

AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA OCORRÊNCIA DE NITRATO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO (SP)

Luciana Martin Rodrigues Ferreira¹; Mara Akie Iritani¹; Márcia Maria Nogueira Pressinotti¹; Cláudio Luis Dias²; Dorothy Carmen Pinatti Casarini²; Felipe Silva Silles¹

Resumo

O município de Ribeirão Preto é um pólo de desenvolvimento regional da porção nordeste do Estado de São Paulo. O abastecimento de água provém em 100% do Sistema Aquífero Guarani e parte do município situa-se na área de afloramento deste aquífero, onde a vulnerabilidade natural é elevada, indicando maiores riscos de contaminação.

O objetivo principal deste trabalho foi realizar uma avaliação, a partir de dados existentes, da ocorrência de nitrato nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani no município de Ribeirão Preto.

Foram obtidos resultados de análises químicas deste íon para os períodos secos e chuvosos dos anos de 1997 a 2001. A maior parte das amostras (60 a 90%) apresentou valores de nitrogênio-nitrato entre 0 e 1,0 mg/L. Somente em uma pequena proporção (2 a 5%) dos poços foram detectados teores acima de 5 mg/L de N-NO₃⁻. Destes, apenas 1% apresentou problemas quanto à potabilidade para este parâmetro (valores acima de 10 mg/L de N-NO₃⁻). Os valores mais elevados foram encontrados em poços localizados ao longo dos principais córregos da cidade, indicando que as águas superficiais são a possível fonte de contaminação.

Palavras-chave – nitrato, Sistema Aquífero Guarani, qualidade da água subterrânea

Abstract

Ribeirão Preto municipality is a regional development area in the Northeast portion of the State of São Paulo. The water supply comes 100% from the Guarani Aquifer System and the municipality is located in the outcrop of this aquifer, where the natural vulnerability is elevated, indicating higher contamination risks.

The main goal of this work was to evaluate the presence of nitrate in the groundwater from the Guarani Aquifer System in the Ribeirão Preto municipality based on existing data.

It was collected results from water analysis of this ion in the dry and wet seasons from 1997 to 2001. The most samples (60 to 90%) presented values from N-NO₃⁻ ranging from 0 and 1.0 mg/L. Only in a few wells (2 to 5%) it was detected values over than 5 mg/L. In this wells, only 1%

¹ Instituto Geológico – IG/SMA, Av. Miguel Stéfano 3.900 Água Funda, São Paulo - SP, Brasil. CEP 04301-903. Tel. 55-11-5073-5511 ramal 2048. e-mail: lumartin@igeologico.sp.gov.br; mara.iritani@igeologico.sp.gov.br; mpressinotti@igeologico.sp.gov.br

² Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. Av. Frederico Hermann Jr. 354 Pinheiros. São Paulo - SP. CEP 0549-900. Tel: 55-11-3030-6864. e-mail: claudiod@cetesbnet.sp.gov.br; dorothy@cetesbnet.sp.gov.br

presented values over than the water standard (over than 10 mg/L de N-NO₃⁻). The higher values were found in wells located near to the main rivers of the city, indicating that the surface water is the possible contamination source.

Key-words – nitrate, Guarani Aquifer System, groundwater quality

1 - Introdução

O município de Ribeirão Preto é considerado um pólo de desenvolvimento regional da porção nordeste do Estado de São Paulo e tem 100% do seu abastecimento de água proveniente do Sistema Aquífero Guarani. Parte do município situa-se na área de afloramento desta unidade aquífera, onde a vulnerabilidade natural é mais elevada, indicando maiores riscos de contaminação, como apontado no Mapa de Vulnerabilidade e Risco à Contaminação das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo (IG/DAEE/CETESB 1997^[1]).

Com uma área de 642 km² e cerca de 505.000 habitantes, a maioria concentrada na área urbana, Ribeirão Preto apresenta grande crescimento urbano e desenvolvimento econômico. A área urbana ocupa toda a parte norte do município, com tendências de expansão ao longo das principais rodovias.

O Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo de 2001-2003 (CETESB 2004^[2]) apontou a ocorrência de concentrações de nitrogênio-nitrato acima de 5 mg/L em amostras coletadas em poços que exploram principalmente o Sistema Aquífero Bauru e alguns que exploram o Sistema Aquífero Guarani em diversos centros urbanos no Estado de São Paulo. Alguns estudos constataram concentrações anômalas de nitrato nas águas subterrâneas na região urbana de Ribeirão Preto desde o início da década de 70 (Sinelli 1971^[3], Sinelli 1974^[4], Sinelli *et al.* 1980^[5] e Gallo & Sinelli 1980^[6]).

Em águas subterrâneas fortemente oxidantes, o nitrato é a forma mais estável de nitrogênio dissolvido. Ele se move com o fluxo advectivo da água subterrânea, sem sofrer transformação, com pouca ou nenhuma retardação (Freeze & Cherry 1979^[7]).

Considerando o exposto acima, o objetivo principal deste trabalho foi realizar uma avaliação, a partir de dados existentes, da ocorrência de nitrato nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani no município de Ribeirão Preto, de forma a verificar a necessidade de estudos futuros mais aprofundados.

2 - Área de estudo

2.1 - Características Gerais

O município de Ribeirão Preto localiza-se a cerca de 315 km de distância da capital paulista (Figura 1), está contido entre os paralelos 21° e 21° 30' Sul e meridianos 47° 30' e 48° Oeste (coordenadas 190 a 225 km Oeste e 7630 a 7670 km Sul) e a principal via de acesso ao município é a Rodovia Anhanguera (SP-330).

A maior parte do município encontra-se na bacia hidrográfica do rio Pardo. O ribeirão Preto, com direção de sul para norte, é o principal tributário do rio Pardo, englobando grande parte da área do município em sua bacia hidrográfica (Figura 1). Apenas a porção meridional do município está

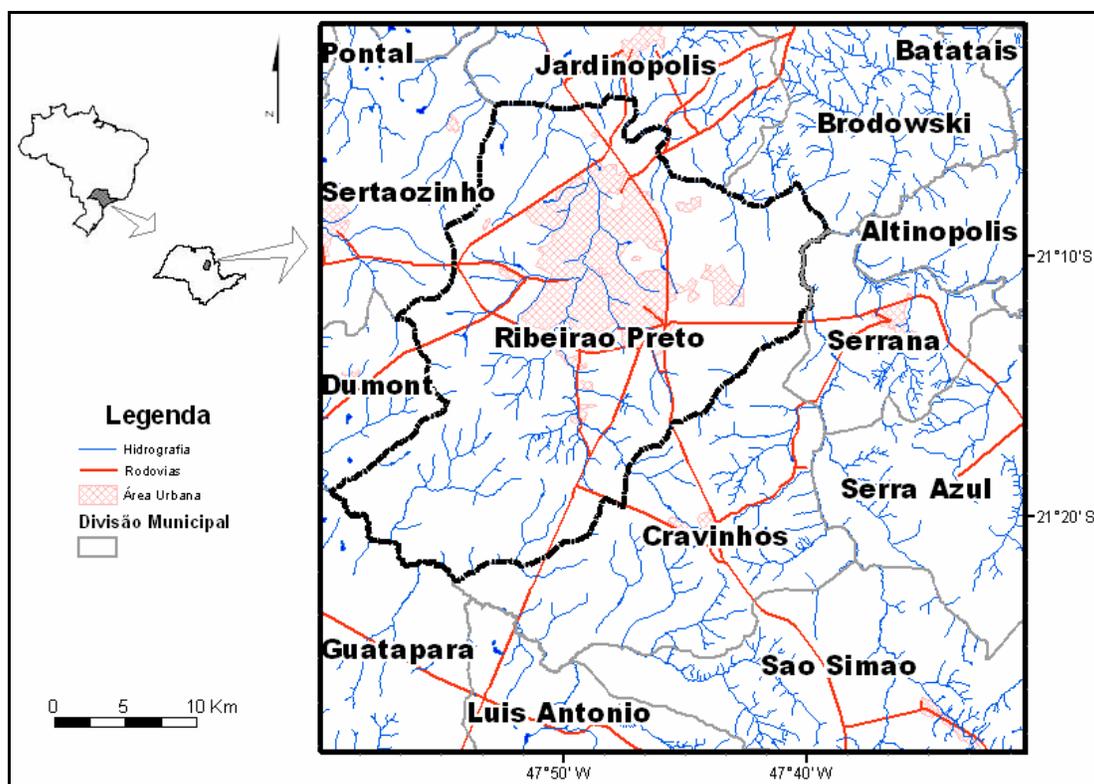


Figura 1 – Mapa de localização do município de Ribeirão Preto

localizada na bacia hidrográfica do rio Mogi-Guaçu, que corre ao sul de Ribeirão Preto. De acordo com o Sistema de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, o município de Ribeirão Preto pertence à UGRHI 4.

