

ÁREAS DE VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO DE AQUÍFERO CÁRSTICO CAUSADA PELA EXPLOTAÇÃO DE POÇOS TUBULARES (ESTUDO DE CASO DE ALMIRANTE TAMANDARÉ-PR, BRASIL)

Ernani Francisco da ROSA FILHO ¹

Eduardo Chemas HINDI ¹

Jorge Montañó XAVIER ²

Leandson Roberto F. da LUCENA ³

Aurora del Rosario GUÉRÉQUIZ ³

RESUMO

As águas que circulam através das estruturas carstificadas dos mármores dolomíticos do Grupo Açungui, os quais ocorrem na região ao norte da cidade de Curitiba, representam uma alternativa para abastecer uma parcela da população da Região Metropolitana de Curitiba. Entretanto essa exploração tem provocado a diminuição da vazão de várias fontes utilizadas pelas comunidades rurais da região, bem como acomodamentos do terreno causando rachaduras de várias residências, o que tem suscitado preocupações e conflitos entre os moradores e a Companhia de Abastecimento de Água do Paraná (SANEPAR). Assim foram realizados testes para evidenciar e quantificar o relacionamento entre bombeamento de poços e vazões de fontes naturais. Durante testes de bombeamento de três poços localizados na área de Botiatuva, dos quais foram extraídas vazões entre 110 m³/h e 169 m³/h, algumas fontes sofreram reduções de descarga. As fontes que foram monitoradas, apresentaram valores de condutividades elétricas entre 185 µS/cm e 242 µS/cm, sendo que as suas descargas, sem a influência do bombeamento dos poços, variaram entre 158 m³/h e 213 m³/h. O bombeamento do poço denominado P-03 reduziu a descarga da fonte FSM-3, de 44,5 l/s para 17,5 l/s, sendo que a vazão de 169 m³/h extraída no poço P-04 não acarretou decréscimo nas descargas das fontes FSM-3 e FSM-4. O bombeamento do poço P-05, a uma taxa de até 165 m³/h, afetou as fontes FSM-10 e FSM-3, sendo que esta última teve uma redução de descarga, de 133 m³/h para 61 m³/h. As interconexões hidráulicas entre as fontes e os poços que as afetaram, são conseqüências dos processos de carstificação que se desenvolveram preferencialmente numa faixa paralela aos diques de diabásio. O bombeamento dos poços P-3 e P-5 deverá provocar no decorrer do tempo uma inversão da direção do fluxo das águas subterrâneas, fazendo com que áreas que circundam as fontes recarreguem o aquífero sem qualquer processo de depuração. A utilização das fontes pode ser feita através da regularização das suas descargas e não por meio exclusivo da perfuração de poços tubulares.

ABSTRACT

The karstic aquifer in the north of Curitiba (Paraná State, Brazil) is an important source of water and has being exploited since the last five years for water supplying of the city of Curitiba and the surrounding municipalities. Nevertheless, the well pumping has affected the natural discharge of some springs settled in the vicinity of that wells. Pumping tests of wells in the Botiatuva area (Almirante Tamandaré, Paraná State, Brazil) at discharge rates from 110 to 169 m³/h, reduced the spring flow as follows: spring FSM-3 from 160 to 63 m³/h and from 133 to 61 m³/h during well P-03 and P-04 pumping tests, respectively. The hydraulic connections between wells and springs are due to karstification developed mainly along the diabase dikes. The continuous pumping of groundwater in the Botiatuva area will probably dry the springs and cause an inversion on the groundwater flow,

¹ Departamento de Geologia – Laboratório de Pesquisas Hidrogeológicas da UFPR (LPH-UFPR), Centro Politécnico - Jd das Américas – 81531-990 – Curitiba - PR. E-mail: ernani@ufpr.br; tel: (41) 361-3169

² Universidad Oriental Del Uruguay - UDELAR

³ Pós-graduando do Curso de Geologia Ambiental da UFPR

recharging the aquifer through the springs without efficient depuration process. An alternative to this situation is the use of natural springs for water supply, applying dam techniques to regulate their flows.

