

# CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA POR NITRATO NO PARQUE ECOLÓGICO DO TIETÊ - SÃO PAULO, BRASIL

Claudia Varnier<sup>1</sup> & Ricardo Hirata<sup>2</sup>

**Abstract** – The aim of this study is to investigate groundwater contamination caused by septic tank which infiltrates domestic effluent into a sandy-alluvial unconfined aquifer at Parque Ecológico do Tietê (São Paulo, Brasil).

The methodology used is based on chemical analysis of 58 shallow monitoring wells (up to 3,9m deep) installed at 50x50m area. Some chemical parameters as nitrate, nitrite, ammonium, chloride, ph, Eh, electric conductivity and dissolved oxygen have been measured fortnightly using portable equipment. Major ions and nitrogen compounds (organic-N, ammonia, ammonium, nitrite, nitrate) have been analyzed monthly.

This detailed monitoring program has allowed to identify three different geochemical zones, according to predominance of nitrogen species: organic-N, ammonium and nitrate. Following the groundwater flux, it is also possible to verify a decrease in the pH values. From chloride concentration variation and electric conductivity, the dispersion of the plume was calculated.

Rapid contaminant concentration variations have been attributed to the rapid aquifer recharge that provokes deformation into the streamtubes geometry.

**Palavras-chave** - Nitrato, Tanque séptico, Água subterrânea, Brasil.

## INTRODUÇÃO

O nitrato é o poluente de ocorrência mais freqüente nas águas subterrâneas. Em concentrações superiores a 10mg/L  $\text{NO}_3^-$ -N, pode causar metahemoglobinemia e câncer.

---

<sup>1</sup> Mestranda do Instituto de Geociências–Universidade de São Paulo. Tel: (0XX11) 818-4052. E-mail: clvarnier@hotmail.com.

<sup>2</sup> Professor do Instituto de Geociências–Universidade de São Paulo. Tel: (0XX11) 818-4230. E-mail: rhirata@usp.br.

Rua do Lago, 562 – Cidade Universitária – São Paulo – S P. CEP 05508-900. Fax (0XX11) 818-4207

Além do uso de fertilizantes agrícolas e criação de animais, os sistemas de saneamento *in situ*, quer por tanques sépticos ou fossas rudimentares, constituem outra importante fonte de nitrato nas águas subterrâneas.

No País, 40% da população utiliza fossas rudimentares ou não possui qualquer sistema de saneamento que, na prática, se traduz na deposição inadequada dos efluentes líquidos, muitas vezes diretamente no aquífero (fossas negras escavadas até o nível freático). Um agravante a este problema são as favelas, dada à grande densidade populacional e grande concentração de fossas negras, muito próximas aos poços cacimbas.

O problema da inter-relação fossa-poço não se restringe apenas às áreas faveladas. Cerca de 20% da população do País utiliza poços próprios para seu abastecimento e somente 35% está conectada devidamente à rede de esgoto.

Embora os estudos do comportamento e atenuação de nutrientes (nitrogênio e fósforo) já datem de alguns anos, muitas questões ainda estão para serem respondidas, sobretudo aquelas associadas à denitrificação (Gillham & Buris 1992, Wilhelm *et al.* 1994, Hirata *et al.* 1997, Rudolph *et al.* 1997). Devido a esta forte dependência ambiental, o clima tropical úmido apresenta particularidades que ainda não foram devidamente estudadas.

A despeito da grande importância assinalada, estudos específicos da contaminação de aquíferos por nitrogênio são ainda bastante restritos no Brasil, sobretudo quando o tema é focado com alto grau de detalhe.

