

METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DOS PADRÕES DE OCUPAÇÃO URBANA E CONTAMINAÇÃO POR NITRATO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SISTEMA AQUÍFERO BAURU, CENTRO-OESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO

Claudia Varnier¹; Sandra Procel Guerra²; Ricardo Hirata³

Resumo – O Sistema Aquífero Bauru é um dos mais extensos reservatórios subterrâneos do Estado de São Paulo e o mais intensivamente explorado. Altas concentrações de nitrato, acima do padrão de potabilidade, foram detectadas em vários poços tubulares e cacimbas, situados nas áreas urbanas dos municípios da região centro-oeste do interior paulista. O objetivo principal deste trabalho consiste em propor uma metodologia para avaliação do incremento nas concentrações de nitrato nas águas subterrâneas em áreas urbanas, a partir dos padrões de ocupação do terreno. Três cidades (Bauru, Marília e Presidente Prudente) serão estudadas em detalhe e servirão como áreas pilotos. As atividades previstas compreendem o cadastro das fontes potenciais de contaminação (fossas sépticas e negras, fugas das redes de esgoto), dos poços tubulares, coleta de amostras de água subterrânea para análises físico-químicas, químicas e isótopos estáveis ($^{15}\text{N}_{\text{NH}_4}$, $^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$, $^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$), elaboração de mapas de uso e ocupação do solo e estimativas das cargas potenciais de nitrato. Acredita-se que os resultados deste estudo possam definir relações entre as densidades de ocupação e saneamento e as concentrações de nitrato, bem como estabelecer critérios e recomendações que permitam nortear os poderes públicos na elaboração de programas de proteção dos aquíferos no Estado de São Paulo.

Abstract – The Bauru Aquifer System is one of the largest groundwater reservoirs of the São Paulo State and it is the most extensively and intensively exploited. Concentrations of nitrate, above the drinking water standard, were detected in several deep drilling and shallow (dug) wells, located at the urban areas of mid-western cities in the São Paulo State. The main objective of this study is the proposition of a methodology to evaluate the trends in increment of nitrate concentrations in groundwater in relation to urban

¹ Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, Brasil. Av. Miguel Stéfano, 3900, CEP 043301-903. São Paulo (SP), Brasil. Fone (55 11) 5073-5511 (r. 2046). E-mail: claudia.varnier@igeologico.sp.gov.br

² Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Brasil. Rua do Lago, 562, CEP 05508-080. Cidade Universitária, São Paulo (SP), Brasil. Fone (55 11) 3091-4804. E-mail: sandraprocelq@usp.br

³ Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Brasil. Rua do Lago, 562, CEP 05508-080. Cidade Universitária, São Paulo (SP), Brasil. Fone (55 11) 3091-4230. E-mail: thirata@usp.br

development, based on the detailed study in three pilot areas (Bauru, Marília and Presidente Prudente). The expected activities include the potential of contamination sources (septic tanks, cesspits and wastewater disposal leakage) and deep drilling wells registers, groundwater sampling for physico-chemical, chemical and stable isotopes analyses ($^{15}\text{N}_{\text{NH}_4}$, $^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$, $^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$), compilation of land use maps and estimation of potential nitrate concentrations. It is believed that results of this study can define the relationship between urban densities, sanitation system and nitrate concentrations, as well as the establishment of criteria and recommendations that provide the public authorities the elaboration of aquifer protection programs in the São Paulo State.

Palavras-Chave – nitrato, áreas urbanas, Sistema Aquífero Bauru

1. INTRODUÇÃO

A ocorrência de nitrato em aquíferos tem preocupado administradores dos recursos hídricos em diversos municípios brasileiros, dado que este é o contaminante mais comumente encontrado. Este parâmetro é utilizado, mundialmente, como indicador da contaminação das águas subterrâneas devido à sua alta mobilidade, podendo atingir extensas áreas.

Uma das fontes potenciais de nitrato são os sistemas de saneamento, dos quais se destacam as fossas sépticas e negras, bem como redes coletoras mal projetadas ou com baixa manutenção, que contribuem para a contaminação em áreas urbanas, sobretudo nos locais de grande densidade populacional. Além dos compostos nitrogenados, destaca-se também a presença de contaminantes microbiológicos (bactérias patogênicas e vírus) e, em alguns casos, compostos orgânicos sintéticos.