A pluviosidade média anual do período compreendido entre os anos de 1997 e 2001 foi de 1417 mm/ano e a variação da pluviosidade média mensal pode ser observada na Figura 2. Os dados de pluviosidade foram obtidos na página www.sigrh.sp.gov.br para o ponto C4-075 localizado nas coordenadas 21°06' Sul e 47°45' Oeste no município de Ribeirão Preto.

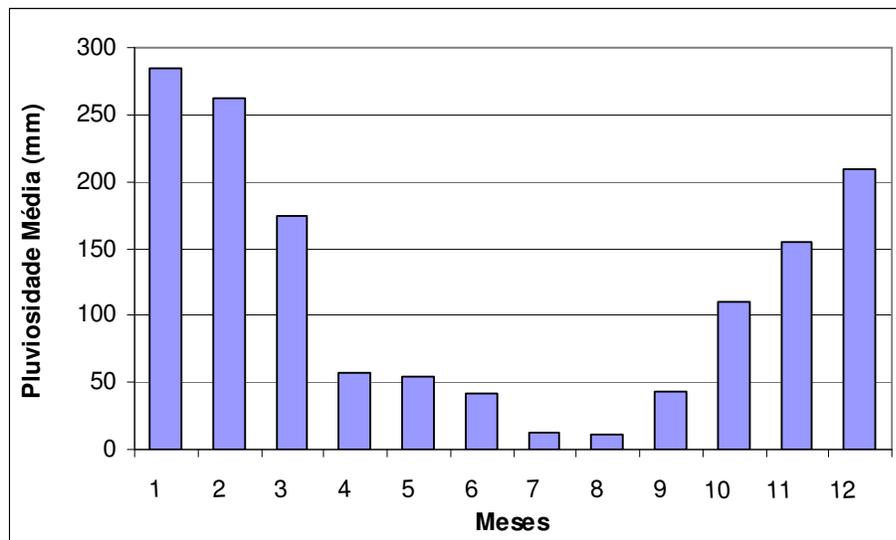


Figura 2 – Variação da pluviosidade média mensal entre os anos de 1997 e 2001

2.2 - Geologia

O município de Ribeirão Preto localiza-se na borda leste da Bacia Sedimentar do Paraná, onde afloram as rochas do Grupo São Bento: sedimentos das formações Pirambóia e Botucatu e rochas básicas da Formação Serra Geral (Figura 3).

Em profundidade ocorre a Formação Pirambóia, subjacente à Formação Botucatu, composta por sedimentos arenosos, com significativo conteúdo de argila, de ambiente predominantemente fluvial e localmente lacustrino, de idade triássica-jurássica. Os arenitos possuem, em geral, granulação média a fina, com porções argilosas com maior frequência na base da formação (IPT 1981^[8]). Segundo Sinelli *et al.* (1980^[5]), a espessura desta formação não deve ultrapassar 140 metros na região de Ribeirão Preto. Entretanto, esta espessura é difícil de ser determinada em função dos diversos corpos intrusivos de diabásios.

A Formação Botucatu assenta-se sobre a Formação Pirambóia ora em contato concordante, com modificação gradual da litologia, ora através de mudança erosiva brusca. Esta unidade geológica é composta praticamente por arenitos eólicos uniformes, de granulação fina a média, bem selecionados, de idade jurássica - cretácica inferior. Devido à interdigitação com os basaltos, a espessura desta formação apresenta variações consideráveis (Soares *et al.* 1973^[9]), sendo que DAEE (1974^[10]) estimou que a espessura não deve ultrapassar 90 a 100 metros na região de Ribeirão Preto.

A Formação Serra Geral, de idade jurássica - cretácica, é composta por um conjunto de derrames basálticos, muitas vezes intercalados com os arenitos da Formação Botucatu, formando os arenitos intertrappianos, cujas espessuras podem variar desde centímetros a até 50 metros (IPT 1981^[8]). Estes intertrapps costumam ser mais frequentes na parte inferior da Formação Serra Geral,

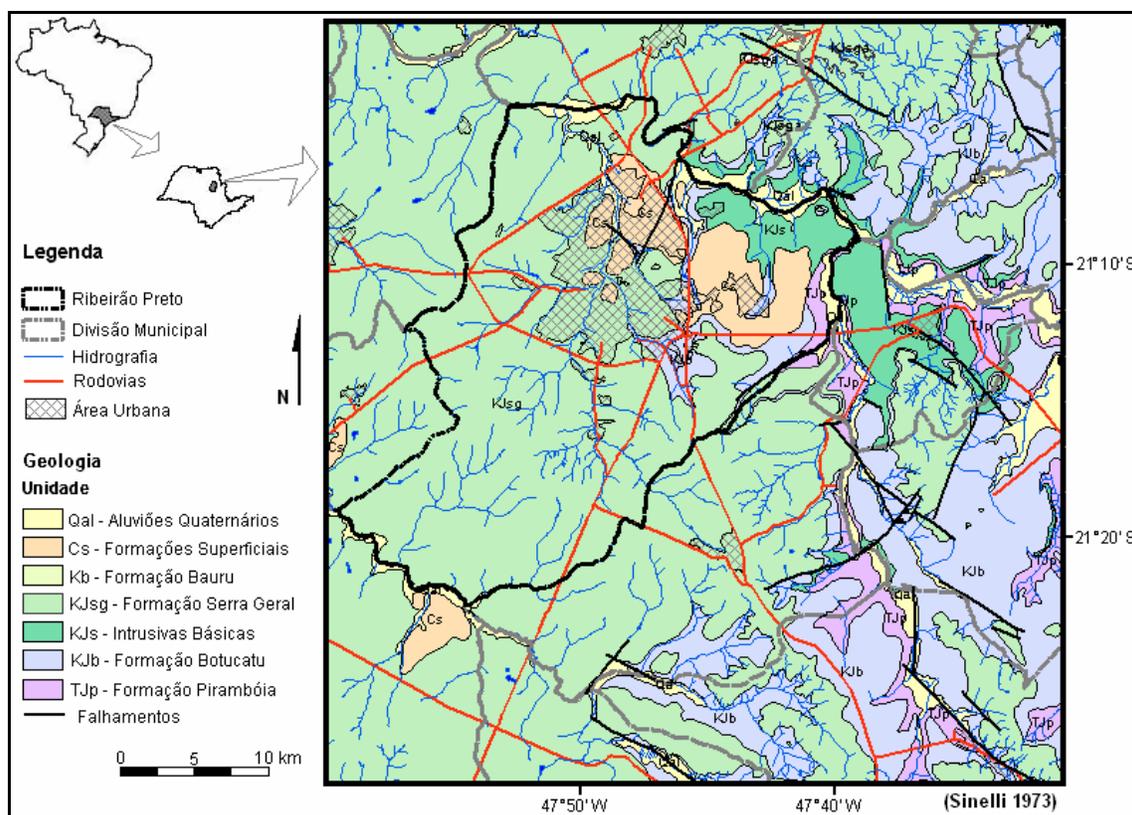


Figura 3 – Mapa geológico da região de Ribeirão Preto (compilado de Sinelli 1973^[11])

ocorrendo em grande escala e dificultando, com isso, a sua delimitação com a Formação Botucatu. Associam-se ainda a esta formação, corpos intrusivos, principalmente diques e *sills*, sendo muitas vezes, difícil a diferenciação com os derrames.

