

QUALIDADE DA ÁGUA DO AQUIFERO BARREIRAS EM BAIROS DE BELÉM/PA.

QUALITY OF WATER FROM THE BARREIRAS AQUIFER IN SOME DOMAINS OF BELÉM/PARÁ

Natalina Maria Tinôco Cabral¹ e Lilianne Maia Lima²

Recebido em 22/09/2004, aceito em 20/06/2005

Resumo O comportamento do nitrato, amônio e de outros parâmetros químicos, comumente utilizados como indicadores da contaminação por efluente doméstico, foi monitorado durante dois anos e meio nas águas do Aquífero Barreiras. Os resultados para o pH, condutividade elétrica, sódio, cálcio e cloreto indicaram que os poços, quando analisados individualmente, mostram um comportamento relativamente homogêneo, mas, quando comparados entre si, foi possível distinguir poços com valores sempre mais elevados daqueles com os valores menos elevados. Para nitrato e amônio, o conjunto dos poços permitiu a classificação de 4 padrões de comportamentos. Os padrões definidos podem significar maior ou menor distância de fontes ativas de contaminação, que seriam os fatores determinantes na caracterização hidrogeoquímica dos poços numa área urbana. Nas proximidades das fossas (padrão 3 – amônio > nitrato), o ambiente redutor é mantido pela degradação da matéria orgânica, proveniente dos tanques sépticos ou de fossas. Em posição intermediária, nota-se a presença de amônio e nitrato em teores elevados, devido ao contato do contaminante com águas mais ricas em oxigênio (padrão 2). Quando existe o predomínio de nitrato (padrões 1 e 4) em relação ao amônio, acredita-se que os poços estão mais afastados da fonte de contaminação.

Palavras-chave: Aquífero Barreiras, Efluente doméstico, nitrato, amônio.

Abstract The behavior of the nitrate and ammonium, besides other commonly used chemistry parameters as indicators of the contamination by domestic effluent, were monitored during 2.5 years in the waters of the Barreiras Aquifer. The obtained results for pH, electric conductivity, sodium, calcium and chloride have indicated that the wells, when individually analyzed, show a relatively homogeneous behavior. However, when compared to each other, it was possible to distinguish wells with values always more elevated against those with less high values. Wells analyzed for nitrate and ammonium, allowed a classification into four behavior patterns. The established patterns express a larger or smaller distance with respect to the contamination active sources, which are decisive factors for the well's hydrogeochemistry characterization in an urban area. Near to the septic tank (pattern 3), the reducer ambient is maintained thanks to the degradation of the organic matter. In intermediary position, the observed presence of ammonium and nitrate in high concentrations is attributed to the contact of the contaminant with waters richer in oxygen (pattern 2). When nitrate predominates (pattern 1 and 4) with respect to ammonium, it is believed that the wells are more distant of the contamination source.

Keywords: Barreiras Aquifer, waste water, nitrate, ammonium.

INTRODUÇÃO

Nas grandes cidades, a principal preocupação quanto à contaminação das águas subterrâneas está nas áreas urbanizadas sem rede de esgotos, onde o lançamento de águas servidas e excretas se dá pela infiltração, através de fossas e tanques sépticos (HIRATA, 1994).

As fossas sépticas são reservatórios construídos ou pré-fabricados, geralmente feitos de concreto, que são projetados para receber águas residuárias, principalmente de residências. Tais sistemas sépticos podem ser considerados como sistemas geoquímicos, onde os constituintes dos efluentes reagem entre si, com o meio poroso e com gases presentes nesse ambiente (WILHELM et al., 1994).

A seção esquemática de um sistema séptico está ilustrada na Figura 1. O tanque séptico, primeira zona redox, recebe tanto os dejetos alimentícios (proteínas, carboidratos e gorduras) quanto os dejetos humanos (com alta concentração de uréia). Trata-se de uma zona anaeróbica, na qual a concentração de oxigênio

dissolvido é muito baixa, enquanto o teor de matéria orgânica é muito elevado. É, portanto, no tanque que se desencadeia uma série de reações, sendo que, dentre essas, a hidrólise da proteína e uréia é a que permite a liberação do amônio (WILHELM et al., 1994). O amônio liberado pode ser adsorvido pelo solo e usado pelas plantas como nutriente, como também pode ser oxidado biologicamente por bactérias para formar nitrito e, posteriormente, nitrato (processo de nitrificação) e penetrar livremente no subsolo.

O efluente, proveniente do tanque séptico e disposto no campo de drenagem, flui para a zona não saturada (aeróbica), que constitui a segunda zona redox. Nesta zona, o efluente sofre uma evolução geoquímica durante o processo de percolação no meio poroso. Tal evolução é controlada, principalmente, por reações de oxirredução, e, entre essas transformações, o nitrogênio, sob a forma de nitrato, pode ser o de maior potencial para contaminação das águas subterrâneas (WILHELM et al., 1994).

¹CPRM- Serviço Geológico do Brasil, natalina@be.cprm.gov.br

²Embrapa Amazônia Oriental (Projeto Tipitamba), lilianne@bol.com.br

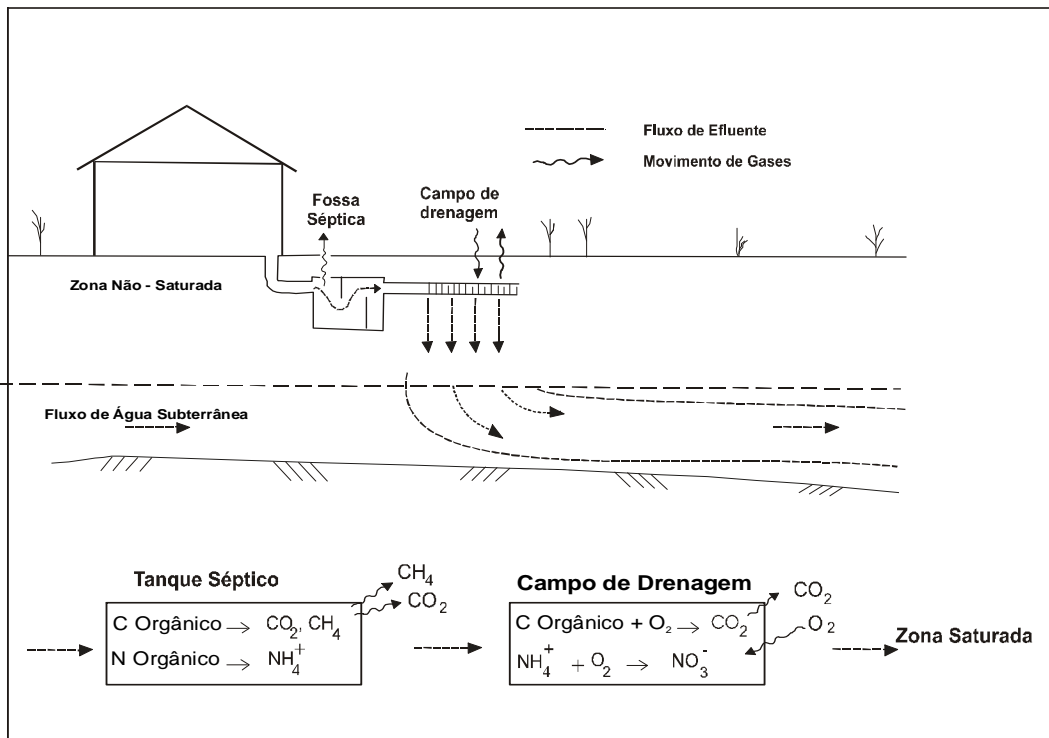


Figura 1 - Seção transversal esquemática de um sistema séptico incluindo uma fossa séptica, um campo de disposição, movimento dos contaminantes através das zonas não-saturada e saturada e reações de redox (Wilhelm et al., 1994— modificado).

Figure 1 - Schematic cross-section of a septic system showing a septic tank, a drain field, the movement of the contaminants through the unsaturated and saturated zones, and also the redox reactions (Wilhelm et al. 1994, modified).

O nitrato (NO_3^-) é persistente, com grande mobilidade e não degrada facilmente em meio aeróbico. Em teores acima 10mg/L N-NO_3^- (aproximadamente 45 mg/L NO_3^-), pode causar doenças como metahemoglobinemia (baby blue syndrome) e câncer gástrico (USEPA, 1995). Pesquisas, ainda não conclusivas, tentam comprovar que concentrações elevadas de metahemoglobina no sangue de gestantes, ocasionadas pela ingestão de altas concentrações de nitrato em águas, podem induzir ao aborto espontâneo e má formação do feto (ASCHENGRAU ET AL., 1989). O outro contaminante, também importante no sistema séptico, é o amônio, visto que em altas concentrações já é um indicativo de que pode ocorrer uma oxidação para nitrato, aumentando assim os teores dessa substância no meio.

O presente trabalho procurou avaliar a qualidade das águas de alguns poços rasos (< 40 m), construídos em aquíferos semilivres na porção central de Belém/PA, frente ao uso do sistema séptico. Com tal objetivo, estudou-se o comportamento do nitrato (NO_3^-), amônio (NH_4^+) e de outros parâmetros que são comumente utilizados como indicadores da contaminação por efluente doméstico. Para isso, foi feito um acompanhamento durante um período de dois anos e meio em águas dos poços cadastrados,

considerando os parâmetros: nitrato (NO_3^-), amônio (NH_4^+), pH, condutividade elétrica (CE), cloreto (Cl^-), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^+) e potássio (K^+).

LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS DA ÁREA DE ESTUDO

Para o desenvolvimento do trabalho, foram selecionados três bairros centrais da cidade de Belém/Pa: Reduto, Nazaré e Umarizal, totalizando cerca de 15 Km^2 (Figura 2). Os citados bairros estão, em parte, localizados próximos a igarapés que cortam a cidade e, com a expansão e desenvolvimento urbano, foram transformados em esgotos a céu aberto, recebendo efluentes domésticos e industriais sem nenhum tratamento prévio.

