



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PERFILAGEM QUÍMICA DE POÇOS TUBULARES NA REGIÃO CÁRSTICA DO JAÍBA,
NORTE DE MINAS GERAIS**

JOÃO PEDRO GOMES LARA

MONOGRAFIA nº 265

Ouro Preto, fevereiro de 2018

**PERFILAGEM QUÍMICA DE POÇOS TUBULARES NA
REGIÃO CÁRSTICA DO JAÍBA, NORTE DE MINAS GERAIS**



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitora

Prof.^a Dr.^a Cláudia Aparecida Marliére de Lima

Vice-Reitor

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

Pró-Reitora de Graduação

Prof.^a Dr.^a Tânia Rossi Garbin

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Prof. Dr. Issamu Endo

Vice-Diretor

Prof. Dr. Hernani Mota de Lima

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Prof. Dr. Luís Antônio Rosa Seixas

MONOGRAFIA

Nº 265

**PERFILAGEM QUÍMICA DE POÇOS TUBULARES NA
REGIÃO CÁRSTICA DO JAÍBA, NORTE DE MINAS GERAIS**

João Pedro Gomes Lara

Orientador

Prof. M.Sc. Paulo Cyro Baptista Scudino

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 402, ano 2017/2

OURO PRETO

2018

Ficha de Aprovação

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

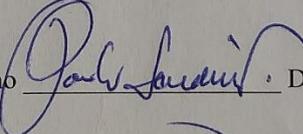
TÍTULO: PERFILAGEM QUÍMICA DE POÇOS TUBULARES NA REGIÃO CÁRSTICA DO JAÍBA, NORTE DE MINAS GERAIS

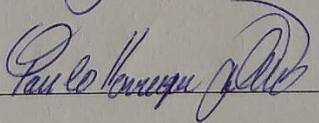
AUTOR: João Pedro Gomes Lara

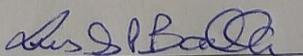
ORIENTADOR: Paulo Cyro Baptista Scudino

Aprovado em: 08.02.2018.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Msc. Paulo Cyro Scudino Baptista Scudino  DEGEO/UFOP

Prof. Dr. Paulo Henrique Ferreira Galvão  DEGEO/UFOP

Prof. Dr. Luís de Almeida Prado Bacellar  DEGEO/UFOP

Ouro Preto, 08, 02, 2018.

Universidade Federal de Ouro Preto – <http://www.ufop.br>
Escola de Minas - <http://www.em.ufop.br>
Departamento de Geologia - <http://www.degeo.ufop.br/>
Campus Morro do Cruzeiro s/n - Bauxita
35.400-000 Ouro Preto, Minas Gerais
Tel. (31) 3559-1600, Fax: (31) 3559-1606

Direitos de tradução e reprodução reservados.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser gravada, armazenada em sistemas eletrônicos, fotocopiada ou reproduzida por meios mecânicos ou eletrônicos ou utilizada sem a observância das normas de direito autoral.

Revisão geral: João Pedro Gomes Lara

Catálogo elaborado pela Biblioteca Prof. Luciano Jacques de Moraes do
Sistema de Bibliotecas e Informação - SISBIN - Universidade Federal de Ouro Preto

| | |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| L318p | Lara, João Pedro Gomes. Perfilagem química de poços tubulares na região cárstica do Jaíba, norte de Minas Gerais [manuscrito] / João Pedro Gomes Lara. - 2018. xiv, 43f.: il.: color; grafs; tabs; mapas. Orientador: Prof. MSc. Paulo Cyro Baptista Scudino. Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia. 1. Hidrogeologia. 2. Aquíferos. 3. Carste. I. Scudino, Paulo Cyro Baptista. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título. CDU: 556.3(815.1) |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

<http://www.sisbin.ufop.br>

Agradecimentos

Agradeço à minha mãe Kátia e ao meu pai Edésio, que são minha referência e por não medirem esforços para que eu pudesse ir atrás dos meus sonhos. À minha família por sempre se mostrar presente e por mostrar que a união entre familiares é muito importante para todos.

Aos amigos de Resende Costa, Ouro Preto e, em especial, amigos da geologia 12.2 e amigos que considero familiares, da república Quatro Doses, onde morei por cinco anos e pude passar os melhores anos da minha vida.

À Universidade Federal de Ouro Preto, especialmente ao Departamento de Geologia. Muito obrigado Professor Paulo Scudino, pela orientação dada, profissionalismo e pelo conhecimento transmitido no período em que trabalhamos juntos.

SUMÁRIO

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| AGRADECIMENTOS..... | viii |
| SUMÁRIO..... | xi |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xiii |
| ÍNDICE DE TABELAS..... | xv |
| RESUMO..... | xvii |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1 APRESENTAÇÃO..... | 1 |
| 1.2 ACESSO E LOCALIZAÇÃO..... | 1 |
| 1.3 OBJETIVOS..... | 3 |
| 1.4 JUSTIFICATIVA..... | 4 |
| 1.5 TÉCNICAS HIDROGEOLÓGICAS DE PERFILAGEM DE POÇOS..... | 4 |
| 2 MATERIAIS E MÉTODOS..... | 7 |
| 3 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL..... | 13 |
| 3.1 CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL..... | 15 |
| 4 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS..... | 19 |
| 4.1 ANÁLISE DOS DADOS DA REGIÃO MORRO CATARINO..... | 21 |
| 4.2 DELIMITAÇÃO DOS POTENCIAIS DE RECARGA E DESCARGA DA SUB-REGIÃO DO MORRO CATARINO..... | 25 |
| 4.3 ANÁLISE DOS DADOS REGIONAIS OBTIDOS..... | 27 |
| 4.4 DELIMITAÇÃO DOS POTENCIAIS DE RECARGA E DESCARGA NA SUB-REGIÃO MATA DO JAÍBA..... | 32 |
| 4.5 DELIMITAÇÃO DOS POTENCIAIS DE RECARGA E DESCARGA NA SUB-REGIÃO DOS CONTRAFORTES DA SERRA DO SABONETAL..... | 34 |
| 5 DISCUSSÕES..... | 35 |
| 6 CONCLUSÕES..... | 39 |
| 7 REFERÊNCIAS BLIOGRÁFICAS..... | 41 |
| Apêndice 1- Perfilagem do poço MA-69 mediante uso do NaCl como traçador | |
| Apêndice 2- Perfilagem do poço MA-123 mediante uso do NaCl como traçador | |
| Apêndice 3- Perfilagem do poço MA-145 mediante uso do NaCl como traçador | |
| Apêndice 4- Perfilagem do poço MA-151 mediante uso do NaCl como traçador | |
| Apêndice 5- Perfilagem do poço MA-602 mediante uso do NaCl como traçador | |
| Apêndice 6- Perfilagem do poço MA-603 mediante uso do NaCl como traçador | |
| Apêndice 7- Perfilagem do poço MA-604 mediante uso do NaCl como traçador | |
| Apêndice 8- Perfilagem do poço MA-605 mediante uso do NaCl como traçador | |
| Apêndice 9- Perfilagem do poço MA-607 mediante uso do NaCl como traçador | |
| Apêndice 10- Perfilagem do poço MA-608 mediante uso do NaCl como traçador | |
| Apêndice 11- Perfilagem do poço MA-610 mediante uso do NaCl como traçador | |
| Apêndice 12- Perfilagem do poço MA-611 mediante uso do NaCl como traçador | |
| Apêndice 13- Perfilagem do poço MA-612 mediante uso do NaCl como traçador | |