1. INTRODUÇÃO

O constante risco de faltar água para abastecer parcelas da população da Região Metropolitana de Curitiba, associado à deterioração progressiva da qualidade dos mananciais armazenados nas atuais barragens, exige a busca de alternativas de captação em áreas cada vez mais distantes dos pontos de consumo. As faixas de rochas carbonáticas que constituem o sistema aquífero cárstico, situadas a cerca de 10 km a norte de Curitiba, são de grande valor estratégico em razão do seu potencial hidrogeológico, bem como pela qualidade de suas águas e pela ocorrência das rochas armazenadoras em cotas altimétricas mais elevadas do que as da cidade.

A captação deste recurso hídrico foi iniciada com a perfuração de poços tubulares, porém seria também viável seu aproveitamento diretamente da superfície do terreno. A exploração das águas por meio de bombeamento resulta como inconveniente ambiental, embora não de forma generalizada, no secamento ou redução de vazão de fontes naturais que estão associadas às estruturas fraturadas e carstificadas. As fontes cadastradas neste trabalho, são utilizadas para abastecimento doméstico, irrigação, lavadouro de hortaliças, piscicultura e lazer, sendo importante destacar que algumas delas podem ser aproveitadas para fins de abastecimento público em razão da sua elevada produtividade.

2. OBJETIVO

O objetivo do trabalho é mostrar as interferências na descarga de fontes durante os testes de produção de três poços bombeados na área de Botiatuva, município de Almirante Tamandaré. A localização dos poços e das fontes referidas, pode ser visualizada na Figura 1.

3. PROCEDIMENTOS DE TRABALHO

3.1 Considerações sobre a Hidrogeologia local.

O arcabouço do aquífero é constituído por mármores dolomíticos, geralmente maciços, de coloração branca a cinza, com textura sacaróide e relativamente puros. A porosidade e a permeabilidade primárias são praticamente desprezíveis, sendo que o armazenamento e a circulação da água estão restritos aos vazios originados pela dissolução das rochas carbonáticas.

Os mármores dolomíticos que constituem o aquífero cárstico estão inseridos na Formação Capiru do Grupo Açungui, cujos estudos geológicos mais detalhados foram realizados por FIORI (1990, 1992, 1994). Estas rochas e os filitos e quartzitos, dispostos preferencialmente na direção NE-SW, encontram-se cortadas por inúmeros diques de diabásio de direção geral NW-SE. A distribuição espacial destes tipos litológicos deu origem ao modelo conceitual do aquífero cárstico, proposto por LISBOA (1997).

As águas do subsolo circulam através de estruturas fraturadas e carstificadas e afloram na superfície do terreno por ação da pressão hidráulica quando estes condutos estão interceptados por barreiras hidrogeológicas, na maioria dos casos representadas por diques de diabásio. As fontes secam ou sofrem redução de vazão porque encontram-se dentro do raio de influência gerado pelo bombeamento dos poços e por existir conexão hidráulica entre os condutos através dos quais circulam as águas.

A taxa de bombeamento imposta aos poços durante os testes de produção e as medições das vazões das fontes, antes dos ensaios, representam as informações básicas sobre o potencial hidrogeológico da área. A fonte FSM-2 produz em torno de 213 m³/h e a fonte FSM-3 158 m³/h. Durante os ensaios de produção dos poços, com etapas de cerca de 6 horas de duração com bombeamento constante, foi extraído do poço P-03 113 m³/h, do poço P-05 foi mantida uma vazão de 110 m³/h e do poço P-04 a produção atingiu 155 m³/h.

