

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

FILIPPE MONTANHEIRO

**CONTAMINAÇÃO POR NITRATO NO AQUÍFERO ADAMANTINA: O CASO DO
MUNICÍPIO DE MONTE AZUL PAULISTA-SP**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Orientador: Prof^o Dr. Chang Hung Kiang

Rio Claro - SP

2014

551.49 Montanheiro, Filipe
M764c Contaminação por nitrato no Aquífero Adamantina: o
caso do município de Monte Azul Paulista/SP / Filipe
Montanheiro. - Rio Claro, 2014
93 f. : il., figs., gráfs., tabs., fots., mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Chang Hung Kiang

1. Águas subterrâneas. 2. Hidrogeologia. 3. Sistema
Aquífero Bauru. 4. Modelo conceitual. I. Título.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Chang Hung Kiang (orientador)

Profa. Dra. Sueli Yoshinaga

Geól. Dr. Emilio Carlos Prandi

Rio Claro, 14 de Abril de 2014.

Resultado: Aprovado

*Dedico este trabalho a minha amada esposa Mariana,
Aos meus queridos pais Tarcísio e Maria do Carmo,
Aos meus irmãos Juliana, Elaine, Lucas, Ana Beatriz e João Pedro*

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus e aos meus guias e mentores espirituais pela inspiração e fortalecimento durante as dificuldades enfrentadas ao longo de minha caminhada.

Aos meus pais, pela força, apoio e principalmente pela confiança depositada em mim.

Sou grato ao meu orientador, Prof. Dr. Chang Hung Kiang, pela oportunidade ao longo desses anos, apoio e confiança depositada em meu trabalho. Da mesma forma agradeço aos Geólogos Didier Gastmans, Flavio de Paula e Silva e Elias Hideo Teramoto pelas grandes ajudas e discussões ao longo de todo trabalho.

Especialmente, agradeço a minha esposa, Mariana Ap. Fernandes Montanheiro, grande incentivadora, que está sempre ao meu lado e me deu força nos momentos mais difíceis.

Aos meus irmãos que estarão sempre presentes em minha vida: Juliana, Elaine, Lucas, Ana Beatriz, e o caçula mais querido, João Pedro.

Agradeço à Professora Maria Rita Caetano Chang pela revisão do texto que compõe essa dissertação.

Ao Laboratório de Estudos de Bacias (LEBAC) por toda estrutura e apoio fornecido.

Ao Laboratório de Hidrologia e Hidroquímica da UNESP, em especial ao químico Emílio C.B. Hespanhol.

Agradeço ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Monte Azul Paulista (SAEMAP) pela grande colaboração para a execução deste trabalho.

Enfim, a realização deste trabalho não teria sido possível sem o auxílio de pessoas e instituições que, direta ou indiretamente, colaboraram em sua elaboração.

SUMÁRIO

ÍNDICE.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO	1
2. NITRATO NA ÁGUA SUBTERRÂNEA	5
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	10
4. MATERIAIS E MÉTODOS	19
5. HIDROGEOLOGIA DO AQUÍFERO ADAMANTINA NO MUNICÍPIO DE MONTE AZUL PAULISTA	33
6. HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE MONTE AZUL PAULISTA..	55
7. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL	78
8. CONCLUSÕES	84
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

ÍNDICE

ÍNDICE.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo	2
1.2 Área de Estudo	3
2. NITRATO NA ÁGUA SUBTERRÂNEA	5
2.1 O ciclo do nitrogênio	7
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	10
3.1 Geologia Regional	10
3.2 Hidrogeologia	13
3.3 Hidroquímica do Sistema Aquífero Bauru	17
4. MATERIAIS E MÉTODOS	19
4.1. Levantamento e Aquisição de Documentação Básica.....	19
4.2. Levantamento de Dados Cadastrais de Poços Profundos.....	19
4.3. Perfuração de Poço Profundo	20
4.4 Levantamento de Perfis Geofísicos	21
4.4.1 Perfil de resistividade	21
4.4.2 Perfil Potencial Espontâneo (SP).....	23
4.4.3 Perfil de Raios Gama.....	24
4.4.4 Perfil Sônico	25
4.5. Amostragem de Água	26
4.5.1 Análise Físico-Química	28
4.5.2 Processamento dos dados hidroquímicos	29
4.6. Caracterização de Parâmetros Hidrodinâmicos	31
4.6.1 Teste de Bombeamento	31
5. HIDROGEOLOGIA DO AQUÍFERO ADAMANTINA NO MUNICÍPIO DE MONTE AZUL PAULISTA	33
5.1 Poços Cadastrados no Sistema	33
5.2 Perfuração de Poço Tubular Profundo	36
5.3 Perfilagem Geofísica	38

5.4 Caracterização Geológica do Aquífero Adamantina na Área de Estudo.....	41
5.5 Parâmetros Hidrodinâmicos	46
5.6 Potenciometria do Município	50
6. HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE MONTE AZUL PAULISTA..	55
6.1 Classificação das Águas	58
6.2 Características Físico-Químicas das Águas.....	64
6.3 Distribuição das Concentrações de Nitrato nas Águas de Monte Azul Paulista	72
7. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL	78
8. CONCLUSÕES	84
8.1 Recomendações	86
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo (Fonte: Adaptado de convênio DAEE/UNESP, 1980).	4
Figura 2. O ciclo do Nitrogênio (modificado de UNITED STATES, 1993).	8
Figura 3. Mapa de distribuição das unidades geológicas do Grupo Bauru (FERNANDES & COIMBRA, 1994 <i>apud</i> PAULA E SILVA, 2003).	11
Figura 4. Mapa geológico simplificado do Estado de São Paulo. (Fonte: Adaptado de Convênio DAEE/UNESP, 1980).	12
Figura 5. Mapa dos Sistemas Aquíferos do Estado de São Paulo. (Fonte: CONVÊNIO DAEE/UNESP, 1980).	15
Figura 6. Seção hidrogeológica do Estado de São Paulo (Mapa de localização na Figura 4)..	16
Figura 7. Diagrama de Piper com classificação dos tipos hidroquímicos.	30
Figura 8. Diagrama representativo de Stiff.	30
Figura 9. Mapa de localização dos poços cadastrados em Monte Azul Paulista/SP.	34
Figura 10. Gráfico de distribuição das vazões em relação à profundidade dos poços.	36
Figura 11. Detalhes construtivos do novo poço perfurado na Escola Aureliano-Monte Azul Paulista/SP.	37
Figura 12. Resultados e interpretação dos ensaios geofísicos no novo poço profundo perfurado na Escola Aureliano-Monte Azul Paulista/SP.	39
Figura 13. Seção geológica do município de Monte Azul Paulista/SP (Base do traçado da topografia: <i>Google Earth</i> [®]).	43
Figura 14. Mapa de isópacas dos sedimentos da Formação Adamantina no município de Monte Azul Paulista/SP.	44
Figura 15. Mapa de Contorno Estrutural do Substrato do SAB na região de Monte Azul Paulista.	45
Figura 16. Gráfico de Rebaixamento ao longo do tempo, mediante a variação da vazão.	47
Figura 17. Curva característica do poço calculada a partir do teste escalonado.	49
Figura 18. Equação característica do poço calculada a partir do teste escalonado.	49
Figura 19. Mapa potenciométrico do aquífero superficial de Monte Azul Paulista/SP.	53
Figura 20. Mapa potenciométrico do aquífero profundo de Monte Azul Paulista/SP.	54
Figura 21. Gráfico relacionando os valores de Erro analítico e a condutividade elétrica das amostras de água.	55
Figura 22. Mapa de localização dos pontos de coleta das amostras de água.	57

Figura 23. Diagrama de Piper das águas estudadas em Monte Azul Paulista/SP.	58
Figura 24. Distribuição dos tipos hidroquímicos na área de estudo.	59
Figura 25. Diagrama de Stiff do Aquífero Adamantina em Monte Azul Paulista/SP.	61
Figura 26. Dendrograma das amostras de água subterrânea do Aquífero Adamantina.	62
Figura 27. Amostras classificadas de acordo com a análise estatística.	63
Figura 28. Correlação entre Cloreto (Cl^-) e Nitrato (NO_3^-) nas águas do Aquífero Adamantina, em Monte Azul Paulista/SP.	66
Figura 29. Gráfico de correlação entre Sólidos Totais Dissolvidos e Nitrato.	67
Figura 30. Gráfico de correlação entre Bicarbonato e Cálcio.	67
Figura 31. Distribuição espacial dos valores de Índice de Saturação da Calcita.	69
Figura 32. Amostras geradas pelas simulações de misturas.	71
Figura 33. Planta da zona urbana de Monte Azul Paulista com distribuição dos pontos amostrados, constantes na Tabela 18.	75
Figura 34. Gráfico de análise temporal das concentrações de nitrato.	76
Figura 35. Mapa de curvas de isovalores de nitrato da zona urbana de Monte Azul Paulista/SP.	77
Figura 36. Gráfico correlacionando a profundidade dos poços e as concentrações de N-NO_3^-	79
Figura 37. Diagrama de Piper com as soluções de misturas e as amostras de Monte Azul Paulista.	81
Figura 38. Seção hidrogeológica A-B.	82
Figura 39. Seção hidrogeológica C-D.	83

RESUMO

O município de Monte Azul Paulista é abastecido exclusivamente por água subterrânea, por meio de poços tubulares profundos perfurados nos aquíferos Adamantina e Serra Geral. Nos últimos anos, observaram-se elevadas concentrações de nitrato na água subterrânea do Aquífero Adamantina, fato que impossibilitou a utilização de alguns poços para abastecimento público. A partir da interpretação e integração de resultados hidroquímicos, geofísicos e hidrogeológicos, foi possível elaborar um modelo conceitual para o município, de forma a fornecer subsídios técnicos para melhor gestão do recurso hídrico subterrâneo. Com as análises químicas de água foi possível identificar dois tipos hidroquímicos no município: as águas bicarbonatadas cálcicas, as quais estão associadas àquelas com nenhuma ou baixa influência de contaminação antrópica, e as águas cloretadas cálcicas, as quais se relacionam com as águas sob influência de contaminação por nitrato. A hidrogeologia do município foi caracterizada por apresentar duas potenciometrias distintas. A superior, localizada entre a superfície e 40 metros de profundidade, e a inferior, entre 80 e 150 metros de profundidade. Isolando esses dois aquíferos, foi identificada uma camada de sedimentos argilosos, de 40 metros de espessura. À profundidade de 152 metros, encontram-se os basaltos da Formação Serra Geral. As elevadas concentrações de nitrato na água subterrânea estão relacionadas à infiltração de efluentes domésticos, oriundos das fossas sépticas e vazamentos de tubulações da rede de esgotos. Embora seja de conhecimento que esse contaminante é proveniente da superfície, foi possível notar que ele já se distribuiu pelo aquífero profundo, não estando restrito somente às camadas superficiais. A hidroquímica teve um papel importante no esclarecimento e na confirmação de que está havendo uma mistura entre o aquífero superficial contaminado e o aquífero profundo, que está cada vez mais se tornando contaminado. Para isso foi feita simulação de mistura entre uma água superficial contaminada e uma água profunda com nenhuma ou baixíssima concentração de nitrato. A partir desta simulação, foi possível notar que as diferentes proporções de misturas geradas pelo *software* matemático apresentam exatamente as mesmas características das águas consideradas cloretadas cálcicas. Portanto, pode-se interpretar que as águas superficiais com altas concentrações de nitrato estão infiltrando, por meio das elevadas quantidades de poços tubulares perfurados no município, para as porções mais profundas do Aquífero Adamantina, resumindo o contexto no qual Monte Azul Paulista está inserido.

Palavras Chave: Aquífero Adamantina, águas subterrâneas, nitrato, contaminação.

ABSTRACT

The municipality of Monte Azul Paulista is stocked exclusively by groundwater through aquifers drilled in Adamantina and Serra Geral deep wells. In recent years, there were high concentrations of nitrate in groundwater, a fact that prevented the use of some wells for public supply. From the interpretation and integration of hydrochemical, hydrogeological and geophysical results, it was possible to develop a conceptual model for the municipality, in order to provide technical support for better management of the groundwater resource.

With the chemical analysis of water was possible to identify two hydrochemical types in the city: the calcium bicarbonate waters, which are those associated with no or low influence of anthropogenic contamination, and chlorinated calcic waters, which correlate with the waters under the influence of nitrate contamination. The hydrogeology of the city was characterized by presenting two distinct water level. The top, located between the surface and 40 meters deep and the bottom between 80 and 150 meters deep. Isolating these two aquifers was identified a layer of clayey sediments, 40 meters thick. In 152 meters depth, occur the basalts of the Serra Geral Formation. High concentrations of nitrate in groundwater are related to infiltration of domestic effluents from septic tanks and leaking sewer pipes. Although it is known that this contaminant is from the surface, it was noticeable that he ever distributed by the deep aquifer, and is not restricted only to the superficial layers. The hydrochemistry had an important role in understanding and confirmation that there is a mix between surface contaminated aquifer and the deep aquifer, which is increasingly becoming contaminated. For this simulation was taken from a mixture of contaminated surface water with deep water with no or very low nitrate concentration. From this simulation, it could be noted that the different mixture proportions generated by mathematical software, have exactly the same characteristics considered calcic chlorinated water. Therefore, one can interpret that the surface water with high nitrate concentrations are seeping through the high amounts of wells drilled in the county, to the deeper portions of the aquifer, summarizing the context in which Monte Azul Paulista is inserted.

Keywords: Aquifer Adamantina, groundwater, nitrate, contamination.

1. INTRODUÇÃO

A expansão do desenvolvimento industrial e da urbanização leva ao aumento da demanda por água, seja para abastecimento público, seja para quaisquer outros fins. Essa necessidade desperta em seus usuários um crescente interesse pelos recursos hídricos subterrâneos, levando em consideração que eles apresentam, na maioria dos casos, água de melhor qualidade natural e a menores custos, se comparados à captação e tratamento das águas superficiais.

Atualmente, um dos principais contaminantes detectados nas águas subterrâneas é o nitrato. As elevadas concentrações se devem a algumas de suas propriedades físico-químicas, como as altas solubilidade e mobilidade. Essas anomalias têm preocupado os gestores de recursos hídricos, devido aos potenciais impactos que podem causar à saúde humana quando os teores são superiores a 10 mg/L de nitrogênio (N-NO₃) ou 45 mg/L de nitrato (NO₃), conforme preconizado na legislação brasileira (Portaria N° 2914/11 do Ministério da Saúde).

Nesse contexto, os mananciais subterrâneos deveriam receber cuidados que protejam e preservem sua qualidade frente às ações antrópicas, que podem modificar e pôr em risco as condições naturais da água. Diante disso, a contaminação das águas subterrâneas tem merecido constantes pesquisas e preocupações em vários órgãos de governo, quer para a caracterização hidrogeológica, quer para a gestão desses recursos.

Alguns trabalhos foram realizados com ênfase na contaminação por nitrato em grandes centros urbanos do Estado de São Paulo, como Bauru (HIRATA, 2000), São José do Rio Preto (BARCHA, 1980 e DAEE/SERVMAR/IG, 2011), Presidente Prudente (GODOY *et al.* 2004, PROCEL, 2011), Marília (VARNIER *et al.*, 2010), entre outros.

Nas últimas décadas, a população de Monte Azul Paulista aproveitou-se de facilidades oferecidas pelas empresas de perfuração de poços do próprio município para captar água subterrânea em suas residências, clubes e empresas. Durante esse longo período a população pôde instalar poços a baixos custos, sem a preocupação com as técnicas de construção corretas que evitassem a migração do nitrato para dentro do poço, seja das fossas sépticas, seja de vazamentos da rede de esgoto.

Por esses motivos, o Sistema Aquífero Bauru, especificamente o Aquífero Adamantina, sofre, hoje em dia, com a grande alteração da qualidade química de seus recursos que causa, em alguns casos, a restrição do uso.

Nesse sentido, o município de Monte Azul Paulista, um dentre os 70% de núcleos urbanos paulistas abastecidos com águas subterrâneas, tornou-se alvo deste estudo que está

direcionado ao comportamento da contaminação por nitrato do Sistema Aquífero Bauru (SAB), em particular, o Aquífero Adamantina.

Assim, os estudos hidrogeológicos propostos neste trabalho tornam-se ferramentas importantes para a gestão dos recursos hídricos, principalmente neste município onde a única fonte de abastecimento é a captação de água subterrânea por meio de poços tubulares profundos.

1.1 Objetivo

Este trabalho direciona-se a detalhar o arcabouço hidrogeológico do município de Monte Azul Paulista/SP, uma vez que o entendimento do comportamento do nitrato está intimamente relacionado com o cenário onde se insere esse município. Assim, os estudos específicos para se atingir esse objetivo geral são:

- ✓ Caracterizar a distribuição do nitrato em subsuperfície;
- ✓ Identificar e caracterizar as principais hidro fácies com a elaboração de seções hidrogeológicas, de modo a fornecer subsídios técnicos para uma gestão sustentável deste reservatório subterrâneo;
- ✓ Interpretar e correlacionar as curvas geradas por perfis geofísicos com a geologia/hidrogeologia local; traçar as variações litoestratigráficas visando entender o comportamento das condições de armazenamento, fluxo e vulnerabilidade dos reservatórios subterrâneos;
- ✓ Analisar e avaliar os resultados analíticos das amostras de água coletadas nos poços e nascentes do município para a caracterização hidroquímica do Aquífero Adamantina, além de elaborar um mapa de isoconcentrações de nitrato;
- ✓ Determinar os parâmetros hidrodinâmicos do Aquífero Adamantina em função dos resultados dos testes de bombeamento; estimar sua condutividade hidráulica, porosidade efetiva e transmissividade.

1.2 Área de Estudo

O município de Monte Azul Paulista localiza-se na porção centro-norte do Estado de São Paulo, distante 430 km da capital paulista (**Figura 1**). O seu território abrange uma área de 264 km², que é povoado por cerca de 20.000 habitantes (IBGE, 2010).

A zona rural representa cerca de 97% da área municipal e tem uma produção agrícola centrada principalmente no cultivo da laranja e cana-de-açúcar, além de milho, soja, seringais e pastagens.

A cidade é 100% abastecida por água subterrânea, com produção média de 210.000 m³/mês, sendo 10,5 m³/habitante/mês, valor acima do estabelecido pela Organização das Nações Unidas, estipulado em 3,3 m³/habitante/mês. O Serviço Autônomo de Água e Esgoto e Meio Ambiente de Monte Azul Paulista – SAEMAP – é responsável pela captação e distribuição de água na cidade, apesar de muitas casas ainda possuírem poços tubulares (40 m até 200 m de profundidade) e cacimbas (4 m até 20 m de profundidade).

O município dispõe de um sistema em rede de recolhimento e tratamento de esgoto (ETE) de apenas 25% do que é produzido pela cidade. Muito embora sejam esses recursos essenciais à população, ainda persistem os sistemas individuais de tratamento de esgoto, como as fossas sépticas (fossa negra), ou seja, os buracos escavados no solo para o tratamento de esgotos por processos de sedimentação, flotação e digestão. Na maioria dos casos, as fossas são instaladas sem qualquer tipo de impermeabilização e em desacordo com as normas técnicas estabelecidas (ABNT - NBR 7229).

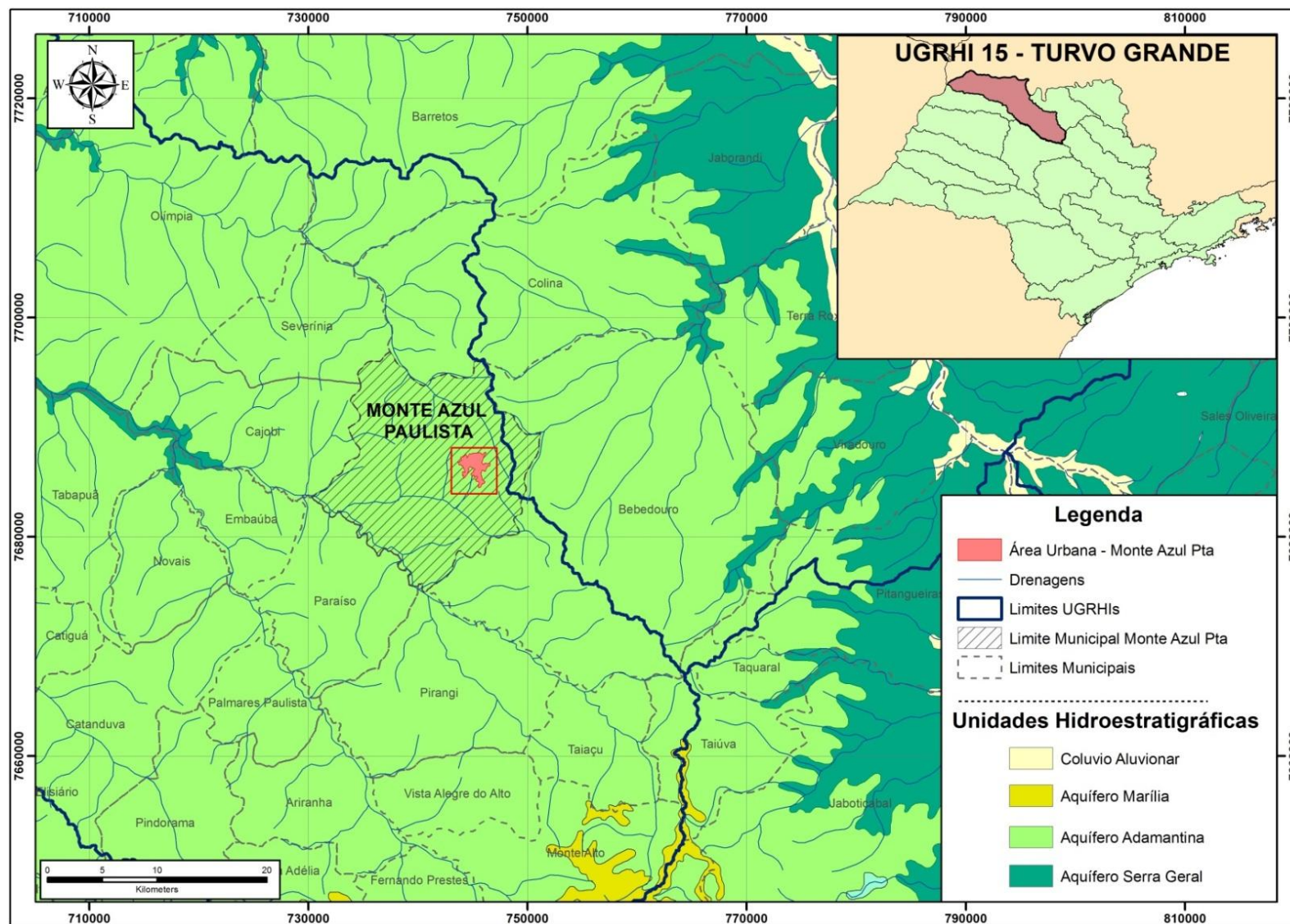


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo (Fonte: Adaptado de convênio DAEE/UNESP, 1980).

2. NITRATO NA ÁGUA SUBTERRÂNEA

O monitoramento da qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo começou a ser implantado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB – na década de 1990, mediante coletas e análises semestrais da água de poços instalados nos sistemas aquíferos Guarani e Bauru, que são comumente utilizados para abastecimento público. Nos anos posteriores foram ampliados o número de pontos, de aquíferos monitorados e de substâncias analisadas.

Em 1996 foi publicado o primeiro relatório da série, com os resultados das campanhas realizadas entre 1990 e 1994, no qual foram constatadas alterações microbiológicas, principalmente em poços do Sistema Aquífero Bauru, bem como alteração nas concentrações de nitrato, mostrando indícios de alteração da qualidade da água em função de atividade antrópica.

Dentre os parâmetros monitorados pela CETESB para caracterização química e avaliação da qualidade da água subterrânea, o íon nitrato pode ser considerado um marcador de contaminação antrópica, pois nas águas subterrâneas é comum a ocorrência de baixas concentrações desse íon, substância que representa o estágio final da degradação da matéria orgânica.

Segundo Keeney (1987), concentrações acima de 10 mg/L de nitrato (N-NO_3) são uma forte indicação de contaminação, e Follet (1989) considera que uma concentração de 14 mg/L de nitrato pode ser indício de contaminação por atividades antrópicas.

Feitosa e Manoel Filho (2000) sugerem que concentrações acima de 5 mg/L de N-NO_3 são indicativas de contaminação, enquanto que os teores maiores que 10 mg/L podem causar riscos à saúde humana, como o aparecimento de doenças dos tipos metahemoglobinemia (cianose) e câncer gástrico. A toxicidade do nitrato nos seres humanos é decorrente da redução química do nitrato para nitrito, uma reação química que ocorre na saliva dos humanos de todas as idades, bem como no trato gastrointestinal de bebês de até três meses de idade.

Os efeitos dessa doença são reversíveis em humanos de todas as idades. Nos bebês de até três meses, no entanto, há necessidade de maiores cuidados médicos, uma vez que 10% do nitrato ingerido é transformado em nitrito. Esta quantidade pode levar o bebê ao sofrimento por falta de oxigênio nas células e, conseqüentemente, a sua pele terá tons azulados (doença conhecida como “síndrome do bebê azul”).

A concentração de 5,0 mg/L de nitrato nas águas subterrâneas tem sido utilizada pela CETESB como limite para definir ações preventivas e regras para aplicação de resíduos em

solos agrícolas, nos processos de licenciamento e fiscalização ambiental (CETESB, 2007). A concentração de 10 mg/L de N-NO₃, valor estabelecido como padrão de potabilidade pela Portaria nº 2914/11 do Ministério da Saúde, é definida pelo gerenciamento de áreas contaminadas como valor limite de intervenção.

As principais fontes da concentração de nitrato por ações antrópicas estão associadas com a aplicação de fertilizantes orgânicos e sintéticos nitrogenados, vazamentos das redes coletoras de esgoto e uso indiscriminado de fossas sépticas.

Alguns estudos (BARCHA, 1992; CASTRO, 1992; VARNIER *et al.*, 2010; DAEE/SERVMAR/IG, 2011) mostram uma relação direta da concentração de nitrato na água subterrânea e a evolução da ocupação urbana, ou seja, a expansão urbana desordenada sem um sistema de coleta e tratamento de esgoto.

Segundo estudo hidroquímico realizado por VARNIER *et al.* (2010) no município de Marília/SP, foi identificado que as maiores concentrações de nitrato (em alguns pontos chegando a 16,9 mg/L de N-NO₃) estão localizadas nos bairros mais antigos da cidade (zona central), sugerindo que essa elevada carga de nitrato está relacionada com a urbanização, cuja origem provavelmente está associada às antigas fossas sépticas e vazamentos das redes coletoras de esgoto.

No Estado de São Paulo, alguns municípios estão convivendo com esse problema e alguns trabalhos foram realizados nas zonas urbanas de Bauru, Presidente Prudente, São José do Rio Preto, entre outros.

Xu *et al.* (2007) analisaram o comportamento do nitrato na região de Phoenix (Arizona, EUA) durante um período de 60 anos. As informações hidroquímicas, variação do nível freático e dados construtivos de aproximadamente 200 poços tubulares foram organizadas usando ferramentas SIG, tendo sido observadas mudanças nas concentrações de acordo com a variação do uso e ocupação do solo. Os resultados mostraram um declínio nas concentrações de nitrato em áreas que eram utilizadas para agricultura e se tornaram urbanas. No entanto, em áreas desérticas que se tornaram urbanas houve aumento de nitrato na água subterrânea.

Apesar de vários trabalhos indicarem a grande problemática do nitrato na água subterrânea de regiões agrícolas dos Estados Unidos, Europa e China, os casos do Brasil estão restritos às zonas urbanas. Estudo realizado em 2012, por CETESB/LEBAC, avaliou as concentrações de nitrato nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru em áreas rurais das cidades de Bauru e São José do Rio Preto. Em mais de 80% das propriedades avaliadas,

as águas subterrâneas apresentaram concentrações de nitrato abaixo do valor de alerta (5 mg/L N-NO₃), indicando baixo comprometimento da qualidade das águas subterrâneas. Nos locais em que foi observada a contaminação antrópica identificou-se que as principais fontes de poluição são pontuais e estão associadas aos sistemas de saneamento instalados, as fossas sépticas.

2.1 O ciclo do nitrogênio

O nitrogênio, um dos elementos químicos que entra na composição do nitrato (NO₃⁻), é um dos elementos mais abundantes na atmosfera, constituindo cerca de 78% dos gases. Embora virtualmente inesgotável, o nitrogênio deve ser combinado com o hidrogênio ou o oxigênio antes que possam ser assimilados por plantas que, por sua vez, são consumidas pelos animais.

Desta forma, uma série de espécies nitrogenadas pode ser gerada a partir das combinações do nitrogênio com outros elementos, devido aos diferentes estados de oxidação que o mesmo pode assumir (**Tabela 1**).

Tabela 1 – Espécies químicas dos compostos nitrogenados formados pelos diferentes estados de oxidação e sua provável fonte.

Composto nitrogenado	Espécie	Estado de Oxidação	Fonte
Amônia	NH ₃	-3	Fertilizantes, excrementos de animais, efluentes domésticos e industriais
Amônio (ion)	NH ₄ ⁺	-3	Fertilizantes, excrementos de animais, efluentes domésticos e industriais
Gás nitrogênio	N ₂	0	Fertilizantes, atividade biológica e atmosférica
Nitrito (ion)	NO ₂ ⁻	3	Fase intermediária da nitrificação e desnitrificação
Nitrato (ion)	NO ₃ ⁻	5	Fertilizantes, efluentes domésticos e industriais

Fonte: Cagnon (2003)

O nitrogênio ocorre em várias formas no meio ambiente. As transformações, bem como o transporte dos compostos nitrogenados na superfície terrestre e na atmosfera são caracterizados pelo ciclo do nitrogênio, conforme apresentado na **Figura 2**.

Os principais mecanismos de transformação aos quais os compostos nitrogenados estão sujeitos são: a fixação, a amonificação, a síntese, a nitrificação e a desnitrificação (UNITED STATES, 1993).

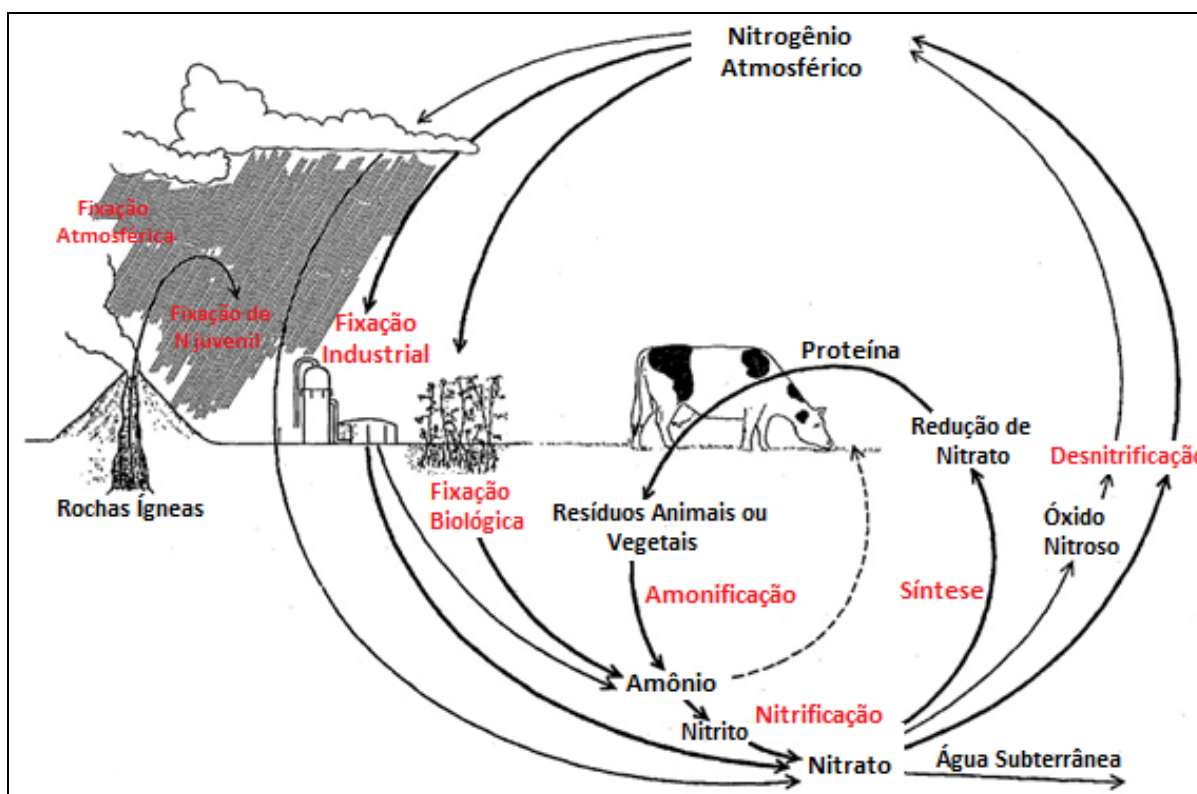


Figura 2. O ciclo do Nitrogênio (modificado de UNITED STATES, 1993).

O ciclo do nitrogênio tem início com a sua fixação, quando o gás nitrogênio (N_2), a partir de processos biológicos, é transformado em nitrogênio orgânico, podendo ser consumido por plantas e animais. Em menor escala, outros processos de fixação podem ocorrer: industrialmente, quando o gás é transformado diretamente em amônio ou nitrato, por meio da produção de fertilizantes e outros produtos químicos, ou pela descarga elétrica proveniente de raios, sendo transformado em nitrato (**Tabela 2**).

A intervenção humana, por meio de processos industriais de fixação de nitrogênio e o cultivo em larga escala de leguminosas fixadoras de nitrogênio, tem desempenhado um papel importante na alteração do ciclo do nitrogênio. A quantidade de nitrogênio fixado anualmente

por esses dois mecanismos já ultrapassa em até 10 % a quantidade de nitrogênio fixado pelos ecossistemas terrestres antes do advento da agricultura (UNITED STATES, 1993).

Tabela 2. Processos e produtos gerados a partir da fixação do nitrogênio gasoso.

	FIXAÇÃO	
Fonte	Processo	Produto
N ₂ Gás	Biológico	Nitrogênio orgânico
	Industrial	Amônio ou Nitrato
	Incidência de Raios	Nitrato

A uréia, presente nos excrementos dos animais, é transformada em amônia por meio da ação de microorganismos e enzimas presentes no solo. Este processo é denominado amonificação e a formação do íon ou da molécula está condicionada ao pH do solo.

Nitrificação pode ser definido como um processo aeróbio no qual ocorre a degradação de substâncias orgânicas nitrogenadas por intermédio de bactérias (Freeze & Cherry, 1979). Nesta etapa ocorrem dois processos: a passagem de amônio para nitrito e a passagem do nitrito para nitrato. Estas duas reações são agrupadas devido à velocidade que elas ocorrem, ou seja, a permanência do nitrogênio sob a forma de nitrito é pequena, pois ele rapidamente se transforma em nitrato.

A nitrificação depende da quantidade de oxigênio disponível e da matéria orgânica no solo, ocorrendo com mais facilidade nas zonas não-saturada e saturada rasa, onde tais condições são comumente satisfeitas (Freeze e Cherry, 1979).

A desnitrificação ocorre em ambientes pobres em oxigênio, causando o aumento do potencial redutor das águas, e representa um processo importante na recuperação de áreas contaminadas por nitrato, onde ocorre sua redução biológica, passando por nitrito e resultando em gás nitrogênio. Neste processo, as bactérias utilizam o carbono orgânico como fonte de energia para as reações.

O processo de síntese consiste no mecanismo bioquímico capaz de transformar o amônio ou compostos à base de nitrato em proteína vegetal e outros tipos de compostos nitrogenados. Desta forma, o ciclo se reinicia, pois os animais se alimentam deste tipo de proteína e suas fezes e urina, contendo uréia, passarão pelo processo de amonificação, retornando ao ciclo.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Geologia Regional

No contexto geológico regional, a área de estudo está assentada sobre as rochas do Grupo Bauru que ocupam uma área aproximada de 370.000 km² e recobrem parte dos estados de Minas Gerais (Triângulo Mineiro), Paraná (noroeste), Mato Grosso do Sul (sudeste), Goiás (sul) e São Paulo (centro-oeste), conforme apresentado na **Figura 3**.

Em território paulista o Grupo Bauru ocupa 47% do estado, ou seja, área equivalente a 117.000 km² (**Figura 4**). Esses sedimentos (arenitos muito finos a médios, lamitos com variações para siltitos e argilitos, arenitos grossos a conglomeráticos com cimento e nódulos calcíferos) de idade cretácica correspondem ao último estágio de sedimentação extensiva da Bacia Sedimentar do Paraná.

Assentam-se sobre as rochas básicas da Formação Serra Geral em discordância erosiva (BRANDT NETO *et al.*, 1977, SOARES *et al.*, 1980, ALMEIDA *et al.*, 1981, RICOMINI *et al.*, 1981), mas localmente ocorrem sobre sedimentos das formações Botucatu e Pirambóia, como nas proximidades da cidade de Bauru (SP). As maiores espessuras preservadas são pouco superiores a 300 metros (região de Marília-SP), sendo a média em torno de 100 metros (DAEE, 1979).

A primeira coluna litoestratigráfica formal do Grupo Bauru (SOARES *et al.*, 1980) fundamentou-se em estudos regionais desenvolvidos principalmente nos estados de São Paulo e Paraná. Nessa proposta, os autores reuniram as Formações Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília no Grupo Bauru. A Formação Araçatuba foi incorporada posteriormente com base nos estudos de Barcelos e Suguio (1987).

