

CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS POR NITRATO EM PRESIDENTE PRUDENTE – SP

Manoel Carlos Toledo Franco de Godoy¹; Marcos Norberto Boin²;

Daniele Cristina Sanaiotti³ & Joel Batista da Silva⁴

Resumo - A Cidade de Presidente Prudente está localizada na porção sul do Oeste Paulista, sobre depósitos sedimentares cretácicos do Grupo Bauru. Uma pesquisa efetuada sobre a contaminação das águas subterrâneas na sua área urbana foi baseada em resultados de análises físico-químicas de amostras de água coletadas em 134 poços tubulares. Um mapeamento da distribuição desses resultados identifica, em 38 destes poços, uma concentração de teores de N nítrico acima dos permitidos pelas normas brasileiras de potabilidade, localizando-os em área bem definida, que, de modo significativo, corresponde às zonas mais antigas de ocupação urbana nesta cidade. Como fontes da contaminação, os resultados da pesquisa distinguem o vazamento de esgoto, a lixiviação de fossas e a lixiviação de depósitos de resíduos sólidos. A contaminação levou vários exploradores de águas subterrâneas a optarem pelo abrandamento do teor de nitrato por meio de sistema de resina de troca iônica. Pelos dados de custos disponíveis, a instalação deste sistema implica investimento maior que a própria construção do poço correspondente.

Abstract - Presidente Prudente is located in the southern portion of the western region of the State of São Paulo, Brazil, overlying the Bauru Group Cretaceous sedimentary deposits. A research on groundwater contamination related to the urbanization carried out in this city is based on data of physical-chemical analysis of samples collected from deep wells. The data exhibit unacceptable nitrate concentrations in 38 of 134 wells. The contamination area is well defined, fitting to the limits of the city oldest urbanized zone. According to the results of the research, the sources of the contamination include leaking sewers, leachates from old pit-latrines and from different kinds of waste sites. Faced with the dilemma of either abandoning well installations or removing the nitrates from the well water, several private groundwater exploiters opted for the latter, by installing an ion-

¹ FCT/UNESP R. Roberto Simonsen, 305 Cep 19060-900 Fone: 229-5388 e-mail: godoy@prudente.unesp.com.br Fax 2218212

² Promotoria da Justiça do Meio Ambiente, Av. W. Luiz, 1607 Cep 19015-150 Fone: 18 2217156 boinmar@hotmail.com

³ FCT/UNESP R. Roberto Simonsen, 305 Cep 19060-900 Fone: 229-5388 Fax 2218212 e-mail: depgeo@prudente.unesp.com.br

⁴ Instituto Adolfo Lutz – Laboratório I Av. Cel. José Soares Marcondes, 2357 Presidente Prudente-SP Fone 2211449 Fax 2215814 e-mail:

exchange resin system, which, according to the available cost data, is more expensive than the well construction itself.

Palavras-Chave – Urbanização; Grupo Bauru; Filtro de resina.

INTRODUÇÃO

Na Cidade de Presidente Prudente, os sinais de contaminação das águas subterrâneas por nitrato tornaram-se mais frequentes a partir de 1990, com a intensificação da captação de água através de poços tubulares em sua área urbana e peri-urbana. As informações, esparsas, mas significativas, sobre o fenômeno levaram pesquisadores a refletirem sobre questões básicas associadas a ele, tais como a sua gravidade, as prováveis fontes de contaminação, a possibilidade de sua expansão em área, providências factíveis para a remediação do dano representado por ele e a proteção aos aquíferos e à saúde da população. O presente artigo refere-se a uma pesquisa orientada por estas reflexões

Uma particularidade da questão, frente à revelação do fenômeno e ao crescimento significativo da demanda das águas subterrâneas na cidade, é a providência do tratamento da água após a captação. Trata-se de instalação de equipamento destinado ao abrandamento do teor de NO_3^- por resina de troca iônica. Dependendo do grau de consumo, o investimento neste tratamento é encarado como a medida alternativa à inutilização dos poços instalados e em funcionamento.

A associação da contaminação das águas subterrâneas por nitrato com o adensamento demográfico da urbanização é tema de numerosos trabalhos científicos. Em pesquisa referente à qualidade das águas subterrâneas na Cidade de Nottingham, Reino Unido, as altas concentrações de nitrato são correlacionadas ao crescimento da cidade [1]. Nesse caso estudado, é apontado mais de um agente da contaminação, em tal condição sendo incluídos os vazamentos das redes públicas de abastecimento de água e de coleta de esgoto, a lixiviação de aterros sanitários e de depósitos de resíduos industriais.