Apêndice 14- Perfilagem do poço IT-504 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 15- Perfilagem do poço IT-507 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 16- Perfilagem do poço IT-519 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 17- Perfilagem do poço JN-403 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 18- Perfilagem do poço JN-405 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 19- Perfilagem do poço MA-03 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 20- Perfilagem do poço MA-69 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 21- Perfilagem do poço MA-79 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 22- Perfilagem do poço MA-83 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 23- Perfilagem do poço MA-84 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 24- Perfilagem do poço MA-123 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 25- Perfilagem do poço MA-131 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 26- Perfilagem do poço MA-144 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 27- Perfilagem do poço MA-145 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 28- Perfilagem do poço MA-146 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 29- Perfilagem do poço MA-151 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 30- Perfilagem do poço MA-198 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 31- Perfilagem do poço MA-400 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 32- Perfilagem do poço MA-602 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 33- Perfilagem do poço MA-603 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 34- Perfilagem do poço MA-604 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 35- Perfilagem do poço MA-605 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 36- Perfilagem do poço MA-607 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 37- Perfilagem do poço MA-608 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 38- Perfilagem do poço MA-610 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 39- Perfilagem do poço MA-611 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 40- Perfilagem do poço MA-612 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 41- Perfilagem do poço MA-614 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 42- Perfilagem do poço MA-617 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 43- Perfilagem do poço MA-618 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 44- Perfilagem do poço MZ-107 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 45- Perfilagem do poço MZ-200 mediante uso do ⁸²BR como traçador
Apêndice 46- Perfilagem do poço VL-05 mediante uso do ⁸²BR como traçador

ÍNDICE DE FÍGURAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1.1: Acesso rodoviário à região da Jaíba – MG, a partir de Ouro Preto (Fonte: Google Maps. Acesso 05/08/2017)..... | 2 |
| Figura 1.2: Localização da área de estudo (Silva, 1984)..... | 3 |
| Figura 2.1: Procedimento de injeção de traçador químico na coluna do poço (Scudino, 1980). | 8 |
| Figura 2.2: Fluxo vertical ascendente, onde a abscissa representa a radioatividade (c/s) do traçador Br-82 e a ordenada, a profundidade do poço em metros. Identificada fenda produtora de água no trecho entre 50 e 51 metros de profundidade, sob fluxo vertical ascendente, em interconexão com uma fenda superior, entre 29 e 30 metros de profundidade (Plata, 1980)..... | 10 |
| Figura 2.3: Fluxo horizontal, onde a abscissa representa a radioatividade (c/s) do traçador Br-82 e a ordenada, a profundidade do poço em metros. Identificadas fendas produtoras de água nos trechos entre 25 e 26, e 31 e 32 metros de profundidade, sob fluxos horizontais (Plata, 1980)..... | 11 |
| Figura 3.1: Mapa geológico simplificado do Cráton do São Francisco, Faixa Araçuaí e Faixa Brasília, com quadrado destacando a área em estudo (Alkmim & Marshack, 1998 apud Iglesias, 2007) | 13 |
| Figura 3.2: Perfil esquemático NW-SE da área de estudo, entre a região de Bonito e a Serra do Jaíba (Iglesias, 2007)..... | 14 |
| Figura 3.3: Seção esquemática NW-SE, entre a calha do rio São Francisco e a Serra do Jaíba, mostrando a estrutura sinclinal da Serra do Jaíba (Iglesias, 2007; Iglesias & Uhlein, 2007). | 16 |
| Figura 3.4: Mapa com feições geomorfológicas da região do Jaíba (Silva, 1984)..... | 17 |
| Figura 4.1: Mapa com a localização dos poços e topografia local. | 20 |
| Figura 4.2: Histograma em função das cotas(m) das fendas permeáveis no Morro Catarino. . | 24 |
| Figura 4.3: Identificação de componentes de fluxo, nos poços localizados no Morro Catarino e seções esquemáticas AB e CD. Poços tubulares captando do substrato aquífero carbonático, carstificado. | 26 |
| Figura 4.4: Histograma em função das altitudes das fendas permeáveis na região em estudo. | 29 |
| Figura 4.5: Piezometria relativa ao final do período chuvoso (modificado de Silva, 1984) | 33 |
| Figura 5.1: Delimitação regional de zonas aquíferas e respectivo potencial hidrogeológico... | 38 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 4.1: Resumo dos resultados obtidos na perfilagem química com o traçador NaCl | 22 |
| Tabela 4.2: Resumo dos resultados obtidos na perfilagem com traçador radioativo (^{82}Br). | 22 |
| Tabela 4.3: Análise comparativa dos resultados obtidos com os diferentes traçadores (NaCl e ^{82}Br)..... | 23 |
| Tabela 4.4: Discriminação dos tipos de fluxo, profundidade do nível estático e respectiva carga hidráulica, e profundidade dos trechos das fendas produtoras identificadas nas perfilagens com o traçador ^{82}Br | 27 |
| Tabela 4.5: Síntese dos resultados obtidos a partir da perfilagem radioisotópica. | 28 |
| Tabela 4.6: Discriminação das espessuras das fendas produtoras identificadas. | 31 |

