



Universidade Estadual Paulista  
"Júlio de Mesquita Filho"

Programa Interunidades



Mestrado

---

Engenharia Civil e Ambiental

**FERNANDO MAZZINI**

**HIDROGEOQUÍMICA DO AQUÍFERO BAURU NA ÁREA URBANA  
DO MUNICÍPIO DE MARÍLIA (SP)**

Bauru  
2012

A large, faded version of the unesp logo is visible in the background of the lower half of the page, centered horizontally and partially obscured by the text.

**FERNANDO MAZZINI**

**HIDROGEOQUÍMICA DO AQUÍFERO BAURU NA ÁREA URBANA  
DO MUNICÍPIO DE MARÍLIA (SP)**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Área de Concentração em Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Fabiano Tomazini da Conceição



Bauru  
2012

Mazzini, Fernando.

Hidrogeoquímica do aquífero Bauru na área urbana do município de Marília (SP) / Fernando Mazzini, 2012

56 f.

Orientador: Fabiano Tomazini da Conceição

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2012

1. Qualidade da água subterrânea. 2. Interação água-rocha. 3. Atividades antrópicas. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado de FERNANDO MAZZINI, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.**

Aos 19 dias do mês de dezembro do ano de 2012, às 14:00 horas, no(a) DEPARTAMENTO DE PLANEJAMENTO TERRITORIAL E GEOPROCESSAMENTO DO CÂMPUS DA UNESP DE RIO CLARO, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. FABIANO TOMAZINI DA CONCEIÇÃO do(a) Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento / Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro - UNESP, Prof. Dr. GUILLERMO RAFAEL BELTRAN NAVARRO do(a) Departamento de Petrologia e Metalogenia / Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro - UNESP, Prof. Dr. RODRIGO BRAGA MORUZZI do(a) Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento / Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro - UNESP, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE Mestrado de FERNANDO MAZZINI, intitulado "HIDROGEOQUÍMICA DO AQUÍFERO BAURU NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE MARÍLIA (SP)". Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: aprovado. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

  
Prof. Dr. FABIANO TOMAZINI DA CONCEIÇÃO

  
Prof. Dr. GUILLERMO RAFAEL BELTRAN NAVARRO

  
Prof. Dr. RODRIGO BRAGA MORUZZI

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a meus pais, pelo sacrifício pelo meu estudo, aos meus professores pela paciência, ao meu diretor David e amigos de trabalho, Emílio, Lúcia e Rafael, pela ajuda e compreensão nesse esforço, a minha noiva Marina pela força e está sempre ao meu lado e principalmente a meu orientador Fabiano, pela calma e entendimento.*

## AGRADECIMENTOS

A UNESP, pela chance de aprimoramento do estudo.

Ao Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), pela disponibilização de horas e equipamentos.

Ao DAEM, Departamento de Águas e Esgoto de Marília, pela disponibilização dos dados, e pessoal para acompanhamento a campo.

A todos os colegas de trabalho, pelo incentivo e esforço.

Ao meu diretor pela compreensão do tempo disposto no estudo.

E a todos que participaram direta e indiretamente.

## **Hidrogeoquímica do Aquífero Bauru na área urbana do município de Marília (SP)**

### **RESUMO**

Este trabalho avaliou a hidrogeoquímica do Aquífero Bauru na área urbana de Marília, São Paulo. Dezessete pontos de amostragem foram estabelecidos e realizaram-se amostragens nos dias 16 e 17 de maio de 2012, analisando-se os seguintes parâmetros: condutividade elétrica, temperatura, pH, oxigênio dissolvido, sólidos totais em suspensão, cor,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{N-NO}_3^-$ , Ca, Na, K, Mg, Si, Fe, Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Se e Zn. Os resultados indicaram que as águas subterrâneas da área urbana de Marília possuem pH ligeiramente ácido, baixa condutividade, cor e oxigênio dissolvido dentro dos limites estabelecidos para águas potáveis. A composição iônica indicou que as águas subterrâneas têm baixa concentração de cátions e ânions, sendo elas classificadas como moles ou moderadamente duras e cálcio-bicarbonatadas. Testes estatísticos sugeriram que a condutividade e o pH são controlados pela dissolução das carbonatos durante o processo de interação água/rocha. Além disso, é possível concluir que as concentrações de íons  $\text{N-NO}_3^-$ , Al, Fe, Pb e Cd encontradas nas águas subterrâneas na área urbana de Marília são originadas devido às atividades antrópicas.

**Palavras-chave:** qualidade da água subterrânea, interação água-rocha, atividades antrópicas.

## Hydrogeochemistry of the Bauru Aquifer in the urban area of Marília (SP)

### ABSTRACT

This work evaluated the hydrogeochemistry of the Bauru Aquifer in the urban area of Marília, São Paulo State. Seventy-one sampling points were established and it was carried out field campaigns in 16 and 17 May 2012, analyzing the following parameters: electrical conductivity, temperature, pH, dissolved oxygen, total suspended solids, color,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{N-NO}_3^-$ , Ca, Na, K, Mg, Si, Fe, Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Se e Zn. The results indicated that the groundwaters in the urban area of Marília possess pH slightly acid, low conductivity, color and dissolved oxygen inside the limits established for drinking waters. The ionic composition indicated that the groundwaters have low cations and anions concentration, being they classified as soft water and calcium-bicarbonated. Statistical tests suggested that conductivity and pH are controlled for the carbonate dissolution during the water/rock interaction process. Besides, it is possible to conclude that the high  $\text{N-NO}_3^-$ , Al, Fe, Pb e Cd concentrations found in the groundwaters in the urban area of Marília are originated due to anthropogenic activities.

**Key words:** groundwater quality, water-rock interaction, anthropogenic activities.



## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	14
3	ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO.....	15
3.1	– HIDROGEOLOGIA.....	17
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	25
5.1	VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS.....	25
5.2	COMPOSIÇÃO ANIÔNICA.....	30
5.3	COMPOSIÇÃO CATIÔNICA.....	32
5.4	CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	36
5.5	TESTES ESTATÍSTICOS E ESPECIAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA.....	39
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do município de Marília e distribuição dos poços amostrados neste trabalho. ....	15
Figura 2 - Locação da área urbana em relação a Topografia.....	17
Figura 3 - O Grupo Bauru em subsuperfície nas Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe (modificado de PRANDI, 2010).....	18
Figura 4 - Aguardando escoamento da água estagnada no cano para a realização da coleta, detalhe do poço sem a proteção sanitária. ....	22
Figura 5- Aguardando equipamento de campo estabilizar os dados para coleta .....	23
Figura 6 - Detalhe da filtragem da amostra em campo.....	23
Figura 7 - Mapa de isovalores de condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) na área urbana de Marília. ....	27
Figura 8 - Mapa de isovalores de Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) na área urbana de Marília.....	27
Figura 9 - Mapa de isovalores de pH na área urbana de Marília.....	28
Figura 10 - Mapa de isovalores de Oxigênio Dissolvido ( $\text{mg}/\text{L}$ ) na área urbana de Marília. ....	29
Figura 11 - Filtro do Poço 15, detalhe a retenção de STS no filtro. ....	29
Figura 12 - Mapa de isovalores de nitrato ( $\text{mg}/\text{L}$ ) na área urbana de Marília.....	33
Figura 13 - Distribuição das águas subterrâneas de Marília no Diagrama de Piper.....	38
Figura 14 – Correlação entre profundidade e pH (a) e condutividade elétrica (b).....	39
Figura 15 – Correlação entre condutividade elétrica e pH (a), alcalinidade (b), cálcio (c) e magnésio (d). ....	41
Figura 16 – Correlação entre pH e alcalinidade (a), cálcio (b), magnésio (c), alcalinidade e cálcio (d), magnésio (e) e cálcio e magnésio (f).....	41
Figura 17 – Diagrama de estabilidade à $25^{\circ}\text{C}$ NaO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Si <sub>2</sub> O-H <sub>2</sub> O (a), CaO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Si <sub>2</sub> O-H <sub>2</sub> O (b) e K <sub>2</sub> O-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Si <sub>2</sub> O-H <sub>2</sub> O (c) e índice de saturação da calcita (d) para as amostras de água subterrânea da urbana do município de Marília, utilizando-se o programa Phreeq C (PARKRUST E APPELO, 1999). ....	43
Figura 18 – Correlação entre cloreto e nitrato (a) e sódio (b), nitrato e sódio (c) e fosfato e nitrato (d), cloreto (e) e sódio (f). ....	44
Figura 19 – Correlação entre ferro e alumínio (a) e zinco e chumbo (b). ....	45
Figura 20 - Relação de áreas contaminada área urbana do município de Marília.....	45
Figura 21 - Fontes de Poluição (Adaptado de MONTERO, 2012) .....	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação dos poços amostrados, DAEM (2012).....	21
Tabela 2 - Valores obtidos de condutividade elétrica – Cond ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), temperatura – Temp. ( $^{\circ}\text{C}$ ), pH, sólidos totais em suspensão – STS (mg/L), cor (mg Pt-Co/L) e oxigênio dissolvido – OD (mg/L) para as águas subterrâneas da área urbana do Município de Marília. ....	26
Tabela 3- Composição aniônica, em mg/L, para as águas subterrâneas da área urbana de Marília. ....	30
Tabela 4 - Composição catiônica, em mg/L, para as águas subterrâneas da área urbana de Marília. ....	34
Tabela 5 – Demais metais, em mg/L, para as águas subterrâneas da área urbana de Marília. ....	36
Tabela 6 - Classificação de dureza das águas (mg/L de $\text{CaCO}_3$ ), segundo Sawyer et al. (2000). ....	37
Tabela 7 - Dureza da águas subterrâneas da área urbana do município de Marília. ....	38
Tabela 8 - Correlações entre parâmetros obtidos para as águas subterrâneas na área urbana de Marília.....	40

## 1 INTRODUÇÃO

A água doce representa apenas 3% do total de água na natureza. Os restantes 97% encontram-se nos oceanos e mares salgados. A maior parte desta água doce, aproximadamente 2,3% dos 3% restantes, está congelada nas calotas polares e geleiras, ou em lençóis subterrâneos muito profundos (PORTO, 1991). Por esse motivo, preocupações atuais existem quanto à preservação desse importante recurso, sobretudo quando as atividades humanas têm contribuído significativamente para a degradação da sua qualidade, tornando impróprio seu uso para as mais diversas finalidades.

A água subterrânea apresenta geralmente excelente qualidade e disponibilidade, sendo apta para o consumo humano, muitas vezes sem tratamento prévio (ANA, 2005). Assim, essas águas desempenham um papel fundamental no abastecimento público e privado em todo o mundo, sendo uma alternativa de baixo custo, fácil obtenção e boa qualidade natural, além de grande valor econômico. Outro importante papel desempenhado pelas águas subterrâneas é sua descarga em cursos de água superficial, permitindo sua manutenção durante a época de estiagem, além de ser uma reserva estratégica menos vulnerável a eventos catastróficos, tais como vulcanismo, terremotos, enchentes, entre outros.

Uma grande preocupação, nos dias de hoje, em relação à água subterrânea, é a sua contaminação, pois mesmo o solo tendo a capacidade de imobilização de grande parte das impurezas, essa capacidade é limitada. A contaminação ocorre quando alguma alteração na água coloca em risco a saúde ou o bem estar de uma população. A contaminação da água subterrânea pode ter várias origens, principalmente por atividades domésticas (matéria orgânica e microorganismos patogênicos), industriais (componentes químicos, metais e elementos radioativos) e agrícolas (fertilizantes e defensivos agrícolas), podendo ainda afetar essas reservas as atividades minerais, e outras possíveis formas de contaminação.

O reservatório natural subterrâneo formado por rochas predominantemente siliciclásticas, enquadradas formalmente na coluna estratigráfica da Bacia Sedimentar do Paraná como Grupo Bauru (SOARES et al., 1980), ou Grupos Caiuá e Bauru (FERNANDES, 1998), foi designado Sistema Aquífero Bauru pelo (DAEE, 1976 e 1979), que definiu como uma unidade hidrogeológica de extensão regional, contínua, livre a semiconfinada, com espessura média de 100 m, mas que pode alcançar 300 m. O Sistema Aquífero Bauru representa uma das principais fontes de exploração de águas subterrâneas no Estado de São Paulo. Entre os 462 municípios paulistas que são abastecidos, parcial ou integralmente, por água subterrânea, aproximadamente 59% captam água do Sistema Aquífero Bauru, sendo que em 88% deles o abastecimento é feito exclusivamente por água subterrânea (CETESB, 1997). As vazões obtidas em perfurações no Aquífero Bauru são extremamente variáveis, em virtude da diversidade litofaciológica existente, que coloca em contato lateral e vertical sedimentos com diferentes características de porosidades e permeabilidades (PAULA E SILVA 2003).

No estado de São Paulo, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB dispõe sobre Valores Orientadores para Águas Subterrâneas, determinando um Valor de Intervenção para águas subterrâneas, o qual padroniza a concentração de determinada substância na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerado um cenário de exposição genérico, sendo este valor de 10 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$ . De acordo com VARNIER et al. (2010), alguns poços de abastecimento no município de Marília apresentaram concentrações de  $\text{N-NO}_3^-$  acima do Valor de Alerta de 5 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$ , valor de Intervenção estabelecidos pela CETESB. Os poços de abastecimento que registraram concentração de  $\text{N-NO}_3^-$  acima do Valor de Intervenção, também possuem concentrações acima do estabelecido pela Portaria de Potabilidade do Ministério da Saúde nº 2914/11 (10 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$ ) (BRASIL, 2011). Outros estudos também apontaram alguns municípios que exploram o Aquífero Bauru e apresentaram o mesmo problema, sendo eles os municípios de Bauru, Presidente Prudente e São José do Rio Preto (BARCHA, 1980; HIRATA, 2000; GODOY et al., 2004; PROCEL, 2011).

## **2 OBJETIVOS**

O objetivo geral desta pesquisa foi avaliar o estudo hidrogeoquímico da área urbana do município de Marília (SP). Com isso, será possível dar continuidade a pesquisas relacionadas aos elevados valores de nitrato encontrados na região do aquífero Bauru na região de Marília, além de vários outros elementos/compostos, e possíveis alterações ocorridas nos últimos anos de exploração deste importante aquífero na cidade de Marília.

### 3 ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Marília possui uma área territorial de 1.170 km<sup>2</sup>, localizando-se a 450 km da capital do estado de São Paulo, na porção oeste do Estado de São Paulo (Figura 1). A população total deste município é de 216.684 habitantes, com 207.021 habitantes ocupando a sua área urbana (IBGE, 2011).