Sobreposto à Formação Serra Geral e à Formação Botucatu existem sedimentos cenozóicos arenosos passando a areno-argilosos, com ocorrência predominante nas porções norte e nordeste do município e com espessuras da ordem de 20 metros (Sinelli 1971^[3]).

Ao longo dos terraços das principais drenagens concentram-se sedimentos aluvionares recentes compostos por areias com ou sem cascalheiras basais (Soares *et al.* 1973^[9]).

2.3 - Hidrogeologia

O Sistema Aquífero Guarani, principal manancial do município, é composto pelos sedimentos arenosos das formações Pirambóia e Botucatu. No município de Ribeirão Preto, parte desta unidade aquífera é confinada pelos derrames basálticos do Aquífero Serra Geral, especificamente na porção oeste e sul (Figura 3). Na região nordeste do município o Aquífero Guarani é aflorante. Segundo Sinelli *et al.* (1980^[5]) o Aquífero Guarani passa a ter comportamento plenamente confinado a partir de 70 metros de espessura de basalto sobrejacente. Entretanto, o bombeamento intensivo na região

urbana do município causa um extenso cone de rebaixamento, alterando as características de fluxo da água subterrânea na região e a condição de ocorrência deste aquífero.

Ainda segundo Sinelli *et al.* (1980^[5]) a espessura desta unidade aquífera pode chegar a 180 metros na área aflorante e a 220 metros na porção confinada. Em um poço cadastrado na área de afloramento, a base do Aquífero Guarani foi encontrada a 370 metros de profundidade, sendo que o pacote sedimentar é cortado por intrusões de rocha básica (SMA & STMUGV 2004^[12]).

Confinando o Aquífero Guarani encontra-se o Aquífero Serra Geral, onde a circulação da água subterrânea está relacionada a fraturas e falhas. De acordo com Fernandes *et al.* (2005^[13]), a espessura média desta unidade aquífera, na região de Ribeirão Preto, é de cerca de 90 metros. Alguns poços apresentam espessuras superiores a 150 metros. Os basaltos aflorantes tendem a se espessar no sentido oeste do município, em direção ao interior da Bacia Sedimentar do Paraná. Entretanto, dada a interdigitação com os sedimentos do Aquífero Guarani, esta espessura é difícil de ser determinada com precisão.

Em termos de características hidrodinâmicas gerais, o Aquífero Guarani na região de Ribeirão Preto possui, segundo Sinelli *et al.* (1980^[5]), uma transmissividade média de 636 m²/d. DAEE (1974^[10]), estudando a Região Administrativa 6, encontrou valores de transmissividade variando entre 65 e 240 m²/d. Entretanto, nesses cálculos foram considerados principalmente poços parcialmente penetrantes. A condutividade hidráulica obtida por DAEE (1974^[10]) foi de 4×10^{-5} m/s.

Sinelli *et al.* (1980^[5]) estimaram, com base em amostras analisadas em laboratório, valores de porosidade efetiva da ordem de 0,13 a 0,15. O coeficiente de armazenamento varia, segundo DAEE (1974^[10]), entre 10^{-5} e 10^{-3} . Teissedre *et al.* (1982^[14]) citam valores entre 10^{-6} e 10^{-4} de coeficiente de armazenamento e 0,10 de porosidade efetiva.

DAEE (1974) registrou condutividades hidráulicas ligeiramente inferiores quando se considera apenas a Formação Pirambóia, com valores entre $2,3 \times 10^{-5}$ a $3,5 \times 10^{-5}$ m/s.

O Aquífero Serra Geral apresenta, segundo DAEE (1974^[10]), valores de transmissividade entre 1 e 95 m²/d, com valor médio de 20 m²/d. Montenegro *et al.* (1988^[15]) encontraram valores de transmissividade entre 0,96 a 38,4 m²/d, com maior ocorrência no intervalo de 5,96 a 18,14 m²/d e valor médio de 12,1 m²/d. O coeficiente de armazenamento calculado por DAEE (1974^[10]) varia entre 0,01 e 0,05.

2.4 – Qualidade da água subterrânea

Sinelli (1974^[4]) realizou análises em amostras de água coletadas em poços tubulares profundos situados nas proximidades de cursos d'água da cidade de Ribeirão Preto e verificou possível contaminação por nitratos junto às redes de drenagem em regiões de basalto fraturado. As

concentrações detectadas em 11 poços variaram de 1,07 a 10,20 mg/L de nitrato. Segundo Sinelli *et al.* (1980^[5]), esse elemento não havia sido detectado até 1968, mas estes autores observaram um aumento relativo contínuo em 1974 e 1978 em poços localizados ao longo dos principais córregos da cidade, indicando que as águas superficiais eram a possível fonte de contaminação. Esta indicação foi baseada no estudo de Sinelli (1971^[3]), que observou que as drenagens são bastante condicionadas por estruturas rúpteis. Além disso, Gallo & Sinelli (1980^[6]) mostraram que o aquífero possui comportamento não confinado em parte de Ribeirão Preto, o que implica em maiores velocidades de recarga em comparação com a porção confinada.

A CETESB monitora a qualidade da água bruta dos aquíferos do Estado por meio de análises semestrais. Em Ribeirão Preto, três poços de abastecimento público, que captam água no Aquífero Guarani confinado, fazem parte da rede CETESB de monitoramento de qualidade de água subterrânea. Os resultados obtidos no período entre 1998 e 2003 indicam concentrações abaixo de 0,2 mg/L de nitrogênio-nitrato.

3 - Materiais e Métodos

Considerando a constatação de concentrações anômalas de nitratos na água subterrânea observadas por Sinelli *et al.* (1980^[5]), selecionou-se este parâmetro, por ser um potencial contaminante, para análise da situação dos poços. Foram obtidos resultados de análises de água subterrânea para as estações secas e chuvosas compreendidas durante o período de 1997 a 2001.

Para auxiliar na análise da origem do nitrato no resultado da análise da água de alguns poços foi utilizado um mapa de fotolineamentos, que foi elaborado a partir da interpretação de fotografias aéreas em escala 1:25.000 de 1976.

Os resultados das análises de nitrogênio-nitrato foram plotados em mapas (por período) e relacionados com a proximidade dos cursos d'água superficiais e com o mapa dos fotolineamentos interpretados.

4 - Resultados

Os fotolineamentos interpretados mostram direções predominantemente NE e NW (Figura 4), concordando com as estruturas identificadas por Sinelli (1973^[11]). Estas estruturas fotogeológicas estão muitas vezes associadas às drenagens e são mais marcantes na área de ocorrência dos basaltos, mas também, são observadas na área de afloramento do Aquífero Guarani.

Dessa maneira, acredita-se que estes fotolineamentos reflitam um sistema de fraturamento da região, que pode influenciar o fluxo da água subterrânea.

Avaliando os resultados das análises existentes, observa-se que, de forma geral, as concentrações de nitrogênio-nitrato na água são baixas. A Tabela 1 mostra que os valores medianos

de concentração de nitrogênio-nitrato são inferiores a 0,8 mg/L. As médias são cerca de 2 a 4 vezes superiores a mediana devido a algumas concentrações anômalas que elevam estes valores.