Resumo

A região de estudo está compreendida entre os paralelos de 14° 30' e 15° 30' e meridianos 43° 30' e 44° 00', em faixa territorial localizada entre o rio São Francisco a oeste e o rio Verde Grande a leste, Norte de Minas Gerais. O substrato rochoso caracteriza-se pela ocorrência de um aquífero cárstico, representado por rochas carbonáticas associadas ao Grupo Bambuí, cujas áreas de ocorrência de calcários puros, fraturados e carstificados, apresentam alto potencial hidrogeológico, associado a cargas hidráulicas baixas, em zonas de descarga natural próximas ao nível de base regional. Esta condição hidrogeológica favorável viabiliza a execução de projetos de irrigação mediante captação de água subterrânea por poços tubulares, de alta capacidade de produção, com vazões que chegam à ordem de 100 a 200 m³/h, a eventualmente maiores, desde que identificados sítios com características morfoestruturais favoráveis à perfuração, associadas a zonas regionais de descarga natural. Neste trabalho, foram realizadas avaliações hidrodinâmicas por meio da perfilagem de poços tubulares pelo Método de Diluição com uso de traçador radioativo (Br-82) e de traçador convencional (NaCl) em solução saturada. Foram identificados níveis permeáveis sob componente de fluxo vertical ascendente, relacionado a zonas preferenciais de descarga, favoráveis à exploração de água subterrânea, bem como identificados níveis permeáveis sob fluxo vertical descendente, relacionados a zonas preferenciais de recarga, em diferentes sub-regiões. Resultados comparativos revelaram a eficiência de cada traçador, cujos resultados foram similares; o traçador químico NaCl, de maiores facilidades e segurança de manuseio, mostrou-se economicamente mais viável. O tratamento estatístico dos resultados possibilitou identificar níveis de profundidade de maior ocorrência da carstificação regional e respectivas cotas altimétricas, representativas de fendas permeáveis produtoras de água, como subsídio ao dimensionamento da profundidade de perfuração de novos poços de captação.

Palavras chave: Perfilagem hidrodinâmica; Método da Diluição; Traçador químico; Aquífero cárstico; Grupo Bambuí.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Considerando a grande demanda por água em locais de empreendimentos associados à agricultura e pecuária, bem como em centros urbanos ou em pequenas comunidades periurbanas e rurais, estudos hidrogeológicos têm-se tornado mais necessários, haja vista que muitos locais situados em regiões de clima semiárido, principalmente, contam com baixos índices pluviométricos e baixas vazões de mananciais de superfície, o que, na maioria das vezes, diante da crescente demanda, requer maior oferta de água para diferentes usos, num quadro de escassez hídrica fluvial, em que a água subterrânea constitui-se alternativa viável ao abastecimento, mesmo que em caráter complementar.

Esse trabalho tem por subsídio, estudo hidrogeológico de caráter hidrodinâmico, realizado em uma faixa territorial localizada entre o rio São Francisco a oeste e o rio Verde Grande a leste, na região da Jaíba, Norte de Minas Gerais. O substrato rochoso caracteriza-se pela ocorrência de um aquífero cárstico, representado por rochas carbonáticas associadas ao Grupo Bambuí. O aquífero cárstico desta região apresenta potencial hidrogeológico elevado, o que viabiliza a execução de projetos de irrigação por meio de captação de água subterrânea cujos poços tubulares têm revelado alta capacidade de produção, com vazões que chegam à ordem de 100 a 200 m³/h, a eventualmente maiores, desde que identificados sítios com características morfoestruturais favoráveis à perfuração, associadas a zonas regionais de descarga natural. Neste trabalho, os estudos e avaliações hidrodinâmicas têm enfoque na perfilagem de poços tubulares profundos, pelo Método de Diluição (Plata, A.B., 1972; Custódio, E.C. & Llamas, M.R., 1983; CETEC, 1978 e 1979), com uso de traçador radioativo (Br-82) e de traçador químico (NaCl) em solução saturada, com a finalidade de reconhecimento e identificação de níveis permeáveis sob fluxo vertical ascendente, relacionado a zonas preferenciais de descarga natural, favoráveis à exploração de água subterrânea.

1.2 ACESSO E LOCALIZAÇÃO

A área em estudo localiza-se no extremo norte do Estado de Minas Gerais, na região próxima à cidade de Jaíba; abrange parte da folha topográfica SD.23-Z-C-III (Folha Mata do Jaíba) e está situada entre os paralelos de 14° 30' e 15° 30' e meridianos 43° 30' e 44°00'.

Conforme ilustrado na Figura 1.1, a cidade de Jaíba situa-se a cerca de 700 Km de Ouro Preto. O seu acesso rodoviário pode se proceder através da BR-356 de Ouro Preto até Belo Horizonte, tomando-se em seguida, pelo anel rodoviário, a BR-040 com destino Belo Horizonte-Brasília, passando ao largo da cidade de

Sete Lagoas, até o trevo da BR-135 com destino a Curvelo, até a cidade de Montes Claros. A seguir, toma-se o acesso pela BR-122 até Janaúba, e em seguida a MG-401 até a cidade de Jaíba. A área de estudo, por sua vez, localiza-se ao norte desta cidade, conforme ilustrado na Figura 1.2.