Altas concentrações de nitrato, muitas vezes excedendo os valores de potabilidade ($10 \text{ mg/L NO}_3^- \text{ - N}$, Portaria nº 518/04 do Ministério da Saúde), foram detectadas em poços tubulares e cacimbas, situados nas áreas urbanas de diversos municípios do Estado de São Paulo. Alguns estudos apontaram que várias dezenas de cidades estão convivendo com esse problema^{[1], [2]}, incluindo grandes centros como São José do Rio Preto^[3], Bauru^{[4], [5]}, Marília, Presidente Prudente^[6], entre outros. Tais municípios são parcial ou totalmente abastecidos pelas águas do Sistema Aquífero Bauru, que ocupa uma área de aproximadamente 47% do território paulista (96.880 km^2). Este aquífero, por comportar-se

principalmente como livre e possuir grande área de afloramento, é o que apresenta maior vulnerabilidade à contaminação antrópica, com os mais elevados valores de nitrato nas águas subterrâneas no Estado de São Paulo.

Nos últimos 50 anos, muitas dessas áreas sofreram um forte processo de urbanização, inicialmente sem instalação de rede de esgoto, lançando o efluente *in natura* no solo. Com a instituição do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), na década de 70, os estados constituíram empresas públicas ou sociedades de economia mista (Companhias Estaduais de Saneamento Básico – CESBs), que passaram a prestar o serviço aos municípios, mediante a celebração de contratos de concessão bem como investir em implantação de redes coletoras de esgotos. Mesmo com a considerável extensão de tais redes implantadas nas cidades paulistas, o nitrogênio remanescente no solo continua em grande volume nas zonas não-saturada e saturada do Sistema Aquífero Bauru.

A solução desse problema é complexa e as perguntas que se colocam referem-se à: i) carga de nitrogênio que é lançada através dos sistemas de saneamento, e ii) relação entre urbanização e a evolução deste contaminante nas águas subterrâneas. Adicionalmente, o conhecimento do histórico do uso do solo e padrão de ocupação em áreas urbanas ao longo do tempo, somada à carga de nitrogênio lançada por essas fontes de contaminação, será necessário para definir se o aumento nas concentrações de nitrato no aquífero é resultante deste estilo de ocupação.

Alguns estudos apontaram a relação entre os padrões de concentrações de nitrato nas águas subterrâneas e os de ocupação urbana^{[6], [7], [8], [9], [10], [11]} mediante o uso de diferentes ferramentas.

Cagnon & Hirata^[8] procuraram estabelecer uma relação entre a contaminação das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru por nitrato e os padrões de urbanização no município de Urânia (SP) desde 1950 até 2000. Nesta avaliação, realizou-se um levantamento das principais fontes de contaminação bem como estudo do uso e histórico de ocupação do solo por meio de fotografias aéreas de diferentes décadas, imagens de satélite, trabalhos de campo, análises químicas e de $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ em amostras de água. Os resultados obtidos mostraram uma contaminação antrópica e multipontual, do tipo fossas negras, instaladas na área urbana do município desde a década de 50. As maiores concentrações de nitrato foram observadas nas porções mais rasas do aquífero, sobretudo a nordeste da cidade, onde há maior densidade dessas fossas.

Drake & Bauder^[9] utilizaram sistema de informação geográfica (SIG) e métodos estatísticos para estudar a relação entre os padrões de ocupação urbana/uso do solo e as

variações espaciais e temporais nas concentrações de nitrato entre os anos de 1971 e 2003 no Estado de Montana (EUA). Os resultados indicaram que houve aumento nas concentrações desse contaminante em áreas com rápido crescimento populacional e que estariam associadas à alta densidade de fossas sépticas irregulares. Segundo estes autores, os métodos estatísticos combinados aos do SIG podem ser utilizados para avaliar amplas áreas indicando, tanto visual como matematicamente, a relação entre as mudanças no uso do solo e a concentração de nitrato ao longo do tempo.