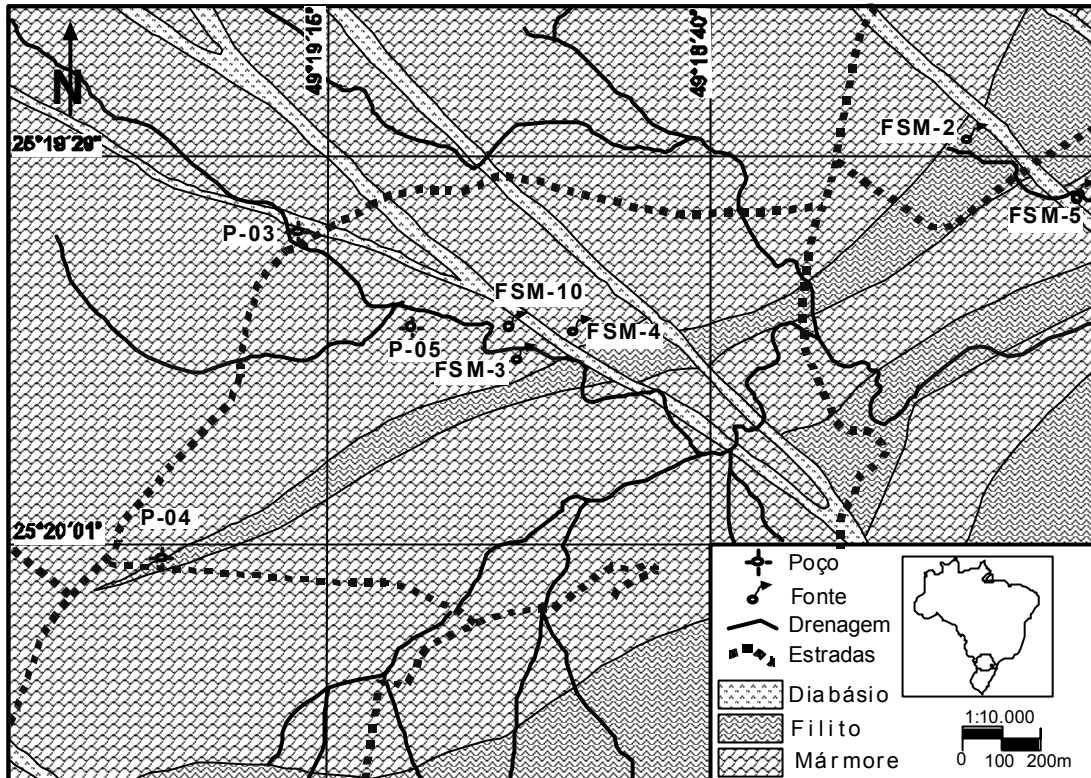


Fig.1: Mapa litológico e de localização das fontes monitoradas e dos poços tubulares.

3.2 Levantamento de dados

Para atingir o objetivo deste trabalho, foram monitoradas apenas seis das doze fontes cadastradas na área. Para caracterizar a associação das fontes ao sistema aquífero

cárstico, foram realizadas, no campo, medidas de pH, temperatura, condutância específica da água e de vazão. Os valores médios dessas medidas, assim como a descrição e o uso de cada fonte, são apresentados na Tabela 1.

Tab. 1: Dados das fontes monitoradas

FONTE	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	PH	Q (l/s)	Descrição e Uso
FSM-2	224	18,3	7,42	59,2	Fonte fervente, situada no Seminário Santo Antônio, com proteção de alvenaria. Usada para abastecimento Doméstico e lazer.
FSM-3	185	21,7	7,12	44,0	Fonte fervente. Sem proteção, usada para abastecer um pequeno lavador de hortaliças.
FSM-4	200	18,9	7,56	7,9	Fonte fervente, com proteção de alvenaria e captada. Usada para abastecimento doméstico e lazer.
FSM-5	242	19,0	7,44	3,0	Fonte com proteção de alvenaria e sistema de captação. Usada para abastecer a Associação Santa Maria.
FSM-10	249	18,5	7,75		Fonte fervente. Usada para abastecer tanques de piscicultura.

As fontes monitoradas e os poços bombeados durante os ensaios de produção, são mostradas na Tabela 2.

Tab. 2: Fontes monitoradas durante os testes de bombeamento dos poços localizados em Botiatiuva (Almirante Tamandaré, PR).

	FSM-2	FSM-3	FSM-4	FSM-5	FSM-10
P-03	X	X	X		
P-04	X	X	X	X	
P-05		X	X		X

O poço P-03 foi desenvolvido com uma vazão de 113 m³/h. Durante o período do desenvolvimento, com 6 horas de duração, foram feitas medições de descargas nas fontes FSM-2, FSM-3 e FSM-4. Os valores das vazões das fontes FSM-2 (59,2 l/s) e FSM-4 (6,8 l/s) mantiveram-se praticamente os mesmos que antecederam o bombeamento do poço, ao contrário da fonte FSM-3 que de 44,5 l/s passou

a produzir apenas 17,4 l/s. O efeito do bombeamento do P-03 na descarga das fontes monitoradas, pode ser visualizado na Figura 2.