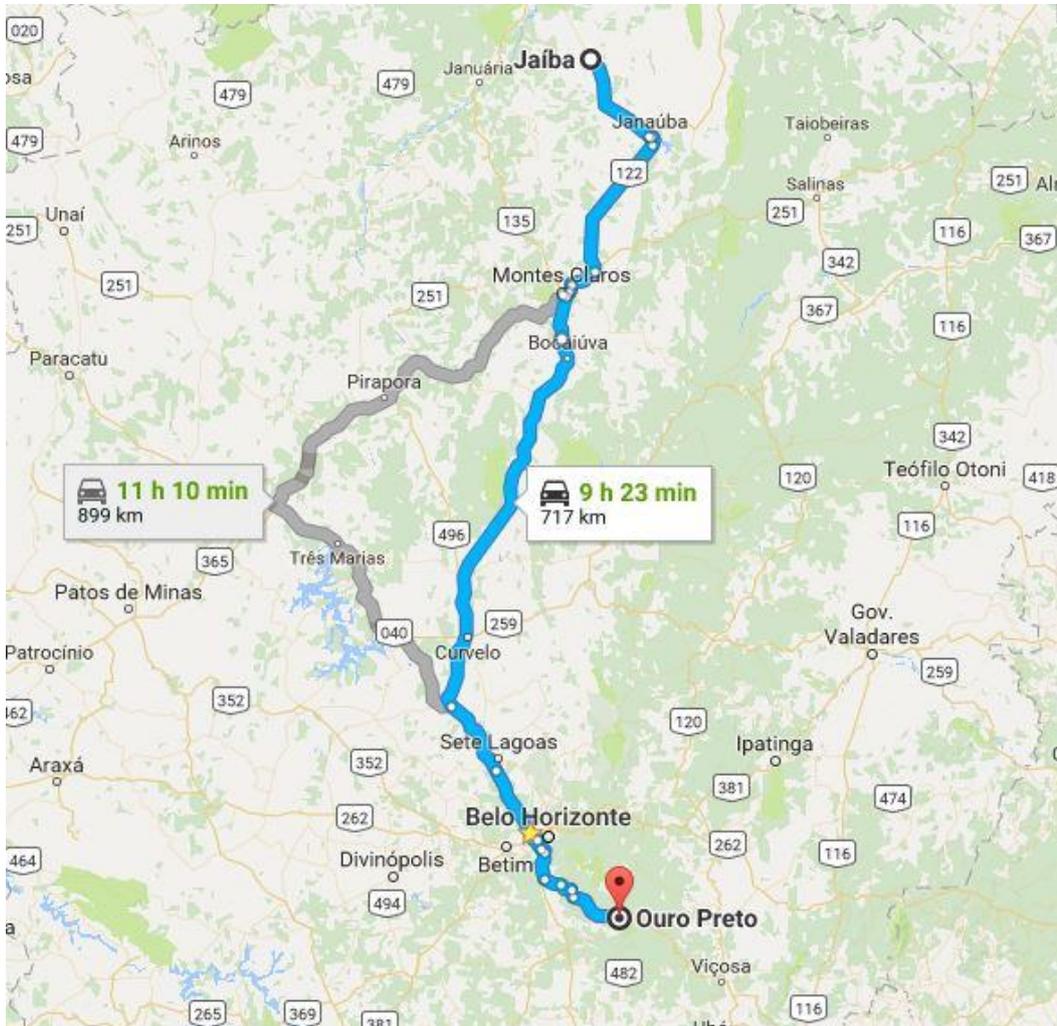


Figura 1.1: Acesso rodoviário à região da Jaíba – MG, a partir de Ouro Preto (Fonte: Google Maps. Acesso 05/08/2017)

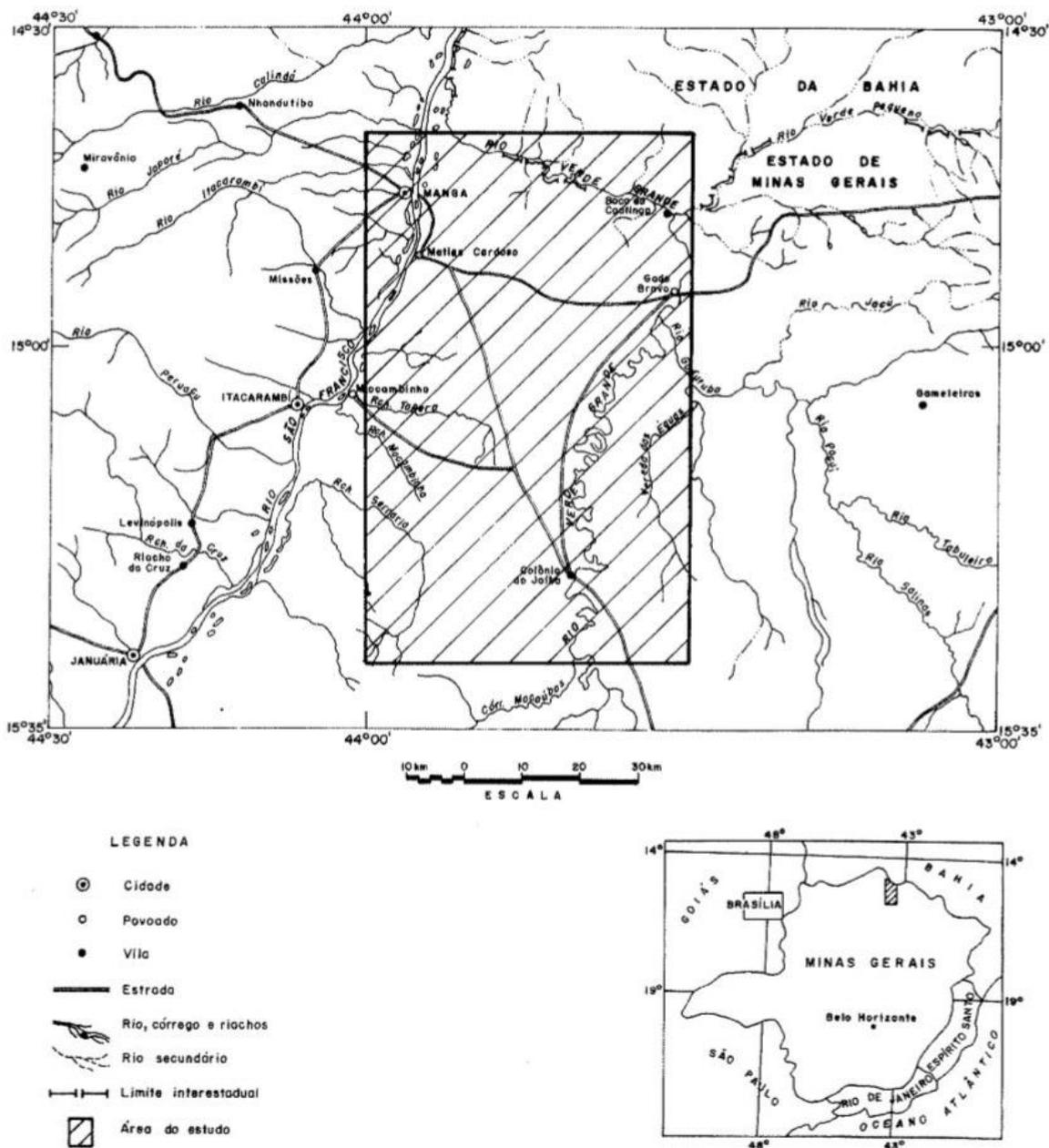


Figura 1.2: Localização da área de estudo (Silva, 1984)

1.3 OBJETIVOS

O projeto tem objetivo de caráter teórico-acadêmico e de treinamento profissional, com vista ao aprendizado de técnicas hidrogeológicas aplicadas, oportunidade oferecida no âmbito do Curso de Graduação de Engenharia Geológica.