Fernandes e Coimbra (1994) apresentaram uma revisão estratigráfica da cobertura neocretácea suprabasáltica e reagruparam esse conjunto de rochas em dois grupos – Bauru e Caiuá.

No estudo da estratigrafia e evolução dessas unidades, Fernandes (1998) redefiniu novas formações litoestratigráficas no Estado de São Paulo: o Grupo Caiuá passou a ser composto pelas formações Rio Paraná e Santo Anastácio, e o Grupo Bauru pelas formações Vale do Rio do Peixe, Presidente Prudente, São José do Rio Preto, Araçatuba e Marília.

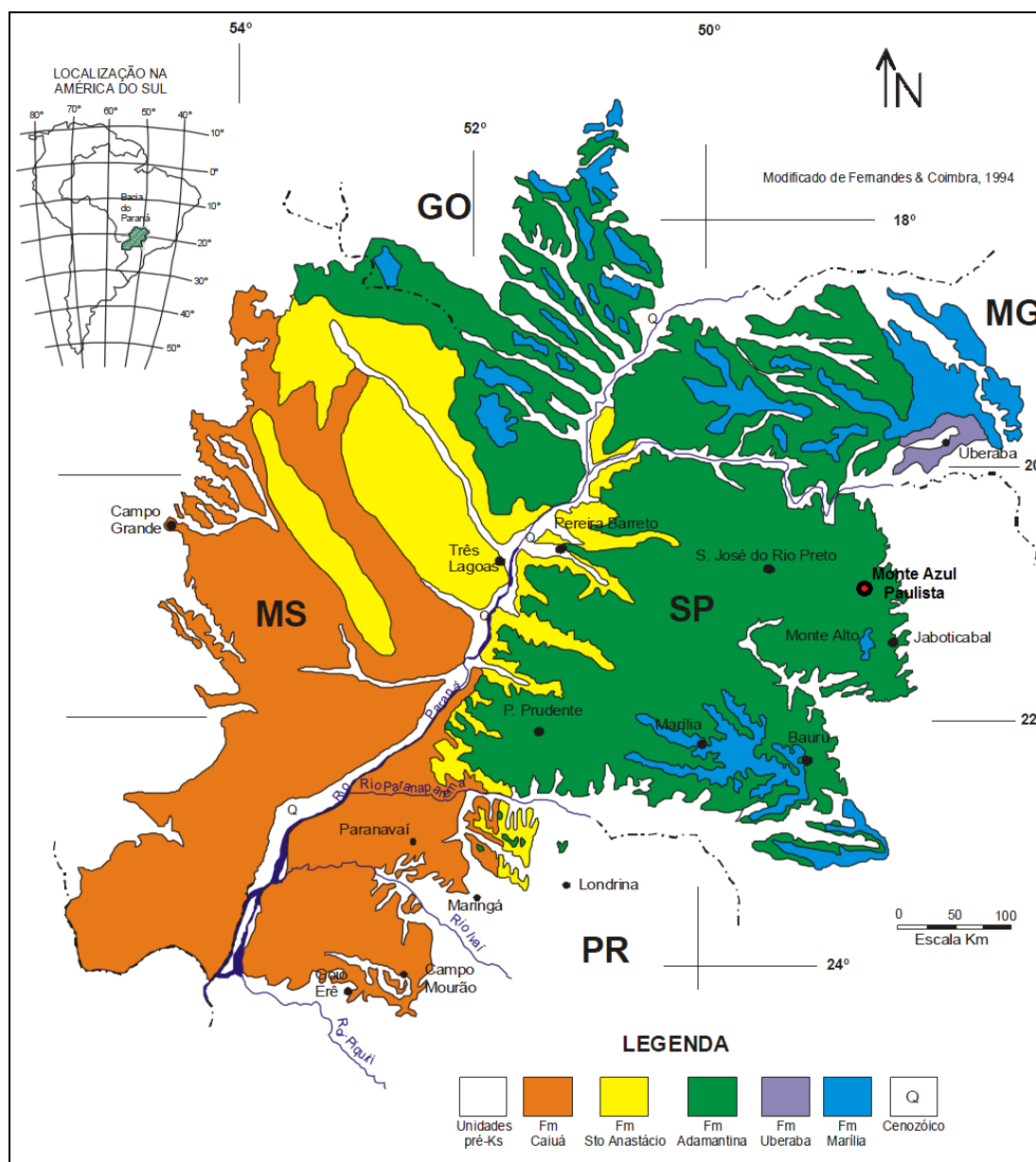


Figura 3. Mapa de distribuição das unidades geológicas do Grupo Bauru (FERNANDES & COIMBRA, 1994 *apud* PAULA E SILVA, 2003).

Paula e Silva (2003) e Paula e Silva *et al.* (2005) reconheceram as unidades litoestratigráficas propostas por Soares *et al.* (1980) – Formações Caiuá, Santo Anastácio, Araçatuba, Adamantina e Marília – e identificaram duas outras unidades de ocorrência exclusiva em subsuperfície (Formações Pirapozinho e Birigui), por correlação, principalmente, de perfis geofísicos e dados geológicos de subsuperfície.

Paula e Silva (2003) observou nos perfis geofísicos de poços da região de Monte Azul Paulista que a Formação Adamantina é composta de fácies com padrão tipo “sino” (*fining upward*), de formato serrilhado intenso, formadas por arenitos intercalados por frequentes

camadas de siltito e de argilito. Segundo o autor, essas fácies que caracterizam barras em pontal depositadas por rios meandantes; o enriquecimento arenoso em direção ao topo da unidade indica progradação fluvial e assoreamento do sítio deposicional.

Localmente, o município de Monte Azul Paulista está assentado sobre rochas da Formação Adamantina, composta por arenitos de granulometria fina a muito fina, cores castanho-avermelhado a cinza-castanho, estratificações cruzadas, alternados com lamitos, siltitos e arenitos lamíticos, maciços ou com acamamento plano-paralelo, frequentemente com marcas de onda e microestratificações cruzadas e ocorrências de seixos de argilito e nódulos carbonáticos (SOARES *et al.*, 1980).

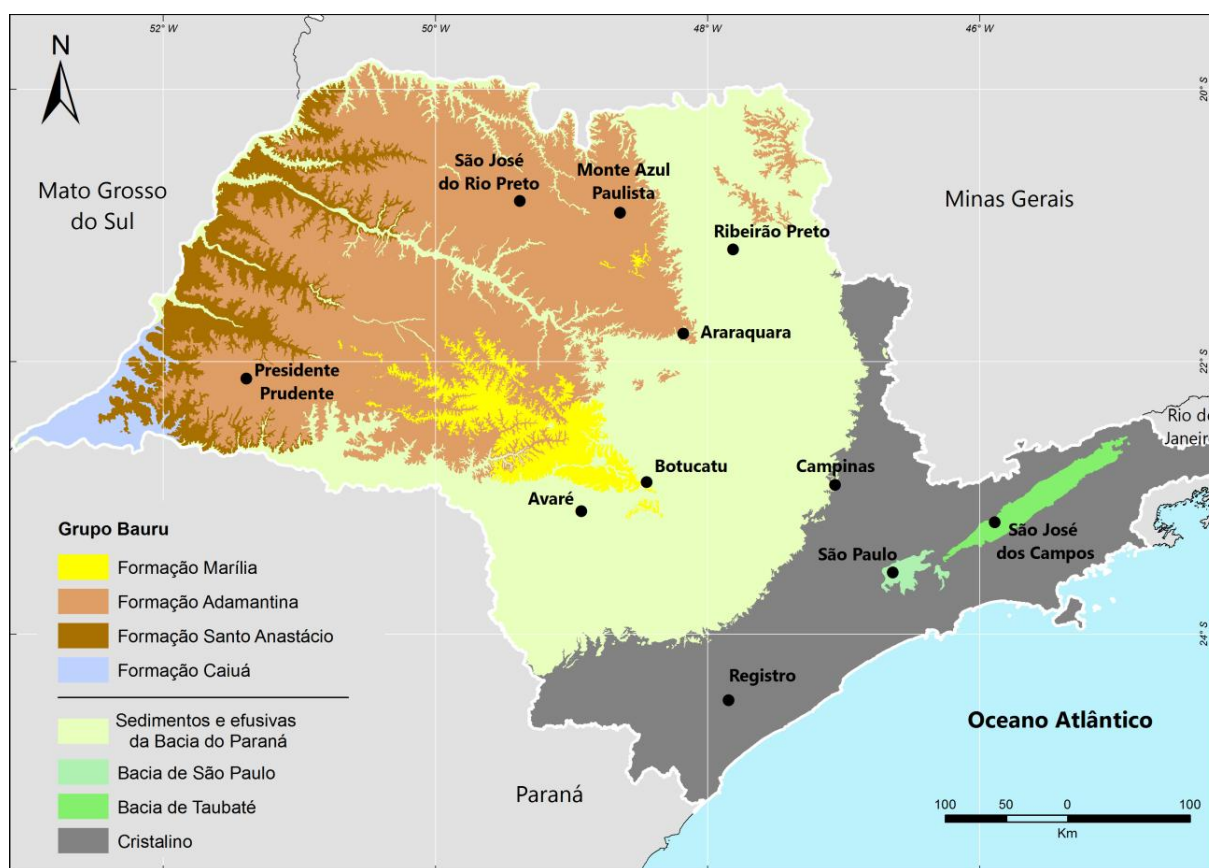


Figura 4. Mapa geológico simplificado do Estado de São Paulo. (Fonte: Adaptado de Convênio DAEE/UNESP, 1980).

3.2 Hidrogeologia

No Estado de São Paulo afloram rochas sedimentares e vulcânicas associadas à Bacia Sedimentar do Paraná que ocupam cerca de 80% do seu território. No restante da área ocorrem rochas do embasamento cristalino pré-cambriano, onde a circulação de água ocorre principalmente nas discontinuidades das rochas, ou seja em fraturas, falhas, juntas e outras.

O armazenamento da água subterrânea na maior parte da área ocorre principalmente nos poros das rochas sedimentares depositadas desde a Era Paleozoica até a Cenozoica. Nas rochas vulcânicas associadas a esse contexto hidrogeológico, o armazenamento está associado ao fraturamento horizontal e vertical, bem como às zonas vesículo-amigdaloidais observadas nos derrames basálticos.

O território de Monte Azul Paulista está situado na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº 15 (UGRHI-15), usualmente denominada de Bacia Hidrográfica dos rios Turvo e Grande.

Nesta região, aflora o Aquífero Adamantina do Sistema Aquífero Bauru, que está representado no Mapa dos Sistemas Aquíferos do Estado de São Paulo (**Figura 5**) e na seção geológico-hidrogeológica da **Figura 6**. À profundidade de aproximadamente 150 metros, ocorre o Aquífero Serra Geral e, a cerca de 800 metros, encontra-se o Sistema Aquífero Guarani. Aquíferos locais como os aluvionares e aqueles associados a coberturas inconsolidadas não são abordados neste estudo.

O SAB foi definido pelo DAEE (1976, 1979) como uma unidade hidrogeológica de extensão regional, contínua, livre a semiconfinada, cujas maiores espessuras preservadas ultrapassam 300 metros, como na região de Marília, mas são em média da ordem de 100 metros. Nesses trabalhos, os autores consideram o “Aquífero Bauru” moderadamente permeável, uma vez que as unidades geológicas hospedeiras são constituídas por intercalações de camadas argilo-siltosas e, portanto, um perfil hidrogeológico ora permeável, ora impermeável.

O Grupo Bauru comporta-se como um sistema hidrogeológico geralmente de natureza livre, assentado sobre um substrato cristalino ígneo, com o qual praticamente não tem relações hidráulicas, a não ser em locais onde o topo do basalto é fraturado ou rico em vesículas (REBOUÇAS, 1976).

Dados hidrodinâmicos gerais apresentados por Rebouças (1988) mostram que essa unidade hidrogeológica correspondente ao SAB, pode fornecer vazões da ordem de 1,3 m³/h a 80 m³/h, com vazões específicas entre 0,03 m³/h/m e 3 m³/h/m.

Paula e Silva (2003) explica que as vazões obtidas em perfurações no SAB são extremamente variáveis em razão da diversidade litofaciológica que justapõe, em contato lateral e vertical, sedimentos com porosidade e permeabilidade diferentes.

O Aquífero Adamantina foi considerado por Paula e Silva (2003) de extensão regional, livre a semiconfinado e contínuo. O semiconfinamento é decorrente, principalmente, da permeabilidade variável dos sedimentos em razão do maior ou menor teor de argila na matriz, ou de camadas pelíticas que se intercalam aos corpos arenosos. A frequência das camadas lamíticas e as variações de argilosidade dos arenitos determinam o comportamento, bastante heterogêneo e anisotrópico desta unidade hidroestratigráfica, mesmo em localidades relativamente próximas.

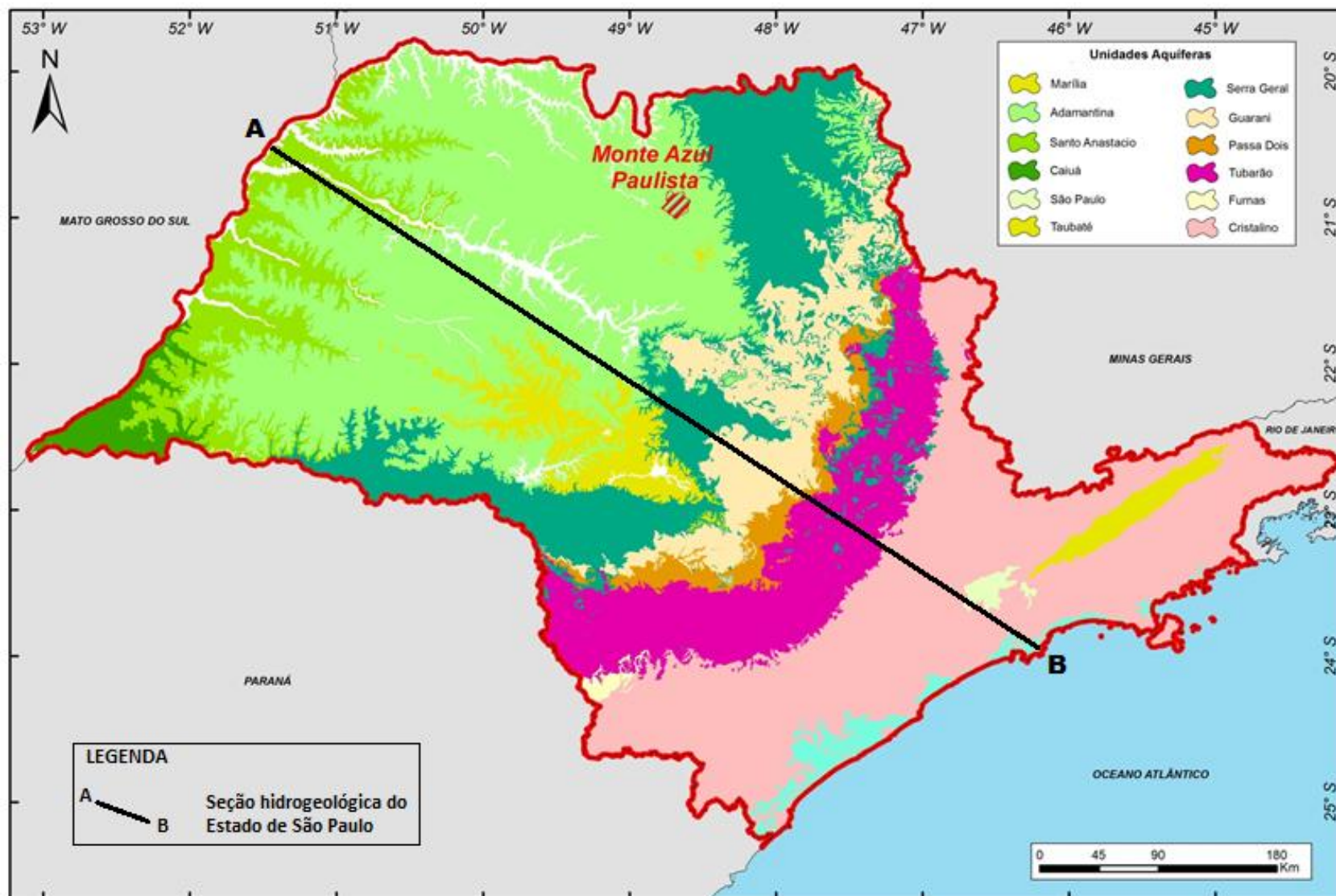


Figura 5. Mapa dos Sistemas Aquíferos do Estado de São Paulo. (Fonte: Convênio DAEE/UNESP, 1980).

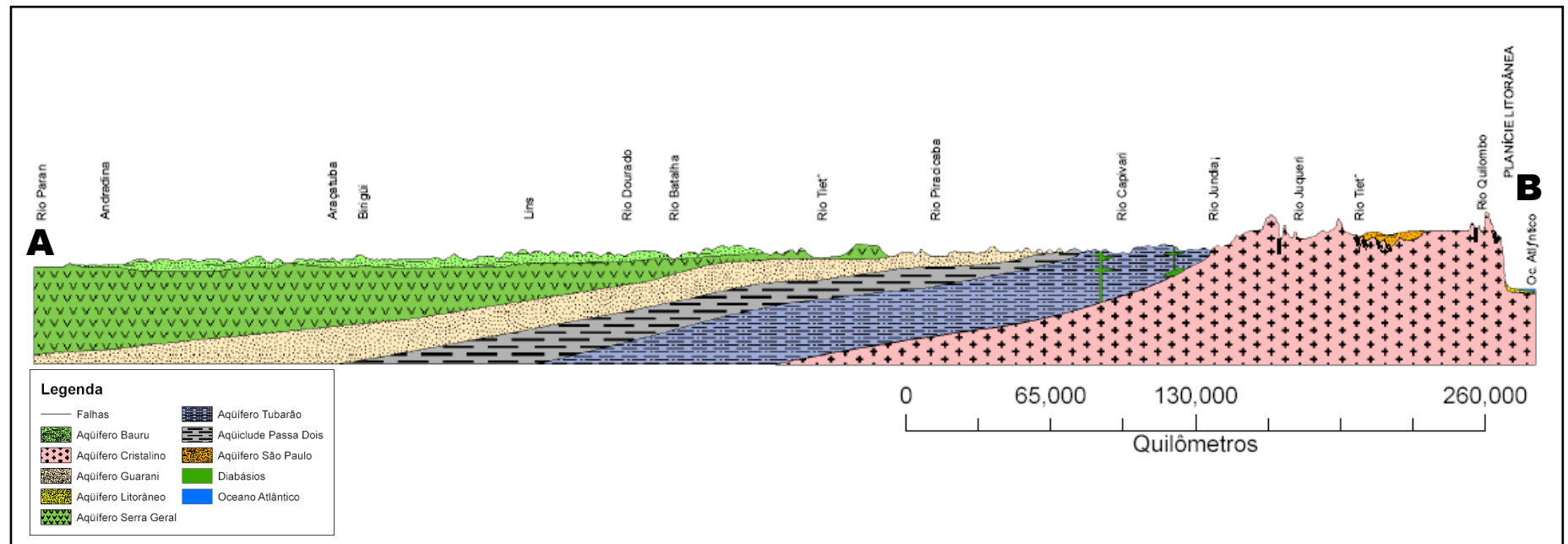


Figura 6. Seção hidrogeológica do Estado de São Paulo (Mapa de localização na Figura 4).

(Fonte: DAEE/IG/IPT/CPRM, 2005).

3.3 Hidroquímica do Sistema Aquífero Bauru

As águas do Sistema Aquífero Bauru foram classificadas em dois tipos hidroquímicos predominantes: um grupo representado pelas águas bicarbonatadas cálcicas e cálcio-magnesianas, e outro pelas águas fracamente bicarbonatadas cálcio-magnesianas (ROCHA *et al.*, 1979).

Rocha e Ferrer Jorba (1980) concluíram que os materiais incrustantes nas estruturas internas dos poços tubulares são constituídos principalmente por carbonato de cálcio acompanhado de silicato de alumínio, sulfato de ferro e outros materiais contidos no aquífero. Já a corrosão de natureza química está relacionada à presença de CO₂, O₂, H₂S, ácidos orgânicos e FeSO₄ na água. O resultado desta interação é a diminuição da espessura dos tubos filtrantes, chegando a formar cavidades, diminuição de resistência da estrutura do poço, expansão das aberturas dos filtros e consequente infiltração de sedimentos.

Em trabalho realizado por Rocha *et al.* (1982), referente ao zoneamento do potencial de atividade química das águas subterrâneas do Grupo Bauru, as áreas de exposição das formações Adamantina e Marília revelaram a ocorrência de domínio de águas potencialmente incrustantes, enquanto que as áreas recobertas pelas formações Santo Anastácio e Caiuá, incluindo também algumas áreas da Formação Adamantina, apresentaram um domínio de águas potencialmente corrosivas.

O estudo realizado por Campos (1987) concluiu que as águas subterrâneas do Grupo Bauru são classificadas em dois tipos dominantes: águas bicarbonatadas cálcicas e cálcio-magnesianas. O autor demonstrou que os íons HCO₃⁻, Ca⁺² e Mg⁺² são os principais responsáveis pela salinidade das águas subterrâneas desta unidade, variando de 100 mg/L a 200 mg/L.

Coelho (1996) apresentou os resultados hidroquímicos das águas subterrâneas do SAB e as classificou como fracamente mineralizada e com condutividade elétrica inferior a 360 mS/cm. O teor de sódio encontrado variou de 0,6 mg/L a 73,3 mg/L; o teor de cloreto atingiu valores elevados de até 208,0 mg/L; o pH situou-se na faixa entre 5,84 e 10,05; e os valores de alcalinidade variaram de 54,9 mg/L a 311,1 mg/L. Aquíferos pouco profundos, como o Sistema Aquífero Bauru, apresentam alta susceptibilidade à contaminação por nitratos principalmente nas regiões com maior densidade demográfica.

Barcha (1992) observou teores de nitrato acima dos valores máximos permitidos pela legislação sanitária nas águas do SAB, que são utilizadas para abastecimento público dos

municípios de São José do Rio Preto, Catanduva e Mirassol, principalmente na região central dessas cidades.

Castro *et al.* (1992) estudaram poços tubulares de São José do Rio Preto e observaram teores elevados de nitrato em algumas amostras, que as classificam como águas não potáveis. Sugeriram que a contaminação por nitrato é pontual e proveniente do despejo de esgotos.

Segundo estudo desenvolvido por Barison (2003) na porção ao sul do Rio Tietê (SP), as águas do Aquífero Adamantina são predominantemente bicarbonatadas cálcicas e cálcio-magnesianas, e em menor proporção bicarbonatadas sódicas. No mesmo estudo foram identificadas elevadas concentrações de nitrato em algumas amostras, provavelmente associados à contaminação antrópica.

Em estudos petrológicos e hidroquímicos realizados por Stradioto (2007) em área de ocorrência do Grupo Bauru, na região sudoeste paulista, foram identificados o predomínio de águas bicarbonatadas cálcicas e sódicas, e secundariamente aparecem águas clorosulfatadas cálcicas e as cloretadas sódicas. As águas bicarbonatadas sódicas se concentram na porção leste nordeste e central da área estudada pela autora, enquanto as bicarbonatadas cálcicas distribuem-se por toda a área, com discreto predomínio na porção central.

De acordo com VARNIER *et al.* (2010), as águas subterrâneas do SAB no município de Marília foram classificadas em dois grupos: o primeiro é composto por águas cloro-nitratadas cálcicas e coincidem com os poços menos profundos, com concentrações elevadas de nitrato; o segundo tipo corresponde às águas bicarbonatadas cálcicas, localizadas em maior profundidade (> 150 metros) e com concentrações inferiores de nitrato.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Os trabalhos desenvolvidos foram idealizados para abranger todo o município de Monte Azul Paulista e, em particular, a sua zona urbana. Seguem, em linha geral, os procedimentos clássicos das etapas de uma pesquisa científica. Foram precedidos de um amplo levantamento de trabalhos básicos e aplicados no contexto deste estudo, executados por outros órgãos ou instituições ao longo dos últimos anos e direcionados à consecução dos objetivos propostos mediante a realização de uma série de atividades descritas nos itens a seguir.

4.1. Levantamento e Aquisição de Documentação Básica

Nesta fase executou-se um levantamento do material técnico básico sobre a geologia, hidrogeologia, geomorfologia, hidrogeoquímica e uso e ocupação do solo da região, incluindo artigos científicos, dissertações e teses, além da compilação de bases cartográficas (mapas geológicos e plantas topográficas).

A base cartográfica foi gerada a partir da carta topográfica na escala 1:50.000 (SF-22-X-B-V-4 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 1972) de Monte Azul Paulista. Utilizou-se o *software* ArcGis versão 10.0 para a confecção de novos mapas temáticos (curvas de nível, drenagens, poços, seção geológica, modelo digital do terreno e outros).

Uma planta atualizada (ano 2010) do arruamento da cidade (em formato *.dwg*), obtida no SAEMAP do município e convertida para o formato *shape* no *software* ArcGis, permitiu a visualização espacial de todos os poços tubulares profundos cadastrados na zona urbana de Monte Azul Paulista.

4.2. Levantamento de Dados Cadastrais de Poços Profundos

Os trabalhos de escritório permitiram uma consulta e análise dos dados cadastrais referentes aos poços tubulares profundos para captação de água subterrânea. Essas informações estão na base de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS-2013), do Serviço Geológico do Brasil (CPRM); do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIDAS-2013), do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE-2013); e do cadastro do Serviço Autônomo de Água e Esgoto e Meio Ambiente do Município de Monte Azul Paulista (SAEMAP, 2013).

As informações foram organizadas em um banco de dados com os seguintes elementos: coordenadas de localização; altitude da boca do poço; data de construção; níveis estático e dinâmico; vazão de produção; capacidade específica; descrição litológica e litoestratigrafia, que compõem o **ANEXO I**.

4.3. Perfuração de Poço Profundo

No período de 27/03 até 12/04/2012 foi realizada a perfuração de um poço tubular profundo junto à Escola Municipal Cel. Aureliano Junqueira Franco, em Monte Azul Paulista. O poço está centrado nas coordenadas geográficas 744.776 m E / 7.686.531 m S, sistema de projeção UTM (*datum* WGS-84, zona 22 k).

A construção do poço seguiu as normas técnicas prescritas pela ABNT 12.212 (Projeto de poço tubular profundo para captação de água subterrânea) e ABNT 12.244 (Construção de poço tubular profundo para captação de água subterrânea), que estabelecem os requisitos e procedimentos técnicos para a construção de poços tubulares de captação de água subterrânea. Após a instalação e desenvolvimento do poço foram construídas as lajes de proteção sanitária e realizado o procedimento de cloração da água para assepsia.

O poço foi perfurado com uma sonda rotativa no trecho solo-sedimento (até 152 metros de profundidade) e finalizado com uma perfuratriz roto-pneumática para romper a porção de rocha dura. Os primeiros 41 metros foram perfurados com broca de 20” de diâmetro e revestidos com tubo liso de aço carbono de 13” de diâmetro e 5 mm de espessura. O espaço anelar, ou seja, o espaço entre o revestimento e a parede do furo, foi preenchido, ao final, com concreto injetado a partir da boca do poço.

A perfuração do poço entre 41 metros e 152 metros foi realizada com broca de 12” e revestido com tubos de PVC liso, intercalados com tubos de PVC ranhurados com 6,5” de diâmetro. O espaço anelar entre o tubo e a parede do poço foi preenchido com areia de pré-filtro.

O trecho de rocha cristalina foi perfurado com broca de 8”, sem necessidade de revestimento. Uma bomba de modelo Leão R16-13, com potência de 13 hp, foi instalada à 112 metros de profundidade.

Durante o desenvolvimento da perfuração procedeu-se à coleta de amostras de calha a cada 2 metros perfurados. Essas amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas na sede do DAEE de Araraquara/SP.

Uma avaliação da estratigrafia do poço foi executada entre 41 metros e 152 metros de profundidade, utilizando-se o método da perfilagem geofísica antes da instalação dos tubos de PVC.

4.4 Levantamento de Perfis Geofísicos

A abertura do poço tubular profundo nas dependências da Escola Aureliano permitiu que ao longo de seu interior fosse executado, no mês de abril de 2012, uma perfilagem geofísica pela empresa Hydrolog. No trecho sedimentar, ou seja, até 152 metros, foram corridos os perfis de raios gama padrão API, potencial espontâneo (SP), resistividade normal curta (SN), resistividade induzida (IL) e sônico compensado (BCS).

Esses perfis registram as propriedades elétrica, eletromagnética, radioativa e acústica das rochas, as quais permitem inferir as características petrofísicas tais como porosidade, permeabilidade, salinidade das águas intersticiais e também a proporção argila/areia. Além disso, a perfilagem orienta a colocação de filtros nos locais mais adequados para se obter a melhor produção de água.

O registro das propriedades petrofísicas das formações geológicas atravessadas pelo poço (perfil geofísico) é feito por sensores específicos que são inseridos dentro do poço e ligados por um cabo conectado a um guincho. Os sensores das sondas de perfilagem transmitem as informações de controle e de registro para instrumentos computadorizados, montados em uma unidade de laboratório móvel nas adjacências do poço tubular profundo. Os resultados são apresentados em perfis no formato gráfico e na escala 1:500.

4.4.1 Perfil de resistividade

O perfil de resistividade é o resultado das medidas de resistência que a rocha oferece devido à passagem de corrente elétrica. A resistência elétrica (r em ohm) de um condutor é diretamente proporcional à resistividade (R em ohm.m²/m ou ohm.m) e ao comprimento (L em metros) percorrido pela corrente elétrica, e inversamente proporcional à área transversal (A em m²) atravessada, de acordo com a Lei de Ohm que determina:

$$r = R \frac{L}{S}$$

Sob o ponto de vista conceitual dos perfis, uma rocha sedimentar constitui-se de matriz e poros. Considerando que a matriz é geralmente formada de minerais não condutivos de eletricidade, tais como silicatos, óxidos, carbonatos e outros, as rochas tornam-se mais (ou menos) condutoras de corrente elétrica dependendo da quantidade (saturação) e qualidade (concentração) do eletrólito e da natureza de sua distribuição interporosa (isolamento e/ou interconexão). A presença de fluidos isolantes, tais como água doce, ar ou petróleo, torna a rocha menos condutiva ou mais resistiva.

No ambiente hidrogeológico, o parâmetro físico resistividade elétrica varia de acordo com os diferentes tipos litológicos e seus diferentes graus de saturação, sendo possível inferir algumas informações, em relação a:

- ✓ Identificação e determinação das espessuras dos tipos litológicos:
 - Sedimentos contendo argilo-minerais tendem a apresentar resistividades mais baixas, uma vez que as argilas apresentam cargas elétricas em sua superfície que facilitam a passagem das correntes elétricas e, portanto, são bons condutores;
 - Sedimentos arenosos limpos tendem a apresentar altos valores de resistividade;
 - Calcários tendem a apresentar valores de resistividades elevados;
- ✓ Salinidade do fluido:
 - Aquíferos portadores de água salgada apresentam resistividade relativamente baixa, próxima àquelas das argilas;
- ✓ Granulometria:
 - A resistividade das formações aumenta proporcionalmente com o aumento da granulometria dos sedimentos;

Os tipos de perfis utilizados na pesquisa de água subterrânea são: resistividade normal curta e induzida (IL).

Na resistividade aparente, os eletrodos são compostos por A e B, responsáveis pela emissão de corrente, e pelos eletrodos M e N, em que é lida a diferença de potencial. A corrente elétrica com baixa frequência e intensidade constante é injetada nas rochas a partir do eletrodo A, de maior potencial, para o eletrodo B, de menor potencial. Os eletrodos M e N são posicionados com espaçamento pré-determinados para a leitura de potencial. Esse sistema de arranjo de eletrodos recebe o nome de Normal e é o mais utilizado para os perfis de

resistividade aparente. A distância entre os eletrodos A-M pode ter duas medidas padrões: 16 polegadas, denominada Normal Curta, ou 64 polegadas, Normal Longa.

O perfil de resistividade aparente é bastante influenciado pelo fluido de perfuração e pela zona de invasão deste, uma vez que seu alcance é curto, nas proximidades da parede do furo. O perfil de resistividade induzida minimiza os “efeitos do poço” e da lama, uma vez que seu alcance é maior e pode ter um raio de investigação de até 1,5 m. No geral, os dois perfis são executados em conjunto.

O sensor de indução é constituído por duas bobinas: uma transmissora e outra receptora. A bobina transmissora é alimentada por uma corrente elétrica, a qual produz um campo magnético primário que flui coaxialmente ao poço (perpendicular ao eixo da bobina). Ao penetrar nas rochas, este campo primário induz nos fluidos condutores uma corrente elétrica que, por sua vez, desenvolve um campo magnético secundário, com intensidade proporcional à condutividade elétrica das rochas. Quanto menor a condutividade da rocha, menor será o campo secundário originado. Este campo secundário é então registrado na bobina receptora (PAULA e SILVA, 2003).

4.4.2 Perfil Potencial Espontâneo (SP)

Durante a perfuração de um poço o uso da lama é uma exigência natural, uma vez que tem a função, entre outras, de preservar os testemunhos de sondagem, lubrificar a coluna de perfuração e permitir o carreamento de um suficiente suprimento de amostras de calha. Todavia, a coluna de lama exerce pressão hidrostática sobre as camadas porosas, provocando infiltração para dentro das camadas e dando origem a um potencial eletrocinético (FEITOSA, 2008).

As deflexões na curva do perfil de potencial espontâneo são originadas por essa diferença de potencial elétrico gerado pela lama de perfuração ao longo do poço e os fluidos da formação. Se a formação é permeável e não argilosa, o potencial eletroquímico total (E_p) gerado por esses dois fenômenos equivale a:

$$E_p = -K \log \frac{a_w}{a_{mf}}$$

onde a_w e a_{mf} correspondem à atividade química, respectivamente da água de formação e do filtrado da lama, e K é um coeficiente de proporcionalidade, relacionado ao tipo, concentração e temperatura da solução salina.

Os perfis SP são utilizados em hidrogeologia para distinguir zonas permeáveis, delimitar topo e base de formações, estimar salinidade da água de formação e auxiliar na interpretação de ambientes deposicionais. Os folhelhos atuam como membranas catiônicas seletivas, em que não há passagem de corrente.

O SP será negativo e a deflexão da curva será para a esquerda se, houver acúmulo de cargas negativas na parede do poço. Tal situação ocorre frente a camadas permeáveis com água de formação relativamente mais salgada que a do fluido de perfuração, dando-se deflexões do SP à esquerda. Caso contrário, o SP será positivo e a curva sofrerá deflexão à direita. Frente a formações argilosas ou impermeáveis não ocorre deflexão, efeito conhecido como linha de base de folhelhos.

4.4.3 Perfil de Raios Gama

Este perfil é o registro contínuo dos pulsos (contagem por segundo – cps) emitidos pela radiação natural liberada pelos elementos Urânio (U^{235}), Tório (Th^{232}) e Potássio (K^{40}) presentes nas rochas adjacentes ao poço.

Atualmente existem dois tipos de ferramentas de registro dos Raios Gama naturais. As que utilizam um só canal analisador dos pulsos total (que por essa razão não discriminam a radiação emitida por cada um dos três elementos isoladamente, mas, sim, o somatório delas) e aquelas que conseguem identificar todo o espectro energético, discriminando cada um dos componentes. São essas respectivamente Perfil de Raios Gama Convencional (RG ou GR) e Perfil de Gama Espectrometria Natural.

Quanto maior o número de elementos radioativos presentes nas rochas, maior a fidelidade da informação desejada. Os folhelhos, feldspatos potássicos, biotita e argilominerais são, em geral, os que mais concentram minerais radioativos, isto porque tendem a fixar o elemento potássio. Evaporitos potássicos e rochas cristalinas ricas em potássio tendem a apresentar elevada radioatividade. De modo geral, inclusões de materiais vulcânicos aumentam a radioatividade das rochas, ao contrário dos arenitos limpos e calcários que possuem baixa radioatividade, conforme os valores médios de raios gama API apresentados na **Tabela 3**.

Tabela 3. Valores de raios gama API de referência para algumas rochas.

Rocha	Valor API
Carvão	0
Halita (NaCl)	0
Gipsita (CaSO ₄)	0
Anidrita (CaSO ₄ + H ₂ O)	0
Calcário	5 – 10
Dolomito	10 – 20
Arenito Limpo	10 – 30
Arenito Argiloso	30 – 45
Folhelho	40 – 140
Silvita (KCl)	~ 500

(Fonte: Schlumberger, 1972)

Em hidrogeologia, o perfil de raios gama constitui um dos melhores indicadores para identificação das zonas mais promissoras para produção de água, tendo em vista que pode distinguir camadas predominantemente arenosas, permeáveis, que constituem grande parte dos aquíferos, e de camadas com elevados teores de argila, que diminuem drasticamente a porosidade efetiva e permeabilidade dessas rochas.

De modo geral, ao analisar os ambientes deposicionais, os depósitos eólicos tendem a apresentar menor valor de radioatividade frente aos depósitos de ambientes fluviais.

4.4.4 Perfil Sônico

O perfil sônico representa um dos meios de se obter a porosidade dos aquíferos medindo o tempo de propagação, ou de trânsito, gasto por uma onda acústica para atravessar um determinado espaço de rocha.