Na escolha destes bairros, levou-se em consideração vários fatores que poderiam caracterizar e/ou relacionar melhor o tipo de contaminação em estudo. Dentre os fatores, podem ser citados que parte da área estudada possui grande densidade populacional, uma rede de esgoto antiga e uma alta concentração de condomínios residenciais de classe média. Deve-se acrescentar, ainda, que a maioria dos condomínios residenciais, existentes na área, faz uso de sistema de saneamento *in situ* e utiliza

águas subterrâneas provenientes de aquíferos rasos e semilivres.

A população total dos bairros em foco é de 55.769 habitantes, sendo o bairro do Reduto o de menor densidade demográfica (8.000 hab/km²) e o de Nazaré o mais densamente habitado (12.000 hab/km²), seguido por Umarizal (11.344

hab/km²). Quanto à cobertura da rede de esgoto público, os bairros do Reduto e Nazaré são os melhores assistidos, enquanto que as fossas sépticas são mais comuns no bairro de Umarizal, com 2.889 domicílios atendidos por esse sistema (IBGE, 2000).

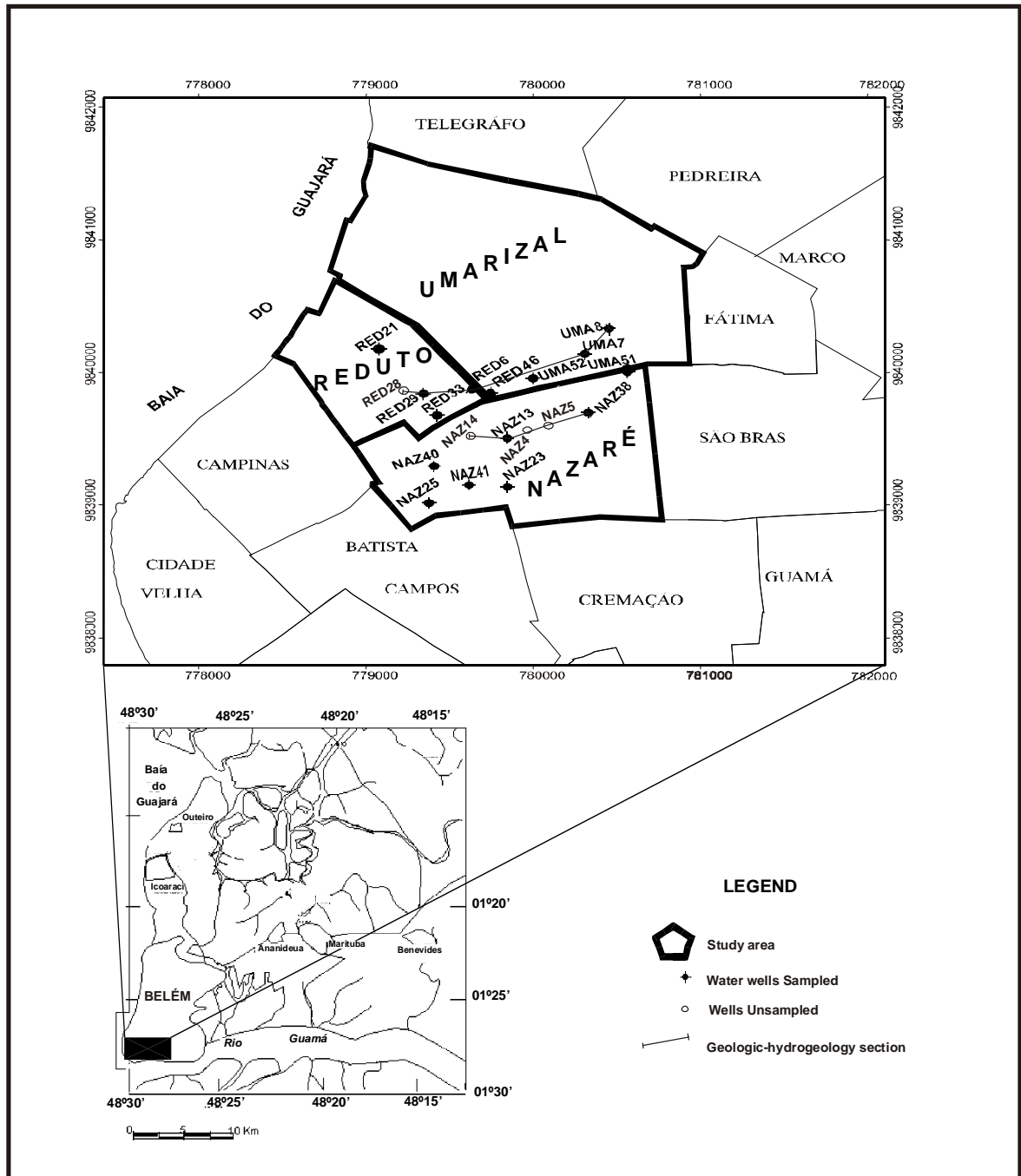


Figura 2 - Área de estudo com a localização dos poços estudados.

Figure 2 - Location of the study area and the distribution of wells

Os sedimentos terciário-quaternários, que compõem o arcabouço geológico da região de Belém e adjacências, guardam três sistemas aquíferos: Pós-Barreiras, Barreiras e Pirabas,

sendo associados às unidades geológicas homônimas (PEHRMB, 2001). No presente estudo o enfoque será dado ao Aquífero Barreiras

por ser o mais explorado por condomínios residenciais.

O aquífero Barreiras corresponde aos sedimentos do Grupo Barreiras, sendo constituído por areias de granulometria variando de fina a grossa, às vezes ocorrendo cascalhos. Os níveis arenosos estão, geralmente, intercalados com argilas, levando a uma limitação de sua espessura útil. O contato superior desse aquífero é delimitado por sedimentos Pós-Barreiras areno-argiloso, com espessura variando de 0,2 a 10 metros, enquanto que o contato inferior é marcado pelos sedimentos da Formação Pirabas. Na área de estudo, dois poços profundos interceptaram esse contato inferior a uma profundidade em torno de 100 metros.

As Figuras (3) e (4) mostram seções geológica-hidrogeológicas do Aquífero Barreiras da área de estudo. A primeira (Figura 3) tem disposição W – E e engloba poços dos bairros do Reduto e Umarizal. É observada, nessa seção, que a primeira camada arenosa, mais superficial, está interdigitada por uma camada argilosa, levando a uma limitação de sua espessura útil. Acrescenta-se que essa primeira camada arenosa não apresenta continuidade ao longo da direção Este, uma vez que os poços (Uma7, Uma8), localizados nesta direção, não a interceptaram. A segunda camada arenosa, mais profunda, ocorre de forma contínua ao longo de toda a seção, sendo mais expressiva na porção Este, com espessura em torno de 20m.

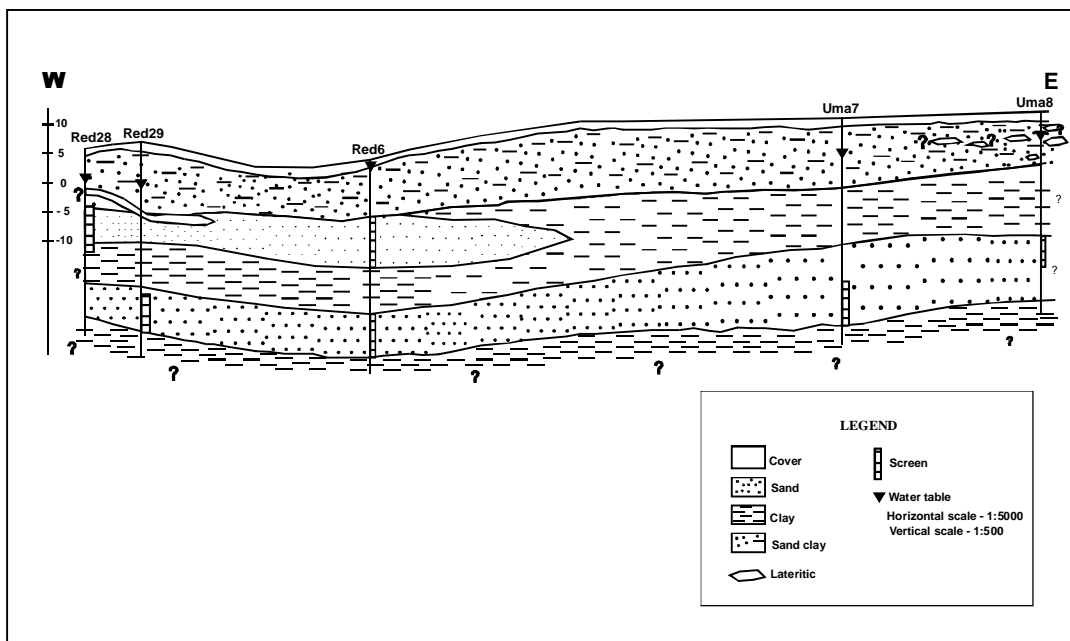


Figura 3 - Seção geológica – hidrogeológica englobando poços dos bairros do Reduto e Umarizal.

Figure 3 - Geologic-hydrogeology section with wells from the Reduto and Umarizal domains

Na segunda seção (Figura 4), posicionada no bairro de Nazaré, verifica-se, no sentido SW-NE, que a primeira camada arenosa é mais delgada do que na seção anterior, principalmente na sua parte SW, apresentando boa continuidade lateral e uma espessura máxima de 20 metros. Na parte NE e no centro da seção ocorre uma fina camada de sedimento areno-argiloso, não interceptado no poço Naz14, localizado na porção SW. Em relação ao segundo aquífero, seu comportamento é semelhante ao verificado na primeira seção.

De acordo com as análises de seções geológica-hidrogeológicas em diferentes direções da área de estudo, realizadas por Cabral (2004), é

possível definir o aquífero Barreiras como dos tipos raso e livre a semiconfinado. Apresenta espessura mínima em torno de 5,0m e máxima de 16m, enquanto que o nível estático varia de 1,5 até 11m. A profundidade dos poços selecionados, para esse estudo, está na faixa de 30 a 40 metros. Os filtros foram posicionados tanto no primeiro aquífero quanto no segundo aquífero do Barreiras, sendo que, na maioria dos poços, encontram-se localizados entre as profundidades de 10 a 24 metros.

