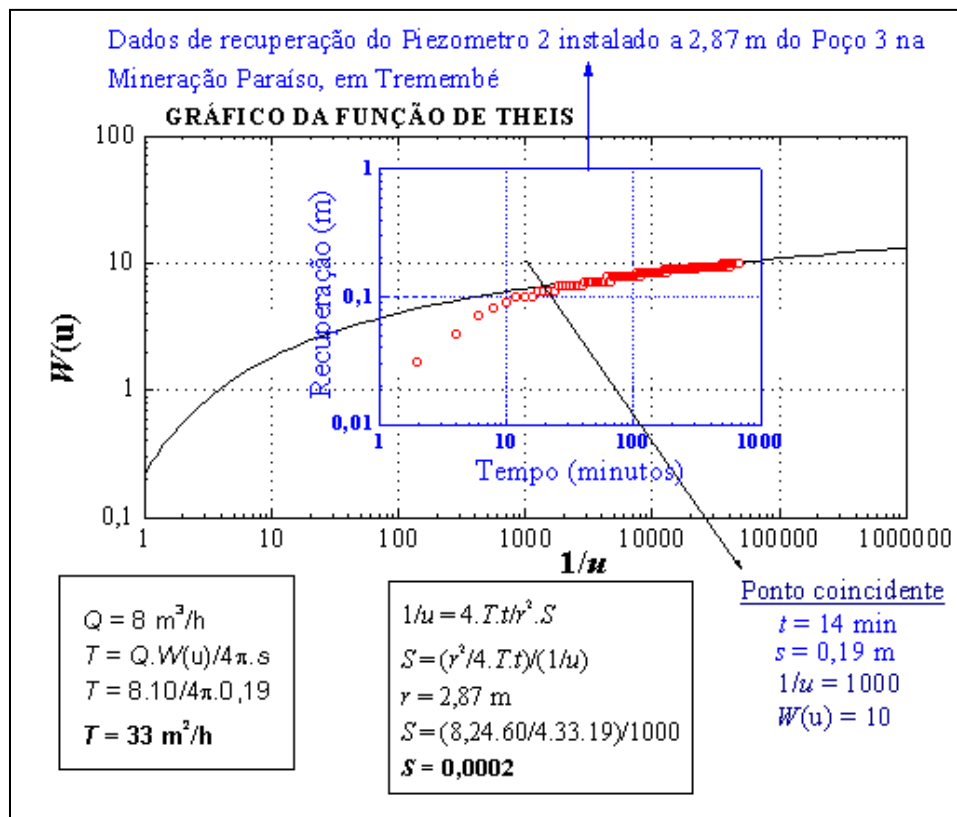
Os valores de condutividade hidráulica encontrados, embora elevados, são coerentes com os obtidos por Turco e Buchmiller (2004) e com os modelos de interpretação de parâmetros hidrogeológicos de Kresic (1997).

### Teste de vazão no poço 3

Nos dias 19 e 20 de agosto de 2010, foi realizado um teste de vazão no poço 3 que apresentou vazão de  $10 \text{ m}^3/\text{h}$ , com 12 horas de medidas de rebaixamento e 12 horas de medidas de recuperação em um dos piezômetros associados, situado a 2,87 m de distância do poço bombeado. Na Figura 17 é mostrada a interpretação do teste de vazão com os dados de recuperação obtidos em um dos piezômetros auxiliares.

Os parâmetros hidrodinâmicos obtidos para o aquífero constituído pelos sedimentos arenosos quaternários da várzea do rio Paraíba do Sul, no local do Poço 3, foram transmissividade igual a 33 m<sup>2</sup>/h e coeficiente de armazenamento igual a 2.10<sup>-4</sup>. Considerando-se o referido valor de transmissividade e a espessura para a camada saturada do aquífero (*b*) de 6,5 m, tem-se a condutividade hidráulica ( $K = T/b$ ) de 5 m/h, portanto, bastante elevada.

Tais parâmetros indicam que o aquífero possui alta capacidade de transmitir água, portanto, qualquer rebaixamento do nível d'água num determinado local se propaga rapidamente por grandes distâncias. Assim sendo, é esperado que íons dissolvidos, vírus e bactérias também se propaguem rapidamente pelas águas do aquífero sedimentar quaternário, que é bastante poroso e permeável.



**Figura 17.** Interpretação do teste de vazão no poço 3, com medidas de rebaixamento no Piezômetro 2.

#### Teste de vazão no poço 4

Testes de vazão preliminares no poço 4 foram realizados nos dias 6 e 7 de novembro de 2009, com duração de apenas 100 minutos de rebaixamento e 100 minutos de recuperação. As medidas de rebaixamento e recuperação foram observadas nos dois piezômetros associados, situados a 1,63 e 2,59 m de distância do centro do poço bombeado. A vazão de teste foi de 16,363 m<sup>3</sup>/h e os rebaixamentos máximos observados foram, respectivamente, de 0,3 e 0,4 m. Devido ao tempo de teste ser muito pequeno, as medidas realizadas se mostraram pouco representativas sobre o tipo de aquífero e dos seus parâmetros hidrodinâmicos. Ainda assim, observa-se que a relação vazão *versus* rebaixamento se mostrou alta, indicando que a transmissividade do aquífero sedimentar quaternário também é alta no local.