Como objetivo específico, teve-se por meta estudar o comportamento de fluxo da água subterrânea em aquífero cárstico, procedendo-se estudos hidrodinâmicos de caráter regional, através da perfilagem de poços, para a identificação das componentes de fluxo associadas a áreas de recarga e descarga natural, bem como os trechos permeáveis e respectiva profundidade da carstificação e zoneamento de áreas favoráveis à exploração por poços tubulares profundos.

1.4 JUSTIFICATIVA

Os resultados poderão representar importantes contribuições e informações relevantes sobre a região cárstica do Norte de Minas, de alto potencial hidrogeológico, onde são desenvolvidos projetos de irrigação com água subterrânea, voltados para fruticultura intensiva. O desenvolvimento desta atividade nos municípios de Montes Claros, Capitão Enéas, Janaúba, Jaíba, Matias Cardoso e Gado Bravo, envolve uma economia global da ordem de USD 10 milhões anuais, contribuindo para a oferta de empregos, geração de impostos e desenvolvimento social.

1.5 TÉCNICAS HIDROGEOLÓGICAS DE PERFILAGEM DE POÇOS

A perfilagem geofísica de poço tem se mostrado um método eficiente e prático no que se refere à caracterização litológica em subsuperfície, por oferecer bons resultados associados a baixos custos na aquisição de dados, compondo informações ao longo de um perfil correspondente à coluna litológica de um furo de sondagem ou de um poço, de modo que se possa contar com a aquisição de medidas de interesse correlacionadas a uma determinada propriedade litológica em estudo.

Existem inúmeras técnicas e metodologias utilizadas na perfilagem geofísica de poços; algumas envolvem tecnologias muito avançadas e são utilizadas para perfilagem em furos que atingem quilômetros de profundidade, na área de tecnologia de petróleo, e outras mais simples e que podem ser utilizadas para perfilagem em furos com apenas alguns metros (Oliveira, 2005).

Como procedimento usual, a perfilagem geofísica conta com uma sonda detectora de parâmetros geofísicos de interesse, que efetua a varredura vertical ao longo da coluna do furo ou do poço, cujos sinais geofísicos especificamente detectados, relativos aos litotipos atravessados, registram um ou mais parâmetros de modo simultâneo.

Considerando a vasta gama de métodos geofísicos utilizados na perfilagem de poços, pode-se dizer que os mesmos oferecem diversas aplicações para investigações geológicas, tais como prospecção mineral, correlações estratigráficas e prospecção de petróleo (Oliveira, 2005; Almeida *et al*, 2007), além da técnica aqui

empregada para o mapeamento regional de zonas aquíferas de maior potencial, com enfoque na investigação hidrodinâmica de fluxos ascendentes e descendentes (Plata, 1972; Silva & Scudino, 1980 e 1983).

Nos estudos e investigações hidrogeológicas, os métodos utilizados mais comuns são os perfis de radiação, perfil ótico, perfis de resistividade e perfil do diâmetro (*calliper*) do poço (Guerra, 2010). Segundo Souza (2005), a perfilagem geofísica de poço, aplicada à hidrogeologia, tem se revelado muito eficiente no auxílio à identificação de intervalos com litotipos em potencial para conter água e, visando o melhor suprimento de água e um poço com maior vazão e maior vida útil, constituindo-se importantes subsídios para a completação de poços (disposição da coluna de revestimentos de tubo liso e filtro em aquíferos porosos), é necessário identificar a profundidade da interface basal e de topo desses litotipos, para que os filtros dos poços sejam dispostos nas posições corretas.

Dentre os demais métodos aplicados à hidrogeologia, o método de perfilagem por diluição em poço aberto tem-se mostrado prático e eficiente, na definição de tipos de fluxo e sua hidrodinâmica associada a zonas regionais de recarga e de descarga natural (Plata, 1972, *op. cit.*; Silva & Scudino, *op. cit.*), de interesse para a identificação de zonas mais promissoras para a exploração de águas subterrâneas. O método da diluição, aqui especialmente focado, consiste basicamente na injeção de um traçador químico ou radioisotópico em toda a coluna útil do poço (aberto), seguida de medições subsequentes, sistemáticas, das concentrações radioisotópicas ou do traçador químico (geralmente um sal), ao longo da sua coluna. As entradas de água, em meio cárstico-fissural, diminuem a sua concentração, nos trechos permeáveis, possibilitando definir o tipo de fluxo – se vertical descendente, ou ascendente, ou fluxo horizontal, os quais se associam às condições hidrodinâmicas reinantes no aquífero cárstico investigado.

Scudino (1984), desenvolveu a aplicação deste método de perfilagem mediante uso de água pluvial, no aquífero cristalino do estado de Alagoas, para identificação de zonas favoráveis ao fraturamento com explosivos especiais, cujos resultados que auferiram um aumento de 50 % a 140 % da produtividade dos poços. Com este mesmo objetivo, Scudino (1985) apresenta dados comparativos de resultados de estimulação de poços em meios aquíferos cárstico e cristalino.

A utilização de traçadores como um todo, revela-se muito eficiente no que se refere a acompanhar fluxos e movimentos através do rastreamento dos seus sinais. Seja mediante emprego de traçadores artificiais ou naturais, diversas investigações hidrogeológicas podem ser realizadas, como medir vazão em canais, velocidade e direção do fluxo em água subterrânea, recarga de águas subterrâneas, interconexão de águas subterrâneas, perdas de água por infiltrações em barragens, intrusão de água salgada em aquíferos, dentre outras (Chandra, 1982). Vale ressaltar que os ensaios de traçadores oferecem a melhor prática para medir sentido e velocidade dos fluxos subterrâneos (Divine & Mc Donnes, 2005, *apud* Arreas, 2008).

