

ESTUDO DA VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO ADAMANTINA EM PRESIDENTE PRUDENTE - SP

**Annkarin Aurelia Kimmelman e Silva¹; Manoel Carlos Toledo Franco de Godoy² &
Alcides Souza Filho²**

RESUMO - A área da pesquisa está localizada na porção oeste do Estado de São Paulo, em terreno da Formação Adamantina, Grupo Bauru, Cretáceo Superior, que é um aquífero livre.

O objetivo da pesquisa* foi o monitoramento, através de uma estação piloto e de outras fontes de informações, do comportamento hidrodinâmico e hidrogeoquímico das zonas não saturada e saturada referentes a este aquífero. Os efeitos de contaminação nas águas subterrâneas de um vazamento acidental de um coletor de água residuária junto à Estação Piloto foram monitorados também.

Os resultados da pesquisa mostraram a característica de resposta de tempo muito curto do nível freático aos eventos de precipitação pluvial, em função de características do solo, do substrato rochoso e da vegetação, indicando o alto grau de vulnerabilidade à contaminação.

ABSTRACT - The studied area is localized in the western part of the State of São Paulo, Brazil, in the domain of the Cretaceous sedimentary rocks of the Adamantina Formation, Bauru Group, that form an unconfined aquifer system.

The main goal of the research* was the monitoring, by means of a pilot station and other sources of data of the hydrodynamical and hydrogeochemical behaviour of the unsaturated and saturated zones of these sedimentary deposits. Contamination effects on ground water of a hazardous discharge of sewage effluents near the experimental station were also monitored.

The results of the study show a very quick time response of the water table level to rain events, as a function of soil, bedrock and vegetation characteristics, which indicates a high vulnerability of the entire unconfined aquifer system.

Palavras-chave: Grupo Bauru, estação piloto, vulnerabilidade

¹ IG -USP (Pós-graduação), Rua Haddock Lobo 1435/12 CEP:01414-003 São Paulo-SP

² FCT/UNESP, Rua Roberto Simonsen, 305 CEP: 19060-900 Presidente Prudente/SP

* Financiada pela (financed by) FAPESP – Processo 1995/4918-2.

INTRODUÇÃO

A pesquisa foi realizada numa área selecionada no Município de Presidente Prudente, Estado de São Paulo³. A Cidade de Presidente Prudente está localizada na porção Oeste do Estado de São Paulo, distando cerca de 560 km da Capital do Estado (Figura 1).

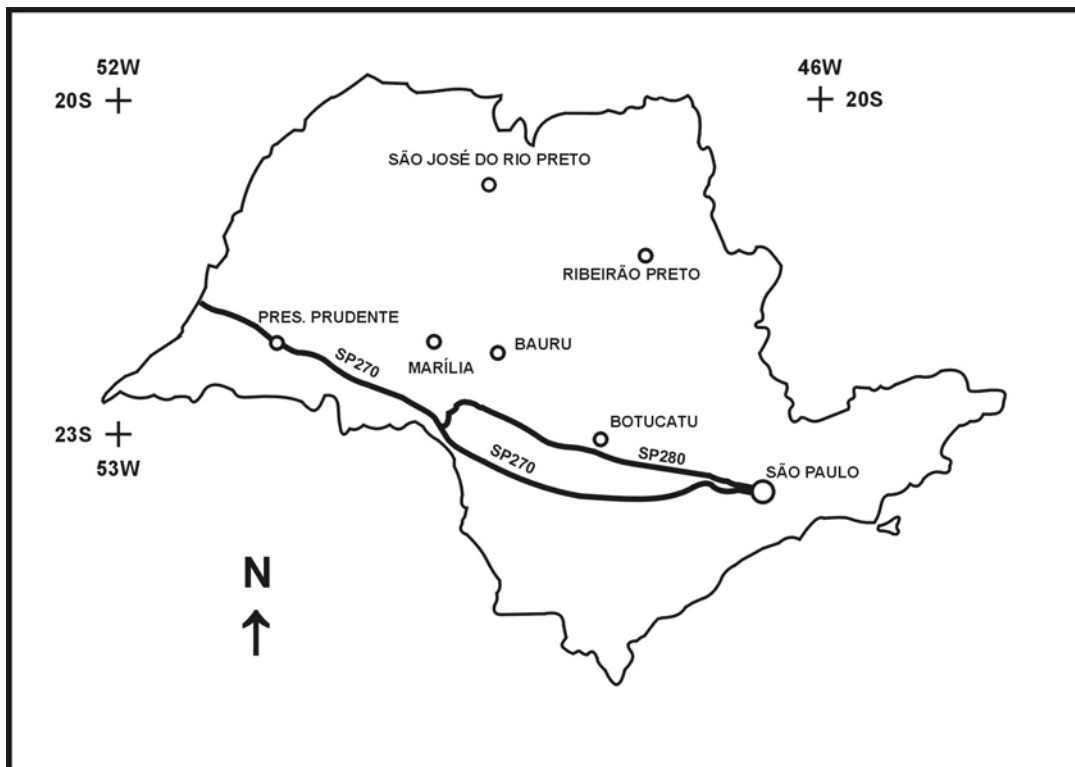


Figura 1 . Localização da Cidade de Presidente Prudente - SP.

A Região de Presidente Prudente está localizada em domínios da Formação Adamantina, do Grupo Bauru, Cretáceo Superior da Bacia Sedimentar do Paraná (IPT, 1981). Esta unidade estratigráfica é caracterizada litologicamente pela ocorrência de bancos de arenito de granulação fina a muito fina, de cor rósea a castanha, com espessuras variáveis entre 2 e 20 m e alternados com lamitos, siltitos e arenitos lamíticos, de cor castanho avermelhado a cinza castanho (ALMEIDA & MELO, 1981).

De acordo com o mapa hidrogeológico regional editado pelo DAEE (1979), a Formação Adamantina, então identificada como parte média da unidade estratigráfica classificada ainda como “Formação Bauru”, comporta-se como aquífero livre, sendo a recarga generalizada à toda a sua área de afloramento, determinando assim maior vulnerabilidade à contaminação. Devido a este comportamento como aquífero da referida formação, um dos focos principais da pesquisa é a questão do risco de contaminação das águas subterrâneas na região estudada.

As atividades desenvolvidas na pesquisa foram centradas no funcionamento de uma estação piloto (EP), instalada no Campus da Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP.