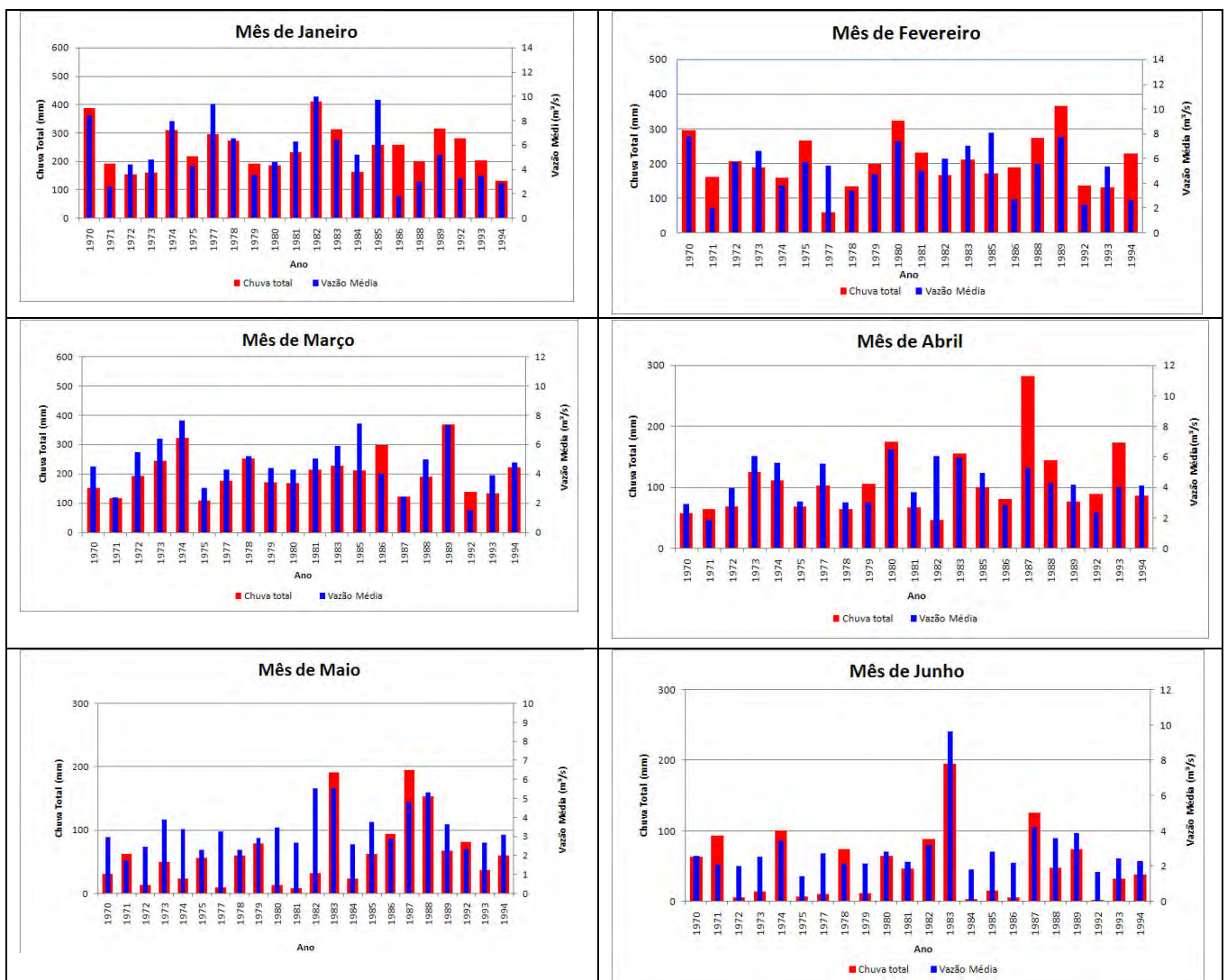
No final de dezembro de 2009, as fortes chuvas que atingiram o Vale do Paraíba provocaram inundação e transbordamento das cavas, fato que impediu o acesso pelas estradas que ficaram interditadas até maio de 2010. Nesse sentido, programou-se a realização dos testes de vazão no poço 4 em agosto de 2010, mas como o local está situado sobre área