Xu et al.^[11], em estudo similar ao de Drake & Bauder^[9], verificaram os padrões de concentração de nitrato durante um período de 60 anos, em mais de 200 poços situados em Phoenix e arredores (Arizona, EUA), utilizando SIG. Tais informações, combinadas com aquelas referentes aos mapas de uso do solo, nível d'água e aspectos construtivos dos poços, foram usadas para avaliar as mudanças nas concentrações de nitrato e sua relação com o uso do solo e padrões de ocupação urbana.

Adicionalmente, Reynolds-Vargas et al.^[10], verificaram os padrões de concentração de nitrato bem como sua origem nas águas subterrâneas do Vale Central (Costa Rica) através de isótopos estáveis ($^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ e $^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$) e dados hidrogeoquímicos. Os resultados obtidos apontaram correspondência entre padrões de ocupação urbana e assinatura isotópica do nitrogênio nas águas subterrâneas. Segundo os autores, os processos de urbanização, com a disposição inadequada dos sistemas sépticos, em substituição às plantações de café, é a provável causa do aumento de até 40% nas concentrações de nitrato no aquífero estudado.

Diante desses resultados, o estudo propõe avaliar as tendências de incremento nas concentrações de nitrato no Sistema Aquífero Bauru, ao longo do tempo e do espaço, frente ao estilo de ocupação urbana, procurando estabelecer um padrão de causa e efeito entre a fonte e o impacto deste contaminante nas águas subterrâneas.

2. ÁREA DE ESTUDO

As áreas escolhidas para o desenvolvimento deste estudo compreendem os municípios de Bauru, Marília e Presidente Prudente, situados na região centro-oeste do Estado de São Paulo (Figura 1). Estes locais foram selecionados por apresentarem concentrações de nitrato nas águas subterrâneas acima do valor máximo permissível para o consumo humano, conforme apontado em diversos trabalhos^{[2], [4], [6], [5], [12]} e pelo fato do Sistema Aquífero Bauru constituir em importante fonte de abastecimento de água à população.