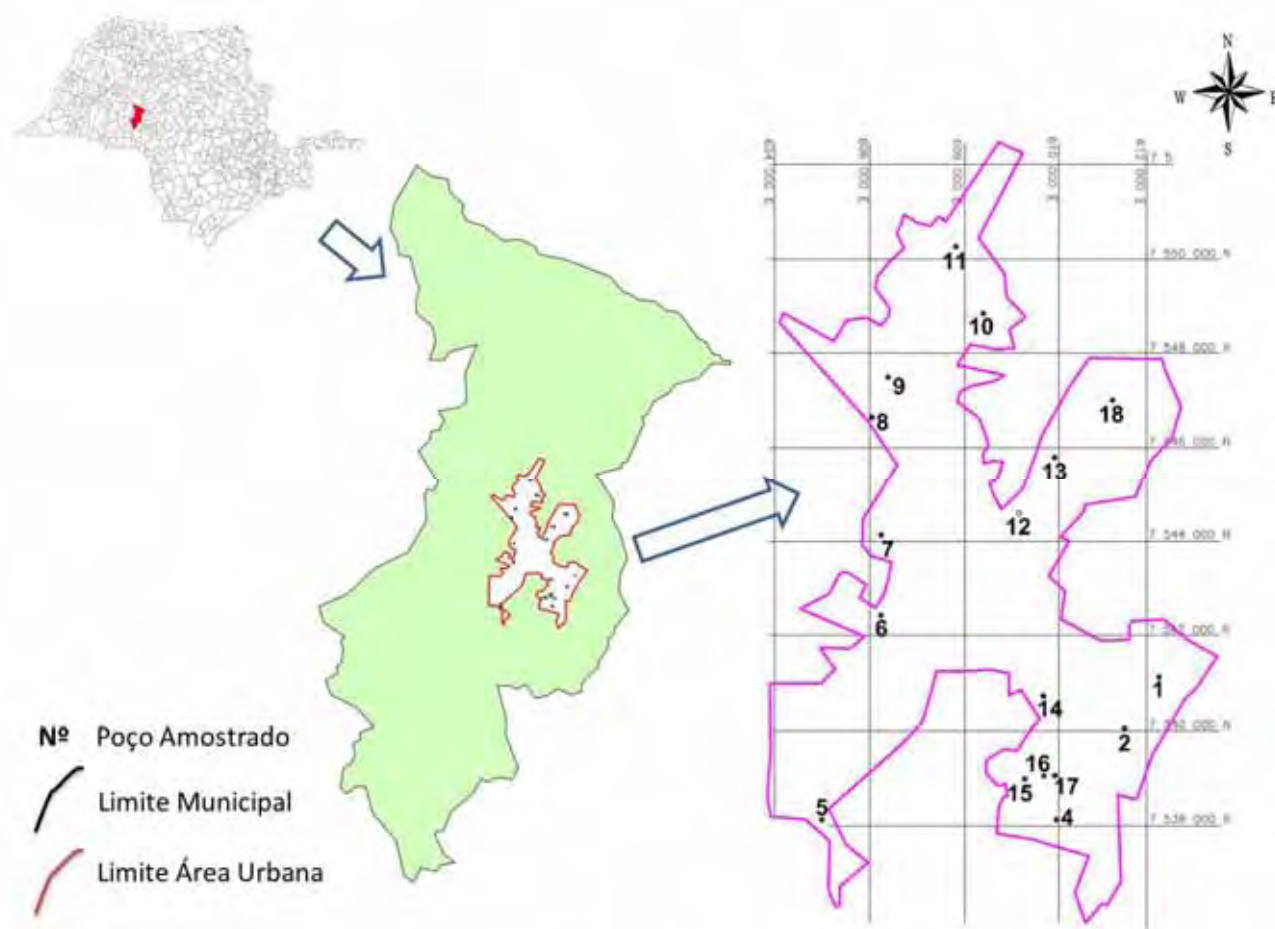


Figura 1 - Localização do município de Marília e distribuição dos poços amostrados neste trabalho.

O abastecimento público de Marília se dá pela captação de mananciais superficiais (Rio do Peixe e as represas do Arrependido, Água do Norte, Cascata e Ribeirão dos Índios) e por águas subterrâneas provenientes de inúmeros poços tubulares, que exploram os sistemas aquíferos Bauru, Serra Geral e Guarani. Já, o saneamento básico é efetuado pelo Departamento de Água e Esgoto de Marília (DAEM), onde os índices de coleta e tratamento de esgoto no município são, respectivamente, 78% e 2% (SEADE, 2003). Esta situação de saneamento básico precário, na prática, se traduz na deposição inadequada dos efluentes líquidos, muitas vezes diretamente no aquífero (fossas negras escavadas até o nível freático).

Segundo SNIS (2010), o município de Marília tem um Consumo médio de 199,50 l/hab.dia, e o índice de perdas é na faixa de 42,80 %.

A área urbana do município de Marília, ou seja, a estudo em questão contém 63 km<sup>2</sup>, com 17 pontos de coletas, coletada em 16 e 17 de maio de 2012 no outono, dando assim uma distribuição aproximada de 0,27 pontos por Km<sup>2</sup>, Conceição et al (2009), em estudo da hidrogeoquímica da área urbana do município de Ribeirão Preto, utilizou 31 pontos, com uma área urbana aproximada de 320 km<sup>2</sup>, temos uma densidade de 0,097 pontos por km<sup>2</sup>, Barison (2003) utilizou 166 pontos para estudar a hidrogeoquímica da porção noroeste do estado de São Paulo, com uma área de 60.000 km<sup>2</sup>, com uma distribuição de 0,0027 pontos por Km<sup>2</sup>, assim o estudo apresentado está acima dos estudos da área apresentados recentemente.



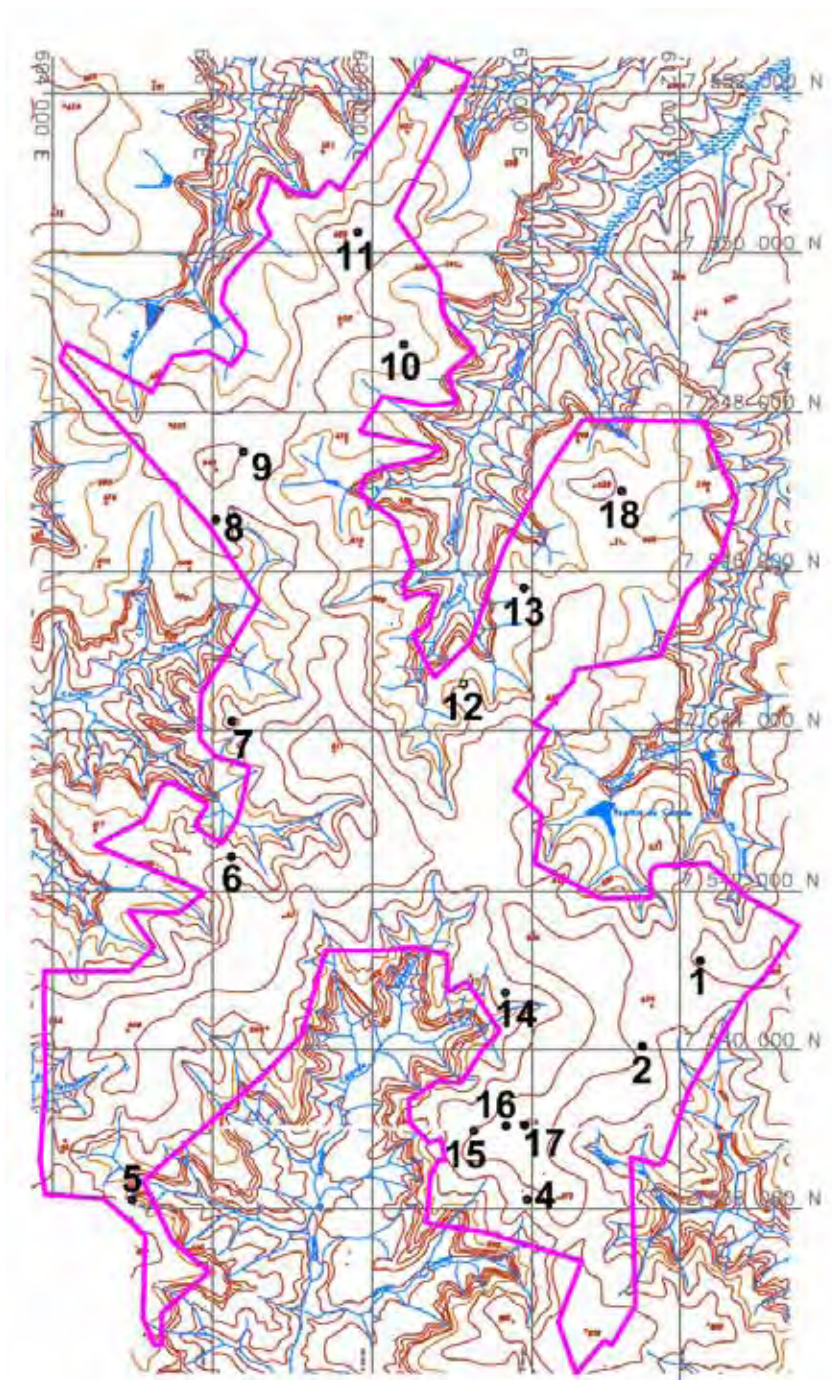


Figura 2 - Localização da área urbana em relação a Topografia

### 3.1 – HIDROGEOLOGIA

Adotando-se a subdivisão proposta por Paula & Silva (2003), o Sistema Aquífero Bauru (SAB) é composto por rochas sedimentaras do Grupo Bauru (Fig. 3), o qual pertence à Bacia Sedimentar do Paraná, mais especificamente pelas Formações Caiuá, Santo Anastácio, Birigui, Adamantina, Marília, Pirapózinho e Araçatuba. O SAB possui uma área de 96.880 km<sup>2</sup>, ocupando a metade oeste do estado de São Paulo, sendo seus

limites a oeste e noroeste o rio Paraná, a norte o rio Grande, a sul o rio Paranapanema e áreas de afloramento da Formação Serra Geral, que delimitam também o aquífero na região leste.

A sedimentação na Bacia Bauru ocorreu em duas fases principais, a primeira em condições essencialmente desérticas e, a segunda, em clima semi-árido, com maior presença de água. Estas fases compreendem, respectivamente, depósitos de lençóis secos de areias com dunas eólicas e com interdunas úmidas, e depósitos de sistemas fluviais e leques aluviais com pantanal interior bem definido (DAEE, 2005).

Na área de estudo, o SAB é representado pelos aquíferos Marília e Adamantina. O Aquífero Marília é do tipo livre, arenoso e com espessura de até 160 m, ocorrendo nas porções mais altas (Planalto de Marília), onde se concentra a área urbana do município (PAULA E SILVA et al., 2005). Segundo Prandi (2010), a Formação Marília recobre a Formação Adamantina, constituindo dois aquíferos sobrepostos sem que um interfira no outro.

Segundo perfis óticos realizadas na cidade por PRANDI (2010), o Aquífero Marília apresenta permeabilidade muito baixa e encontra-se seco nas porções com cimentação carbonática. A ocorrência de água e, conseqüentemente a produtividade desse aquífero, está relacionada às porções alteradas que alcançam espessuras máximas de 40 m na região.

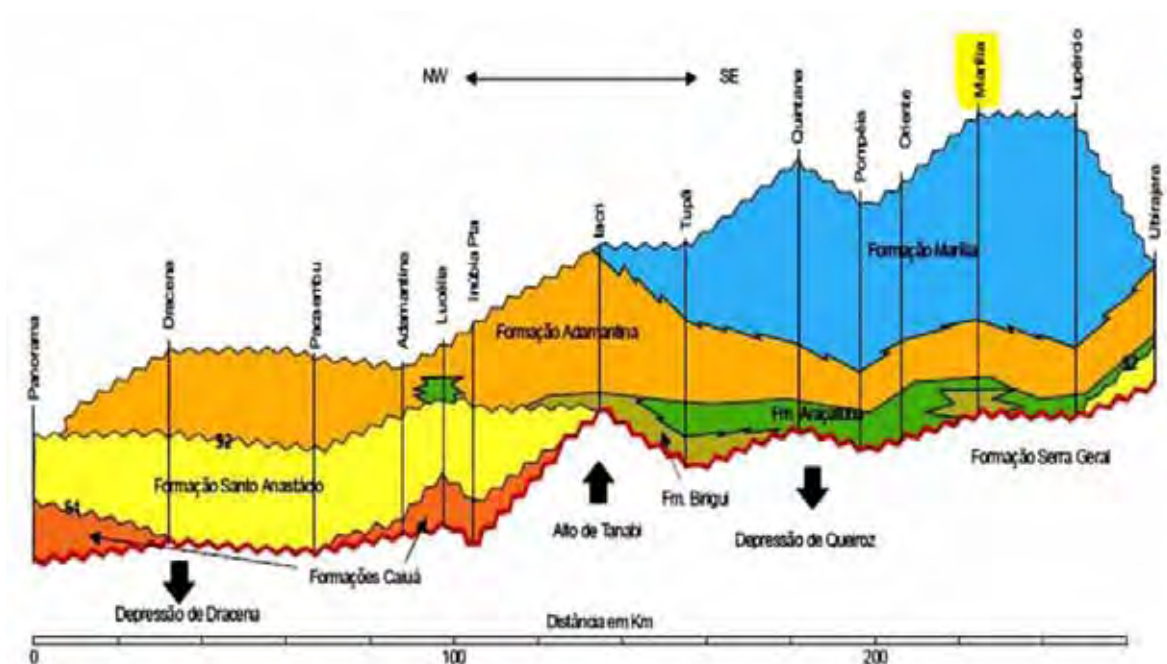


Figura 3 - O Grupo Bauru em subsuperfície nas Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe (modificado de PRANDI, 2010).

A Formação Adamantina se estende por vasta área do oeste do Estado de São Paulo, constituindo os terrenos de maior parte do Planalto Ocidental (MELO et al., 1982). A constituição principal dos sedimentos da Formação Adamantina é de arenitos de granulometria fina a muito fina, cor rósea a castanha, ocorrendo estratificações cruzadas, alternadas com lamitos, siltitos e arenitos lamíticos, de cor castanho-avermelhado a cinza-castanho, maciços ou com acamamento plano-paralelo grosseiro, frequentemente com marcas de onda e microestratificações cruzadas e ocorrências de seixos de argilito, cimento e nódulos carbonáticos (SOARES et al., 1980). As maiores espessuras da Formação Adamantina ocorrem geralmente nas porções ocidentais dos espigões entre os grandes rios. Atinge 160 m entre os rios São José dos Dourados e Peixe, 190 m entre os rios Santo Anastácio e Paranapanema, e 100 a 150 m entre os rios Peixe e Turvo, adelgaçando-se dessas regiões em direção a leste e nordeste (SOARES et al., 1980).