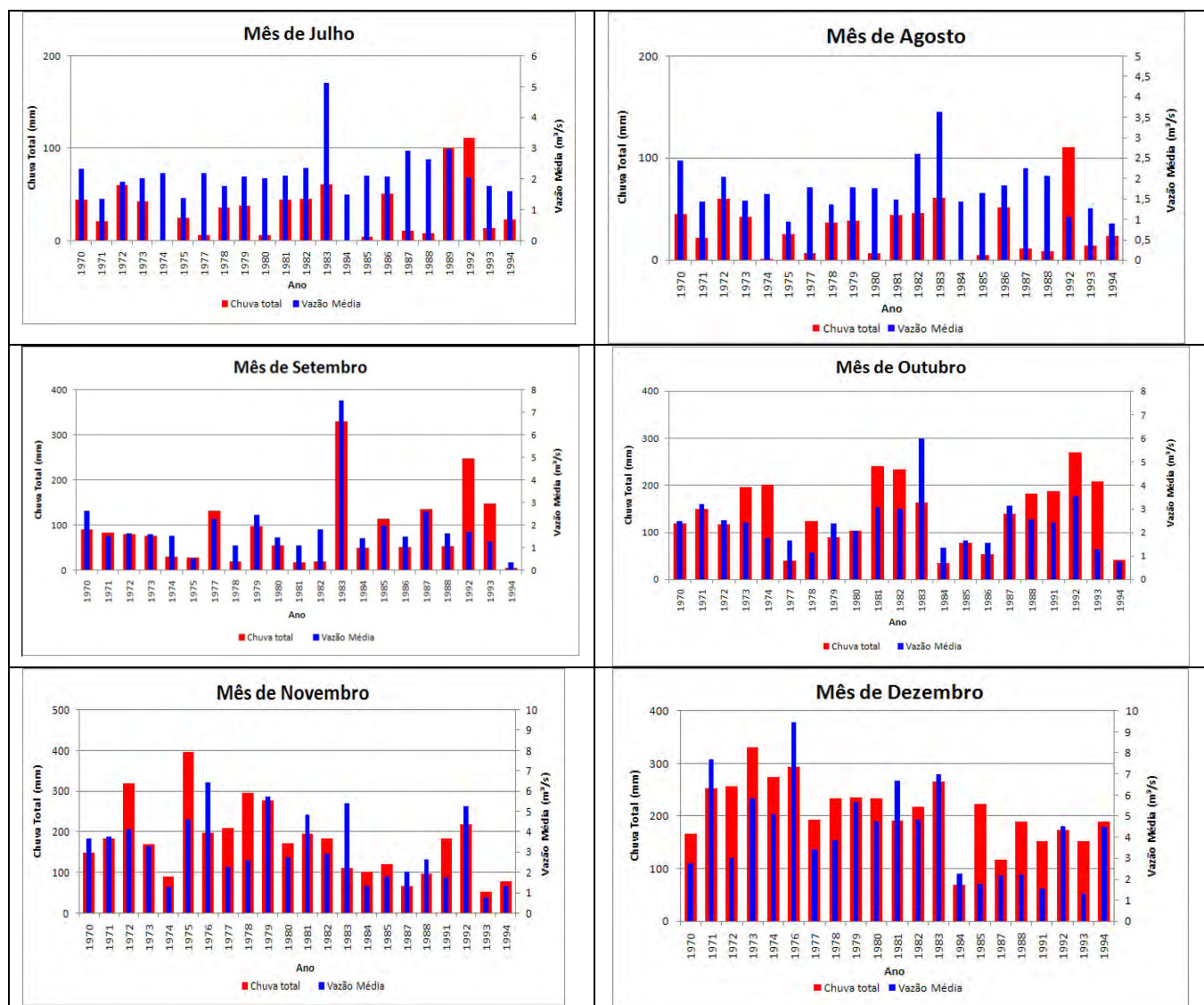
requerida para lavra, o avanço da mineração de areia acabou se antecipando e atingindo o local de construção do poço, o qual foi suprimido, fato que impediu de forma definitiva o acesso ao local para a realização do teste.

### 3.4. Análise dos dados hidrológicos e pluviométricos da bacia hidrográfica do rio Piracuama

Pela análise dos gráficos da Figura 18, que apresentam os totais de precipitação e das vazões médias para o período de 1970 a 1994 (postos D2-067 e 2D-054) da bacia do rio Piracuama, vale notar que os extremos de precipitação estão associados aos grandes acréscimos na vazão pelo fato de superarem a capacidade de retenção de água do solo. Observa-se, ainda, que os meses que apresentaram maior correspondência entre os dados de precipitações e vazões foram os mais chuvosos, entre outubro e março. Nota-se a influência do fenômeno El-Niño, com maior intensidade no ano de 1983, conforme já demonstraram Fisch e Valerio (2005).

O escoamento base é representado nos meses de menor precipitação. A capacidade de retenção de água no período de maior precipitação permite que grande parte das chuvas incidentes na área de drenagem infiltre no solo, escoando gradualmente nos meses em que a precipitação é menor.





**Figura 18.** Totais de precipitação, obtidos no posto D2-067, e de vazões médias, obtidos no posto 2D-054, da bacia do rio Piracuama.

Os dados hidrológicos mensais de vazão e precipitação para o período de 1970 a 1994, assim como dados de evaporação - Tanque Classe A - de 1992 a 2003 são mostrados na Tabela 3. Vale ressaltar que, devido à descontinuidade na manutenção dos postos meteorológicos, os períodos analisados são distintos para as variáveis citadas. Ainda assim, optou-se por considerar que tais dados representam as médias estatísticas mensais para todo o período considerado.

Dessa forma, estabelece-se um balanço hídrico médio mensal para a evaporação média (fator **C**) pela diferença entre as precipitações médias (fator **B**) e o escoamento médio (fator **A**). O fator **D** é o volume médio mensal evaporado ( $m^3/mês$ ), obtido por meio da evaporação média mensal, medida em Tanque Classe A, multiplicada pela área da bacia hidrográfica do rio Piracuama.