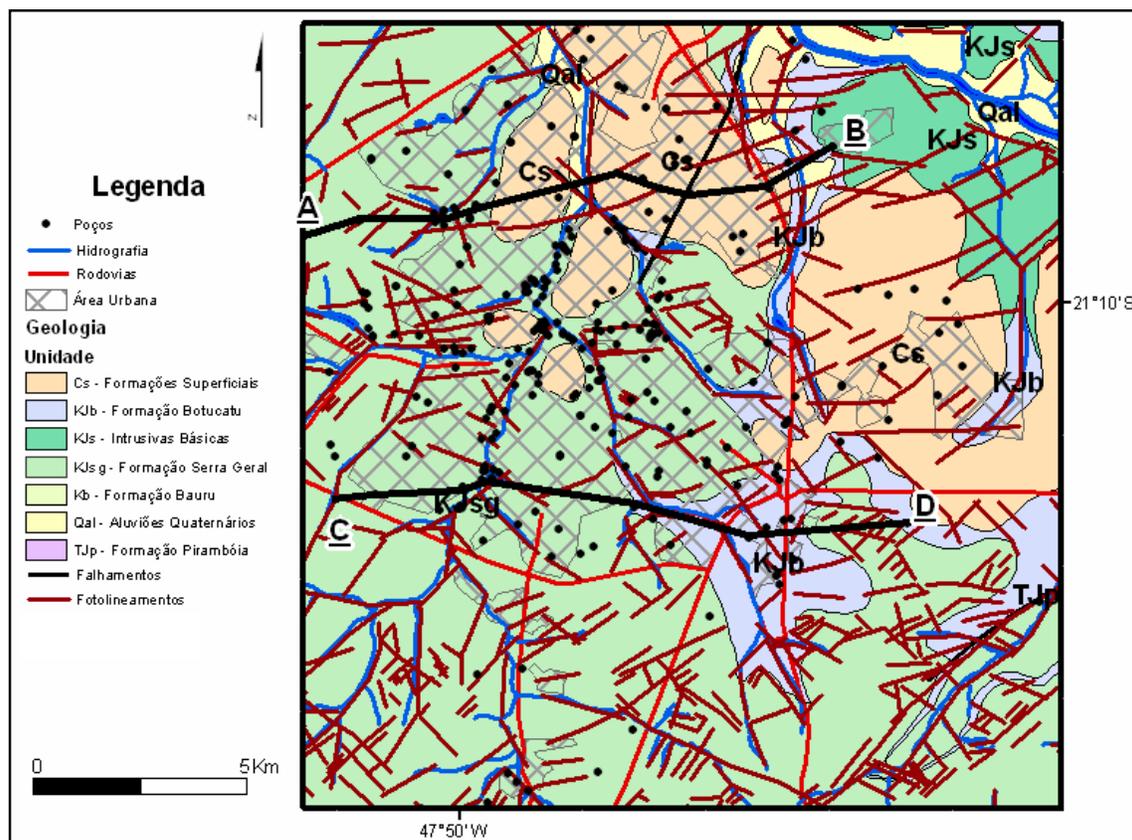


Figura 4 – Fotolineamentos interpretados a partir de fotografias aéreas de Ribeirão Preto (SMA & STMUGV 2004^[12])

Tabela 1 – Valores médios e medianos de nitrogênio-nitrato determinados com base em análises de água existentes de poços do município de Ribeirão Preto (1997-2001)

Período	Nº de poços	Nitrogênio-Nitrato (mg/L)		
		Faixa de valores	Média	Mediana
abr/1997 – seco	78	ND – 13,4	1,12	0,20
nov/1997 – chuvoso	88	ND – 9,90	0,89	0,40
mai /1998 – seco	86	ND – 9,30	1,47	0,80
dez/1998 – chuvoso	90	ND – 9,30	0,79	0,20
mai /1999 – seco	90	ND – 11,00	1,08	0,50
nov/1999 – chuvoso	88	ND – 11,00	0,63	0,08
mai /2000 – seco	85	ND – 5,90	0,79	0,20
nov/2000 – chuvoso	92	ND – 10,30	0,77	0,30
out/2001 – seco	93	ND – 7,50	0,43	0,12
mar/2001– chuvoso	91	ND – 7,30	0,73	0,30

ND – não detectado

Assim sendo, a maior parte das amostras (60 a 90%) apresentou valores de N-NO_3^- entre 0 e 1,0 mg/L ao longo do período analisado (tabelas 2 e 3). Somente em uma pequena proporção (2 a 5%) dos poços foram detectados teores acima de 5 mg/L de N-NO_3^- . Destes, apenas 1% apresentou problemas eventuais quanto à potabilidade para este parâmetro (valores acima de 10 mg/L de N-NO_3^- segundo Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde).

Dos laudos das análises obtidos, foram selecionados os dados de campanhas de coleta dos períodos seco e chuvoso para cada ano avaliado. Os valores abaixo do limite de detecção não foram plotados nos mapas.

Tabela 2 – Distribuição do número de amostras (poços) por faixa de concentração de N-NO_3^- nos períodos secos e chuvosos de 1997 a 2001

N-NO₃⁻ (mg/L)	1997		1998		1999		2000		2001	
	seco	chuvoso								
0,00 – 0,50	57	47	35	63	46	73	52	66	66	58
0,51 – 1,00	8	16	17	20	18	4	10	9	9	12
1,01 – 2,50	7	18	17	5	17	5	15	9	9	14
2,51 – 5,00	1	6	12	2	6	3	7	6	6	5
5,01 – 10,00	1	0	5	0	2	2	1	1	1	2
10,01 – 15,00	3	1	0	0	1	1	0	1	1	0
Total	77	88	86	90	90	88	85	92	92	91

Tabela 3 – Porcentagem de poços por faixa de concentração de N-NO_3^- nos períodos secos e chuvosos de 1997 a 2001.

N-NO₃⁻ (mg/L)	1997		1998		1999		2000		2001	
	seco	chuvoso								
0,00 – 0,50	74,0	53,4	40,7	70,0	51,1	83,0	61,2	71,7	71,7	63,7
0,51 – 1,00	10,4	18,2	19,8	22,2	20,0	4,5	11,8	9,8	9,8	13,2
1,01 – 2,50	9,1	20,5	19,8	5,6	18,9	5,7	17,6	9,8	9,8	15,4
2,51 – 5,00	1,3	6,8	14,0	2,2	6,7	3,4	8,2	6,5	6,5	5,5
5,01 – 10,00	1,3	0,0	5,8	0,0	2,2	2,3	1,2	1,1	1,1	2,2
10,01 – 15,00	3,9	1,1	0,0	0,0	1,1	1,1	0,0	1,1	1,1	0,0

Observando a distribuição espacial da concentração do N-NO_3^- , não foi possível estabelecer um padrão geral quanto aos períodos secos e chuvosos, uma vez que os valores apresentaram-se muito variáveis.

No ano de 1997 observam-se concentrações acima de 1,0 mg/L de N-NO_3^- nos poços localizados principalmente ao longo do Córrego Retiro do Saudoso. Alguns poços, como P7, P14, P45, P23 e P78, entre outros, mostraram concentrações maiores no mês de novembro, período considerado chuvoso, em relação ao mês de abril deste ano (Figura 5).

No ano de 1998, concentrações mais elevadas foram observadas no mês de maio, considerado

um período seco, em relação ao mês de dezembro (Figura 6). Os poços P34, P82 e P55 são alguns exemplos. Esta tendência foi observada também em alguns poços analisados em 1999 (Figura 7), como o P10, P92, P14 e P20. No ano de 2000, este comportamento não é claro, sendo que alguns poços tiveram maiores concentrações no período seco (P40, P49 e P54) ao contrário de outros como o P32, P48 e P16 (Figura 8). No ano de 2001, de forma geral, as concentrações de nitrogênio-nitrato foram superiores no mês de março, considerado um mês chuvoso, em relação ao mês de outubro (Figura 9).

CETESB (2004^[2]) e Sinelli *et al.* (1980^[5]), para as condições geológicas do Estado de São Paulo, definiram a concentração de 5 mg/L como valor de alerta como indicativo de alteração do equilíbrio natural por influência antrópica na qualidade das águas subterrâneas, podendo ser indicativo da infiltração de efluentes domiciliares no aquífero. Foram encontradas ocorrências pontuais de concentrações elevadas de nitrogênio-nitrato acima deste valor (5 mg/L) nos resultados das análises obtidos. Estas anomalias foram observadas em quase todas as amostras dos poços P4, P94 e P27 (nos anos de 1997 a 2001) ou, eventualmente, como nos poços P3, P9, P18 (em 1998), P39 (1997) e P75 (1999).