A Formação Marília ocorre na porção centro sul do Estado de São Paulo, entre os médios vales dos rios Tietê e Paranapanema e possui ocorrência restrita relativamente às demais formações do Grupo Bauru. Ela é composta por arenitos de grossos a conglomeráticos, com grãos angulosos, teor de matriz variável, seleção pobre, ricos em feldspatos e minerais pesados, raramente apresentando estratificação cruzada de médio porte, com seixos concentrados nos estratos cruzados e camadas descontínuas de lamitos vermelhos e calcário (SOARES et al., 1980). São ainda característicos da unidade os nódulos carbonáticos, que aparecem dispersos nos sedimentos, ou concentrados em níveis ou zonas, além de a cimentação carbonática também ser muito frequente.

A localização das duas formações na área em estudos é bem definida. A Formação Adamantina está sotoposta à Formação Marília e ocorre por todo o município de Marília, aflorando nas cotas topográficas mais baixas. A Formação Marília sustenta escarpas características, com até uma centena de metros de desnível, definindo uma superfície aplainada denominada Planalto de Marília-Garça-Echaporã (ou Planalto de Marília). Em Marília, ela atinge a espessura máxima de 160 m, recoberta por sedimentos cenozóicos (SOARES et al., 1980).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

A escolha dos Poços de Amostragem tomou como base o Sistema de Abastecimento Urbano da Cidade de Marília, administrada pelo DAEM – Departamento de Água e Esgoto de Marília, buscando uma distribuição que abrangesse a maior parte da área urbana do município. Vinte e cinco pontos de amostragem foram pré-selecionados. Porém por alguns imprevistos no campo, apenas dezessete pontos de amostragem foram amostrados nos dias 16 e 17 de maio de 2012 (Figura 1 e Tabela 1). No campo ainda foi utilizado aparelho GPS (marca Garmin) para a leitura da coordenada do poço, sendo datum utilizado foi o SAD69.

De acordo com o DAEM (2012), os poços de abastecimento de água para o município de Marília com profundidade maior que 150 m exploram o Aquífero Adamantina, sendo os poços com profundidade menor que 150 m os que exploram o Aquífero Marília. Assim, pode-se observar que somente o poço 10 explora o Aquífero Marília e, infelizmente, não possui uma vazão conhecida. Os demais poços amostrados neste estudo estão explorando o Aquífero Adamantina, com profundidade variando entre 180 e 300 m e média de 214 m, e também exploram o aquífero Marília devido a ao tipo de construção, segundo informado pelo geólogo do DAEE de Marília, no local durante a construção construídos acima de 150 metros era instalados filtros no aquífero livre Marília, este em torno de 40 metros, e depois instalados filtros no aquífero Adamantina, já que entre o aquífero Marília a partir de uma profundidade tem uma cimentação carbonática que não possui interesse em exploração de água, assim poços construídos acima de 150 metros exploram os dois aquíferos o porção livre do Marília e o aquífero Adamantina. Em relação à vazão, fica evidente uma grande variação nos valores, com a menor e maior vazão obtidas para os poços 8 (2,00 m<sup>3</sup>/h) e 2 (15,30 m<sup>3</sup>/h), respectivamente, sendo a vazão média de 7,66 m<sup>3</sup>/h.

Houve a coleta de dois frascos de águas subterrâneas por poço, após escoamento do poço de 15 minutos, ou sem escoamento, no caso onde o poço estivesse em bombeamento, para que não fossem coletadas amostras estagnadas e/ou contaminadas (Figuras 4 e 5). Utilizou-se para isso, garrafas de polietileno (PET), devidamente lavadas e, posteriormente, relavadas com água do próprio local de coleta. Condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), temperatura da água ( $^{\circ}\text{C}$ ), potencial hidrogeniônico (pH) e oxigênio dissolvido – OD ( $\text{mg}/\text{L}$ ) foram caracterizados com equipamentos de leitura direta, no próprio local de amostragem (YSI 556). O eletrodo de pH é do tipo combinado e os padrões de alta pureza utilizados para calibração foram de pH 4,00 ( $4,005 \pm 0,010$  à  $25^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ ) e 7,00 ( $7,000 \pm 0,010$  à  $25^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ ). O condutivímetro foi calibrado utilizando-se uma solução padrão de KCl ( $1,0 \text{ mmol}/\text{L}$ ) de condutividade conhecida, ou seja,  $147 \mu\text{S}/\text{cm}$  à  $25^{\circ}\text{C}$ .

Tabela 1 - Relação dos poços amostrados, DAEM (2012).

Poço	UTM (N) Km	UTM (E) Km	Profundidade (m)	Q ( $\text{m}^3/\text{h}$ )
1	7.541,124	612,107	260,00	6,80
2	7.540,049	611,381	250,00	15,30
4	7.538,131	609,940	260,00	11,00
5	7.542,434	604,990	220,00	5,10
6	7.542,425	606,237	250,00	-
7	7.544,129	606,240	240,00	4,50
8	7.546,650	606,041	260,00	2,00
9	7.547,499	606,385	300,00	12,50
10	7.548,846	608,396	60,00	-
11	7.550,260	607,818	260,00	9,00
12	7.544,587	609,145	-	-
13	7.545,796	609,900	180,00	5,00
14	7.540,723	609,666	240,00	11,70
15	7.538,989	609,273	180,00	-
16	7.539,054	609,674	260,00	4,00
17	7.539,064	609,907	262,00	5,00
18	7.547,012	611,124	-	-

Os itens com tracejado (-) não se conhece os dados.

O primeiro frasco, contendo 500 mL, foi conservado em caixas de isopor com gelo, e transportadas até o Laboratório de Geoquímica Ambiental (LAGEA) do Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento (DEPLAN) do Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE) da UNESP de Rio Claro. As amostras de águas subterrâneas foram filtradas utilizando-se membrana Millipore 0,45  $\mu\text{m}$  (Figura 6), para a determinação de alcalinidade, sulfato, fosfato, nitrato, cloreto, fluoreto, sólidos totais dissolvidos e cor. O segundo frasco foi coletado e também filtrado na mesma membrana, ainda em campo, preservadas em  $\text{HNO}_3$ , a 2%, sendo estas amostras utilizadas para a quantificação dos teores de alumínio, arsênio, cálcio, cádmio, cobalto, cromo, cobre, ferro, potássio, magnésio, molibdênio, sódio, níquel, chumbo, selênio, silício e zinco.



Figura 4 - Aguardando escoamento da água estagnada no cano para a realização da coleta, detalhe do poço sem a proteção sanitária.



Figura 5- Aguardando equipamento de campo estabilizar os dados para coleta .

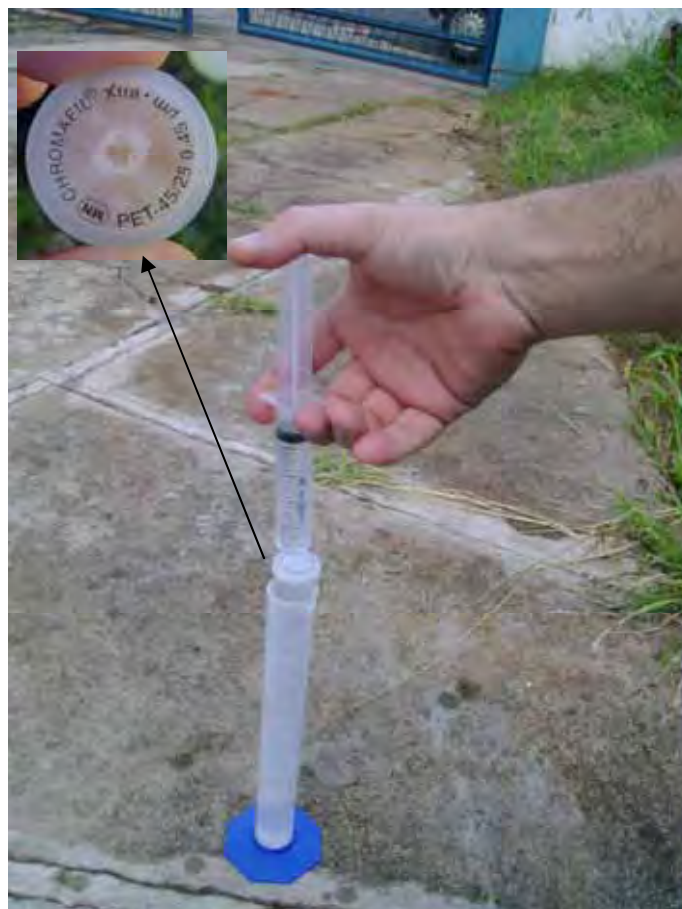


Figura 6 - Detalhe da filtragem da amostra em campo

A Alcalinidade ( $1$  e  $500 \pm 0,2$  mg/L) foi quantificada por titulação com ácido sulfúrico  $0,01$  N (Hach, 1992). O Sulfato (método turbidimétrico de sulfato de bário,  $1$  a  $70 \pm 1$  mg/L), fosfato (método do ácido ascórbico,  $0,01$  a  $3 \pm 0,01$  mg/L), nitrato (redução de cádmio,  $0,10$  a  $30 \pm 0,3$  mg/L), sólidos totais em suspensão (método fotométrico,  $1$  a  $810 \pm 0,3$  mg/L) e cor (método platina-cobalto,  $1$  a  $500 \pm 0,2$  mg/L) e foram quantificados por espectrofotômetro Hach DR-2800. Cloreto ( $0,1$  a  $100 \pm 0,02$  mg/L) e fluoreto ( $0,1$  a  $2 \pm 0,01$  mg/L) foram quantificados por eletrodos seletivos (Orion) calibrados com padrões específicos para cada íon. Alumínio, arsênio, cálcio, cádmio, cobalto, cromo, cobre, ferro, potássio magnésio, molibdênio, sódio, níquel, chumbo, selênio, silício, zinco, foram quantificados por Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-AES), instalado no Departamento de Engenharia Civil da UNESP de Bauru.



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Variáveis Físico-Químicas

A partir das análises realizadas em campo e em laboratório, obtiveram-se os seguintes resultados mostrados na Tabela 2. Os mapas de isovalores para condutividade elétrica, temperatura, pH e oxigênio dissolvido são apresentados nas Figuras 7, 8, 9 e 10, respectivamente.

A condutividade elétrica é a capacidade de uma solução em conduzir corrente elétrica, sendo essa capacidade função dos íons presentes na água, na qual se espera que quanto maior a concentração iônica, maior sua condutividade. Vários fatores podem influenciar a composição iônica, tais como composição mineralógica das rochas, regime de chuvas, temperatura e pH. A média dos valores de condutividade elétrica foi de 160,4  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , sendo os maiores valores caracterizados nos poços 5, 6, 7 e 12 ( $\mu\text{S}/\text{cm} > 200$ ). Os menores valores foram obtidos nos poços 9, 10 e 15 ( $\mu\text{S}/\text{cm} < 100$ ). Os poços 5, 6 e 7 estão na zona oeste do Município, próximo a uma depressão (Fig. 7).

Quimicamente, a temperatura exerce influência nas reações químicas ou bioquímicas e nas atividades microbianas, acelerando-as com o seu aumento. As duas principais fontes de calor são o sol e o gradiente geotérmico no subsolo. Outras fontes de calor são as reações químicas exotérmicas e as desintegrações radioativas. Dentre os poços analisados, a temperatura média foi de 23,7°C. O valor máximo de temperatura foi registrado no poço 8 (25,9°C), com profundidade de 260,0 m e com a menor vazão dos poços observados, e no poço 14 foi encontrado o menor valor (22,1°C), com profundidade de 240 m.

Tabela 2 - Valores obtidos de condutividade elétrica – Cond ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), temperatura – Temp. ( $^{\circ}\text{C}$ ), pH, sólidos totais em suspensão – STS ( $\text{mg}/\text{L}$ ), cor ( $\text{mg Pt-Co}/\text{L}$ ) e oxigênio dissolvido – OD ( $\text{mg}/\text{L}$ ) para as águas subterrâneas da área urbana do Município de Marília.

Poço	Cond.	Temp.	pH	OD	STS	Cor Aparente
1	131	22,9	6,8	8,6	< 1	< 1
2	122	22,3	7,1	8,8	< 1	< 1
4	136	23,0	6,6	8,6	< 1	< 1
5	248	24,5	7,5	8,0	< 1	< 1
6	221	24,0	7,6	8,9	< 1	< 1
7	225	22,4	7,5	7,5	< 1	< 1
8	188	25,9	7,4	8,2	10	49
9	193	24,9	6,4	8,8	< 1	< 1
10	78	24,8	4,8	8,1	< 1	6
11	108	23,4	5,7	7,7	< 1	12
12	276	23,9	7,9	7,9	< 1	< 1
13	181	23,6	7,2	8,5	< 1	< 1
14	182	22,1	7,4	9,5	< 1	< 1
15	99	23,0	5,9	8,5	13	46
16	183	23,8	7,1	8,9	< 1	< 1
17	141	23,7	7,2	9,0	< 1	< 1
18	114	24,6	5,9	7,6	< 1	< 1
<b>Média</b>	<b>160,4</b>	<b>23,7</b>	<b>6,8</b>	<b>8,4</b>	<b>---</b>	<b>---</b>

A importância do pH é dada a sua relação com a acidez e alcalinidade, tendo suas variações bruscas associadas a despejos ácidos ou alcalinos e a predominância de fases nos processos biológicos. A hidrólise é a reação mais importante que afeta o pH de águas naturais. O pH indica o tipo de água que exerce efeito corrosivo sobre as tubulações e equipamentos de sistemas de água e esgoto, influenciando na coagulação química e sedimentação em estações de tratamento de água. O valor médio encontrado para as águas subterrâneas do município de Marília foi de 6,7, sendo os valores máximo e mínimo obtidos nos poços 12 (7,9) e 10 (4,8), respectivamente. Ao todo, 5 poços (10, 11, 15 e 18) possuem pH abaixo do mínimo recomendado pela Portaria nº 2914 de 2011 do Ministério da Saúde, a qual fornece o padrão de potabilidade de água para o consumo no Brasil (BRASIL, 2011), ou seja, valores de pH entre 6 e 9.

Os mapas de isovalores mostrados ao longo do texto foram gerados com o software livre SURFER, versão 8.05, ma geração dos grid para a minimização das curvas geradas foi usado no item “Gridding Method” o item “Minimum Curvature” .

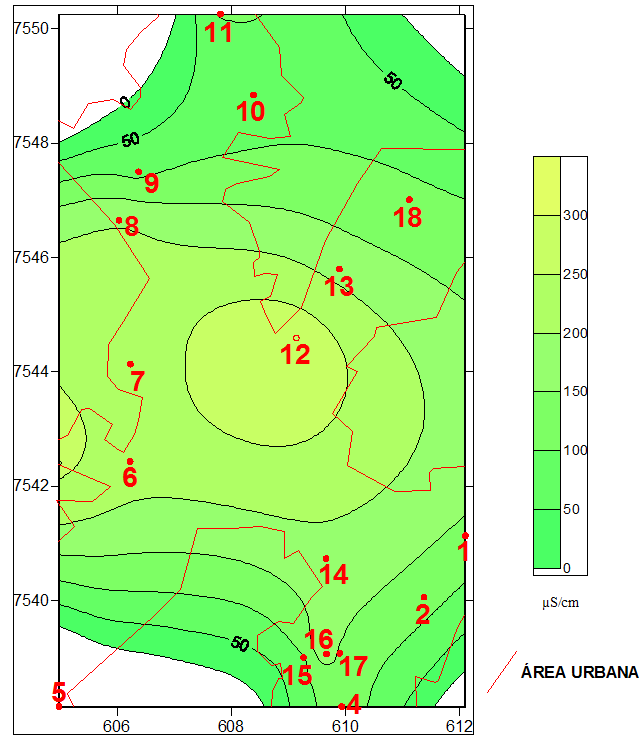


Figura 7 - Mapa de isovalores de condutividade elétrica ( $\mu\text{S/cm}$ ) na área urbana de Marília.