A velocidade de propagação do som varia de acordo com o grau de saturação das rochas em que suas ondas viajam. Considerando-se dois volumes iguais de rocha, o que tiver maior quantidade de fluido intersticial (maior porosidade) mostrará um tempo maior do que outro com menos fluido (menor porosidade). A **Tabela 4** fornece uma ideia dos tempos de trânsito e velocidades sônicas de algumas rochas e fluidos. Os valores apresentados nessa tabela resultam de testes laboratoriais médios de tempos de trânsito e velocidade de matrizes e fluidos.

As sondas atuais consistem de dois transmissores e dois ou quatro receptores, com a finalidade de minimizar ou compensar as interferências originárias do próprio poço na chegada das ondas sonoras, sendo por isso denominadas de perfil sônico compensado. A

unidade padrão API medida é microssegundos por pés ($\mu\text{s/pés}$), e a distância entre o transmissor e o receptor geralmente é de 3 pés (91,44 cm).

Tabela 4. Velocidade das ondas sonoras em diferentes tipos de rochas e fluidos (Fonte: FEITOSA, 2008).

Rochas	Tempo de trânsito ($\mu\text{s/pés}$)	Velocidade (pés/s)
Dolomita	43,5	22.998
Diabásio	44,6	22.435
Calcário	47,6	21.008
Anidrita	50,0	20.000
Granito	50,8	19.985
Gipsita	53,0	19.047
Arenito	55,5	18.018
Basalto	57,5	17.500
Folhelho	60,0 – 170,0*	16.666 – 5.882*
Halita	66,7	15.000
Água salgada	192,3	5.200
Água doce	200	5.000

* Grande variação na composição.

A porosidade total (ϕ_f) de um aquífero pode ser estimada pela equação de Wyllie:

$$\phi_t = 0,625 \times \left(\frac{\Delta t - \Delta t_m}{\Delta t} \right) \times (1 - VSH)$$

onde Δt é o tempo de trânsito lido no perfil, Δt_m é o tempo de trânsito da matriz e Δt_f é o tempo de trânsito do fluido da formação. A equação parte do princípio que os poros estejam saturados, que as rochas sejam compactadas; para as camadas argilosas, a porosidade sônica deve ser corrigida.

4.5. Amostragem de Água

Numa visita técnica ao Serviço de Água e Esgoto do Município de Monte Azul Paulista foram obtidos os dados cadastrais dos poços tubulares profundos do município. Juntaram-se também os resultados analíticos de nitrato de amostras de água coletadas pelos agentes fiscalizadores da Prefeitura nesta rede de poços. Os registros mostram que as coletas foram efetuadas em dois períodos distintos, ou seja, no período chuvoso (Janeiro/2012) e no período de estiagem (Outubro/2011-Setembro/2012). A pedido da prefeitura, as amostras foram analisadas no Laboratório do Instituto Adolfo Lutz de Ribeirão Preto/SP.

Celebrado o convênio entre a Prefeitura de Monte Azul Paulista e o Laboratório de Estudos de Bacias (LEBAC), da UNESP-Rio Claro (Abril/2012), para estudar a hidrogeologia da área e os fatores causadores das anomalias de nitrato nas águas subterrâneas do município, duas campanhas de amostragem das águas dos poços foram executadas: a primeira foi direcionada para os poços gerenciados pela Prefeitura e, a outra, para os poços particulares (privados). Foi também coletada uma amostra da nascente de um córrego contribuinte do Ribeirão Avanhandava (posicionada nas coordenadas 745.259 m E / 7.686.245 m S), pelo fato dela estar localizada em um ponto estratégico que auxiliou na interpretação do arcabouço hidroestratigráfico do município.

As coletas das amostras de água foram executadas diretamente no cavalete dos poços para se evitar a alteração (ou variação) das propriedades químicas das águas subterrâneas **(Fotos 1 a 4)**.

As amostras de cada poço foram recolhidas em dois frascos de polietileno de 300 ml, as quais foram imediatamente acondicionadas em recipiente à temperatura de cerca de 4° C, até dar entrada no laboratório de Hidrogeologia e Hidroquímica do Departamento de Geologia Aplicada do IGCE/UNESP-Rio Claro.

Ainda em campo foram medidos os seguintes parâmetros físico-químicos: pH, condutividade elétrica e temperatura das amostras. Tanto a concentração de íons de hidrogênio, quanto a capacidade que a água possui para conduzir corrente elétrica e sua temperatura no momento de coleta são índices que foram medidos por um aparelho condutivímetro e um peagâmetro portátil da marca DIGIMED, modelo DM-3P.



Fotos 1 a 4. Procedimentos de amostragem e análises de água em campo. **1:** Local exato de coleta das amostras de água no cavalete do poço; **2:** Coleta da água em frascos de polietileno de 300 ml; **3:** Equipamento utilizado na quantificação em campo de parâmetros físico-químicos (pH, condutividade elétrica e temperatura), conteúdo peagâmetro e condutivímetro portáteis; **4:** Acondicionamento das amostras em caixas térmicas de isopor com gelo para preservação em temperatura em torno de 4°C.

4.5.1 Análise Físico-Química

As amostras de água coletadas em campo foram submetidas a análises físico-químicas para se determinar as concentrações dos principais cátions e ânions.

Para a quantificação dos cátions metálicos Na^+ , K^+ , Li , NH_4^+ utilizou-se a Cromatografia de Íons. Os demais cátions (Ca^{2+} , Fe^{+2} , Mg^{+2} , Mn^{+2} , Sr^{+2} , Ba^{+2} , Zn^{+2} , Pb^{+2} , Si , Al^{+3} , Ni^{+2} , Cr^{+2} , P^{+3} e Cd^{+2} foram analisados por Espectrometria de Emissão Atômica com Fonte de Plasma e Argônio Induzido (ICP-AES marca ARL, modelo 3410, com sistema de mini-tocha e nebulização ultrassônica, marca CETAC, modelo U5000AT+).

Os ensaios por ICP foram realizados no laboratório do Centro de Estudos Ambientais (CEA/UNESP), enquanto que a determinação dos cátions metálicos por cromatografia foi

realizada no laboratório de Hidrogeoquímica do Departamento de Geologia Aplicada do IGCE/UNESP, Câmpus de Rio Claro.

A análise da alcalinidade compreende a determinação de carbonatos, bicarbonatos e hidroxila (HCO_3^- , CO_3^{2-} , OH^-). Para efetuar essas análises foi realizada a titulação potenciométrica utilizando-se de um eletrodo indicador de pH. Estas espécies químicas são de fundamental importância, pois determinam reações de equilíbrio que envolvem espécies carbonáticas, ácidos orgânicos e reações bioquímicas. As determinações dos ânions – F^- , CH_3COO^- , BrO_3^- , ClO_2^- , Cl^- , NO_2^- , Br^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} e $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ – foram efetuadas no laboratório de Hidrogeologia e Hidroquímica do Departamento de Geologia Aplicada do IGCE/UNESP, Câmpus de Rio Claro. A metodologia empregada foi a cromatografia de íons com um cromatógrafo de marca METROHM.

4.5.2 Processamento dos dados hidroquímicos

A partir dos análises hidroquímicas, os resultados foram interpretados com auxílio de *softwares* específicos: os diagramas Piper e Stiff foram elaborados utilizando o *software* RockWorks 1999, e as simulações de mistura com o *software* PHREEQC– Version 3.

No diagrama de Piper as amostras são classificadas quanto aos seus íons dominantes. A classificação é baseada no ânion ou cátion cuja concentração, expressa em meq/l, ultrapassa em 50% suas respectivas somas. Se nenhum deles ultrapassar esse valor, a água é classificada segundo os ânions ou cátions mais abundantes. Para posicionar esses dados no diagrama transforma-se, separadamente, o valor de cada íon (expresso em meq/l) em porcentagem do total de ânions e de cátions (**Figura 7**).

O diagrama de Stiff é a representação gráfica da composição química de uma amostra de água, a qual permite uma rápida comparação entre diferentes amostras. As concentrações iônicas são expressas em miliequivalentes por litro (meq/L), e são representadas por linhas dispostas à esquerda e à direita de uma linha vertical que representa o valor zero de concentração. Os cátions (Ca^{2+} , Mg^{+2} , Na^{+2} , K^{2+} , Fe^{+2}) são plotados à esquerda dessa linha, enquanto os ânions (HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-) ficam à direita. Os pontos gerados são interligados e resultam numa figura geométrica característica para cada amostra de água analisada, o que facilita a sua classificação (**Figura 8**).

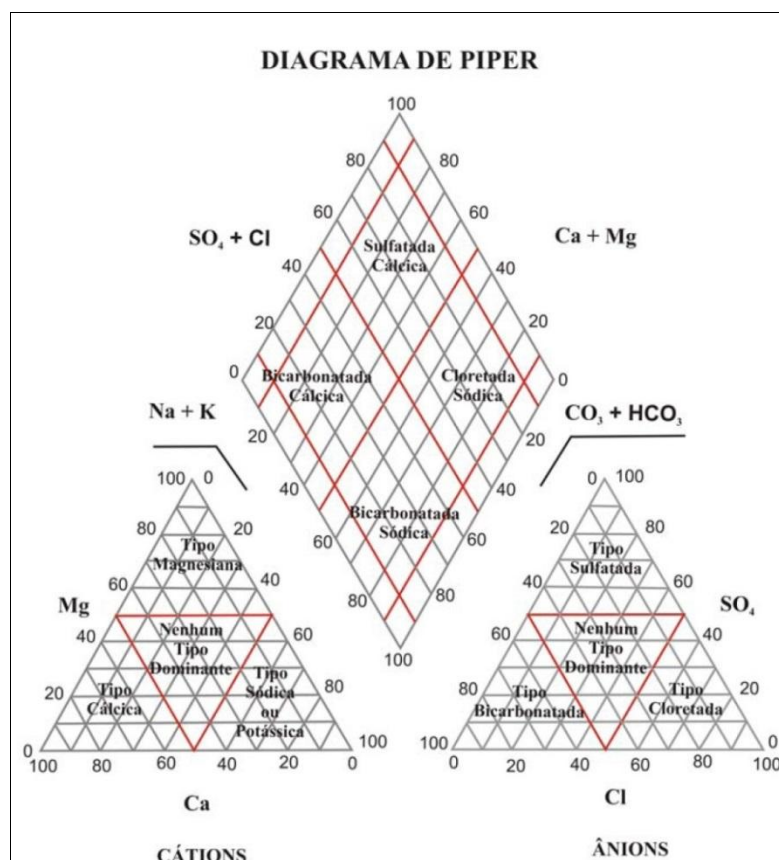


Figura 7. Diagrama de Piper com classificação dos tipos hidroquímicos.

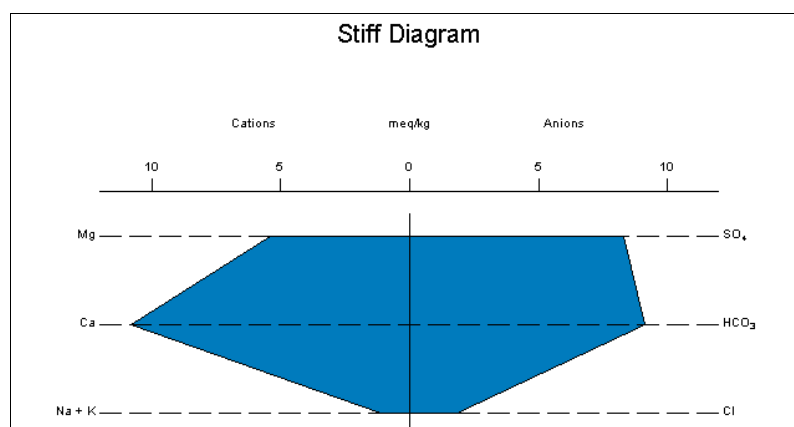


Figura 8. Diagrama representativo de Stiff.

Com base nos resultados hidroquímicos foi feita uma análise estatística visando relacionar os grupos hidroquímicos encontrados a partir dos diagramas Piper e Stiff com o dendrograma estatístico. Para tanto, utilizando o *software* Xlstat, foi feita análise de agrupamento (*cluster analysis*), que utiliza a similaridade entre os indivíduos para classificar as amostras hierarquicamente em grupos, considerando todas as variáveis determinadas para cada indivíduo (DAVIS, 1986).

4.6. Caracterização de Parâmetros Hidrodinâmicos

Os parâmetros hidrodinâmicos representam as propriedades físicas do meio que controlam a circulação e o armazenamento das águas subterrâneas no subsolo e, conseqüentemente, condicionam o volume de água armazenado e a quantidade que pode ser extraída dos reservatórios (PAULA e SILVA, 2003). Estes parâmetros podem ser obtidos a partir de testes de bombeamento, que podem ser dois tipos: de produção e de aquífero.

Os testes de aquífero têm por finalidade a determinação de parâmetros hidrodinâmicos do meio poroso, como condutividade hidráulica (k), transmissividade (T), coeficiente de armazenamento (S) e porosidade efetiva ($\emptyset$). Esses parâmetros são obtidos mantendo a vazão do poço constante durante o seu bombeamento e o registro temporal da evolução do próprio rebaixamento, seja em um ou mais poços de observação.

Os testes de produção têm a finalidade de determinar as perdas de carga totais que ocorrem num poço em bombeamento e a vazão máxima admissível de exploração. Sua execução consiste no registro da evolução do rebaixamento do próprio poço bombeado. Em geral, são feitos em no mínimo três etapas, com vazão constante e crescente para cada etapa, de modo que:

$$Q_1 < Q_2 < Q_3 < Q_n \text{ (onde } Q = \text{vazão; e } 1,2,3\dots n, \text{ as etapas)}$$

A partir dos testes de bombeamento é possível obter os seguintes parâmetros hidrodinâmicos do aquífero: porosidade efetiva, transmissividade, condutividade hidráulica, além da capacidade específica e vazão de produção.

4.6.1 Teste de Bombeamento

Após a perfuração do poço na Escola Aureliano, foi realizado, no dia 12/04/2012, um teste de aquífero de 24 horas, com vazão constante, regulada com auxílio de tubo pitot e registro de medidas de nível com fita graduada (**Fotos 5 a 8**). No **ANEXO II** encontram-se os resultados completos do teste realizado.

Além do teste de bombeamento, foi realizado, no dia 20/08/2012, um teste de produção do tipo escalonado.

Inicialmente, com a bomba desligada, foi medido o nível estático do aquífero com fita graduada. Posteriormente foi inserido, dentro do poço, um transdutor calibrado com o nível

estático medido inicialmente. A função desse equipamento foi medir o rebaixamento do nível dinâmico, registrando medidas a cada minuto ao longo do tempo.

O teste foi realizado em três etapas, com duração de 2 horas cada e vazões constantes em cada uma delas. A vazão inicial foi de 10,5 m³/h, seguido de 13,8 m³/h na segunda e finalizado com 19,5 m³/h na terceira e última etapa. Os valores de rebaixamento do NA ficaram registrados no *data logger*, que posteriormente foram descarregados em um computador.



Data	Hora Minuto	N.D'água (m)	Vazão (m ³ / h)
13/04/2012	07:30	80	00
13/04/2012	07:31	91	21,6
13/04/2012	07:32	93,5	21,2
13/04/2012	07:33	95	21,2
13/04/2012	07:34	96	21,2
13/04/2012	07:35	96,8	21,0
13/04/2012	07:36	97,5	20,7
13/04/2012	07:37	97,8	20,7
13/04/2012	07:38	98,2	20,7
13/04/2012	07:39	98,5	20,7
13/04/2012	07:40	98,7	20,7
13/04/2012	07:42	99	20,7
13/04/2012	07:44	99,5	20,7
13/04/2012	07:46	100	20,7
13/04/2012	07:48	100,5	20,7
13/04/2012	07:50	101	20,7
13/04/2012	07:55	101,3	20,7
13/04/2012	08:00	101,4	20,7

Fotos 5 a 8. Etapas principais de um teste de vazão do novo poço na Escola Aureliano-Monte Azul Paulista/SP. **5:** Aspecto geral do início do teste de bombeamento; **6:** Medidas da vazão com auxílio do Tubo Pitot (leitura do valor de uma coluna d'água num cano auxiliar; o valor é lançado numa tabela de equivalência de vazão); **7:** Detalhe da inserção de uma trena no tubo auxiliar do poço para acompanhamento do rebaixamento do nível dinâmico; **8:** Registro dos valores de rebaixamento e vazão, ao longo do tempo, em planilhas.

5. HIDROGEOLOGIA DO AQUÍFERO ADAMANTINA NO MUNICÍPIO DE MONTE AZUL PAULISTA

As informações relacionadas ao Aquífero Adamantina, que possibilitaram a caracterização do arcabouço hidrogeológico do município, foram obtidas a partir do cadastro de poços existentes, perfuração de poço tubular profundo, execução da perfilagem geofísica, realização de testes de bombeamento e medição do nível d'água em diversos pontos do município.

5.1 Poços Cadastrados no Sistema

Foram encontrados 129 poços de captação de água subterrânea cadastrados no município de Monte Azul Paulista. Foi possível chegar a este número a partir de pesquisas feitas nos bancos de dados do SIAGAS-2013, arquivos SAEMAP-2013 e DAEE-2013. Deste total, 71 poços (55%) foram perfurados na zona urbana e o restante na zona rural.

De posse das informações inerentes aos poços, foi criado um banco de dados próprio, o qual foi estruturado no Excel em formato .xls e inserido no programa ArcGIS com as seguintes informações: coordenadas geográficas, cota do terreno, data da construção, profundidade do poço, nível estático e dinâmico, vazão de exploração, vazão específica e perfil geológico. Com isso, foi possível visualizar a distribuição dos poços espacialmente, conforme apresentado na **Figura 9**.

Dentre os poços cadastrados, verificou-se que a maior parte deles (108 poços) explora água apenas do Aquífero Adamantina, ao passo que o restante (21 poços) extrai água de um sistema misto, ou seja, parte provém do Aquífero Adamantina e parte das rochas cristalinas do Aquífero Serra Geral.

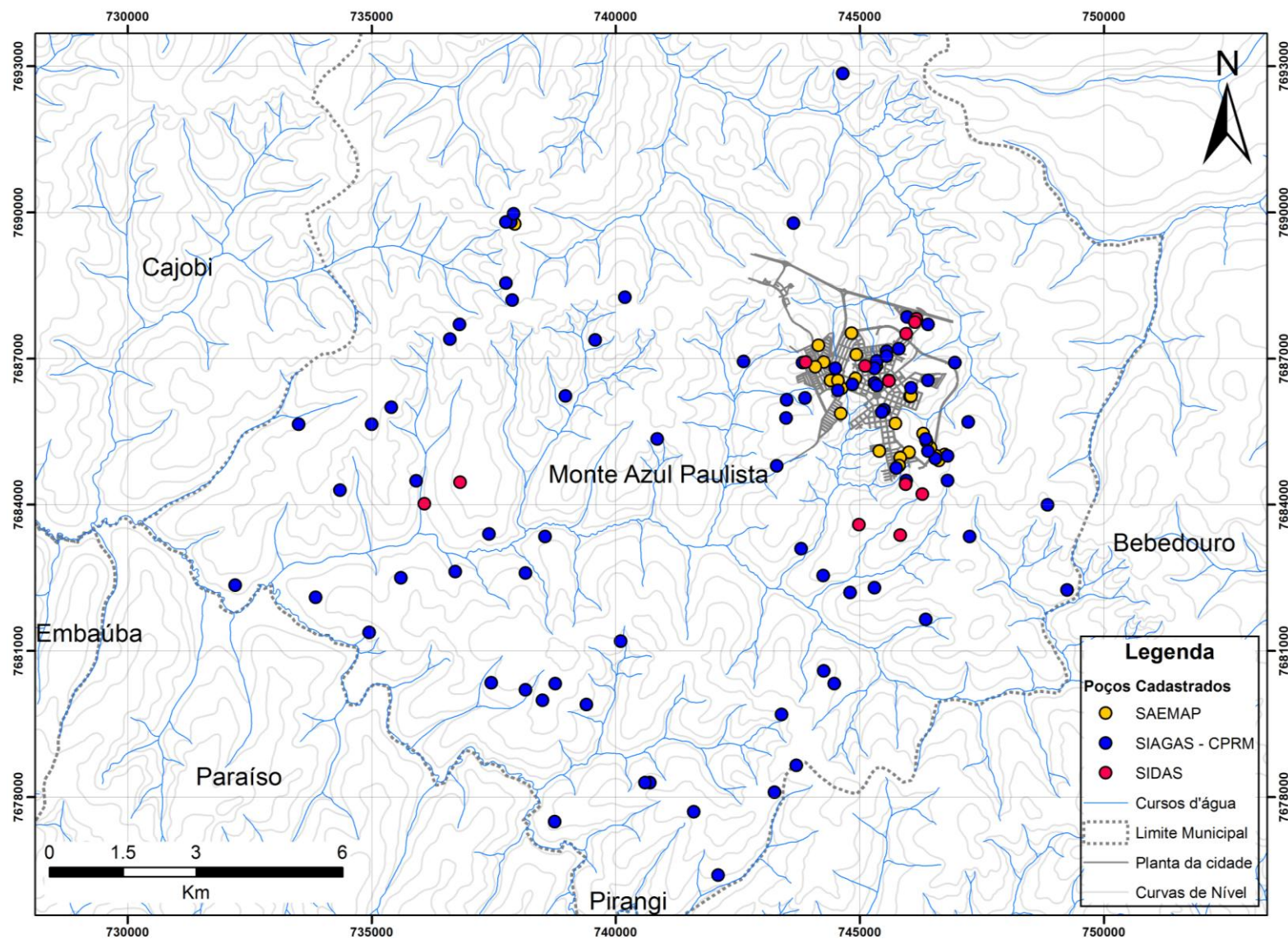


Figura 9. Mapa de localização dos poços cadastrados em Monte Azul Paulista/SP.

Na **Tabela 5**, foi feita uma síntese com as principais características dos poços cadastrados, bem como as informações por tipo de aquífero explorado. Nela são apresentadas as principais características dos poços que exploram apenas o Aquífero Adamantina e dos poços que exploram água dos Aquíferos Adamantina e Serra Geral.

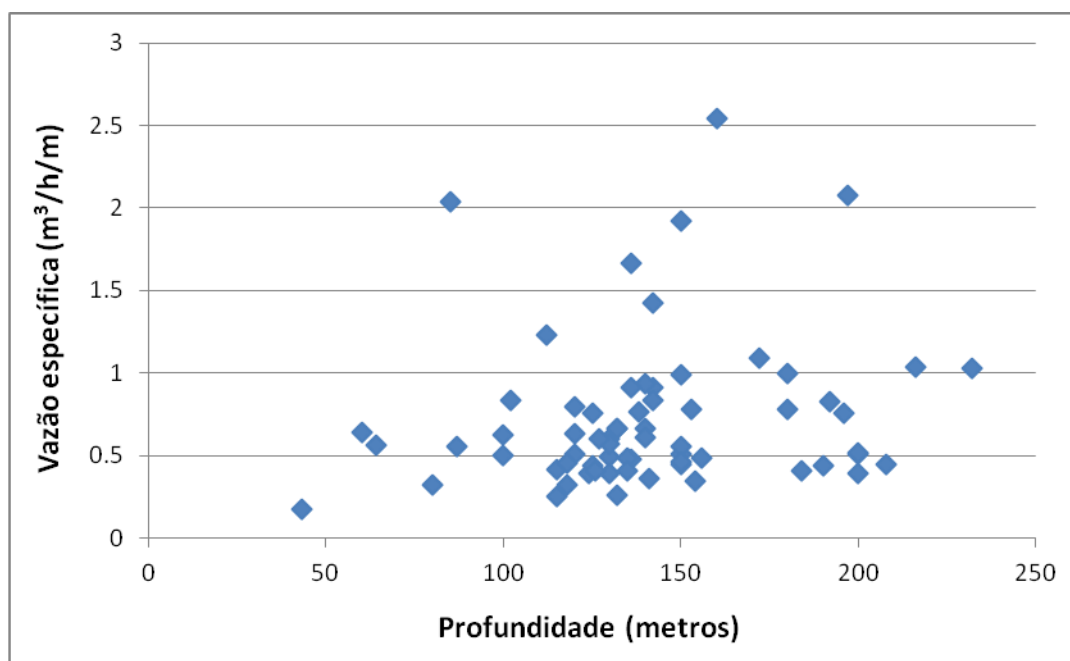
Como era de se esperar, a média das profundidades dos poços perfurados no Aquífero Adamantina, são inferiores àqueles que estão perfurados nos aquíferos Adamantina e Serra Geral.

Vale destacar a grande variação na profundidade do nível estático observada para os poços perfurados no Aquífero Adamantina, onde foram identificados valores variando entre 10,1 metros e 85,9 metros. Isto está relacionado às diferentes unidades hidroestratigráficas identificadas nesta unidade, assunto que será detalhado no item 5.6.

Tabela 5. Características dos poços que captam água dos Aquíferos Adamantina e Serra Geral.

Parâmetros		Poços Cadastrados	Adamantina	Adamantina e Serra Geral
Profundidade (metros)	Mínimo	43,0	43,0	172,0
	Máximo	232,0	160,0	232,0
	Média	139,9	125,0	196,0
Vazão (m ³ /h)	Mínimo	5,0	5,0	16,0
	Máximo	56,0	45,4	56,0
	Média	23,2	19,5	38,9
Nível Estático (metros)	Mínimo	10,1	10,1	44,0
	Máximo	85,9	85,9	85,9
	Média	51,6	52,6	67,7

Em relação à produtividade dos poços, a média das vazões dos aquíferos Adamantina e Serra Geral conjuntamente é praticamente o dobro daqueles que estão perfurados apenas no Aquífero Adamantina. Isto pode ser constatado ao observar a **Figura 10**, que mostra a tendência de aumento linear da profundidade dos poços com suas respectivas vazões específicas. Porém este fato, em alguns casos, não é verdadeiro, o que se explica pela grande quantidade de sedimentos argilosos presentes na Formação Adamantina, bem como pela inexistência de fraturamento e/ou porosidade secundária nos basaltos da Formação Serra Geral.



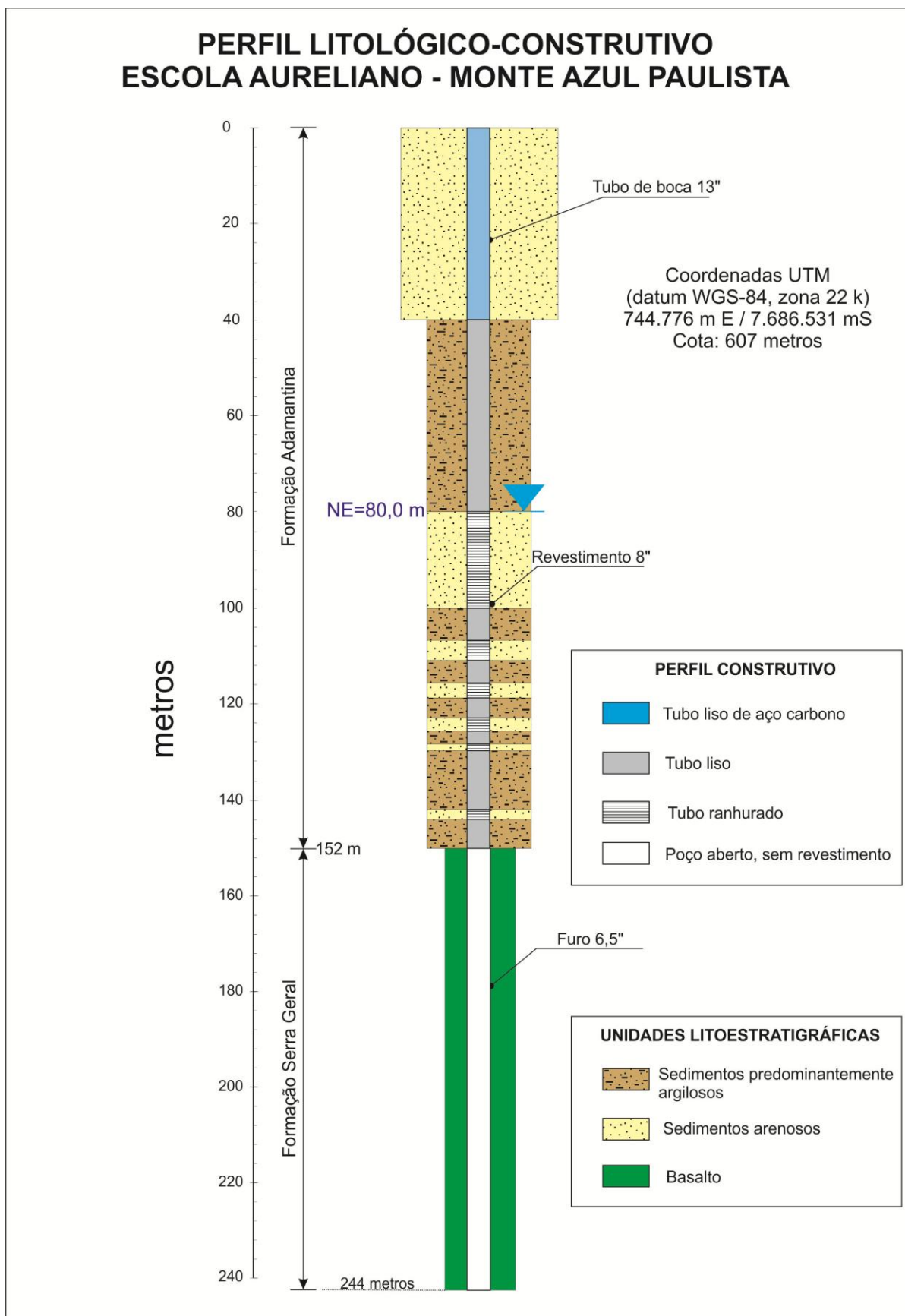


Figura 11. Detalhes construtivos do novo poço perfurado na Escola Aureliano-Monte Azul Paulista/SP.

5.3 Perfilagem Geofísica

As informações obtidas por meio dos ensaios geofísicos foram de grande relevância para identificar as variações faciológicas da sequência sedimentar da Formação Adamantina, seus intervalos mais permeáveis, bem como estimar os valores de porosidade a partir do perfil sônico.

Os perfis geofísicos permitiram reconhecer duas litofácies distintas na Formação Adamantina: a primeira, entre 40 m e 80 m de profundidade, constituída por sedimentos argilo-arenosos, e a segunda, entre 80 m e 150 m de profundidade, composta por sedimentos predominantemente areno-argilosos (intercalações de camadas arenosas e argilosas). Nesta última foi possível identificar, nos ciclos menores, o padrão do tipo “sino” que indica um *fining upward* (**Figura 12**). Já o ciclo maior representa um padrão de *coarsening upward*.

A interpretação do perfil geofísico corrobora o que foi observado por Paula e Silva (2003), em termos paleoambientais: a Formação Adamantina compreende depósitos arenosos acanalados, com padrão granulométrico em *fining upward* e eventuais terminações em sedimentos pelíticos, compondo unidades cíclicas menores, sugestivos de sedimentação fluvial em canais meandrantess.

Este padrão de empilhamento observado nos perfis geofísicos pode representar depósitos associados a pequenos deltas, nos quais os processos de progradação e regressão são controlados, respectivamente, pela retração e expansão de um sistema lacustre, em decorrência de variações climáticas e/ou tectônicas (PAULA e SILVA, 2003).

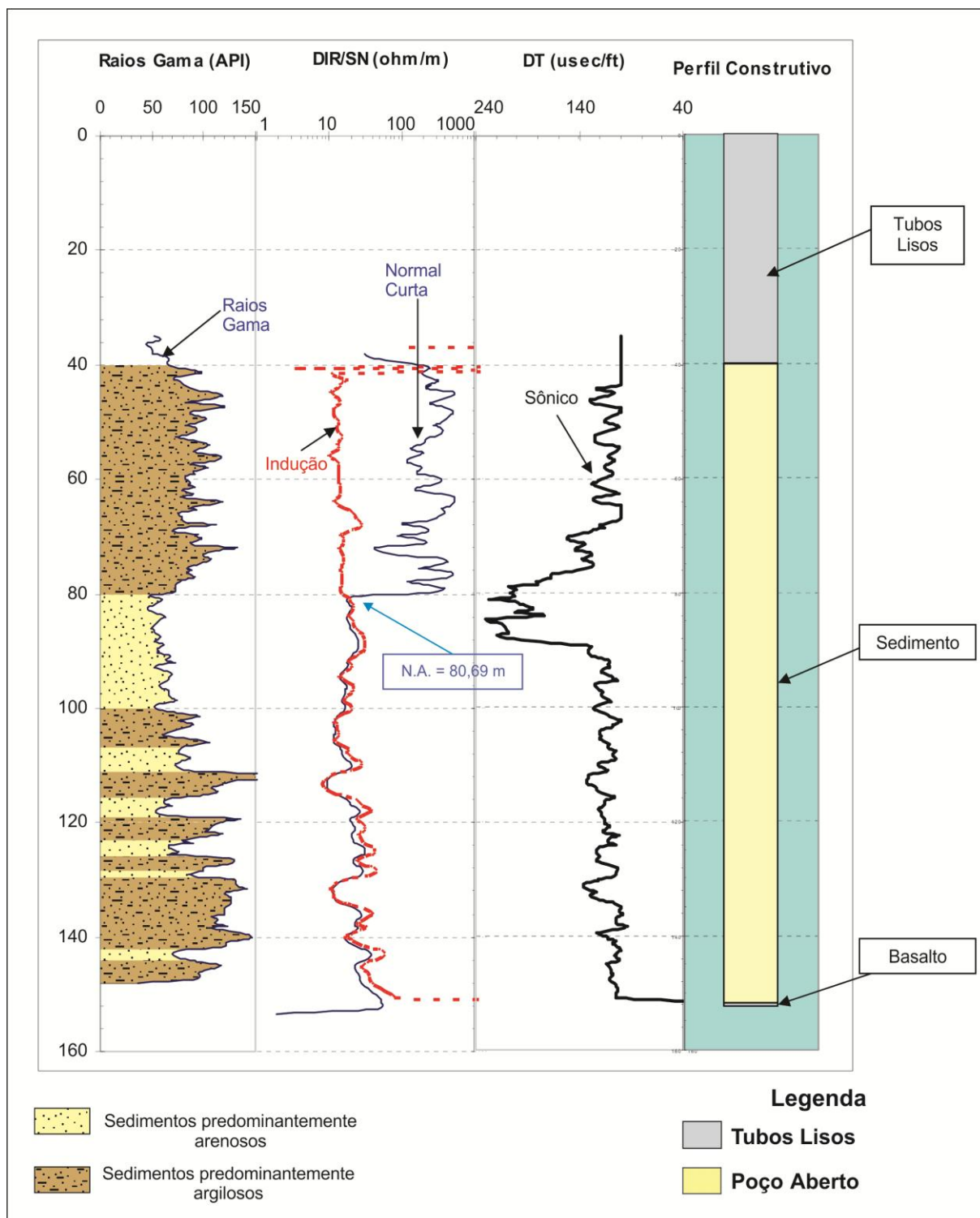


Figura 12. Resultados e interpretação dos ensaios geofísicos no novo poço profundo perfurado na Escola Aureliano-Monte Azul Paulista/SP.

Outra propriedade que pôde ser avaliada pela perfilagem geofísica, é a porosidade. Dentre os vários fatores controladores de um bom armazenamento e fluxo da água subterrânea, a porosidade efetiva pode ser calculada pela diferença entre a porosidade total da rocha e a fração de poros ocupados por argilas, que apresentam alta porosidade total e baixa transmissividade, as quais influenciam na produtividade de água da formação.

A porosidade total das rochas foi estimada utilizando-se os valores obtidos na interpretação quantitativa do perfil sônico. Inicialmente, foi calculada pela equação de Wyllie:

$$\phi_t = 0,625 \times \left(\frac{\Delta t - \Delta t_m}{\Delta t} \right)$$

Onde Δt_m é o tempo de trânsito da onda sonora na matriz e Δt é o tempo de trânsito da onda sonora lido no perfil.

No intuito de minimizar o efeito da argilosidade, foi feito o cálculo do índice de argilosidade (VSH) e índice de radioatividade (IRG) pelas seguintes equações:

$$IGR = \left(\frac{RG \text{ perfil} - RG \text{ mínimo}}{RG \text{ máximo} - RG \text{ mínimo}} \right) \text{ e } VSH = \left(\frac{IRG}{A - (A - 1) IRG} \right)$$

Onde RG perfil é o grau de radioatividade lido para um ponto (profundidade); RG mínimo é o menor grau de radioatividade encontrado; RG máximo é o grau de radioatividade máximo; A - está relacionado com a idade da rocha, sendo igual a três quando a rocha é de idade Terciária e dois quando a rocha for mais antiga (Schlumberger, 1974).

Por fim, a porosidade total deste reservatório, com compensação da argilosidade, foi calculada pela equação:

$$\phi_t = 0,625 \times \left(\frac{\Delta t - \Delta t_m}{\Delta t} \right) \times (1 - VSH)$$

O perfil sônico registrou uma leitura a cada 25 cm, sendo no total, para esta perfilagem, 448 leituras. Em cada intervalo, foi calculada uma porosidade sônica efetiva, em que a média para a Formação Adamantina no trecho perfilado, ou seja, entre 40 m e 152 m de profundidade, foi de 25,7%. Já o índice de argilosidade para o mesmo trecho foi calculado na ordem de 23,3% (**Tabela 6**).

O trecho com maior valor médio de porosidade foi entre 80 m e 100 m de profundidade, com média de 35,3%. Em contrapartida, o trecho de menor porosidade se encontra entre 40 m e 75 m de profundidade, com média de 23,9%.