A exemplo de trabalhos realizados com emprego de traçadores para identificar direção de fluxos subterrâneos, pode-se citar o trabalho “Emprego de traçadores radioativos em águas subterrâneas” (Menezes

Lara, J.P. 2017, Perfilagem química de poços tubulares na região cárstica do Jaíba, Norte de Minas Gerais.

& Lins & Filho & Ferraz, 1990) desenvolvido por professores da Universidade Federal de Pernambuco, cujos resultados comprovaram a interconexão entre os aquíferos Aluvial e Açú, diante da identificação de fluxos verticais em poços tubulares cujos trechos filtrantes os interligam. Outro trabalho que pode ser citado, intitulado “Determinação da velocidade e sentido do fluxo de águas subterrâneas utilizando radioisótopos pela técnica do poço único” (Nery & Ferreira & Moura, 2008), foi realizado em um aquífero granular na região do campus da Universidade Federal do Pará, onde foi possível identificar o sentido e velocidade dos fluxos subterrâneos a partir da perfilagem com uso de traçador radioativo.

CAPÍTULO 2

MATERIAIS E MÉTODOS

A compreensão e estudo de fluxos existentes em aquíferos cársticos pode gerar dados e informações muito importantes e representativas, no que se refere à hidrodinâmica local e regional. Terrenos de morfologia típica de carste, como dolinas, uvalas, simas, poljés, refletem a ocorrência em subsuperfície, de descontinuidades permeáveis associadas a fendas, condutos e cavernas originárias da dissolução química da rocha carbonática, que se constituem porosidades terciárias (Ford & Willians, 2007) que favorecem a formação de aquíferos de grande porte e com alta permeabilidade.

O trabalho compreende a apropriação do conhecimento da aplicação de estudos hidrodinâmicos através da perfilagem de poços abertos, pelo método de diluição, com enfoque em um estudo de caso, na região cárstica da Jaíba, mediante o emprego de traçador químico (NaCl) e radioisotópico (^{82}Br), onde os perfis foram gerados em uma campanha de perfilagens de poços do “Projeto Karst”, realizada pelo CETEC-MG.

Os resultados obtidos com estes diferentes tipos de traçadores apresentam-se bastante similares entre si, demonstrando boa confiabilidade de aplicação. A única diferença se baseia no equipamento utilizado para medir as suas respectivas concentrações ao longo da coluna útil dos poços perfilados, ou seja, no caso do Bromo-82, empregou-se um contador Geyger, enquanto que no caso do traçador de solução salina de Cloreto de Sódio, foi utilizado um condutivímetro portátil de campo, com cabo suficiente para a perfilagem de poços profundos. O traçador radioativo empregado requer cuidados especiais, visto que o mesmo emite radiação, ao passo que não há nenhum tipo de cuidado especial, de risco à saúde, pelo manuseio do traçador Cloreto de Sódio em solução saturada, o que constitui uma vantagem comparativa.

A perfilagem com a técnica de diluição, objeto deste trabalho, consiste na injeção de uma solução concentrada do traçador, na coluna útil dos poços abertos (não revestidos e sem lama), de modo a obter-se uma coluna de água homogeneamente traçada, procedendo-se a seguir, as medições das concentrações, em espaços sistemáticos de profundidades, ao longo do tempo (Figura 2.1). A interação entre a “água nova” relativa às entradas de água do aquífero para dentro da coluna do poço, promove a diluição das concentrações, permitindo identificar uma zona permeável à determinada profundidade.

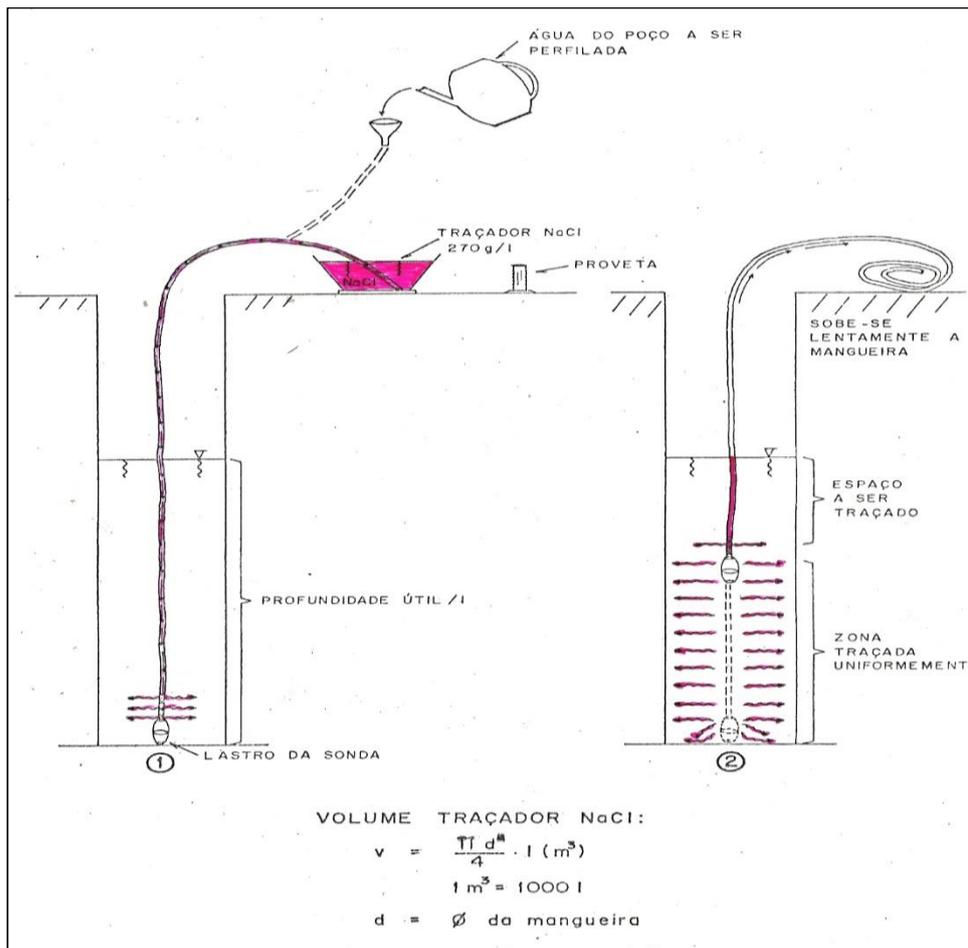


Figura 2.1: Procedimento de injeção de traçador químico na coluna do poço (Scudino, 1980).