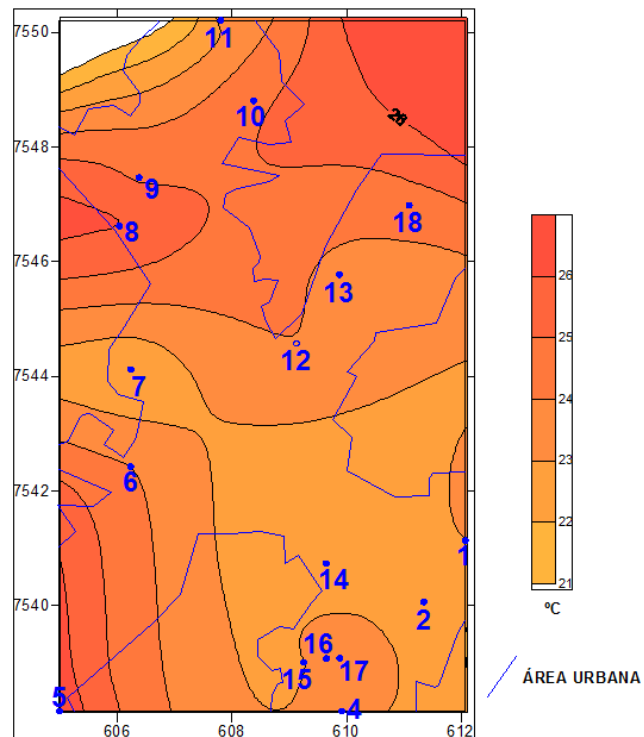


Figura 8 - Mapa de isovalores de Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) na área urbana de Marília

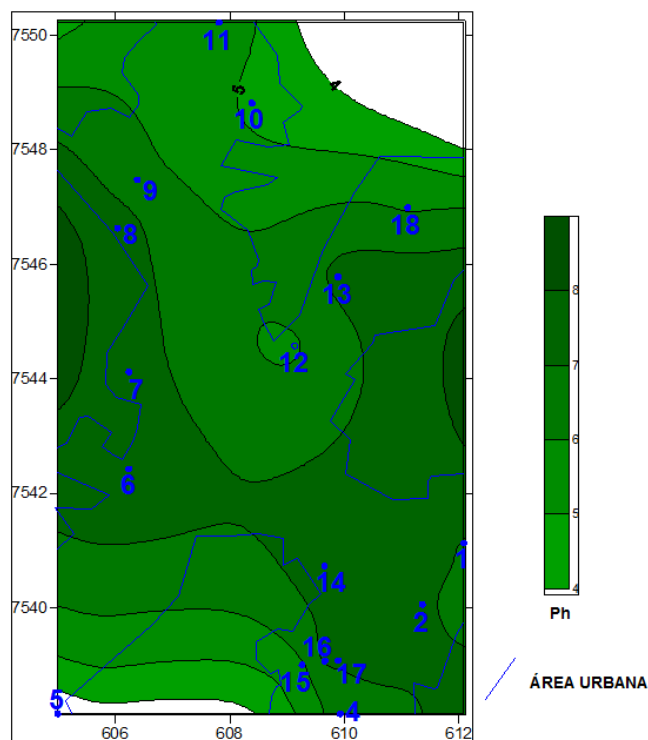


Figura 9 - Mapa de isovalores de pH na área urbana de Marília.

Dentre os gases dissolvidos na água, o oxigênio, é um dos mais importantes na dinâmica e na caracterização de ecossistemas aquáticos, sendo que, em águas subterrâneas, assume concentrações conforme percorre as etapas do ciclo hidrológico. O oxigênio é um importante indicador de poluição, mostrando a redução de substâncias orgânicas e intensidade da autodepuração. Sua solubilidade na água depende, como em todos os gases, dos fatores de temperatura e pressão, ou seja, com a elevação da temperatura e diminuição da pressão ocorrem redução e solubilidade do oxigênio na água, respectivamente. Dentre todos os poços amostrados, os maiores e o menores valores da concentração de oxigênio dissolvido foram obtidos nos poços 17 (9,0 mg/L) e 7 (7,5 mg/L), respectivamente, enquanto que o média deste parâmetro foi de 8,4 mg/L.

A cor representa à transparência da água. A Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde limita o valor máximo permitido de cor em 15 uH (Unidade Hazen) ou 15 mg Pt-Co/L (Brasil, 2011). Os valores de cor nos poços 8 e 15 apresentaram alterações acima do VMP, isso provavelmente vem da questão que na coleta foi observado uma quantidade de STS nas amostras que pode ser observada na Figura 11, onde após filtragem observa-se a coloração amarelada, alterando também o parâmetro sólidos totais em suspensão (Tabela

2). A quantidade de STS em um poço pode ser relacionada por diversas questões, as principais estão às falhas na execução do poço e a superexploração.

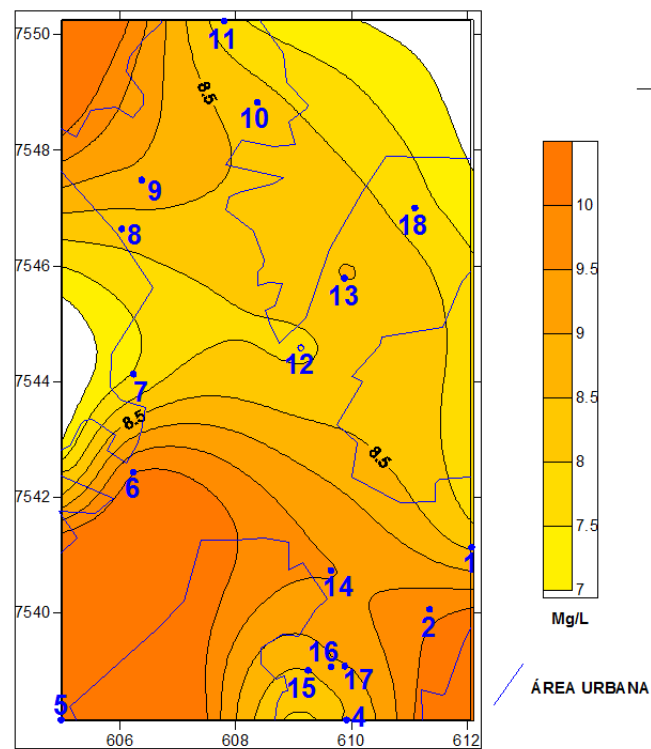


Figura 10 - Mapa de isovalores de Oxigênio Dissolvido (mg/L) na área urbana de Marília.



Figura 11 - Filtro do Poço 15, detalhe a retenção de STS no filtro.

## 5.2 Composição aniônica

Na tabela 3 constam os resultados obtidos para os principais ânions dissolvidos nas amostras de águas subterrâneas coletadas na área urbana do município de Marília.

Tabela 3- Composição aniônica, em mg/L, para as águas subterrâneas da área urbana de Marília.

Poço	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Fl <sup>-</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
1	67,5	0,05	< 1,0	8,7	< 0,1	1,2
2	83,7	0,05	< 1,0	1,2	< 0,1	0,8
4	61,2	0,04	< 1,0	10,9	< 0,1	0,2
5	171,2	0,07	< 1,0	1,1	< 0,1	0,3
6	128,7	0,04	< 1,0	13,6	< 0,1	0,3
7	146,2	0,05	< 1,0	9,9	< 0,1	0,4
8	130,0	0,09	< 1,0	1,5	< 0,1	0,6
9	66,2	0,03	< 1,0	1,3	< 0,1	1,1
10	18,7	0,03	< 1,0	5,4	< 0,1	1,5
11	73,7	0,16	< 1,0	1,2	< 0,1	0,5
12	40,0	0,04	< 1,0	31,4	< 0,1	6,0
13	115,0	0,06	< 1,0	1,1	< 0,1	0,5
14	125,0	0,06	< 1,0	1,0	< 0,1	0,1
15	16,2	0,02	< 1,0	18,6	< 0,1	3,4
16	113,7	0,06	< 1,0	1,2	< 0,1	0,5
17	86,2	0,05	< 1,0	1,1	< 0,1	7,8
18	32,5	0,04	< 1,0	5,9	< 0,1	2,7
<b>Média</b>	<b>86,8</b>	<b>0,06</b>	<b>---</b>	<b>6,8</b>	<b>---</b>	<b>1,6</b>

A alcalinidade decorre da presença de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos e expressa a capacidade de tamponamento da água ou dos componentes de um efluente. Os processos de intemperismo químico são os principais responsáveis pelo aumento dos valores de alcalinidade nas águas subterrâneas e fluviais em relação às águas pluviais. Nas amostras analisadas, o valor médio encontrado foi de 86,8 mg/L. O maior resultado obtido foi do poço 7 (146,25 mg/L) e o menor foi do poço 18 (32,50 mg/L).

O fósforo é um elemento fundamental para o metabolismo dos seres vivos e sua presença em águas naturais depende das características das rochas da região. O valor médio de fosfato encontrado para as águas subterrâneas do município de Marília foi de 0,06 mg/L. Três poços tiveram seu valores acima de 0,06 mg/L, sendo estes valores

maiores que o permitido para a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357 de 2005, ou seja, 0,05 mg/L (BRASIL, 2005), são eles os poços 05, 08 e 11.

O íon sulfato constitui a principal fonte de enxofre para os produtores primários, sendo que sua presença na água se dá pela oxidação de sulfetos ou compostos sulfatados, podendo atingir elevadas concentrações naturais devido à grande presença destes minerais, como é o caso das drenagens ácidas em algumas minerações. Em relação ao sulfato, todas as amostras ficaram abaixo do limite de detecção da técnica utilizada para sua quantificação, ou seja, < 1 mg/L, bem abaixo do valor máximo permitido da Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) que é de 250 mg/L.

Cloro é um elemento que aparece em pequena proporção na composição química da crosta terrestre, embora se apresente em grandes concentrações nas águas subterrâneas. Quando ingerido em grande quantidade provoca reações fisiológicas, porém, em quantidades razoáveis, ele não é prejudicial à saúde humana, apenas determinando à água sabor salgado e repulsivo. As águas de despejos industriais, principalmente químicas, podem contaminar as águas com fluoreto, sendo este utilizado na proteção dentária. A falta ou excesso de flúor pode ser prejudicial à saúde e em doses muito elevadas podem levar a morte. Os valores encontrados para estes parâmetros indicam que nenhuma amostra ultrapassou o valor limite recomendado pela Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), ou seja, 250 mg/L para o cloreto e 1,5 mg/L e flúor, sendo que para todas as amostras, o valor da concentração de flúor ficou abaixo do limite de detecção de 0,1 mg/L do método usado neste trabalho.

O nitrato é o poluente de ocorrência mais frequente nas águas subterrâneas. Em concentrações superiores a 10 mg/L  $\text{N-NO}_3^-$  pode causar metahemoglobinemia e câncer. As práticas agrícolas, incluindo o uso de fertilizantes orgânicos e inorgânicos, lavoura em áreas virgens e criação de animais são importantes fontes antrópicas deste contaminante. Outra origem está associada aos sistemas de saneamento in situ, quer por fossas sépticas quer por fossas rudimentares. Em áreas providas de esgotamento sanitário, a construção inadequada dos tanques sépticos, bem como a falta de manutenção destes sistemas, podem contribuir como focos de contaminação em aquíferos rasos, sobretudo em áreas de grande densidade populacional.

O monitoramento da qualidade natural da água subterrânea realizado pela CETESB, tem indicado concentrações anômalas de nitrato, muitas vezes excedendo os valores de potabilidade (10 mg/L  $\text{N-NO}_3^-$ ), em inúmeros poços, especialmente naqueles que exploram o Sistema Aquífero Bauru (CETESB, 2010). O valor médio de nitrato

encontrado nas análises das águas subterrânea do município de Marília foi de 1,6 mg/L. Apesar de alguns poços apresentarem alta concentração de nitrato em relação a média (poços 12, 17), todos os valores obtidos ficaram abaixo do valor máximo permitido pela Portaria do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011). A CETESB tem uma referencia de valor de alerta de 5 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$  e tomando como base este valor, os poços 12 e 17 apresentam concentrações deste parâmetro acima do valor de alerta estabelecido pela CETESB, indicando que estes poços devem ser monitorados anualmente e que a vigilância sanitária municipal e a CETESB devem ser avisadas sobre estes valores. Os demais poços, por possuírem concentrações de nitrato menores que 5 mg/L, devem ser monitorados a cada cinco anos.

Como pode ser observada na Figura 12, a localização dos poços de abastecimento de água do município de Marília que possuem concentrações elevadas de nitrato estão localizados em diferentes regiões deste município, sendo o poço 12 localizado na área central e o poço 17 na região sudeste. De acordo com o estudo realizado por VARNIER et al., (2010), a região central também apresentou as maiores concentrações de nitrato no ano de 2010, com valor máximo de 16,9 mg/L. Comparando-se o presente estudo com o realizado por VANIER et al. (2010), percebe-se uma diminuição da concentração de nitrato na área urbana do município de Marília e que os poços localizados na região norte e sul apresentam as menores concentrações de nitrato.

### **5.3 Composição catiônica**

Na Tabela 4 constam os resultados obtidos para os principais ânions dissolvidos nas amostras coletadas no município de Marília.

Os valores de cálcio nas amostras analisadas indicam um valor máximo de 32,96 mg/L (poço 5) e mínimo de 7,74 mg/L (poço 15), sendo a média dos valores encontrados nas águas subterrâneas de 20,77 mg/L.