Tabela 6. Porosidade e argilosidade sônica da Formação Adamantina no município de Monte Azul Paulista/SP.

Porosidade e argilosidade da Formação Adamantina			
Parâmetro	Médio (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
Porosidade	25,7	9,9	44,2
Argilosidade	23,3	2,6	72,5

De acordo com a classificação de Chilingar *et al.* (1972), estes resultados de porosidade podem ser considerados muito altos (> 25%). Quando comparados com os resultados obtidos para o Sistema Aquífero Bauru, descrito em Paula e Silva (2003), também podem ser considerados altos, já que o autor apresentou valores médios de 25% para esta unidade.

5.4 Caracterização Geológica do Aquífero Adamantina na Área de Estudo

A Formação Adamantina é a unidade do Grupo Bauru que mais aflora em maior extensão no Estado de São Paulo. Ela pode atingir até 190 metros de espessura em subsuperfície, e está representada por arenitos de granulação fina a muito fina, alternados com bancos de lamitos, siltitos e arenitos lamíticos (SOARES *et al.*, 1980).

O contato da Formação Adamantina é transicional e interdigitado com a Formação Santo Anastácio e pode ocorrer, como no caso de Monte Azul Paulista em discordância erosiva diretamente sobre o substrato basáltico (ALMEIDA, 1980; ALMEIDA *et al.*, 1981).

Utilizando-se dos dados de poços cadastrados no SIAGAS, SIDAS e SAEMAP e das interpretações da perfilagem geofísica realizada durante a perfuração do poço na região central do município, foi elaborado um banco de dados com as informações geológicas.

Amparado nessas informações foi possível elaborar uma seção geológica, um mapa de isópacas da Formação Adamantina e de contorno estrutural do substrato do SAB, os quais auxiliaram no entendimento do arcabouço geológico em que o município de Monte Azul Paulista está inserido.

A seção geológica foi elaborada com base nos dados da perfilagem geofísica e descrição visual das amostras de calha. A partir deste corte geológico, é possível visualizar o cenário litoestratigráfico do município (**Figura 13**).

O mapa de isópacas representa, em planta, as mesmas espessuras de sedimentos, permitindo a visualização da variação da espessura da Formação Adamantina por todo o município.

Os valores de espessura dos sedimentos da Formação Adamantina, registrados em cada poço da região de Monte Azul Paulista, foram georreferenciados no *software* ArcGIS; por meio do método de interpolação da krigagem gerou-se o mapa com as espessuras de sedimentos na região, conforme apresentado na **Figura 14**.

Em Monte Azul Paulista, os sedimentos da Formação Adamantina estão assentados sobre as rochas basálticas da Formação Serra Geral e apresentam uma espessura média de 140 metros. As maiores espessuras atingem 152 metros e estão localizadas na região central da zona urbana, enquanto que os menores valores são encontrados nas porções baixas da cidade, próximo às drenagens, e podem atingir 80 metros.

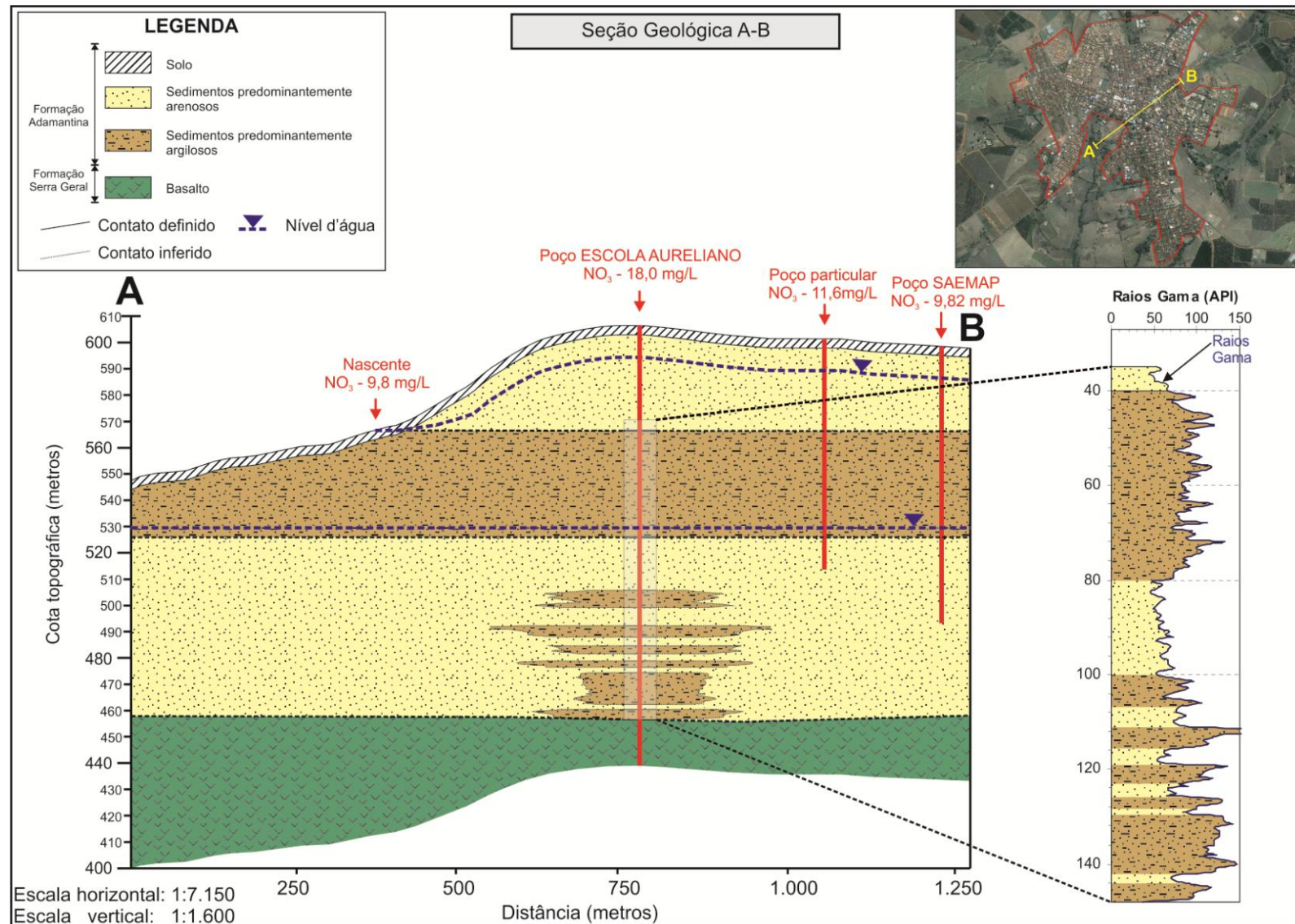


Figura 13. Seção geológica do município de Monte Azul Paulista/SP (Base do traçado da topografia: *Google Earth*[®]).

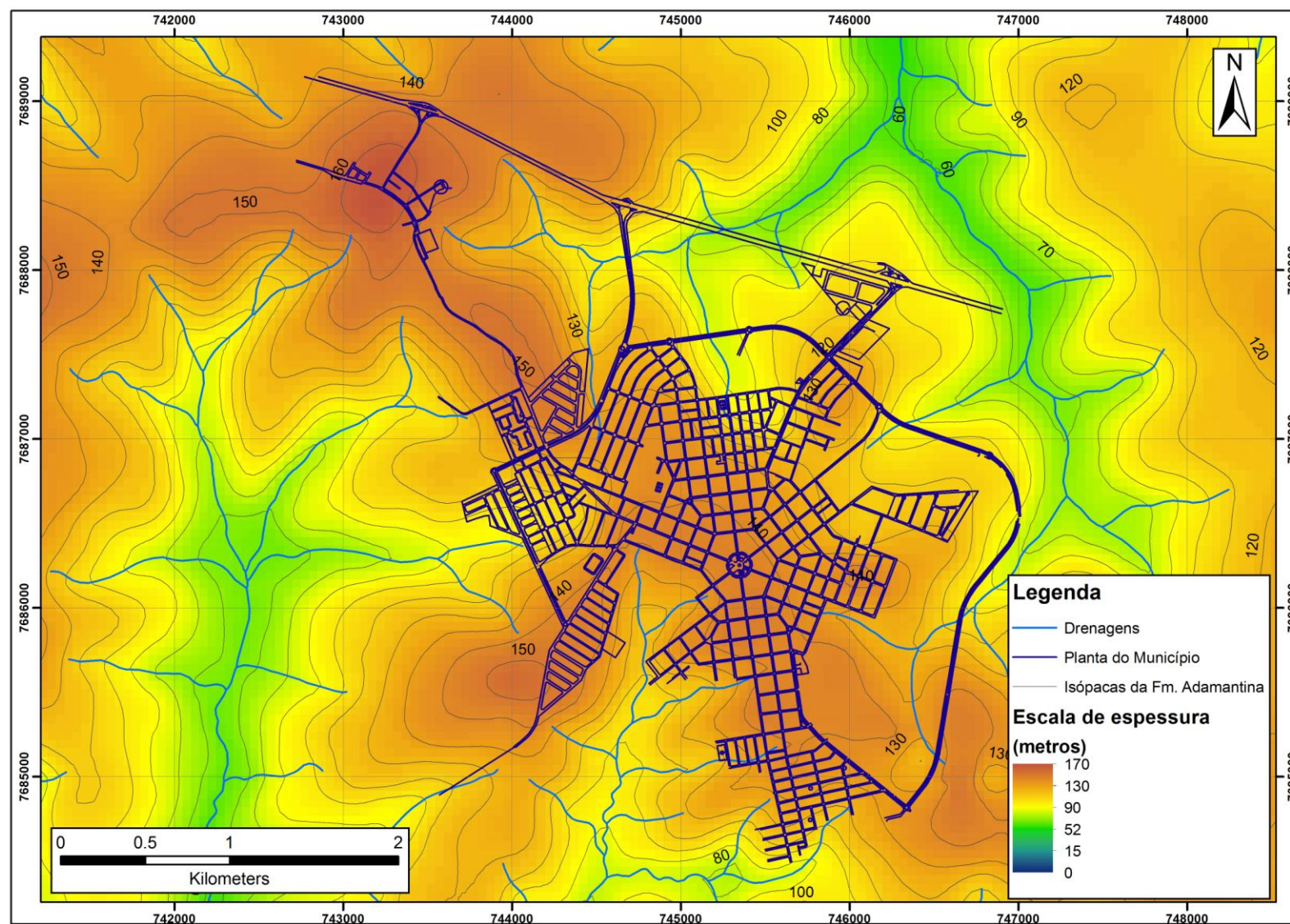


Figura 14. Mapa de isópacas dos sedimentos da Formação Adamantina no município de Monte Azul Paulista/SP.

Utilizando os perfis geológicos cadastrados no banco de dados do SIAGAS (CPRM) fez-se uma projeção dessas informações em planta. A partir das cotas dos topos dos substratos basálticos (e base da Formação Adamantina) realizou-se uma interpolação dessas cotas.

O resultado obtido é o Mapa de contorno estrutural do substrato basáltico, que corrobora o arcabouço geológico regional: conforme se avança na direção W-SW, para o centro da bacia do Paraná, os basaltos vão se tornando mais profundos (**Figura 15**).

Na região central da cidade, o substrato basáltico foi identificado a 152 metros de profundidade, ou na cota aproximada de 465 metros.

De acordo com descrições de poços profundos (entre 800 m e 900 m de profundidade) nos municípios de Bebedouro e Colina, a espessura do basalto na região é de aproximadamente 640 metros. Abaixo dessa espessa camada de basaltos, encontram-se as formações Botucatu e Pirambóia, que constituem o Sistema Aquífero Guarani.

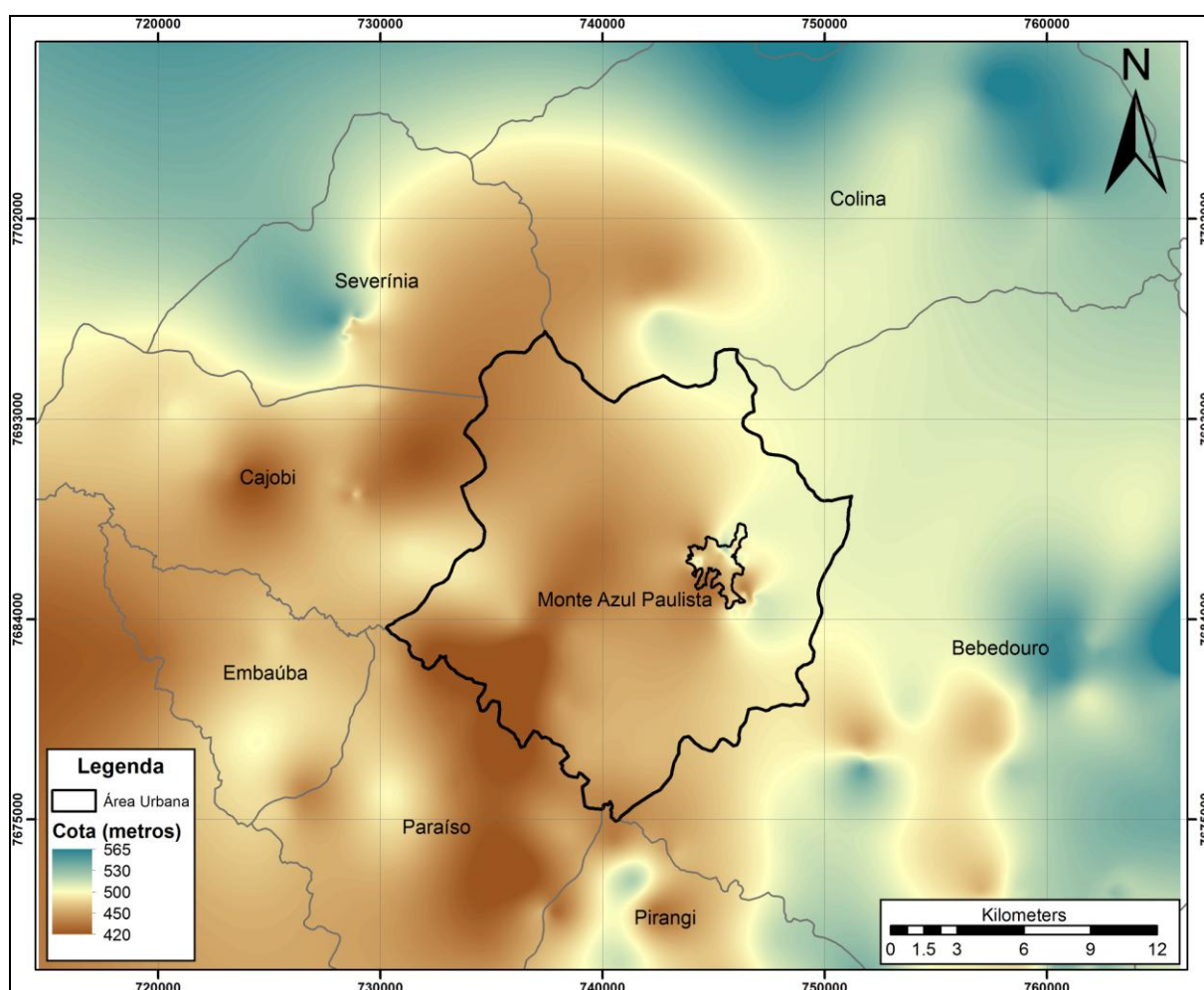


Figura 15. Mapa de Contorno Estrutural do Substrato do SAB na região de Monte Azul Paulista.

5.5 Parâmetros Hidrodinâmicos

Os parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos fornecem subsídios fundamentais para o entendimento das características de armazenamento e fluxo hídrico subterrâneo. Consequentemente, com o entendimento deste comportamento, é possível entender a dinâmica do contaminante no meio.

Os resultados obtidos com os testes de bombeamento realizados no poço da Escola Aureliano permitiram o cálculo de alguns parâmetros hidrodinâmicos como a Transmissividade (T), Condutividade Hidráulica (K) e Vazão Específica.

A execução deste teste foi precedida pela medida do nível estático (NE) do aquífero. Após iniciar o bombeamento fez-se a leitura dos níveis dinâmicos (ND) em relação às vazões (Q) reguladas no hidrômetro. De posse dos valores de NE, ND e Q calculou-se o rebaixamento (Nível dinâmico – Nível estático), a vazão específica (Q/s) e rebaixamento específico (s/Q), os quais estão apresentados na **Tabela 7**.

Tabela 7. Parâmetros avaliados com o teste escalonado.

ETAPA	NE (m)	ND (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	s/Q (m/m ³ /h)	Duração (h)
1	80	91	11	10.5	0.95	1.05	2
2	80	95.6	15.6	13.8	0.88	1.13	2
3	80	105	25	19.5	0.78	1.28	2
4	80	106.2	26.2	19.9	0.76	1.32	24

A seguir, no gráfico da **Figura 16** nota-se a variação do rebaixamento ao longo do tempo, em relação à aplicação de diferentes vazões, representadas no gráfico como Q₁, Q₂ e Q₃, sendo 10,5 m³/h, 13,8 m³/h e 19,5 m³/h, respectivamente. Depois de determinado tempo, o rebaixamento tornou-se praticamente nulo, ou seja, o aquífero é capaz de repor a água que está sendo retirada pelo bombeamento.

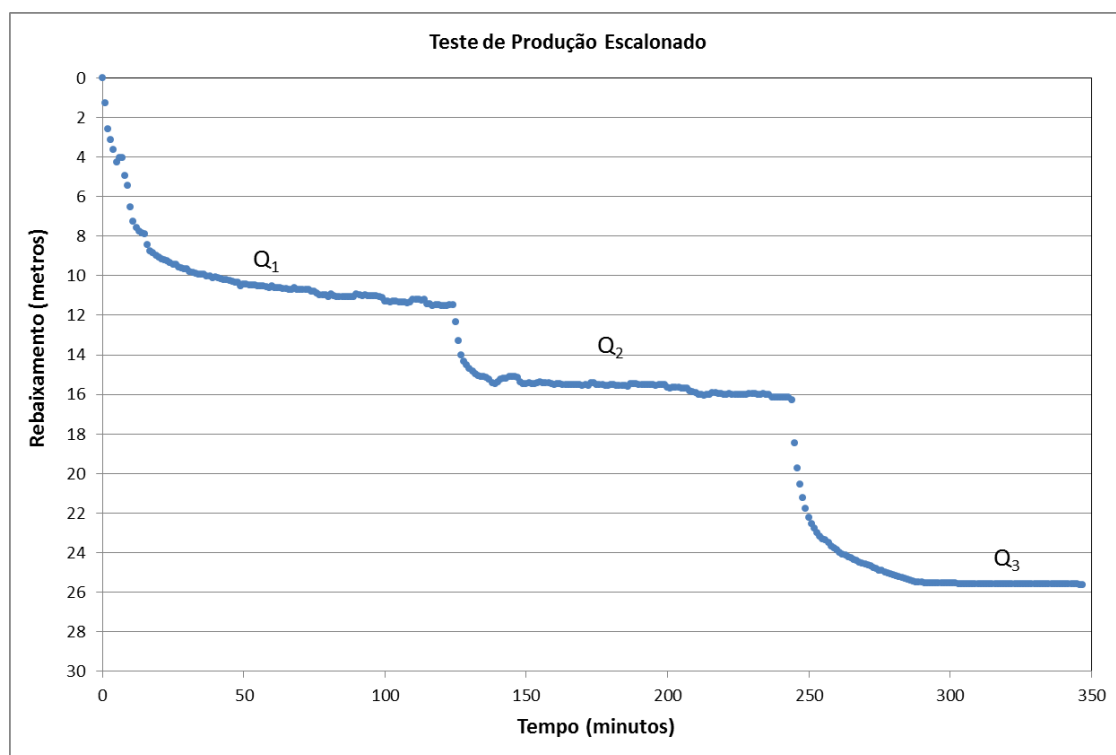


Figura 16. Gráfico de rebaixamento ao longo do tempo, mediante a variação da vazão.

O método utilizado para calcular K e T é uma simplificação do método de Theis, conhecido como Cooper-Jacob. Na maioria dos casos é utilizado para testes de curta duração em aquíferos livres, como é o caso deste estudo. Esses parâmetros foram calculados com o auxílio do *software* Aquifer Test 4.0, utilizando valores de rebaixamento ao longo do tempo e da variação da vazão, bem como as características do aquífero e construtivas do poço.

Os resultados desse teste compõem a **Tabela 8**. O valor de condutividade hidráulica calculado corrobora o valor de referência mencionado por Fetter (1988), para arenitos finos e arenitos siltsos.

Tabela 8. Resultado dos parâmetros hidrodinâmicos obtidos no teste de bombeamento.

Poço Escola Aureliano	
Nível Estático (NE)	80 metros
Nível Dinâmico (ND)	106,2 metros
Vazão	20,0 m ³ /h
Vazão Específica	0,76 m ³ /h/m
Transmissividade	15,50 m ² /d
Condutividade Hidráulica (k)	2,3.10 ⁻⁴ cm/s

A partir do valor de condutividade hidráulica obtida no teste de bombeamento realizado, calculou-se a velocidade do fluxo subterrâneo.

$$V = \frac{K}{\eta e} \times i$$

Onde,

V = Velocidade do fluxo subterrâneo;

K = Condutividade hidráulica;

ηe = Porosidade efetiva;

i = gradiente hidráulico.

Para esse cálculo foi adotado o valor de $k = 2,3 \times 10^{-4}$ cm/s, porosidade efetiva de 15% e gradiente hidráulico de $4,35 \times 10^{-2}$, tendo sido obtida uma velocidade linear do fluxo subterrâneo local de 63 metros/ano.

Além das informações obtidas acerca do potencial hídrico do aquífero, o teste de bombeamento permitiu obter parâmetros da construção do poço, bem como determinar as vazões máximas admissíveis. Os resultados do teste possibilitaram calcular a curva e a equação característica do poço que estão apresentadas nas **Figuras 17 e 18**.

A partir da análise e interpretação da curva característica do poço foi possível concluir que a vazão máxima utilizada durante o teste ($19,9 \text{ m}^3/\text{h}$) não atingiu a vazão crítica, correspondente ao rebaixamento no ponto crítico. Assim, quando o poço está em funcionamento acima desta vazão, o fluxo entra em regime turbulento. Isto significa que pequenos aumentos de vazão implicam em acentuados rebaixamentos, tornando a exploração antieconômica e contribuindo para a diminuição da vida útil do poço.

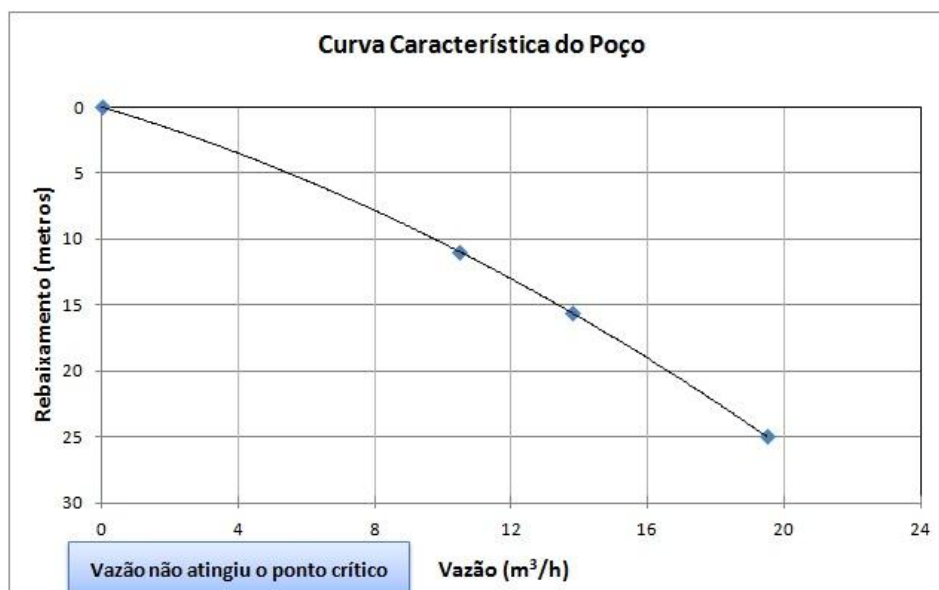


Figura 17. Curva característica do poço calculada a partir do teste escalonado.

A equação característica do poço pode ser representada pela expressão $s = \beta Q + \alpha Q^2$, onde βQ corresponde às perdas de carga no aquífero e αQ^2 às perdas de carga no poço.

Fundamentado nos resultados do teste de bombeamento construiu-se o gráfico que dá origem à equação característica do poço: na abscissa estão os valores de vazão (Q_1 , Q_2 , Q_3) e na ordenada os valores de rebaixamento específico para cada etapa do teste (Δs). Assim, de acordo com a equação característica do poço conclui-se que, de maneira geral, este apresenta baixa perda de carga.

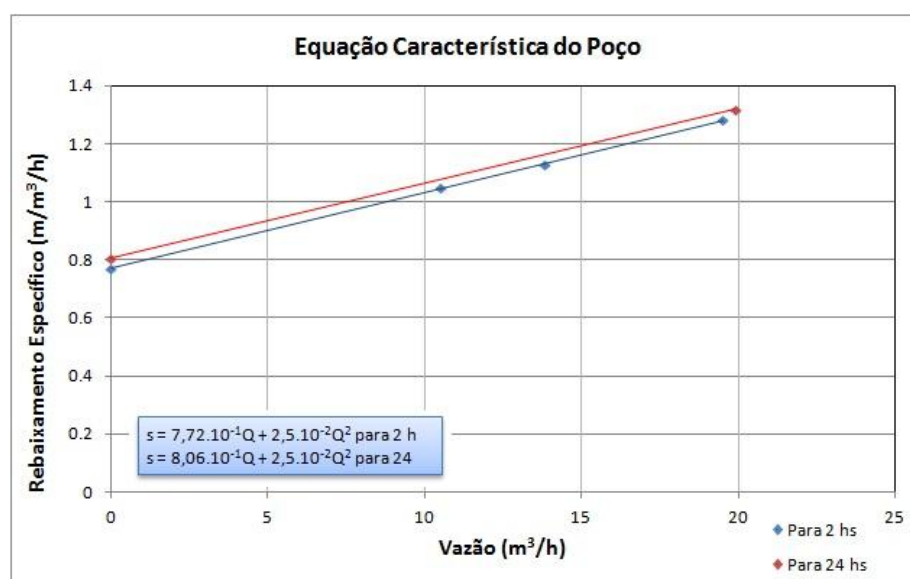


Figura 18. Equação característica do poço calculada a partir do teste escalonado.

5.6 Potenciometria do Município

A análise integrada de informações obtidas na interpretação da perfilagem geofísica, medições da profundidade do nível d'água tanto em poços profundos quanto em poços rasos, bem como a identificação de uma nascente posicionada em um ponto estratégico da área urbana permitiram a elucidação do fluxo hídrico subterrâneo no município de Monte Azul Paulista.

A perfilagem geofísica contribuiu fornecendo informações acerca das unidades litoestratigráficas da Formação Adamantina. Entre 40 m e 80 m de profundidade foi identificada a presença de uma camada de sedimentos predominantemente argilosos, cujo estrato separa dois horizontes, inferior e superior, ambos compostos por sedimentos arenosos de maior porosidade efetiva.

A avaliação dos níveis estáticos dos poços, tanto rasos (cacimbas e poços de monitoramento) quanto profundos, comprovou a existência de dois níveis potenciométricos distintos, isolados por uma camada argilosa de 40 metros, que representa um aquitardo de importância local.

Este fato foi evidenciado com mais clareza observando-se a diferença entre as cargas hidráulicas de dois poços próximos (190 metros de distância entre si). Enquanto o poço de monitoramento P-4 apresentou uma carga hidráulica de 591,7 m (**Tabela 9**), o valor do poço profundo P-17 foi de 524,31 m (**Tabela 10**), gerando assim uma diferença de 67,4 metros. Essa elevada diferença entre as cargas hidráulicas comprova a existência de dois aquíferos distintos: o superficial (desde a superfície até 40 metros de profundidade) e o profundo (entre 80 m e 150 m de profundidade).

Tabela 9. Valores de carga hidráulica calculados para os poços rasos (medição dos níveis estáticos feita em 13/11/2013).

Poços	X (mE)	Y (mS)	Cota (m)	NE (m)	Carga Hidráulica (m)
P - 01	744.849	7.687.026	609	15.32	593.68
P - 02	745.125	7.685.920	590	13.35	576.65
P - 03	745.533	7.686.554	608	10.10	597.90
P - 04	744.615	7.686.417	601	10.58	591.71

Tabela 10. Valores de carga hidráulica calculados para os poços profundos (medição dos níveis estáticos feita em 21/08/2012).

Poços	X	Y	Cota (m)	NE	Carga Hidráulica
P-1	746.732	7.685.052	605.45	68	537.45
P-2	746.603	7.684.945	607.20	73.8	533.40
P-3	746.558	7.685.039	600.32	66.2	534.12
P-4	746.438	7.685.199	589.66	60.4	529.26
P-5	746.360	7.685.330	584.98	57.25	527.73
P-6	746.300	7.685.492	580.25	55	525.25
P-7	746.019	7.686.253	605.67	77.6	528.07
P-8	746.039	7.686.263	605.81	77.7	528.11
P-9	745.718	7.685.715	584.91	77.8	507.11
P-10	745.995	7.685.110	603.06	85.9	517.16
P-11	745.824	7.685.020	602.25	77.1	525.15
P-12	745.815	7.684.827	605.41	73	532.41
P-13	744.638	7.686.425	602.04	78.4	523.64
P-14	744.379	7.686.599	600.94	72.2	528.74
P-16	745.307	7.686.881	600.05	65	535.05
P-17	744.910	7.686.606	605.61	81.3	524.31
P-18	745.795	7.687.230	606.34	71.4	534.94
P-19	744.248	7.686.960	601.77	74.1	527.67
P-20	744.593	7.685.899	569.06	50.1	518.96
P-21	745.735	7.686.595	604.42	54.2	550.22
P-22	745.364	7.685.127	580.19	51	529.19
P-23	744.088	7.686.873	596.77	68.1	528.67
P-24	744.929	7.687.122	603.39	70.15	533.24
P-27	744.820	7.687.568	588.88	60.5	528.38
P-28	744.139	7.687.296	601.25	68.7	532.55
P-29	745.970	7.687.840	586.03	44	542.03

O fato de estes dois aquíferos estarem isolados implica na existência de duas potenciometrias distintas. Portanto, eles possuem diferentes sentidos de fluxo subterrâneo, sendo o superficial mais local e o profundo mais regional.

A potenciometria superficial foi gerada a partir das medições dos níveis dos poços rasos, aliado ao método da interpolação. Em princípio geraram-se duas superfícies: a superfície do terreno construída a partir das curvas de nível e a superfície freática a partir da interpolação das cotas de drenagens. Posteriormente foi feita a subtração entre a superfície do terreno e a superfície freática, que resultou nos valores de carga hidráulica.

Na porção superficial, o aquífero considerado raso apresenta fluxo radial, uma vez que a zona urbana de Monte Azul Paulista está posicionada em um alto topográfico, ou seja, em um divisor de águas. O sentido desse fluxo é divergente, com sentido bem definido, da zona central para as extremidades, conforme ilustrado na **Figura 19**.

Por outro lado, a potenciometria do aquífero profundo foi feita a partir das medições da profundidade do nível estático (NE) de todos os poços gerenciados pela Prefeitura Municipal de Monte Azul Paulista.

Antes de se realizar as medidas do NE com uma fita graduada tomou-se o cuidado de desligar as bombas dos poços e os manter em repouso durante um período de 5 horas.

A partir desses valores de profundidade calculou-se a carga hidráulica para cada ponto (cota do terreno – profundidade do NE), cujos valores foram inseridos no *software* Surfer para gerar as curvas potenciométricas. O resultado desse estudo para a direção do fluxo subterrâneo profundo está representado na **Figura 20**.

As curvas potenciométricas apresentadas no Mapa da Potenciometria do Aquífero Profundo mostram uma tendência de fluxo na direção SW, com o sentido para o interior da bacia do Paraná, e em concordância com o contexto hidrogeológico regional.

Comparando as duas potenciometrias distintas, pode-se observar que enquanto o aquífero raso apresenta um fluxo multidirecional, com sentido às drenagens adjacentes ao município, o aquífero profundo apresenta um fluxo unidirecional, com sentido único ao interior da bacia.

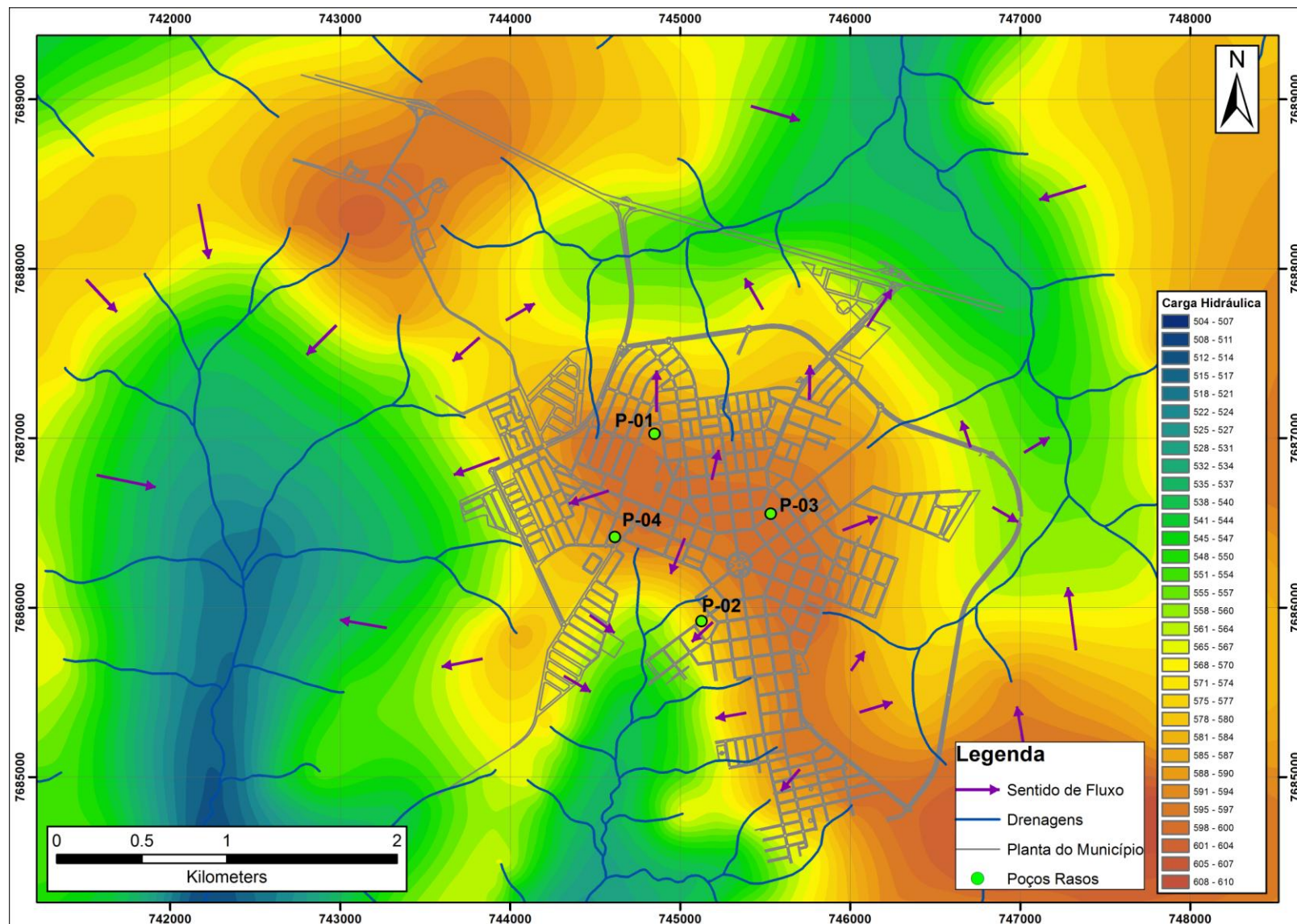


Figura 19. Mapa potenciométrico do aquífero superficial de Monte Azul Paulista/SP.