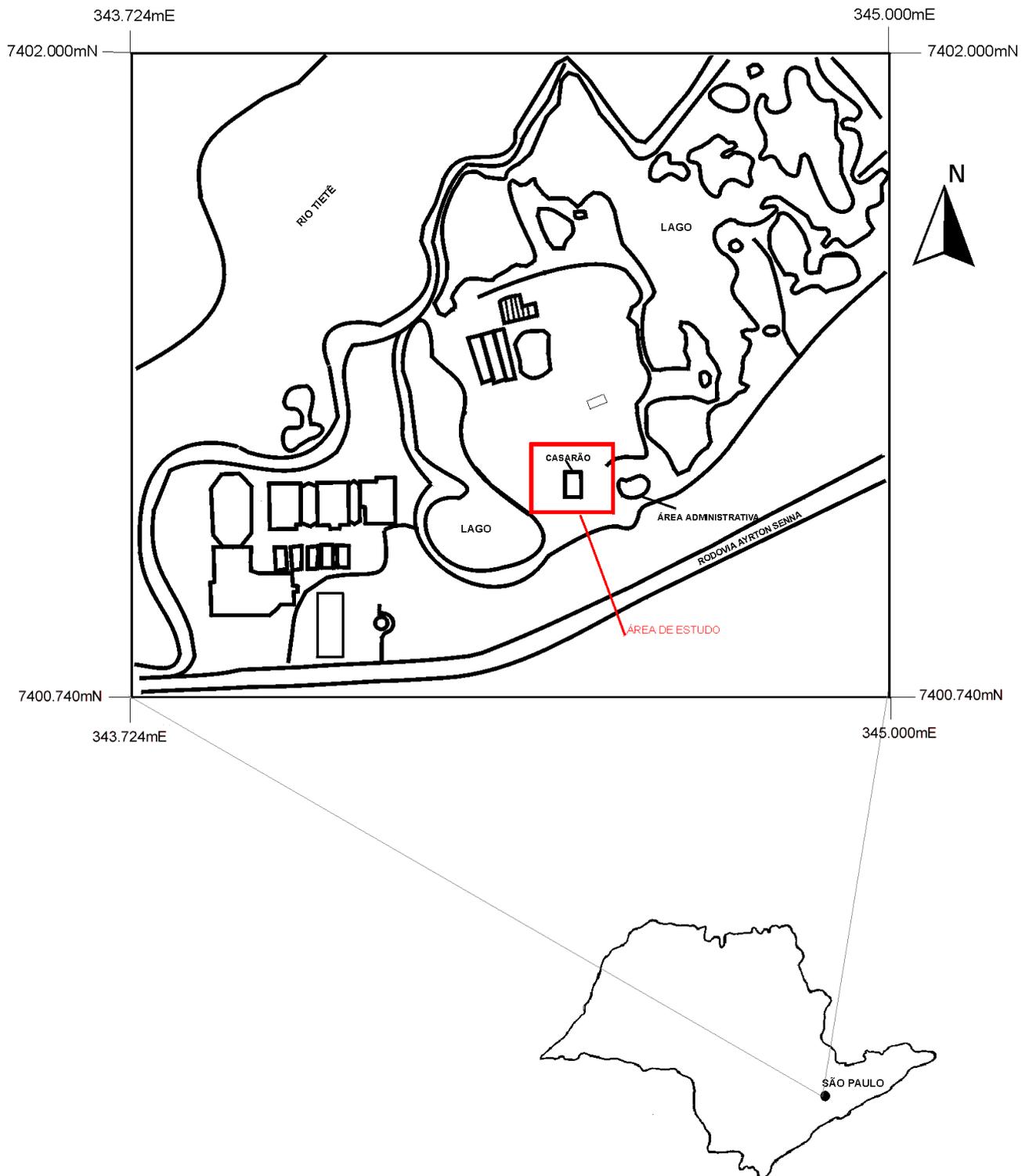
O presente trabalho tem como principal objetivo, a caracterização da hidroquímica do nitrogênio e seu impacto nas águas subterrâneas por fossa séptica através de 58 poços de monitoramento instalados numa área de aproximadamente 2500m<sup>2</sup>.

## **ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo localiza-se nas dependências do Parque Ecológico Tietê-Engenheiro Goulart (PET-EG), zona leste do município de São Paulo (Figura 1). O PET-EG foi criado em 1976, com a finalidade de preservar as várzeas do rio Tietê e combater, juntamente com outras obras (barragens, retificação do rio, desassoreamento), as enchentes na Região Metropolitana da Grande São Paulo.

O Casarão, atual Museu do Tietê, era a antiga residência do proprietário do sítio. O prédio de dois pavimentos possui 4 banheiros e, conectado a este sistema, está também o refeitório dos trabalhadores. Todo o esgoto proveniente destas duas edificações é drenado para um sistema de tanque séptico. Este sistema consiste de dois tanques de

concreto com dimensões de 1,5m de diâmetro por 1m de profundidade e que nunca foi limpo desde a criação do PET. O primeiro recebe o efluente *in natura* e o transfere para o segundo, através de tubo na sua porção superior. O segundo tanque permite a infiltração do líquido no solo, através de aberturas em sua parede lateral. Os fundos dos dois tanques são fechados.