Em Liverpool, no Reino Unido, uma pesquisa, que incluiu análises com isótopo de nitrogênio, identifica a rede de esgoto, cuja implantação foi iniciada no século XVIII, como a fonte predominante da contaminação do principal aquífero situado abaixo da cidade [2].

Pesquisa sobre os impactos da urbanização na qualidade das águas subterrâneas, em Tel-Aviv, Israel, enfatiza a contribuição de antigas fossas sanitárias para o processo de contaminação por nitrato [3].

No Brasil estão merecendo particular atenção os casos de contaminação na Região Oeste do Estado de São Paulo, especialmente em aquíferos do Grupo Bauru. Em São José do Rio Preto, a

partir de 1962 os recursos hídricos subterrâneos nessa cidade conquistaram uma condição de fonte significativa de água para diversos usos [4]. Análises químicas de água captada de poços tubulares revelaram progressivo aumento do teor de nitratos na zona urbana. Como fonte provável da contaminação, são apontados os despejos de esgoto próximos aos poços que apresentam os mais altos valores de concentração de NO_3^- .

Em área urbanizada de Presidente Prudente, foi pesquisada a contaminação por nitrato do aquífero freático que foi derivada de vazamento de coletor de esgoto e de acúmulo de restos vegetais em determinados lugares [5]. Com relação à contaminação pelo vazamento de esgoto, é correlacionado o aumento progressivo no teor de NO_3^- aos de Cl^- e Na^+ . É caracterizada também a alta suscetibilidade à contaminação do aquífero livre da Formação Adamantina e o papel das condições físicas e químicas das zonas saturada e insaturada, as quais, em Presidente Prudente, favorecem a introdução de nitratos no aquífero livre.

Segundo relatório da CETESB [6], os casos registrados de contaminação por nitratos no Estado de São Paulo referem-se predominantemente a amostras coletadas na sua porção ocidental, em aquíferos do Grupo Bauru.

Quanto ao emprego da resina de troca iônica, em 1972 já era pesquisada a viabilidade de sua aplicação ao tratamento da água destinada ao abastecimento público de um Distrito pertencente à Cidade de Garden, no Condado de Nassau – USA [7]. O sistema empregado para este fim foi adaptado de processo desenvolvido originalmente para a desmineralização de efluentes industriais. Posteriormente o funcionamento do sistema, já instalado nessa mesma comunidade, é descrito, sendo ressaltada a sua eficiência e a sua aceitação como a alternativa ao abandono de poços já instalados e em funcionamento [8].

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

A Cidade de Presidente Prudente está localizada na porção ocidental do Estado de São Paulo, aproximadamente 560 km de distância da Capital do Estado por via rodoviária (Figura 1). Funciona como pólo regional de comércio e serviços. De acordo com o censo demográfico de 2000, o Município reúne uma população de 189.186 habitantes, concentrando 185.229 em sua área urbana [9].



Quanto à caracterização geológica das reservas de águas subterrâneas referentes à área da pesquisa, é adotada a coluna estratigráfica da Bacia Cretácica do Grupo Bauru, conforme é apresentada no mapeamento geológico em escala 1:500.000 do Estado de São Paulo que foi executado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo [10]. Este mapeamento geológico localiza a Região de Presidente Prudente em domínios da Formação Adamantina, do Grupo Bauru, Cretáceo Superior da Bacia Sedimentar do Paraná. Esta unidade estratigráfica é caracterizada litologicamente pela ocorrência de bancos de arenito de granulação fina a muito fina, de cor róseo a castanho, com espessuras variáveis entre 2 e 20 m e alternados com lamitos, siltitos e arenitos lamíticos, de cor castanho avermelhado a cinza castanho [11]. Abaixo da Formação Adamantina, está localizada a Formação Santo Anastácio, também do Grupo Bauru, constituída principalmente de arenitos de cor vermelha, marrom avermelhada ou arroxeadada, de granulação fina a média, com seleção de regular a ruim em geral, com grãos arredondados a sub-arredondados e cobertos por película limonítica e presença freqüente de nódulos carbonáticos ou cavidades preenchidas por carbonato de cálcio.