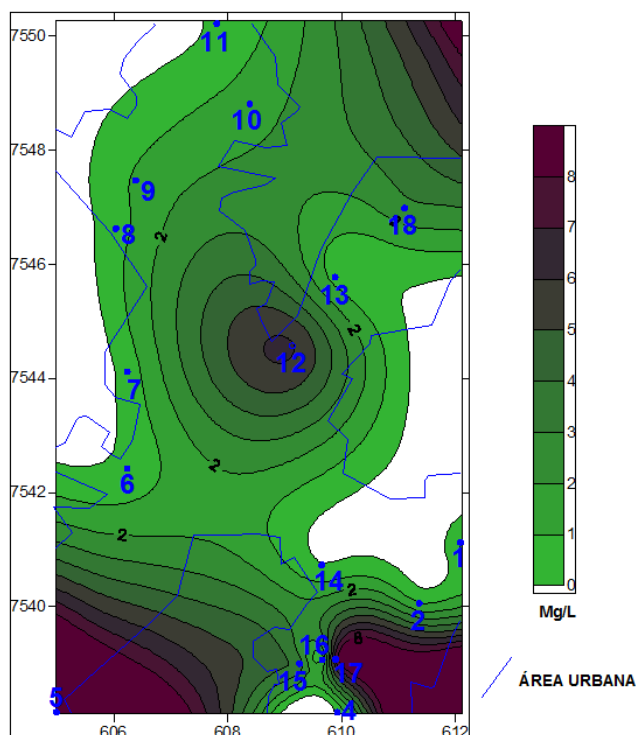


Figura 12 - Mapa de isovalores de nitrato (mg/L) na área urbana de Marília.

Segundo URSULINO (1998), o sódio apresenta uma forte reação com a água e reage rapidamente com oxigênio e halogênios, dando origem a uma extensa e importante cadeia de compostos, sendo ainda um excelente condutor térmico. O valor médio de sódio encontrado nas águas subterrâneas do município de Marília foi de 4,06 mg/L, com os poços 12 (9,76 mg/L) e 2 (0,73 mg/L) apresentando a maior e menor concentração deste parâmetro, respectivamente. Todos os valores obtidos de sódio ficaram bem abaixo do valor limite permitido pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914 (BRASIL, 2011) de 200 mg/L.

As fontes de potássio para águas naturais são os feldspatos. Sua concentração na água é menor que o sódio embora tenha a mesma capacidade de manter-se em solução até grandes concentrações. Ocorre em pequenas quantidades ou está ausente nas águas subterrâneas, devido à intensa troca iônica e ser absorvido com facilidade pelos minerais de argila e também pelos vegetais. Os valores médios obtidos de potássio para as águas subterrâneas de Marília foi de 2,78 mg/L, com variação entre 2,00 (poço 17) e 4,36 (poço 15) mg/L.

O magnésio na crosta terrestre encontra-se na forma de magnesita, dolomita e vários silicatos. Nas rochas sedimentares os minerais contendo o magnésio são

principalmente as dolomitas. Nas rochas ígneas o magnésio pode ser proveniente da olivina, hornblenda e augita e nas rochas metamórficas pode estar presente na serpentina, tremolita e diopsídio. A solubilidade do magnésio também é controlada pela presença do CO<sub>2</sub>. Os poços 7 e 10 apresentaram a maior e menor concentração de Mg, ou seja, 10,90 e 2,25 mg/L, sendo 6,36 mg/L a média deste parâmetro nos poços subterrâneos de abastecimento de água do município de Marília.

Tabela 4 - Composição catiônica, em mg/L, para as águas subterrâneas da área urbana de Marília.

Poço	Ca	Na	K	Mg	Si	Al	Fe
1	20,24	0,82	3,34	3,78	11,78	0,01	0,12
2	18,13	0,73	2,50	5,61	11,69	0,06	0,23
4	18,15	3,78	2,27	4,30	9,55	0,08	0,30
5	32,96	4,63	2,41	12,5	11,48	0,01	0,06
6	28,36	7,18	2,57	9,12	10,88	0,02	0,07
7	30,25	5,10	3,08	10,90	11,39	0,23	0,59
8	21,27	6,49	2,83	8,16	9,43	0,26	0,36
9	8,16	6,78	2,99	3,44	10,27	0,17	0,44
10	8,78	2,18	2,68	2,25	8,55	0,11	0,55
11	14,69	2,28	2,10	4,75	9,32	0,01	0,09
12	31,81	9,76	3,95	5,98	13,44	0,01	0,11
13	26,81	1,44	2,58	8,74	10,26	0,02	0,15
14	28,62	0,77	2,72	8,28	11,86	0,01	0,06
15	7,74	4,56	4,36	2,44	8,33	0,02	0,13
16	26,25	1,29	2,09	8,29	9,76	0,01	0,08
17	19,37	9,72	2,00	6,29	9,30	0,01	0,10
18	11,58	1,52	2,79	3,30	10,40	0,01	0,12
<b>Média</b>	<b>20,77</b>	<b>4,06</b>	<b>2,78</b>	<b>6,36</b>	<b>10,45</b>	<b>0,06</b>	<b>0,21</b>

Ocorre a maior parte do Si e Al nos silicatos tais como argilas, micas e feldspatos. O alumínio mais abundante é a bauxita, que é o óxido de alumínio hidratado. Existem abundantes fontes de ferro na crosta terrestre, sendo que ele participa da composição de vários minerais formadores de rochas. A média destes parâmetros para as águas subterrâneas do município de Marília foi de 10,45, 0,06 e 0,21 mg/L para Si, Al e Fe, respectivamente. As amostras coletadas nos poços 7 e 8 (0,23 e 0,26 mg/L respectivamente) ultrapassaram o valor máximo permitido pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914 (BRASIL, 2011), que é de 0,20 mg/L. Este mesmo limite é imposto pela CETESB no estado de São Paulo para intervenção em poços subterrâneos de

abastecimento de água. Assim, os poços 7 e 8 possuem concentração de alumínio acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, visto que há considerável evidência que o alumínio é neurotóxico e seu acúmulo de no homem tem sido associado ao aumento de casos de demência senil do tipo Alzheimer. Em relação ao ferro, o valor limite permitido pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914 (BRASIL, 2011) e pela CETESB para intervenção é de 0,30 mg/L. Os resultados indicaram concentrações de ferro maiores que este limite para os poços 7 (0,59 mg/L), 08 (0,36 mg/L), 09 (0,44 mg/L) e 10 (0,55 mg/L). O excesso de ferro pode trazer sérios problemas de saúde relacionados ao sistema cardiovascular, câncer, mal de Parkinson e Alzheimer.

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos para os demais metais dissolvidos nas amostras coletadas no município de Marília. Todos estes metais podem ser encontrados em vários minerais na natureza e seus comportamentos são influenciados diretamente pelo pH e Eh do meio. Os valores médios de As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Se e Zn foram de 0,006, 0,005, 0,004, 0,008, 0,057, 0,004, 0,006, 0,006 e 0,152 mg/L, respectivamente. De acordo com a Portaria do Ministério da Saúde nº 2941 (BRASIL, 2011), as concentrações de todos estes metais na águas subterrâneas de abastecimento do município de Marília ficaram abaixo dos valores máximos permitidos, ou seja, 0,010 mg/L de As, 0,005 mg/L de Cd, 0,005 mg/L de Co, 0,050 mg/L de Cr, 2,000 mg/L de Cu, 0,020 mg/L de Ni, 0,010 mg/L de Pb, 0,010 mg/L de Se e 5,000 mg/L de Zn. Estes valores também são os máximos valores orientadores permitidos para águas subterrâneas no estado de São Paulo. Contudo, os poços 8 (0,022 mg/L) e 12 (0,021 mg/L) e o poço 12 (0,006 mg/L) apresentam concentrações de chumbo e cádmio acima dos valores máximos da Portaria do Ministério da Saúde nº 2914 e dos valores orientadores da CETESB. Ambos os metais, chumbo e cádmio são considerados tóxicos para os seres humanos devido à alta toxicidade, provocando efeitos neurológicos, hematológicos, hepáticos, endocrinológicos, renais, cardiovasculares e gastrointestinais, além de serem elementos carcinogênicos e afetarem a reprodução, desenvolvimento e crescimento dos seres humanos.

Tabela 5 – Demais metais, em mg/L, para as águas subterrâneas da área urbana de Marília.

Poço	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Se	Zn
1	0,006	0,005	0,004	0,007	0,067	0,003	0,002	0,009	0,061
2	0,003	0,004	0,004	0,007	0,063	0,003	0,004	0,003	0,062
4	0,005	0,005	0,004	0,007	0,061	0,003	0,001	0,004	0,068
5	0,009	0,005	0,003	0,010	0,053	0,003	0,007	0,008	0,080
6	0,007	0,004	0,004	0,008	0,052	0,003	0,003	0,008	0,060
7	0,002	0,005	0,003	0,008	0,075	0,003	0,003	0,007	0,421
8	0,006	0,005	0,004	0,010	0,054	0,003	0,022	0,004	0,314
9	0,008	0,004	0,005	0,011	0,056	0,004	0,005	0,012	0,095
10	0,007	0,005	0,004	0,008	0,064	0,006	0,006	0,004	0,066
11	0,006	0,005	0,004	0,008	0,052	0,003	0,003	0,004	0,072
12	0,007	0,006	0,004	0,006	0,058	0,004	0,021	0,002	0,743
13	0,004	0,004	0,004	0,007	0,051	0,003	0,003	0,005	0,157
14	0,004	0,005	0,004	0,007	0,048	0,003	0,004	0,003	0,058
15	0,006	0,005	0,006	0,007	0,054	0,006	0,001	0,006	0,084
16	0,009	0,005	0,004	0,007	0,055	0,003	0,004	0,003	0,061
17	0,006	0,004	0,004	0,007	0,047	0,003	0,001	0,010	0,059
18	0,005	0,005	0,004	0,007	0,055	0,004	0,010	0,004	0,130
<b>Média</b>	<b>0,006</b>	<b>0,005</b>	<b>0,004</b>	<b>0,008</b>	<b>0,057</b>	<b>0,004</b>	<b>0,006</b>	<b>0,006</b>	<b>0,152</b>

#### 5.4 Classificação das águas subterrâneas

Os termos “duro” ou “mole” são muito antigos e costumeiramente aplicados às águas, os quais tiveram origem no discurso de Hipócrates, o pai da medicina, em seu tratado de higiene pública "Ar, Água e Localidades" (TODD,1980). O seu significado popular está relacionado com o comportamento da água quando entra em ebulição ou quando sofre adição de sabão (BONOTTO E MANCINI, 1992). A dureza é uma medida baseada no teor de cálcio e magnésio da água. A dureza relativa ao CaCO<sub>3</sub> (mg/L) é obtida pela equação (TODD, 1980):

$$DT = 2,5.Ca + 4,1.Mg \quad (1)$$

Onde:

DT = dureza total (mg/L);

Ca = teor de cálcio (mg/L);

Mg = teor de magnésio (mg/L).

A Tabela 6 apresenta a classificação das águas em relação à sua dureza de acordo com (TODD, 1980). A dureza calculada para as águas subterrâneas da área urbana do município de Marília encontram-se na Tabela 7. A média dos valores de dureza foi de 78,05 mg/L, variando de 29,39 a 134,02 mg/L, indicando uma classificação moderadamente dura. Contudo, 53% dos poços amostrados na área urbana de Marília podem ser classificadas como moles, não prejudicando o abastecimento público devido à baixa dureza.

Tabela 6 - Classificação de dureza das águas (mg/L de CaCO<sub>3</sub>), segundo Sawyer et al. (2000).

<b>Dureza</b>	<b>Classificação das águas</b>
0 - 75	Mole
75 - 150	Moderadamente dura
150 - 300	Dura
Maior que 300	Muito dura

De maneira a classificar quimicamente as águas subterrâneas da área urbana de Marília, decidiu-se utilizar um dos diagramas mais úteis para representar e comparar os resultados das análises de águas subterrâneas, isto é, o diagrama de PIPER (1944), o qual indica a característica química da água e aponta semelhanças entre várias águas (BONOTTO E MANCINI, 1992). Os cátions e ânions (expressos em mEq/L, como porcentagem total de cátions e ânions) são representados por dois triângulos distintos. Para a confecção deste diagrama foi utilizado a Software Livre GW\_Chart (WINSTON, 2000), assim com a locação dos pontos no foi elaborado o seguinte diagrama de Piper. Conforme o diagrama apresentado na Figura 13, quase todas as amostras são classificadas como cálcicas em relação aos cátions dissolvidos. Quanto aos ânions dissolvidos, observa-se que todas as amostras de águas subterrâneas são classificadas como bicarbonatadas. Esses resultados são compatíveis com os propostos por VARNIER et al (2010) e SILVA E CHANG (2010) para o Aquífero Bauru nos municípios de Marília e Bauru, respectivamente.

Tabela 7 - Dureza das águas subterrâneas da área urbana do município de Marília.

Poço	Dureza (mg/L)
1	66,13
2	68,33
4	63,01
5	134,02
6	108,30
7	120,40
8	86,64
9	34,51
10	31,20
11	56,20
12	104,08
13	102,88
14	105,53
15	29,39
16	99,62
17	74,23
18	42,49
<b>Média</b>	<b>78,05</b>

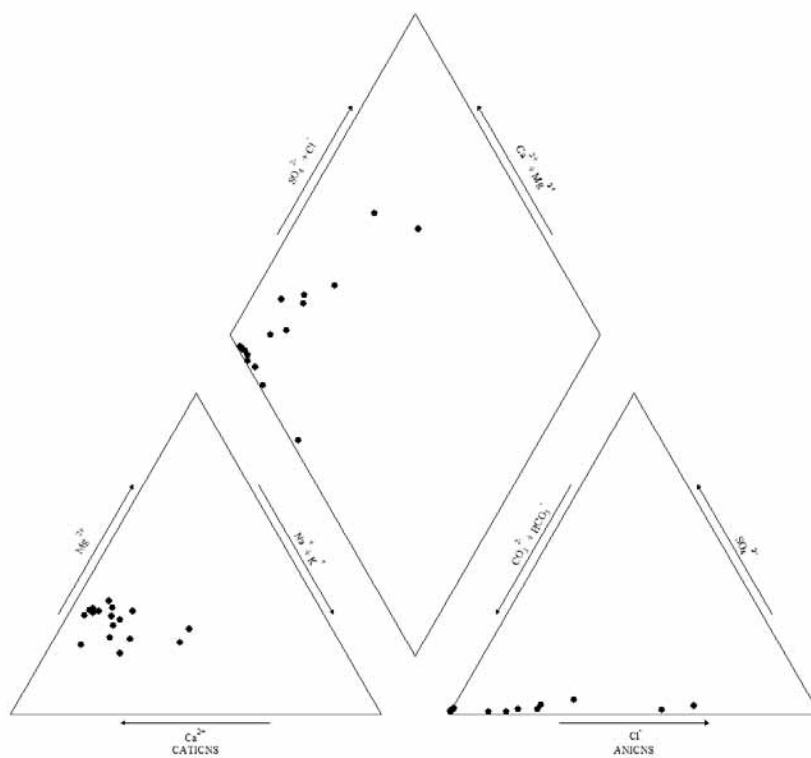


Figura 13 - Distribuição das águas subterrâneas de Marília no Diagrama de Piper.

## 5.5 Testes estatísticos e especiação hidrogeoquímica

Testes estatísticos de correlação são usados para identificar semelhanças, ou não, entre o comportamento químico de dois elementos/compostos em águas subterrâneas (BONOTTO, 2006). A Tabela 7 apresenta correlação para as amostras de águas subterrâneas da área urbana de Marília.