**Figura 1** – Localização da área de estudo.

## HIDROGEOLOGIA

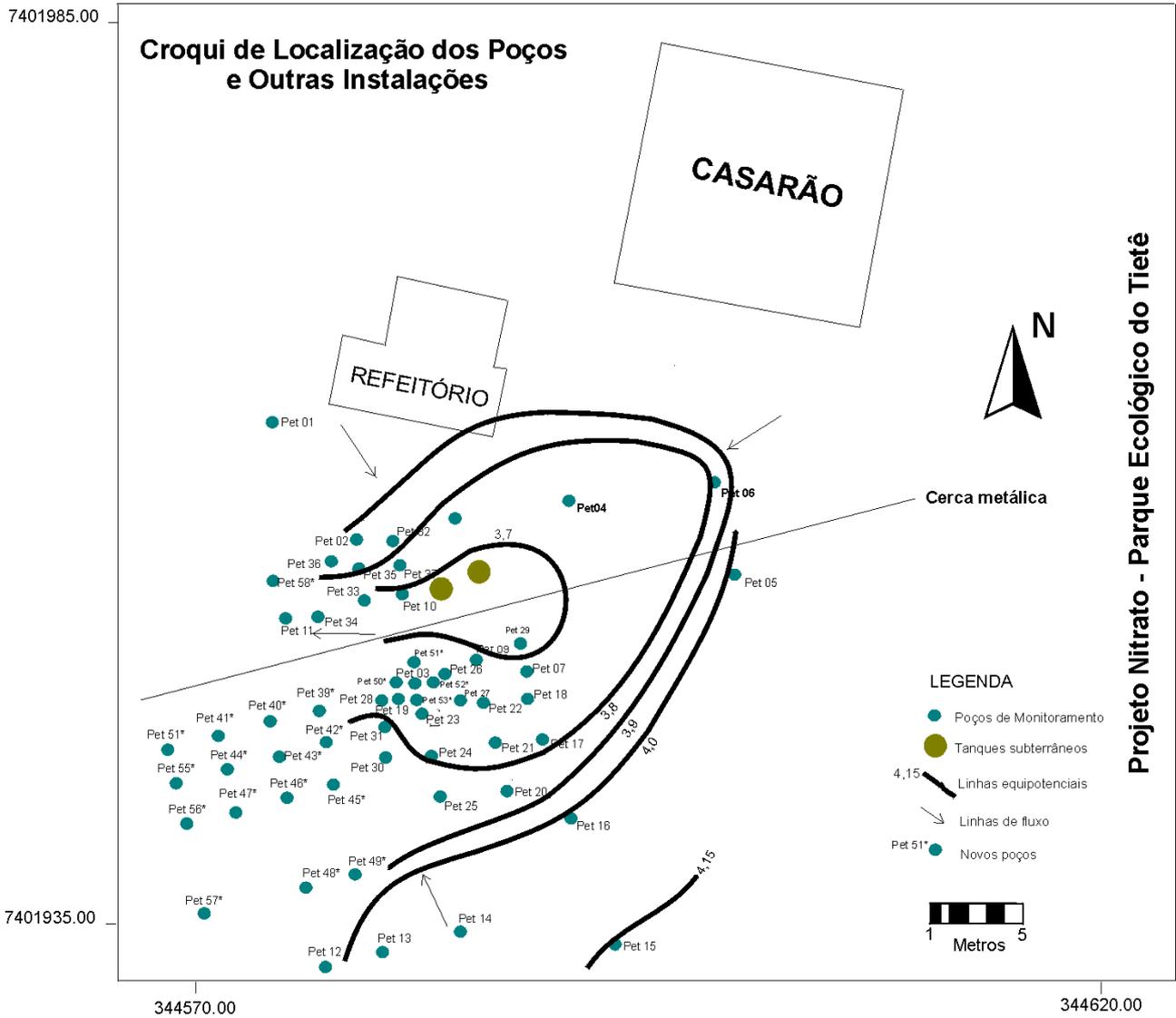
O Casarão e as edificações que compõe a área de estudos estão situados na planície do rio Tietê. Esta área de 2500m<sup>2</sup> é bastante plana e as diferenças de topografia não são maiores que 0,76m. Na área ocorre um aquífero do tipo livre, que apresenta heterogeneidade de sua condutividade hidráulica, tanto na sentido vertical como na horizontal. Testes do tipo “slug” foram realizados na área e a condutividade hidráulica horizontal média situou-se entre 10<sup>-5</sup> a 10<sup>-7</sup> m/s.

O aquífero de porosidade primária está associado aos sedimentos quaternários do aluvião do rio Tietê, apresentando uma espessura média de algumas dezenas de metros. Sob este material encontram-se sedimentos terciários conectados hidraulicamente e correlacionáveis à Bacia de São Paulo. A espessura média dos sedimentos na área é maior que 100m, como atesta um poço tubular perfurado junto ao Casarão.