O bombeamento mostrou que existe uma interconexão hidráulica entre a estrutura aquífera seccionada na perfuração e a fonte FSM-3. As demais fontes não sofreram influência do bombeamento porque estão em compartimento hidrogeológico distinto em relação ao poço P-03.

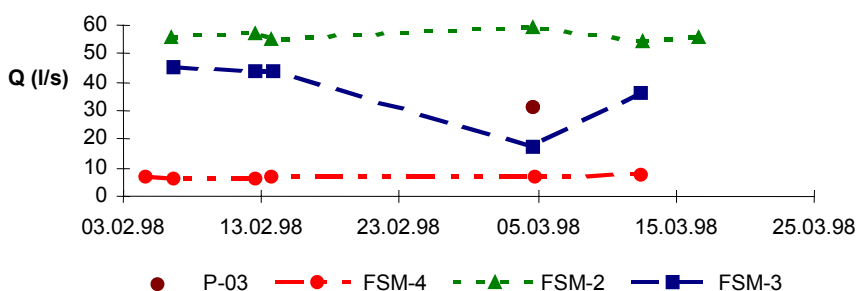


Fig. 2: Variação da descarga natural de fontes devido ao bombeamento do poço P-03 (Botiatiuva, Almirante Tamandaré, PR)

O teste de produção do poço P-4 foi realizado em quatro etapas. Na primeira etapa foi extraída uma vazão de 41 m³/h, na segunda 80 m³/h, na terceira 135 m³/h e na quarta etapa 169 m³/h. A duração da terceira etapa de teste foi de 6 horas, sendo que nas demais, a duração foi de 8 horas. Durante o teste de pré-avaliação,

com duas horas de duração, foi extraída uma vazão de 176 m³/h.

Apenas as fontes FSM-3 e FSM-4 foram monitoradas durante o ensaio de produção do poço P-4. Tal como é demonstrado na Figura 3, as vazões das fontes não decresceram durante o ensaio de produção.

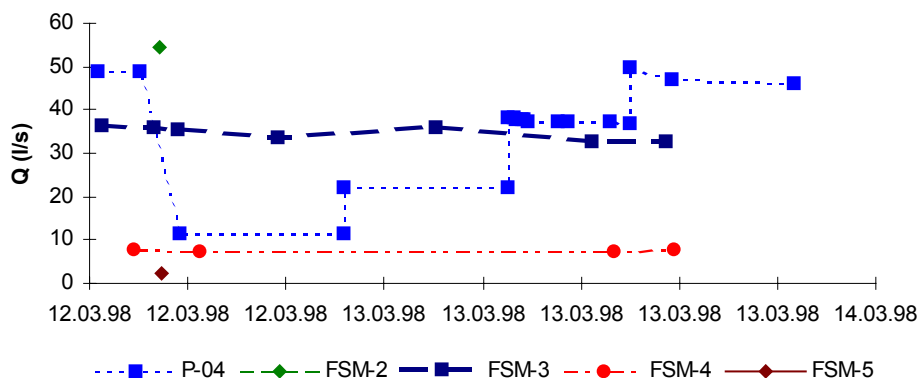


Fig. 3: Variação da descarga natural de fontes devido ao bombeamento do poço P-04 (Botiatiuva, Almirante Tamandaré, PR)

(Botiatuva, Almirante Tamandaré, PR)

O teste de produção do poço P-05 foi realizado em quatro etapas. A taxa de bombeamento da primeira etapa, com duração de 16 horas, foi de 49,5 m³/h, na segunda etapa foi bombeado 100 m³/h, durante 6 horas, na terceira foi extraída uma vazão de 151 m³/h durante 16 horas e na quarta etapa foi bombeado 165 m³/h durante 3 horas.

As descargas das fontes FSM-3 e FSM-4 foram monitoradas durante todo o tempo de duração do ensaio de bombeamento. O monitoramento da fonte FSM-10, por estar localizada dentro de um tanque de piscicultura (11 m de largura x 40 m de comprimento), restringiu-se apenas às medições das variações do nível da água do tanque; as medições foram feitas numa régua instalada no esteio central da ponte que se encontra sobre o tanque. Tal como

é mostrado na Figura 4, a descarga da fonte FSM-4 permaneceu inalterada durante todo o ensaio de produção, ao contrário da fonte FSM-3 que a partir da segunda etapa de bombeamento do poço teve a sua descarga reduzida de 133 m³/h para 61 m³/h.