Considerando que nos aquíferos livres e semilivres o fluxo da água acompanha a topografia (Fetter, 1994), Cabral (2004) analisou

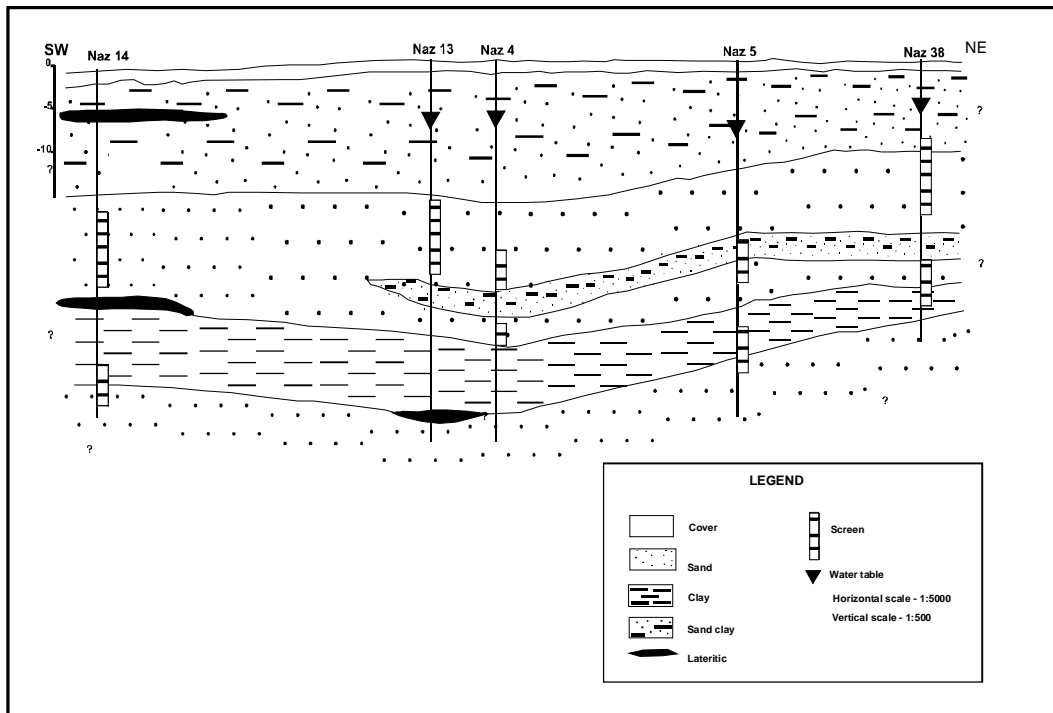


Figura 4 - Seção geológica – hidrogeológica englobando poços do bairro de Nazaré.
 Figure 4 - Geologic – hydrogeology sections with wells from the Nazaré domain

o mapa topográfico da área e definiu que as principais linhas de fluxo estão orientadas para o centro da área, o que coincide com o bairro do Reduto e parte do bairro de Nazaré. Na porção nordeste (bairros do Umarizal e Nazaré), nota-se um fluxo divergente que corresponde a um divisor de água. A Figura (5) ilustra melhor essa interpretação.

METODOLOGIA DE TRABALHO

Inicialmente foi elaborado um cadastro de poços tubulares condominiais da área, os quais foram georeferenciados usando *Ground Position System* – GPS, modelo GARMIN III. Esses poços foram plotados na base cartográfica digital da Companhia de Desenvolvimento da Área Metropolitana de Belém (CODEM, 1999), na escala 1:5.000. Na identificação dos poços foram utilizadas as três primeiras letras do bairro seguidas do número de ordem do poço. No presente estudo foram utilizados 19 poços do universo de 69 poços cadastrados, sendo que a coleta de água para a análise dos diversos parâmetros físico-químicos foi realizada em 15 poços.

Nos poços selecionados foram realizadas nove campanhas de amostragem, obedecendo à distribuição pluviométrica da região (Figura 6). Foram efetuadas coletas durante o final do período chuvoso (junho/2000/2001/2002), na estiagem (setembro/2000/2001) e no início do

período de chuvoso (dezembro/2000/2001). Nos meses de fevereiro/2002 e março/2002 foram realizadas as duas últimas amostragens, que correspondem ao período de máximas chuvas da região. Nesse período, a profundidade do nível d'água do aquífero livre/ou semilivre torna-se mais raso e, portanto, mais próxima das fontes de contaminação (fossas sépticas e/ou vazamentos da rede de esgoto).

Os procedimentos de coleta e preservação das amostras de água seguiram os critérios do (APHA, 1995). As medidas de condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD) e pH foram determinadas *in situ* utilizando, respectivamente, o condutivímetro portátil modelo 4200/Jenway e o pHmetro portátil CG837/Schott.

Para os componentes do ciclo do nitrogênio (NH_4^+ , e NO_3^-) e Cl^- as análises foram efetuadas pelo espectrofotômetro marca HACH – DR/2000. Para o NH_4^+ utilizou-se o método Nessler/8038, para o NO_3^- a redução de cádmio/8039 e para o Cl^- o método utilizado foi o mercúrico tiocianato/8113. Já os íons principais (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) foram analisados por espectrometria de absorção atômica.

Os resultados obtidos nas diferentes análises foram organizados e representados em histogramas. Para elaboração dos mesmos, utilizou-se o recurso do *software statistica a for windows*.

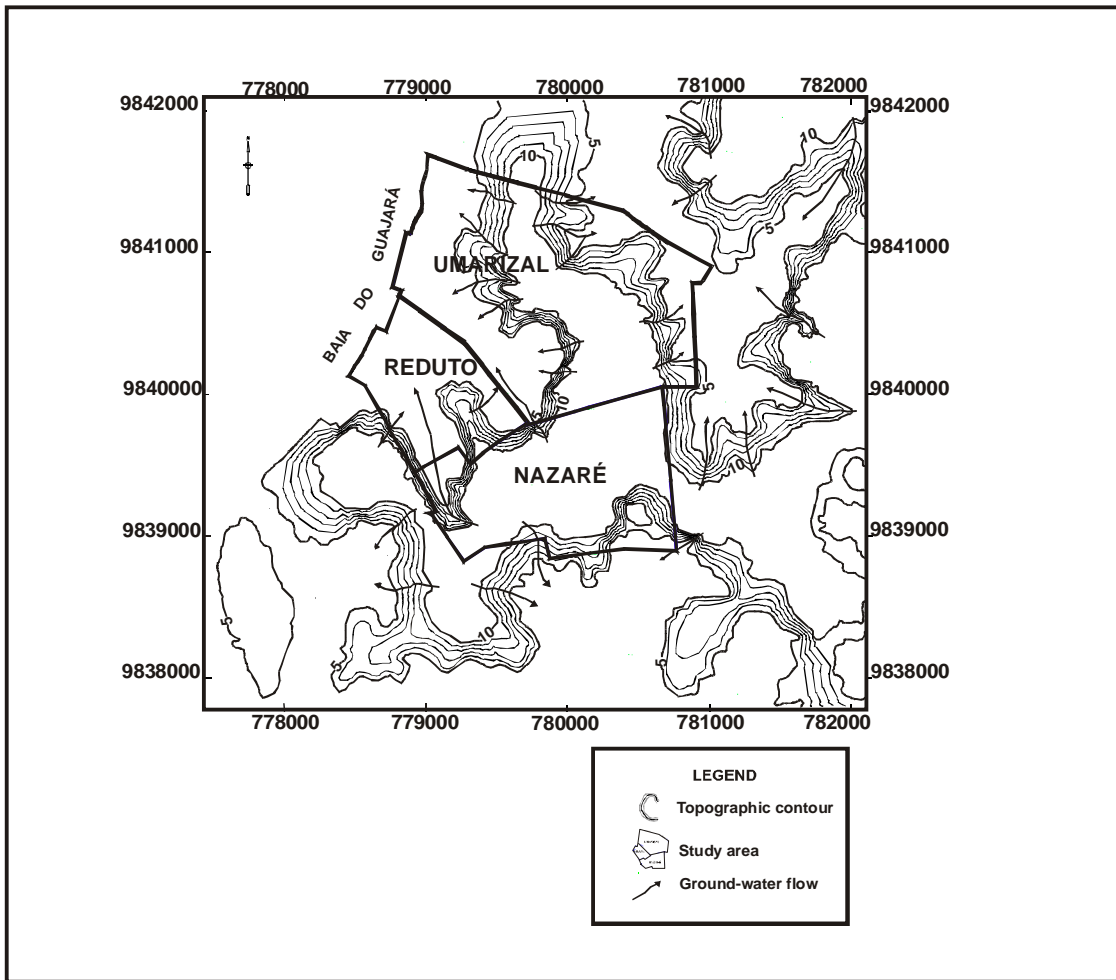


Figura 5 - Mapa topográfico da área de estudo com a interpretação das principais linhas de fluxo (modificado de Cabral, 2004)

Figure 5 - Topographical map of the studied area and the interpretation of the main lines of ground-water flow (Cabral, 2004, modified).

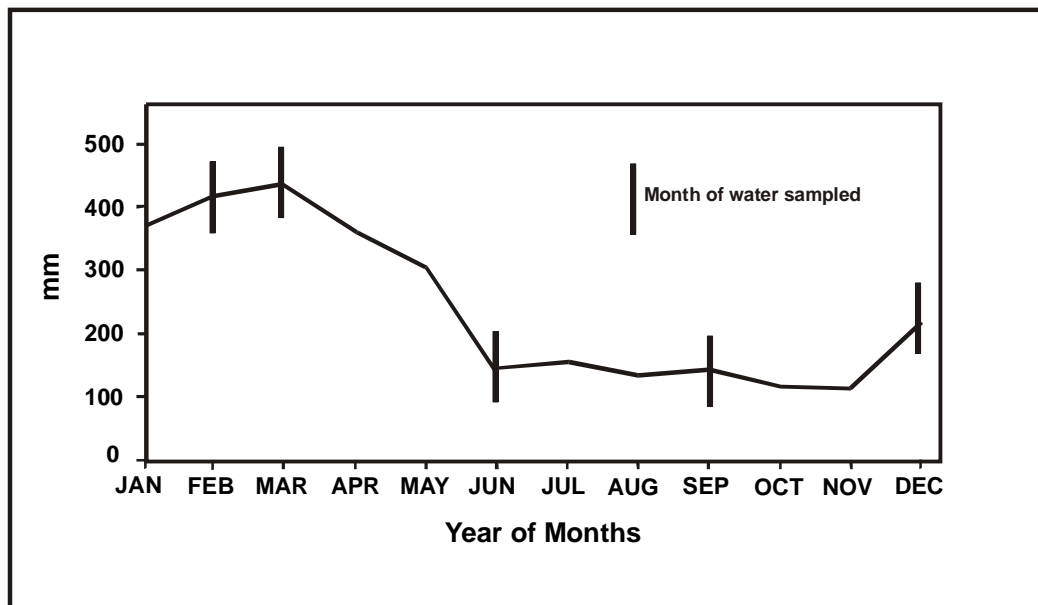


Figura 6 - Médias pluviométricas mensais para região de Belém no período de 1961 a 1990, conforme os dados do (INMET, 2000).