Dividindo-se os dados de evaporação média mensal (**C**), obtidos com o balanço hídrico, pelos dados de evaporação média mensal (**D**), observados em tanque Classe A, tem-se a correlação entre eles (**E**). Verificou-se uma boa correlação para os meses chuvosos, entre novembro e março, superior a 73% no mês de outubro, chegando a 100% no mês de fevereiro. Pôde-se concluir que a água em superfície foi suficiente para considerar a evaporação efetiva.



**Tabela 3.** Dados hidrológicos da bacia hidrográfica do rio Piracuama, no período 1970-1994 e de evaporação da Estação Meteorológica UNITAU/INMET nº 83784, de Taubaté.

Mês	Vazão média (m <sup>3</sup> /s)	Precipitação média (mm)	A= Média escoada bacia (m <sup>3</sup> )	B= Média precipitação bacia (m <sup>3</sup> )	C= B-A (m <sup>3</sup> ) (evaporação efetiva)	D= Potencial de evaporação (m <sup>3</sup> )	E=C/D
Jan	5,41	244,8	14490144	39412800	24922656	24536400	1,02
Fev	5,24	205,3	2812428,8	33053300	20240871,2	20189400	1,00
Mar	4,75	201,4	12722400	32425400	19703000	20511400	0,96
Abr	4,25	107,1	11016000	17243100	6227100	17758300	0,35
Mai	3,36	65,2	8999424	10497200	1497776	13749400	0,11
Jun	2,93	50,6	7594560	8146600	552040	11511500	0,05
Jul	2,20	34,0	5892480	5474000	-418480	13282500	-0,03
Ago	1,75	31,3	4687200	5039300	352100	16905000	0,02
Set	1,89	88,8	4898880	14296800	9397920	17693900	0,53
Out	2,38	141,8	6374592	22829800	16455208	22636600	0,73
Nov	3,19	177,1	8268480	28513100	20244620	22717100	0,89
Dez	4,29	210,1	11490336	33826100	22335764	24649100	0,91

Ainda pela análise dos dados constantes na Tabela 2, percebe-se que nos meses em que houve menor precipitação - de abril a outubro- a correlação caiu significativamente, chegando a valores negativos no mês de julho. Tais resultados mostram que, embora exista um potencial de evaporação medido em Tanque Classe A, não há água em superfície livre para evaporar. O potencial de evaporação nos meses de menor pluviosidade torna-se efetivo quando as águas do aquífero sedimentar são expostas pelas áreas abertas das cavas.

Estima-se o potencial de evaporação por km<sup>2</sup> de área livre do aquífero sedimentar quaternário por meio da subtração da evaporação medida em Tanque Classe A (D) da evaporação efetiva - obtida por meio do balanço hídrico (C). O valor encontrado deve ser dividido pela área da bacia hidrográfica. Dados da bacia Piracuama (161 Km<sup>2</sup>) são mostrados na Tabela 4.

**Tabela 4.** Estimativa da evaporação (m<sup>3</sup>/Km<sup>2</sup>) em área de aquífero livre.

Meses	Evaporação (m <sup>3</sup> /Km <sup>2</sup> ) aquífero livre
Abril	71.622
Mai	76.097
Junho	68.071
Julho	79.900
Agosto	102.813
Setembro	51.527
Outubro	38.393
<b>Total</b>	<b>488.423</b>

Constatou-se uma média anual de quase 500.000 m<sup>3</sup> de água subterrânea evaporada por km<sup>2</sup> de área do aquífero, que se torna efetiva pelas áreas abertas por meio das cavas, tanto em operação quanto abandonadas. Nos meses de maior precipitação total, novembro a março, a evaporação pode ser considerada proveniente das águas precipitadas na bacia, já que há excedente de água superficial.

Reis et al. (2006a), a partir da modelagem de um banco de dados georreferenciado, avaliaram a evolução e o grau de interferência da atividade de extração de areia na planície aluvial do Vale do Paraíba, no trecho entre Jacareí e Pindamonhangaba, entre os anos de 1993

e 2003, por meio do cálculo do volume de água evaporada para a atmosfera, a partir da área das cavas e concluíram que o acréscimo nesse volume ocorreu proporcionalmente ao aumento na quantidade dos lagos.

### 3.5. Análises físico-químicas e bacteriológica das águas superficiais e subterrâneas

As análises foram efetuadas no mês de novembro de 2009 e nos meses de março e abril de 2010, portanto meses considerados chuvosos (novembro) e meses de transição de estação verão-outono, mas que ainda apresentam considerável pluviosidade.

Na Tabela 5, encontram-se resultados para análises expeditas das características físico-químicas das águas superficiais e subterrâneas por meio do analisador de multiparâmetros da água (Horiba, modelo W-22XD) para dados de pH, condutividade, oxigênio dissolvido, salinidade, sólidos totais dissolvidos, peso específico da água salgada, turbidez, profundidade, potencial de oxidação-redução e temperatura. A mesma tabela também apresenta as determinações de DBO<sub>5</sub> (Demanda Bioquímica de Oxigênio de cinco dias) e bacteriológicas, assim como resultados de nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal e fósforo, processados na UNITAU.