Pesquisa estratigráfica mais recente propõe subdivisões da Formação Adamantina em outras unidades e a integração da Formação Santo Anastácio a outro Grupo [12]. Apesar da importância desta nova proposição, prefere-se aqui, no entanto, optar pelo mapeamento executado pelo IPT, que pode ser ainda considerado como uma referência básica.

Do ponto de vista hidrogeológico, no Aquífero Santo Anastácio em geral são obtidos resultados melhores do que no Aquífero Adamantina no tocante à vazão e à vazão específica e a outros parâmetros hidráulicos [13]. De modo que para o melhor desempenho possível quanto à vazão no Sistema Bauru, os poços devem ser aprofundados até o limite inferior dos depósitos da Formação Santo Anastácio.

Quanto ao material de informação específico à pesquisa resumida neste artigo, as informações sobre a contaminação das águas subterrâneas foram obtidas de laudos de análise físico-químicas, referentes a poços tubulares localizados na área urbana de Presidente Prudente – SP. A fonte dos dados foi o Instituto Adolfo Lutz – Laboratório I/ Presidente Prudente.

Métodos

Foram selecionados laudos relativos a 134 poços por critério de atualidade das coletas, optando-se por concentrar a pesquisa nos registros datados dos anos de 2002 e 2003. Uma vez identificados os pontos de coleta em folhas topográficas em escala 1:10.000, procedeu-se à determinação de sua localização de acordo como o sistema de coordenadas UTM.

Com base nos resultados fornecidos pelos laudos de análise e na localização por coordenadas dos respectivos pontos de coleta de água, foram traçadas cartas de isolinhas referentes a diversos parâmetros de análise, aplicando-se para esta finalidade o programa “SURFER – Surface Mapping System” – Versão 6.01 – 1995, da *Golden Software Inc*, tendo sido utilizado o método de interpolação da *Krigagem linear*.

Além das cartas de isolinhas, foram confeccionadas cartas temáticas, sendo uma delas referente à localização dos pontos onde o teor de N nítrico ultrapassa 10 mg/L, que é o valor máximo permitido de acordo com as normas de potabilidade da água vigentes no Brasil (Figura 2), uma outra relativa à expansão da rede coletora de esgoto na cidade (Figura 6) e uma carta representativa da localização de algumas possíveis cargas contaminantes (Figura 7). Nesta última representação, figuram os lixões soterrados, entulhos diversos, resíduos de antigas serrarias, cemitérios e áreas onde foram usadas fossas por um período superior a 10 anos.

Paralelamente a essa investigação relacionada ao fenômeno da contaminação, foram obtidas informações referentes à aplicação prática na cidade de técnicas destinadas à redução do teor de nitrato nas águas captadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 classifica resumidamente os dados obtidos a partir dos laudos compilados.

Tabela 1 - Classificação preliminar dos dados de análise química compilados

Pontos de coleta de amostras	Quantidade	Proporção (%)
Total	134	100
Pontos de identificação de contaminação (N nítrico > 10 mg/L)	38	28,36

A porcentagem de 28,36 % de casos identificados de contaminação não significa que, em relação à toda a área pesquisada, a ocorrência deste fenômeno alcança proporção de 28,36% em área. É observado o agrupamento de resultados de N nítrico superior a 10 mg/L (Figura 2) em zona caracterizada por relativa concentração de instalações de poços tubulares. Trata-se também da zona de urbanização mais antiga na cidade.