A contaminação das águas pode estar associada à proximidade dos poços ao Córrego Retiro do Saudoso (P4, P94 e P27) e Córrego do Rego (P3 e P9) e lineamentos estruturais (P18 e P27). As drenagens, como se sabe, foram, e em alguns pontos ainda continuam a ser utilizadas como receptoras de esgoto sanitário, favorecendo o escoamento do efluente para o aquífero através de fraturas, como observado por Sinelli *et al.* (1980^[5]). De acordo com a avaliação neste estudo, o município é cortado por inúmeros lineamentos, muitos deles com drenagens associadas, que podem representar estruturas rúpteis e caminhos preferenciais para a infiltração do nitrato para o Aquífero Guarani.

Outra causa para a ocorrência de concentrações elevadas de nitrogênio-nitrato nas amostras analisadas pode ser originada de problemas construtivos ou a má conservação de alguns poços, que se encontram algumas vezes sem cimentação e laje de proteção sanitária, possibilitando a entrada de água da superfície para o aquífero. Isto torna-se mais crítico em poços localizados próximos a córregos sujeitos a transbordamento no período das chuvas, situação esta freqüente no município de Ribeirão Preto.

Até 1995 todo o esgoto de Ribeirão Preto era lançado *in natura* nos rios que cortam a cidade. Atualmente 98% da população do município é atendida por rede de coleta de esgotos. Em 2000 entrou em funcionamento a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Caiçara, que trata os efluentes de 14% da população da área urbana e em 2002 passou a funcionar a ETE Ribeirão Preto, com capacidade para tratar o restante dos efluentes gerados. Espera-se que no futuro todo o efluente

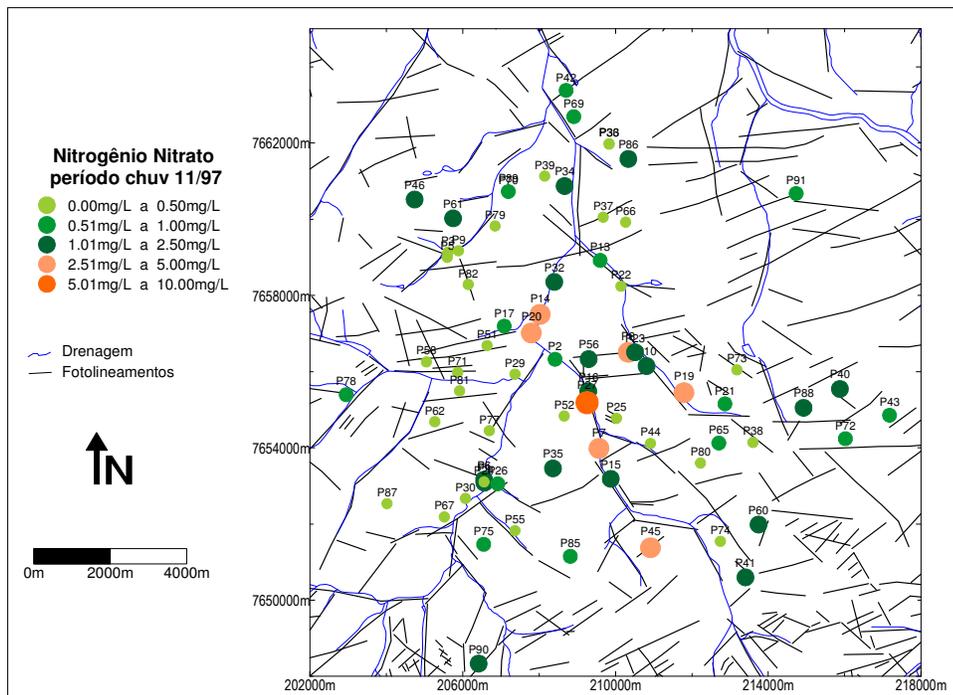
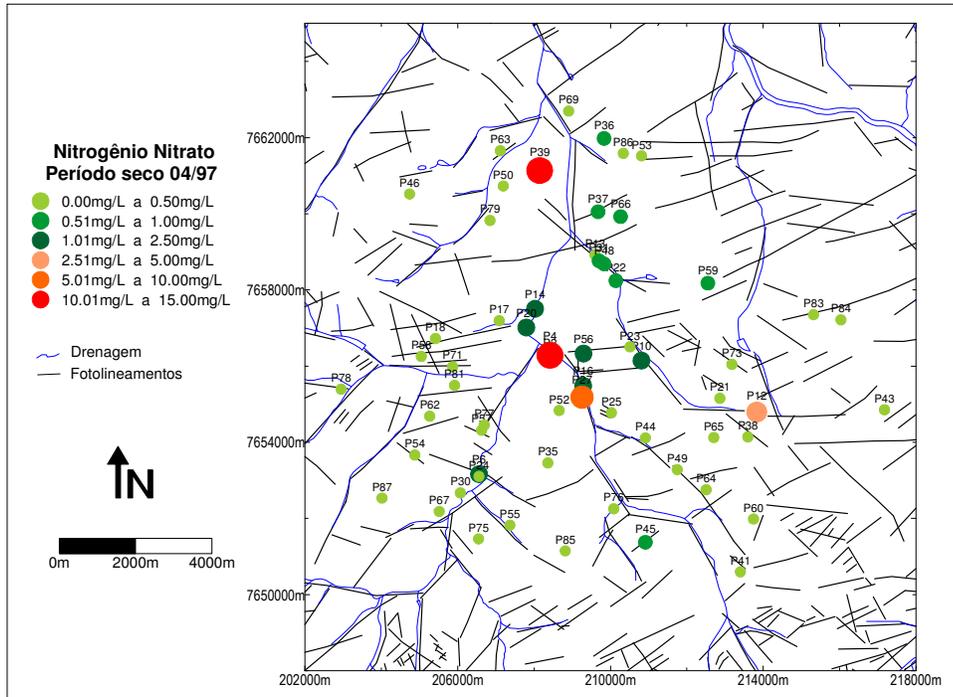


Figura 5 – Distribuição da concentração de $N-NO_3^-$ em 1997 por período seco e chuvoso