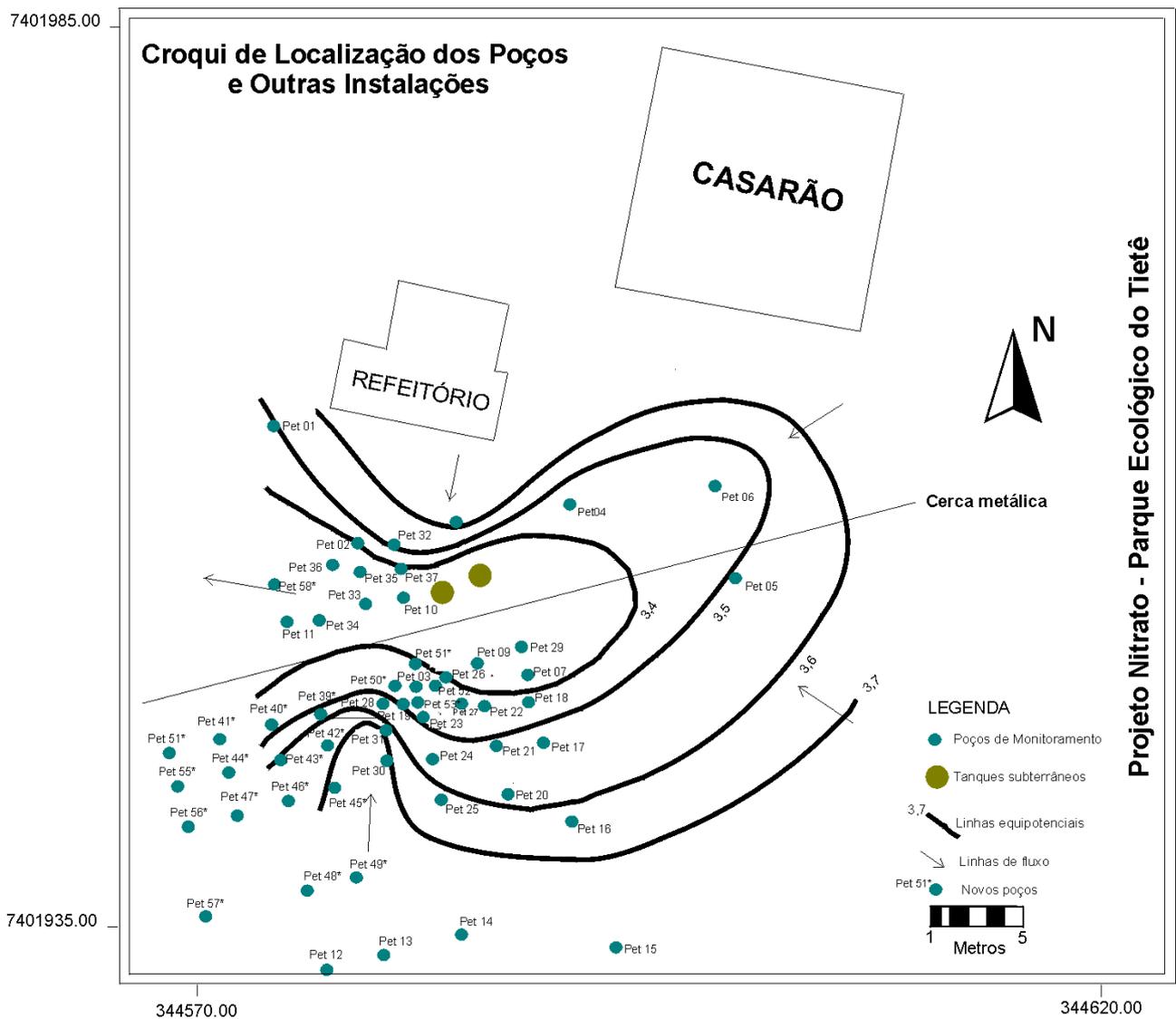
Os 58 poços de monitoramento com até 3,9m de profundidade atravessam as coberturas aluviais quaternárias representadas por lentes de argila, silte e areia de cor marrom claro a escuro intercaladas, e riqueza de material orgânico nos primeiros 0,5m. Após 2m, são observadas areias finas não consolidadas de cor parda e amarela, mais permeáveis. O material perfurado não tem mostrado camadas com características de confinamento.

A recarga deste aquífero ocorre em toda a sua zona aflorante e a descarga junto às drenagens superficiais e lagos. Esta recarga é mais pronunciada nos meses úmidos (dezembro a março). Através do levantamento topográfico de todos os poços e medições periódicas dos níveis estáticos, foram confeccionados mapas potenciométricos mensais. Estes mapas mostraram que, embora haja variações sazonais dos níveis estáticos entre os meses secos e úmidos, as direções de fluxo são bastante similares. (Figuras 2 e 3).