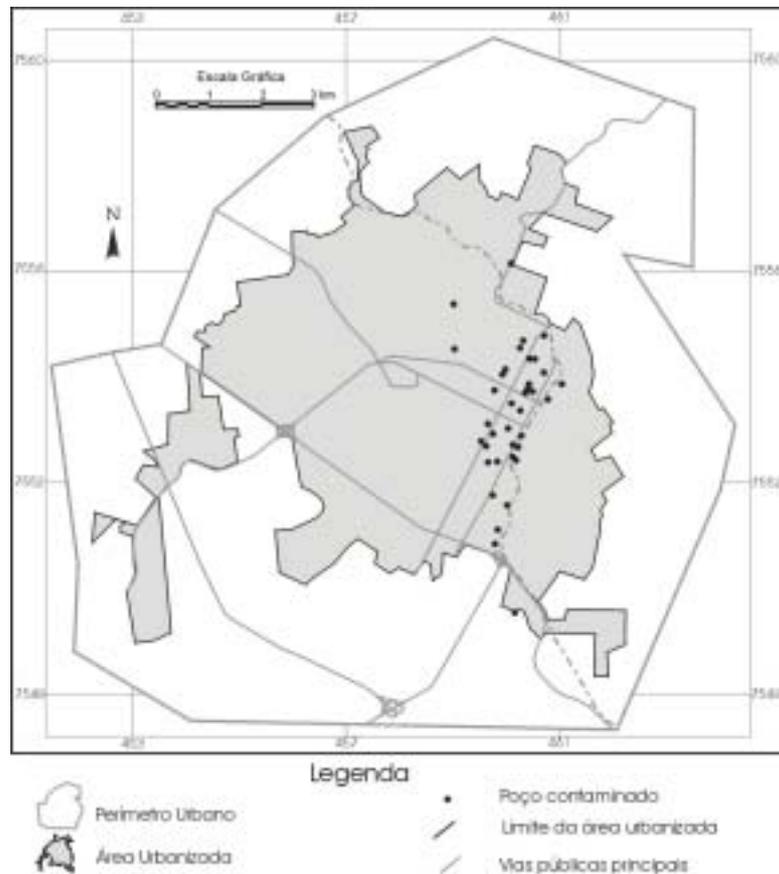


Figura 2 - Locais de manifestação da contaminação por NO₂

A distribuição de teor de N nítrico, representada em isolinhas (Figura 3), diferencia uma zona caracterizada por valores relativamente altos, cujo contorno é alongado na direção 19° NE-SW, concordante com a orientação de duas artérias principais da malha urbana da cidade. O limite externo desta zona, formado por isolinhas de 5 mg/L, delimita uma área de 16,61 km², que circunda uma outra área, com 8,27 km² de extensão, correspondente aos valores maiores que 10 mg/L, podendo ser observado que o alongamento das duas áreas segue de modo geral esta mesma direção acima referida.



Figura 3 - Isolinhas para o teor de N nitrato (mg/l)

A comparação entre a localização da área de contaminação identificada nas Figuras 2 e 3, com o mapa referente à evolução da implantação da infraestrutura de esgoto na cidade (Figura 6) tende a reforçar a hipótese de contaminação por vazamento da rede de esgoto instalada antes de 1968. A distribuição em área do teor de Cl⁻ (Figura 4), mostrando comportamento de elevação semelhante ao do teor de N nitrato, é mais um argumento em favor desta interpretação. Quanto ao comportamento da distribuição dos valores de STD¹ (Figura 5), é indicada uma localização bem definida de carga contaminante, com os valores máximos situados na zona crítica de contaminação.

No entanto, na área delimitada pela isolinha de 5 mg/L de N nitrato ou em suas redondezas, outras virtuais cargas contaminantes são reconhecidas, distinguindo-se lixões enterrados, entulhos, locais de fossas, resíduos de indústria madeireira e cemitérios. Como já foi ressaltado em item anterior, em terrenos da Formação Adamantina em Presidente Prudente, existem condições ambientais das zonas saturada e insaturada que favorecem o processo de contaminação das águas subterrâneas por nitrato.

Independentemente de qualquer interpretação sobre a fonte da contaminação, importa o reconhecimento da impossibilidade de sua remediação. Na área definida de 8,27 km² ou 8.270.000 m², imprópria à captação de águas subterrâneas, não se vislumbra a possibilidade de reduzir o teor de nitrato no próprio aquífero. Na área delimitada pela isolinha de 5 mg/L, de 16.610.000 m², não se pode descartar a possibilidade do futuro aumento do grau de contaminação. Para se entender o

¹ Sólidos Totais Dissolvidos em mg/L

significado do dano provocado neste recurso hídrico, deve ser ressaltado que as duas áreas, principalmente a mais interna, concentram atividades comerciais, industriais, hoteleiras e hospitalares de importância vital para a cidade.