Seria esperado que a profundidade estivesse controlando algum dos parâmetros analisados neste trabalho. Porém, os testes estatísticos de correlação não indicaram isso, somente os valores de pH e condutividade elétrica são influenciados pela profundidade ( $r = 0,67$  e  $0,66$ , respectivamente), indicando que há aumento nos valores destes parâmetros juntamente com a profundidade (Figs. 14a e 14b). Temperatura e oxigênio dissolvido não obtiveram correlações com os demais parâmetros quantificados neste estudo.

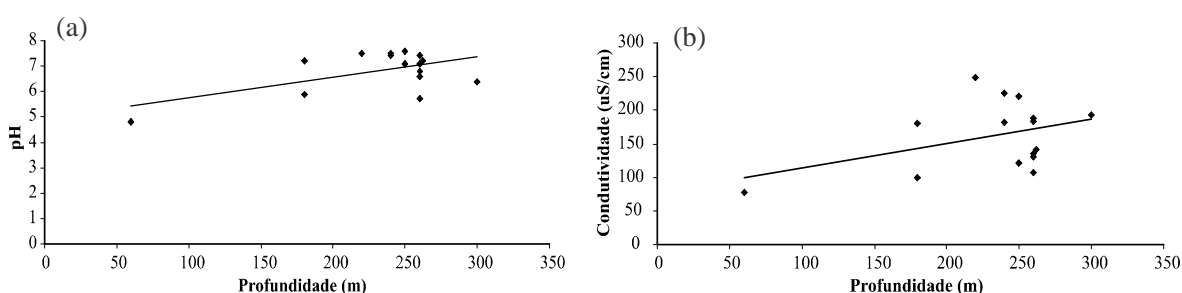


Tabela 8 - Correlações entre parâmetros obtidos para as águas subterrâneas na área urbana de Marília.

	Prof	Cond	Temp	pH	OD	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca	Na	K	Mg	Si	Al	Fe
<b>Prof</b>	1,00															
<b>Cond</b>	0,23	1,00														
<b>Temp</b>	-0,12	-0,01	1,00													
<b>pH</b>	<b>0,67</b>	<b>0,66</b>	-0,20	1,00												
<b>OD</b>	0,26	-0,12	-0,27	0,39	1,00											
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	0,37	<b>0,74</b>	-0,04	<b>0,87</b>	0,13	1,00										
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	0,26	0,05	0,05	0,06	-0,27	0,33	1,00									
<b>Cl<sup>-</sup></b>	0,31	0,44	0,11	-0,01	0,04	-0,12	-0,18	1,00								
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	-0,03	0,01	0,08	-0,26	-0,02	-0,44	-0,26	<b>0,76</b>	1,00							
<b>Ca</b>	0,23	<b>0,94</b>	-0,20	<b>0,78</b>	0,04	<b>0,75</b>	0,14	0,26	-0,12	1,00						
<b>Na</b>	0,20	0,49	0,40	-0,01	-0,26	0,04	-0,16	<b>0,85</b>	<b>0,87</b>	0,21	1,00					
<b>K</b>	-0,21	0,07	-0,07	-0,29	-0,19	-0,42	-0,45	0,23	0,26	-0,12	0,46	1,00				
<b>Mg</b>	0,21	<b>0,81</b>	-0,05	<b>0,80</b>	-0,01	<b>0,94</b>	0,24	0,14	-0,29	<b>0,87</b>	0,16	-0,29	1,00			
<b>Si</b>	0,40	0,65	-0,30	0,35	-0,01	0,30	-0,08	0,32	0,01	0,37	0,23	0,22	0,39	1,00		
<b>Al</b>	0,06	-0,12	0,33	0,12	-0,25	0,19	-0,02	-0,01	-0,27	-0,11	0,36	0,07	0,10	-0,16	1,00	
<b>Fe</b>	-0,27	-0,23	0,18	-0,20	-0,31	-0,09	-0,23	-0,06	-0,21	-0,27	0,20	0,08	-0,14	-0,22	<b>0,85</b>	1,00



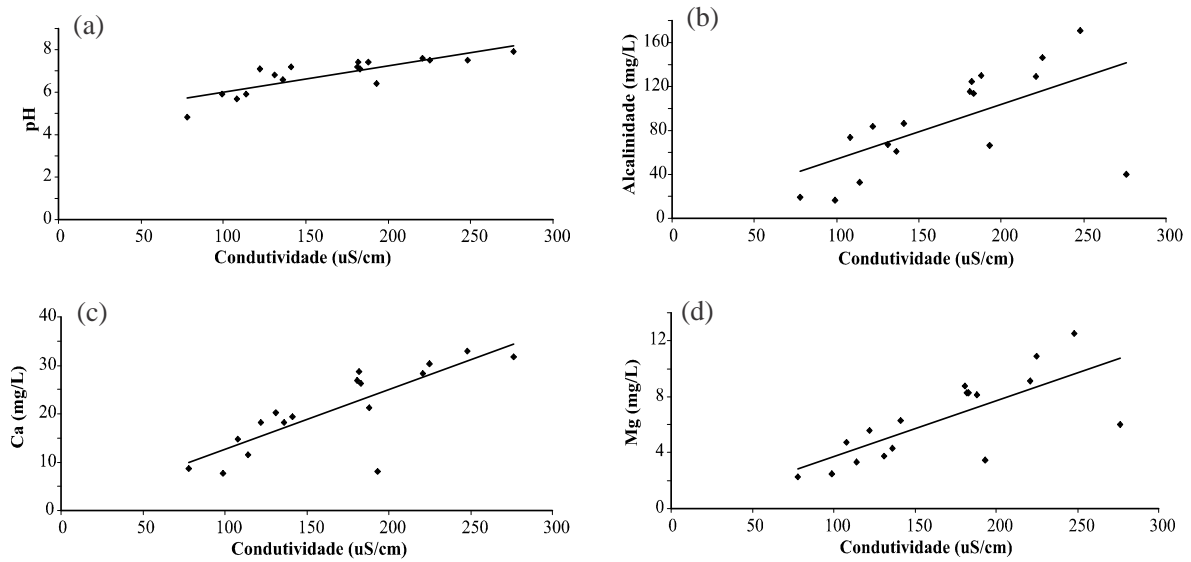


Figura 15 – Correlação entre condutividade elétrica e pH (a), alcalinidade (b), cálcio (c) e magnésio (d).

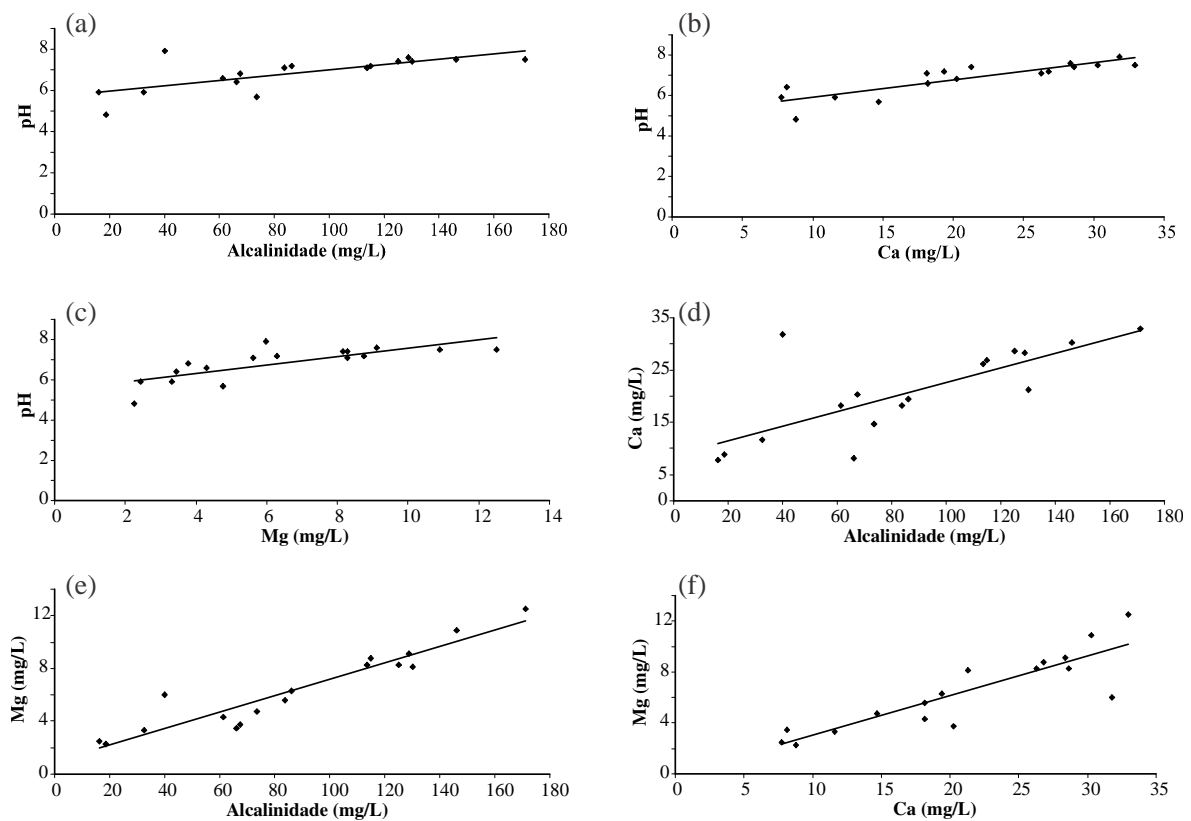
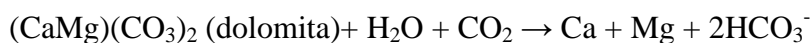
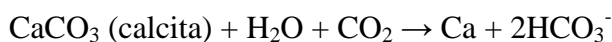
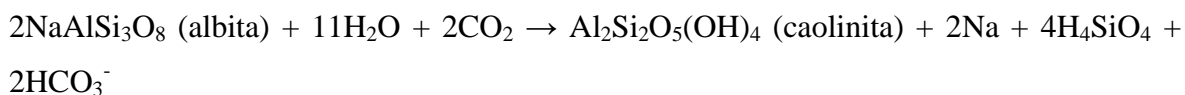
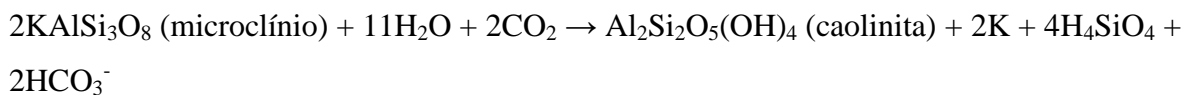


Figura 16 – Correlação entre pH e alcalinidade (a), cálcio (b), magnésio (c), alcalinidade e cálcio (d), magnésio (e) e cálcio e magnésio (f).

Para confirmação dos resultados estatísticos de correlação, utilizou-se o programa Phreeq C (PARKRUST E APPELO, 1999). O equilíbrio químico das amostras de águas subterrâneas da área urbana do município de Marília encontra-se no campo das caolinitas (Figs. 16a, 16b e 16c). A insaturação das águas subterrâneas do município de Marília em relação à calcita (Fig. 16d), associada aos testes estatísticos, indica que as fontes de cálcio, magnésio e alcalinidade estão relacionadas aos carbonatos presentes em algumas porções das formações Adamantina e Marília. PEDRO & SIEFFERMANN (1979) consideraram que parte da origem de cátions e ânions nas águas é devido ao intemperismo químico das rochas, segundo a reação:

Minerais primários + H<sub>2</sub>O + CO<sub>2</sub> → minerais secundários + HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> + H<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> + solução lixiviada.

Em algumas regiões, a degradação primária ou total destruição das estruturas dos minerais primários pode produzir fases secundárias, onde o processo é fortemente influenciado pela natureza dos minerais primários, clima, biosfera e pelo tempo (MARTINI E CHESWORTH, 1992). Assim, pelos testes estatísticos e especiação hidrogeoquímica das águas subterrâneas do município de Marília, o processo de intemperismo químico com predomínio de monossilatização (geração de argilo-minerais, tipo caolinita), ou seja, hidrólise parcial dos minerais silicáticos da rocha das formações Adamantina e Marília, com parte do Si permanecendo no perfil de alteração e Na, Ca, K e Mg sendo eliminados, e dissolução dos carbonatos controlam a qualidade desta água subterrânea, como pode ser visualizado pelas reações abaixo:



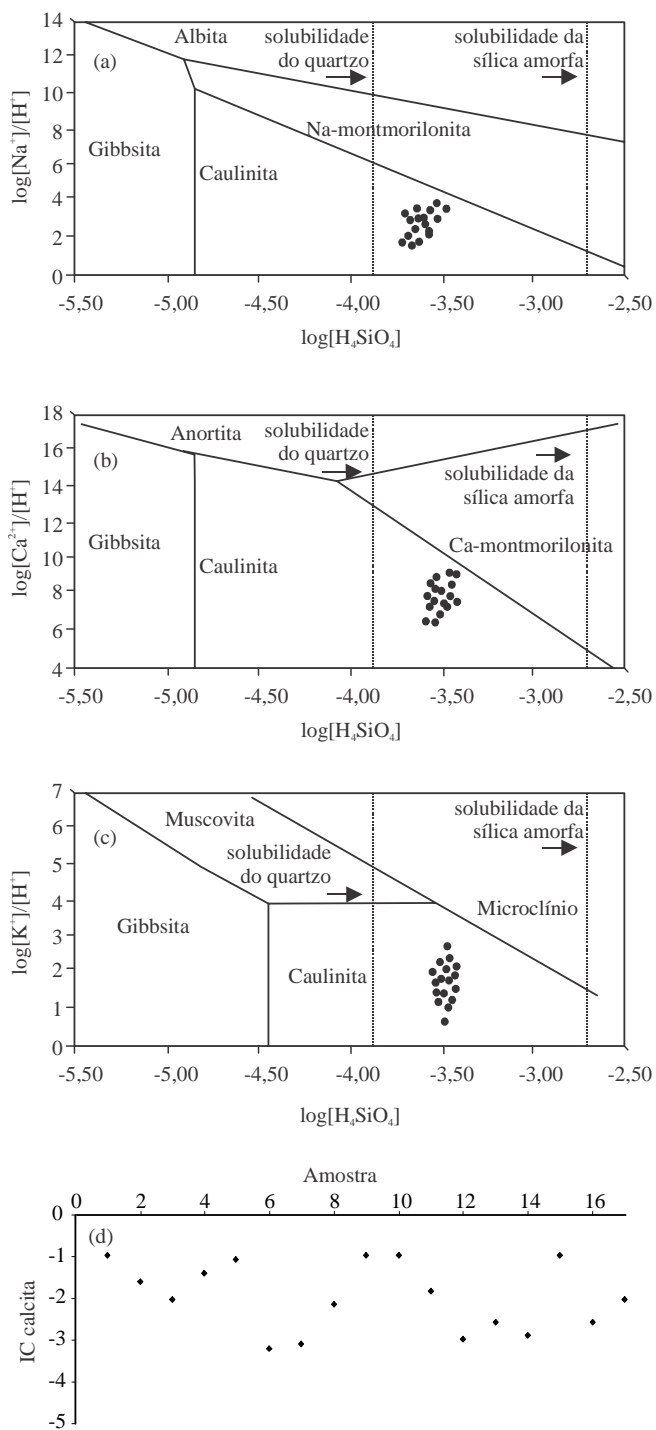


Figura 17 – Diagrama de estabilidade à 25°C NaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O (a), CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O (b) e K<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O (c) e índice de saturação da calcita (d) para as amostras de água subterrânea da urbana do município de Marília, utilizando-se o programa Phreeq C (PARKRUST E APPELO, 1999).