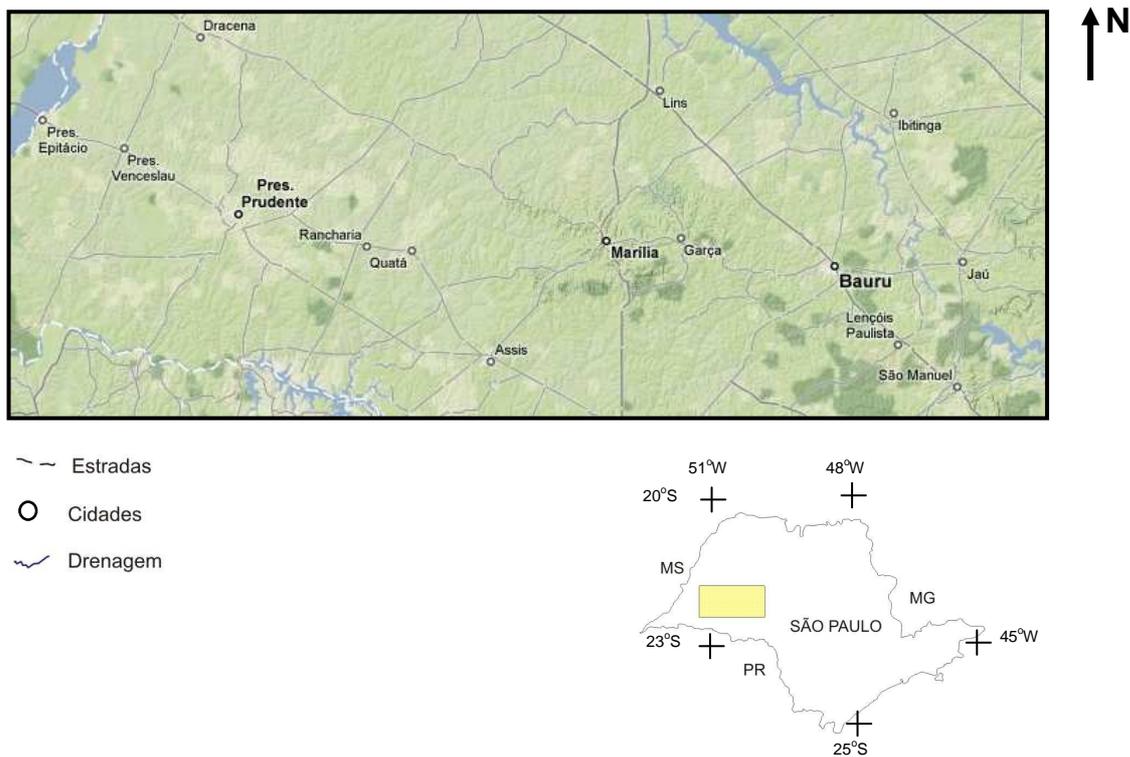


Figura 1. Localização da área estudo^[13].

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia aqui apresentada engloba uma série de atividades integrando diversas áreas dos quais incluem trabalhos em hidrogeologia, hidroquímica, hidroquímica isotópica, fotointerpretação, geoestatística e SIG. As etapas de trabalho propostas são descritas abaixo:

- *Cadastro de poços*: efetuado junto às concessionárias de água, prefeituras municipais, vigilância sanitária, empresas de perfuração e demais órgãos competentes. Pretende-se com este cadastro, reunir informações sobre as características hidráulicas e construtivas dos poços, geologia, qualidade da água, dos quais incluem os registros históricos das concentrações de nitrato. Os resultados desta etapa fornecerão um primeiro diagnóstico das distribuições sazonal e espacial das concentrações de nitrato. Isto auxiliará na seleção dos poços mais representativos para realização de futuras análises físico-químicas, químicas e isotópicas em amostras de água, bem como conhecer melhor a hidrogeologia da área de estudo.
- *Levantamento da situação do esgotamento sanitário e evolução histórica*: será feito um levantamento das redes de água e esgoto e sua evolução ao longo do tempo junto às prefeituras municipais, operadoras dos sistemas de abastecimento

de água e esgotamento sanitário. Paralelamente, será realizado um estudo do histórico do uso e ocupação do solo, através de fotografias aéreas e imagens de satélite. A partir dos registros históricos de esgotamento sanitário e dos poços selecionados, uma comparação será feita entre tais dados com aqueles referentes ao crescimento populacional, mediante a interpolação dos dados demográficos para diferentes décadas.

- *Hidrogeoquímica do nitrogênio nas águas subterrâneas*: A presença e a concentração dos compostos nitrogenados no Sistema Aquífero Bauru serão determinadas a partir da coleta de amostras de água em poços selecionados. Os parâmetros medidos incluem: i) físico-químicos (pH, Eh, condutividade elétrica, temperatura e oxigênio dissolvido), ii) íons maiores (sódio, potássio, cálcio, magnésio, bicarbonato/carbonato, cloreto e sulfato), série nitrogenada (nitrogênios total e orgânico, amônio, nitrito e nitrato), iii) sílica; iv) carbono orgânico dissolvido (COD) e v) isótopos estáveis ($^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$, $^{15}\text{O}_{\text{NO}_3}$, $^{15}\text{N}_{\text{NH}_4}$).
- *Estimativa da carga potencial de nitrogênio*: A zona de captura (ZOC) consiste na área de recarga de um poço de captação de água subterrânea. Em aquíferos livres, toda a água que infiltrar na superfície do terreno dentro da área determinada pela ZOC poderá atingir o poço. Consequentemente, uma determinada carga contaminante que for depositada sobre esta área poderá, em função de suas características físico-químicas, se movimentar e atingi-lo. Partindo deste conceito, a ZOC dos poços selecionados para cada município será definida através do método de raio fixo calculado ou método de formato definido, conforme descrito na literatura^[14]. A estimativa da carga potencial de nitrato, proveniente de cada fonte e associada a cada uma dessas ZOCs, será determinada segundo método proposto por Foster & Hirata^[15].