**Tabela 5.** Resultados das análises físico-químicas das águas superficiais e subterrâneas.

Data da Análise	10/11/2009						25/03/2010						13/04/2010					
	Poço 1	Poço 2	Poço 3	Cava ativa	Cava inativa	Rio Paraíba	Poço 1	Poço 2	Poço 3	Cava ativa	Cava inativa	Rio Paraíba	Poço 1	Poço 2	Poço 3	Cava ativa	Cava inativa	Rio Paraíba
Nível d'água (m)	2,68	1,37	4,75	N.D.	N.D.	N.D.	4	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pH	5,51	5,3	5,71	N.D.	5,58	6,61	5,54	5,67	5,6	6	5,78	5,75	5,98	6,02	6,04	6,47	6,15	6,64
Condutividade (µS/cm)	270	210	170	N.D.	50	30	18	21	15	12	10	9	18	26	19	18	14	13
Turbidez (NTU)	39	28	61	N.D.	320	89	460	170	-5	260	620	110	57	53	38	540	100	120
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	0,4	1,1	1,5	N.D.	1,1	8,8	0,1	2,5	0,4	5,6	7,3	7,9	0,8	0,8	N.D.	6	N.D.	5,8
Temperatura (°C)	21,4	20,3	22,4	N.D.	26,9	28,6	22,7	21,6	22,5	29	27,4	26,5	23,3	22	22,9	23	23,7	22,8
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	170	140	110	N.D.	20	20	0,11	0,13	0,1	0,07	0,07	0,06	0,12	0,17	0,13	0,12	0,09	0,09
Potencial de Oxirredução (Eh)	6	62	49	N.D.	116	80	-130	-79	-72	71	103	67	-40	16	39	97	-61	42
DQO mg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	82	13,67	44,39	N.D.	56,67	412,9	33	<1,8	17	1300	13000	79000
DBO mg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	42	N.D.	33,4	N.D.	29,8	152	<1,8	<1,8	<1,8	4,5	33	7000
Coliformes Termotolerantes (NMP)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	22	2	4	4,5	<1,8	3300	<1,8	<1,8	<1,8	4,5	33	7000
Bactérias Heterotróficas (UFC/mL)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	228,8	369,6	391,6	202,4	>5700	>5700
Bactérias Heterotróficas (UFC/mL)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	228,8	369,6	391,6	202,4	>5700	>5700
Nitrato (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,04	0,16	0,09	0,17
Nitrito (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,02	0,02	N.D.	N.D.	N.D.	0,02
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1,01	3,04	0,76	0,28	0,03	0,05
Fósforo Total (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,47	0,44	0,49	0,31	0,13	0,14

Nota: N.D. = Não Determinado.

Os resultados da análise realizada pela SABESP se enquadraram na Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde, que englobam metais como chumbo, ferro e manganês, parâmetros físico-químicos como a turbidez e cor, bactérias e ânions, como o nitrogênio amoniacal. Os resultados se encontram representados na Tabela 6.

**Tabela 6.** Resultados das análises realizadas pela SABESP em amostras de águas.

ELEMENTO	LQ	L. Resolução 518/2004	Unidades	Cava abandonada	Cava em operaçã o	Poço 2	Poço 3	Poço 4
Antimônio total	0,003	0,005	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Arsênio total	0,01	0,01	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Bário total	0,1	0,7	mg/L	<0,1	0,22	0,15	0,18	0,11
Cádmio total	0,001	0,005	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Chumbo total	0,01	0,01	mg/L	<0,01	0,04	0,04	0,02	0,02
Cianeto	0,005	0,07	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Cloreto	1	250	mg/L	2,01	3,52	4,52	3,52	4,02
Cloro Residual Livre	0,01	5	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cobalto total	0,02	*	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Coliformes Totais	1	0	NMP/100 mL	12033	5650	309	<1	34,5
Cor Aparente	5	15	UC	275	3000	2000	1200	1000
Cromo total	0,03	0,05	mg/L	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Dureza total	2	500	mg/L	15,15	15,15	23,23	46,46	24,24
Escherichia Coli	1	0	NMP/100 mL	20	200	<1	<1	<1
Ferro total	0,05	0,3	mg/L	3,93	9,64	32,68	18,33	14,51
Fluoreto	0,2	1,5	mg/L	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Manganês total	0,05	0,1	mg/L	0,18	0,24	0,81	0,53	0,28
Mercúrio total	0,0001	0,001	mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Monocloramina	0,1	3	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Nitrato	0,1	10	mg/L	<0,1	0,38	<0,1	<0,1	<0,1
Nitrito	0,01	1	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Nitrogênio Amoniacal -Água	0,06	1,5	mg/L	0,73	2,53	7,18	8,64	5,41
pH	3	6,0 - 9,5	pH	6	5	6,6	6,6	6,4
Selênio total	0,01	0,01	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Sódio total	0,2	200	mg/L	1,4	2,21	2,23	2,87	2,48
Sólidos Dissolvidos Totais - Água	4,4	1000	mg/L	22	24	43	62	34
Sulfactantes	0,05	0,5	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Sulfato	2	250	mg/L	5,57	10,08	<1	1,24	<1
Sulfetos	0,002	0,05	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Temperatura da Amostra	0	*	°C	28	23	25	24	24
Temperatura do Ar	0	*	°C	32	30	33	32	29
Turbidez	0,1	5	NTU	18,6	130	197	105	110
Zinco total	0,2	5	mg/L	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
<b>Outros:</b> Herbicidas Triazinas Outros Semivoláteis Pesticidas Organoclorados Solventes Aromáticos Solventes Halogenados	Todos os resultados encontrados estavam abaixo do limite quantificável							

O elemento chumbo total, encontrado acima dos limites, na cava em operação e nos poços pode estar associado ao decaimento radioativo do elemento tório (Th→Ce→La→Pb)

encontrado nas areias monazíticas das formações terciárias do Grupo Taubaté, retrabalhadas por erosão e transporte, e depositadas nas areias quaternárias da várzea do rio Paraíba do Sul.