Figure 6 - Monthly rainfall averages of Belém region between 1961 and 1990 (INMET, 2000).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Figuras 7 e 8 apresentam o comportamento do pH em cada poço por período

amostrado. Verificou-se nos 12 poços amostrados, que o pH varia de um mínimo de 3,5 e um máximo de 6,7, com média em torno de 5,4.

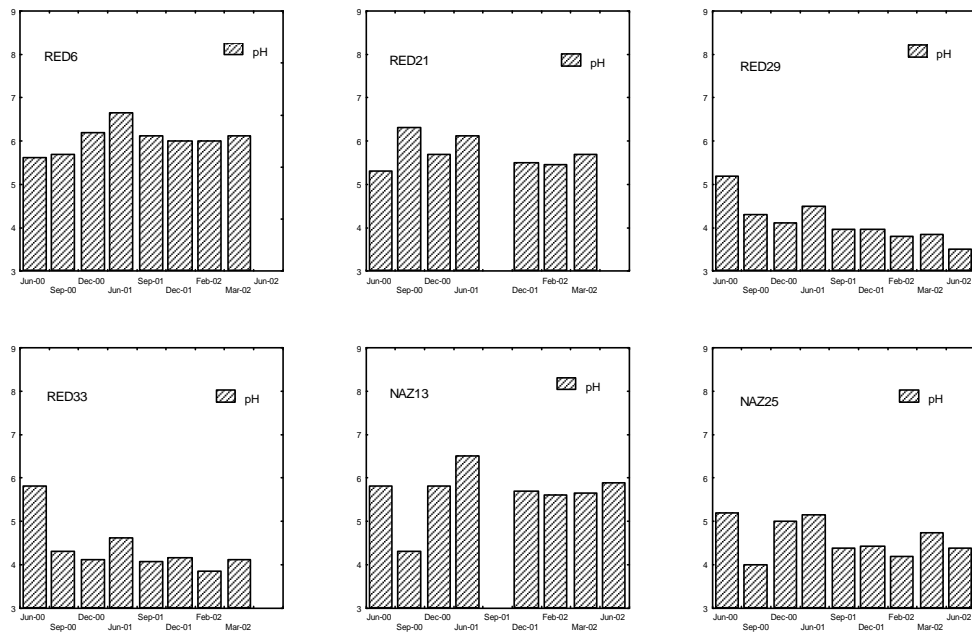


Figura 7 - Valores de pH ao longo dos meses de amostragens para os poços Red6, Red21, Red29, Red33, Naz13 e Naz25.
 Figure 7 - pH values of water collected during the months of sampling (wells Red6, Red21, Red29, Red33, Naz13 and Naz25).

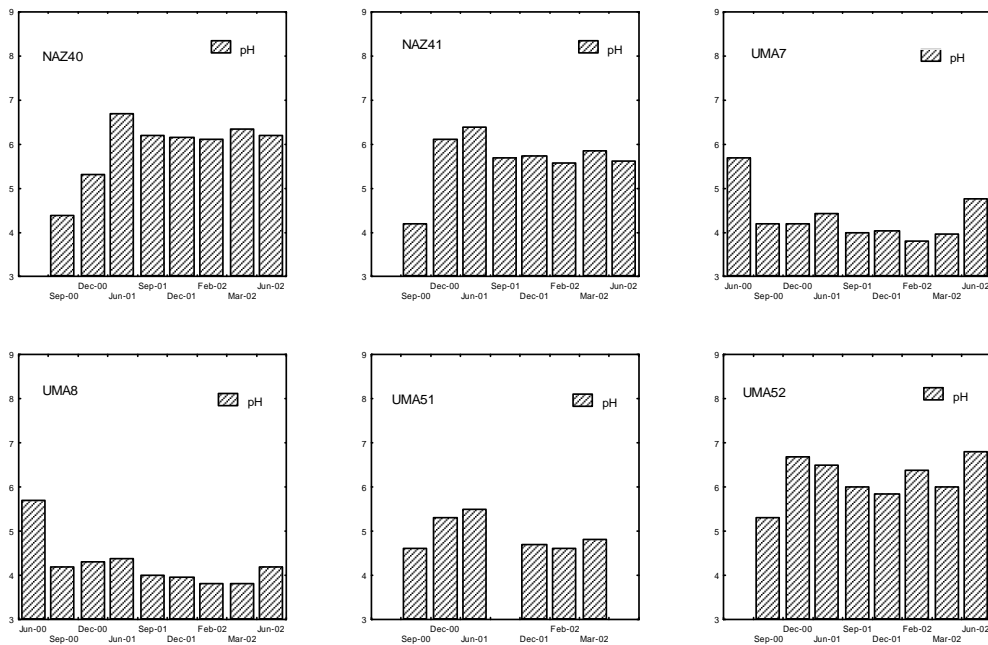


Figura 8 - Valores de pH ao longo dos meses de amostragens para os poços Naz40, Naz41, Uma7, Uma8, Uma51 e Uma52.
 Figure 8 - pH values of water collected during the months of sampling (wells Naz40, Naz41, Uma7, Uma8, Uma51 and Uma52).

Em alguns poços (Red29, Red33, Uma7, Uma8) nota-se que durante o período chuvoso, representado pelos meses de fevereiro e março, os valores de pH são discretamente mais baixos. Em linhas gerais, entretanto, os poços analisados individualmente mostram uma certa homogeneização em seus valores de pH, com discordâncias isoladas, correspondendo a aumentos ou quedas mais significativas em relação à tendência geral.

Diferenças marcantes são observadas quando se faz uma comparação entre os poços, independente do período amostrado. Pode-se, assim, separar poços com valores constantemente mais altos, tendendo à neutralidade, de outros com resultados de pH relativamente baixos e, portanto, com características mais ácidas. Os poços Red6, Red21, Naz13, Naz40, Naz41 e Uma52 mostram valores de pH normalmente acima de 5, com alguns picos superiores a 6, ao passo que os poços Red29, Red33, Uma7 e Uma8 apresentam, na maioria das amostragens, resultados de pH próximos a 4. Os demais poços (Naz25 e Uma51) evidenciam um comportamento intermediário entre os dois tipos anteriores.

Cabe destacar que no estudo desenvolvido por Sioli (1960) nos aquíferos Quaternário/Barreiras nas proximidades de Belém, foram obtidos valores de pH na faixa de 5,7 a 6,4, para poços aparentemente contaminados por fossas e esgotos domésticos, semelhantes, portanto, há alguns valores aqui obtidos.

A condutividade elétrica (CE), nos 12 poços estudados, apresenta valores variando de 146 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 432 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com média em torno de 301 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figuras 9 e 10). A análise dos histogramas da condutividade elétrica assemelha-se ao constatado para o pH. Os poços, analisados individualmente, mostram um comportamento relativamente homogêneo ao longo dos períodos, mas quando comparados entre si, é possível distinguir poços com valores sempre mais elevados daqueles com os valores menos elevados. Os poços Uma7, Uma8, Uma52, Naz13, Naz40, Naz41 e Red6 apresentam, na maioria das amostragens, valores próximos ou acima de 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, enquanto que os poços Red29, Red33, Uma51 e Naz25 possuem, em geral, valores de CE na faixa de 300 μS a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

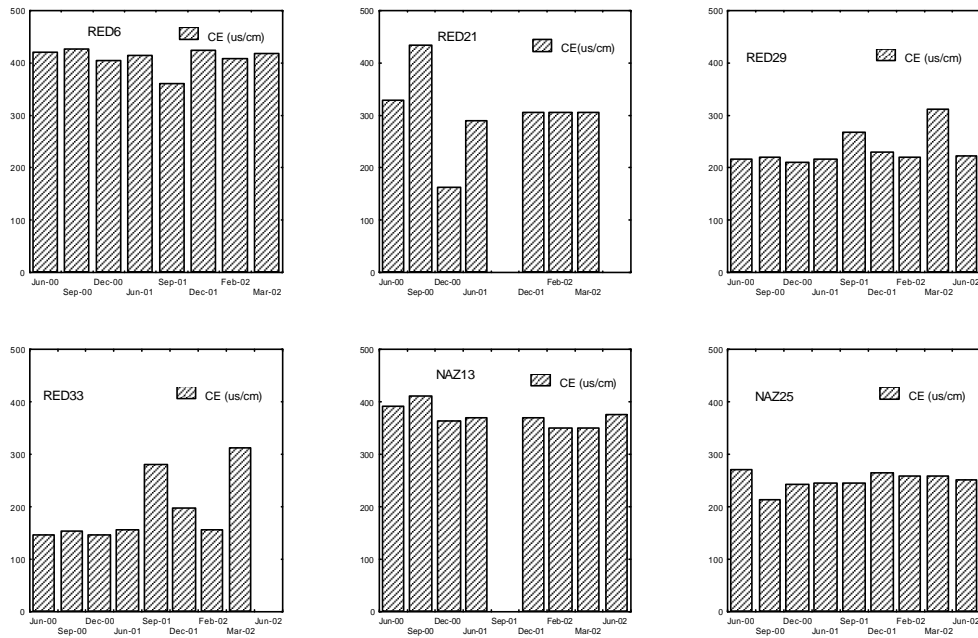


Figura 9 - Valores de condutividade elétrica (CE) ao longo dos meses de amostragem para os poços Red6, Red21, Red29, Red33, Naz13 e Naz25.