As pesquisas sobre água subterrânea executadas através de estação experimental ou de estação de observação, monitorando o comportamento hidrostático, hidrodinâmico e hidroquímico da zona não saturada e saturada, são importantes tanto para o conhecimento hidrogeológico e hidrogeoquímico destas zonas, como pela sua contribuição a estudos relacionados à problemática da contaminação de aquíferos subterrâneos. Como exemplo de pesquisas realizadas através destas estações, devem ser citados os trabalhos que vêm sendo desenvolvidos na unidade experimental instalada no *Campus* da Universidade de São Paulo, na Cidade Universitária, em São Paulo – SP, que é equipada essencialmente com poços de monitoramento, extratores de água da zona não saturada e tensiômetros (SZIKSZAY *et al* , 1989). Deve ser ressaltado o caráter pioneiro da investigação que esta unidade de caráter experimental possibilita e com a qual foi identificado o projeto de sua instalação.

Com relação a estações de observação e estações experimentais integradas a um programa de estudo sobre contaminação da água subterrânea, MARTELAT *et al* (1991) apresentam resultados obtidos em vários anos de um projeto que integra 12 estações instaladas em área-teste de 2.500 ha na Bacia do Rio Ill na Alsácia. Trata-se de um projeto multidisciplinar, cujo objetivo é estudar a contaminação de aquíferos subterrâneos por nitrato numa área muito mais ampla do Vale do Reno.

MATERIAL E MÉTODO

Locais de execução do monitoramento

O *Campus* da UNESP está localizado em setor parcialmente urbanizado do Município, a W do núcleo urbano mais antigo e à distância, pelas principais vias de comunicação, de aproximadamente 2,6 km do marco central da cidade. A partir da EP, a pesquisa foi estendida a uma área de encosta do setor W do Campus, a qual mede 220.540 m² de extensão (Figura 2).

No desenvolvimento da pesquisa, os equipamentos fixos que foram utilizados constituíram-se basicamente de poços de monitoramento, extratores de água da zona não saturada, medidores do potencial mátrico do solo e de um sistema de medição do escoamento superficial. Na EP propriamente dita, está concentrada a instalação de grande parte destes equipamentos (Figura 3).

A Estação Piloto foi instalada em 14/04/96. As atividades de campo de monitoramento foram iniciadas a 11/05/96 e encerradas a 14/08/1998.

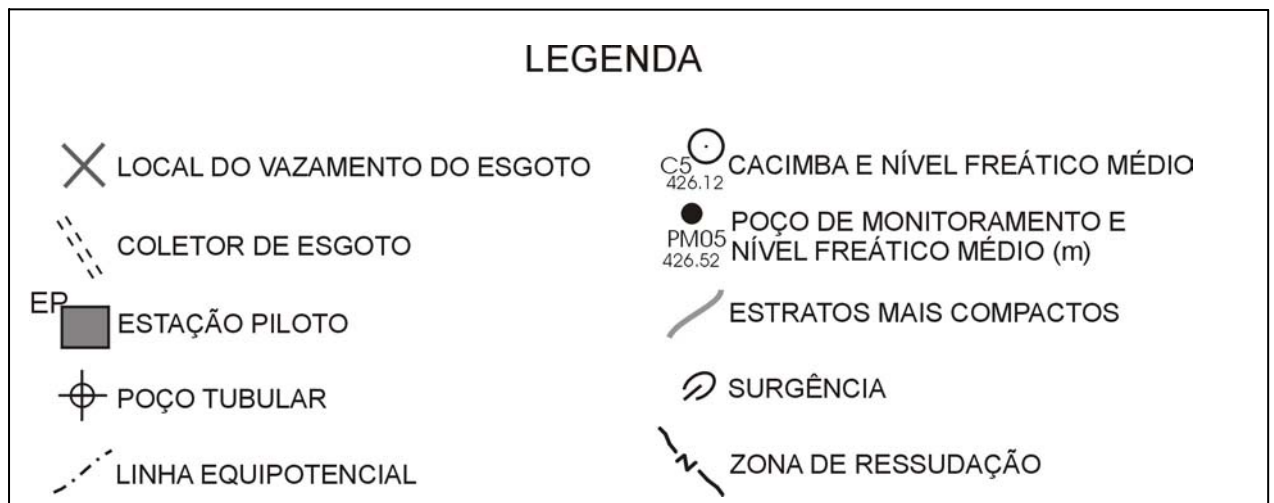
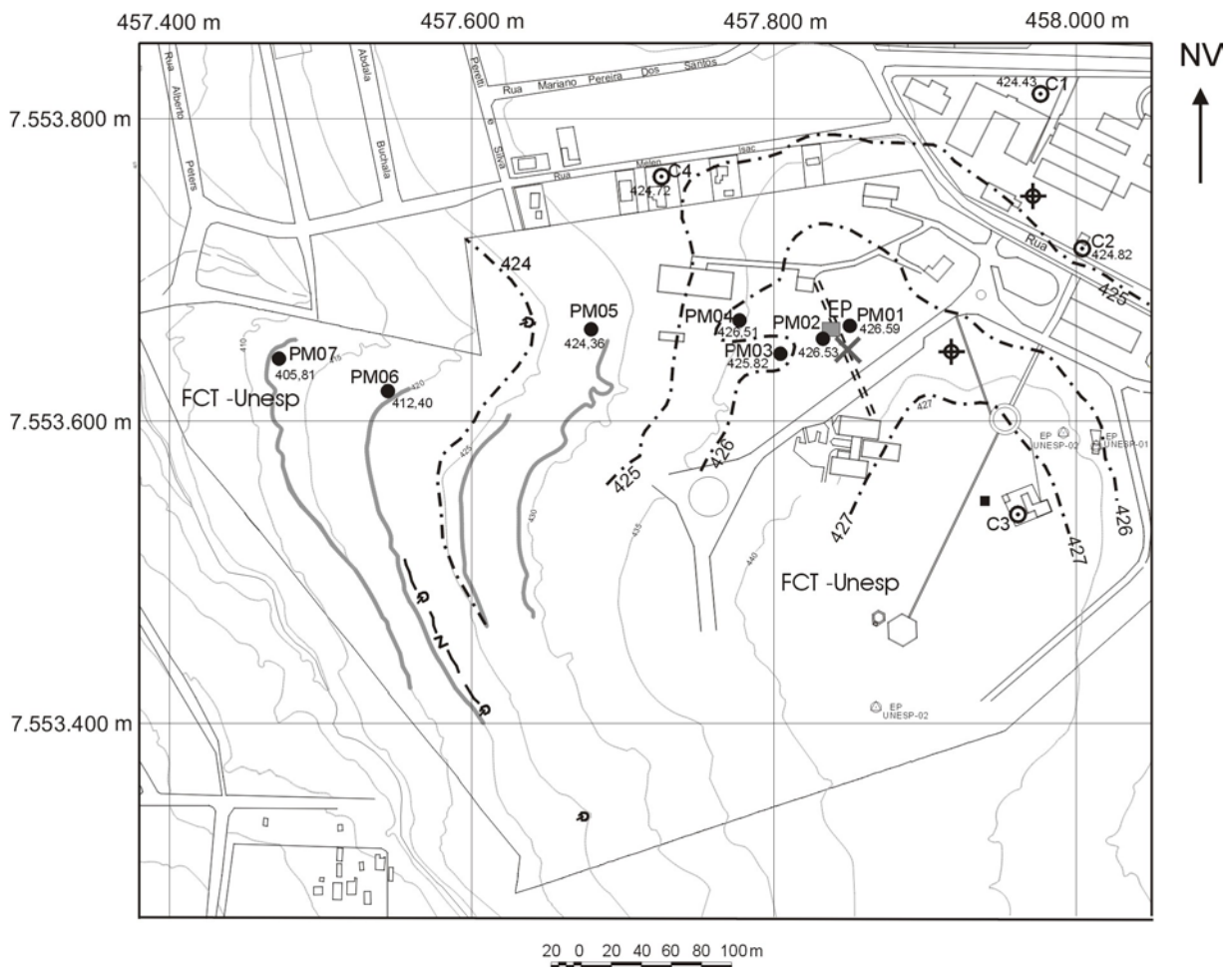