Concentrações radioativas medidas na coluna do poço permitem estimativas sobre a velocidade de fluxo (Plata, 1982), a partir dos gráficos gerados. Conforme anteriormente comentado, para a execução da perfilagem por diluição, o traçador químico ou radioativo escolhido deve ser distribuído uniformemente por meio de uma mangueira por todo o poço, de modo que não haja perturbação da água e uma consequente interferência na representatividade nos dados de concentração a serem levantados, tendo por conseguinte, um traçado homogêneo ao longo de toda a coluna útil do poço.

Após a injeção do traçador, o equipamento detector (condutivímetro para o traçador NaCl, ou um contador Geyger para o ⁸²Br) de sua respectiva concentração, é introduzido no poço, para execução da perfilagem através medições a intervalos sistemáticos de profundidade, em geral de 0,5 – 1,0 metro. A coluna útil do poço corresponde à coluna de água no poço (H), enquanto que o volume da solução de traçador injetado no poço é calculado em função do diâmetro (d) da mangueira empregada, igual ao volume de um cilindro ($\pi \cdot (d^2/4) \cdot H$). As medições sucessivas das concentrações, a intervalos de tempo, devem ser efetuadas até que as concentrações do traçador atinjam baixas magnitudes em relação às medições iniciais, para que os gráficos,

que contam com as medidas de concentração do traçador ao longo do poço, possam ser gerados com informações suficientes para que se realize a interpretação e posterior determinação do tipo de fluxo presente no aquífero cárstico em estudo.

As curvas de perfilagem resultantes das medidas sistemáticas subsequentes de concentração da solução de traçador, ao longo da coluna do poço perfilado, geram perfis semelhantes aos da Figura 2.2 e Figura 2.3, que foram utilizados em uma campanha de perfilagem semelhante a essa, na região central da Bahia. A distribuição das concentrações, sejam em micromhos/cm (condutividade elétrica, solução de NaCl), sejam em c/s – ciclos por segundo (radioatividade, ^{82}Br), ao longo da profundidade da coluna útil do poço, nas medições efetuadas logo após a injeção e seguidas de medidas sistemáticas em tempos subsequentes, possibilita identificar zonas permeáveis. A comparação entre as curvas de perfilagem obtidas em tempos subsequentes, diante da diluição decorrente da(s) entrada(s) de água no poço, possibilita definir o tipo de fluxo, tal seja, a componente predominante de fluxo, se vertical descendente ou ascendente, ou horizontal.

Os fluxos horizontais são gerados em duas situações:

- 1) Quando o poço atravessa um aquífero livre que apresenta um nível piezométrico fixo.
- 2) Quando o poço atravessa um aquífero confinado e as camadas rochosas superiores apresentam baixa permeabilidade.

Sobre os fluxos verticais, tem-se que ocorrem em três situações distintas:

- 1) Quando o poço interliga dois aquíferos que apresentam níveis piezométricos distintos. O fluxo será ascendente se o nível piezométrico do aquífero inferior for maior que o do aquífero superior e será descendente quando ocorrer o contrário.
- 2) Tem-se fluxo descendente quando há injeção de água proveniente de camadas superiores ao nível piezométrico de aquíferos suspensos.
- 3) Tem-se fluxo ascendente quando o poço interliga um aquífero confinado a uma camada superior permeável e insaturada, que se encontra abaixo do nível piezométrico do aquífero.