Figure 9 - Electrical conductance (CE) values of water collected during the months of sampling (wells Red6, Red21, Red29, Red33, Naz13 and Naz25).

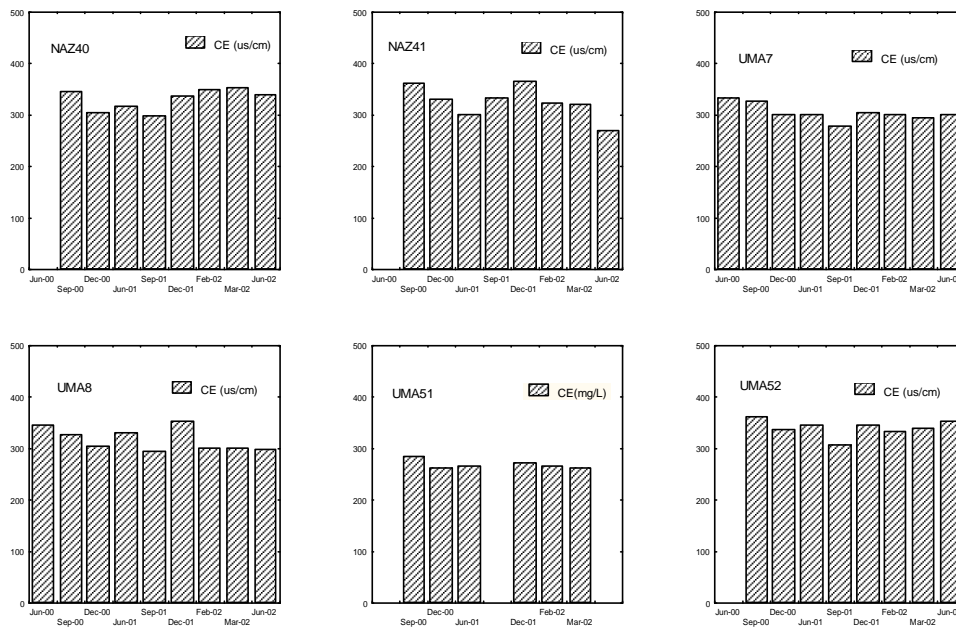


Figura 10 - Valores de condutividade elétrica (CE) ao longo dos meses de amostragem para os poços Naz40, Naz41, Uma7, Uma8, Uma51 e Uma52.

Figure 10 - Electrical conductivity (CE) values of water collected during the months of sampling (wells Naz40, Naz41, Uma7, Uma8, Uma51 and Uma52).

O poço Red21 apresenta um comportamento mais heterogêneo. Salienta-se que os valores obtidos nos poços estudados estão elevados, se comparado ao padrão regional das águas do

aquífero Barreiras não contaminadas por efluentes domésticos (Tabela 1), indicando assim, que as águas estudadas estão enriquecidas, independentes do período de amostragem.

Tabela 1 - Características físico-químicas das águas potáveis exploráveis do aquífero Barreiras, na região de Belém /PA. (modificado de CORTEZ et al. 2000).

Table 1 - Physic - chemical characteristics of exploitable potable waters from the Barreiras aquifer, Belém region

Parâmetro	Mínimo	Máximo
PH	4,3	4,6
CE (µS/cm)	28,5	45,0
Na ⁺ (mg/L)	1,60	1,7
K ⁺ (mg/L)	0,28	3,16
Ca ²⁺ (mg/L)	0,11	0,20
Mg ²⁺ (mg/L)	Ab.	0,25
Cl ⁻ (mg/L)	Ab.	2,27

Ab.: abaixo do limite de detecção do método

Os resultados para cloreto, nos 12 poços, mostra uma taxa de variação entre um mínimo de 4 mg/L e um máximo de 60 mg/L, com valor médio em torno de 26 mg/L. No estudo para cloreto (Figuras 11 e 12), observa-se uma maior irregularidade no comportamento individual dos poços, quando comparados aos dados de pH e condutividade elétrica. Pode-se, entretanto, ainda separar grupos com distintos comportamentos. Os poços Uma7 e Uma8 apresentam, em geral, teores de cloreto sempre acima de 30 mg/L. Em

contrapartida, os poços Red29, Red33, Naz40 e Naz41 possuem, em geral, teores de cloreto próximos ou abaixo de 20 mg/L. Os outros poços mostram um comportamento mais irregular com os teores intermediários aos dois tipos anteriores.

A análise dos poços indica, ainda, uma tendência aos teores mais baixos de cloreto ocorrerem no final do período chuvoso, especialmente no mês de junho de 2000, enquanto os teores mais elevados são encontrados durante o período chuvoso

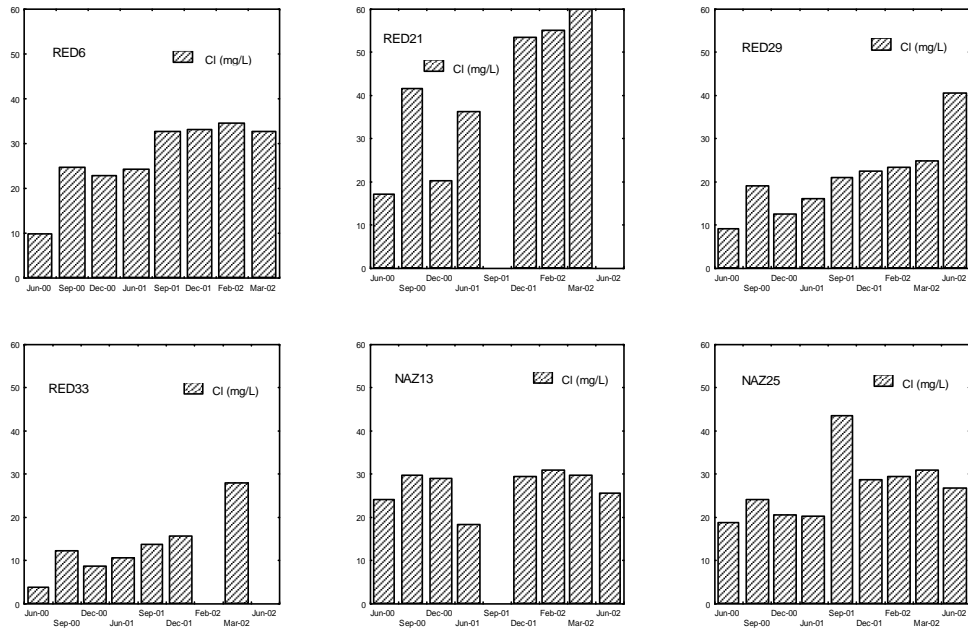


Figura 11 - Teores de cloreto (Cl) ao longo dos meses de amostragem para os poços Red6, Red21, Red29, Red33, Naz13 e Naz25.

Figure 11 - Chlorite concentration (Cl) of water collected during the months of sampling (wells Red6, Red21, Red33, Naz13 and Naz25).

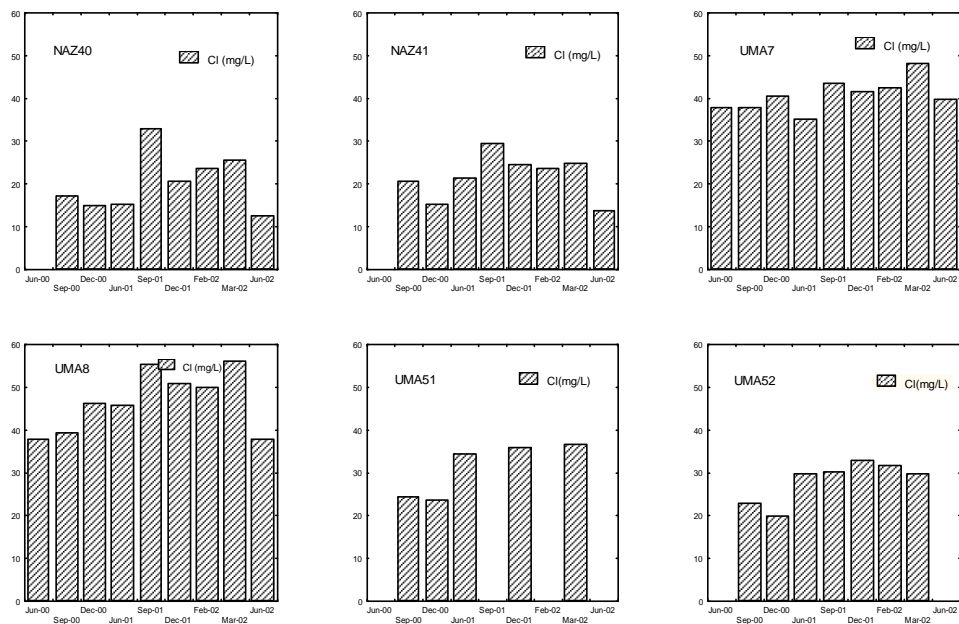


Figura 12 - Teores de cloreto ao longo dos meses de amostragem para os poços Naz40, Naz41, Uma7, Uma8, Uma51 e Uma52.

Figure 12 - Chlorite concentration (Cl) of water collected during the months of sampling (wells Naz40, Uma7, Uma8, Uma51 e Uma52).

(fevereiro/março). Esse comportamento do cloreto já tinha sido verificado por (Cabral, 2004), no estudo da influência da sazonalidade regional nas alterações das características hidrogeológicas das águas estudadas. Diferenciando da tendência geral, o poço Naz25

mostra que o teor mais elevado de cloreto ocorreu no mês de setembro de 2001 (estiagem).