Figura 4 - Isolinhas para o teor de Cl⁻ (mg/l)

O alastramento da contaminação é favorecido por um fator de construção inadequada ou imprudente de poços tubulares, cuja presença não é rara em Presidente Prudente. Uma das características da Formação Adamantina é a existência dentro dela de aquíferos suspensos. Poços não revestidos ou dotados de revestimento de aço já corroído e poços abandonados para o fim de retomada de perfuração constituem atalhos efetivos para a passagem da água impurificada destes aquíferos e do aquífero freático para as zonas inferiores, correspondentes ao aquífero semi-confinado Santo Anastácio, que é naturalmente mais protegido contra a contaminação do que o aquífero Adamantina, localizado sobre ele. Não é raro também, em poços totalmente revestidos, a instalação de filtros nos níveis dos aquíferos suspensos, deste modo havendo condições também para a mistura de água através do próprio poço.

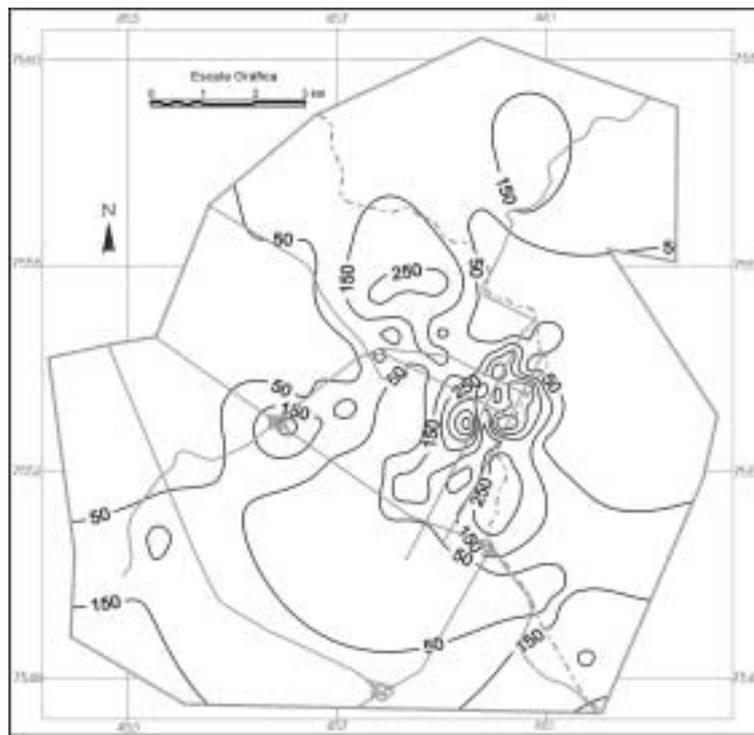
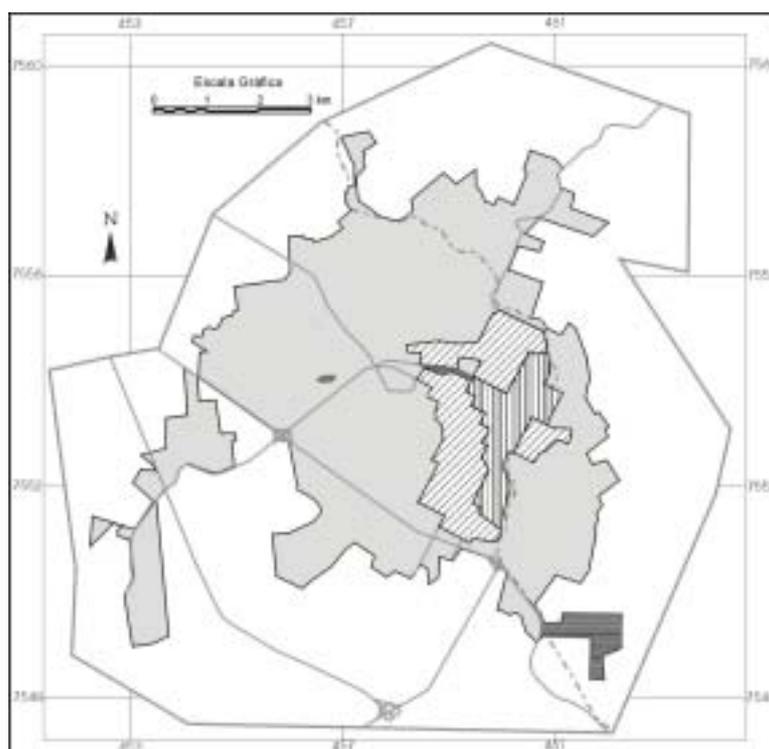