Figura 2. Área da Pesquisa.

Atividades desenvolvidas na pesquisa

No presente trabalho são selecionados os resultados da pesquisa referentes às medições do nível freático em poços de monitoramento e cacimbas, às análises químicas da água coletada através deles e às análises químicas da água residuária coletada no local do seu vazamento.

As medições do nível freático foram executadas quinzenalmente, em 7 poços de monitoramento e 2 cacimbas, sendo empregado nelas o medidor eletrônico *Altronic*.

A amostragem de água foi efetuada nos poços de monitoramento e nas cacimbas, com um intervalo de tempo de 1 mês, sendo orientado o procedimento de coleta e conservação das amostras de acordo com normas editadas pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (CETESB, 1988).

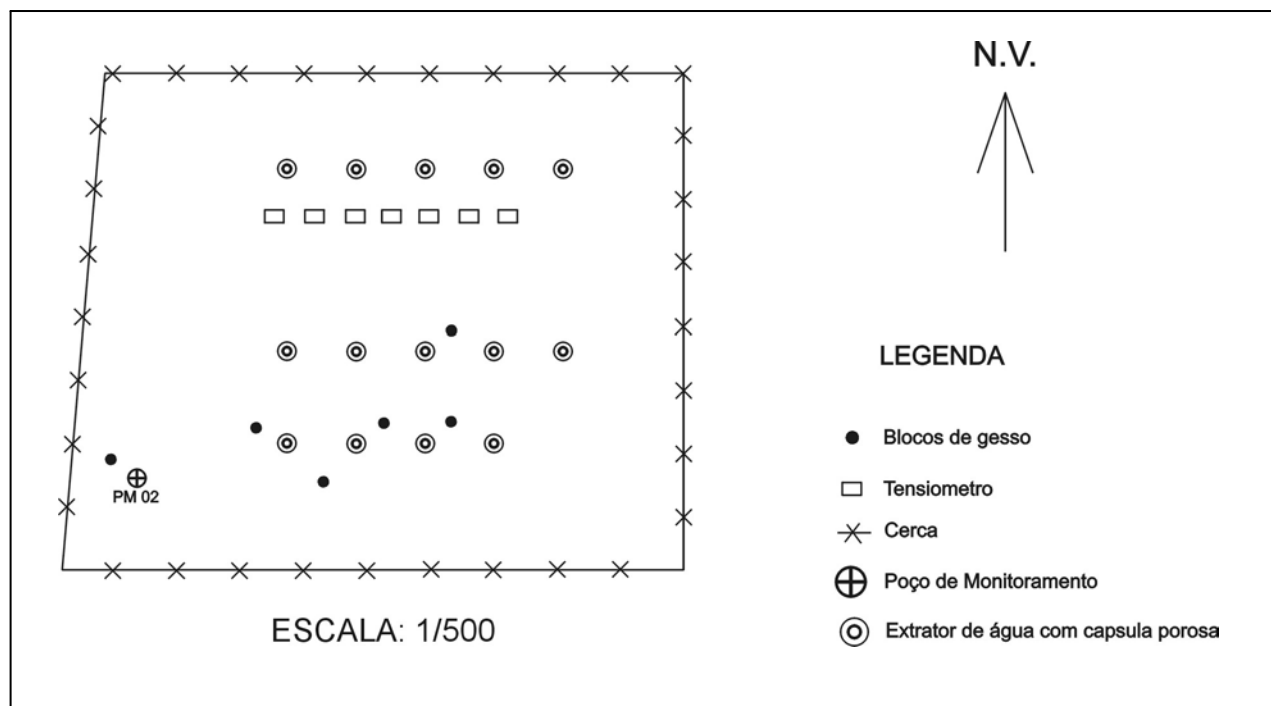


Figura 3. Equipamentos da Estação Piloto.

No próprio local da pesquisa, procedeu-se à determinação de pH e da condutividade elétrica, com o peagâmetro *Micronal B375* e com o condutivímetro *Micronal B331*, do Laboratório de Sedimentologia da FCT/UNESP e à determinação do teor de CO_3^{2-} e HCO_3^- por titulometria de acordo com as recomendações da A P H A (A P H A; A W W A & WPCF, 1982).

No Laboratório de Hidroquímica do Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas - CEPAS/IGUSP, foram efetuadas análises referentes aos ânions F^- , Cl^- , NO_2^- , Br^- , NO_3^- , PO_4^{3--} e SO_4^{2-} através de processo de cromatografia líquida, no aparelho *DIONEX 2010i*, dos cátions Na^+ e K^+ , pelo processo de fotometria de chama desenvolvido no fotômetro *B 262 da Micronal* e dos cátions Cu^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Ba^{2+} , Al^{3+} , Sr^{2+} , Ca^{2+} e Mg^{2+} , Fe total e Cr total pelo método de espectrofotometria com o equipamento para análise de absorção atômica *CG AA7000 BC*.