O elemento ferro total, mais elevado nas águas subterrâneas, tem sua origem provável nas águas subterrâneas, parcialmente advindas das rochas alteradas cristalinas situadas nas encostas da Serra da Mantiqueira, com grande conteúdo de minerais ferro-magnesianos e solubilizados pelo efeito da alteração intempérica.

No caso do nitrogênio amoniacal, encontrado acima dos limites nos poços e na cava em operação investigada, pode-se afirmar que sua origem está relacionada ao lançamento do solo agriculturável removido para instalação das dragas de extração de areia. Esse solo é rico em fertilizantes, principalmente ureia (nitrato de amônia) lançada pelos agricultores com uma taxa anual de 250 kg por hectare plantado.

Os parâmetros cor e turbidez elevados são provenientes da grande quantidade de coloides (argilas orgânicas) existentes nas cavas e nas águas subterrâneas.

Quanto ao conteúdo bacteriológico, observou-se grande quantidade no rio Paraíba do Sul, principalmente termotolerantes, que estão associadas ao lançamento dos esgotos domésticos. Esse componente é menor nas cavas, assim como os coliformes e bactérias heterotróficas. Nas águas subterrâneas somente foram registradas bactérias heterotróficas.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A atividade de mineração de areia na porção paulista do Vale do Paraíba do Sul iniciou-se a partir da década de 50, na porção sudoeste da bacia, no município de Jacareí (SP). Daí intensificou-se e avançou em direção a São José dos Campos, Caçapava, Taubaté, Tremembé, Pindamonhangaba e, mais recentemente, Roseira.

Tais ações delinearam-se mediante uma série de medidas, nas quais o grau de intencionalidade se guiou sob a influência das demandas econômicas da urbanização e da industrialização, impulsionadas, em grande parte, pelos interesses da metrópole. Assim, o espaço que no passado fez sua gênese com base no imediatismo, hoje sucumbe à sombra das consequências desse processo, permeado por interesses antagônicos de várias frentes, que no máximo, resultam em iniciativas paliativas de recuperação das áreas degradadas e em ações tímidas e não integradas de controle e fiscalização.

As cavas resultantes das atividades minerárias de areia, num primeiro momento, desconfiguram a paisagem local e entram em conflito com os demais usos como, por exemplo, as atividades agrícolas e as áreas de conservação da fauna e flora. Em todas as suas fases – pesquisa mineral, lavra, beneficiamento, transporte e infraestrutura – tal atividade também consome outros recursos naturais, sobretudo água e derivados do petróleo; e mais, provocam consequências que vão além do plano da visão.

Nesse sentido, a presente investigação, por meio de técnicas e métodos pertinentes, procurou levantar dados para testar a hipótese sobre a existência de relação entre as cavas de extração de areia e as alterações nas condições de armazenamento e qualidade da água do aquífero sedimentar quaternário, que ocorre na várzea do rio Paraíba do Sul. Dentre os resultados obtidos, a partir dos inúmeros testes e análises realizados, enumera-se a seguir os mais relevantes:

- Os testes de infiltração indicaram que, na área de mata ciliar, composta por Floresta Ombrófila Mista, houve uma maior velocidade média de infiltração da água (1,2 cm/min no início para 0,07 cm/min no final do teste, no local 1) quando comparada com a velocidade nos demais locais investigados, fato que comprova a importância das áreas vegetadas na manutenção da perenidade do rio Paraíba do Sul;
- Pelos resultados das análises dos índices físicos do solo, constatou-se alta porosidade (66%) nos solos friáveis da várzea, condição que proporciona um maior poder de

transporte de solutos nas águas subterrâneas. Os testes de vazão também indicaram alta transmissividade - 15,5 m<sup>2</sup>/h no *poço 1* e 33 m<sup>2</sup>/h no *poço 3*. Assim, qualquer rebaixamento do nível d'água em determinado local se propaga rapidamente por grandes distâncias. Também é esperado que íons dissolvidos, vírus e bactérias se propaguem rapidamente pelas águas do aquífero sedimentar quaternário;