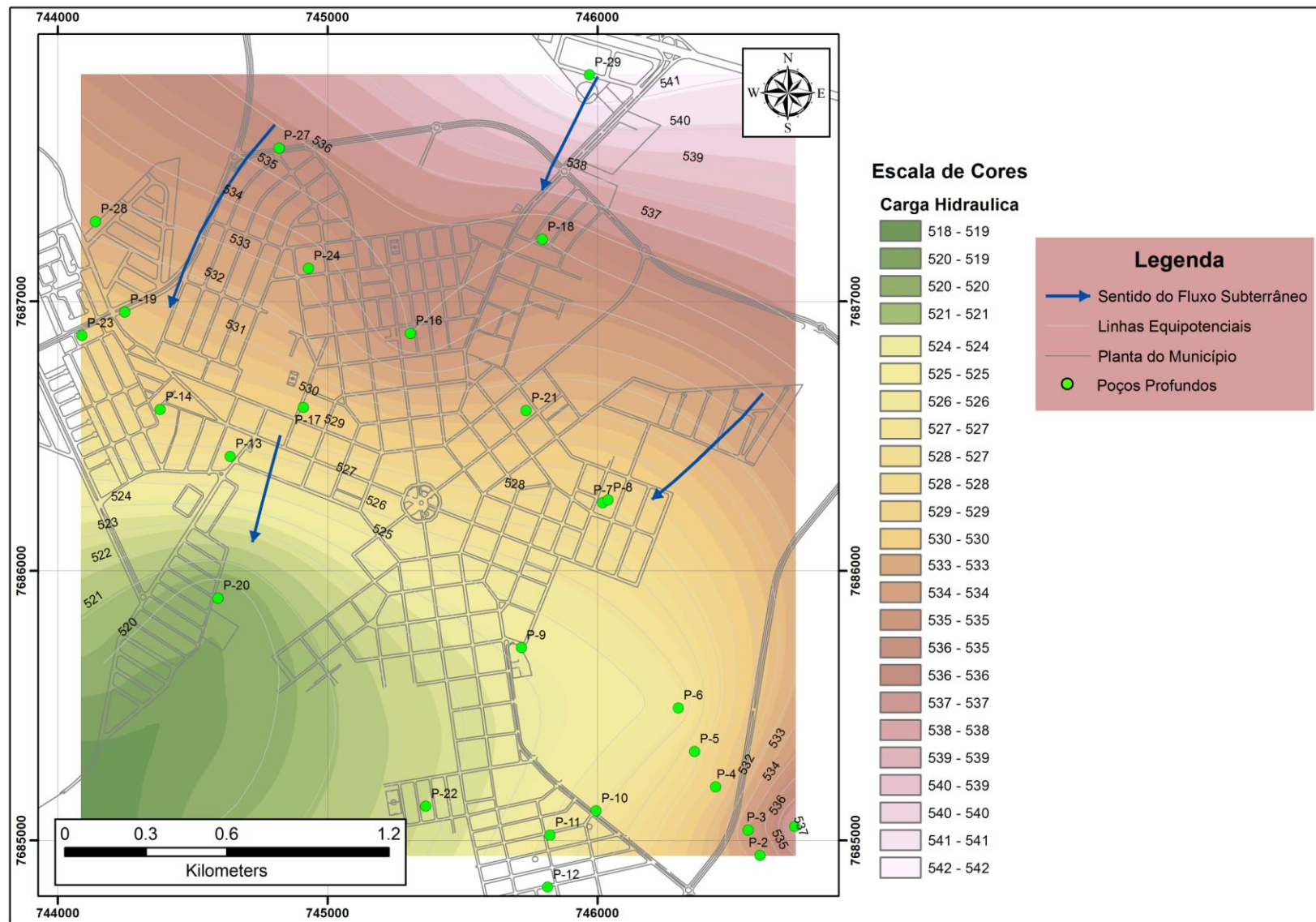


Figura 20. Mapa potenciométrico do aquífero profundo de Monte Azul Paulista/SP.

6. HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE MONTE AZUL PAULISTA

O cenário hidroquímico do Aquífero Adamantina no município de Monte Azul Paulista foi elaborado a partir da interpretação de um conjunto de análises químicas de 40 amostras de águas subterrâneas, 1 amostra de nascente e 4 amostras de poços rasos, sendo 2 cacimbas e 2 poços de monitoramento.

A validação das análises químicas desse estudo foi definida a partir do cálculo de erro do balanço iônico, que se presta a verificar a qualidade dos resultados, mediante a seguinte equação:

$$Erro = \frac{\Sigma \hat{A}nions - \Sigma C\acute{a}tions}{\Sigma \hat{A}nions + \Sigma C\acute{a}tions} \times 100$$

onde $\Sigma \hat{A}nions$ ou $\Sigma C\acute{a}tions$ representam a somatória das concentrações dos ânions e cátions, respectivamente, em meq/L.

A avaliação do balanço iônico das análises mostrou que, dentre as amostras analisadas, 66% apresentam erros positivos indicativos de altas concentrações de ânions, enquanto que 34% apresentaram erros negativos. Todos os resultados apresentaram erros inferiores a 5%, exceto as amostras MAP-01 e MAP-02 com erros de 8,43% e 5,58 % respectivamente, as quais estão relacionadas às amostras com baixas salinidades (**Figura 21**).

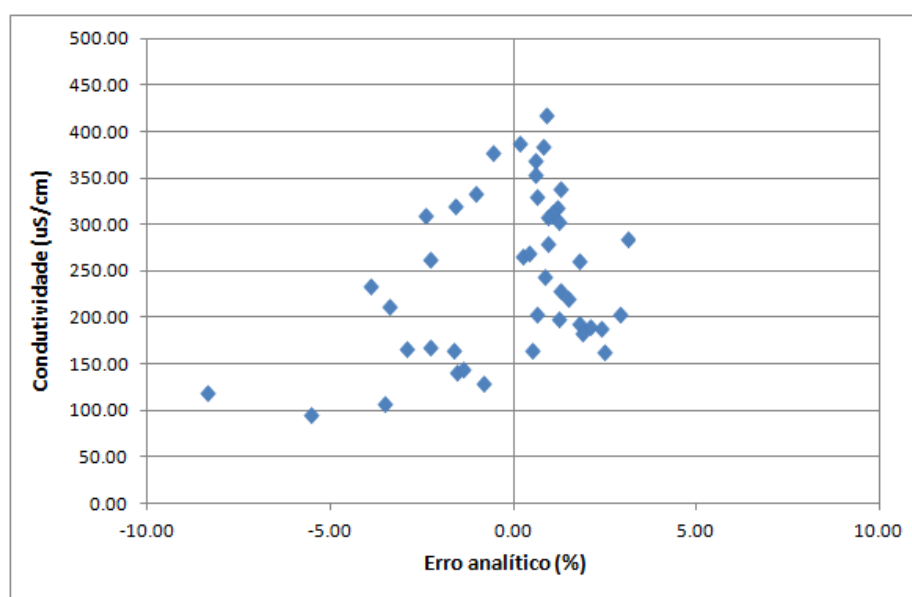


Figura 21. Gráfico relacionando os valores de Erro analítico e a condutividade elétrica das amostras de água.

As análises do potencial hidrogeniônico mostram que as amostras avaliadas apresentam pH ligeiramente ácido a alcalino, variando entre 6,81 e 8,90 e com valor médio de 7,7. A condutividade elétrica média das amostras é de 246,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e o alto desvio padrão é provocado por valores elevados de até 418 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

A estatística básica das principais variáveis hidroquímicas é apresentada na **Tabela 11**, levando-se em consideração 45 amostras coletadas em todo o município.

Tabela 11. Dados estatísticos de parâmetros físico-químicos analisados nas amostras de água de Monte Azul Paulista/SP.

PARÂMETRO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	D. PADRÃO
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	246,9	95,9	418	85.2
pH	7.7	6.81	8.9	0.39
Na (mg/L)	9.6	3.42	35.9	6.27
K (mg/L)	3.7	1.32	10.7	1.97
Ca (mg/L)	35.5	2.24	63.6	14.7
Mg (mg/L)	9.1	1.11	19.2	3.8
Fe (mg/L)	0,00	0,00	0,02	0,004
NO ₃ (mg/L)	30.8	1.2	80	23.9
HCO ₃ (mg/L)	129.6	11.2	249	41.7
CO ₃ (mg/L)	0.4	0.0	18.9	2.8
Cl(mg/L)	14.1	0.3	75.1	13.6
F (mg/L)	0,09	0,04	0,19	0,02
Ba (mg/L)	0,18	0,03	0,79	0,15
Sr (mg/L)	0,65	0,25	1,14	0,20
Al (mg/L)	0	0	0	0
Zn (mg/L)	0,01	0,00	0,10	0,02
Cr (mg/L)	0,02	0,00	0,05	0,008

A localização dos pontos de coleta destas amostras é apresentada na **Figura 22**, e os resultados completos são apresentados no **ANEXO III**.

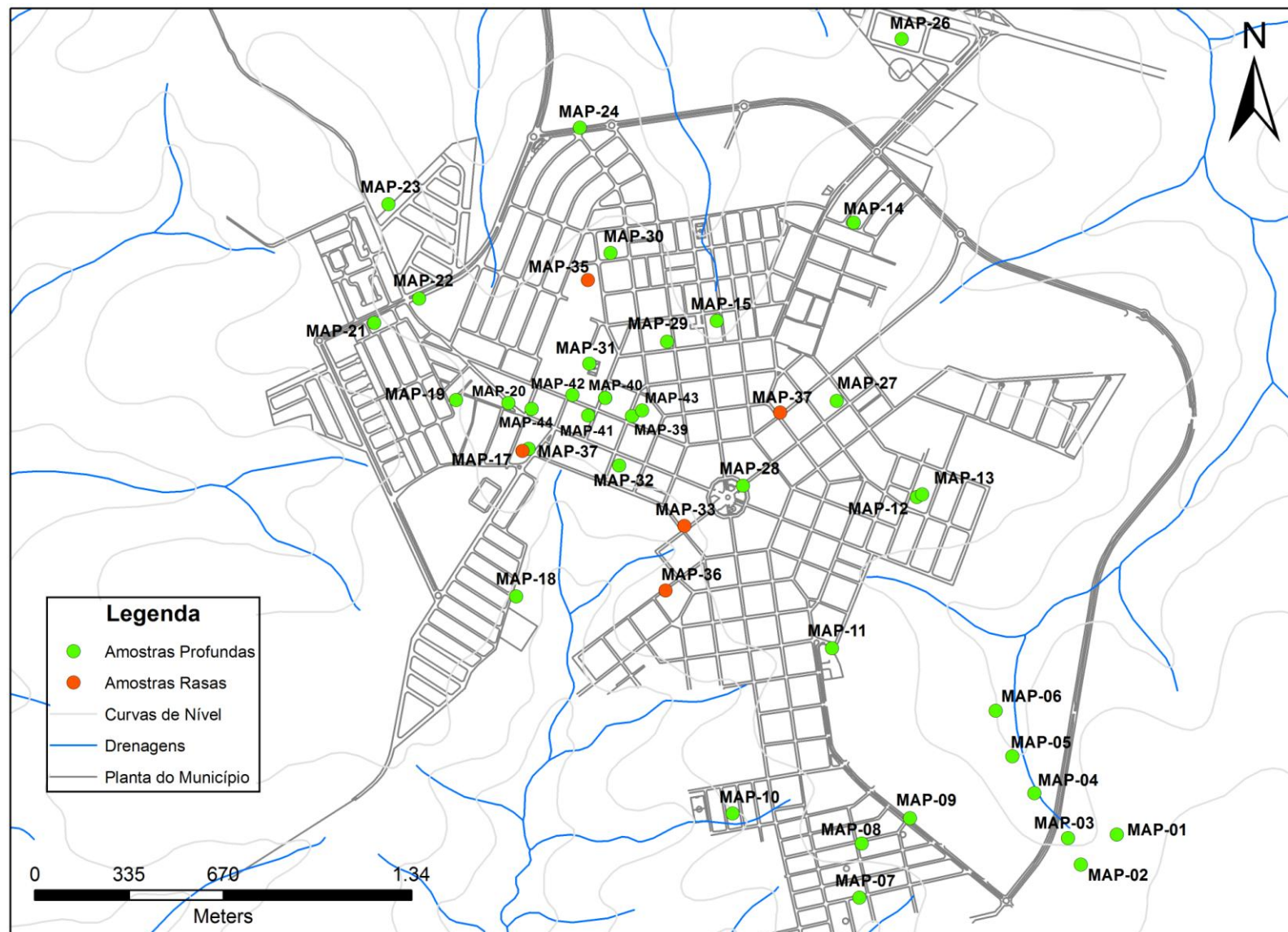


Figura 22. Mapa de localização dos pontos de coleta das amostras de água.

6.1 Classificação das Águas

A partir dos resultados das análises hidroquímicas as águas foram classificadas por meio de duas técnicas: pelos métodos gráficos, utilizando-se dos diagramas Piper e Stiff, e por métodos estatísticos, a partir da análise multivariada.

Sendo assim, com base no diagrama de Piper, visualizado na **Figura 23**, as águas subterrâneas de Monte Azul Paulista podem ser classificadas em dois tipos predominantes: bicarbonatadas cálcicas (62%) e, secundariamente, em cloretadas cálcicas (38%).

As águas bicarbonatadas cálcicas estão localizadas predominantemente nas regiões periféricas da área urbana, enquanto as águas cloretadas cálcicas se concentram na região central, com exceção de duas amostras rasas (MAP-35 e MAP-37) que foram classificadas como bicarbonatadas cálcicas (**Figura 24**).

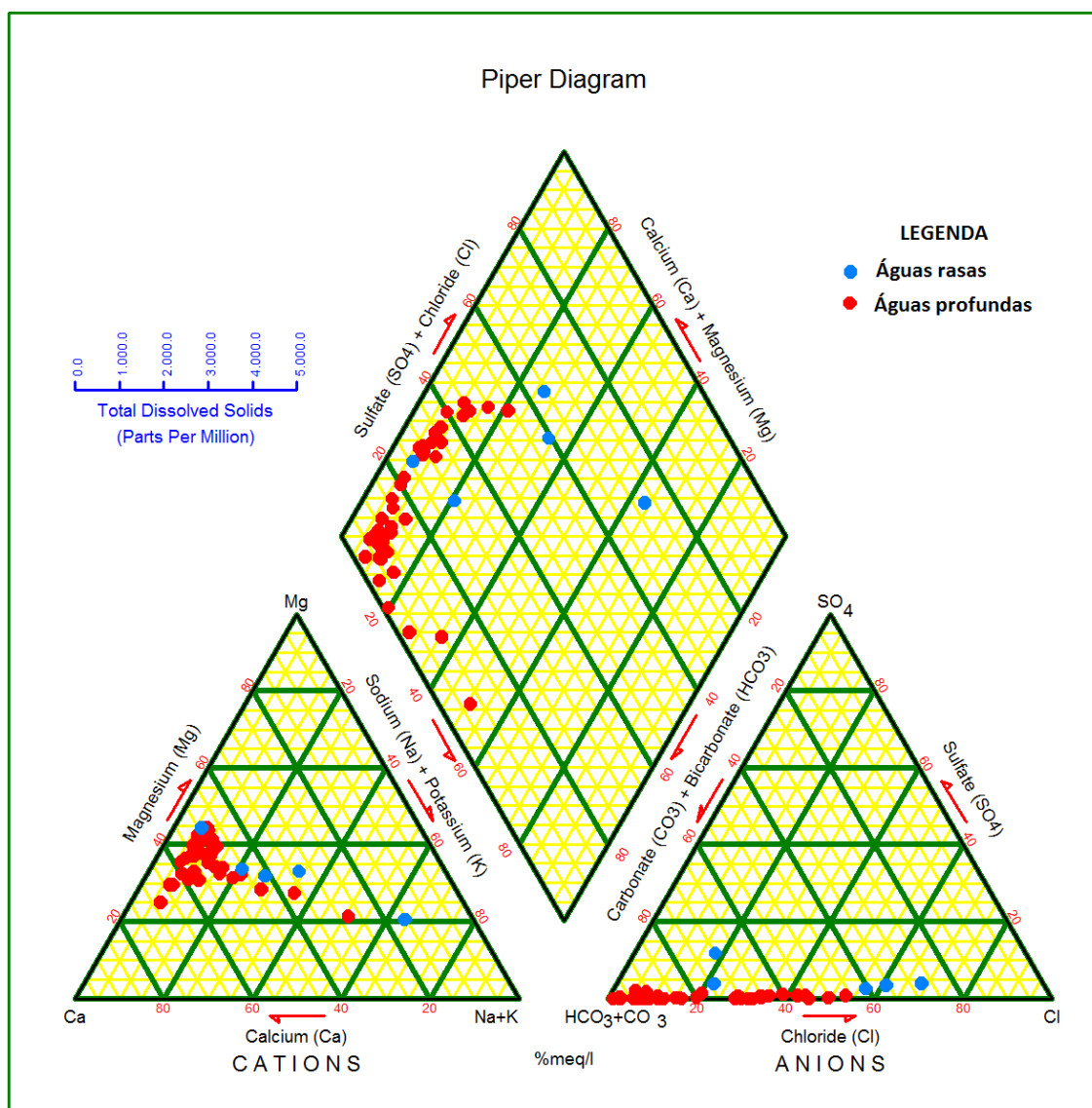


Figura 23. Diagrama de Piper das águas estudadas em Monte Azul Paulista/SP.

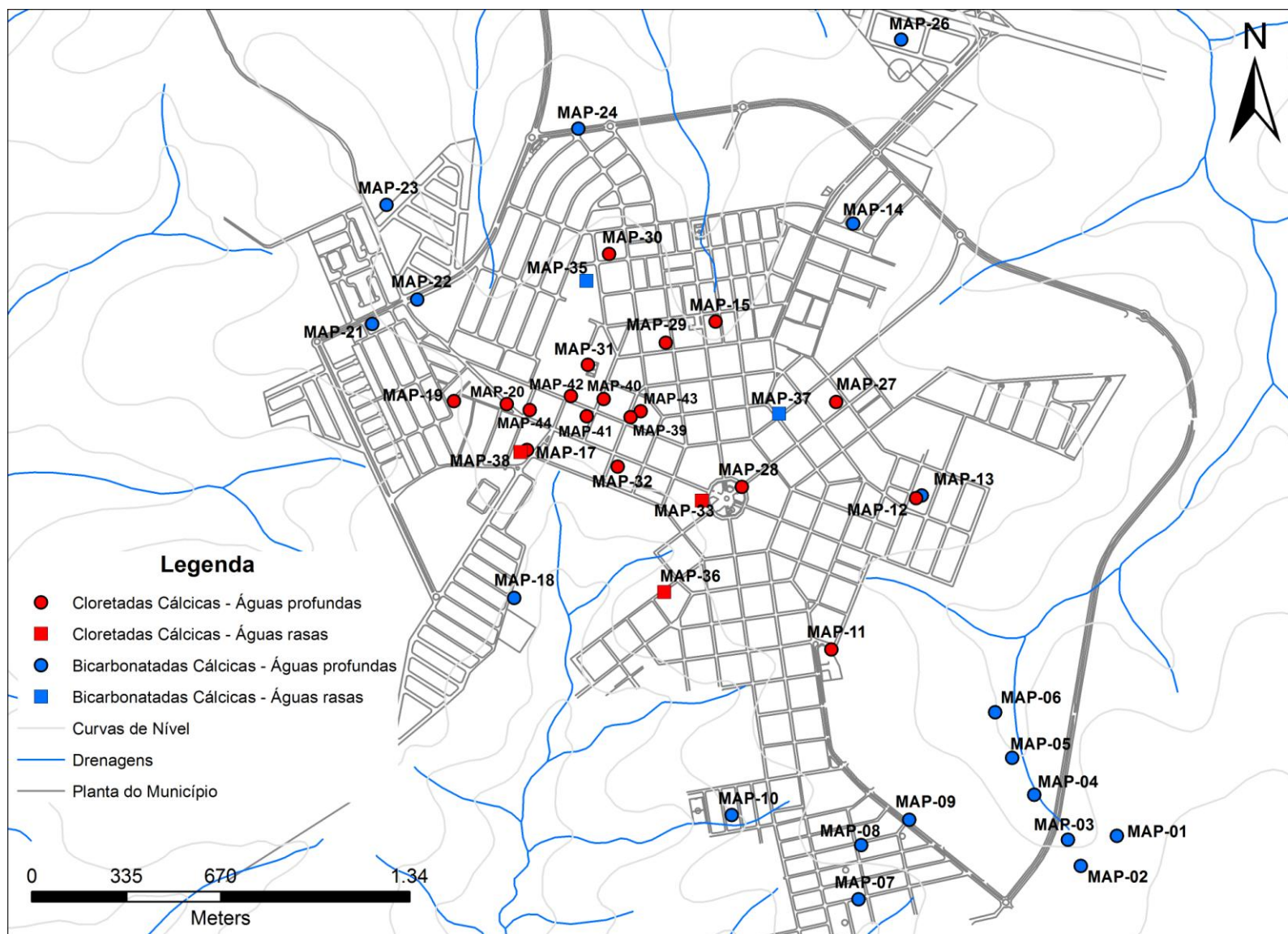


Figura 24. Distribuição dos tipos hidroquímicos na área de estudo.

O tipo hidroquímico dominante, bicarbonatada cálcica, está de acordo com o que foi descrito por diversos autores, dentre eles Campos (1987) e Barison (2003). As águas classificadas como cloretadas cálcicas estão relacionadas àquelas que sofreram intervenção antrópica, com a presença de contaminação por nitrato, oriunda de vazamentos da rede de esgoto, fossas sépticas ou aplicação inadequada de fertilizantes.

As águas bicarbonatadas cálcicas apresentam pH alcalino com valor médio igual a 7,9. A condutividade elétrica média encontrada nesse grupo de amostras é de 206,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e os íons predominantes são o cálcio, sódio, magnésio e o bicarbonato.

Já as cloretadas cálcicas, apresentam pH ligeiramente inferior ao outro tipo hidroquímico, com valor médio de 7,6. A condutividade elétrica deste grupo de amostras é bastante superior, apresentando uma média de 311,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$, e mostram que o cálcio é o cátion predominante, enquanto o cloreto e o nitrato, por sua vez, os ânions que predominam.

Os maiores valores de condutividade elétrica estão distribuídos na região central do município e estão associados às águas cloretadas cálcicas, enquanto que os menores valores de salinidade estão situados nos poços da região sudoeste do município.

Semelhante ao que foi identificado no diagrama de Piper, foi possível observar os dois tipos hidroquímicos no mapa da **Figura 25**. Os diagramas de Stiff localizados na porção central da cidade correspondem às águas cloretadas cálcicas e apresentam tendência de menor alcalinidade. Em contrapartida, nas regiões mais distantes do centro da cidade, as águas bicarbonatadas cálcicas apresentam maiores valores de alcalinidade.

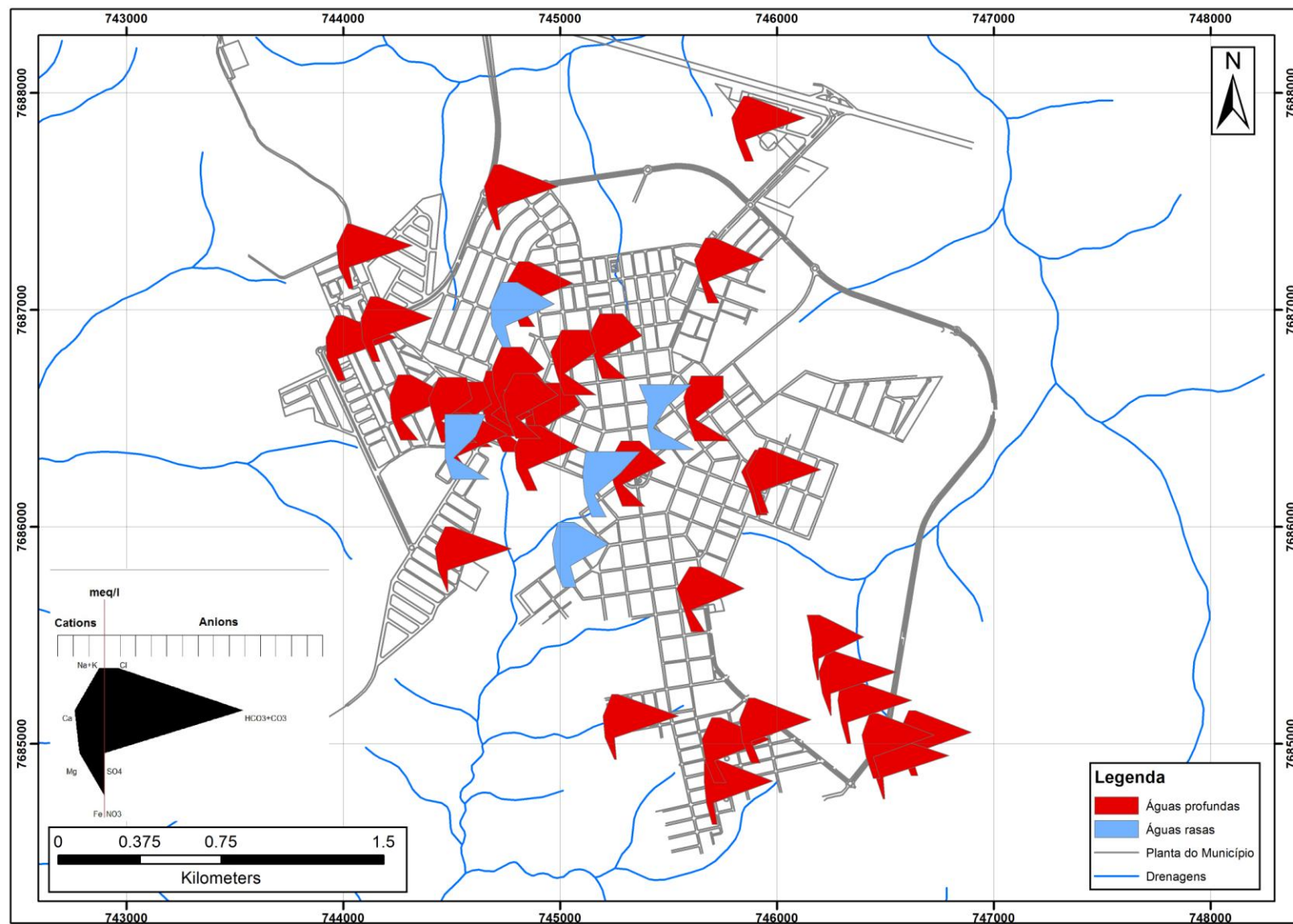


Figura 25. Diagrama de Stiff do Aquífero Adamantina em Monte Azul Paulista/SP.

Outra maneira de classificação das amostras é por meio da análise estatística multivariada dos dados hidroquímicos. Esta pode auxiliar tanto na determinação dos grupos hidroquímicos, quanto complementar na compreensão dos processos geoquímicos envolvidos na evolução das águas subterrâneas dentro do aquífero.

Uma das técnicas comumente empregadas nesta avaliação de dados hidroquímicos é a análise de agrupamentos (*cluster analysis*), que utiliza a similaridade entre os indivíduos para classificar as amostras hierarquicamente em grupos, considerando todas as variáveis determinadas para cada indivíduo.

A análise de agrupamentos resultou no dendrograma apresentado na **Figura 26**, indicando a existência de três grandes grupos de águas, distinguidos pela distância de ligação entre eles.

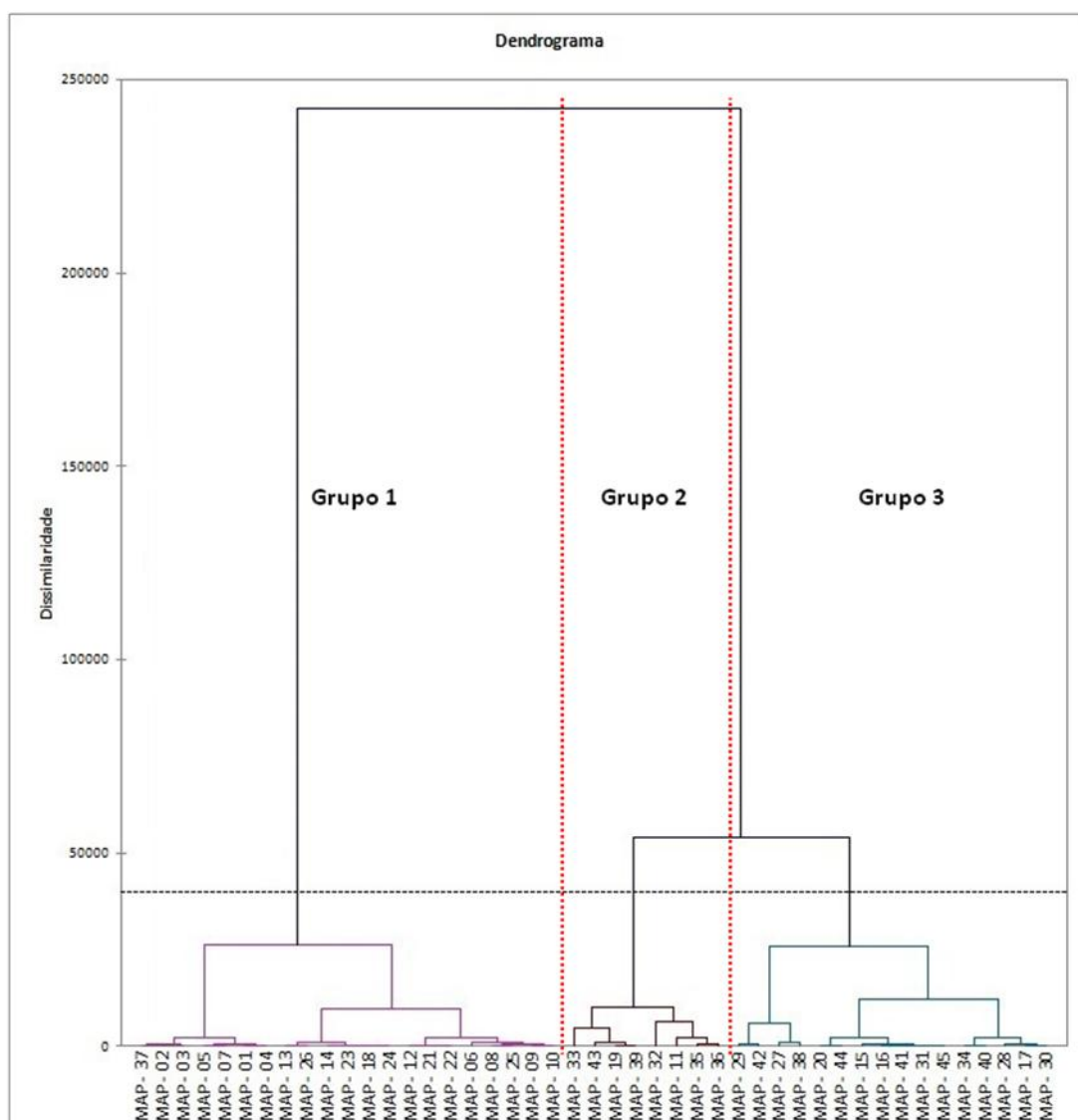


Figura 26. Dendrograma das amostras de água subterrânea do Aquífero Adamantina.

As principais características das amostras classificadas pela análise estatística multivariada podem ser definidas da seguinte maneira:

- **Grupo 01:** Este conjunto de amostras representa as águas com menores concentrações de nitrato, sendo assim, as águas mais representativas do aquífero; estão localizadas predominantemente nas áreas mais afastadas do centro da cidade;
- **Grupo 02:** Amostras com concentrações intermediárias de nitrato e provavelmente o grupo mais representativo das amostras rasas, pois 60% delas estão presentes neste grupo;
- **Grupo 03:** Amostras com maiores concentrações de nitrato e localizadas na porção central do município de Monte Azul Paulista.

O gráfico abaixo expressa os critérios de classificação da análise estatística, sendo representado pela correlação entre o cloreto e nitrato para os três diferentes grupos obtidos (Figura 27).

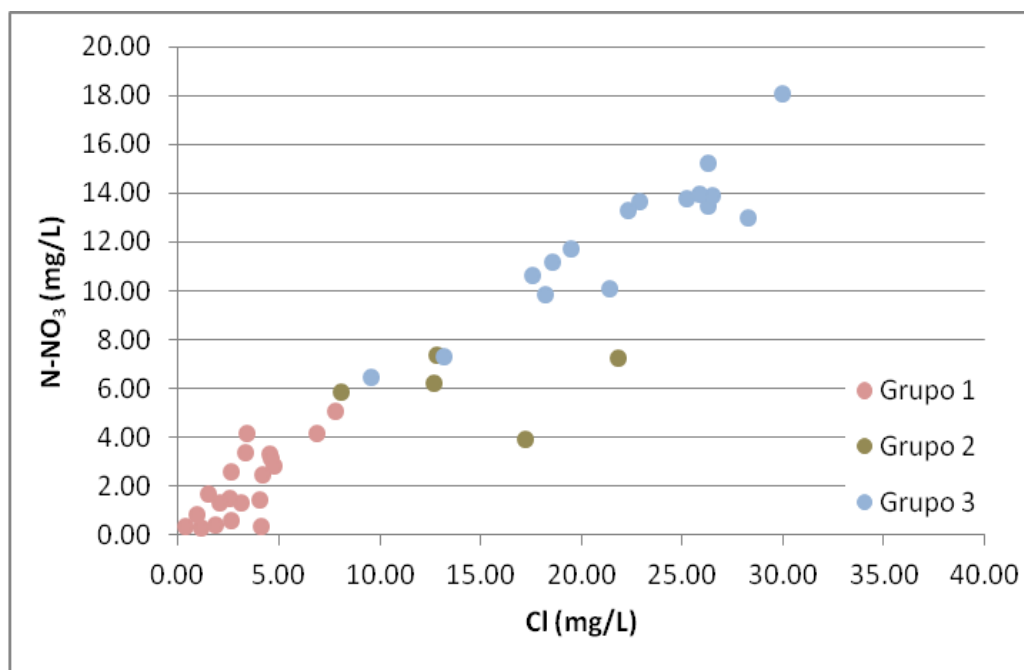


Figura 27. Amostras classificadas de acordo com a análise estatística.

Os grupos obtidos pela análise estatística multivariada são semelhantes àqueles observados na classificação por meio dos diagramas hidroquímicos clássicos, mesmo com a utilização de um número maior de variáveis.

O grupo de amostras classificadas como bicarbonatadas cálcicas pelos métodos gráficos correspondem ao Grupo 1 da análise estatística. Já as amostras cloretadas cálcicas foram separadas pela análise estatística em dois grupos, o Grupo 2 e o Grupo 3, que diferenciam entre si pelas concentrações de nitrato, conforme apresentado na **Tabela 12**.

Tabela 12. Tipos hidroquímicos identificados pelos diferentes métodos de classificação.

Concentração de Nitrato (mg/L N-NO ₃)	Método de classificação das águas	
	Gráfico	Estatístico
Baixo (0 – 5,0)	Bicarbonatada cálcica	Grupo 1
Intermediário (5,1 – 10,0)	Cloretada cálcica	Grupo 2
Alto (> 10,0)		Grupo 3

6.2 Características Físico-Químicas das Águas

As relações entre as características físicas e químicas observadas nas análises das águas subterrâneas e sua distribuição espacial devem refletir as reações de interação entre água e a rocha, bem como soluções de misturas entre águas ocorridas dentro do aquífero.

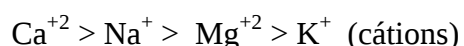
Sendo assim, é importante avaliar o comportamento destes parâmetros e suas relações, os quais podem levar ao entendimento dos processos e mecanismos de evolução hidroquímica destas águas.

As correlações entre os principais cátions e ânions, para os diferentes tipos hidroquímicos identificados, são apresentadas nas **Tabelas 13 e 14**.

A satisfatória correlação entre os principais parâmetros químicos e a condutividade elétrica podem auxiliar no entendimento da evolução hidroquímica destas águas, bem como na elaboração do modelo geoquímico conceitual.

Os resultados obtidos das análises químicas das águas subterrâneas apresentaram a seguinte ordenação dos teores iônicos médios principais para cada tipo hidroquímico:

- **Bicarbonatadas Cálcicas:**



- **Cloretadas Cálcicas:**

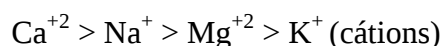
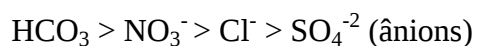


Tabela 13. Matriz de correlação de Pearson para as águas bicarbonatadas cálcicas.

	<i>pH</i>	<i>Temp</i>	<i>CE</i>	HCO_3^-	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2-}	<i>Cl</i>	NO_3^-	SO_4^{2-}	Si^{4+}
<i>pH</i>	1.00	-0.43	-0.49	-0.32	0.53	-0.70	-0.43	-0.46	-0.48	-0.46	-0.46	0.12
<i>Temp</i>		1.00	0.69	0.36	0.23	0.52	0.42	0.38	0.55	0.38	0.76	-0.17
<i>CE</i>			1.00	0.87	0.01	0.73	0.84	0.89	0.92	0.77	0.55	0.29
HCO_3^-				1.00	-0.20	0.59	0.82	0.96	0.76	0.63	0.18	0.59
Na^+					1.00	-0.16	-0.21	-0.31	-0.03	-0.16	0.43	-0.28
K^+						1.00	0.47	0.67	0.61	0.68	0.60	-0.01
Mg^{2+}							1.00	0.81	0.84	0.65	0.30	0.63
Ca^{2-}								1.00	0.81	0.78	0.18	0.51
<i>Cl</i>									1.00	0.82	0.48	0.25
NO_3^-										1.00	0.31	0.23
SO_4^{2-}											1.00	-0.31
Si^{4+}												1.00

Tabela 14. Matriz de correlação de Pearson para as águas cloretadas cálcicas.

	<i>pH</i>	<i>Temp</i>	<i>CE</i>	HCO_3^-	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2-}	<i>Cl</i>	NO_3^-	SO_4^{2-}	Si^{4+}
<i>pH</i>	1.00	-0.33	0.19	0.75	-0.53	-0.78	0.64	0.70	0.35	0.46	-0.43	0.38
<i>Temp</i>		1.00	-0.08	-0.41	-0.11	0.26	-0.34	-0.46	-0.07	-0.19	-0.14	0.16
<i>CE</i>			1.00	0.77	0.33	-0.08	0.79	0.82	0.33	0.45	0.44	-0.05
HCO_3^-				1.00	-0.12	-0.53	0.95	0.95	0.46	0.60	-0.02	0.43
Na^+					1.00	0.63	-0.03	-0.10	-0.13	-0.18	0.90	-0.24
K^+						1.00	-0.46	-0.52	-0.27	-0.36	0.61	-0.26
Mg^{2+}							1.00	0.91	0.48	0.64	0.05	0.52
Ca^{2-}								1.00	0.63	0.76	-0.02	0.43
<i>Cl</i>									1.00	0.93	-0.21	0.65
NO_3^-										1.00	-0.25	0.64
SO_4^{2-}											1.00	-0.36
Si^{4+}												1.00

As concentrações elevadas de nitrato associadas às de cloreto em águas subterrâneas são, normalmente, indicativas de contaminação dos aquíferos pela ação antrópica.