No Laboratório de Controle Sanitário da ETA de Presidente Prudente da *Sabesp* foram realizadas análises químicas de amostras da água residuária proveniente do vazamento no coletor, para determinação do teor de nitrogênio nítrico, albuminóide e amoniacal.

A pesquisa contou com o apoio de uma estação meteorológica integrada à rede nacional de estações e equipada de acordo com os critérios adotados pela WMO (Organização Meteorológica Mundial) para a aquisição de dados climáticos e execução dos cálculos de balanço hídrico seriado referente ao período de duração da pesquisa.

RESULTADOS DA PESQUISA

Comportamento do nível freático

As informações obtidas sobre as oscilações do nível freático, resumidas nas Tabelas 1, 2 e 3 e nos gráficos das figuras 4, 5 e 6, possibilitam uma análise do comportamento da zona saturada em relação às variações na pluviosidade registradas na Estação Meteorológica local.

No ano de 1996, a influência da pluviosidade no comportamento do aquífero não aparece nitidamente na análise dos dados correspondentes (Tabela 1) e na sua comparação através de um gráfico (Figura 4).

Tabela 1. Variação da profundidade do aquífero livre.

POÇOS				
	CHUVA	PM02	PM03	C2
DATA	(mm)	(cm)	(cm)	(cm)
11/5/1996	97,2	-1288		-1195
4/6/1996	58,2	-1262		-1195
13/8/1996	24,5	-1259	-1142	-1183
23/8/1996	1,2	-1263	-1146	-1186
12/9/1996	67,3	-1262	-1150	-1190
18/9/1996	2,9	-1264	-1155	-1195
22/10/1996	72,2	-1269	-1160	-1186
15/12/1996	368,9	-1267	-1152	-1243

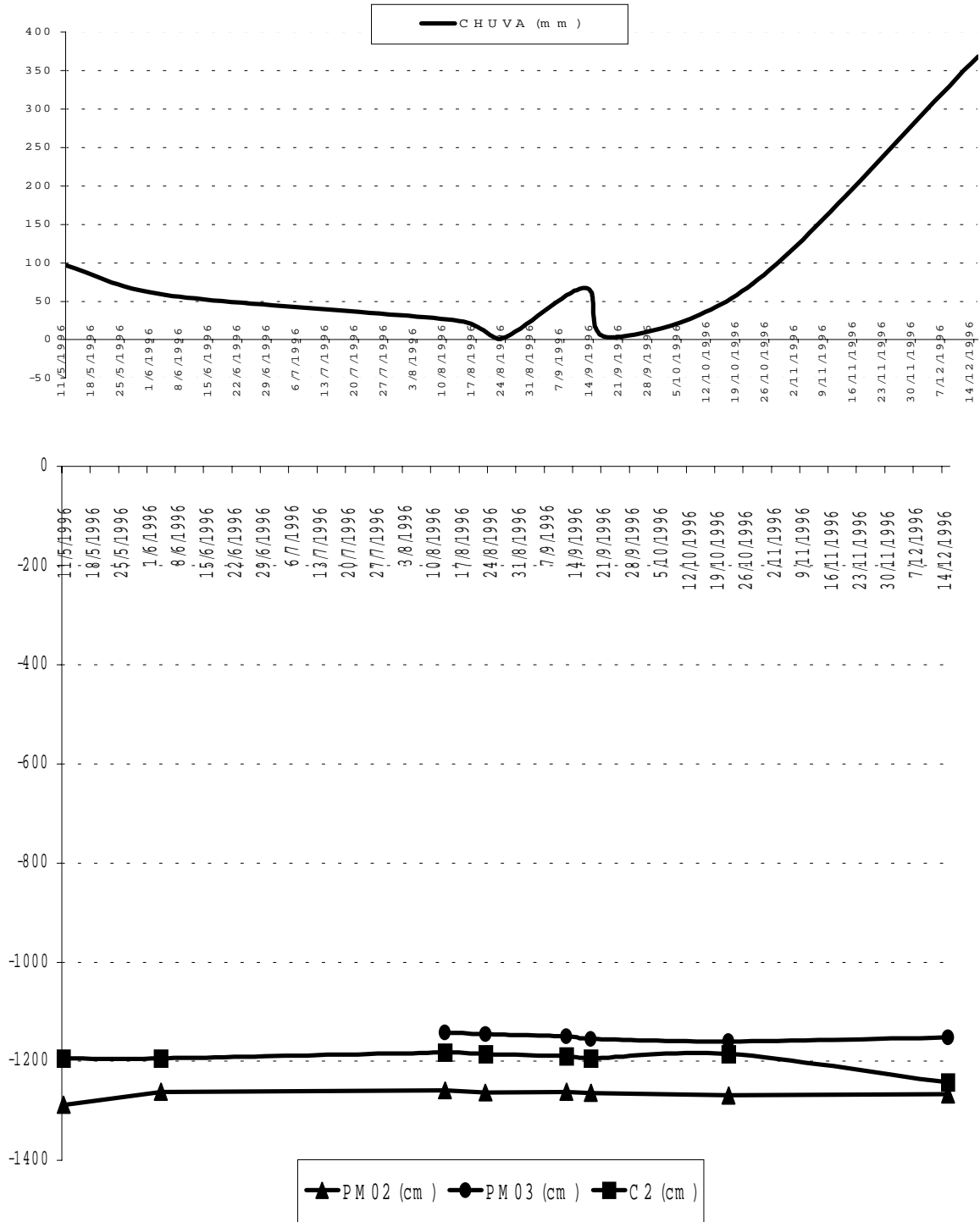


Figura 4. Gráfico da variação do nível freático – ano de 1996

Quanto ao ano de 1997, o gráfico mostra a ocorrência de resposta a eventos de precipitação e estiagem em período inferior a 6 meses, sendo constatado com nitidez o reflexo da precipitação na recarga no local correspondente ao poço PM05, onde o topo da aquífero é relativamente raso (Figura 5).