As direções de fluxo do aquífero são controladas pela topografia da área e lagos artificiais e tem preferência para oeste, na direção do PET 11. O fluxo de água subterrânea do aquífero apresenta baixo gradiente hidráulico (0,02 a 0,07 m/m) com dispersão das direções, devido às pequenas depressões e elevações no terreno.



**Figura 2** – Mapa potenciométrico referente ao mês de agosto de 1999.



**Figura 3** – Mapa potenciométrico referente ao mês de janeiro de 2000.

### COLETA DE AMOSTRAS

A perfuração dos poços de monitoramento foi executada através de trado manual de 100mm de diâmetro acoplado a um sistema de haste com até 5m de comprimento. Nestes furos foram instalados piezômetros constituídos de tubos de PVC, com seção basal furada e envolvida com telas de bidim no último 0,5m. O espaço anular entre o tubo e o furo foi preenchido com cascalho (pré-filtro tipo pérola) até cobrir a seção filtrante e acima deste, um selo de bentonita. O restante do espaço foi preenchido com o material da escavação. Em volta da boca do poço foi construída uma laje de proteção com tampa metálica fechada com cadeado. Anterior a todas as amostragens, efetuou-se a limpeza dos poços de monitoramento com o seu esgotamento através de bombeamento intensivo

segundo as normas da USEPA (*in* Foster & Gomes 1989). A amostragem da água subterrânea nos poços foi feita através de uma bomba peristáltica da marca Geopump II.

As amostras coletadas foram filtradas através de uma bomba a vácuo manual da marca Nalgene e acondicionadas em frascos de polietileno, conservadas em geladeira de plástico a 4°C e encaminhadas ao laboratório para análise química.

Alguns parâmetros químicos foram medidos quinzenalmente em campo com o uso de equipamentos como o Rqflex-Plus (nitrato, nitrito, amônio) e Microquant (cloreto), ambos da MERCK. Os métodos utilizados por estes equipamentos foram respectivamente a reflectometria e colorimetria. Além destas espécies químicas foram também medidos com a mesma frequência, o nível estático, pH, Eh, condutividade elétrica, temperatura da água e oxigênio dissolvido através de equipamentos da marca WTW.

Foram feitas também análises mensais em laboratório, para uma melhor caracterização da pluma contaminante no tempo e espaço. Dois grupos de parâmetros foram analisados segundo a conveniência e necessidade. O primeiro incluía os compostos nitrogenados (nitrogênio total, nitrogênio orgânico, amônia, nitrito, nitrato) e o segundo, além destes compostos, os íons maiores (cálcio, ferro, magnésio, potássio, sódio, sulfato e cloreto). Estas análises foram feitas no laboratório CEIMIC em São Paulo. Os procedimentos de preservação da amostra e metodologias analíticas adotados obedeceram os critérios adotados pelo Standard Methods e USEPA.

## **RESULTADOS OBTIDOS**

A variação no comportamento de diversos parâmetros físico-químicos bem como, o nível estático foram observados no período de junho de 1998 a janeiro de 2000, através de 22 etapas de campo.