Figura 5 - Isolinhas para o teor de STD (mg/l)



Legenda

- | | | | |
|---|---------------------------|---|---------------------------|
|  | Sem serviço de esgoto |  | Perímetro Urbano |
|  | Extensão posterior a 1977 |  | Área Urbanizada |
|  | Extensão de 1968 a 1977 |  | Limite da área urbanizada |
|  | Extensão até 1968 |  | Vias públicas principais |

Figura 6 - Evolução de Implantação da Rede de Esgoto

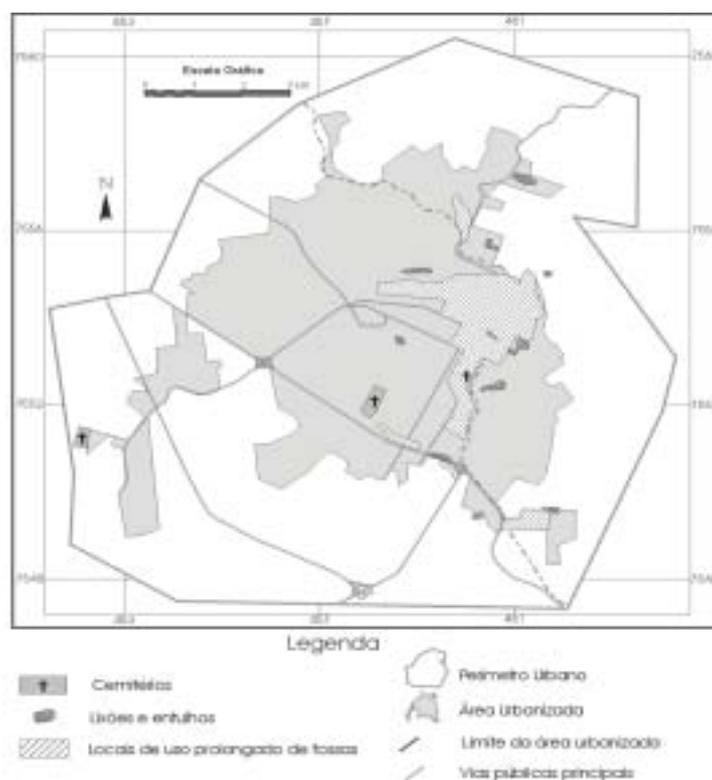


Figura 7 - Localização de possíveis fontes de contaminação por NO_2^-

Quanto ao tratamento para redução do teor de nitrato, é aplicado o método do filtro de resina, pelo qual se processa a troca do íon NO_3^- pelo íon Cl^- . A restauração do filtro é efetuada com uma operação de lavagem, seguida da reposição de solução concentrada de NaCl em água. A instalação do filtro é renovada a cada período de 5 anos. As Tabelas 2 e 3 apresentam resumidamente os exemplos de custos do investimento na instalação do equipamento e de resultados da sua aplicação prática em Presidente Prudente.

Tabela 2 - Exemplos de orçamento de instalação de filtro à base de resina de troca iônica.

Fatores de Funcionamento e Instalação	Condições de Aplicação e Custos	
	Poço A	Poço B
Vazão em m^3/h	12	18
Tempo de operação (h/dia)	8	8
Teor de NO_3^- (mg/L)	40	80
Período para regeneração da resina (dias)	quatro	Quatro
Volume de resina (l)	900	1.150
Regenerante da resina	Solução de NaCl a 10%	Solução de NaCl a 10%
Custo em R\$ do equipamento instalado (junho/2004)	20.495	61.4888,48
Custo em US\$ do equipamento instalado (junho/2004)	6,445.00	19,336.00

Fontes: Sanebrás Ltda. e Potabile Tratamento de Água Ltda.