Tabela 2. Variação da profundidade do topo do aquífero livre – ano de 1997

POÇOS E PROFUNDIDADE (cm)									
DATA	CHUVA(mm)	PM01	PM02	PM03	PM04	PM05	C1	C2	
26/2/97	673	-1296	-1250	-1124	-980	-335	-985	-1170	
30/3/97	41,1	-1275	-1236	-1093	-952	-369	-948	-1151	
5/5/97	92	-1256	-1214	-1085	-948	-387	-946	-1153	
27/5/97	78,6	-1257	-1207	-1084	-951	-394	-966	-1152	
11/6/97	124,2	-1256	-1206	-1087	-949	-350	-926	-1152	
2/7/97	116,4	-1251	-1168	-1079	-941	-348	-914	-1150	
23/7/97	17,9	-1245	-1195	-1072	-934	-368	-911	-1147	
27/8/97	16,2	-1241	-1193	-1072	-936	-394	-908	-1142	
17/9/97	10,2	-1241	-1196	-1081	-945	-406	-925	-1140	
10/10/97	107,9	-1245	-1199	-1087	-953	-413	-944	-1143	
30/10/97	83,4	-1249	-1206	-1093	-961	-412	-963	-1148	
26/11/97	204,6	-1223	-1212	-1100	-964	-394	-965	-1149	
19/12/97	70,1	-1259	-1214	-1100	-964	-393	-967	-1150	

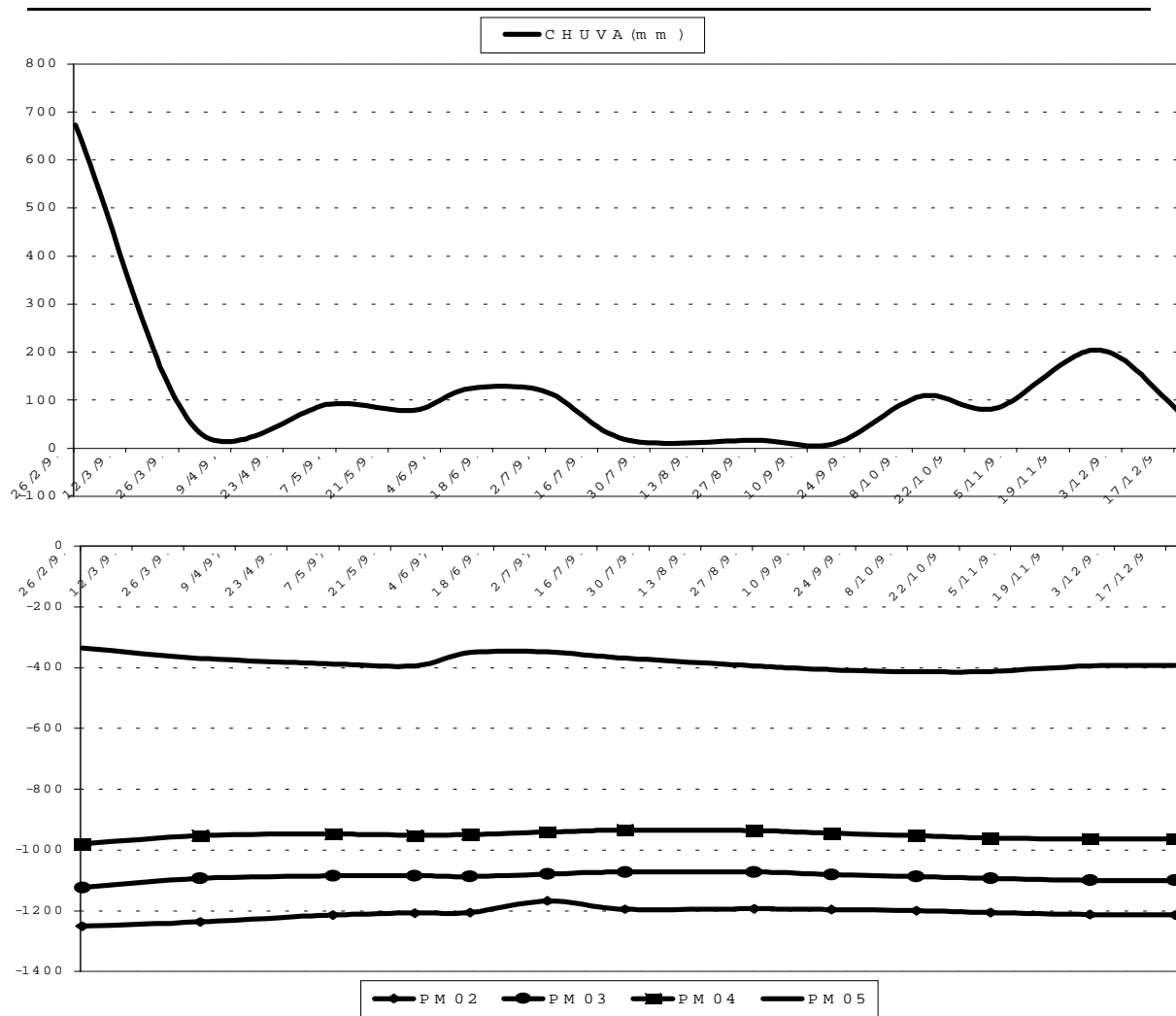


Figura 5. Gráfico da variação do nível freático – ano de 1997

Tabela 3. Variação da profundidade do topo do aquífero livre – ano de 1998

DATA	CHUVA (mm)	PM02 (cm)	PM03 (cm)	PM05 (cm)	PM06 (cm)	PM07 (cm)
18/1/98	158,50	-1215	-1106	-409	-558	-638
8/2/98	25,00	-1222	-1112	-420	-609	-669
2/3/98	142,60	-1226	-1117	-417	-597	-689
25/3/98	127,40	-1229	-1119	-409	-552	-660
22/4/98	255,00	-1208	-1108	-371	-522	-511
27/5/98	107,90	-1211	-1091	-380	-581	-586
24/6/98	28,00	-1207	-1088	-397	-607	-644
27/7/98	7,20	-1210	-1096	-412	-638	-687
17/8/98	128,10	-1213	-1099	-402	-594	-677