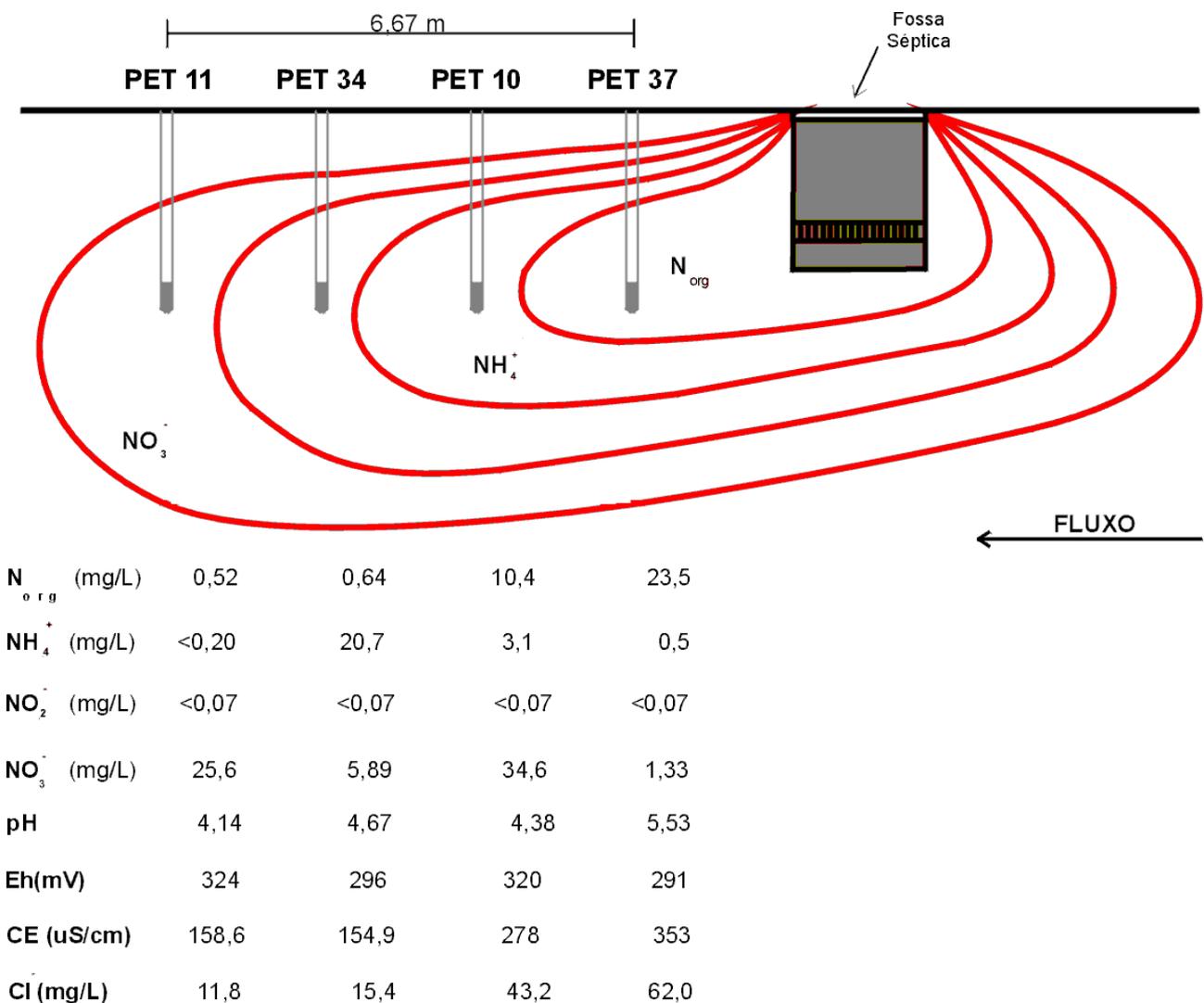
Durante os meses de estiagem (abril a agosto) foram notados os maiores valores de níveis estáticos (águas mais profundas), com recuperação nos meses mais chuvosos (setembro a março). O valor médio durante a estiagem foi de 2,16m e durante as chuvas, 1,71m.

Independente das flutuações sazonais que fazem com que o nível médio do aquífero freático se eleve, existem variações rápidas (< 1 mês), devido às chuvas diárias. Estas flutuações foram de até 0,93m em menos de 15 dias no PET 9 durante a estiagem, sendo mais acentuadas na estação chuvosa, com uma variação de até 1,37m, como constatado no PET 6, em menos de uma semana das chuvas.

Aparentemente existe uma rápida resposta do aquífero para eventos de chuva. A região onde se realiza o estudo, apresenta um conjunto de características propícias a

uma recarga com grande aproveitamento da precipitação local que são: área plana, onde o escoamento superficial é bastante reduzido; solos bastante ricos em matéria orgânica e sombreada por árvores, que mantém alta a umidade do solo durante o ano e níveis estáticos não muito profundos.

Quanto à série nitrogenada, os compostos menos oxidados como nitrogênio orgânico e amônio encontram-se próximos ao sistema séptico (PET 8, PET 37, PET29, PET10, PET 34, PET 32) uma vez que, estes são estáveis em condições redutoras. A medida em que se afasta da fonte ocorre uma diminuição na concentração destas espécies e aumento gradativo na concentração relativa de nitrato (Figura 4). Os limites da pluma são impostos pela dispersão e por prováveis processos de denitrificação.



