

VULNERABILIDADE E RISCO DE CONTAMINAÇÃO EM AQUÍFERO CÁRSTICO NA REGIÃO DE ALMIRANTE TAMANDARÉ-PR, BRASIL (ESTUDO DE CASO)

**Ernani Francisco da Rosa Filho¹; Eduardo Chemas Hindi¹; Leandson Roberto F. da Lucena¹;
Jorge Montaña Xavier²; Carlos Aurélio Nadal¹**

Resumo: O único manancial hídrico disponível e que é utilizado para abastecer a população de Almirante Tamandaré-PR é oriundo do aquífero cárstico. O compartimento hidrogeológico da área urbana já encontra-se comprometido, sob o ponto de vista de qualidade das águas, por conta da ocupação desordenada do terreno e da conexão hidráulica que existe entre alguns pontos do rio Barigüí em relação ao referido aquífero, localmente. Na área rural, especificamente em Botiatuva, existem três poços tubulares com elevada capacidade de produção, mas sob risco de contaminação devido a elevada vulnerabilidade do aquífero frente as fontes naturais que funcionam como pontos de recarga direta e rápida quando os poços são bombeados. Isto ocorre devido a 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. As interconexões hidráulicas que existem entre as fontes e os poços que as afetam, são conseqüências dos processos de carstificação que se desenvolveram preferencialmente numa faixa paralela aos diques de diabásio. Estas rochas funcionam como barreiras impermeáveis, isolando o escoamento subterrâneo de um compartimento em relação ao compartimento limítrofe.

Abstract: Karst aquifer yields the unique spring source available for water supply to the people of Almirante Tamandare region in the Paraná state. However, the quality of water from the hydrogeological compartment in the urbanised zone of the area is currently in a grim state due to indiscriminate settlement patterns and also due to the hydraulic connection existing between some points in the aquifer and the river Barigüí. In the case of rural area especially in Botiatuva, the contamination risk of three tube wells having large water yields, seems to be still high. These wells are located at the aquifer front, which is functioning as the direct recharge portion and are vulnerable to rapid contamination as pumping progresses. Under such circumstances, the groundwater flow gets

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 de la Republica Oriental Del Uruguay. Montevideo-Uruguay, E-mail: montanox@movinet.com.uy

reversed and directed towards the pumping well for water withdrawal without any kind of natural purification processes. The hydraulic interconnections existing between springs and the wells are formed as result of the karstification processes, which develop preferential paths for water flow in the direction of diabasic dykes. These rocks, acting as impermeable barriers, isolate one hydrogeological compartment in relation to the neighbouring compartment.

Palavras-chave: vulnerabilidade, aquífero cárstico, abastecimento de água

INTRODUÇÃO

A captação de mananciais hídricos, superficiais e/ou subterrâneos, para o abastecimento público, assim como para fins industriais e para a irrigação, é função da sua disponibilidade no que se refere a quantidade e qualidade. A opção correta por qualquer um destes mananciais deveria, em qualquer caso, ser analisada levando-se em conta questões de ordem técnica, financeira e ambiental. A ocupação da cidade de Almirante Tamandaré foi feita sem levar em conta a preservação de seus recursos hídricos subterrâneos. Como consequência, torna-se praticamente impossível a recuperação deste compartimento hidrogeológico, mesmo com ações voltadas a contenção de lançamento de efluentes domésticos e industriais, porque ele encontra-se inserido numa área completamente urbanizada.

O abastecimento público de Almirante Tamandaré é feito através de bombeamento de uma bateria de poços tubulares que seccionam estruturas carstificadas existentes em rochas carbonatadas. Embora esta seja a única alternativa atual para o abastecimento público da cidade, registrou-se, após a implantação desta bateria de poços, uma ocupação completamente desordenada em torno das áreas de captações. Este fato, aliado a uma recarga difusa através do solo e da existência de sumidouros pontuais, tal como existe um às margens do rio Barigui, assim como de dolinas abertas, propiciam a contaminação do aquífero, localmente. Os efluentes domésticos e/ou o uso de agroquímicos lançados na superfície do terreno também alcançam as zonas aquíferas através de fontes naturais em compartimentos hidrogeológicos onde existem poços em produção. Nestes casos, o bombeamento dos poços provoca 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

Sob o risco de captar água contaminada, pode-se prever que o atual sistema de captação da cidade de Almirante Tamandaré será, em questão de tempo, desativado. Sob este contexto, a implantação de novas obras de captação, fundamentalmente em áreas não ocupadas, devem antecipadamente realizar ações efetivas para a prevenção contra a poluição das zonas aquíferas.