O estudo dos comportamentos para nitrato e amônio foi feito em conjunto. Foram analisados os poços Naz12 Naz13, Naz25, Naz38, Naz41, Red6, Red33, Uma7, Uma8 e Uma51. Os poços quando analisados individualmente tiveram, novamente, comportamento homogêneo, apresentando, em geral, uma relativa constância dos seus teores ao longo das diversas amostragens realizadas, com isoladas variações mais significativas. Constata-se que os teores máximos para nitrato, na maioria dos poços aqui analisados, foram encontrados no período de estiagem (setembro) e, principalmente, no início das chuvas (dezembro), coincidindo com o que foi constatado por (Cabral, 2004), quando estudou o comportamento sazonal desses parâmetros. O estudo conjunto desses dois

parâmetros permitiu a classificação de 4 padrões principais de comportamento, caracterizados a seguir.

Para efeito de comparação e escala do que seriam teores elevados e teores baixos de nitrato e amônio, foram considerados os limites máximos de potabilidade do nitrato e do amônio, definidos na Portaria nº 518 de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde, que são respectivamente 10 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$ (45 mg/L NO_3) e 1,5 mg/L $\text{NH}_4^+ \text{- N}$ (1,9 mg/L NH_4^+). Salienta-se que alguns poços apresentavam teores de nitrato e amônio próximos ou acima do padrão de potabilidade da citada Portaria.

Assim, o padrão 1 corresponderia a poços com teores de nitrato altos e teores baixos de amônio, exemplificados pelos poços Red33 e Red46 (Figura 13), e, mais claramente, pelos poços Naz13 e Naz41 (Figura 14).

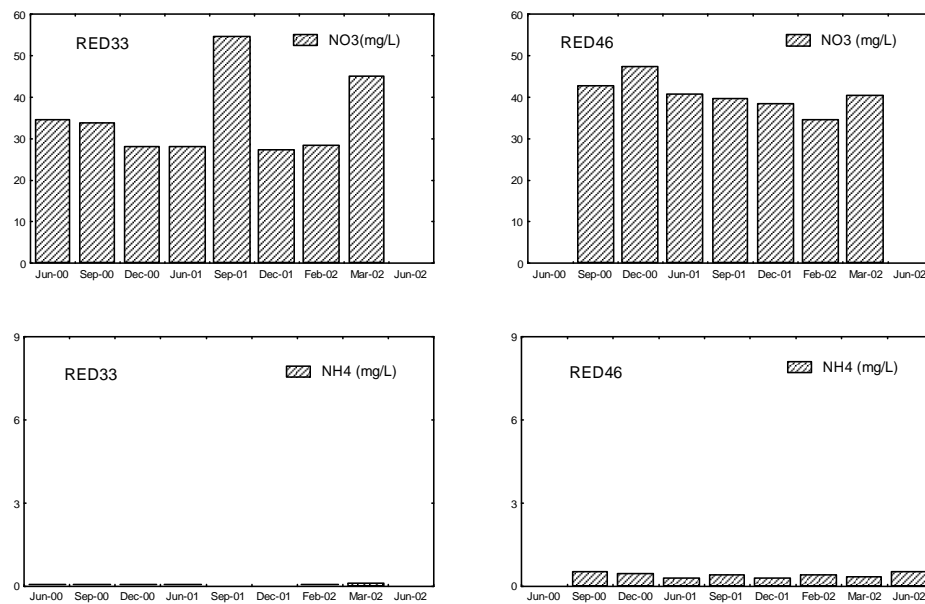


Figura 13 - Teores de nitrato (NO_3^- altos e amônio (NH_4^+) baixos nos poços Naz33 e Naz46, caracterizando o padrão 1.

Figure 13 - High Concentrations of nitrate (NO_3^-) and low ammonium (NH_4^+) in the wells Naz33 and Red46, characterizing standard 1.

O padrão 2 seria caracterizado por teores elevados tanto de amônio quanto de nitrato (poços Uma7 e Uma8, Figura 15). O padrão 3 observado nos poços Red6 e Uma51, seria caracterizado por concentrações baixas a intermediárias de nitrato e correspondentes teores altos a relativamente altos de amônio (Figura 16). E por último, o padrão 4 seria traduzido por

teores muito baixos para o amônio (poços Naz25, Naz12 e Naz38, Figura 16), acompanhado por teores intermediários de nitrato. O poço Naz38 está enquadrado nesse padrão, com ressalva, já que o mesmo apresenta os teores de nitrato e amônio muito baixos em relação à tendência dos outros dois poços.

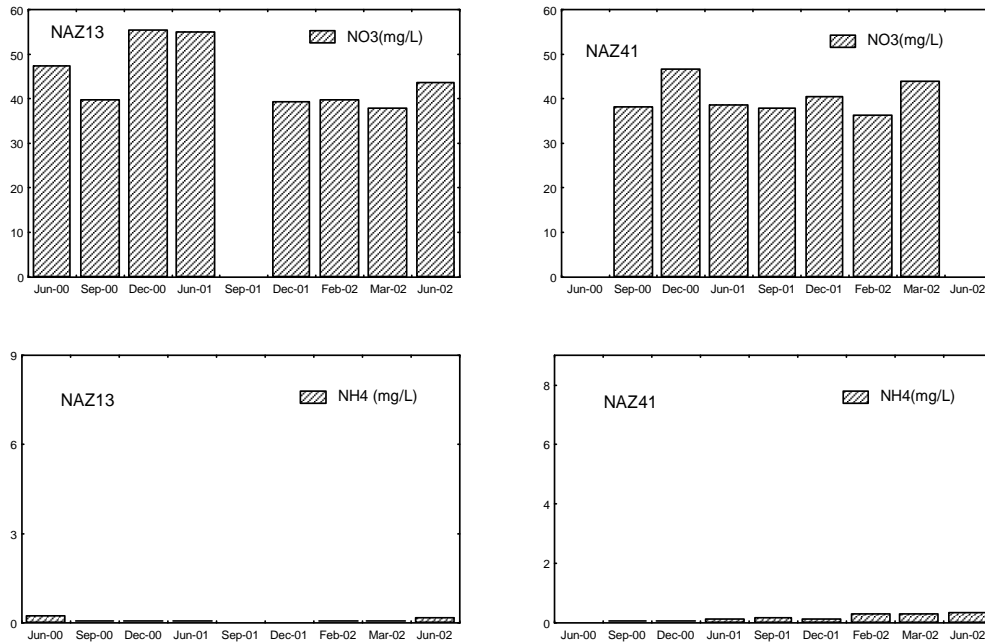


Figura 14 - Teores de nitrato elevados (NO₃⁻) e amônio baixos (NH₄⁺) nos poços Red13 e Red41, caracterizando o padrão 1.

Figure 14 - High concentrations of nitrate (NO₃⁻) and low ammonium (NH₄⁺) in the wells Red13 and Red46, characterizing standard 1.

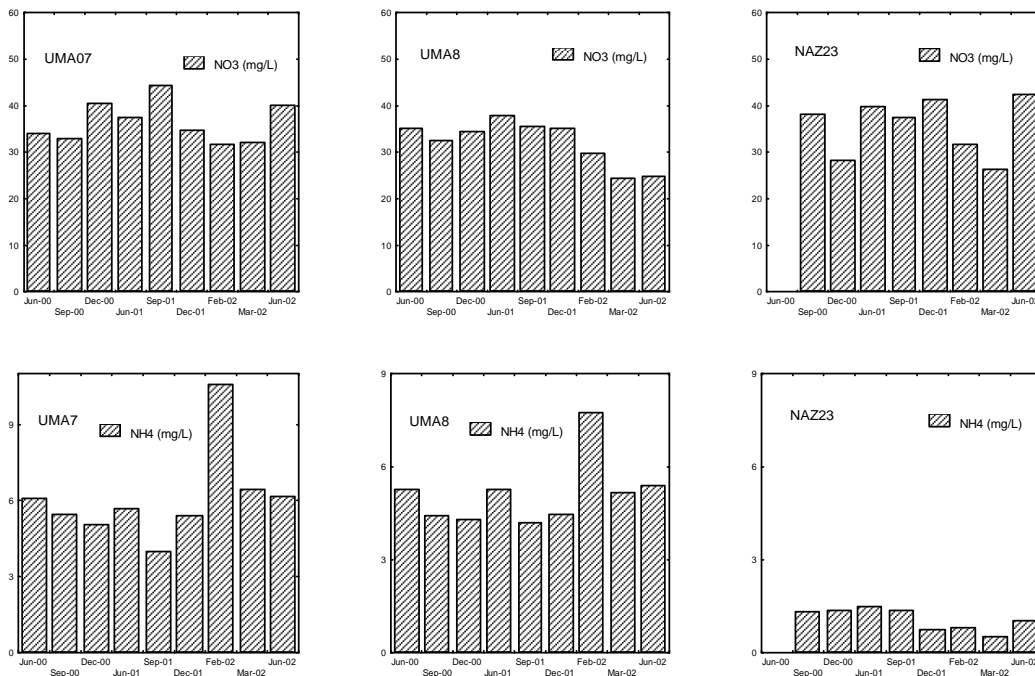


Figura 15 - Teores de (NO₃⁻) e amônio (NH₄⁺) elevados nos poços Uma7, Uma8 e Naz23, caracterizando o padrão 2.

Figure 15 - Concentrations of nitrate (NO₃⁻) and ammonium (NH₄⁺) raised in the wells Uma7, Uma8 and Naz23, characterizing standard 2.

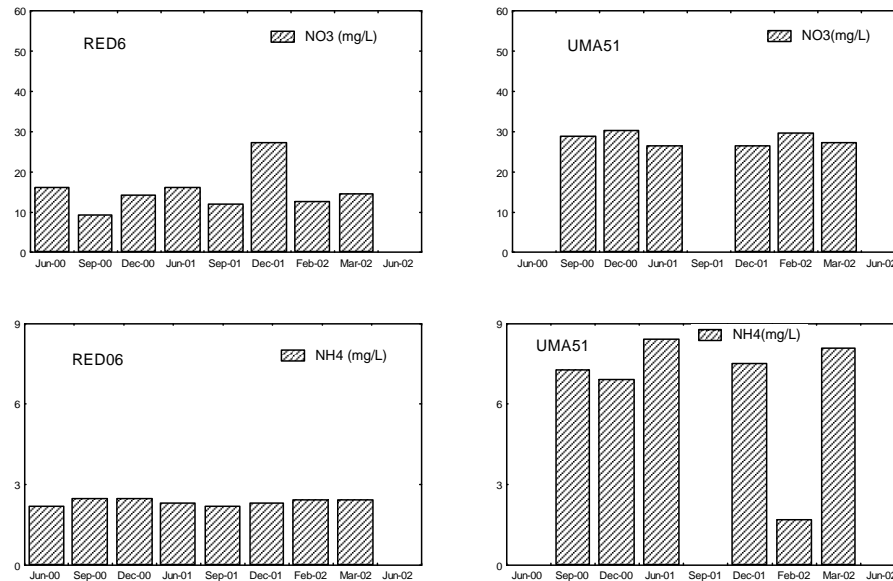


Figura 16 - Teores de nitrato (NO₃⁻) intermediários a baixos e de amônio (NH₄⁺) elevados nos poços Red6 e Uma51, caracterizando o padrão 3.