As rochas das formações Adamantina e Marília não possuem concentração significativa de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  nos seus minerais e, conseqüentemente, pouca entrada natural desses elementos/compostos é esperada devido ao processo de interação água/rocha. Boas correlações também foram obtidas para cloreto e nitrato ( $r = 0,76$ , Fig. 18a), cloreto e sódio ( $r = 0,85$ , Fig. 18b) e nitrato e sódio ( $r = 0,87$ , Fig. 18c), sugerindo que a presença destes elementos/compostos deve ser associada à mesma fonte. Como não houve significativa correlação entre nitrato e fosfato ( $r = -0,26$  Fig. 18d), cloreto e fosfato ( $r = -0,18$ , Fig. 18e) e sódio e fosfato ( $r = -0,16$ , Fig. 18f), os testes de correlação indicam que deve haver diferentes fontes para o fosfato em relação ao nitrato, cloreto e sódio. Com isso, a presença destes elementos/compostos deve estar associada a fontes antrópicas, ou seja, esgoto sanitário, como demonstrado no estudo realizado por Varnier et al. (2012).

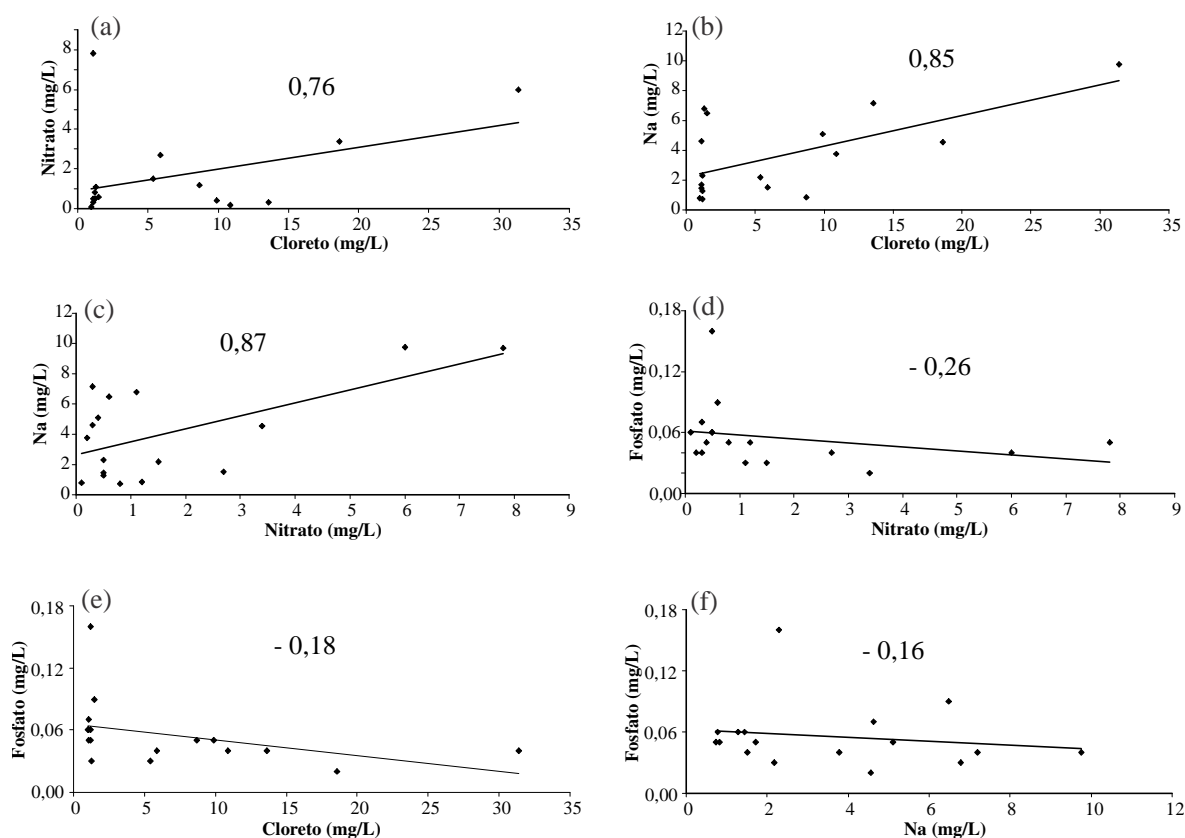


Figura 18 – Correlação entre cloreto e nitrato (a) e sódio (b), nitrato e sódio (c) e fosfato e nitrato (d), cloreto (e) e sódio (f).

Alumínio e ferro também apresentaram boa correlação ( $r = 0,85$ , Fig. 19a). Em relação aos demais metais (As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Se e Zn), eles não apresentaram correlações com nenhum dos parâmetros quantificados neste estudo, com exceção da correlação obtida para o zinco e chumbo ( $r = 0,90$ , Fig. 19b). De acordo com o relatório de áreas contaminadas da CETESB, o município de Marília possui oito áreas contaminadas, devido a postos de combustíveis, por combustíveis líquidos e solventes aromáticos, as quais devem ter um limite de 500 m de raio, conforme a Resolução SES/SERHS/SMA nº 3 de 21 de junho de 2006 (Fig. 20) (CETESB, 2011).

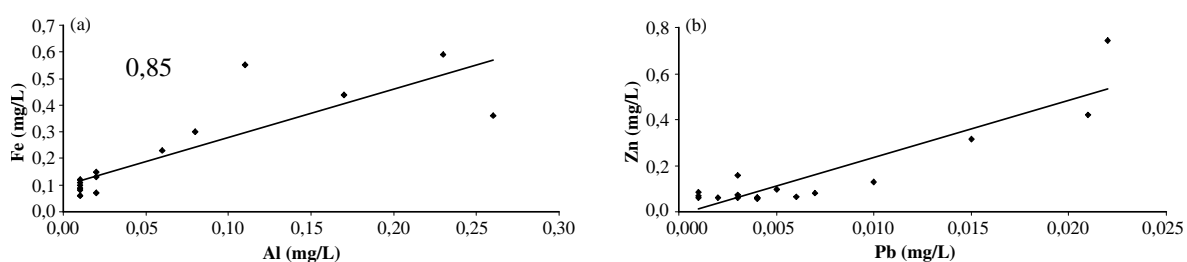


Figura 19 – Correlação entre ferro e alumínio (a) e zinco e chumbo (b).

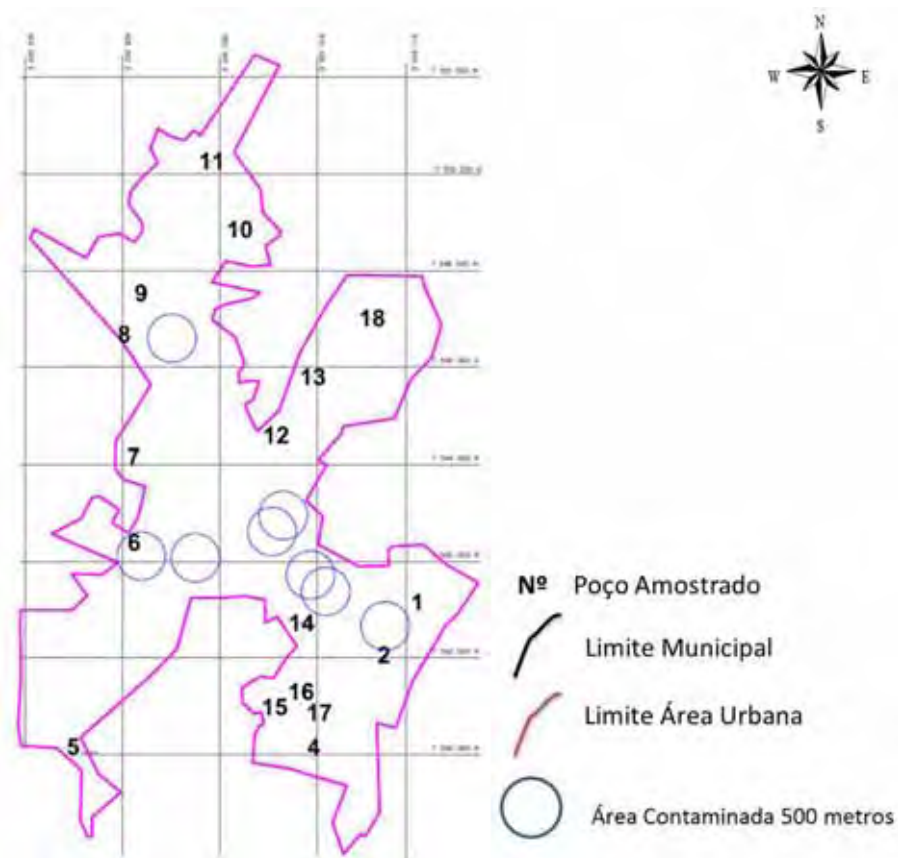


Figura 20 - Relação de áreas contaminada área urbana do município de Marília.

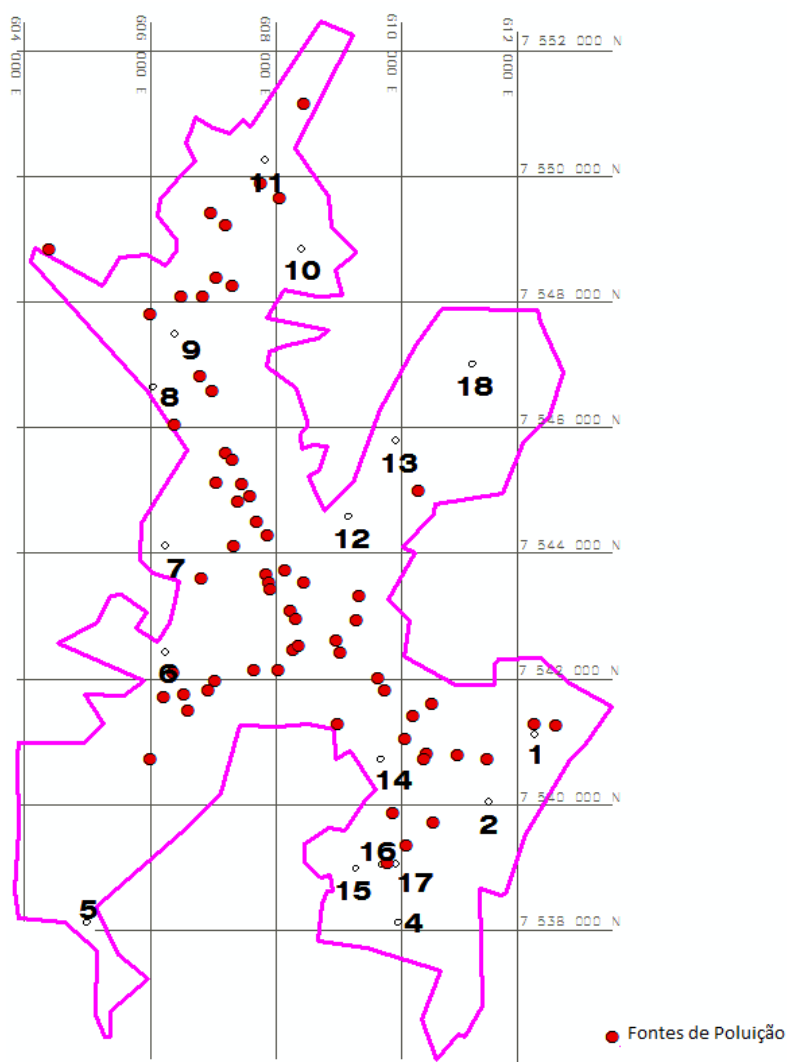


Figura 21 - Fontes de Poluição (Adaptado de MONTERO, 2012)

MONTERO (2012) levantou possíveis pontos de contaminações no município de Marília tais como postos de combustível, indústrias e distritos industriais, estações de tratamento de esgoto, locais de disposição de resíduos sólidos, cemitérios e penitenciárias. Assim podemos observar na figura 21, que existem muitos outros pontos de elevado grau de possíveis contaminantes.

Os poços 8 e 12 apresentaram concentrações de chumbo e cádmio acima da Portaria do Ministério da Saúde nº 2914 (BRASIL, 2011), como já discutido ao longo do texto. Estes poços estão localizados na área centro-norte do município de Marília, não distantes das áreas contaminadas, podendo-se concluir que os altos valores de chumbo e cádmio encontrados para estes poços devem estar associados às áreas contaminadas. Já em

relação ao ferro e alumínio, os poços 7, 8, 9 e 10 também possuem altas concentrações destes metais e estão localizados na mesma região da área urbana do município de Marília, fato que também deve ser explicado pelas áreas contaminadas.

A construção dos poços conforme citado anteriormente, pode interferir na presença de contaminantes de superfície em poços profundos.

Como foi observado em campo, a maioria dos poços são antigos e os tubos de revestimentos são de aço, nesse a contaminação de ferro e alumínio pode ser de corrosão do tubo de revestimento, ou até da tubulação de recalque da bomba.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O município de Marília encontra-se hidrogeologicamente localizado na área de recarga do Aquífero Bauru, onde há uma maior vulnerabilidade natural à poluição e um intenso uso da água subterrânea para o abastecimento público. Na área de estudo, o Sistema Aquífero Bauru é representado pelas formações Marília (porção superior) e Adamantina (porção inferior). O Aquífero Marília possui cerca de 160 m de espessura e baixa permeabilidade, devido à forte cimentação carbonática, que imprime condições locais de semi-confinamento ao Aquífero Adamantina, sotoposto. A média de profundidade dos poços analisados nesse trabalho foi de 232,00 m, e somente o poço 10 tem menos de 150 metros, mesmo assim ele está localizado na zona norte afastado da zona central.