LOCALIZAÇÃO

A cidade de Almirante Tamandaré está inserida na bacia hidrográfica do Ribeira e faz parte da Região Metropolitana de Curitiba (RMC). A sua localização e os seus limites com os municípios de Colombo e Campo Largo, podem ser visualizados na Figura 1.

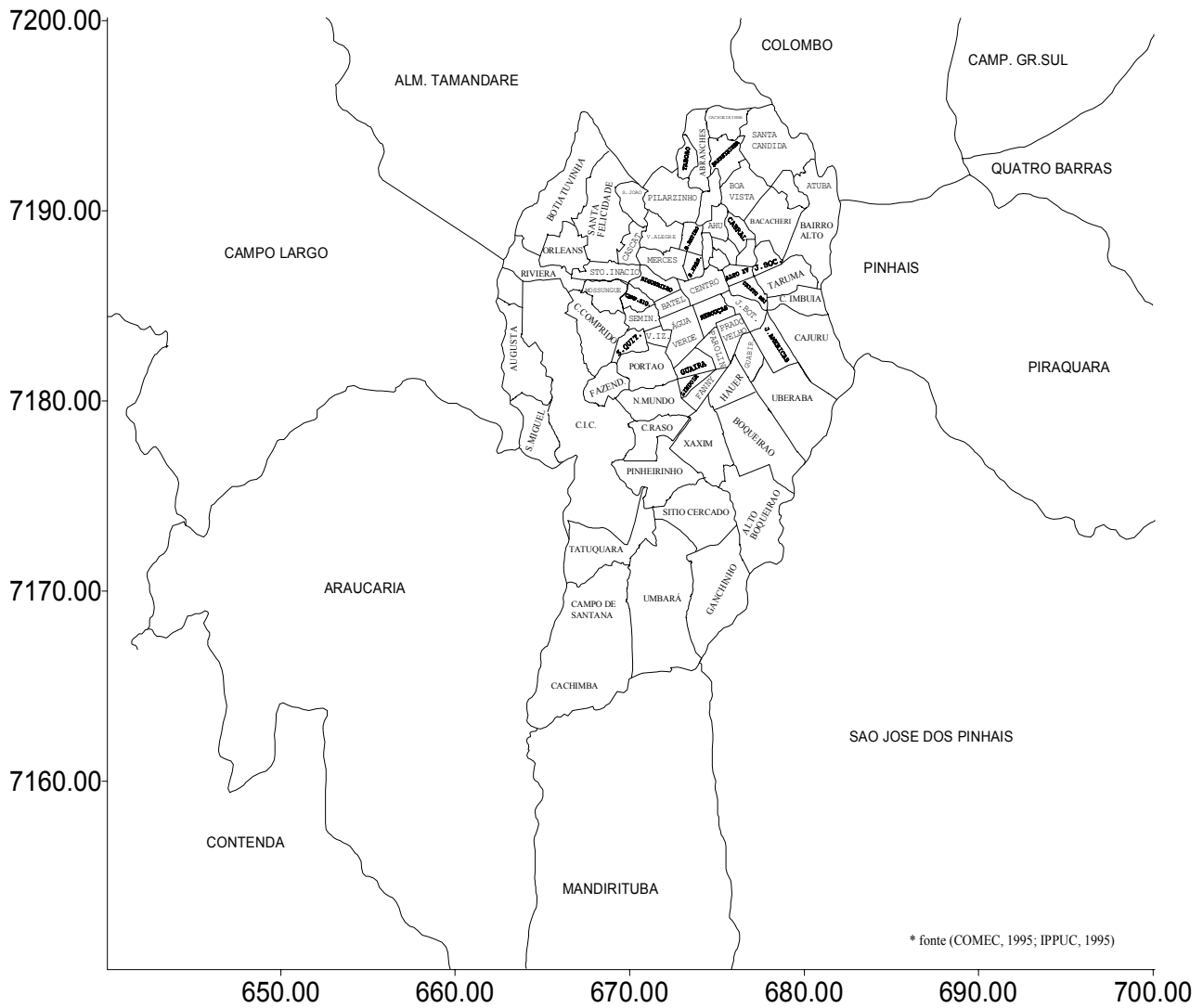


Fig. 1: Mapa de localização da Região Metropolitana de Curitiba (RMC), destacando-se Almirante Tamandaré, ao norte.