Figure 16 - Intermediate the low concentrations of nitrate (NO₃⁻) and of high ammonium (NH₄⁺) in the wells Red6 and Uma51, characterizing standard 3

Cabral (2004) produziu mapas, da área estudada, para nitrato, amônio e condutividade, confeccionados com recursos do Software Suffer 8.0, a partir dos resultados físico-químicos de 35 poços nas diferentes campanhas de amostragem. Esses mapas permitiram estudar a distribuição especial dos padrões comportamentais, definidos acima, e ajudaram no entendimento dos significados químicos desses padrões e suas relações com as contaminações de efluentes domésticos. É importante destacar que os padrões definidos não guardam uma relação clara com a distribuição da rede de esgoto na área, conforme constatou Cabral (2004), analisando o mapa de esgoto da área e a localização dos poços estudados. Isso pode estar relacionado ao fato da instalação da rede de esgoto ser antiga, com mais de 50 anos de funcionamento, portanto, sujeita à fuga. Além disso, uma parcela dos condomínios e residências utiliza fossas para depositar seus dejetos, mesmo nas áreas onde a rede de esgoto existe. Mesmo assim, há uma tendência dos poços com teores elevados de amônio estarem posicionados no bairro do Umarizal, onde a rede é inexistente (Uma7, Uma8). Em contrapartida, o bairro de Nazaré está integrado ao sistema de esgoto e os poços localizados nesse bairro mostram teores de nitrato elevados, como por exemplo, os poços Naz13 e Naz41.

Após a análise dos poços representativos nos diferentes períodos de amostragem, alguns

comentários merecem destaque. Inicialmente, os poços, quando analisados individualmente, não apresentam grande variações nos valores dos parâmetros hidrogeoquímicos, mas, quando comparados entre si, apresentam diferenças significativas que permitem separá-los em classes ou padrão de comportamento. Isso pode significar maior ou menor distância de fontes ativas de contaminação, que seriam, portanto, os fatores preponderantes na caracterização e/ou diferenciação hidrogeoquímica de um poço em uma área urbana, como a do estudo. O segundo comentário é que os padrões definidos para os teores de nitrato e amônio representam a amplitude do grau de contaminação desses poços. Cabe destacar que as características hidrogeológicas desses poços selecionados são semelhantes. As diferenças de comportamento estão, portanto, mais relacionadas à proximidade da fonte de contaminação do que a sua localização e profundidade do nível estático (conforme as interpretações de Cabral, 2004). Exemplos dessas afirmações podem ser vistos nos poços Uma8 e Uma7, que mesmo posicionados em cota topográfica mais elevada (10 metros) e com nível estático em torno de 5,0m, apresentam elevados teores de nitrato e amônio. Por outro lado, alguns poços posicionados em cotas topográficas mais baixas (inferior a 5 metros) e com níveis estáticos rasos (inferior a 2m) podem mostrar exemplos com

teores de amônio elevados (Red6), bem como com teores baixos (Red46).

Assim, o padrão 1 mostra poços com enriquecimento de nitrato e baixo amônio (processo de transformação amônio para nitrato foi completo - nitrificação). Esse padrão está representado, especialmente, nos poços Naz13 e Naz41, apresentando tendência a pH mais alto (tendendo à neutralidade), além da condutividade elétrica e cloreto relativamente mais elevados, se comparados ao *background* regional dessas águas (ver Tabela 1). O padrão 2 está exemplificado pelos poços Uma7 e Uma8, com nitrato e amônio altos, fonte próxima e ativa permitindo a convivência ou presença dos dois parâmetros,

mostrando pH com característica mais ácida, acrescidos de condutividade elétrica e cloretos relativamente mais elevados. O padrão 3 mostra amônio alto, pH com tendência à neutralidade (em geral acima de 5,5) e condutividade elétrica elevada, podendo representar um ambiente redutor muito mais próximo das fossas e/ou dos efluentes de fossas sépticas do que o padrão 2. Finalmente, o padrão 4 é caracterizado por amônio muito baixo, nitrato com teores intermediários e valores da condutividade elétrica menores do que os outros padrões mencionados anteriormente. A Tabela 2 resume os principais aspectos desses padrões comportamentais.

Tabela 2 - Resumo dos padrões comportamentais definidos a partir das características dos indicadores de contaminação por efluentes domésticos. Os teores de nitrato, amônio e cloreto estão em mg/L. Os valores de CE em $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Table 2 - Tab - Summary of behavioral patterns of contamination by domestic effluent. Values are mg/L except CE).

Padrões	Parâmetro				
	Nitrato	Amônio	pH	CE	Cloreto
1	Alto	Baixo	Tendência à neutralidade	Alto	Alto
2	Alto	Alto	Tendência à acidez	Alto	Alto
3	Intermediário	Alto	Intermediário	Alto	Intermediário
4	Intermediário	Baixo	Tendência à acidez	Alto	Intermediário

Nota: teor alto de nitrato = acima ou próximo de 45 mg/L – teor alto de amônio = acima ou próximo de 1,9 mg/L – valor alto da CE = acima de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – valor alto de cloreto = acima de 10 mg/L.

É importante destacar que não foi observado com clareza, na área, o processo de nitrificação acompanhado com decréscimo de pH, principalmente nos poços Naz13 e Naz41, onde o padrão 1 é bem definido. Sugerindo, portanto, que a diminuição do pH é tamponada pela presença de substâncias alcalinas nos efluentes domésticos (HARMAN ET AL., 1996).

Para analisar os comportamentos individuais dos parâmetros cálcio, sódio, potássio e magnésio, foram selecionados os poços Red6, Uma7 e Red33 (Figura 18). Ressalta-se que, nesses poços, os parâmetros acima estão bem diferentes do *background* regional dessas águas, conforme mostra a Tabela 1.

O poço Red6 apresenta, para cálcio, teores relativamente altos nas 5 últimas amostragens, com variação de 39 a 46 mg/L. Nos dois primeiros períodos (junho e setembro de 2000), os teores estão mais baixos (18 a 29 mg/L). Para os teores de sódio, na maioria das amostragens, o teor mínimo atingiu 25 e o máximo 34 mg/L, com exceção do mês de junho de 2000 que apresentou o teor mais baixo (15 mg/L) se

comparado à tendência dos demais períodos. Já os resultados de potássio apresentam valores discretamente mais elevados (9 a 9,7 mg/L) nos meses de fevereiro e março de 2002 e mais baixos em setembro e dezembro de 2001 (4,2 e 4,8 mg/L). Em relação ao magnésio, os resultados são praticamente similares ao longo dos períodos de amostragem. Acrescenta-se que o poço Red6, por apresentar teores intermediários de amônio e nitrato, está enquadrado no padrão 3, como já retratado.

O poço Uma7, pertence ao padrão 2, mostra teores baixos para cálcio (< 3 mg/L), com um relativo aumento no mês de setembro de 2001 (10 mg/L). Esse aumento coincide com uma discreta queda no resultado de amônio e uma elevação no teor de nitrato. As concentrações de sódio variam de 14,5 mg/L (junho-2000) até 38 mg/L (março-2002). Os teores de potássio apresentam um mínimo de 1,4 mg/L (dezembro-2001) e um máximo de 10 mg/L (março-2002). Os resultados de magnésio permaneceram relativamente constantes em todos os períodos.

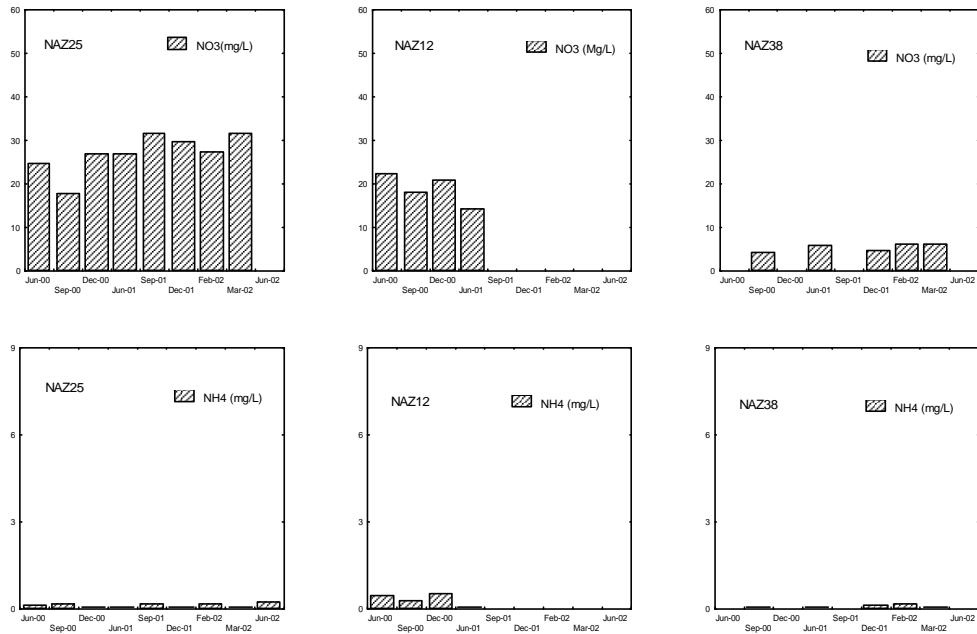


Figura 17 - Teores de nitrato (NO₃⁻) intermediários e de amônio (NH₄⁺) baixos nos poços Naz25, Naz12 e Naz38, caracterizando o padrão 4.
 Figure 17 - Intermediate concentrations of nitrate (NO₃⁻) and low ammonium (NH₄⁺) in the wells Naz25, Naz12 and Naz38, characterizing standard 4.