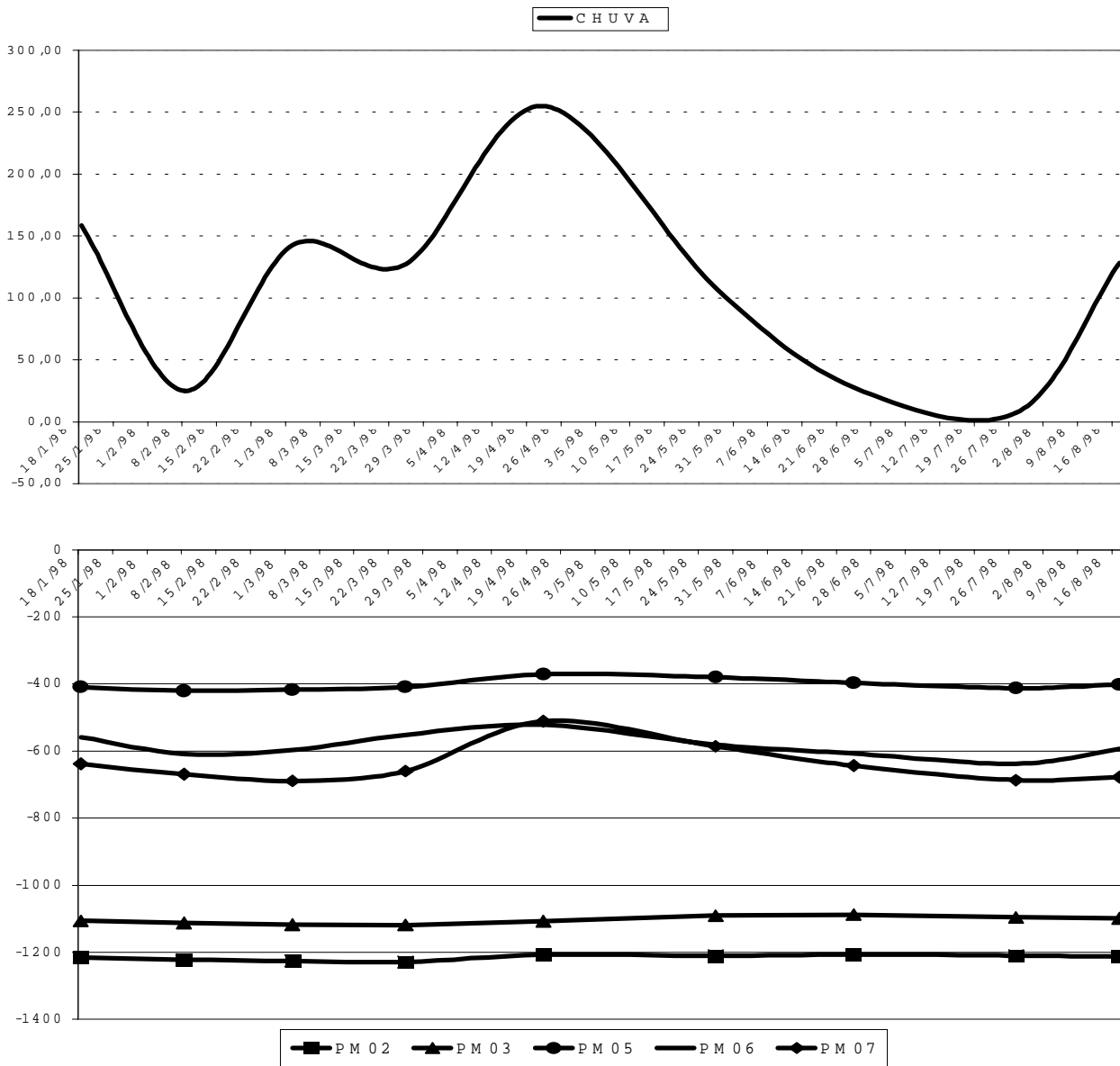


Figura 6. Gráfico da variação do nível freático – ano de 1998

Com relação ao ano de 1998, os dados e o respectivo gráfico representam, para a maioria dos locais de monitoramento, uma correspondência nítida da oscilação do nível freático em relação à variação da pluviosidade (Tabela 3 e Figura 6). Esta correspondência é mostrada mais distintamente no tocante à variação verificada nos poços mais rasos. Deste modo, é evidenciado um efeito dos eventos de precipitação concentrada sobre a variação do nível freático em intervalo de tempo inferior a 3 meses, sendo considerado que se trata de efeito cumulativo também. É importante observar que nos poços PM06 e PM07, onde aparentemente a recarga encontra uma barreira mais espessa de estratos compactos, a resposta ocorre em intervalo de tempo inferior a quinze dias, sobretudo nos períodos de maior concentração da pluviosidade, que ocorreu entre os meses de março e maio.

O comportamento dos íons Cl^- , Na^+ e NO_3^- após o vazamento do esgoto

Parte dos resultados da pesquisa é constituída de informações sobre a influência de contaminação acidental, devida ao vazamento de esgoto. O vazamento foi causado por rompimento, a 24/04/97, de um coletor de água residuária. O conduto estava enterrado no solo a 0,46 m de profundidade e o vazamento ocorreu a montante da EP, a uma distância de 12 m aproximadamente dela. Os reparos dos danos foram providenciados somente a 19/05/97, estendendo-se, portanto, o vazamento por 26 dias. Este coletor reúne a descarga das águas servidas de 2 prédios discentes da FCT/UNESP. Com esse acidente, foi introduzido no solo, sem escoamento superficial e com percolação imediata dentro dele, um volume de mais de 500 m³ ou 500.000 l de água residuária, portadora de N, Cl, P e F em solução.

A partir da data do vazamento, o comportamento dos valores de teor dos íons Cl^- , Na^+ e NO_3^- , de maior mobilidade no transporte pela água, reflete a marcha de infiltração, desde a superfície do terreno até topo do aquífero em estudo, da solução acidentalmente introduzida.

Os íons Na^+ e Cl^- têm sido empregados em pesquisas hidrogeológicas como traçadores químicos. Para a sua aplicação efetiva a esta finalidade, é necessário de introduzir NaCl ou outro sal de qualquer um dos dois elementos em quantidade relativamente alta. Em estudos de contaminação de água subterrânea por dejetos humanos em Botswana na África, é demonstrada a utilidade como traçador químico do Cl^- introduzido na própria contaminação (LANGERSTEDT, SACKS & SEFE, 1996). No Canadá, foram usados o Na^+ e Br^- como traçadores em estudo de caso de contaminação, através de tanque séptico drenado por sistema de tubos furados, tendo sido utilizado o composto NaBr (ROBERTSON *et al*, 1989). No entanto, restrições são apontadas com relação a esta aplicação, devido à elevação da densidade viscosidade da solução portadora do sal (POLI, 1992).

Na água residuária, o nitrogênio aparece predominantemente na forma de compostos orgânicos, o cloro é encontrado na forma residual e na forma de íon Cl^- fornecido através da urina, sendo o Na^+ relativamente abundante e em parte proveniente da urina (METCALF & EDDY, 1978). Na percolação da água residuária pelo solo, o cloro residual é removido, o nitrogênio orgânico é mineralizado em uréia e depois oxidado em NO_3^- , somando-se à parcela deste íon originalmente dissolvido neste efluente. Deste modo, os íons Cl^- , Na^+ e NO_3^- e mais F^- são transportados facilmente na solução contaminante.