A variação do nível da água no tanque, em função do tempo, também pode ser visualizada na Figura 4. O nível no tanque, referido ao eixo vertical direito do gráfico (Fig. 4), mostra um rebaixamento contínuo já a partir do início do bombeamento, sendo que com o aumento da vazão do poço, na segunda etapa, o rebaixamento torna-se mais acentuado. Estes efeitos mostram que existe uma interconexão hidráulica entre o poço P-05 e as fontes FSM-3 e FSM-10.

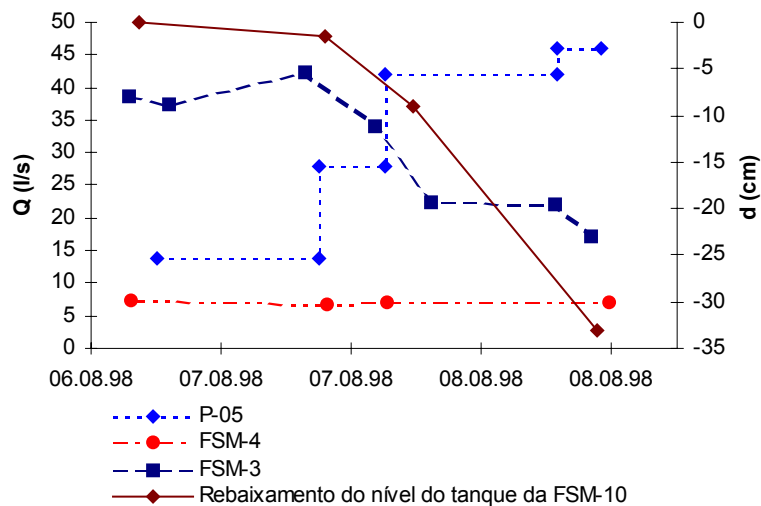


Figura 4 - Variação da descarga natural das fontes FSM-3 e FSM-4 e rebaixamento do nível do tanque da fonte FSM-10, durante o bombeamento do poço P-05 (Botiatuva, Almirante Tamandaré, PR).

Os dados relativos à vazão de cada fonte e os respectivos instantes de medições, dia e hora, são mostrados na Tabela 3.

TAB. 3: VAZÃO E REBAIXAMENTO DAS FONTES MONITORADAS.

Data : Hora	FSM-2 Q (l/s)	FSM-3 Q (l/s)	FSM-4 Q (l/s)	FSM-5 Q (l/s)	FSM-10 d (cm)
04/02/98; 13:45			7,1		
04/02/98; 15:00				3,0	
06/02/98; 11:15				2,8	
06/02/98; 12:55	55,5				
06/02/98; 13:25		45,2			
06/02/98; 14:15			6,2		
12/02/98; 13:10		44,2			

Data : Hora	FSM-2 Q (l/s)	FSM-3 Q (l/s)	FSM-4 Q (l/s)	FSM-5 Q (l/s)	FSM-10 d (cm)
12/02/98; 13:20			6,6		
12/02/98; 13:45	57,0				
13/02/98; 17:10	55,0				
13/02/98; 17:50			6,9		
13/02/98; 18:30		44,0			
04/03/98; 14:35	59,2				
04/03/98; 16:00		17,4			
04/03/98; 16:45			6,8		
11/03/98; 11:10			7,3		
12/03/98; 10:10		36,5			
12/03/98; 11:45			7,7		
12/03/98; 12:45		36,0			
12/03/98; 13:00	54,5				
12/03/98; 13:07				2,2	
12/03/98; 13:55		35,6			
12/03/98; 15:00			7,4		
12/03/98; 18:50		33,5			
13/03/98; 02:30		36,2			
13/03/98; 10:05		32,8			
13/03/98; 13:45		32,7			
13/03/98; 14:10			7,8		
15/03/98; 17:30		36,4			
16/03/98; 12:10		33,7			
16/03/98; 12:50			7,8		
16/03/98; 13:10	55,5				
16/03/98; 13:35				2,3	
25/07/98; ---:---		37,6			
06/08/98; 09:25		36,4			
06/08/98; 09:45			7,6		
06/08/98; 15:35		38,7			
06/08/98; 15:45			7,3		
06/08/98; 16:30					0,0
06/08/98; 19:15		37,3			
07/08/98; 07:45		42,3			
07/08/98; 09:30					-1,5
07/08/98; 09:50			6,7		
07/08/98; 14:15		33,9			
07/08/98; 15:20			7,2		
07/08/98; 17:40					-9,0
07/08/98; 19:20		22,4			
08/08/98; 06:50		22,1			
08/08/98; 10:00		17,1			
08/08/98; 10:35					-33,0
08/08/98; 11:40			7,2		