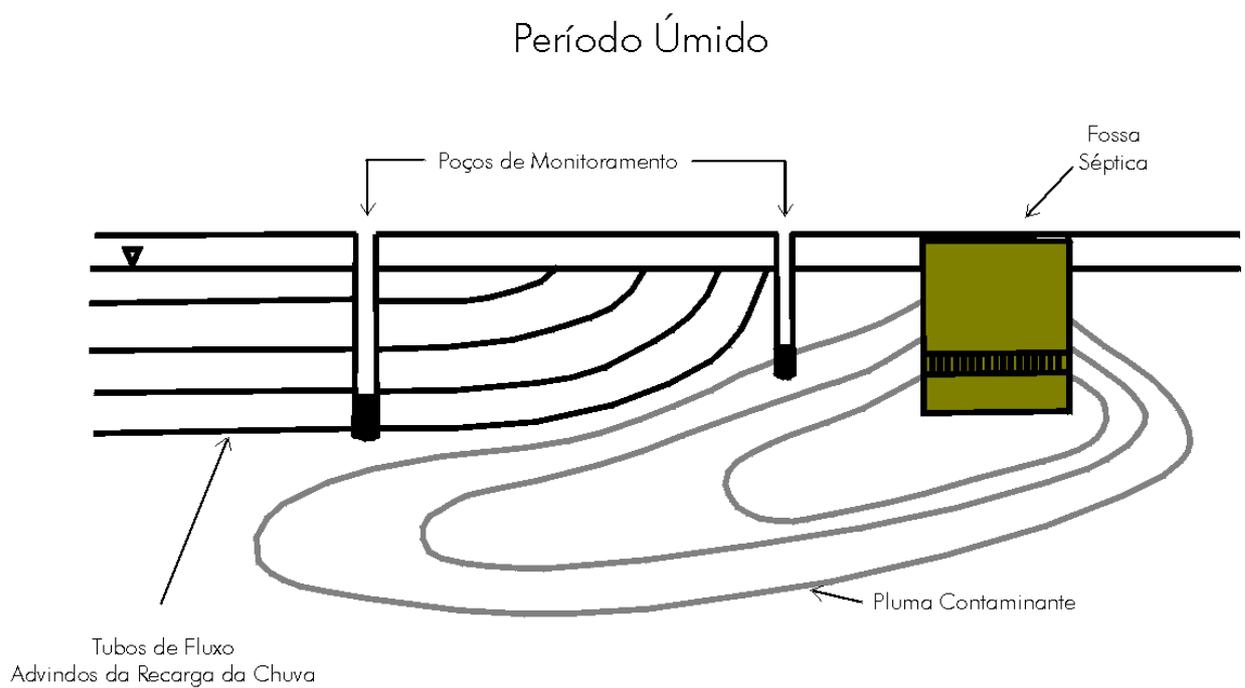
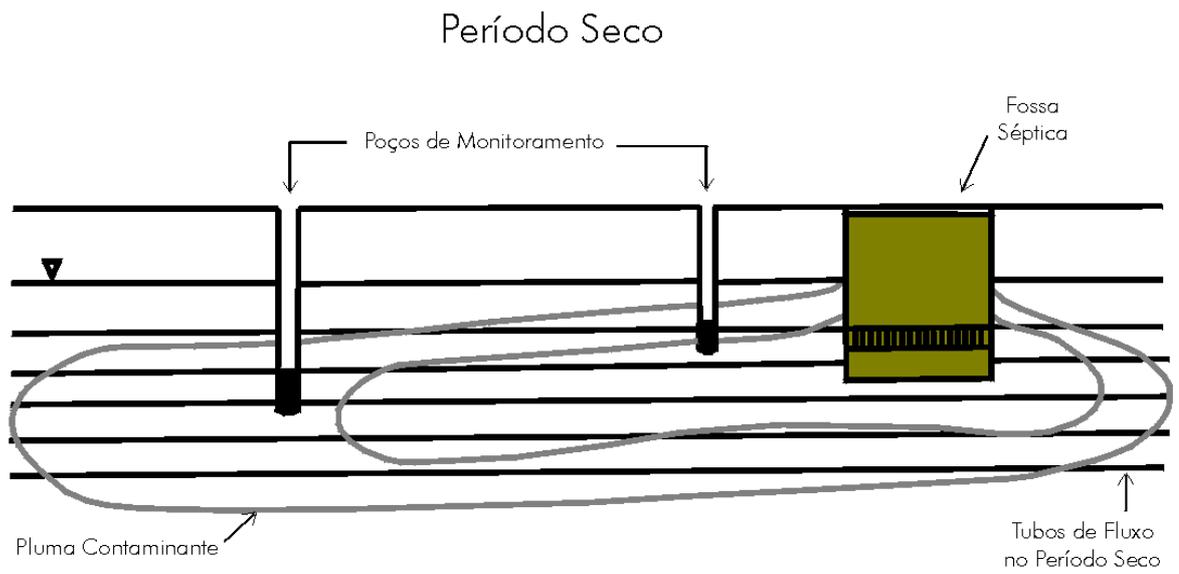
**Figura 4** – Perfil esquemático ilustrando as zonas dos diferentes compostos nitrogenados na pluma.

Na proximidade da fossa, o ambiente redutor é mantido pelo rápido consumo de oxigênio a partir da degradação de matéria orgânica. Compostos mais oxidados aparecem quando o carbono é degradado e pelo contato com águas mais ricas em oxigênio.