Isto se deve ao fato de que o nitrogênio e seus compostos não são encontrados nas rochas da crosta terrestre, com exceção de algumas ocorrências como sais evaporíticos. Já o cloreto é oriundo da grande quantidade de sal (NaCl) expelido através dos excrementos humanos, tendo em vista que cada pessoa expele pela urina cerca de 4 gramas de cloreto por dia, que representam cerca de 90% a 95% dos excretos humanos (*World Health Organization, 2009*).

A boa correlação encontrada ($R^2 = 0.9283$) entre o Nitrato e o Cloreto (**Figura 28**), reforça a hipótese da contaminação do aquífero por atividade antrópica, uma vez que demonstra que ambas as espécies possuem a mesma origem.

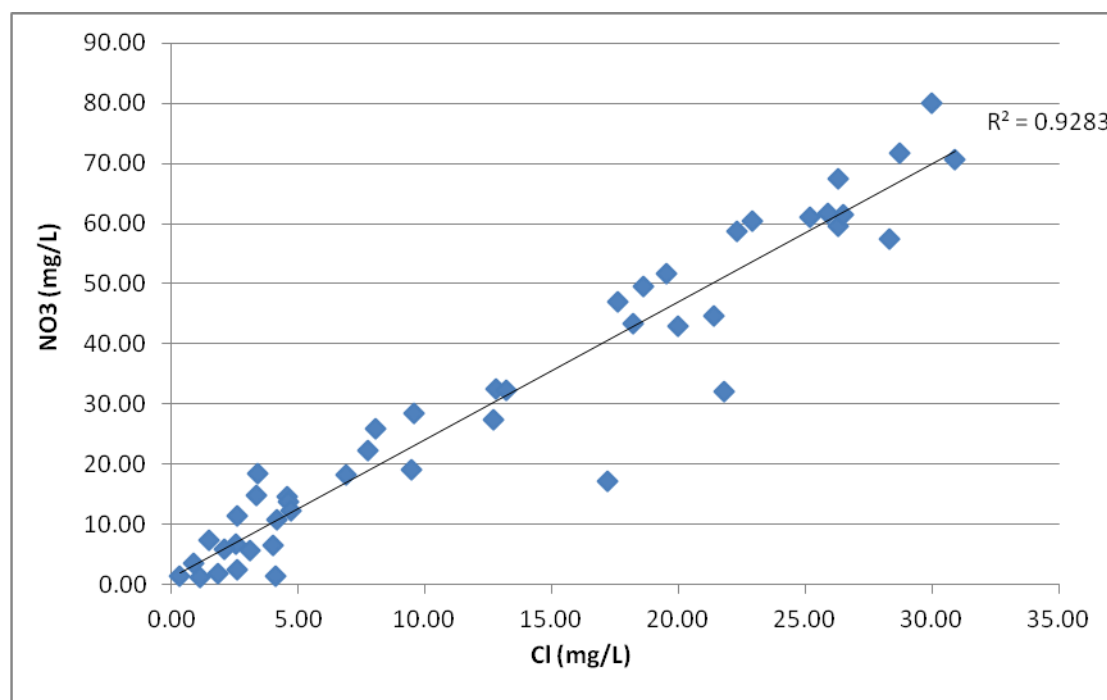


Figura 28. Correlação entre Cloreto (Cl^-) e Nitrato (NO_3^-) nas águas do Aquífero Adamantina, em Monte Azul Paulista/SP.

Em função de o nitrato ser o principal ânion presente nas águas cloretadas cálcicas, seria esperada uma relação linear entre as suas concentrações e a quantidade de sólidos totais dissolvidos (TDS), o que ficou constatado no gráfico da **Figura 29**.

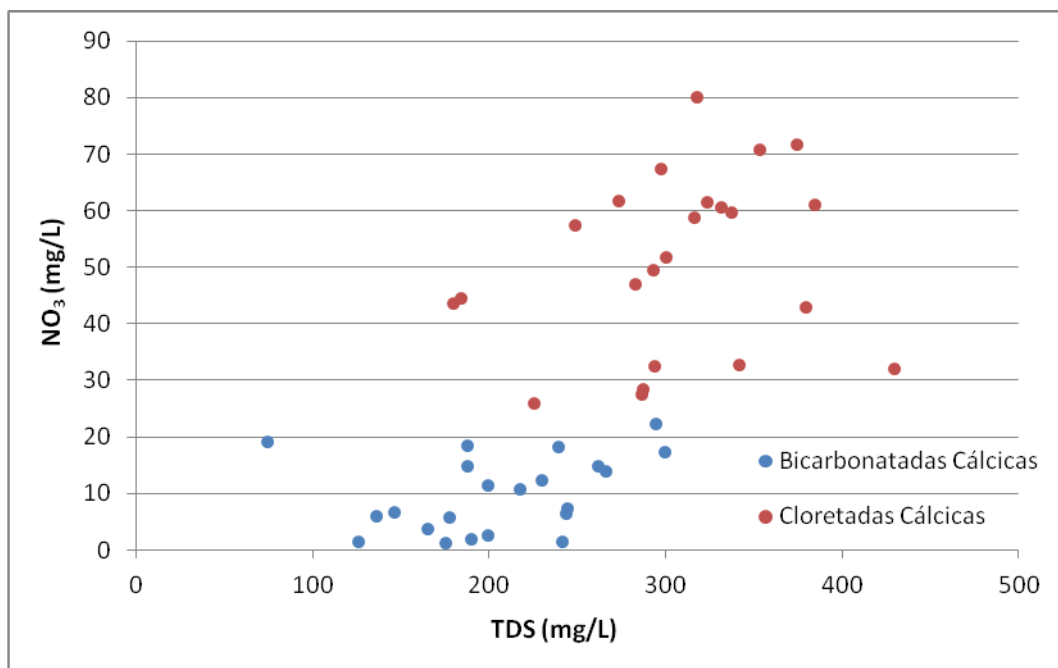


Figura 29. Gráfico de correlação entre Sólidos Totais Dissolvidos e Nitrato.

É possível verificar uma excelente correlação entre as concentrações de Ca^{2+} e HCO_3^- , atestando que tais espécies são oriundas de uma mesma fonte (**Figura 30**).

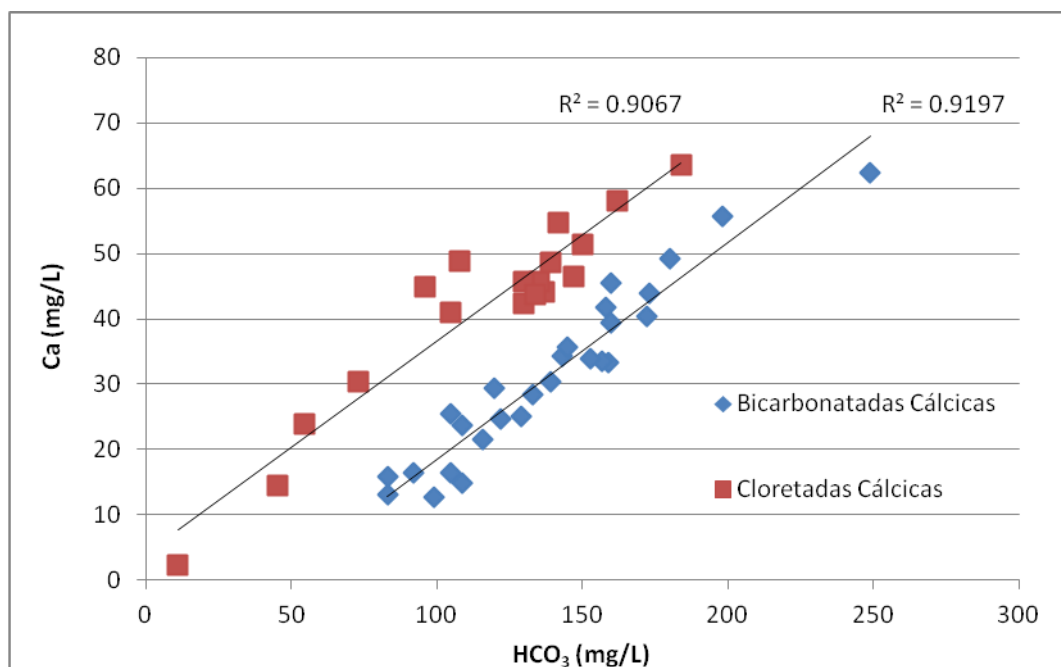


Figura 30. Gráfico de correlação entre Bicarbonato e Cálcio.

O equilíbrio em carbonatos foi analisado por meio do índice de saturação de calcita, em que se observou que a maior parte das amostras analisadas se encontra saturada em

relação à calcita. Dentre as 45 amostras analisadas, 27 apresentam-se saturadas e 18 insaturadas.

As elevadas concentrações de HCO_3^- e Ca^{2+} atestam a contribuição de minerais carbonáticos para a composição das amostras analisadas. Este fato é corroborado pela identificação de cimentação carbonática, ainda que incipiente, nas rochas que compõe o aquífero estudado. Tendo em vista este cenário, supõe-se que as águas do aquífero profundo estão em equilíbrio químico com a calcita.

Entretanto, é verificado que algumas amostras admitidas como mais representativas do aquífero apresentam uma condição de subsaturação em calcita, embora próximas do equilíbrio com este mineral. Esta condição de subsaturação pode ser explicada pelo incremento de CO_2 atmosférico durante o processo de amostragem, que é responsável pela redução dos valores de pH e, conseqüentemente, dos valores de índice de saturação da calcita.

Admitindo-se que as premissas acima são realistas, foram realizadas simulações no aplicativo *Phreeqc*, impondo uma condição de equilíbrio com a calcita para amostras mais representativas do aquífero profundo e que ostentam insaturação em calcita. Com base nestas simulações foram identificados os valores de pH teoricamente mais próximos das condições naturais do aquífero.

A distribuição das amostras está apresentada na **Figura 31**, na qual é possível notar que as amostras saturadas são associadas àquelas com menor influência de contaminação antrópica, ou seja, mais representativas do aquífero. Todas as amostras dos poços rasos, bem como a amostra coletada na nascente apresentaram-se insaturadas pelo fato de estarem em equilíbrio com o CO_2 atmosférico e estarem recebendo contínuo fluxo de recarga.

As amostras com elevadas concentrações de nitrato apresentam uma tendência de insaturação em calcita. Esse fato pode ser comprovado pela simulação de mistura realizada no *Phreeqc* entre uma água profunda, ausente de contaminantes e saturada em calcita, com uma água contaminada rasa e insaturada. Nota-se na **Tabela 15** que a partir da primeira mistura, em que são adicionados 20% de água contaminada, a solução resultante torna-se insaturada.

Tabela 15. Índice de saturação da calcita para as amostras (identificadas como MAP) geradas por simulação.

Solução A (Aquífero)	Solução B (Contaminada)	I Sat Calcita
MAP-23 (100%)	MAP-33 (0%)	0.03
MAP-23 (80%)	MAP-33 (20%)	-0.01
MAP-23 (60%)	MAP-33 (40%)	-0.25
MAP-23 (40%)	MAP-33 (60%)	-0.43
MAP-23 (20%)	MAP-33 (80%)	-0.60

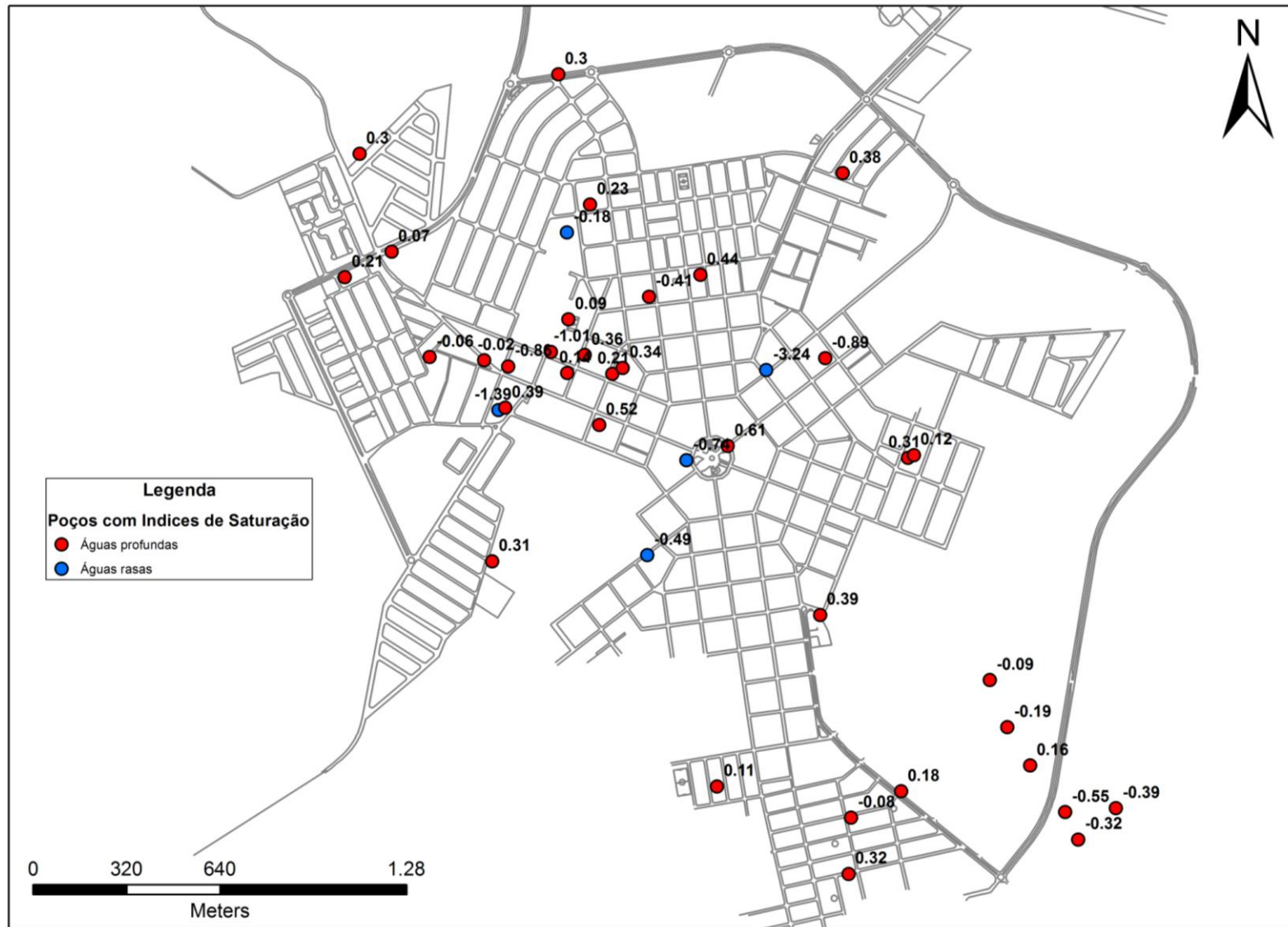


Figura 31. Distribuição espacial dos valores de Índice de Saturação da Calcita.

Para auxiliar na compreensão e visualização do modelo hidrogeoquímico, que será exposto no próximo capítulo, foi realizada uma simulação por modelagem matemática (*Phreeqc*) entre as duas amostras mais representativas dos diferentes contextos hidroquímicos de Monte Azul Paulista.

Para esse experimento foram selecionadas as amostras MAP-23 e MAP-33, que representam, respectivamente, a água mais representativa do aquífero profundo, com nenhuma ou pouca concentração de nitrato, e uma amostra de água rasa com elevada concentração de nitrato.

No total, foram realizadas quatro simulações de misturas entre essas duas amostras, nas seguintes proporções: 20%, 40%, 60% e 80%.

As características químicas das águas iniciais e das diferentes concentrações de mistura são apresentadas na **Tabela 16**.

Tabela 16. Resultados químicos das simulações de mistura.

Parâmetros	Solução 0%	Solução 20%	Solução 40%	Solução 60%	Solução 80%	Solução 100%
Profundidade	150	x	x	x	x	Nascente
TDS	244.7	248.9	273.0	296.7	320.3	379.2
I sat	0.3	-0.01	-0.25	-0.43	-0.6	-0.74
pH	8.00	7.68	7.4	7.2	7.1	7.0
HCO₃⁻	157	142	134	124	115	130
CO₃²⁻	0	0	0	0	0	0
Na	6.0	12.0	17.9	23.9	29.9	35.9
K	2.5	4.0	5.4	6.8	8.2	9.7
Cl⁻	1.4	16.1	30.9	45.5	60.3	75.1
NO₃⁻	7.3	14.4	21.5	28.7	35.8	43.0
[N] NO₃	1.6	3.2	4.8	6.4	8.1	9.7
SO₄²⁻	0	1.4	2.7	4.1	5.5	8.0
Ca	33.5	35.8	38.3	40.7	43.2	45.7
Fe	0	0	0	0	0	0
Mg	9.9	10.5	11.2	11.8	12.4	13.1
Si	26.4	11.5	10.7	9.9	9.1	17.8

A partir dos resultados químicos das diferentes soluções de mistura, as amostras foram plotadas no Diagrama de Piper (**Figura 32**), onde é possível observar que, na medida em que há um incremento da solução altamente contaminada, há também uma tendência no aumento do sódio e do cloreto, como era de se esperar.

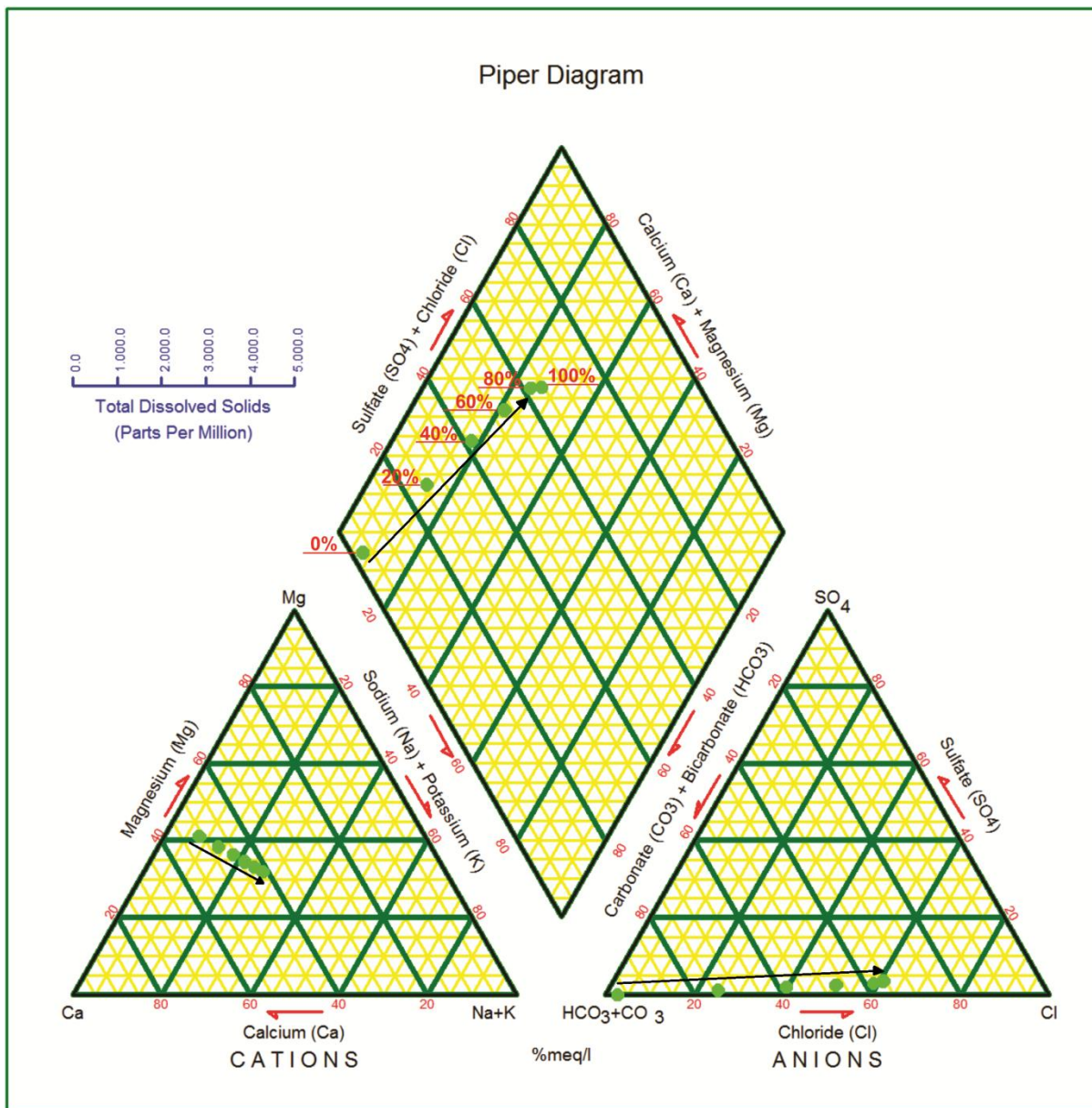


Figura 32. Amostras geradas pelas simulações de misturas.

6.3 Distribuição das Concentrações de Nitrato nas Águas de Monte Azul Paulista

As concentrações de nitrato serão tratadas separadamente dos demais parâmetros hidroquímicos devido a sua relevância no contexto do trabalho e no entendimento do cenário hidrogeológico e hidroquímico no qual o município está inserido.

Neste capítulo, além das amostras já mencionadas anteriormente, foram adicionadas as campanhas de amostragens realizadas pelo SAEMAP em épocas distintas: Outubro/2011, Janeiro/2012 e Setembro/2012. Neste caso somente o nitrato foi analisado. Sendo assim, foi utilizado um total de 85 análises químicas de nitrato, cujos resultados analíticos estão apresentados na **Tabela 17**.

De todos os 85 poços amostrados entre Outubro/2011 e Novembro/2013, incluindo aqueles utilizados pela prefeitura para abastecimento público, 57 poços, ou 67% do total, apresentaram concentrações anômalas de nitrato, considerada acima de 5 mg/L. Dentre esses, 42 poços apresentaram valores acima daquele estipulado pela Portaria MS-2914/11 como aceitável para consumo humano, que é de 10 mg/L.

Todos os resultados das análises químicas de nitrato foram compilados num banco de dados contendo as coordenadas geográficas dos pontos de coleta, as quais foram projetadas espacialmente, conforme observado na **Figura 33**. As amostras foram classificadas em três grupos, como seguem:

- Amostras com N-NO_3 abaixo de 5 mg/L, ou seja, com nenhuma ou pouca interferência externa (marcados em VERDE);
- Amostras com concentração de N-NO_3 entre 5,1 mg/L até 9,9 mg/L, (são valores classificados como anômalos e, portanto, necessitam de amostragens periódicas - poços marcados em AZUL);
- Amostras com concentração acima de 10 mg/L de N-NO_3 (valores acima dos limites estabelecidos pelos órgãos reguladores – poços marcados em VERMELHO);

Tabela 17. Concentração de Nitrato nos poços estudados.

ID	Coord. X	Coord. Y	Concentração de N-NO ₃ (mg/L)				
			Out/11	Jan/12	Set/12	Abr/13	Nov/13
Poço 1	746732	7685052	1.00	1.18	-	1.51	-
Poço 2	746603	7684945	0.34	0.29	-	0.34	-
Poço 3	746558	7685039	1.56	1.28	-	1.33	-
Poço 4	746438	7685199	0.92	1.11	-	0.82	-
Poço 5	746360	7685330	0.33	0.25	-	0.27	-
Poço 6	746300	7685492	0.42	0.45	-	0.42	-
Poço 7	746019	7686253	5.26	4.90	-	5.04	--
Poço 8	746039	7686263	2.30	2.20	-	3.14	-
Poço 9	745718	7685715	6.98	7.10	-	7.36	-
Poço 10	745995	7685110	2.73	3.70	-	2.58	-
Poço 11	745824	7685020	3.40	3.70	-	3.32	-
Poço 12 A	745800	7684800	2.49	2.60	-	-	-
Poço 12 B	745815	7684827	1.31	1.50	-	1.29	-
Poço 13	744638	7686425	6.92	7.00	-	7.32	-
Poço 14	744379	7686599	7.62	5.80	-	5.87	-
Poço 15	745401	7686294	-	-	-	13.80	-
Poço 16	745307	7686881	11.80	14.70	-	13.46	-
Poço 17	744847	7686578	10.30	14.50	-	13.87	-
Poço 17 B	744910	7686606	-	-	-	11.70	-
Poço 18	745795	7687230	4.29	4.10	-	4.13	--
Poço 19	744248	7686960	1.53	2.45	-	2.44	-
Poço 20	744593	7685899	0.41	0.29	-	0.34	-
Poço 21	744566	7686588	11.20	12.90	-	18.07	-
Poço 22	745364	7685127	0.50	0.65	-	0.59	-
Poço 23	744088	7686873	2.31	2.50	-	2.80	-
Poço 24	744929	7687122	3.64	7.70	-	6.44	-
Poço 26	737924	7689787	4.09	4.80	-	4.18	-
Poço 27	744820	7687568	1.50	1.57	-	1.46	-
Poço 28	744139	7687296	1.36	1.56	-	1.65	-
Poço APAE	745966	7687884	3.07	3.80	-	3.34	-
Poço AMA	744854	7686728	16.40	15.10	-	13.67	-
Poço Hospital	745735	7686595	10.30	10.50	-	9.83	-
Particular	744960	7686366	-	-	-	7.25	-
Particular	745041	7686562	19.30	-	-	15.97	-
Particular	745005	7686541	19.00	-	-	16.20	-
Particular	744794	7686617	14.20	-	-	12.97	-
Particular	744648	7686567	18.6	-	-	15.23	-
Particular	744850	7686544	16.6	-	-	13.28	-
Particular	745319	7686180	-	-	13.2	-	-
Particular	745373	7686350	-	-	15.9	-	-
Particular	744605	7686468	-	-	8.6	-	-
Particular	744539	7686419	-	-	15.9	-	-
Particular	745267	7686442	-	-	14.2	-	-

Tabela 17. Concentração de Nitrato nos poços estudados (continuação).

ID	Coord. X	Coord. Y	Concentração de N-NO ₃ (mg/L)				Nov/13
			Out/11	Jan/12	Set/12	Abr/13	
Particular	745248	7686416	-	-	13.7	-	-
Particular	745097	7686300	-	-	12.6	-	-
Particular	745086	7686745	-	-	15.6	-	-
Particular	744878	7687009	-	-	3.6	-	-
Particular	744908	7686302	-	-	10.8	-	-
Particular	744414	7686524	-	-	18.8	-	-
Particular	745049	7686450	-	-	13.8	-	-
Particular	745090	7686431	-	-	13.4	-	-
Particular	745015	7686336	-	-	11.3	-	-
Particular	745314	7686621	-	-	12.9	-	-
Particular	745327	7686678	-	-	14	-	-
Particular	745346	7686388	-	-	17.5	-	-
Particular	744876	7687087	-	-	6	-	-
Particular	745394	7686047	-	-	4.8	-	-
Particular	746039	7686314	-	-	4.1	-	-
Particular	746145	7686376	-	-	4.1	-	--
Particular	746018	7686464	-	-	1.9	-	-
Particular	745646	7686374	-	-	11.3	-	-
Particular	745778	7687038	-	-	7.3	-	-
Particular	745746	7686956	-	-	5.1	-	-
Particular	745786	7686979	-	-	8	-	-
Particular	745085	7686408	-	-	14.1	-	-
Particular	746575	7686616	-	-	1.3	-	-
Particular	744700	7686514	-	-	15.3	-	-
Particular	744668	7686560	-	-	15.3	-	-
Particular	744910	7686606	-	-	10.62	-	-
Particular	745218	7686292	-	-	17.20	-	-
Particular	745405	7686014	-	-	14.70	-	-
Particular	745372	7685962	-	-	16.10	-	-
Particular	745324	7686114	-	-	14.30	-	-
Particular	745589	7686503	-	-	11.60	-	-
Particular	745614	7686401	-	-	12.80	-	-
Particular	745776	7686375	-	-	8.80	-	-
Particular	745675	7685366	-	-	15.90	-	-
Particular	745245	7686593	-	-	14.20	-	-
Particular	744910	7686606	-	-	13.87	-	-
Particular	745131	7686806	-	-	13.94	-	-
Água de mina	745259	7686245	-	-	-	9.71	-
Poço Caçimba	744849	7687026	-	-	-	-	3.91
Poço Caçimba	745125	7685920	-	-	-	-	6.21
Poço de Monitoramento	745533	7686554	-	-	-	-	4.31
Poço de Monitoramento	744615	7686417	-	-	-	-	10.07

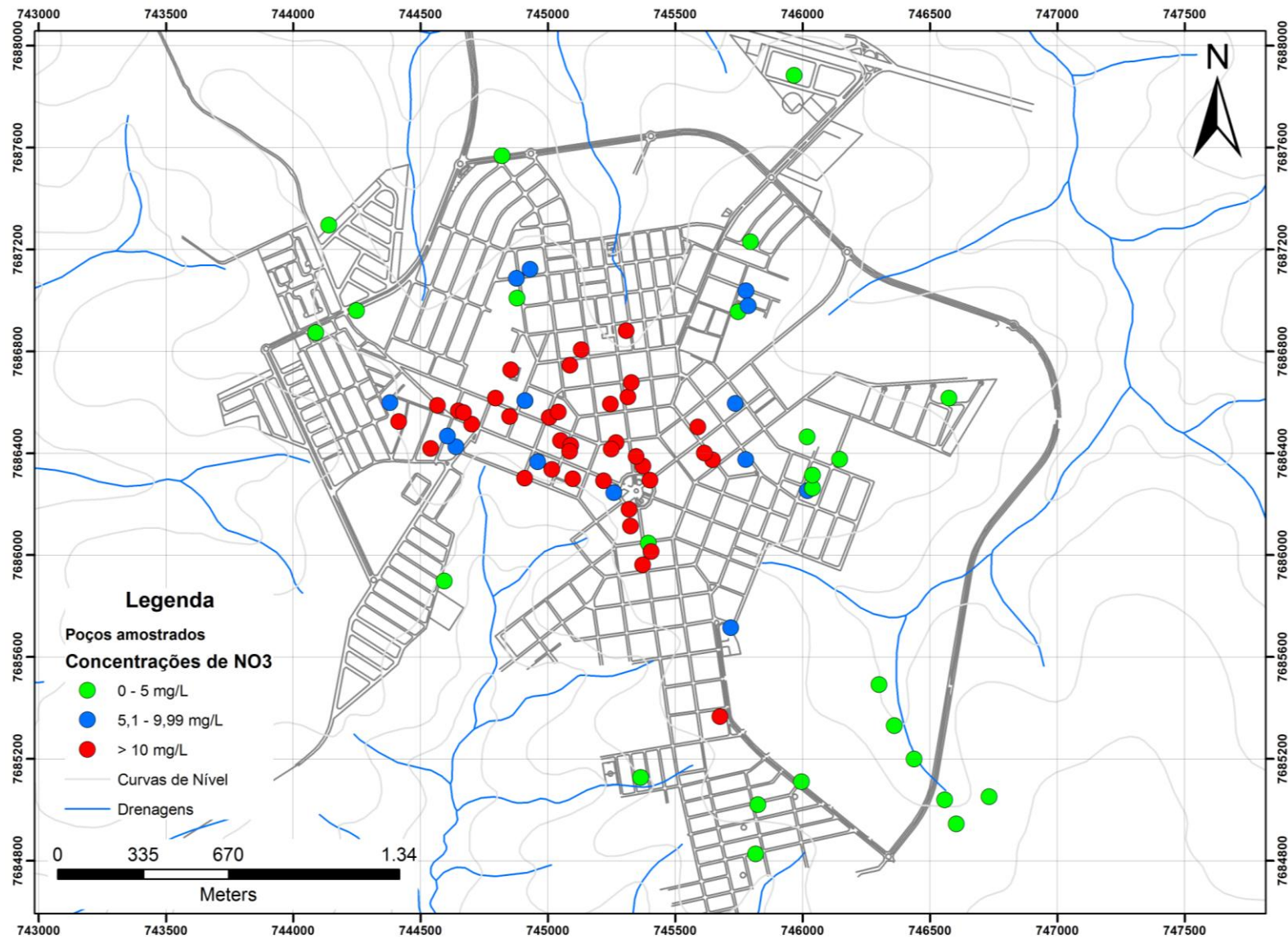


Figura 33. Planta da zona urbana de Monte Azul Paulista com distribuição dos pontos amostrados, constantes na **Tabela 17**.

A análise temporal desses resultados permitiu concluir que as variações dos períodos de chuva e de estiagem não interferem ou intervêm muito pouco nas concentrações de nitrato das águas subterrâneas. Tal fato pode ser comprovado pela baixa média (0,58) dos desvios padrões das amostras coletadas em diferentes épocas, valor este considerado muito baixo para causar anomalias significativas (**Figura 34**).

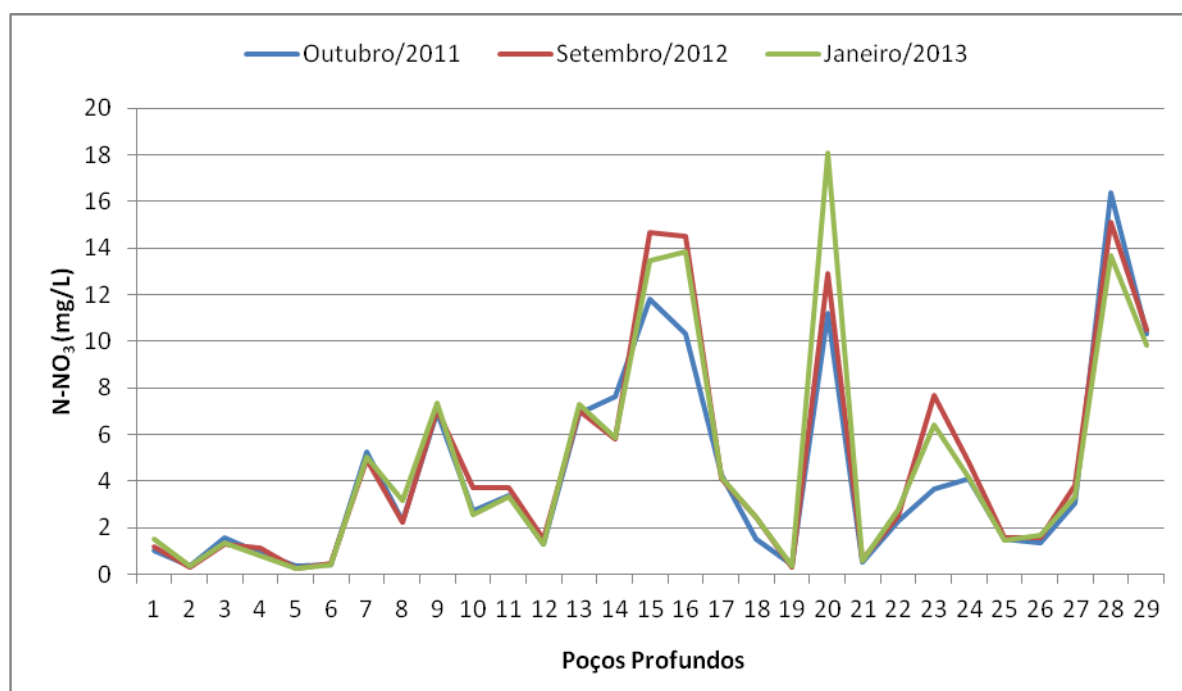


Figura 34. Gráfico de análise temporal das concentrações de nitrato.

A distribuição espacial das concentrações de nitrato permitiu a construção de um mapa de isovalores de nitrato, por meio do método de interpolação da *krigagem*, e possibilitou a verificação da distribuição aproximada das concentrações em cada região do município, conforme a **Figura 35**.

Nota-se que a porção central da zona urbana se destaca por apresentar as maiores concentrações de nitrato. Essa região do município é a parte habitada por mais tempo, o que sugere que haja maior quantidade de fossas sépticas, que as tubulações de esgoto sejam mais antigas e que, portanto, haja maior volume de contaminante.

A configuração da pluma de contaminação de nitrato assemelha-se com a da distribuição da potenciometria superficial em Monte Azul Paulista. Tal fato pode ser explicado, pelo contaminante que se concentra em maior quantidade na porção superior do aquífero e, em função da sua alta solubilidade e mobilidade, acaba se dispersando de acordo com o sentido do fluxo subterrâneo raso.