4. CONCLUSÃO

A interferência do poço P-03 na fonte FSM-3 e do poço P-05 na fonte FSM-10, ocorre porque cada um dos dois grupos está situado dentro do mesmo compartimento hidrogeológico e também em razão da pequena distância existente entre os referidos pontos (600 m entre P-03 e FSM-3 e 350 m entre P-05 e FSM-10). Pressupõe-se que a principal razão da existência de interconexões hidráulicas entre os mencionados poços e fontes seja porque ambos

estão situados aproximadamente paralelos aos diques de diabásio, onde o processo de carstificação das rochas carbonatadas é mais intenso. As fontes FSM-3 e FSM-4 não sofreram reduções de vazão durante o bombeamento do poço P-4 devido à maior distância entre os pontos, em torno de 1000 m, e principalmente porque o poço e as fontes estão localizadas perpendicularmente ao dique de diabásio.

O bombeamento dos poços P-3 e P-5 deverá provocar no decorrer do tempo uma

Revista Latino-Americana de Hidrogeologia, n.2, p. 63-69, 2008

inversão da direção do fluxo das águas subterrâneas. As áreas que circundam as fontes FSM-3 e FSM-10, sob esta condição, passarão a recarregar o aquífero sem qualquer processo de depuração. Destaque-se, como agravante, que existe um lago a 350 m de distância da fonte FSM-3 e que nas suas margens encontra-se instalada uma pocilga e um canil, cujos efluentes são lançados diretamente nestas águas. É para este lago que drenam, especialmente nos períodos de chuvas, os agroquímicos utilizados na área.

A exploração dos poços P-3 e P-5, a

qual deverá ser definida com dados de bombeamentos simultâneos, somente deve ser recomendada sob a condição de que o nível potenciométrico da área de influência do bombeamento permita a descarga das fontes de forma ininterrupta. Tendo em conta que as áreas onde se localizam os poços é de interesse para futuros bombeamentos, recomenda-se a execução de levantamentos detalhados de pontos de água existentes e o controle sistemático da sua qualidade, especialmente quanto a presença de coliformes, de nitratos e de agroquímicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FIORI, A. P. **Tectônica e Estratigrafia do Grupo Açungui a Norte de Curitiba**. Instituto de Geociências - USP. Tese (Livre Docência), São Paulo : USP, 1990
- FIORI, A. P. **Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui – PR**. Boletim do Instituto de Geociências. **São Paulo, Série Científica, v. 23, p. 55-74, 1992.**
- FIORI, A. P. Evolução geológica da bacia do Açungui. **Boletim Paranaense de Geociências**. Curitiba, n. 42, p. 7-27, 1994
- GEA – Geologia Ambiental Ltda. **Projeto PROSAM/PEB-07 – Relatório Final**. Curitiba : 1998. (Companhia de Saneamento do Paraná. Projeto Concluído. Áreas: Fervida e Botiatuva).
- LISBOA, A. A. **Proposta de metodologia para avaliação hidrogeológica do aquífero cárstico, Compartimento São Miguel**. Departamento de Geologia - UFPR. Dissertação (Mestrado), Curitiba: UFPR, 1997.
- ROSA FILHO, E. F. da; HINDI, E. C. & MANTOVANI, L.E. Efeitos do bombeamento de poços tubulares na descarga de fontes naturais – região de Almirante Tamandaré, PR. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba. V. 47; p.45-50, 1999.