OBJETIVOS

A determinação de pontos e de áreas de recarga e descarga do aquífero cárstico é um dos fatores fundamentais à compreensão do seu potencial hidrogeológico, assim como das características químicas das águas, inclusive quando é incorporada ao seu conteúdo físico e químico substâncias de origem antrópica.

O principal objetivo deste trabalho é mostrar que embora as fontes naturais descarregem na superfície volumes de águas cedidas pelo aquífero, elas podem funcionar como fontes diretas de recarga e, nestes casos, representam áreas-foco de elevado risco de contaminação. Quando este fenômeno ocorre, a velocidade de fluxo da água torna-se rápido e pode carrear para o subsolo os mais variados tipos de substâncias oriundas da superfície do terreno, sem qualquer processo de depuração.

CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A HIDROGEOLOGIA

Os mármores dolomíticos que constituem o aquífero cárstico estão inseridos na Formação Capiu 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).

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. Dentre os poços tubulares perfurados na região, as estruturas carstificadas distribuem-se em profundidades inferiores a 150 m, sendo que as vazões extraídas durante os testes de produção variaram entre 110 m³/h e 169 m³/h.

As águas do subsolo que circulam através dessas estruturas podem aflorar na superfície do terreno, sob a forma de fontes naturais, por ação da pressão hidráulica quando estes condutos estão interceptados por barreiras hidrogeológicas, na maioria dos casos representadas por diques de diabásio. As referidas fontes podem secar ou sofrer redução de vazão quando encontram-se dentro do raio de influência gerado pelo bombeamento dos poços, desde que haja conexão hidráulica entre os condutos através dos quais ocorre a circulação das águas.

DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O trabalho desenvolveu-se em duas áreas: a primeira na área urbana da cidade de Almirante Tamandaré, e a segunda, com mais ênfase, numa área rural denominada Botiatuva.

Na área urbana, constatou-se a existência de um sumidouro às margens do rio Barigui, o qual escoava no sentido sul na parte leste da periferia da cidade. É próximo deste ponto que estão localizados os poços que abastecem a população da cidade. Para verificação da conexão hidráulica entre as águas do rio que se infiltram neste sumidouro em relação ao poço mais próximo (cerca de 30 m de distância), foi introduzido em torno de 2 kg de uranina a montante do sumidouro. O traçador, de coloração verde, alcançou este poço após 30 minutos de bombeamento, a uma taxa de 20 m³/h. Este resultado forneceu os indícios de que as águas de superfície, comprometidas sob o ponto de vista de qualidade, recarregam o aquífero neste local quando os poços encontram-se em bombeamento. É de se supor, portanto, que a rapidez com que o traçador alcança o poço não permite um processo efetivo de depuração das substâncias contidas no rio.

Na área de Botiatuva, os trabalhos foram iniciados através de uma avaliação sobre o condicionamento hidrogeológico. Tal como é mostrado na figura 2, existem três compartimentos hidrogeológicos, os quais estão separados por intrusões de diques de diabásio.