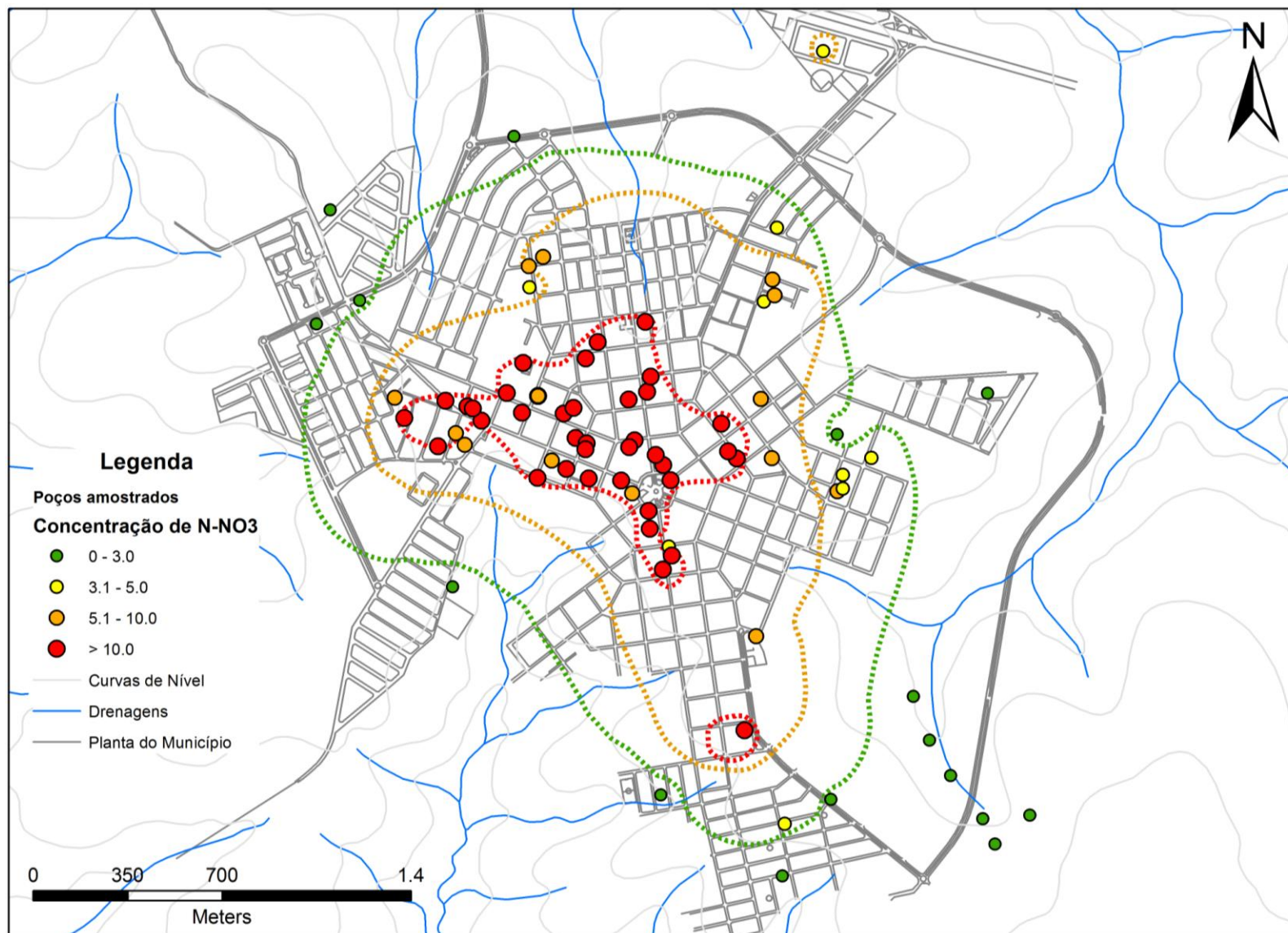


Figura 35. Mapa de curvas de isovalores de nitrato da zona urbana de Monte Azul Paulista/SP.

7. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL

No decorrer deste estudo foram levantadas, interpretadas e integradas diversas informações de natureza cartográfica, hidrogeológica, geofísica e hidroquímica a respeito do Aquífero Adamantina, as quais fundamentaram as discussões desse capítulo e permitiram a elaboração de um modelo hidrogeológico conceitual para o município de Monte Azul Paulista.

O Aquífero Adamantina apresenta uma espessura média de 140 metros ao longo da área urbana do município, podendo atingir 152 metros nas porções mais elevadas. Logo abaixo desta unidade geológica encontram-se os basaltos do Aquífero Serra Geral que, de acordo com informações de poços profundos da região, apresenta espessura aproximada de 640 metros até atingir o Sistema Aquífero Guarani.

A partir da descrição visual das amostras de calha retiradas durante a perfuração, e analisando a perfilagem geofísica realizada após a perfuração do poço tubular profundo na região mais elevada do município, foi possível identificar três horizontes litoestratigráficos bem definidos: da superfície até 40 metros de profundidade ocorrem sedimentos predominantemente arenosos, sobrepondo-se uma espessa camada de sedimentos argilosos de 40 metros de espessura. Na porção basal desta unidade, entre 80 m e 150 m, voltam a ocorrer os sedimentos areno-argilosos.

Condicionada pela presença dessa espessa camada de sedimentos argilosos foram identificadas duas potenciometrias distintas para o Aquífero Adamantina na zona urbana do município. A superior, localizada entre a superfície e 40 metros de profundidade, apresenta fluxo radial da porção central para as regiões periféricas da área urbana. Já a potenciometria inferior, teoricamente confinada entre 80 m e 150 m de profundidade, apresenta fluxo unidirecional, com direção SW, seguindo o padrão hidrogeológico regional.

Ao longo da área urbana do município foram identificados, no cadastro dos órgãos oficiais (DAEE, CPRM e SAEMAP), um total de 71 poços tubulares. Porém, sabe-se que nem todos os poços perfurados são registrados nestes órgãos, fato este comprovado quando foram coletadas amostras de água de 85 poços na zona urbana para a visualização da distribuição espacial de nitrato ao longo do município.

Esta elevada quantidade de poços perfurados no município foi o motivo para que houvesse um desconfinamento parcial das porções mais profundas deste aquífero.

Para compreensão do contexto hidroquímico do Aquífero Adamantina em Monte Azul Paulista, foram coletadas para este estudo 45 amostras de águas, sendo 40 de poços tubulares profundos e 5 de águas rasas, estas últimas retiradas de 2 poços de monitoramento, 2 poços cacimba e 1 nascente.

Com as análises químicas de água foi possível identificar dois tipos hidroquímicos no município: as águas bicarbonatadas cálcicas, as quais estão associadas àquelas com nenhuma ou baixa influência de contaminação antrópica, e as águas cloretadas cálcicas, as quais se relacionam com as águas sob influência de contaminação de nitrato. A partir da análise estatística multivariada dos dados notou-se que, além destes mesmos dois tipos hidroquímicos, um terceiro grupo foi identificado, que seria uma classe intermediária entre os dois citados acima, estando mais próximos, a partir de suas características químicas, das águas cloretadas cálcicas.

As elevadas concentrações de nitrato na água subterrânea estão relacionadas à infiltração de efluentes domésticos oriundos de vazamentos de tubulações da rede de esgotos e/ou por meio das fossas sépticas. Embora seja de conhecimento que esse contaminante é proveniente da superfície, é possível notar que ele já se distribuiu em profundidade, não estando restrito somente às camadas superficiais. Tal fato pode ser comprovado pela **Figura 36**, em que não se percebe uma relação direta entre a profundidade dos poços e as concentrações de nitrato.

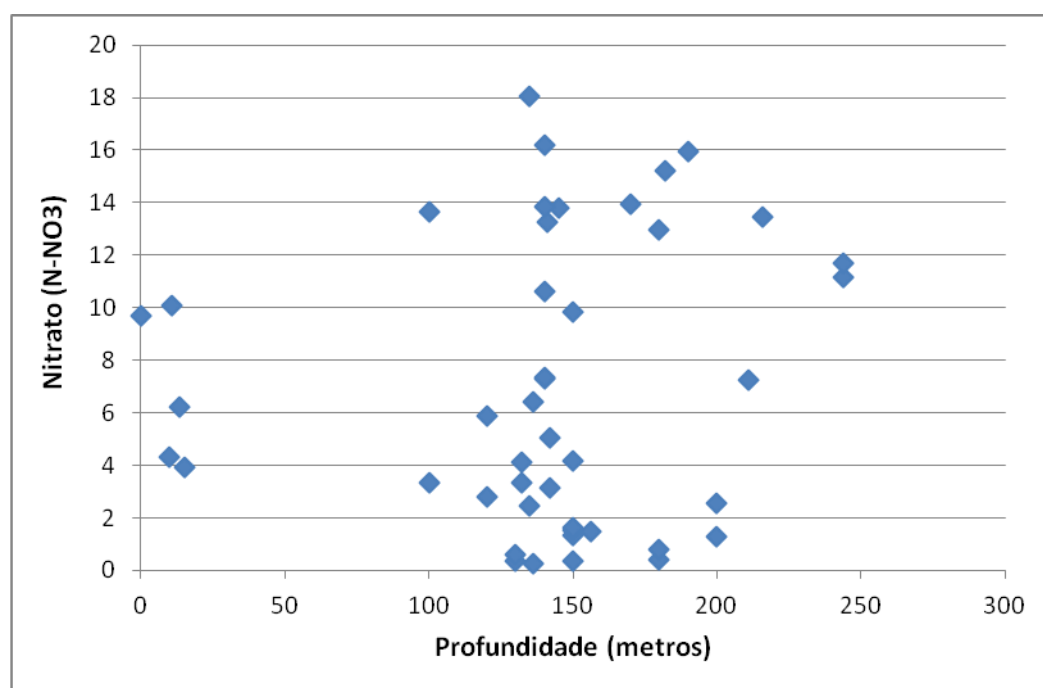


Figura 36. Gráfico correlacionando a profundidade dos poços e as concentrações de N-NO₃.

Além deste gráfico de distribuição do nitrato em profundidade, outra constatação de que o nitrato atingiu grandes profundidades no aquífero pôde ser verificada a partir da perfuração do poço tubular profundo da Escola Aureliano situado em área do município considerada crítica. O poço foi construído com tubo liso até 40 metros de profundidade, ou seja, não está captando água neste intervalo. O nível estático foi medido em 80 metros de profundidade, de forma que a água que está sendo captada por esse poço provém das porções mais profundas do Aquífero Adamantina, entre 80 m e 152 m de profundidade. De acordo com as amostragens realizadas, as concentrações de nitrato nesta captação variam entre 10,62 mg/L e 13,87 mg/L de N-NO_3 .

Com isso, constatou-se que, além da água superficial conter altos teores de NO_3 , a água do aquífero profundo também apresenta, na área central do município, teores elevados de nitrato.

A hidroquímica teve um papel importante no esclarecimento e na confirmação de que está havendo uma mistura entre o aquífero superficial contaminado e o aquífero profundo, cuja contaminação está aumentando cada vez mais. Para isso foi feita uma simulação de mistura entre uma água superficial contaminada e uma água profunda com nenhuma ou baixíssima concentração de nitrato. Os resultados da simulação para as diferentes taxas de mistura de 20%, 40%, 60% e 80% foram inseridos no diagrama de piper (**Figura 37**).

A partir desse diagrama foi possível notar que as diferentes proporções de misturas simuladas pelo software matemático apresentam as mesmas características das águas classificadas como cloretadas cálcicas. Além disso, pôde-se, ainda que estimado, avaliar quantitativamente a proporção de mistura entre água limpa e água contaminada.

Portanto, pode-se deduzir que as águas superficiais com altas concentrações de nitrato estão infiltrando para as porções mais profundas deste aquífero, por meio do grande número de poços tubulares perfurados no município. As seções hidrogeológicas elaboradas das **Figuras 38 e 39** resume o contexto no qual o município de Monte Azul Paulista está inserido.

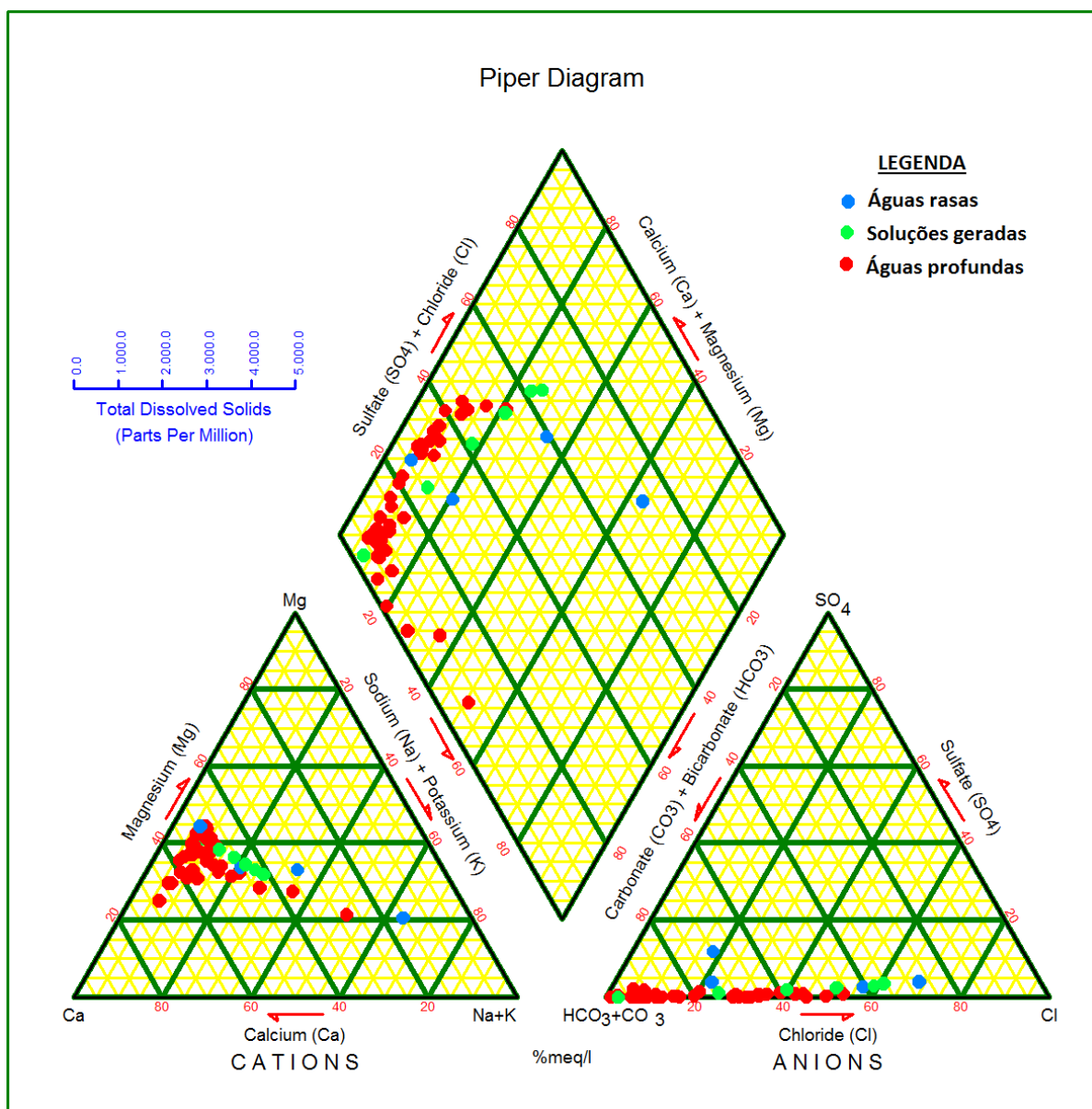


Figura 37. Diagrama de Piper com as soluções de misturas e as amostras de Monte Azul Paulista.

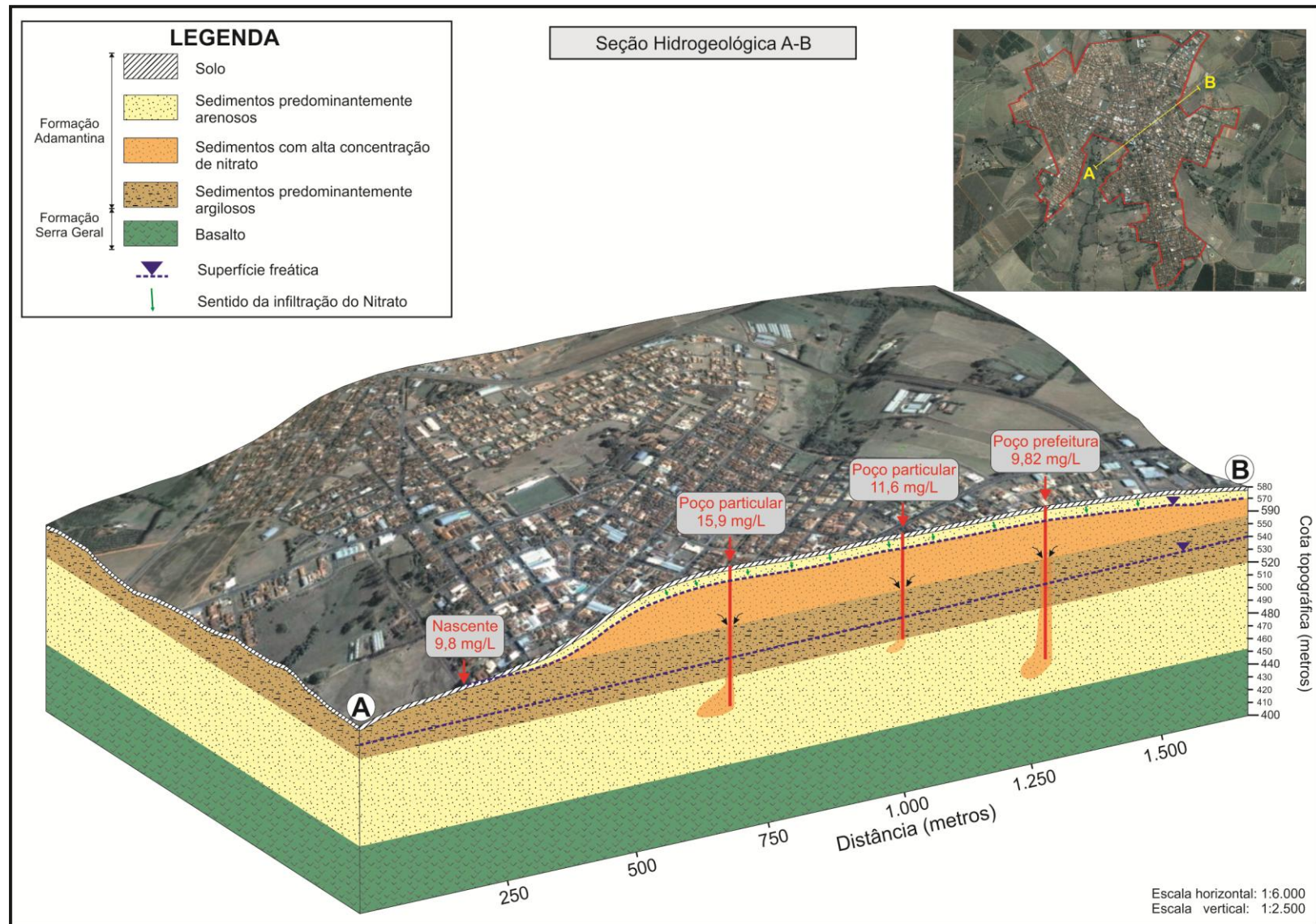


Figura 38. Seção hidrogeológica A-B.

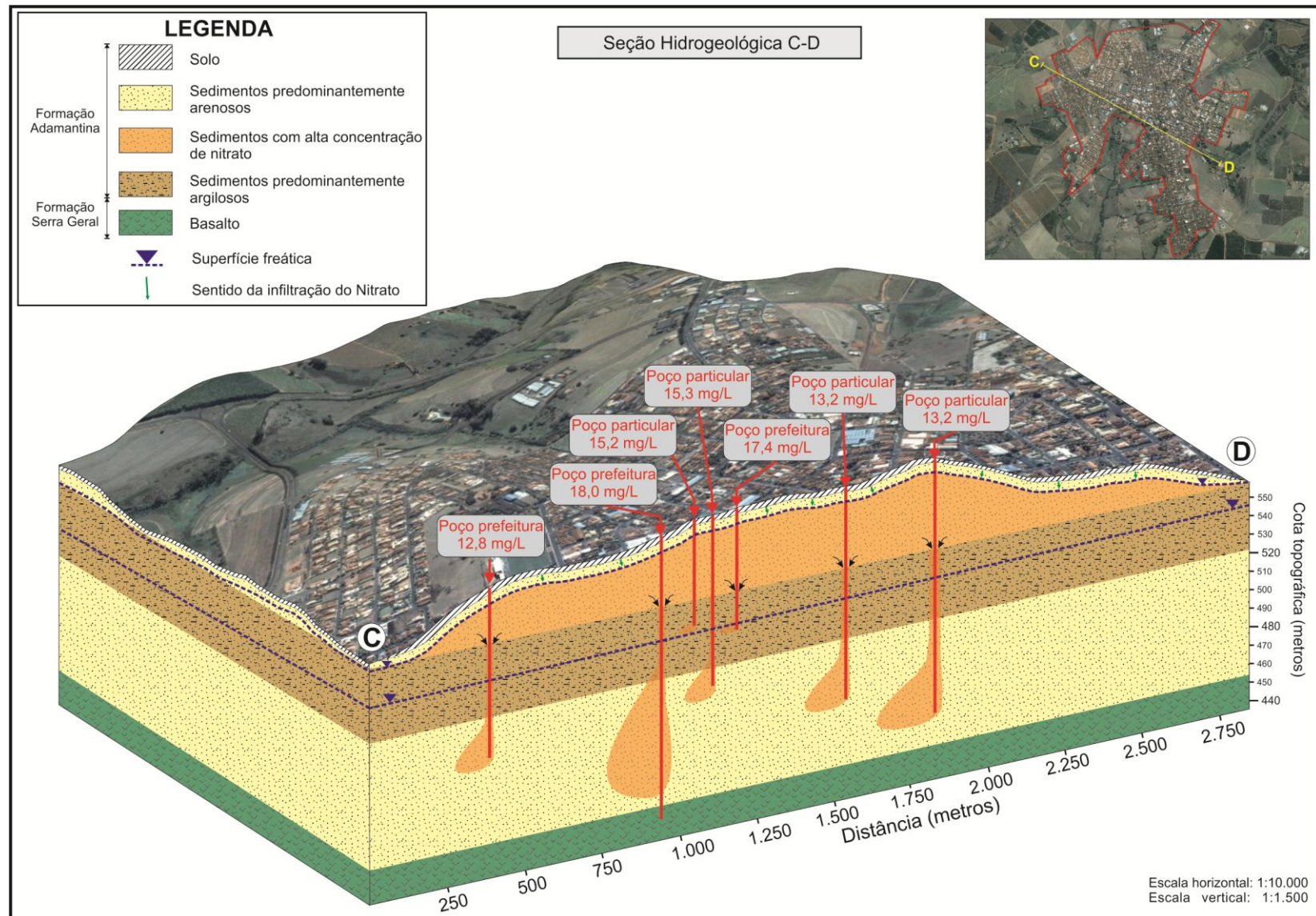


Figura 39. Seção hidrogeológica C-D.

8. CONCLUSÕES

As informações obtidas com este estudo, seja por meio dos resultados das análises hidroquímicas, perfuração do poço tubular profundo e testes de bombeamento, em conjunto com a interpretação dos perfis geofísicos, constituíram importantes ferramentas para o entendimento do arcabouço hidrogeológico de Monte Azul Paulista/SP.

O município está assentado sobre rochas do Grupo Bauru ou, mais especificamente, sobre arenitos e lamitos da Formação Adamantina.

Os perfis geofísicos executados durante esse estudo possibilitaram o reconhecimento e a caracterização faciológica desta unidade, cuja espessura atinge 152 metros na região central do município, e é constituída por arenitos de granulação fina a muito fina, alternados com camadas de lamitos, siltitos e arenitos lamíticos.

Este é um município de 117 anos, provido atualmente de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), porém ainda contém um elevado número de fossas sépticas, e se desenvolveu com o abastecimento de água oriunda exclusivamente dos reservatórios subterrâneos.

A presença de dois aquíferos com potenciometrias distintas foi identificada com a interpretação entre dados de medição de nível d'água e perfis geofísicos: o primeiro aquífero é superficial, até 40 metros de profundidade, e o outro está confinado entre 80 m e 150 m. Uma camada predominantemente argilosa de 40 metros de espessura separa esses dois aquíferos.

Na área urbana de Monte Azul Paulista estão cadastrados 71 poços tubulares, para uma atender uma população de 22.000 habitantes, ou seja, uma relação de um poço para cada 310 habitantes.

A interpretação dos resultados analíticos de 45 amostras de água, entre poços profundos, poços rasos e 1 nascente, permitem agrupá-las em dois tipos hidroquímicos: um associado às águas originais do Aquífero Adamantina e outro a uma mistura das águas rasas contaminadas com as águas profundas sem contaminação. No primeiro tipo as águas são classificadas como bicarbonatadas cálcicas, enquanto no segundo como cloretadas cálcicas.

As águas bicarbonatadas cálcicas abrangem 62% das amostras estudadas e apresentam pH alcalino, oscilando de 7,7 a 8,9, e valor médio de 7,9. A salinidade apresenta valor médio de 206,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esse tipo hidroquímico pode ter sido enriquecido em cálcio proveniente da dissolução de minerais do tipo calcita.

As águas classificadas como cloretadas cálcicas representam 38% do total amostrado. Elas podem ser consideradas mais salinizadas, pois os valores de condutividade elétrica estão em torno de 311,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Os valores de pH variam de 7,0 a 8,0, com média de 7,6. Esse tipo hidroquímico está associado às águas com contaminação por nitrato.

Alguns setores da área urbana do município de Monte Azul Paulista apresentam altas concentrações de nitrato (NO_3) na água subterrânea. Esses valores encontram-se acima dos limites de potabilidade estabelecidos pela Portaria MS 2914/11 do Ministério da Saúde e, portanto, o recurso deste local é considerado impróprio para o abastecimento público.

Os altos teores de nitrato, que em alguns locais atingem valores de 19,30 mg/L, estão restritos à zona central da área urbana, a qual é considerada a parte mais antiga da cidade, onde se construíam, no passado, as fossas sépticas. Além destas fossas, outra provável fonte de contaminação por nitrato são os vazamentos nas tubulações de esgoto.

O nitrato, ao atingir o solo, se infiltra até o nível freático e se concentra no aquífero superficial. Entre o aquífero superficial e o profundo foi constatada a presença de camada argilosa que impede a infiltração do contaminante. Porém, uma elevada quantidade de poços perfurados sem critérios técnicos e, principalmente, sem as condições de proteção sanitária adequada, conforme prescrito em normas pelo DAEE, deve ter atravessado a camada argilosa; esses poços tornaram-se os caminhos preferenciais para a percolação do nitrato até as partes mais profundas do aquífero.

Este fato foi comprovado por simulação matemática no *software* Phreeqc, utilizando-se diferentes proporções de mistura entre uma água do aquífero profundo, ausente de contaminação, e uma água rasa, com altas concentrações de contaminante. As soluções resultantes desta mistura apresentam exatamente as mesmas características das águas coletadas no município de Monte Azul Paulista.

8.1 Recomendações

Diante das concentrações de nitrato encontradas na água subterrânea de Monte Azul Paulista, sugere-se que sejam feitas amostragens periódicas, em todos os poços públicos, para o monitoramento do nitrato.

A Prefeitura Municipal de Monte Azul Paulista deve ficar atenta com a manutenção dos pontos de vazamentos das redes de esgotos, além de atuar na fiscalização para encerramento das fossas sépticas, tentando dessa maneira interromper as fontes da contaminação do nitrato.

Medidas imediatas devem ser tomadas para cessar a percolação de águas contaminadas para o aquífero, sendo a principal delas o tamponamento de poços construídos sem critérios técnicos.

Não é recomendado autorizar a perfuração de novos poços tubulares profundos nas zonas críticas, ou seja, nas áreas onde foram encontrados poços com concentrações de nitrato acima de 10 mg/L.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – NBR 7229. - 1993. Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos.

ABNT – NBR 12212. – 2006. Projeto de poço para captação de água subterrânea.

ABNT – NBR 12244. – 2006. Construção de poço para captação de água subterrânea.

ALMEIDA, F.F.M. – 1976. The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. *An. Acad. bras. Ci.*, 48(suplemento):15-26.

ALMEIDA F.F.M. – 1980. Síntese sobre a tectônica da Bacia do Paraná. In: 3º. Simp Reg Geol., Curitiba, PR, p. 1-20.

ALMEIDA, M.A., FERNANDES, L.A., DANTAS, A.S.L., SAKATE, M.T., GIMENEZ, A.F., TEIXEIRA, A.L., BISTRICHI, C.A., & ALMEIDA, F.F.M. – 1981. Considerações sobre a estratigrafia do Grupo Bauru na região do Pontal do Paranapanema do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3, Curitiba. Atas... Curitiba, SBG/Núcleo SP, v. 2, p. 77-89.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. – 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington DC, American Water Works Association and Water Environment Federation, 21 ed., 1600 p.

BARCELOS, J.H. & SUGUIO, K. – 1987. Correlação e extensão das unidades estratigráficas do Grupo Bauru definidas em território paulista, nos estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Paraná. In: Simpósio Regional de Biociências, Letras e Ciências Exatas, UNESP: 209p.

BARCHA, S.F. – 1980. 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.

BARCHA, S.F. – 1992. Nitratos em água subterrânea no meio urbano. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 37, São Paulo. Anais... São Paulo, SBG, v. 2, p. 200-201.

BARISON, M.R. – 2003. Estudo hidrogeoquímico da porção meridional do Sistema Aquífero Bauru no Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 153 p.

BRANDT NETO, M., YAMAMOTO, J.K., TACHIBANA, J. & MATO, L.F. – 1977. Sedimentos quaternários associados ao baixo vale do Rio Tietê. *In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA*, 1, São Paulo. Atas... São Paulo, SBG/SP, p. 248-266.

BRASIL. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Estabelece os limites máximos permitidos para dezenas de parâmetros que precisam ser respeitados em toda água para consumo humano distribuída no território nacional. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF.

CAGNON F.A. – 2003. Origem e hidroquímica do nitrato nas águas subterrâneas do aquífero Adamantina em Urânia, SP. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 148 p.

CAMPOS, H.C.S. – 1987. Contribuição ao estudo hidrogeoquímico do Grupo Bauru no Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 158p.

CASTRO, S.C.S., ARID, F.M., SANTOS, C.C.M., SILVA, R.A. & CUNHA, I.P. – 1992. Contaminação na água subterrânea em São José do Rio Preto (SP) – Contaminação por nitratos. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS*, 7, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte, ABAS, p. 103-106.

CETESB. – 2007. Relatório de Qualidade de Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo 2004-2006. São Paulo, 119 p.

COELHO, R.O. - 1996. Estudo hidroquímico e isotópico do Aquífero Bauru, Sudoeste do Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 103p.

DAVIS, J.C. – 1986. Statistics and data analysis in geology. 2 Ed. New York: John Wiley & Sons, 646.

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

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE – 1979. Estudo de águas subterrâneas, regiões administrativas 10 e 11: Presidente Prudente e Marília. São Paulo – SP, v.1 e v.2.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE & UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP. – 1980. Mapa geológico do Estado de São Paulo. Escala 1: 250.000. São Paulo: Convênio DAEE/ UNESP, Secretaria de Obras e do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 1980. (Compilação eletrônica Lebac/ IGCE/ Unesp, 2009).

DAEE/ IG/ IPT/CPRM. – 2005. Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo. Escala 1:1.000.000. Nota explicativa. São Paulo. São Paulo: DAEE-Departamento de Águas e Energia Elétrica, IG- Instituto Geológico, IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas, CPRM-Serviço Geológico do Brasil, 3 v. (mapa e CD-ROM).

DAEE/SERVMAR/IG - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA/SERVMAR/INSTITUTO GEOLÓGICO. – 2011. Projeto São José do Rio Preto. Restrição e controle de uso de água subterrânea. São Paulo, SMA/SSRH, 126 p. (Cadernos do Projeto Ambiental Estratégico Aquíferos, 4).

FEITOSA, F.A.C; MANOEL FILHO, J. – 2000. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. 2.ed. Fortaleza: CPRM/LABID-UFPE, 391p.

FEITOSA, F.A.C. – 2008. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. 3.ed. Pernambuco: CPRM/LABID-UFPE, 2008. 321p.

FERNANDES, L.A. & COIMBRA, A.M. – 1994. O Grupo Caiuá (Ks): revisão estratigráfica e contexto deposicional. Revista Brasileira de Geociências, v. 24, p. 164-176.

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

FETTER, C. W. – 1988. Applied Hydrogeology. Charles E. Merrill Publishing Company, Columbus, OH, 488 p.

FOLLET R.F. – 1989. Nitrogen management and ground water protection. Elsevier, Amsterdam, pp.: 35-75.

FREEZE R.A. & CHERRY J.A. – 1979. Groundwater. Prentice Hall, Nova Jérsei, EUA, 604 pp.

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

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

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

KEENEY D. R. – 1987. Sources of nitrate to ground water. Critical Reviews in Environmental Control, 16:257-304.

PAULA E SILVA F. – 2003. 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.

PAULA E SILVA, F.; CHANG, H. K. & CAETANO-CHANG, M. R. – 2005. Hidroestratigrafia do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo. *Águas Subterrâneas*. v. 19, p. 19-36.

PAULA E SILVA, F.; CHANG, H.K.; CAETANO-CHANG, M.R. – 2005. Estratigrafia de subsuperfície do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 35, n. 1, p. 77-88.

PROCEL, S. – 2011. 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.

REBOUÇAS AC. – 1976. Recursos hídricos subterrâneos da Bacia do Paraná. Tese de Livre Docência. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 143 p.

REBOUÇAS, A. C. – 1988. Groundwater in Brazil. In: *Episodes*, v. 11, n.3, p. 209-214.

ROCHA, G.A., GIANCURSI, F.D., PERRONI, J.C.A., SOBREIRO NETO, A.F., BERTACHINI, A.C., CORREA, W.A.G., CAMPOS, H.C.N.S., DIOGO, A., ROSA, R.B.G.S. & CASTRO, C.G.J. – 1979. Hidrogeologia das bacias dos rios Aguapeí, Peixe e Paranapanema no Estado de São Paulo. In: *SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA*, 2., Rio Claro. Atas... Rio Claro: SBG, 1979, v.2, p. 85-100.

ROCHA, G.A. & FERRER JORBA, J. – 1980. Manual de operação e manutenção de poços. São Paulo: DAEE.

ROCHA, G.A., BERTACHINI, C., CAMPOS, H.C.N.S. & CAIXETA, J.B. – 1982. Tentativa de zoneamento das características hidráulicas e hidroquímicas do Aquífero Bauru. In: *ENCONTRO DE GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA: O Grupo Bauru no Estado de São Paulo*, 1., São Paulo. Atas... São Paulo: SBG/ABAS.

RICCOMINI, C., GIMENEZ FILHO, A., STEIN, D.P., ALMEIDA, F.F.M., PIRES NETO, A.G., DEHIRA, L.K., MELO, M.S.de, BRAGA, T.deO. & PONÇANO, W.L. – 1981. Características da porção basal da Formação Caiuá no Noroeste do Paraná. *In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA*, 3, Curitiba. Atas... Curitiba, SBG/SP, v. 2, p. 34-48.

SOARES, P.C., LANDIM, P.M.B., FÚLFARO, V.J. & SOBREIRO NETO, A.F. – 1980. Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. *Revista Brasileira de Geociências*, v.10, p. 177-185.

SCHLUMBERGER LTD. – 1972. Log interpretation: Principles. New York – USA, Schlumberger Ltd: Vol. 1.

SCHLUMBERGER LTD. – 1974. Log interpretation: Applications. New York – USA, Schlumberger Ltd: Vol. 2.

UNITED STATES. – 1993. Environmental Protection Agency. Manual: Nitrogen Control. Washington, DC: Office of Research and Development; Office of Water, 311 p.

VARNIER, Claudia, IRITANI, Mara Akie, VIOTTI, Maurício, ODA, Geraldo Hideo, FERREIRA, Luciana Martin Rodrigues. – 2010. NITRATO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SISTEMA AQUÍFERO BAURU, ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE MARÍLIA (SP). *Rev. Inst. Geol.*, 2010, vol.31, no.1-2, p.1-21.

VARNIER, C.L.; GUERRA, S.P.; HIRATA, R.C.A.; VEIGA, C.; VIOTTI, M. - 2010. Contaminação das águas subterrâneas por nitrato e a expansão urbana em Presidente Prudente (SP). *In: ABAS, CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS*, 16, São Luís, Anais, 13 p.

XU, Y.; BAKER, L.A.; JOHNSON, P.C. - 2007. Trends in ground water nitrate contamination in the Phoenix, Arizona Region. *Groundwater Monitoring and Remediation*, 27(2): 49-56.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Chemical hazards in drinking-water. Disponível em: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/en/. Consultado em 15/01/2014.

ANEXO I

(Compilação dos poços cadastrados pelo SAEMAP/CPRM/DAEE)

Compilação de dados obtidos pelo SAEMAP (verde), CPRM (laranja) e DAEE (azul).