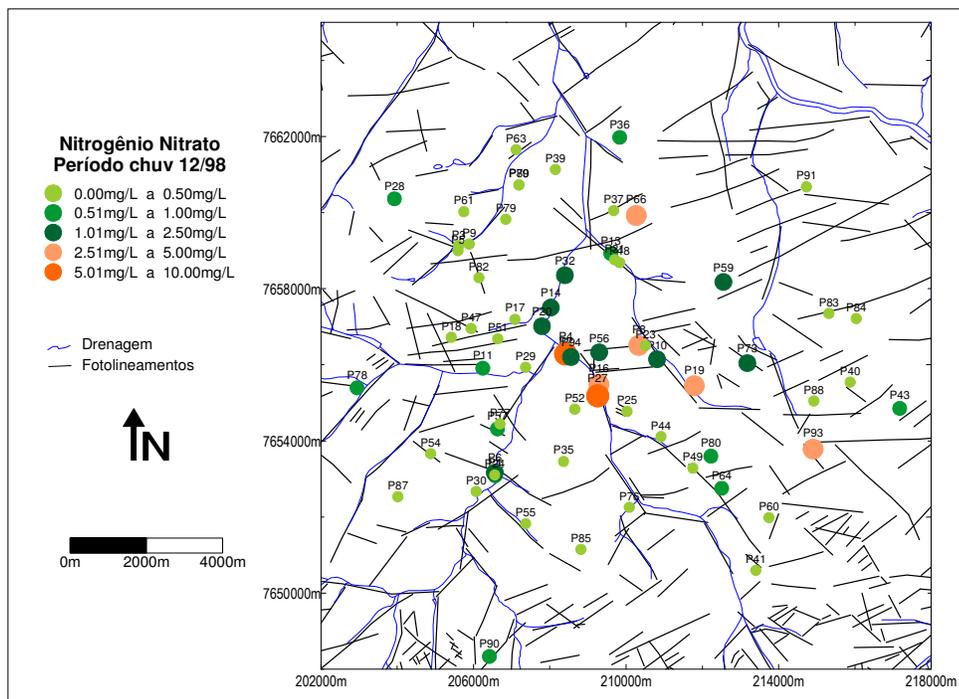
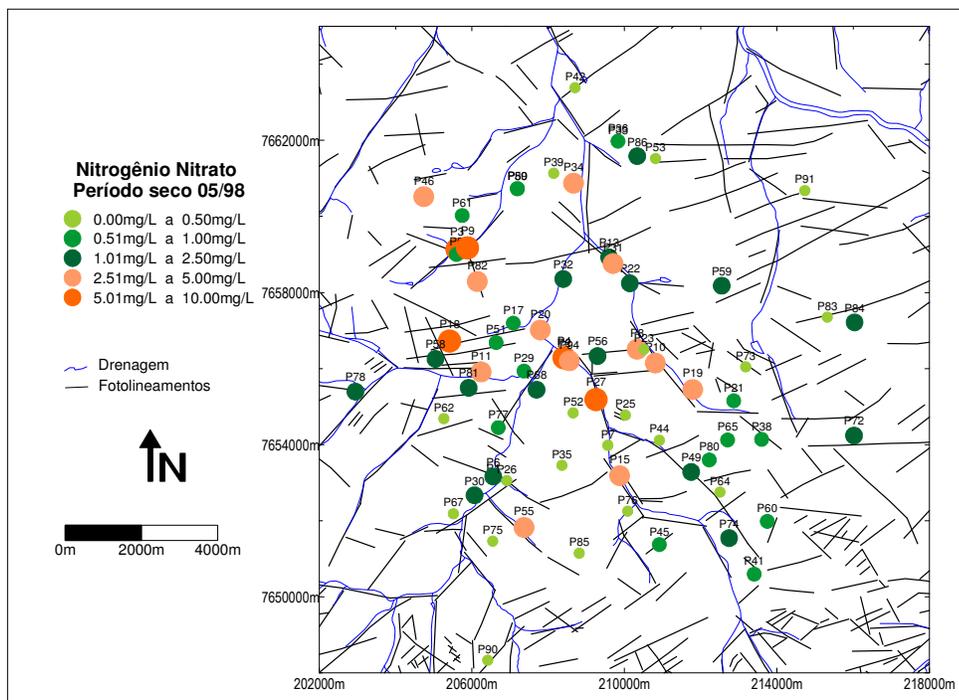


Figura 6 – Distribuição da concentração de $N-NO_3^-$ em 1998 por período seco e chuvoso

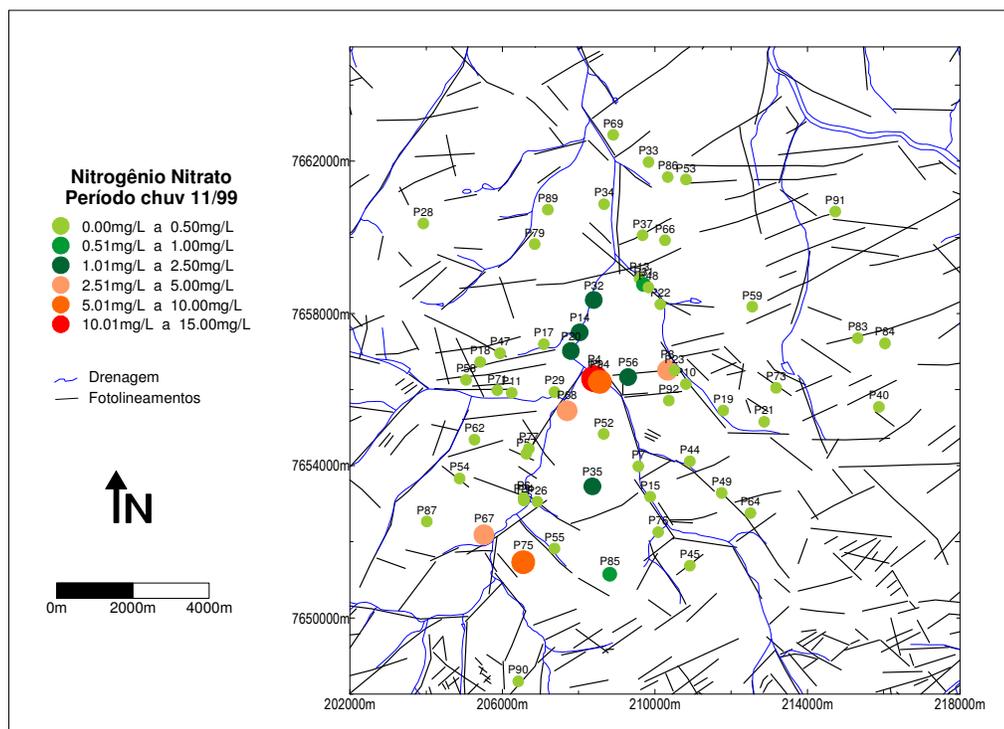
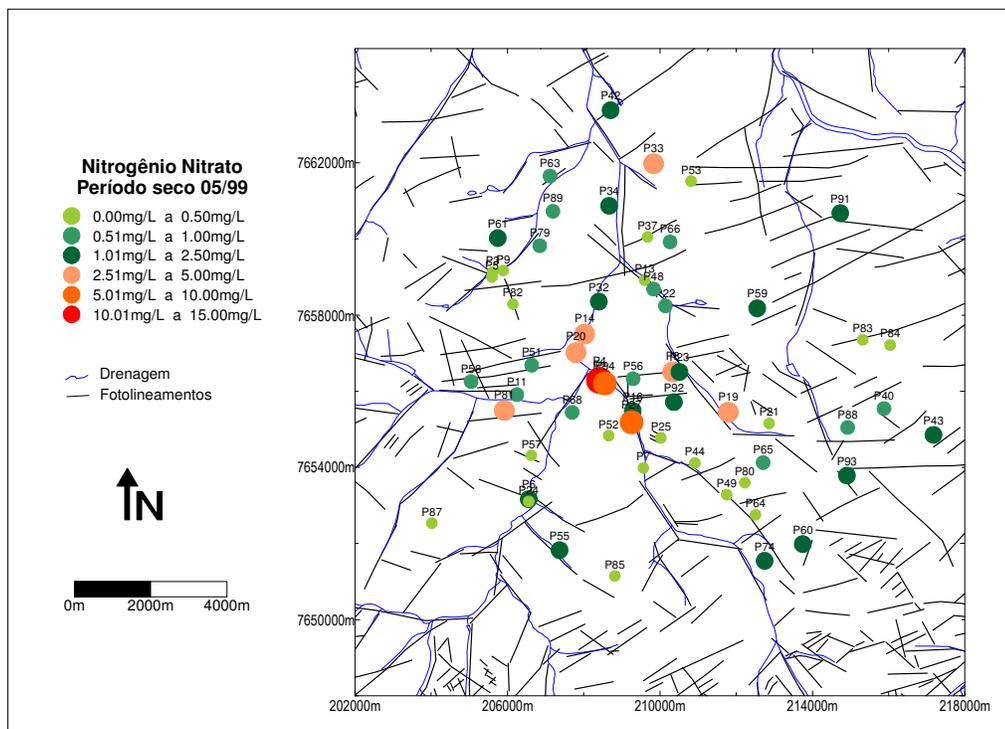


Figura 7 – Distribuição da concentração de N-NO_3^- em 1999 por período seco e chuvoso