Outro comportamento observado foi a grande variação das concentrações da série nitrogenada com o tempo e para o mesmo ponto. O mesmo acontece, por exemplo, com o cloreto e condutividade elétrica onde a variação temporal sobrepassa àquelas observadas para o espaço. O poço PET 3 por exemplo, apresentou uma variação na concentração de nitrato de 167,7 mg/L em setembro de 1999 e 1,46mg/L em janeiro de 2000. Uma possível explicação para este comportamento tão errático poderia ser motivado pela recarga e alteração no traçados dos tubos de fluxo capturados pelos poços de monitoramento (Figura 5). A Figura 5 mostra que durante a estiagem os tubos de fluxo tem origem à montante da zona de poços e apresenta gradientes mais suaves. Já na época de chuvas, os tubos de fluxo que contém maiores concentrações de contaminantes (advindos da fossa séptica), seriam deslocados para baixo pelos novos tubos de fluxos que se formariam pela recarga, com águas não contaminadas.

As concentrações de cloreto, conforme o esperado, foram maiores nos poços locados próximos à fossa, reduzindo-se com o distanciamento. Através dos resultados obtidos (Figura 4), observa-se que a concentração de cloreto no PET37 é de 62 mg/L e no PET11 é de 11,8 mg/L. Comparando estes valores observa-se que esta espécie sofre uma redução de 81% na sua concentração. Sendo o cloreto um íon conservativo, esta redução é atribuída a processos de dispersão hidráulica. O mesmo não acontece para a série nitrogenada. O nitrogênio orgânico, por exemplo, sofreu uma redução de 98% na sua concentração e isto indica que além da dispersão hidráulica, esta espécie foi submetida a processos de nitrificação dando origem a compostos mais oxidados

Em relação à condutividade elétrica, esta apresentou uma boa relação com o cloreto, pois indica a facilidade ou dificuldade com que a água transmite corrente elétrica. O aumento destes valores na água subterrânea reflete a transferência dos constituintes da fossa para o aquífero. Assim como os demais parâmetros, os valores de condutividade elétrica também variaram com o tempo e espaço, acompanhando a dinâmica de recarga e chuvas.



Sem Escala

**Figura 5** – Comportamento da pluma contaminante nos períodos de chuva e estiagem.

## CONCLUSÕES

Os resultados das análises físico-químicas em amostras de água nos poços de monitoramento instalados indicaram contaminação por nitrato proveniente do sistema de fossa séptica com valores acima do limite permitido por lei (45 mg/L  $\text{NO}_3^-$ ). Todos os parâmetros analisados apresentaram uma variação espacial e temporal em suas concentrações em função dos efeitos da recarga e alteração no traçado dos tubos de fluxo.

Através dos resultados obtidos foi possível definir um zoneamento da série nitrogenada na pluma de contaminação, com predominância das formas reduzidas (nitrogênio orgânico e amônio) próximas ao sistema séptico e das formas oxidadas em locais mais distantes.

As rápidas variações das concentrações químicas de poluentes (menos de 15 dias) em um mesmo poço permitem concluir que um programa de monitoração em aquíferos rasos e com rápida recarga deva ser conduzido com amostragens freqüentes, sob pena de não se detectar as reais concentrações da pluma contaminante.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Foster, S. & Gomes, D. 1989. *Groundwater quality monitoring*. CEPIS, WHO/PAHO Technical Paper. Lima, 105pp.
- Gillham, R. & Buris, D. 1992. Recent developments impermeable *in situ* treatment walls for remediation of contaminated groundwater. Subsurface Restoration Conference, 3, International Conference on Groundwater Quality Research, Dallas, Texas.
- Hirata, R.; Bastos, C.; Rocha, G. (coord) 1997. *Mapa de vulnerabilidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo*. Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo. 95pp.
- Rudolph, D.; Kachanoski, G; Wesenbeeck; I; Barton, D; Parkin, G; Hirata, R; Cey, E. 1997. *Partitioning of solutes from agricultural fields within the hydrologic system at two sites in Southern Ontario and the subsequent impact on adjacent aquatic ecosystems*. Final Report. University of Waterloo. Waterloo. 734pp.
- Wilhelm, S.; Schiff, S.; Cherry, J. 1994. Biogeochemical evolution of domestic waste in septic systems: 1. Conceptual Model. *Groundwater* 32(6):905-916.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores expressam os seus agradecimentos à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pela concessão de auxílio a pesquisa (processo 97/6950-6) e fornecimento de bolsa de Mestrado (processo 98/10481-4) bem como, aos funcionários do Parque Ecológico do Tietê e do Laboratório CEIMIC.