ID Poço	ORIGEM DOS DADOS	X	Y	Cota	Data de Construção	Profundidade	NE	ND	VAZAO (m3/h)	Vazão específica (m3/h/m)	Vazão de exploração	Geologia	Aquífero
P - 01	SAEMAP	746740	7685030	610	N.D	150	69.4	104.6	18	0.37	14	0 até 150 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 150m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
P - 02	SAEMAP	746620	7684910	610	N.D	150	80.1	116	16	0.31	12	0 até 150 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 150m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
P - 03	SAEMAP	746560	7685010	600	N.D	150	72	101	16	0.38	12	0 até 150 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 150m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
P - 04	SAEMAP	746450	7685170	590	N.D	180	64.1	88.5	19	0.78	19	0 até 130 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 130m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina/Serra Geral
P - 05	SAEMAP	746370	7685300	580	N.D	136	58.5	90	15	0.26	10	0 até 136 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 136m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
P - 06	SAEMAP	746300	7685460	580	N.D	180	55.5	88.5	33	0.76	27	0 até 130 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 130m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina/Serra Geral
P - 07	SAEMAP	746030	7686220	603	N.D	142	72.7	87.4	21	1.43	21	0 até 142 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 142m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
P - 08	SAEMAP	746050	7686230	605	N.D	142	74.9	93.5	17	0.91	17	0 até 142 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 142m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
P - 09	SAEMAP	745730	7685670	610	12/04/2009	140	72.5	88.6	15	0.93	15	0 até 140 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 140m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
P - 10	SAEMAP	746010	7685080	610	06/09/2008	200	85.3	116.8	16	0.51	16	0 até 137 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 137-200m - Basalto (Fm. Serra)	Adamantina/Serra Geral
P - 11	SAEMAP	745830	7684970	605	06/09/2008	132	72.5	123	13	0.26	13	0 até 132 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 132m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
P - 12 A	SAEMAP	745800	7684800	590	06/07/2009	120	65	84.8	10	0.5	10	0 até 120 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 120m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
P - 12 B	SAEMAP	745805	7684805	590	01/06/2011	200	98	148.65	20	N.D	N.D	N.D	Adamantina/Serra Geral
P - 13	SAEMAP	744630	7686390	605	N.D	140	72	96.1	16	0.66	16	0 até 140 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 140m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
P - 14	SAEMAP	744400	7686550	600	N.D	120	66.5	88.5	14	0.64	14	0 até 108 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 108m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
P - 16	SAEMAP	745340	7686850	600	N.D	216	52.1	72.3	21	1.04	21	0 até 132 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 132-216m - Basalto (Fm. Serra)	Adamantina/Serra Geral
P - 17	SAEMAP	744910	7686590	610	N.D	140	78.2	111	20	0.5	17	0 até 140 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 140m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
P - 18	SAEMAP	745800	7687200	605	N.D	132	60.2	90.4	20	0.66	20	0 até 132 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 132m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
P - 19	SAEMAP	744260	7686930	605	06/09/2008	135	76	105	14	0.48	14	0 até 135 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 135m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
P - 20	SAEMAP	744610	7685870	580	N.D	130	47.8	79.3	19	0.6	19	0 até 130 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 130m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
P - 21	SAEMAP	744550	7686550	605	06/09/2008	135	75.1	117	17	0.4	17	0 até 135 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 135m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
P - 22	SAEMAP	745400	7685100	580	N.D	130	50.2	84.5	17	0.49	17	0 até 130 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 130m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
P - 23	SAEMAP	744090	7686830	600	12/04/2009	120	60.3	80.5	16	0.79	16	0 até 120 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 120m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
P - 24	SAEMAP	744930	7687080	605	N.D	136	66.9	82.3	14	N.D	14	0 até 136 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 136m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina

(Cont.) Compilação de dados obtidos pelo SAEMAP (verde), CPRM (laranja) e DAEE (azul).

ID Poço	ORIGEM DOS DADOS	X	Y	Cota	Data de Construção	Profundidade	NE	ND	VAZÃO (m3/h)	Vazão específica (m3/h/m)	Vazão de exploração	Geologia	Aquifero
P - 26	SAEMAP	737930	7689760	605	N.D	150	84.1	94.5	20	1.92	20	0 até 150 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 150m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
P - 27	SAEMAP	744830	7687520	590	06/09/2008	156	57.5	102.8	22	0.48	22	0 até 120 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 120-156m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina/Serra Geral
P - 28	SAEMAP	744150	7687270	605	N.D	150	64.5	83.7	19	0.99	19	0 até 150 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 150m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
3500002817	SIAGAS - CPRM	733850	7682100	510	1977	74	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	0 até 74 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002860	SIAGAS - CPRM	733500	7685650	530	1981	58	N. D	N. D	10.28	N. D	N. D	0 até 57 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 58m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
3500002861	SIAGAS - CPRM	732200	7682350	510	1979	80	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	0 até 79 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 79m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
3500002863	SIAGAS - CPRM	746550	7684950	615	1972	130	45	108	36	0.57	N. D	0 até 129 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 129m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
3500002864	SIAGAS - CPRM	746400	7686550	580	1969	90	N. D	N. D	11	N. D	N. D	0 até 90 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002865	SIAGAS - CPRM	746350	7685350	600	1950	80	N. D	N. D	6	N. D	N. D	0 até 80 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002866	SIAGAS - CPRM	745300	7686500	615	1956	150	32	56	11	0.46	N. D	N. D	N. D
3500002867	SIAGAS - CPRM	745350	7686950	610	1971	120	N. D	N. D	19	N. D	N. D	0 até 120 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002868	SIAGAS - CPRM	745600	7686550	615	N.D	130	N. D	N. D	6	N. D	N. D	0 até 130 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002869	SIAGAS - CPRM	745500	7685950	615	1956	100	24	44	10	0.5	N. D	0 até 100 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002870	SIAGAS - CPRM	745450	7685900	600	1973	100	N. D	N. D	2.6	N. D	N. D	0 até 100 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002871	SIAGAS - CPRM	749250	7682250	562	1971	85	N. D	N. D	25	N. D	N. D	0 até 80 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 80 até 85m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
3500002872	SIAGAS - CPRM	745550	7687150	600	1971	95	N. D	78	N. D	N. D	N. D	0 até 95 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 95m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
3500002873	SIAGAS - CPRM	745550	7687050	587	1969	43	6	40	6	0.18	N. D	0 até 43 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002874	SIAGAS - CPRM	746400	7687700	576	1972	80	N. D	N. D	20	N. D	N. D	N. D	N. D
3500002875	SIAGAS - CPRM	745350	7686450	600	1954	70	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	0 até 70 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002876	SIAGAS - CPRM	745300	7686800	600	1970	82	N. D	N. D	14.5	N. D	N. D	0 até 82 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002877	SIAGAS - CPRM	743500	7686150	550	1955	50	N. D	N. D	6	N. D	N. D	N. D	N. D
3500002878	SIAGAS - CPRM	740850	7685350	560	1958	55	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	0 até 55 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002879	SIAGAS - CPRM	735400	7686000	540	1973	101	21	66	N. D	N. D	N. D	0 até 101 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002880	SIAGAS - CPRM	737850	7689800	610	1951	126	N. D	N. D	6.18	N. D	N. D	0 até 126 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002881	SIAGAS - CPRM	745300	7682300	542	1972	48	N. D	N. D	3.2	N. D	N. D	0 até 48 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002882	SIAGAS - CPRM	744800	7682200	522	1972	43	N. D	N. D	2	N. D	N. D	0 até 43 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002883	SIAGAS - CPRM	744250	7682550	549	1972	64	36	46	5.6	0.56	N. D	0 até 64 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002884	SIAGAS - CPRM	743400	7679700	580	1972	58	N. D	N. D	2.2	N. D	N. D	0 até 58 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002885	SIAGAS - CPRM	740100	7681200	560	1972	80	19	66	15.2	0.32	N. D	0 até 80 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002886	SIAGAS - CPRM	739400	7679900	560	1972	67	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	0 até 67 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002896	SIAGAS - CPRM	746050	7686400	600	1975	118	40	90	16	0.32	N. D	0 até 115 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 115 até 118m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina/ Serra Geral
3500002897	SIAGAS - CPRM	746800	7685000	600	1979	115	7	102	24	0.25	N. D	0 até 115 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 115 até 118m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina/ Serra Geral
3500002898	SIAGAS - CPRM	746400	7685100	595	1980	118	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	0 até 118 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 118m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
3500002905	SIAGAS - CPRM	745950	7684500	585	1979	100	28	78	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D
3500002906	SIAGAS - CPRM	745750	7684750	587	1975	120	51	84	N. D	N. D	N. D	0 até 120 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002907	SIAGAS - CPRM	740700	7678300	550	1977	90	20	84	N. D	N. D	N. D	0 até 90 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) / 90m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina

(Cont.) Compilação de dados obtidos pelo SAEMAP (verde), CPRM (laranja) e DAEE (azul).

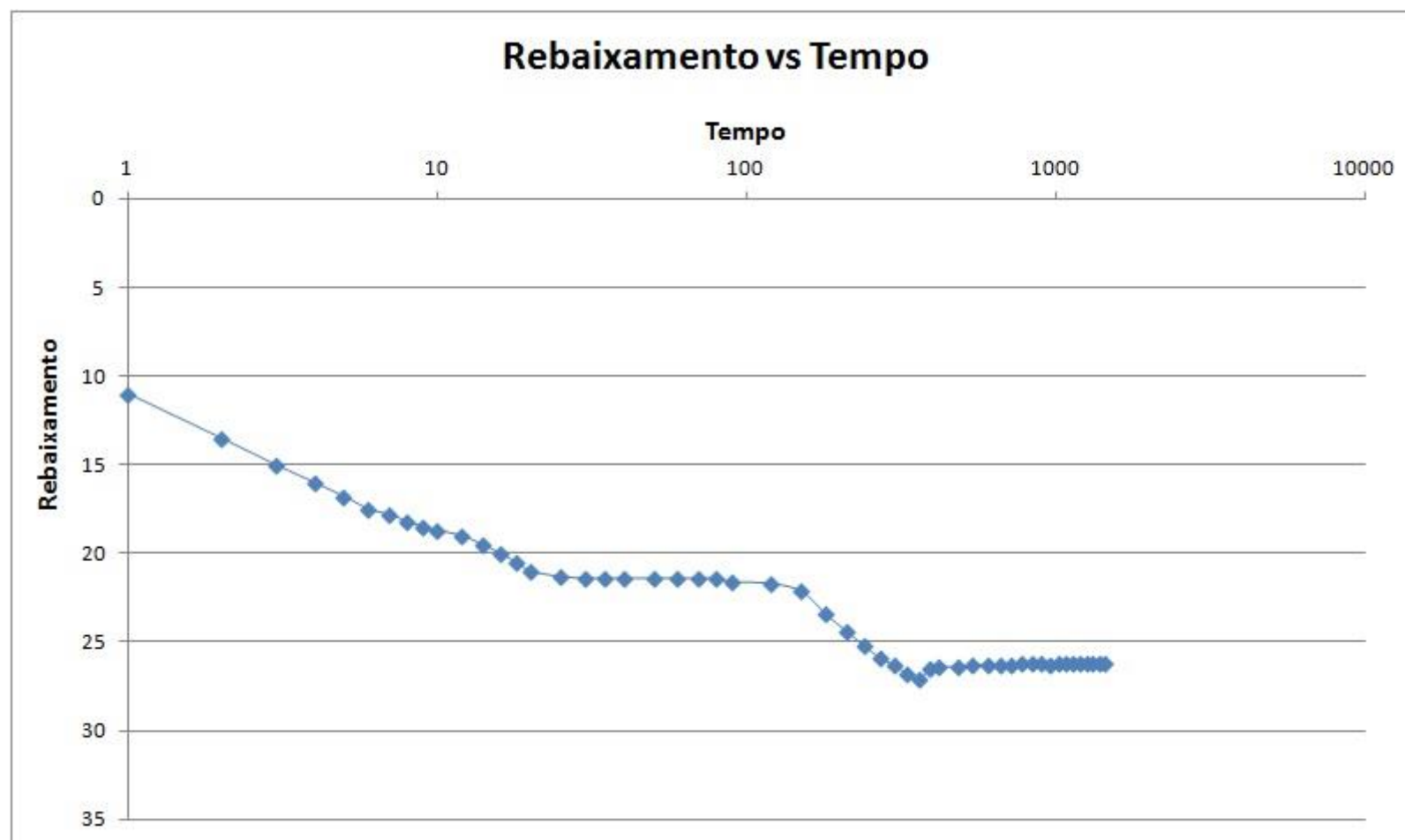
ID Poço	ORIGEM DOS DADOS	X	Y	Cota	Data de Construção	Profundidade	NE	ND	VAZAO (m3/h)	Vazão específica (m3/h/m)	Vazão de exploração	Geologia	Aquífero
3500002908	SIAGAS - CPRM	740600	7678300	550	1977	65	14	54	N. D	N. D	N. D	0 até 65 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002910	SIAGAS - CPRM	747250	7683350	600	N. D	100	37	66	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D
3500002911	SIAGAS - CPRM	743800	7683100	525	1975	68	10	60	N. D	N. D	N. D	0 até 68 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) /68m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
3500002912	SIAGAS - CPRM	743300	7684800	540	1977	80	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	0 até 80 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002913	SIAGAS - CPRM	744550	7686350	590	1979	80	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	0 até 80 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002915	SIAGAS - CPRM	748850	7684000	623	1977	70	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	0 até 70 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002916	SIAGAS - CPRM	746800	7684500	620	1980	130	23	90	N. D	N. D	N. D	0 até 129 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) /129m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
3500002917	SIAGAS - CPRM	746350	7681650	530	N. D	65	10	48	N. D	N. D	N. D	0 até 65 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002920	SIAGAS - CPRM	737750	7689800	602	1976	80	12	72	N. D	N. D	N. D	0 até 80 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002921	SIAGAS - CPRM	736800	7687700	585	N. D	110	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D
3500002922	SIAGAS - CPRM	736600	7687400	565	1978	82	N. D	N. D	13.09	N. D	N. D	0 até 82 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002923	SIAGAS - CPRM	737750	7688550	610	1978	85	30	66	N. D	N. D	N. D	0 até 85 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002924	SIAGAS - CPRM	735000	7685650	565	1978	90	22	N. D	N. D	N. D	N. D	0 até 90 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002925	SIAGAS - CPRM	734350	7684300	550	1978	81	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	0 até 81 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002926	SIAGAS - CPRM	737400	7683400	520	1978	70	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D
3500002927	SIAGAS - CPRM	738150	7682600	515	1979	72	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	0 até 72 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) /72m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina/ Serra Geral
3500002928	SIAGAS - CPRM	738550	7683350	510	1980	60	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	0 até 60 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) /60m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
3500002929	SIAGAS - CPRM	744500	7686800	605	1978	105	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	0 até 105 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002930	SIAGAS - CPRM	738150	7680200	558	1979	97	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	0 até 97 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) /97m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
3500002931	SIAGAS - CPRM	737450	7680350	534	1978	80	13	36	N. D	N. D	N. D	0 até 80 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002932	SIAGAS - CPRM	735600	7682500	525		78	12	54	N. D	N. D	N. D	0 até 78 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002934	SIAGAS - CPRM	738750	7677500	522	1979	63	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	0 até 63 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) /63m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
3500002935	SIAGAS - CPRM	741600	7677700	570	1979	102	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	0 até 102 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) /102m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina
3500002938	SIAGAS - CPRM	743700	7678650	580	1978	85	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	0 até 85 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002939	SIAGAS - CPRM	743250	7678100	562	1981	60	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	0 até 60 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500002941	SIAGAS - CPRM	742100	7676400	540	1980	62	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	0 até 62 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500023402	SIAGAS - CPRM	742620	7686940	560	01/03/2001	85	22.7	33.5	22	2037	N. D	0 até 85 - Arenito fino (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500023403	SIAGAS - CPRM	743490	7685780	580	01/03/2001	102	43.7	58.1	12	0.833	N. D	0 até 102 - Arenito fino (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500023405	SIAGAS - CPRM	743640	7689780	604	03/03/2001	153	42	96	42	0.778	N. D	0 até 153 - Arenito muito fino a fino c/ intercalações de siltitos (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500023406	SIAGAS - CPRM	743830	7686920	590	15/05/2001	124	41.24	102.26	24	0.393	N. D	0 até 124 - Arenito fino (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500023408	SIAGAS - CPRM	744650	7692850	582	30/06/2001	115	28.8	55.3	11	0.415	N. D	0 até 115 - Arenito fino (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500023409	SIAGAS - CPRM	735910	7684490	505	01/07/2001	60	13	33.2	13	0.644	N. D	0 até 60 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500023412	SIAGAS - CPRM	739580	7687380	550	14/05/2001	127	12.45	72.16	36	0.603	N. D	0 até 108 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) /108 até 127m - Basalto (Fm. Serra	Adamantina
3500023413	SIAGAS - CPRM	738970	7686230	530	09/02/2001	130	16.88	108.06	36	0.395	N. D	0 até 130 - Arenito fino a muito fino (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500023415	SIAGAS - CPRM	746950	7686920	602	25/04/2001	112	25.2	45.75	25.3	1231	N. D	0 até 112 - Arenito fino (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500023417	SIAGAS - CPRM	744260	7680590	560	25/05/2001	100	28.65	54.2	16	0.626	N. D	0 até 100 - Arenito fino (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500023418	SIAGAS - CPRM	737880	7688200	590	10/06/2001	154	30.41	102.03	25	0.349	N. D	0 até 154 - Arenito fino a muito fino (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500023419	SIAGAS - CPRM	740190	7688260	572	03/08/2001	142	65.24	102.37	31	0.835	N. D	0 até 142 - Arenito fino a muito fino (Fm. Adamantina)	Adamantina

(Cont.) Compilação de dados obtidos pelo SAEMAP (verde), CPRM (laranja) e DAEE (azul).

ID Poço	ORIGEM DOS DADOS	X	Y	Cota	Data de Construção	Profundidade	NE	ND	VAZÃO (m3/h)	Vazão específica (m3/h/m)	Vazão de exploração	Geologia	Aquífero
3500023420	SIAGAS - CPRM	744480	7680330	560	11/09/2001	232	57.22	134.8	80	1031	N. D	0 até 93 - Arenito, Argilito, Siltito (Fm. Adamantina) /93 até 232m - Basalto (Fm. Serra Geral)	Adamantina/Serra Geral
3500023422	SIAGAS - CPRM	737910	7689970	606	15/02/2001	160	63.48	79.23	40	2.54	N. D	0 até 160 - Arenito fino a muito fino (Fm. Adamantina)	Adamantina
3500023423	SIAGAS - CPRM	736710	7682630	502	17/01/2001	184	39.75	132.85	37.71	0.405	N. D	0 até 82 - Arenito fino a muito fino (Fm. Adamantina) /82 até 184m - Basalto (Fm. Serra)	Adamantina/Serra Geral
3500023428	SIAGAS - CPRM	743880	7686190	561	10/07/2001	196	50.26	110.23	45.36	0.756	N. D	0 até 108 - Arenito fino a muito fino (Fm. Adamantina) /108 até 196m - Basalto (Fm. Serra)	Adamantina/Serra Geral
3500023429	SIAGAS - CPRM	734950	7681380	515	15/05/2001	125	50.26	110.23	45.36	0.756	N. D	0 até 125 - Arenito fino a muito fino (Fm. Adamantina) /125 até 197m - Basalto (Fm. Serra)	Adamantina
3500023430	SIAGAS - CPRM	747220	7685700	605	19/06/2002	197	67.12	94.1	56	2076	N. D	0 até 125 - Arenito fino a muito fino (Fm. Adamantina) /125 até 197m - Basalto (Fm. Serra)	Adamantina/Serra Geral
3500023434	SIAGAS - CPRM	738500	7679990	560	02/02/2002	87	32	68	20	0.556	N. D	0 até 87 - Arenito fino a muito fino (Fm. Adamantina) /115 até 192m - Basalto (Fm. Serra)	Adamantina
3500023435	SIAGAS - CPRM	738760	7680330	572	07/09/2004	192	63.02	128.64	54	0.823	N. D	0 até 115 - Arenito fino a muito fino (Fm. Adamantina) /115 até 192m - Basalto (Fm. Serra)	Adamantina/Serra Geral
3500025001	SIAGAS - CPRM	745970	7687850	586	1993	125	49	72	10	0.435	N. D	0 até 125 - Arenito fino a muito fino (Fm. Adamantina) /100 até 190m - Basalto (Fm. Serra)	Adamantina
3500025002	SIAGAS - CPRM	744850	7686470	609	01/11/2000	141	78	92	5	0.357	N. D	0 até 141 - Arenito fino a muito fino (Fm. Adamantina) /38 até 172m - Basalto (Fm. Serra)	Adamantina
3500027956	SIAGAS - CPRM	746130	7687750	585	03/02/2007	126	46	102	23	0.411	N. D	0 até 126 - Arenito fino a muito fino (Fm. Adamantina) /96 até 200m - Basalto (Fm. Serra)	Adamantina
3500027960	SIAGAS - CPRM	745800	7687200	605	06/09/2008	132	60.2	90.4	20	0.662	N. D	0 até 132 - Arenito fino a muito fino (Fm. Adamantina) /114 até 208m - Basalto (Fm. Serra)	Adamantina
3500027963	SIAGAS - CPRM	736810	7684460	531	26/05/2008	190	41.71	118.39	33.6	0.438	N. D	0 até 100 - Arenito fino a muito fino (Fm. Adamantina) /100 até 190m - Basalto (Fm. Serra)	Adamantina/Serra Geral
3500027964	SIAGAS - CPRM	736080	7684020	487	25/05/2008	172	7.48	57.62	54.5	1087	N. D	0 até 38 - Arenito fino a muito fino (Fm. Adamantina) /38 até 172m - Basalto (Fm. Serra)	Adamantina/Serra Geral
3500028113	SIAGAS - CPRM	745940	7684420	584	17/07/2008	200	52	130	40	0.513	N. D	0 até 96 - Arenito fino a muito fino (Fm. Adamantina) /96 até 200m - Basalto (Fm. Serra)	Adamantina/Serra Geral
3500028114	SIAGAS - CPRM	746280	7684220	600	25/04/2008	208	52	130	35	0.449	N. D	0 até 114 - Arenito fino a muito fino (Fm. Adamantina) /114 até 208m - Basalto (Fm. Serra)	Adamantina/Serra Geral
3500028115	SIAGAS - CPRM	744980	7683590	557	19/07/2008	136	48	72	40	1667	N. D	0 até 102 - Arenito fino a muito fino (Fm. Adamantina) /102 até 136m - Basalto (Fm. Serra)	Adamantina/Serra Geral
3500028116	SIAGAS - CPRM	745600	7686540	517	14/09/2009	138	79.45	95.2	12	0.762	N. D	0 até 138 - Arenito fino a muito fino (Fm. Adamantina) /102 até 136m - Basalto (Fm. Serra)	Adamantina
3500028117	SIAGAS - CPRM	746160	7687820	580	23/07/2009	118	38	51.3	6	0.451	N. D	0 até 118 - Arenito fino a muito fino (Fm. Adamantina) /100 até 190m - Basalto (Fm. Serra)	Adamantina
DAE - 55	SIDAS	743890	7686930	590	01/02/2007	100	52	65.3	5	0.37	5	0 até 100 - Arenito fino a muito fino (Fm. Adamantina)	Adamantina
DAE - 3	SIDAS	745950	7687510	593	N. D	118	N. D	N. D	10	N. D	N. D	N. D	Adamantina
DAE - 75	SIDAS	745830	7683380	605	N. D	250	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	Adamantina/Serra Geral
DAE - 567	SIDAS	745110	7686850	484	N. D	50	N. D	N. D	48	N. D	N. D	N. D	Adamantina/Serra Geral

ANEXO II

(Resultados do teste de bombeamento)



PLANILHA DE TESTE DE VAZAO

Município : **Monte Azul Paulista – SP**

Local : EMEF: Cel. Aureliano Junqueira Franco

Proprietário : **SAEMAP**

Tipo de teste : **Rebaixamento**

EQUIPAMENTO DE BOMBEAMENTO (Tipo) : **Leão R16-13**

Potência (cv) : **13**

Diâmetro (pol) **06**

Estágio (n^o) : **13**

Profundidade de instalação (m) **150**

LOCAL DE MEDIÇÃO

Poço Bombeado :

Distância entre os poços :

Sistema de medição de vazão : **Pito**

Nível estático (m) : **80**

Referência de medidas : **0,5 m**

Data	Hora	Minuto	N.D'água (m)	s (m)	Vazão (m ³ / h)	Observações
13/04/2012	07:30		80		00	
13/04/2012	07:31		91		21,6	
13/04/2012	07:32		93,5		21,2	
13/04/2012	07:33		95		21,2	
13/04/2012	07:34		96		21,2	
13/04/2012	07:35		96,8		21,0	
13/04/2012	07:36		97,5		20,7	
13/04/2012	07:37		97,8		20,7	
13/04/2012	07:38		98,2		20,7	
13/04/2012	07:39		98,5		20,7	
13/04/2012	07:40		98,7		20,7	
13/04/2012	07:42		99		20,7	
13/04/2012	07:44		99,5		20,7	
13/04/2012	07:46		100		20,7	
13/04/2012	07:48		100,5		20,7	
13/04/2012	07:50		101		20,7	
13/04/2012	07:55		101,3		20,7	
13/04/2012	08:00		101,4		20,7	
13/04/2012	08:05		101,4		20,7	
13/04/2012	08:10		101,4		20,7	
13/04/2012	08:20		101,4		20,7	
13/04/2012	08:30		101,4		20,7	
13/04/2012	08:40		101,4		20,7	
13/04/2012	08:50		101,6		20,7	
13/04/2012	09:00		101,7		20,7	
13/04/2012	09:30		102,15		20,5	
13/04/2012	10:00		103,45		20,3	
13/04/2012	10:30		104,4		20,3	

PLANILHA DE TESTE DE VAZAO

Município : **Monte Azul Paulista – SP**

Local : EMEF: Cel. Aureliano Junqueira Franco

Proprietário : **SAEMAP**

Tipo de teste : **Rebaixamento**

EQUIPAMENTO DE BOMBEAMENTO (Tipo) : **Leão R16-13**

Potência (cv) : **13**

Diâmetro (pol) **06**

Estágio (n°) : **13**

Profundidade de instalação (m) **150**

LOCAL DE MEDIÇÃO

Poço Bombeado :

Distância entre os poços :

Sistema de medição de vazão : **Pito**

Nível estático (m) : **80**

Referência de medidas : **0,5 m**

Data	Hora Minuto	N.D'água (m)	s (m)	Vazão (m³ / h)	Observações
13/04/2012	11:00	105,25		20,3	
13/04/2012	11:30	105,90		19,9	
13/04/2012	12:00	106,35		19,9	
13/04/2012	12:30	106,80		19,9	
13/04/2012	13:30	107,10		19,9	
13/04/2012	14:30	106,50		19,9	
13/04/2012	15:30	106,40		20,0	
13/04/2012	16:30	106,40		19,9	
13/04/2012	17:30	106,30		19,9	
13/04/2012	18:30	106,30		19,9	
13/04/2012	19:30	106,35		19,9	
13/04/2012	20:30	106,30		19,9	
13/04/2012	21:30	106,20		19,9	
13/04/2012	22:30	106,20		19,9	
13/04/2012	23:30	106,20		19,9	
14/04/2012	00:30	106,30		19,9	
14/04/2012	01:30	106,20		19,9	
14/04/2012	02:30	106,20		19,9	
14/04/2012	03:30	106,20		19,9	
14/04/2012	04:30	106,20		19,9	
14/04/2012	05:30	106,20		19,9	
14/04/2012	06:30	106,20		19,9	
14/04/2012	07:30	106,20		19,9	

RECUPERAÇÃO

MINUTOS	HORARIO	NIVEL
	08:30	106,20
1	08:31	98,3
2	08:32	95,6
3	08:33	93
4	08:34	92
5	08:35	91
10	08:40	89,3
15	08:45	86,5
20	08:50	84
25	08:55	82
30	09:00	81

ANEXO III

(Laudos analíticos das amostras de água subterrânea)

Amostra	Coord. X	Coord. Y	Prof	Temp	CE	pH	TDS	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Na	NH ₄	K	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca	Fe	Mg	Si
	m E	m S	(metros)	(°C)	µS/cm		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
MAP - 01	746.732	7.685.052	150	18.00	120.00	7.80	146.29	92.20	0.00	3.42	0.09	3.32	0.05	2.55	0.09	6.68	0.00	16.50	0.00	4.40	17.00
MAP - 02	746.603	7.684.945	150	18.40	95.90	8.00	126.14	83.10	0.00	6.45	0.00	1.73	0.09	0.34	0.05	1.49	0.05	13.20	0.00	3.14	16.50
MAP - 03	746.558	7.685.039	150	18.40	107.00	7.70	136.49	83.10	0.00	5.97	0.00	2.11	0.08	2.08	0.06	5.89	0.10	15.80	0.00	3.70	17.60
MAP - 04	746.438	7.685.199	180	19.30	129.00	8.30	165.19	105.00	0.00	13.10	0.11	1.96	0.10	0.90	0.09	3.64	0.24	16.50	0.00	3.95	19.60
MAP - 05	746.360	7.685.330	136	19.50	142.00	7.80	175.55	116.00	0.00	7.10	0.00	2.28	0.08	1.11	0.07	1.20	0.00	21.50	0.00	5.31	20.90
MAP - 06	746.300	7.685.492	180	20.30	165.00	8.90	189.75	99.30	18.90	30.30	0.12	1.32	0.19	1.86	0.07	1.85	1.39	12.70	0.00	3.65	18.10
MAP - 07	745.815	7.684.827	200	19.90	145.00	8.50	177.92	109.00	0.00	18.40	0.11	1.73	0.10	3.12	0.08	5.70	1.39	14.90	0.00	4.09	19.30
MAP - 08	745.824	7.685.020	132	20.50	166.00	7.90	187.99	109.00	0.00	5.59	0.12	2.62	0.06	4.55	0.09	14.70	0.55	23.80	0.00	6.32	20.60
MAP - 09	745.995	7.685.110	200	20.30	169.00	8.10	199.23	122.00	0.00	6.66	0.12	2.75	0.07	2.60	0.09	11.40	0.00	24.70	0.00	6.64	22.20
MAP - 10	745.364	7.685.127	130	20.00	165.00	8.00	199.37	129.00	0.00	6.83	0.12	2.38	0.09	2.62	0.07	2.62	0.10	25.00	0.00	7.64	22.90
MAP - 11	745.718	7.685.715	140	20.90	310.00	7.80	341.41	198.00	0.00	6.23	0.00	3.67	0.09	12.80	0.20	32.60	0.43	55.70	0.00	9.59	22.10
MAP - 12	746.019	7.686.253	142	20.50	262.00	7.80	294.29	180.00	0.00	4.92	0.27	4.43	0.11	7.77	0.17	22.30	0.00	49.30	0.00	6.72	18.30
MAP - 13	746.039	7.686.263	142	20.60	234.00	7.70	266.29	172.00	0.00	4.82	0.28	3.87	0.09	4.62	0.17	13.90	0.00	40.40	0.02	7.02	19.10
MAP - 14	745.795	7.687.230	132	20.80	212.00	8.10	239.23	143.00	0.00	6.78	0.20	2.59	0.08	6.87	0.12	18.30	0.10	34.30	0.00	6.69	20.20
MAP - 15	745.307	7.686.881	216	20.70	333.00	8.00	337.37	150.00	0.00	10.60	0.23	4.89	0.05	26.30	0.23	59.60	1.17	51.40	0.00	11.10	21.80
MAP - 16	744.910	7.686.606	140	20.60	320.00	8.00	323.84	139.00	0.00	8.56	0.31	3.07	0.07	26.50	0.22	61.40	1.11	48.60	0.00	12.10	22.90
MAP - 17	744.638	7.686.425	140	20.60	266.00	8.00	293.54	158.00	0.00	6.12	0.31	3.05	0.09	13.20	0.17	32.40	0.40	41.70	0.00	12.80	25.30
MAP - 18	744.593	7.685.899	130	21.00	203.00	8.00	241.30	159.00	0.00	7.01	0.21	2.27	0.10	4.10	0.00	1.49	0.28	33.40	0.00	8.84	24.60
MAP - 19	744.379	7.686.599	120	20.50	199.00	7.80	225.72	120.00	0.00	8.82	0.20	2.82	0.12	8.06	0.12	26.00	0.09	29.40	0.00	8.89	21.20
MAP - 20	744.566	7.686.588	135	21.10	330.00	7.70	317.77	108.00	0.00	12.80	0.35	4.28	0.04	30.00	0.27	80.00	0.00	48.90	0.02	9.82	23.30
MAP - 21	744.088	7.686.873	120	20.00	194.00	8.00	229.76	139.00	0.00	5.36	0.23	2.84	0.10	4.73	0.10	12.40	0.00	30.40	0.00	10.40	24.20
MAP - 22	744.248	7.686.960	135	19.20	184.00	7.90	217.20	133.00	0.00	6.80	0.20	2.70	0.08	4.16	0.00	10.80	0.00	28.50	0.00	9.06	21.90
MAP - 23	744.139	7.687.296	150	19.40	191.00	8.00	244.75	157.00	0.00	6.03	0.24	2.59	0.12	1.49	0.10	7.31	0.00	33.50	0.00	9.97	26.40
MAP - 24	744.820	7.687.568	156	19.60	204.00	8.00	243.46	153.00	0.00	9.70	0.23	2.46	0.11	4.03	0.10	6.46	1.16	34.00	0.00	8.51	23.70
MAP - 25	737.924	7.689.787	150	19.80	164.00	7.80	187.42	105.00	0.00	5.26	0.20	2.18	0.07	3.40	0.09	18.50	0.08	25.40	0.00	7.84	19.40
MAP - 26	745.966	7.687.884	100	20.60	220.00	8.00	261.49	160.00	0.00	5.04	0.00	3.22	0.11	3.37	0.15	14.80	0.11	39.40	0.00	9.39	25.90
MAP - 27	745.735	7.686.595	150	20.30	189.00	7.40	179.45	54.70	0.00	8.43	0.00	5.55	0.05	18.20	0.21	43.50	0.22	24.00	0.00	6.09	18.50
MAP - 28	745.401	7.686.294	145	20.50	384.00	8.00	384.67	184.00	0.00	7.22	0.30	3.96	0.06	25.20	0.32	61.10	0.41	63.60	0.00	14.30	24.20
MAP - 29	745.131	7.686.806	170	19.10	285.00	7.40	273.62	96.20	0.00	8.96	0.00	4.54	0.09	25.90	0.40	61.70	1.08	45.00	0.00	9.25	20.50
MAP - 30	744.929	7.687.122	136	19.40	245.00	7.80	287.34	160.00	0.00	6.78	0.00	3.44	0.10	9.58	0.31	28.50	0.29	45.50	0.00	9.14	23.70
MAP - 31	744.854	7.686.728	100	19.20	308.00	7.70	331.52	147.00	0.00	12.30	0.00	3.75	0.09	22.90	0.38	60.50	0.00	46.40	0.00	14.00	24.20
MAP - 32	744.960	7.686.366	211	19.60	378.00	7.80	429.65	249.00	0.00	9.06	0.31	3.84	0.11	21.80	0.31	32.10	3.02	62.40	0.00	19.20	28.50
MAP - 33	745.259	7.686.245	0	19.70	418.00	7.00	379.22	130.00	0.00	35.90	0.43	9.70	0.13	75.10	0.32	43.00	8.04	45.70	0.00	13.10	17.80
MAP - 34	744.910	7.686.606	244	19.20	270.00	7.90	293.38	134.00	0.00	6.63	0.00	3.73	0.10	18.60	0.31	49.50	0.71	43.70	0.00	12.00	24.10
MAP - 35	744849	7687026	15	25.00	354.00	7.40	299.81	173.00	0.00	6.41	0.00	3.06	0.35	17.20	0.00	17.30	5.69	43.90	0	14.60	18.30
MAP - 36	745125	7685920	13	25.00	339.00	7.26	286.86	145.00	0.00	19.40	0.00	5.80	0.21	12.70	0.00	27.50	15.3	35.60	0	9.75	15.60
MAP - 37	745533	7686554	10	25.00	886.00	6.81	74.12	11.20	0.00	9.94	0.00	6.61	0.00	9.48	0.00	19.10	1.04	2.24	0	1.11	13.40
MAP - 38	744615	7686417	11	25.00	229.00	7.22	184.43	45.40	0.00	15.80	0,29	10.70	0.21	21.40	0.00	44.60	1.88	14.40	0	5.34	24.70
MAP - 39	745.005	7.686.541	140	23.60	387.00	7.70	374.33	162.00	0.00	9.53	0.31	3.87	0.08	28.70	0.45	71.70	0.59	58.00	0.00	14.80	24.30
MAP - 40	744.910	7.686.606	140	23.50	280.00	7.90	282.79	130.00	0.00	6.89	0.25	3.12	0.08	17.60	0.31	47.00	0.23	42.40	0.01	11.30	23.60
MAP - 41	744.850	7.686.544	141	23.30	319.00	7.80	316.25	137.00	0.00	8.82	0.24	3.15	0.12	22.30	0.32	58.80	0.00	44.20	0.00	14.90	26.40
MAP - 42	744.794	7.686.617	180	23.40	261.00	7.10	248.54	72.90	0.00	16.50	0.25	5.04	0.10	28.30	0.33	57.40	0.86	30.30	0.00	7.76	28.80
MAP - 43	745.041	7.686.562	190	23.40	369.00	7.90	353.11	142.00	0.00	9.01	0.32	3.51	0.10	30.90	0.41	70.70	1.76	54.80	0.00	14.40	25.20
MAP - 44	744.648	7.686.567	182	23.40	314.00	7.00	297.66	105.00	0.00	9.47	0.28	8.86	0.13	26.30	0.33	67.40	1.08	41.00	0.01	11.30	26.50
MAP - 45	744.910	7.686.606	244	21.70	303.00	8.00	299.95	135.00	0.00	6.27	0.21	3.23	0.12	19.50	0.31	51.80	0.21	45.70	0.00	12.60	25.00