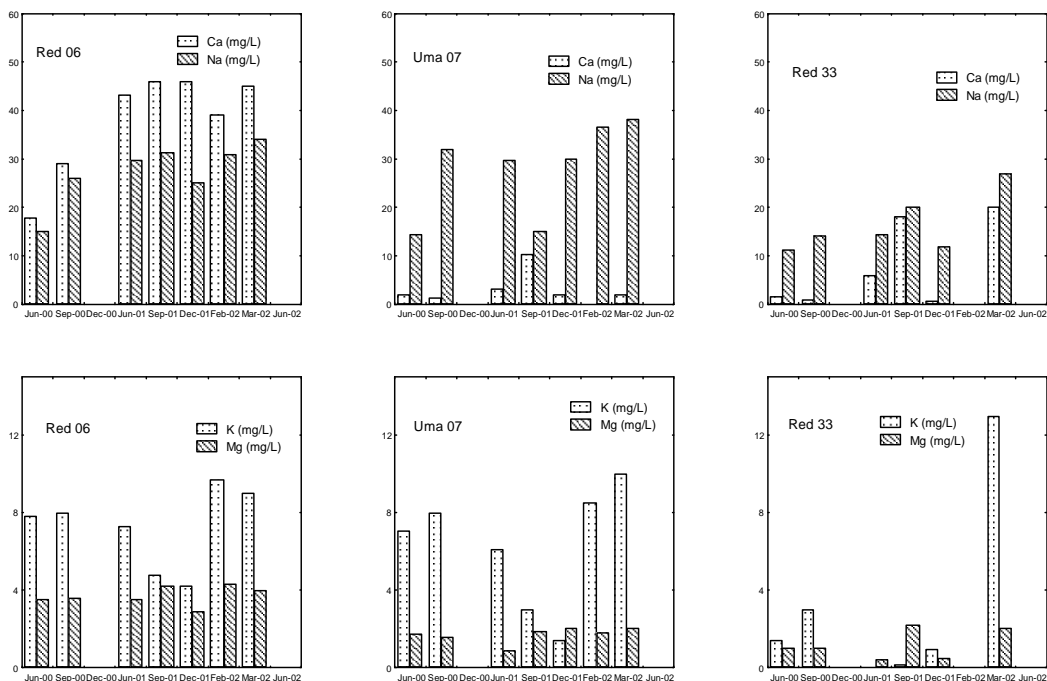


Figura 18 - Histogramas mostrando os teores de cálcio (Ca), potássio (K), sódio (Na) e magnésio (Mg) ao longo dos meses de amostragem nos poços Red6, Uma7 e Red33.
 Figure 18 - Histograms showing the concentrations of calcium (Ca), potassium (K), sodium (Na) and magnesium (Mg) to long of the months of sampling in the wells Red6, Uma7 and Red33.

O poço Red33 apresenta, no geral, valores baixos de cálcio (< 6 mg/L), sendo que nos dois períodos (setembro-2001 e março-2002) os resultados estão mais elevados (18 e 20 mg/L). A

elevação dos valores de cálcio coincide com um aumento nos teores de nitrato. Os resultados de sódio variaram de 11 a 27 mg/L, enquanto que os teores de potássio mostraram um mínimo de 1,4 mg/L e um máximo de 14 mg/L. Para esses dois parâmetros, os meses com resultados mais altos foram, também, setembro de 2001 e março de 2002. Os resultados de magnésio, seguindo a tendência dos dois poços anteriores, não apresentaram variações significativas. Vale ressaltar que o poço Red33 foi classificado no padrão 1, com valores altos de nitrato e baixos de amônio.

Nos três poços estudados a análise dos resultados para cálcio, potássio, sódio e magnésio mostra que não existe influência significativa da sazonalidade na variação desses parâmetros. É interessante observar a relação entre o cálcio e o nitrato nos poços Red33 e Uma7, coincidindo, portanto, com a interpretação efetuada nos estudos de correlações por Cabral (2004), no qual a autora constatou uma correlação positiva.

Os dados dos padrões, apresentados acima, permitem fazer uma analogia com os estudos experimental feitos por (WILHELM et al.,1996) e (VARNIER,2001), no qual ficou evidenciado que nas proximidades das fossas, o ambiente redutor é mantido pela degradação da matéria orgânica, proveniente dos tanques sépticos ou de fossas (padrão 3). À medida que se afasta da fonte, em posição intermediária, compostos mais oxidados, como amônio e nitrato, aparecem em teores significativos, devido ao contato do contaminante com águas mais ricas em oxigênio (padrão 2). Desse modo, quando existe o predomínio de nitrato (padrões 1 e 4) em relação ao amônio, acredita-se que os poços, com essas características, estão mais afastados da fonte de contaminação.

A distribuição espacial desses padrões de comportamentais foi delimitada por Cabral (2004), a partir dos mapas espaciais do nitrato, amônio e condutividade elétrica. Dessa forma, o padrão 1 está mais representado na parte central da área de estudo, o padrão 2 nas porções nordeste da área e os padrões 3 e 4 estão distribuídos nas porções noroeste e sudoeste da área, respectivamente.

CONCLUSÕES

As análises para pH, condutividade elétrica e cloreto indicaram que os poços, quando analisados individualmente, mostraram um comportamento relativamente homogêneo ao longo dos períodos, mas quando comparados entre si, foi possível distinguir poços com valores sempre mais elevados daqueles com os valores menos elevados. Para os parâmetros cálcio, potássio, sódio e magnésio foram observados o mesmo comportamento dos parâmetros anteriores. Na avaliação para nitrato e amônio, observou-se que os poços, quando analisados individualmente, tiveram comportamentos homogêneos, apresentando, em geral, uma relativa constância dos seus teores ao longo das amostragens realizadas. Por outro lado, o estudo conjunto dos poços permitiu a classificação de 4 padrões principais de comportamento para nitrato e amônio. O padrão 1 corresponderia a poços com valores altos de nitrato e baixos de amônio; o padrão 2 seria caracterizado por teores elevados tanto de amônio quanto de nitrato; o padrão 3 corresponderia a poços com concentrações baixas a intermediárias de nitrato e teores altos a relativamente altos de amônio e, finalmente, o padrão 4 seria traduzido por teores mais baixos para o amônio, acompanhado por teores intermediários de nitrato.

Os padrões definidos podem significar maior ou menor distância de fontes ativas de contaminação que seriam, portanto, os fatores preponderantes na caracterização hidrogeoquímica dos poços numa área urbana como a estudada. Desse modo, na proximidade da fossa (padrão 3), o ambiente redutor é mantido pela degradação da matéria orgânica, proveniente dos tanques sépticos ou de fossas. À medida que se afasta da fonte, em posição intermediária, compostos mais oxidados como amônio e nitrato aparecem em teores significativos, devido ao contato do contaminante com águas mais ricas em oxigênio (padrão 2). Finalmente, quando existe o predomínio de nitrato (padrões 1 e 4) em relação ao amônio, acredita-se que os poços estão mais afastados da fonte de contaminação.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19.ed. Washington DC, American Water Works Association and Water environment Federation, 1995.
- ASCHENGRAU, A; ZIERLER, S.; COHEN, A. Quality of community drinkink water and the occurrence of spontaneous abortion. **Archives of Environmental Health**. 44 (5): 283-290. 1989.
- BRASIL. Ministério da Saúde. 2004. Portaria n° 518 de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília: Gabinete do Ministério da Saúde.
- CABRAL, N.M.T. **Impacto da urbanização na qualidade das águas subterrâneas nos bairros do Reduto, Nazaré e Umarizal – Belém/PA**. Belém, 2004. Tese de Doutorado. Centro de Geociências – UFPA.
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DA ÁREA METROPOLITANA DE BELÉM. - Base digital CD-Room, 1999.
- CORTEZ, C.M.B.; TAGLIARINI, E.M.; TANCREDI, A.C.F.N.S. Utilização de águas minerais dos aquíferos do Grupo Barreiras na região de Belém (PA). In: **Joint World Congress on Groundwater**, 1. Fortaleza (CE) – CD-ROOM, 2000.
- FETTER, C.W. *Applied Hydrogeology*. 3ed. New Jersey: Prentice-Hall, 691p. 1994.
- HARMAN, J.; ROBERTSON, W. D.; CHERRY, J. A.; ZANINI, L. Impacts on a sand aquifer from na Old Septic System: Nitrate and Phosphate. **Ground Water**, 34 (6): 1105 – 1114, 1996.
- HIRATA, R. **Fundamentos e estratégia de proteção e controle da qualidade das águas subterrâneas. Estudo de casos no estado de São Paulo**. São Paulo, 1994. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências.
- INMET.. Instituto Nacional de Meteorologia Dados climáticos da estação de Belém. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br> > acesso em: 11 de maio de 2000.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTÁTISCA. Censo demográfico do Pará. 2000.
- PEHRMB. 2001. **Projeto de estudos hidrogeológicos da região Metropolitana de Belém e Adjacências. Relatório Final**. Belém: 2001. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/CPRM. (Relatório Concluído).
- SIOLI, H. 1960. Pesquisas limnológicas na região da Estrada de ferro de Bragança, estado do Pará, Brasil. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Norte**. Nº 37.91p.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1995. **Drinking water regulations and health advisories. Offices of water** . Disponível em: < URL <http://www.epa.gov>. > Acesso em: jun. 2001.
- VARNIER, C. **O efeito do nitrogênio provenientes de sistemas de saneamento “in situ” na qualidade das águas subterrâneas em aquíferos livres e rasos**. São Paulo, 2001. (Dissertação de Mestrado). Instituto de Geociências – USP.
- WILHELM, S. R.; SCHIFF, S.L.; CHERRY, J.A. Biogeochemical evolution of domestic waste water in septic systems: 1 Conceptual Model. **Ground Water**, 32 (6): 906- 916. 1994.