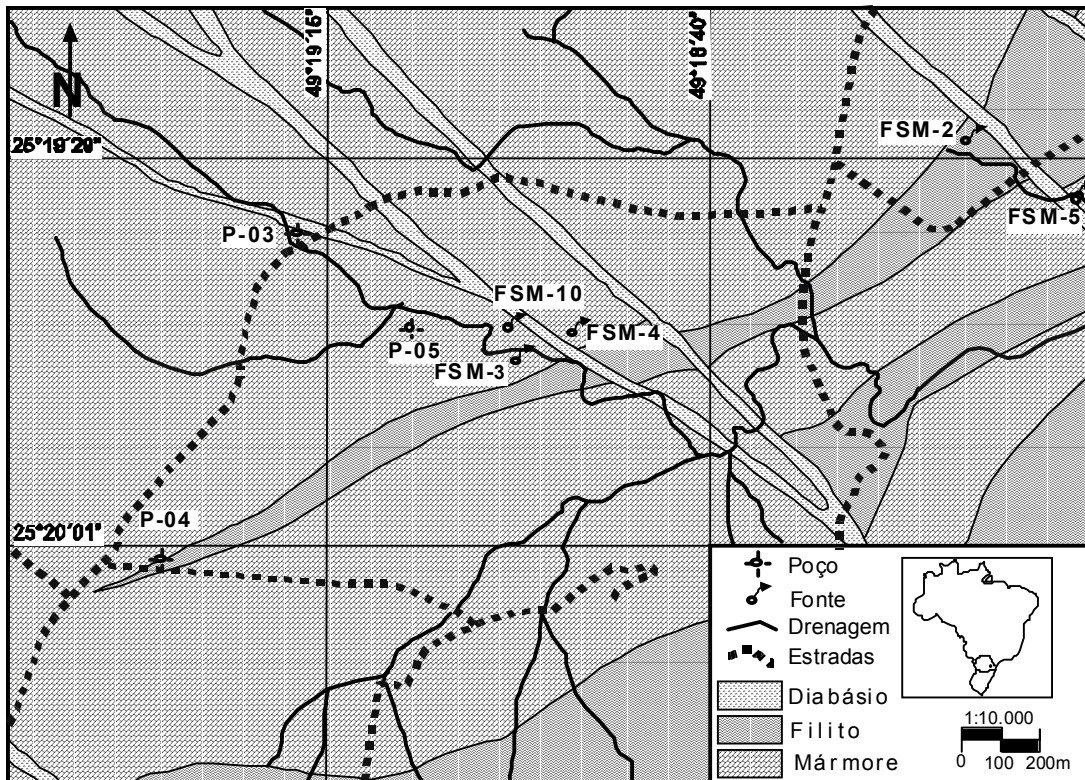


Fig.2: Mapa litológico e de localização de fontes naturais e de poços tubulares (Área de Botiатуva-Almirante Tamandaré-PR)

No compartimento sul, estão localizados os poços P-03 (vazão de teste 113 m³/h), P-04 (vazão de teste 155 m³/h) e P-05 (vazão de teste 165 m³/h), e as fontes FSM-03 e FSM-10, sendo que no compartimento central foi cadastrada a fonte FSM-4 e no compartimento ao norte, as fontes FSM-2 e FSM-5. As descargas das fontes sem a influencia do bombeamento dos poços, bem como as suas características e usos, são apresentadas na tabela 1.

Tab. 1: Dados das fontes monitoradas

FORTE	Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)	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 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.

RESULTADOS

O bombeamento do poço denominado P-03, a uma taxa de 113 m³/h, reduziu a descarga da fonte FSM-3, de 44,5 l/s para 17,5 l/s, mas não afetou a descarga das fontes FSM-2 e FMS-4 porque estas não encontram-se no mesmo compartimento hidrogeológico.

O bombeamento do poço P-04, a uma taxa de 169 m³/h, 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 interconecções 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 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 3, 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 3. O nível no tanque, referido ao eixo vertical direito do gráfico (Fig. 3), 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.

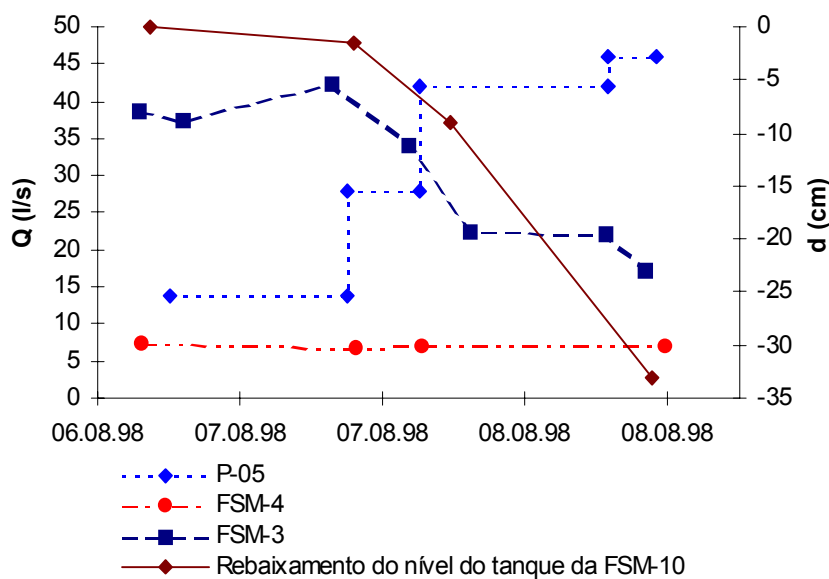


Fig. 3: Variação da descarga natural das fontes FSM-3 e FSM-4 e rebaixamento do nível do tanque da fonte FSM-10, durante o bombeamento do poço P-05 (Botiatuva, Almirante Tamandaré, PR).

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 provoca no decorrer do tempo uma 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.