Em geral, os resultados obtidos neste trabalho evidenciam que as águas subterrâneas do município de Marília possuem pH ligeiramente ácido, baixa condutividade, cor e turbidez e concentração de oxigênio dissolvido dentro dos valores estabelecidos para potabilidade (Portaria do Ministério da Saúde nº 2914/2011). Altas concentrações de  $\text{NO}_3^-$  e Al, Fe, Pb e Cd, em alguns poços de abastecimento devem ser explicadas devido as entradas por efluentes domésticos e áreas contaminadas em poços de combustíveis. Já os parâmetros químicos indicaram que essas águas são moles e moderadamente duras (em relação a sua dureza), possuem baixa concentração de ânions e cátions, sendo a maioria das amostras consideradas como cálcio-(bi)carbonatadas. Testes de correlação e especiação hidrogeoquímica sugerem que tanto a condutividade elétrica como o pH devem estar sendo controlados pela pelas dissoluções de carbonatos durante o processo de interação água/rocha.

Alguns poços encontram-se desativados e em má conservação, sendo uma ameaça à proteção da qualidade da água subterrânea. As principais fontes de contaminação estão



associadas às ações antrópicas, quer seja por erro durante a construção dos poços (a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT regulamenta a construção de poços através da NBR-12.212/92, para especificações construtivas, e da NBR-12.244/90, a respeito do projeto executivo) ou por infiltração de elementos/compostos que podem poluir esses aquíferos (esgotos sanitários e postos de gasolina com áreas contaminadas).

Sendo a água subterrânea um recurso renovável que pode degradar-se e converter-se em um recurso não utilizável, deve-se prevenir esta situação. No âmbito das atribuições Federais, podem ser citadas a Lei nº 9.433 (08/01/1997) que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e as Resoluções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos CNRH nº15 (11/01/2001) e nº22 (24/05/2005), que estabelecem que os planos de recursos hídricos devam propor a criação de áreas de proteção dos recursos hídricos. No Estado de São Paulo, de acordo com o Decreto 32.955/91, que regulamenta a Lei Estadual 6.134/88, deve-se utilizar como critério de delimitação à distância de 10 metros, ou tempo de trânsito, que consiste no tempo que uma partícula de água leva para atingir a captação (50 dias), para a definição da Área de Proteção de Poços e Outras Captações.

Portanto, é necessária a delimitação de áreas de proteção adequadamente planejadas de acordo com o plano diretor municipal, buscando como princípio básico, promover a proteção das captações, através de controle, restrições e fiscalização das atividades antrópicas e uso do solo. Todavia, essa delimitação tem incertezas provenientes da própria heterogeneidade do meio físico, da influência de outras captações, além de limitações técnicas aplicadas em suas metodologias.

Nas zonas urbanas deve-se estabelecer um “zoneamento da vulnerabilidade à poluição” das águas subterrâneas, a partir das características naturais dos aquíferos. Desta forma, poderiam ser indicadas zonas de alta vulnerabilidade e algumas medidas poderiam ser tomadas, tais como:

- Estrito controle e vigilância permanente, quando não for possível proibir a instalação de indústrias com grande volume de efluentes e/ou de efluentes perigosos à saúde;
- Em áreas com indústrias instaladas e com armazenamento de resíduos perigosos em seu pátio, realizar um inventário do tipo e volume dos efluentes e estabelecer requisitos severos para a planta de tratamento com um acompanhamento contínuo de sua eficácia;
- Limitar o máximo à instalação e operação de aterros sanitários, seu funcionamento deve estar sujeito a um rígido controle.
- Instalar uma rede de esgotos eficiente;

- Exercer fiscalização efetiva e constante.

Nas zonas rurais dever-se-ia implantar melhorias nas praticas agrícolas, a fim de controlar os tipos de fertilizantes e pesticidas aplicados e as quantidades máximas permitidas, bem como orientar sobre as formas e tipos de cultivos e os volumes de água e serem aplicados na irrigação.

Assim, estabelecer uma política e programas regionais de prevenção e controle da poluição e buscar soluções para os problemas já existentes se fazem extremamente necessária no município de Marília. Além disso, será necessário desenvolver campanhas de divulgação, educação e capacitação para a população em relação ao uso sustentável deste importante recurso, visando evitar estes problemas em outras áreas.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEIXO, P.C.; NÓBREGA, J.A.; SANTOS JÚNIOR, D.; MULLER, R.C.S. **Determinação direta de selênio em água de coco e leite de coco utilizando espectrometria de absorção atômica com atomização eletrotérmica em forno de grafite.** Quimica Nova, vol 23 (3), p.310 – 312, 2000.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil.** Brasília, ANA, 74 p., 2005.

ATSDR. **Toxicological profile for Chromium.** Agency for Toxic Substances and Disease Registry, U.S. Department of Health and Human Services, 2000. 461 p.

BARCHA, S.F. **Aspectos geológicos e províncias hidrogeológicas da Formação Bauru na região norte-ocidental do Estado de São Paulo.** Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, Tese de Livre Docência, 209 p., 1980.

BARISON, M.R. **ESTUDO HIDROGEOQUÍMICO DA PORÇÃO MERIDIONAL DO SISTEMA AQUÍFERO BAURU NO ESTADO DE SÃO PAULO,** Tese de Doutorado, 158 P., 2011.

BONOTTO, D. M. **Hydro(radio)chemical relationships in the giant Guarani aquifer, Brazil.** Journal of Hydrology, 2006, In Press.

BONOTTO, D.M.; MANCINI, L.H. **Estudo hidroquímico e isotópico dos aquíferos de Rio Claro (SP).** Geochimica Brasiliensis, 6(2):153-167., 1992.

BRASIL, **Portaria de Potabilidade do Ministério da Saúde nº 2914,** 2011.

CÂMARA MUNICIPAL DE MARÍLIA. **Plano Diretor do Município.** Marília, 51p., 2006.

CBH-AP. **Relatório de situação dos Recursos Hídricos na bacia Hidrográfica do Aguapeí Peixe.** São Paulo, 252 p., 2008.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2010. **Relatório de qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo: 2007-2009**. CETESB, São Paulo, 258 p., 2010.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo**. São Paulo, CETESB, 528 p., 2008.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo**. São Paulo, CETESB, 274 p., 2006.

CETESB, **ÁREAS CONTAMINADAS E REABILITADAS DO ESTADO DE SÃO PAULO**, P. 4131, 2011.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Uso das águas subterrâneas para abastecimento público no Estado de São Paulo**. São Paulo: 48,1997.

CONCEIÇÃO, F.T. & BONOTTO, D.M. **Relações hidroquímicas aplicadas à avaliação da qualidade de água e diagnóstico ambiental na bacia do Rio Corumbataí (SP)**. Geochimica Brasiliensis, v. 16, n. 1, p. 1-21., 2002.

CONCEIÇÃO, F.T. & BONOTTO, D.M. **Relações hidroquímicas aplicadas à avaliação da qualidade de água e diagnóstico ambiental na bacia do Rio Corumbataí (SP)**. Geochimica Brasiliensis, v. 16, n. 1, p. 1-21, 2002.

CONCEIÇÃO, F.T.; CUNHA R.; SARDINHA D.S.; SOUZA, A.D.G.; Osmar SINELLI, O. **Hidrogeoquímica do Aquífero Guarani na área urbana de Ribeirão Preto (SP)**. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 28, n. 1, p. 65-77., 2009.

DAEE; IG; IPT; CPRM. **Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo (1:1.000.000)**. São Paulo, 119p., 2005.

DAEM, **Tabela de Vazões e Níveis**, 02 folhas, 2012.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. **Estudo de águas subterrâneas: região administrativa 6, Ribeirão Preto - SP**, São Paulo: Geopesquisadora Tahal, 2v., 1974.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. **Estudo de águas subterrâneas, regiões administrativas 7, 8 e 9: Bauru, São José do Rio Preto e Araçatuba**. São Paulo: v.1 e v.2., 1976.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. **Estudo de águas**

**subterrâneas, regiões administrativas 10 e 11: Presidente Prudente e Marília.** São Paulo: v.1 e v.2, 1979.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. **Sistema de informações para gerenciamento de recursos hídricos do Estado de São Paulo,** São Paulo - SP, 2000.

FERNANDES, L. A. **Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil).** Tese de Doutorado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo - USP, São Paulo. 216p., 1998.

GODOY, M.T.F; BOIN, M.; SANAIOTTI, D.; SILVA, J. **Contaminação das águas subterrâneas por nitrato em Presidente Prudente – SP,** Brasil. Revista Instituto Adolfo Lutz, 63(2): 208-214, 2004.

HIRATA, R. **Estudo da contaminação por nitrato no Distrito de Tibiriçá, Bauru.** São Paulo, DAE/IGc-USP. 2v. (Relatório técnico), 2000.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2011. **Sinopse do censo demográfico 2010.** IBGE, Rio de Janeiro, 261 p. (texto e CD-ROM).

IPT – INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICAS. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo** (1:1000.000). São Paulo, IPT. 1981.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo, Bacia do Peixe-Paranapanema.** São Paulo: Convênio IPT/DAEE. (IPT. Relatório, 24 739). 1987.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Mapa geológico do Estado de São Paulo,** escala 1:500.000. São Paulo, IPT, v.1 e v.2. 1981.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo,** escala 1: 1.000.000. 2v. 1981b.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo** (1:500.000). São Paulo, IPT, 1981.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo (1:500.000).** São Paulo, IPT, 1981 (a).

MARTINI, I.P. & CHESWORTH, W., eds. **Weathering, soils and Paleosols.** Amsterdam, Elsevier Science Publishers, p.283-305., 1992.

MELO, M. S.; STEIN, D. P.; ALMEIDA, M. A. **Aspectos litoestratigráficos do Grupo Bauru.** In: ENCONTRO DE GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA, (1982, São Paulo). **Atas...** São Paulo: SBG/ABAS, v.9, p. 01-19, 1982.

- MONTEIRO, R.C. **Vulnerabilidade e perigo de contaminação dos Aquíferos nas Sub-Bacias do Alto Aguapeí e Alto Peixe - SP.** Bauru, 133p . Dissertação de Mestrado, 2012.
- NORDBERG, G. F.; GOYER, R. A. & CLAKSON, T. W.,. **Impact of effects of acid precipitation on toxicity of metals.** Environmental Health Perspectives, 63:169-180, 1985.
- PARKHURST AND APPELO, U.S. **Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4259,** 1999.
- PAULA E SILVA F. e CAVAGUTI N. **Nova caracterização estratigráfica e tectônica do Mesozóico na Cidade de Bauru - SP.** Revista Geociências, 13 (1): 83-99, 1994.
- PAULA E SILVA F. **Geologia de subsuperfície e hidroestratigrafia do Grupo Bauru no Estado de São Paulo.** Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro. 166 p, 2003.
- PAULA E SILVA F., CHANG H. K. e CAETANO-CHANG M. R. **Perfis de referência do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo.** Revista Geociências, 22 (especial): 21-32, 2003.
- PAULA E SILVA F., et al. **Estudo estratigráfico do Grupo Bauru na região de Presidente Prudente com base em perfis geofísicos de poços para água.** Revista Geociências, 13 (1): 63-82, 1994.
- PAULA E SILVA, F. **Geologia de subsuperfície e hidroestratigrafia do Grupo Bauru no Estado de São Paulo.** Instituto de Geociências e Ciências Exatas. UNESP (Tese de Doutorado). Rio Claro. 166 p., 2003.
- PAULA E SILVA, F.; Kiang , C.H.; Caetano - CHANG, m. R. **Hidroestratigrafia do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo.** Águas Subterrâneas, 19(2): 19-36, 2005.
- PEDRO G & SIEFFERMANN G. **Weathering of rocks and formation of soils.** In: SIEGEL FR (Ed.). Review in Modern Problems of Geochemistry. UNESCO, pp. 39-55., 1979.
- PIPER, A. M. **A Graphic procedure in the geochemical interpretation of wateranalyses.** Reprinted: American Geophysical Union Transactions, v.25, p. 914-923, 1944.
- PORTO, F.A. **Estabelecimento dos parâmetros de controle da poluição.** In: PORTO, S.M.; CLEARY, R.W.; COIMBRA, R.M.; EIGER, S.; LUCA, S.J.; NOGUEIRA,

V.P.O.; PORTO, M.F.A. (Coords.), **Hidrologia Ambiental**. São Paulo, EDUSP, p. 375-390.,1991.

PRANDI, E. **Gestão integrada das águas do Sistema Aquífero Bauru nas Bacias Hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe/SP**. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Tese de Doutorado, 142 p. e anexos, 2010.

PROCEL, S. **Contaminação por nitrato e sua relação com o crescimento urbano no Sistema Aquífero Bauru em Presidente Prudente (SP)**. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 146 p., 2011.

Resolução SES/SERHS/SMA nº 3 de 21/06/2006.

SÃO PAULO (Estado) Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras. DAEE. **Relatório de situação dos recursos hídricos do Estado de São Paulo**. São Paulo, 119 p., 1999.

SEADE - FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS, 2003. **Estimativa do percentual de domicílios servidos com rede pública de coleta de esgotos para a zona urbana, realizada pelo órgão operador do sistema**. URL <http://www.seade.gov.br/ produtos/imp/index.php?page=tabela> – acesso em 21/09/2011.

SEADE - FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. 2010. **Índice dos municípios paulistas – IMP**. URL: <http://www.seade.gov.br> – acesso em 21/09/2011.

SILVIA, S. R.; CHANG, H.K. **HIDROQUÍMICA DOS SISTEMAS AQUÍFEROS BAURU E GUARANI NA REGIÃO METROPOLITANA DE BAURU (SP)**, 2010, Revista Águas Subterrâneas, v.24, n.1, p.69-84., 2010.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS / **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos**, p. 448 - 2010

SNIS / **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos**. MINISTÉRIO DAS CIDADES / SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL / SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO, 2010.

SOARES P. C., et al. **Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru**. Revista Brasileira de Geociências, 10 (3): 177-185. 1980.

STRADIOTO, M. R. **Hidroquímica e Aspectos Diagenéticos do Sistema Aquífero Bauru na Região Sudoeste do Estado de São Paulo**. 97, 2007.

SURFER – **Version 8.05, May 11 2004, goldem Software** 1993-2004

TODD, D. K. **Groundwater Hydrology**. John Wiley & Sons, New York, 1980.

URSULINO, D. M. A. **Caracterização da qualidade das águas subterrâneas do município de Rio Claro**. Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1998.

VARNIER C., et al - **NITRATO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SISTEMA AQUÍFERO BAURU ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE MARÍLIA (SP)** Revista do Instituto Geológico, São Paulo, 31 (1/2), 1-21, 2010.

VARNIER, C.L. **O Efeito do Nitrogênio proveniente de sistemas de saneamento “in situ” na qualidade das águas subterrâneas em aquíferos livres e rasos**. São Paulo, 150p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2001.

Winston, R.B., 2000, **Graphical User Interface for MODFLOW**, Version 4: U.S. Geological Survey Open-File Report 00-315, 27 p.,

[http://water.usgs.gov/nrp/gwsoftware/GW\\_Chart/GW\\_Chart.html](http://water.usgs.gov/nrp/gwsoftware/GW_Chart/GW_Chart.html)