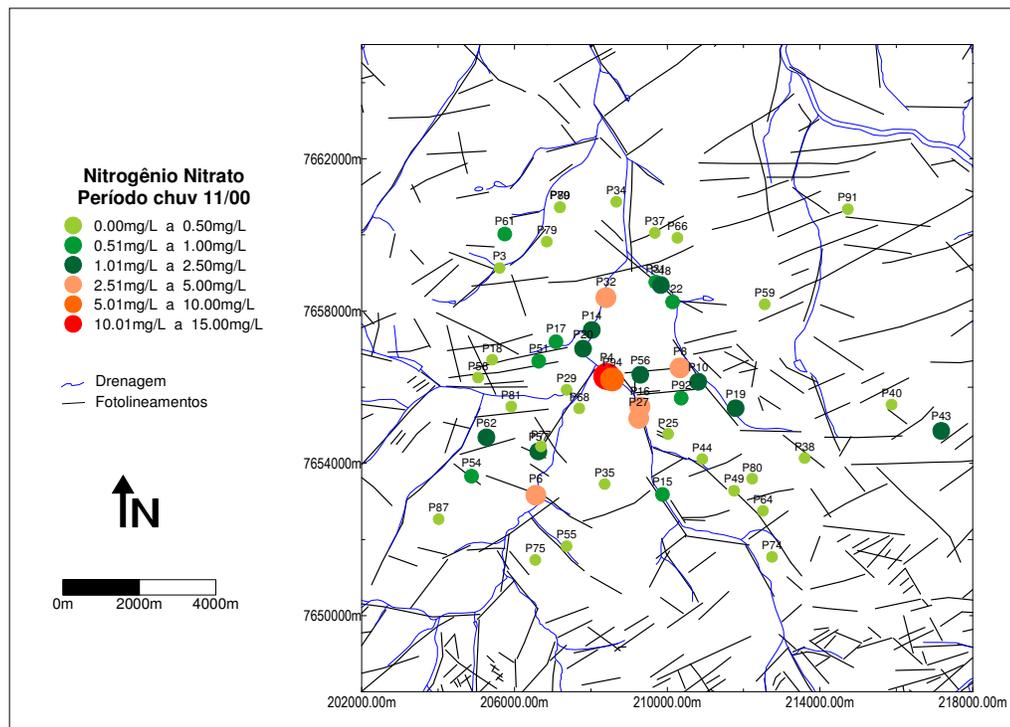
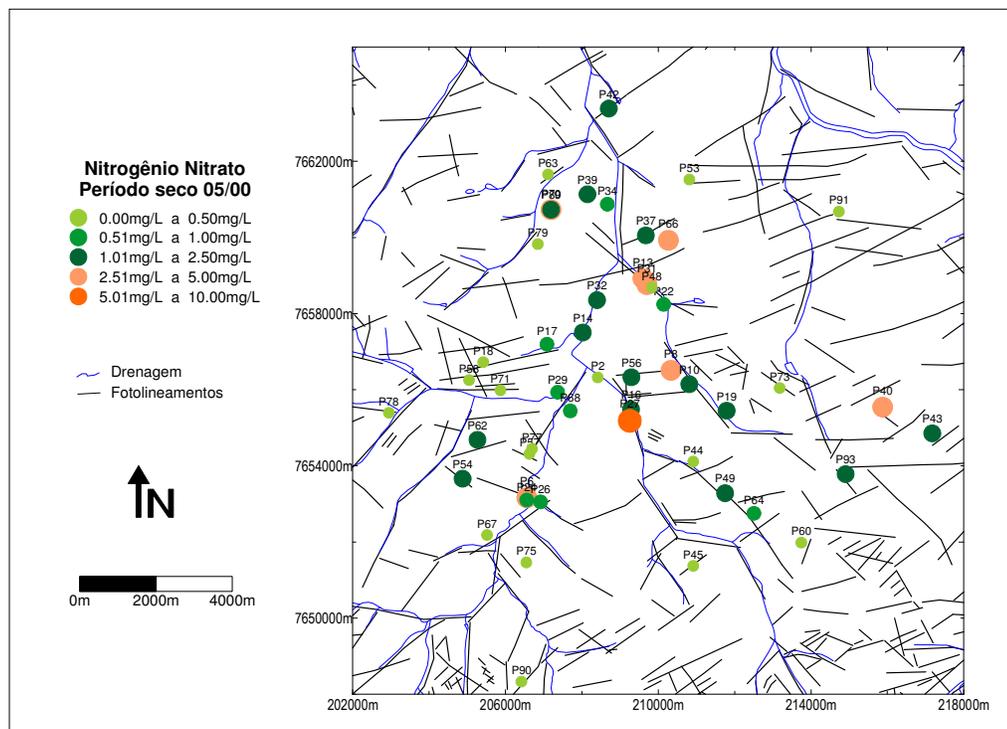


Figura 8 – Distribuição da concentração de $N-NO_3^-$ em 2000 por período seco e chuvoso

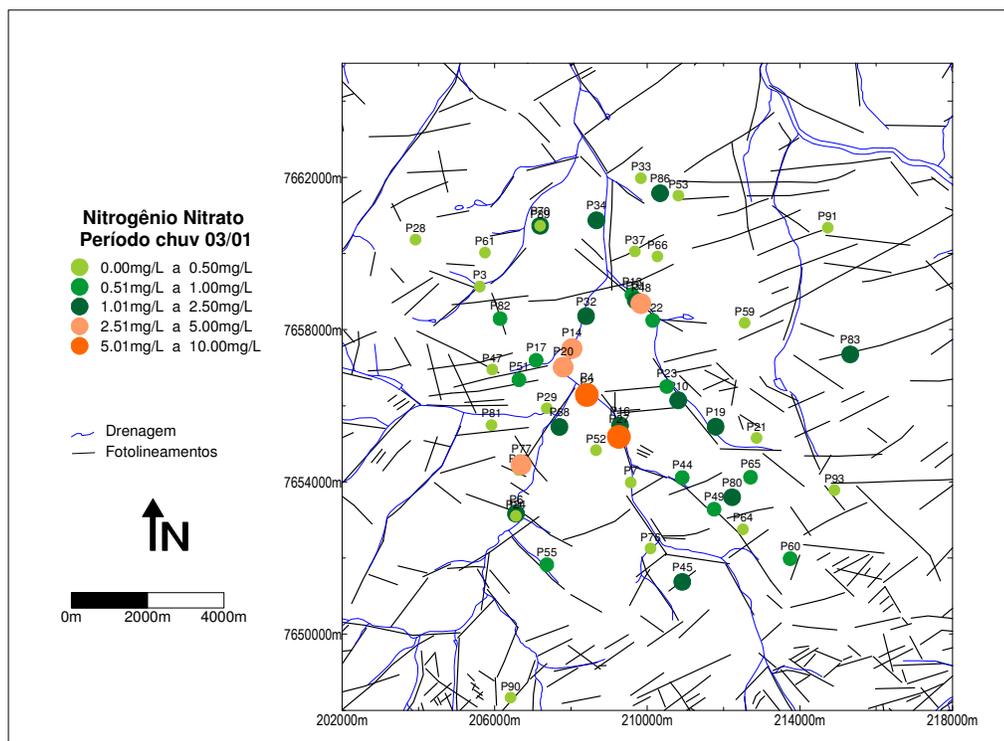
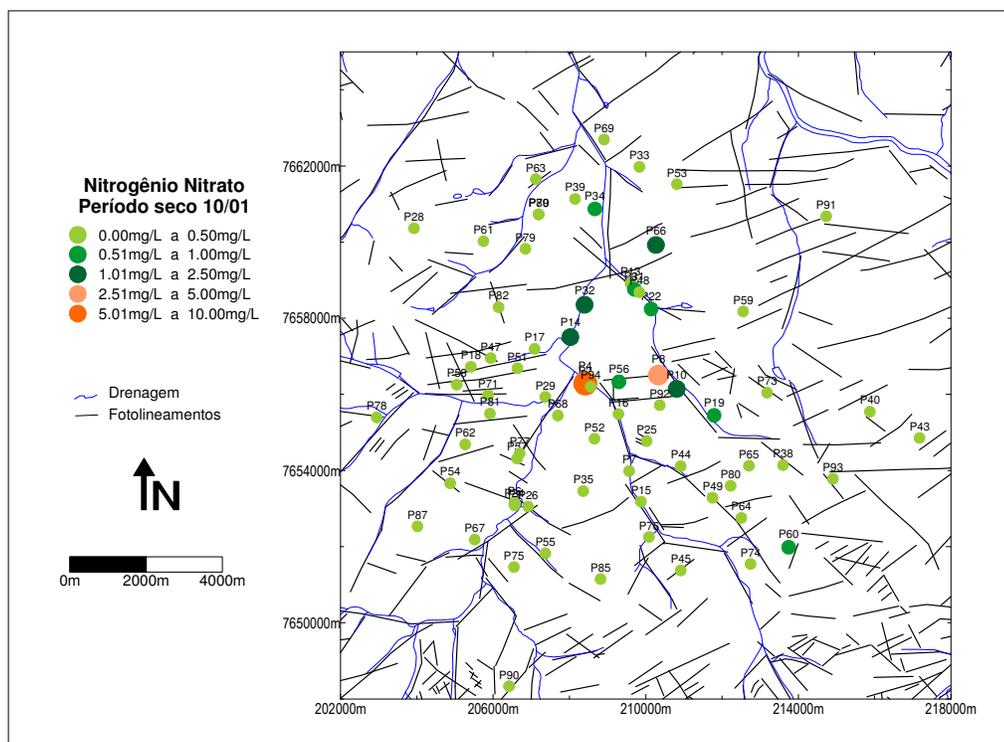