- Por meio da análise granulométrica, constatou-se que a técnica de extração de areia utilizada, além de predatória, representada pela dificuldade de recuperação das áreas degradadas, também se mostrou ineficiente, uma vez que deixa areia não minerada no fundo da cava, assim como argilas bentoníticas originárias da alteração intempérica dos xistos betuminosos;
- A partir dos ensaios SPT (*Standard Penetration Test*), constatou-se que o aquífero sedimentar quaternário (camada arenosa) possui espessura média de 5,5 m e apresenta uma camada confinante superior, composta por argilas orgânicas impermeáveis, que torna os depósitos arenosos confinados. Imediatamente abaixo do aquífero sedimentar confinado encontra-se um aquíclodo, formado pelas argilas bentoníticas verdes. Assim, ressalta-se que, nos locais onde o solo orgânico - camada confinante - foi removido para a construção das cavas, os depósitos arenosos passaram a ter contato direto com o ar atmosférico, constituindo o aquífero do tipo livre. O resultado da análise dos dados de 175 sondagens cruzado com medidas potenciométricas revelou que a pressão no topo do aquífero varia de acordo com a espessura daquela capa impermeável confinante, tornando o nível da água subterrânea distinto em cada ponto;
- Quanto às análises dos dados pluviométricos, fluviométricos e do balanço hídrico, calculou-se a estimativa de uma média anual de quase 500.000 m<sup>3</sup> de água subterrânea evaporada por km<sup>2</sup> de área do aquífero, que é impulsionada pelas áreas abertas das cavas em operação ou abandonadas. Nos meses de maior precipitação, a evaporação pode ser considerada proveniente das águas precipitadas na bacia, já que há excedente de água superficial.
- No que diz respeito à qualidade da água, o elemento nitrogênio amoniacal apresentou ocorrência acima dos limites, tanto nos poços quanto nas cavas em operação. Tal situação é favorecida pelo lançamento do solo agriculturável, o qual é removido para instalação das dragas de extração de areia. Esse solo é rico em fertilizantes, principalmente ureia (nitrato de amônia), lançada com uma taxa anual de 250 kg por hectare plantado. Quanto ao conteúdo bacteriológico, foi constatada grande quantidade no rio Paraíba do Sul, principalmente as termotolerantes, que estão associadas ao lançamento dos esgotos domésticos. Esse componente é menor nas cavas, assim como os coliformes e as bactérias heterotróficas. Nas águas subterrâneas somente foram registradas bactérias heterotróficas.

Pelo exposto, confirmam-se as consequências negativas nas condições de armazenamento e na qualidade da água do aquífero investigado, produzidas pelas atividades de mineração de areia.

É sacramentado o fato de que o avanço das civilizações está intrinsecamente ligado à atividade minerária, no entanto, há que se considerar que seu delineamento histórico sempre foi marcado pela falta de compromisso socioambiental e pela total desconsideração de sua condição finita. Os lucros imediatos sempre se sobrepuseram aos interesses públicos e a fatores relacionados com a resistência, resiliência e sustentabilidade ambiental.

No contexto atual, a minimização dos impactos ambientais advindos dessa atividade depende fortemente do posicionamento dos gestores públicos, quanto à adoção de ações efetivas relacionadas ao aumento das exigências ambientais nas fases de autorização e

concessão da lavra, ao monitoramento e controle tanto das atividades legais quanto ilegais. Tais medidas precisam ser contínuas e se estender para além de uma gestão administrativa de quatro anos, uma vez que as pressões por novas áreas de exploração são constantes.

Por fim, vale ressaltar que medidas dessa natureza somente alcançarão êxito quando tomadas pela articulação dos vários atores envolvidos, incluindo os proprietários das minerações e das áreas agriculturáveis na várzea do rio Paraíba do Sul.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro recebido da FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São, por meio do Processo no 2008/05400-9.

## 6. REFERÊNCIAS

- AGUIAR, L. S.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T. Escoamento superficial na bacia hidrográfica do Ribeirão Itaim. **Revista Ambi-Agua**, Taubaté, v. 2, n. 1, p. 44-56, 2007. (doi:10.4136/ambi-agua.19).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: **amostra de solo - preparação para ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6484 **Execução de sondagens de simples reconhecimento dos solos – método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1980.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6508. **Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 1984. 8 p.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA A CONSTRUÇÃO CÍVIL - ANEPAC. Vale do Paraíba: maior região produtora de areia do país. **Revista Areia & Brita**, São Paulo, n. 10, abril/maio/junho, p. 5-19, 2000.
- BAILLOT, R. T.; RIBEIRO, A. Sondagem a percussão: comparação entre processos disponíveis para ensaios SPT. **Solos e Rochas**, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 167-178, 1999.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 2. ed. Viçosa-MG: Imprensa Universitária, 1982. 463 p.
- BOSCOV, M. E. G. **Geotécnica ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. ISBN: 978-85-86238-73-4.
- BUENO, B. S.; VILAR, O. M. **Mecânica dos solos**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos/Departamento de Geotecnia. Publicação 004/85. 131 p.
- D'ANGIOLELLA, G. L. B.; VASCONCELLOS, V. L. D. Cálculo do balanço hídrico climatológico com diferentes métodos para estimativa da evapotranspiração potencial, em planilhas Excel<sup>TM</sup>. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., set. 2002, Foz do Iguaçu **Anais...** Foz do Iguaçu: SBMET, 2002. 1 CD-ROM.
- DINIZ, H. N.; MICHALUATE, W. J. **Interpretação de testes de vazão em poços tubulares profundos - dimensionamento e especificações de bombas submersas**. São Paulo: Instituto Geológico do Estado de São Paulo, 2002. v.1. 78 p.