Tabela 4. Variação dos teores de Na^+ , Cl^- , F^- e NO_3^- - Poço PM02

DATA	Na^+ (mg/L)	Cl^- (mg/L)	F^- (mg/L)	NO_3^- (mg/L)
8/4/1997	5,50	4,83	0,13	6,80
22/5/1997	5,60	5,78	0,59	6,84
8/7/1997	6,80	6,38	0,09	8,32
20/8/1997	4,50	4,57	0,01	7,77
24/9/1997	3,60	5,22	0,07	7,14
12/11/1997	5,10	4,86	0,14	7,79
16/4/1998	4,70	4,83	0,01	5,27
3/6/1998	8,80	9,46	0,11	32,71

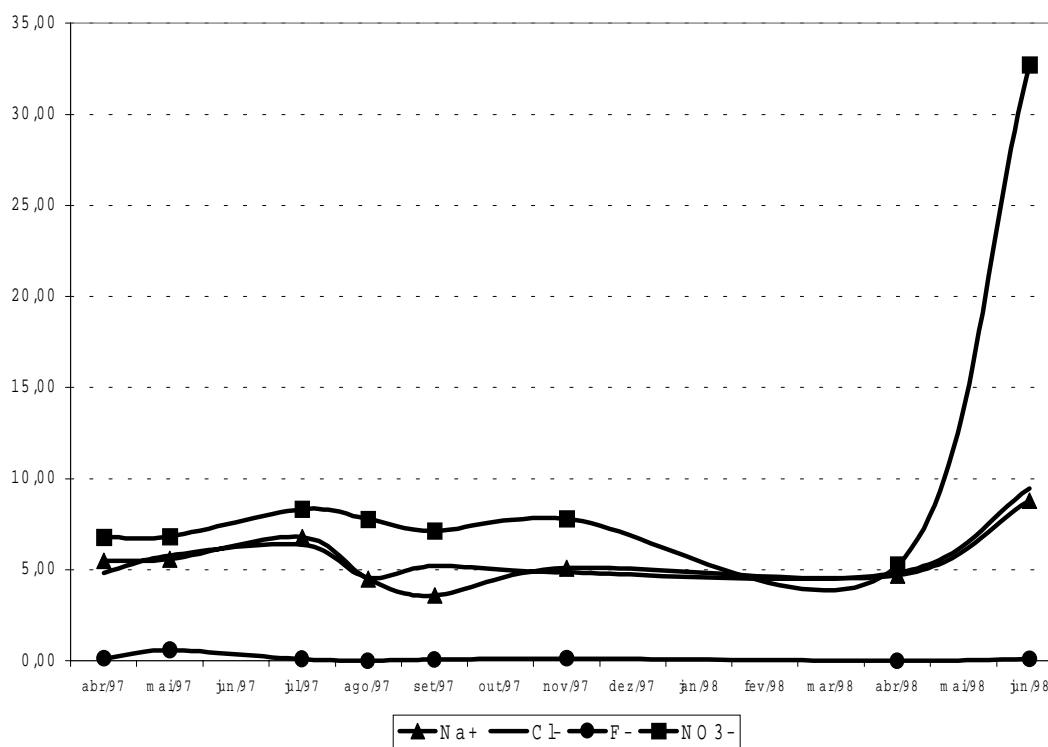


Figura 6. Variação no teor dos íons Na^+ , Cl^- , F^- e NO_3^- - Poço PM02

As análises referentes à coleta de 03/06/98 do poço de monitoramento PM02, que é o mais próximo a jusante do ponto de vazamento, registram aumento expressivo no teor de NO_3^- , aumento distinto de Na^+ e Cl^- e comportamento indistinto de F^- (Tabela 4 e Figura 6). A variação da condutividade elétrica e do pH, não representados no gráfico da Figura 6, é discreta (GODOY, 1999). No caso deste poço PM02, o incremento conjunto do teor dos três íons é uma resposta, em intervalo de tempo de 13 meses e mais 3 semanas, ao evento de vazamento de esgoto e a atuação dos eventos de precipitação pluvial sobre a descarga do contaminante. Este comportamento não é observado com relação aos outros poços e aos outros íons, cujos valores também foram determinados sistematicamente para cada coleta de água.

DISCUSSÃO

Experimentos de determinações de velocidade de infiltração de água na zona não saturada sob condições de clima subtropical úmido são relatados por POLI (1989). Os dados referem-se à área da Estação Experimental da USP e a uma área localizada no Município de Cajati – SP, tendo sido usado o trítio (H^3+) como traçador. No primeiro caso, é verificada a infiltração até 2,56 m de profundidade em 5 meses e no segundo, de 1,90 m em 11 meses.

Na área pesquisada, no local do poço PM02, tomando-se como referência a marcha dos íons Na^+ e Cl^- e NO_3^- , a infiltração até a zona saturada decorreu num intervalo de tempo de 13 meses e 3 semanas. Nesse período, no local deste poço, o topo do aquífero livre esteve a profundidades variáveis no entre 11,23 m e 12,50 m. Estes dados contrastam nitidamente com os da pesquisa baseada no uso do H^3+ , mostrando um intervalo de tempo relativamente curto para a infiltração da água no local do vazamento de esgoto.

Com referência à variação do nível freático, os dados demonstram uma redução expressiva do tempo de resposta em relação ao verificado através de traçadores. O resultado comparativo da variação da profundidade do topo da zona saturada e da pluviosidade em todos os poços e cacimbas monitorados acusa uma resposta do nível freático aos eventos de precipitação concentrada em intervalo de tempo muito mais reduzido do que o intervalo de 13 meses e 3 semanas.

Esta característica de rapidez na resposta não é explicada pelo simples avanço da frente de molhamento na zona não saturada. Deve ser ressaltado que os processos determinantes da drenagem através do perfil do solo estão relacionados à capacidade de campo do meio poroso. Ela é identificada como a capacidade de retenção de água do solo após a drenagem do seu excesso, variando de acordo com a categoria do solo e de acordo com a distinção de horizontes em cada solo, em função das características físicas e mineralógicas. Em pesquisas aplicadas a variados fins, adota-se para a capacidade de campo, como referência básica, a quantidade retida sob um potencial mátrico de $-1/3$ atm, aproximadamente -32.700 Pa ou -327 HPa (REICHARDT, 1988). Acima

deste valor de potencial, a drenagem do solo é relativamente rápida; abaixo deste valor, a drenagem do solo é reduzida abruptamente a uma taxa próxima do valor nulo. As variações de tensão no solo da área pesquisada, medidas através de tensiômetros, demonstram que, em grande parte do seu perfil, não foi alcançada a condição de capacidade de campo necessária ao fluxo descendente da água (GODOY, 1999).