Figura 9 – Distribuição da concentração de $N-NO_3^-$ em 2001 por período seco e chuvoso

gerado no município seja tratado, diminuindo o risco de aporte de nitrato no aquífero e que conseqüentemente ocorra uma diminuição nas concentrações deste íon nas águas subterrâneas.

5 - Conclusões

A partir da observação da distribuição espacial da concentração de nitrogênio-nitrato não foi possível estabelecer um padrão geral desta distribuição quanto às estações secas e chuvosas no período considerado, uma vez que os valores apresentaram-se muito variáveis, não indicando uma correlação com as variações na recarga do aquífero. O nitrato é um íon conservativo, que se move com o fluxo advectivo da água subterrânea sem sofrer transformação, com pouca ou nenhuma retardação (Freeze & Cherry 1979^[7]). Em ambientes onde a estabilidade do nitrato é alta, o principal mecanismo de atenuação do contaminante é a diluição hidráulica que este sofre ao longo do seu transporte no aquífero. Desta forma, correlacionando-se os resultados das análises com as variações da pluviosidade ao longo do ano, poderia se esperar que as concentrações mais elevadas fossem encontradas nos períodos secos, onde a diluição do nitrato na água subterrânea seria menor.

Os resultados das análises das amostras de água indicam que a presença de nitrato nas águas subterrâneas em concentrações mais elevadas coincide com poços próximos às principais redes de drenagem do município, que receberam durante um longo período esgotos *in natura* e que atualmente continuam recebendo estes efluentes, mas em cargas menores, devido ao início da operação de duas ETEs no município nos últimos anos. Espera-se que, no futuro, quando todo o efluente gerado no município for tratado, diminua o risco de aporte de nitrato no aquífero e com isso haja também uma diminuição nas concentrações deste íon nas águas subterrâneas.

Outra hipótese que pode ser considerada é a entrada de água superficial pela parede do poço, principalmente durante as ocorrências de inundações uma vez que estes poços localizam-se próximos às drenagens. Assim, a má construção ou conservação de alguns poços, que se encontram algumas vezes sem cimentação e laje de proteção sanitária, pode possibilitar a entrada de água da superfície para o aquífero.

Devido às incertezas quanto à origem do nitrato nas águas subterrâneas no município de Ribeirão Preto, é necessário a realização de um monitoramento contínuo e um estudo mais aprofundado sobre a influência do fraturamento dos basaltos na recarga do Aquífero Guarani, de maneira a identificar melhor a sua vulnerabilidade e traçar estratégias para sua proteção.

6. Referências Bibliográficas

[1] INSTITUTO GEOLÓGICO/COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL/ DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (IG/CETESB/DAEE).

1997. Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo. IG, CETESB, DAEE. São Paulo, 2 v.

[2] COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). 2004. Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo 2001-2003. CETESB, São Paulo. 211 p.

[3] SINELLI, O. 1971. Água subterrânea no município de Ribeirão Preto. Congresso Brasileiro de Geologia, 15. Anais... SBG, São Paulo, v. 2, p. 17 – 34.

[4] SINELLI, O. 1974. Vulnerabilidade dos aquíferos subterrâneos na região NNE do Estado de São Paulo. Congresso Brasileiro de Geologia, 18. Anais... SBG, p. 89 – 98.

[5] SINELLI, O.; DAVINO, A.; SOUZA, A.; GONÇALVES, N.M.M.; TEIXEIRA, J. 1980. Hidrogeologia da Região de Ribeirão Preto (SP). Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 1. Anais... ABAS, Recife, p. 319 – 335.

[6] GALLO, G.; SINELLI, O. 1980. Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas na região de Ribeirão Preto (SP). Revista Brasileira de Geociências, Vol. 10, p. 129-140.

[7] FREEZE, R.A. & CHERRY, J.A. 1979. *Groundwater*. Prentice-Hall. New Jersey, USA. 604 p.

[8] INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). 1981. Mapa geológico do Estado de São Paulo (1: 500.000). São Paulo. IPT, 2 v.

[9] SOARES, P.C.; SINELLI, O.; PENALVA, F.; WERNICK, E.; SOUZA, A.; CASTRO, P.R.M. 1973. Geologia do Nordeste do Estado de São Paulo. Congresso Brasileiro de Geologia, 17. Anais... SBG. v. 1, p.209 – 236.

[10] DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). 1974. Estudo de águas subterrâneas – Região Administrativa 6 - Ribeirão Preto. DAEE, São Paulo, 1974, 2 v.

[11] SINELLI, O. (coord.) 1973. Mapa geológico do nordeste do Estado de São Paulo. Escala 1:50.000 - Folhas de Serrana, Ribeirão Preto, Cravinhos e Bonfim Paulista. Convênio CNEC/FFCL- Ribeirão Preto-USP.

[12] SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO & SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, SAÚDE PÚBLICA E PROTEÇÃO AO CONSUMIDOR DO ESTADO DA BAVIERA (ALEMANHA) (SMA/SÃO PAULO & STMUGV/BAVIERA). 2004. Projeto “Sistema de Informação para o Gerenciamento Ambiental do Recurso Hídrico Subterrâneo no Afloramento do Aquífero Guarani no Estado de São Paulo”. SMA/SÃO PAULO & STMUGV/BAVIERA. Relatório Técnico. Processo 02/10368-0

[13] FERNANDES, A.; MALDANER, C.; PRESSINOTTI, M.M.N; WAHNFRIED, I; FERREIRA, L.M.R.; VARNIER, C.; IRITANI, M.A.; HIRATA, R. Modelo Conceitual Preliminar da Circulação

da Água Subterrânea no Aquífero Serra Geral, Ribeirão Preto, SP Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 14. Anais... ABAS, Curitiba. CD-ROM.

^[14] TEISSEDE, J.M.; SANCHES, J L.; LOPES, M F.C. 1982. Geometria e condições de exploração do Aquífero Botucatu no Estado de São Paulo. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2. Anais... ABAS, Salvador, p. 53 – 63.

^[15] MONTENEGRO, A.A.A.; RIGHETTO, A.M.; SINELLI, O. 1988. Modelação do manancial subterrâneo de Ribeirão Preto - 1. Descrição do Domínio. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 5. Anais... ABAS, São Paulo, p. 32-41.

Agradecimentos

Este trabalho contou com o suporte financeiro da FAPESP, Processo 02/10368-0.