DINIZ, H. N.; GALINA, M. H.; BATISTA, G. T.; TARGA, M. S. Hidrogeologia da Várzea do Rio Paraíba do Sul: estudo de caso de uma área de mineração no município de Tremembé, SP, Brasil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 5, n. 3, p. 76-107 2010. (doi:10.4136/ambi-agua.155)

---

FISCH, G. F.; VALERIO, M. C. Variabilidade intra e interanual da precipitação em Taubaté (SP) associado aos eventos El Niño e La Niña. **Revista de Biociências**, Taubaté, v. 11, n. 1/2, p. 19-29, jan./jun. 2005.

GALINA, M. H.; DINIZ, H.; QUINTANILHA, J. A.; BATISTA, G. T. The increase of artificial lakes as a result of sand mining activities, in the Paraíba do Sul Rivers Basin, São Paulo State, Brazil. In: GEOGRAPHIC OBJECT-BASED IMAGE ANALYSIS - GEOBIA, 3., 2010, Gent. **Proceedings...** Gent: Springer, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Banco de dados**. 2009. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso: 10 abr. 2010.

KATHER C.; DINIZ H. N.; TARGA, M. S.; BATISTA G. T.; RODRIGUES E. M. Características de infiltração de água nos solos da várzea do rio Paraíba do Sul, em Tremembé, SP. In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO SUL: recuperação de áreas degradadas, serviços ambientais e sustentabilidade, 2., 2009, Taubaté. **Anais...** Taubaté: IPABHi, 2009. p. 493-500. (doi:10.4136/serhidro.64).

KRESIC, N. **Hydrogeology and groundwater modeling**. New York: Lewis Publishers, 1997. 461p.

NOGUEIRA, J. B. **Mecânica dos solos: ensaios de laboratório**. São Carlos: EESC-USP, 1995. 248 p.

PANACHUKI, E. **Infiltração de água no solo e erosão hídrica, sob chuva simulada, em sistema de integração agricultura-pecuária**. 2003. 67 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Dourados, 2003. PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba: SAEAFS, 1996. 446p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 186 p.

REIS, B. J.; BATISTA, G. T.; TARGA, M. S.; CATELANI, C. S. Desenvolvimento de um banco de dados georreferenciados para a avaliação das atividades minerais da planície aluvial do Rio Paraíba do Sul. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 12, p. 34 - 42, 2006b.

REIS, B. J.; BATISTA, G. T.; TARGA, M. S.; CATELANI, C. S. Influência das cavas de extração de areia no balanço hídrico do vale do Paraíba do Sul. **Revista da Escola de Minas**, v. 59, p. 391 - 396, 2006a.

RUSHTON, K. R.; WARD, C. The estimation of ground water recharge. **Journal of Hydrology**, Washington, v. 40, p. 49-65, 1979.

SANTORO, J.; DINIZ, H. N.; CORREIA, N. T.; CARBONE, F. R.; SCIOTTA, L. C. O. Estimativa da recarga do aquífero freático da bacia do rio Una, no município de Taubaté, SP. **Revista Ambi-Agua**, Taubaté, v. 2, n. 1, p. 57-82, 2007. (doi:10.4136/ambi-agua.20).

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo. Instituto Geológico. **Projeto Paraíba do Sul – potencialidade de areia**. São Paulo: SMA, 1997.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo. Instituto Geológico. **Projeto Paraíba do Sul – potencialidade de areia**. São Paulo: Digital, 2009. ISBN 978-85-87235-10-7.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. **Resolução SMA 28, de 22 de setembro de 1999**. Dispõe sobre o zoneamento ambiental para mineração de areia no sub-trecho da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul inserido nos municípios de Jacareí, São José dos Campos, Caçapava, Taubaté, Tremembé e Pindamonhangaba e dá outras providências correlatas. Disponível em: <[http://sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam2/legisla%C3%A7%C3%A3o%20ambiental/resolu%C3%A7%C3%A3o%20sma%201999\\_028.pdf](http://sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam2/legisla%C3%A7%C3%A3o%20ambiental/resolu%C3%A7%C3%A3o%20sma%201999_028.pdf)>. Acesso: 16 dez. 2010.

SÃO PAULO. (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. **Resolução SMA 42, de 16 de setembro de 1996**. Disciplina o licenciamento ambiental dos empreendimentos minerários de extração na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamento/legislacao/estadual/resolucoes/1996\\_Res\\_SMA\\_42.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamento/legislacao/estadual/resolucoes/1996_Res_SMA_42.pdf)>. Acesso: 16 dez. 2010.

SAUSEN, T. M. **Modificação na forma do canal do rio em função da ação antrópica: exemplo do Rio Paraíba do Sul de São Paulo**. 1988. 228 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1988.

STANCATI, G; NOGUEIRA, J. B.; VILAR, O. M. **Ensaio de laboratório em mecânica dos solos**. São Carlos: EESC – USO, 1981. Publicação 004/87. 208p. il.

TARGA, M. S. **Hidrologia de superfície**. Curso à Distância em Gestão de Recursos Hídricos em Bacias Hidrográficas (Latu Sensu), Módulo 9, CNPq (Processo nº 504304/2003), Taubaté, 2003. 65 p.

TURCO, M. J.; BUCHMILLER, R. C. **Simulation of ground-water flow in the Cedar River alluvial aquifer flow system, Cedar Rapids, Iowa**. Report 2004-5130, Reston: U. S. Geological Survey Scientific Investigations, 2004. 39 p.