4. CONCLUSÕES

Acredita-se que a integração dos dados da metodologia proposta permita definir a correlação entre as densidades de ocupação e saneamento e as concentrações de nitrato nas áreas urbanas dos municípios, frente ao crescimento populacional nos últimos anos. Tais resultados permitirão estabelecer critérios e recomendações que auxiliem o poder público na política de proteção das águas subterrâneas do Estado de São Paulo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]Campos, H.; Hirata, R.; Rocha, G.; Mistreta, G. (1994). Origem e ocorrência de nitrato nos aquíferos do Estado de São Paulo, Brasil. In: II CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDROGEOLOGIA SUBTERRÂNEA, Santiago, 1994. Santiago, v. 1, p. 111-126.
- [2]Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. (2007). Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo 2004-2006. São Paulo, CETESB. 199p.
- [3]Barcha, S.F. (1980). *Aspectos geológicos e províncias hidrogeológicas da Formação Bauru na região norte-ocidental do Estado de São Paulo*. São José do Rio Preto, 209p. Tese (Livre Docência), Universidade Estadual Paulista.
- [4]Hirata, R. (2000). *Estudo da contaminação por nitrato no Distrito de Tibiriçá, Bauru. Relatório técnico*, DAE/IGc-USP. 2v.
- [5]Giafferis, G.P.; Oliveira, E.L. (2006). Investigação da qualidade das águas subterrâneas do município de Bauru. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, Curitiba, 2006. *Anais*. Curitiba, ABAS. (CD-ROM).
- [6]Godoy, M.T.F; Boin, M.; Sanaiotti, D.; Silva, J. (2004). Contaminação das águas subterrâneas por nitrato em Presidente Prudente – SP, Brasil. *Revista Instituto Adolfo Lutz*, v. 63, n. 2, p. 208-214.
- [7]Lowe, M.; Wallace, J.; Bishop, C.E. (2000). Analysis of septic tank density for three areas in Cedar Valley, Iron County, Utah - A case study for evaluations of proposed subdivisions in Cedar Valley. *Water Resource Bulletin*, v. 27. Salt Lake City, Utah. Utah Geological Survey.
- [8]Cagnon F. & Hirata, R. (2004). Source of nitrate in the groundwater of Adamantina Aquifer in Urania, SP – Brazil. In: XXXIII INTERNATIONAL ASSOCIATION OF HYDROGEOLOGISTS (IAH) CONGRESS, Zacatecas, 2004. *Anais*. Zacatecas, IAH. (CD-ROM).
- [9]Drake, V.M.; Bauder, J.W. (2005). Ground water nitrate-nitrogen trends in relation to urban development, Helena Montana, 1971-2003. *Ground Water Monitoring and Remediation*, v. 25, n. 2, p. 118-130.
- [10]Reynolds-Vargas, J.; Fraile, J.; Hirata, R. (2006). Trends in nitrate concentrations and determination of their origin using stable isotopes (^{18}O and ^{15}N) in groundwater of the

western Central Valley, Costa Rica. *Ambio: A Journal of the Human Environment*, v. 35, n. 5, p. 229–236.

[11] Xu, Y.; Baker, L.A.; Johnson, P.C. (2007). Trends in ground water nitrate contamination in the Phoenix, Arizona Region. *Ground Water Monitoring and Remediation*, v. 27, n. 2, p. 49-56.

[12] Giafferis, G.P.; Oliveira, E.L. (2007). Gestão da qualidade das águas subterrâneas, pela autarquia municipal de água, no município de Bauru-SP. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, São Paulo, 2007. *Anais*. São Paulo, ABRH. (CD-ROM).

[13] Google Maps. (2009). Mapas Brasil. URL <http://maps.google.com.br/maps?hl=pt-BR&q=Giselda%20Passos%20Giafferis%20%2Blattes&um=1&ie=UTF-8&sa=N&tab=wl>.

[14] United States Environmental Protection Agency. (1994). Ground Water and Wellhead Protection. Washington: Office of Water.

[15] Foster, S. & Hirata, R. (1988). *Groundwater Pollution Risk Assessment: A Methodology Using Available Data*. Lima, CEPIS-PAHOWHO. 89p.