Tabela 3 - Alguns resultados da aplicação do método da resina de troca iônica

Poço	Teor de N nítrico (mg/L)	
	Antes do tratamento	Após o tratamento
1	22,00	4,50
2	20,00	3,95
3	21,20	1,90
4	15,00	1,67
5	20,50	0,15
6	28,20	1,20
7	14,25	4,55
8	19,00	3,22

Fonte: Instituto Adolfo Lutz

Os dados da Tabela 3 significam a obtenção de resultados positivos com a aplicação do sistema, não se podendo contestar a sua eficiência. Entretanto, deve ser salientado que, no caso do Poço B apresentado na Tabela 2, o investimento para a instalação do sistema ultrapassa aquele suficiente para a perfuração e instalação completa de um poço capaz de fornecer uma vazão de 18 m³/h em Presidente Prudente, considerando-se aqui os fatores hidrogeológicos e os preços atualmente cobrados nesta cidade pelo serviço de perfuração de poços tubulares.

CONCLUSÕES

A contaminação por nitrato nas águas subterrâneas em Presidente Prudente é um dano ambiental significativo, devido à localização bem definida de uma zona imprópria para a captação de recursos hídricos subterrâneos e à importância assumida por estes recursos nesta cidade. Na área não recomendável para captação, que mede 8.270.000 m², são concentradas atividades comerciais, industriais, hoteleiras e hospitalares de importância vital para a cidade.

Uma área de 16.610.000 m², circundante desta área mais problemática, assim como outras pequenas áreas, delimitadas pela isolinha correspondente ao teor de 5 mg/L de N nítrico, devem ser consideradas como zonas de risco para a exploração de águas subterrâneas.

As providências para o enfrentamento do problema estão restritas por enquanto à iniciativa própria de cada um dos exploradores das águas subterrâneas, consistindo no uso, reconhecidamente dispendioso, de sistemas redutores do teor de nitrato. Como se pode depreender de propostas de fornecedores deste equipamento, em determinados casos a sua aquisição e instalação exigem investimento superior ao da própria construção do poço ao qual ele deve estar associado. Este fato

deve ser enquadrado dentro de uma questão crescentemente importante na problemática da deterioração dos recursos naturais, que é a do custo exigido para a reparação dos danos causados pelo ser humano na sua relação com o meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] LERNER, D. N.; YANG, Y.; BARRETT, M. H.; TELLAM, J. H. *Loading of non-agricultural nitrogen in urban groundwater*, IAHS-AISH Publication. 259; 117-123. 1999.
- [2] WHITEHEAD, E.; HISCOCK, K.; DENNIS, P. *Evidence for sewage contamination of the Sherwood Sandstone aquifer beneath Liverpool, UK*, IAHS-AISH Publication. 259; Pages 179-185. 1999.
- [3] ZILBERBRAND, M.; ROSENTHAL, E.; SHACHNAI, E. *Impact of urbanization on hydrochemical evolution of groundwater and on unsaturated-zone gas composition in the coastal city of Tel Aviv, Israel*. *Journal of Contaminant Hydrology*. 50; 3-4: 175-208. 2001.
- [4] CASTRO, S.C. S.; ARID, F. M.; SANTOS, C. C. M.; SILVA, R. A.; CUNHA, I. P. *Contaminação por água subterrânea em São José do Rio Preto (SP): Contaminação por nitratos*, in: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 7, Belo Horizonte, Anais...ABAS, Belo Horizonte, 103-107, 1992.
- [5] GODOY, M. C. T. F. Estudo Hidrogeológico das Zonas Não Saturada e Saturada da Formação Adamantina em Presidente Prudente, Estado de São Paulo, São Paulo, Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1999, 156 p.
- [6] CETESB. Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo 1998-2000, São Paulo: CETESB, 2001, 96p.+anexos
- [7] GREGG, J.C. *Ion-Exchange System to Treat High-Nitrate Well Water*, *Public Works*, Vol 103, No 9, p. 81, September, 1972.
- [8] SHEINKER, M.; CODOLUTO, J.P. *Making Water Supply Nitrate Removal Practicable*, *Public Works* Vol 108, No 6, p 71-73, June, 1977.
- [9] BRASIL – MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO E GESTÃO – FUNDAÇÃO IBGE – Censo/População/Municípios www.ibge.gov.br, 2004
- [10] 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
- [11] 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, v.1, p.46-81, 1981

- [12] FERNANDES, L. A. - Estratigrafia e Evolução Geológica da Parte Oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil) São Paulo, Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1998, 235 p.
- [13] CAMPOS, H. C. N. S. Contribuição ao Estudo Hidrogeoquímico do Grupo Bauru no Estado de São Paulo. São Paulo, Dissertação (Mestrado em Geologia Geral de Aplicação) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1987, 157p.