De acordo com os cálculos aplicados à correlação entre os valores de tensão mátrica e os valores correspondentes de teor de umidade, baseados nas correlações da curva de retenção de água, a profundidades maiores que 2,00 m no perfil do solo da área pesquisada raramente este teor excede a 35%. Estes dados reforçam a conclusão de que em grande parte do ano hidrológico, tanto nos períodos de deficiência hídrica como nos períodos de maior reposição hídrica, as condições de capacidade de campo não foram alcançadas em todo o perfil do solo.

No fenômeno de recarga muito rápida verificado na área da pesquisa, é importante o papel das discontinuidades do meio poroso, tanto no solo como no substrato rochoso. No solo, como foi verificado no estudo através do seu perfil, a abundância de macroporos em determinados níveis é uma condição favorável ao fluxo preferencial. As cavidades de raízes mortas, como foi constatado nos ensaios de infiltração de água no solo (GODOY, 1999), são um fator de aceleração significativa do fluxo de água em determinadas direções.

Quanto ao componente da zona não saturada que corresponde ao substrato rochoso, deve ser considerada a influência do sistema de fraturamento nela existente. Com base no mapeamento geológico de detalhe, onde foi incluída a descrição dos testemunhos recuperados na perfuração de um poço tubular localizado dentro da área da pesquisa, é deduzido que na encosta onde estão instalados todos os poços de monitoramento, numa zona do perfil do terreno situada entre a superfície e o topo da zona saturada, tanto os termos areníticos como os lamíticos apresentam fraturamento intenso, sendo identificadas fendas por onde ocorre a fuga de água.

O material rochoso, quanto às suas propriedades relacionadas à água subterrânea, é comumente classificado como “meio poroso” ou “meio fraturado”. Trata-se, no entanto, de uma simplificação, restrita aos dois extremos de uma ampla variedade de meios porosos/fraturados (CHERRY, 1984). O fraturamento intenso do arenito, que caracteriza um meio poroso-fraturado, altera a velocidade de fluxo descendente e favorece o desvio de fluxo de água através de fendas. Havendo a presença significativa de fraturas orientadas segundo planos verticais ou sub-verticais, como ocorre nesta área, a percolação da água até a zona saturada sofre influência decisiva do sistema de fraturamento da rocha.

CONCLUSÃO

Na área da pesquisa, é caracterizada uma recarga rápida do aquífero livre, que favorece a infiltração de soluções contaminantes. As observações de campo assinalam a existência de um fator de irregularidade no fluxo de água na zona não saturada, que são as descontinuidades presentes tanto no interior dos solos como no substrato rochoso. Em terrenos formados por arenito, um estudo sobre a infiltração da água deve incluir, como uma variável a ser analisada, análise do sistema de fraturamento da rocha e da existência de fendas que introduzem distúrbios de fluxo de água. No solo, a atuação direta ou indireta da cobertura vegetal, enfatizada em pesquisas de Física de Solos, não deve ser desprezada como um fator de interferência na hidrodinâmica da zona não saturada.

A pesquisa executada confirma a característica de vulnerabilidade relativamente alta do Aquífero Adamantina à contaminação. Na Região de Presidente Prudente, mais um fator determinante da drenabilidade do terreno contribui para a ocorrência de recarga rápida. Trata-se das características de formas de relevo. A feição de colinas de topo aplainado, que é característica da região, favorece a infiltração da água no solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M.; MELO, M.S.. A Bacia do Paraná e o vulcanismo mesozóico. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT Mapa Geológico do Estado de São Paulo, São Paulo, IPT, 1981, v.1, p.46-81.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. Métodos Estándar para el examen de Águas y Águas de Desecho. México, Editorial Interamericana S. A, 1982, 609 p.
- CARVALHO, W. A.; PANOSO, L. A.; FREIRE, O.; RENNÓ, C. D.; GODOY, M.C.T.F.; SUDO, H.; TEIXEIRA, S.R.; SUAREZ, J.M. Levantamento semidetalhado dos solos da Bacia do Rio Santo Anastácio, Presidente Prudente, *Boletim Científico da Faculdade de Ciências e Tecnologia, D^{to}. de Ciências Ambientais*, FCT/FUNDACTE, 1997, v.2 - 490 p., mapa e legenda.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água, São Paulo, 1988, 150p.
- CHERRY, J. . Groundwater contamination, in: FLEET, M. E. (ed) Short Course on Environmental Geochemistry, London/ON, Canada, Mineral Association of Canada, 1984, 10: 296-306.

- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE) Estudo de Águas Subterrâneas das Regiões Administrativas 10 e 11: Presidente Prudente e Marília. São Paulo, 1979, 3 v.
- GODOY, M. C. T. F. Estudo das Zonas Não Saturada e Saturada da Formação Adamantina do Grupo Bauru em Presidente Prudente, Estado de São Paulo, São Paulo, 1999, 159 p. (Tese - Doutorado Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO Mapa Geológico do Estado de São Paulo. São Paulo, IPT. (Escala 1:500.000), 1981
- MARTELAT, A.; ACKERER, P.; SCHENK, C. Spatial variability of water and nitrate migration in soil on a parcel scale Chemistry, *Agriculture and the Environment*, Cambridge, UK, Royal Society of Chemistry, 1991: 157-184.
- METCALF, L.; EDDY, H.P. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse, 2a. Ed., McGraw Hill, New York., 1979, 296 p.
- POLI, D.C.R. Aplicação e Avaliação da Técnica de Marcação da Umidade do Solo com Trítio Artificial em Pesquisas Hidrogeológicas no Brasil, São Paulo, 1989, 178 p (Tese - Doutorado) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo.
- REICHARDT, K. (1988) Capacidade de campo, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 12: 211-216.
- ROBERTSON, W.D.; SUDICKI, E.A.; CHERRY, J. A.; RAPAPORT, R.A.; SHIMP, R.J. Impact of a domestic septic system on an unconfined sand aquifer, in: KOBUS ; KINZELBACH (eds), Contaminant Transport in Groundwater, 1989, 105-112.
- SZIKSZAY, M.; KIMMELMANN E SILVA, A. A. ; HYPÓLITO, R. Estudo hidrogeoquímico das zonas não-saturada e saturada em terrenos subtropicais úmidos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 2, Anais. 1989, p.329 -37.