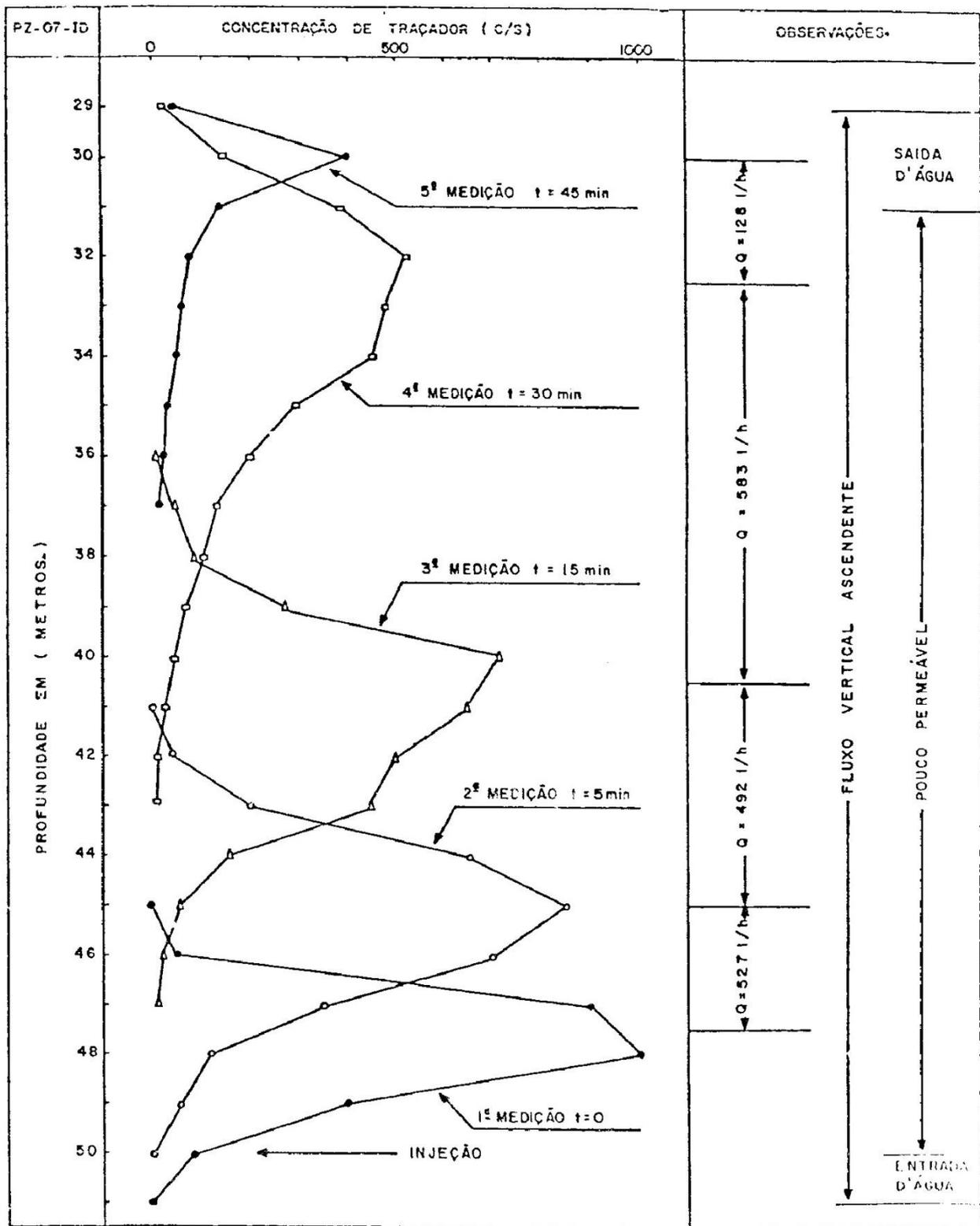


Figura 2.2: Fluxo vertical ascendente, onde a abscissa representa a radioatividade (c/s) do traçador Br-82 e a ordenada, a profundidade do poço em metros. Identificada fenda produtora de água no trecho entre 50 e 51 metros de profundidade, sob fluxo vertical ascendente, em interconexão com uma fenda superior, entre 29 e 30 metros de profundidade (Plata, 1980).

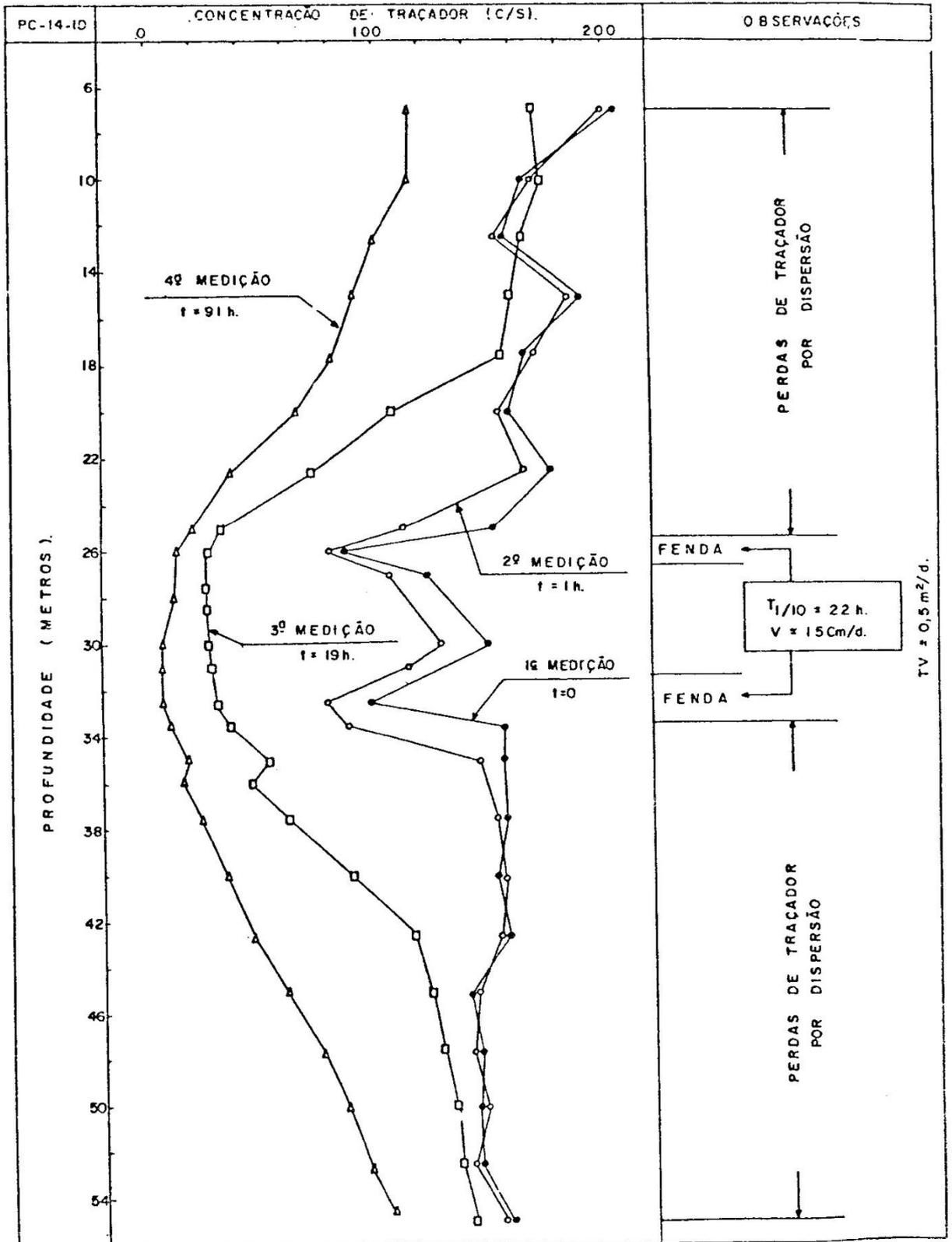


Figura 2.3: Fluxo horizontal, onde a abscissa representa a radioatividade (c/s) do traçador Br-82 e a ordenada, a profundidade do poço em metros. Identificadas fendas produtoras de água nos trechos entre 25 e 26, e 31 e 32 metros de profundidade, sob fluxos horizontais (Plata, 1980).

CAPÍTULO 3

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A área de estudo está inserida na região do Cráton São Francisco (Figura 3.1), representado por rochas do complexo sedimentar superior da cobertura intercratônica pré-cambriana, que compõem o Grupo Bambuí, resultante de sedimentação carbonática e pelítica, provenientes de águas marinhas rasas, com baixa ou média energia (Silva, 1984).

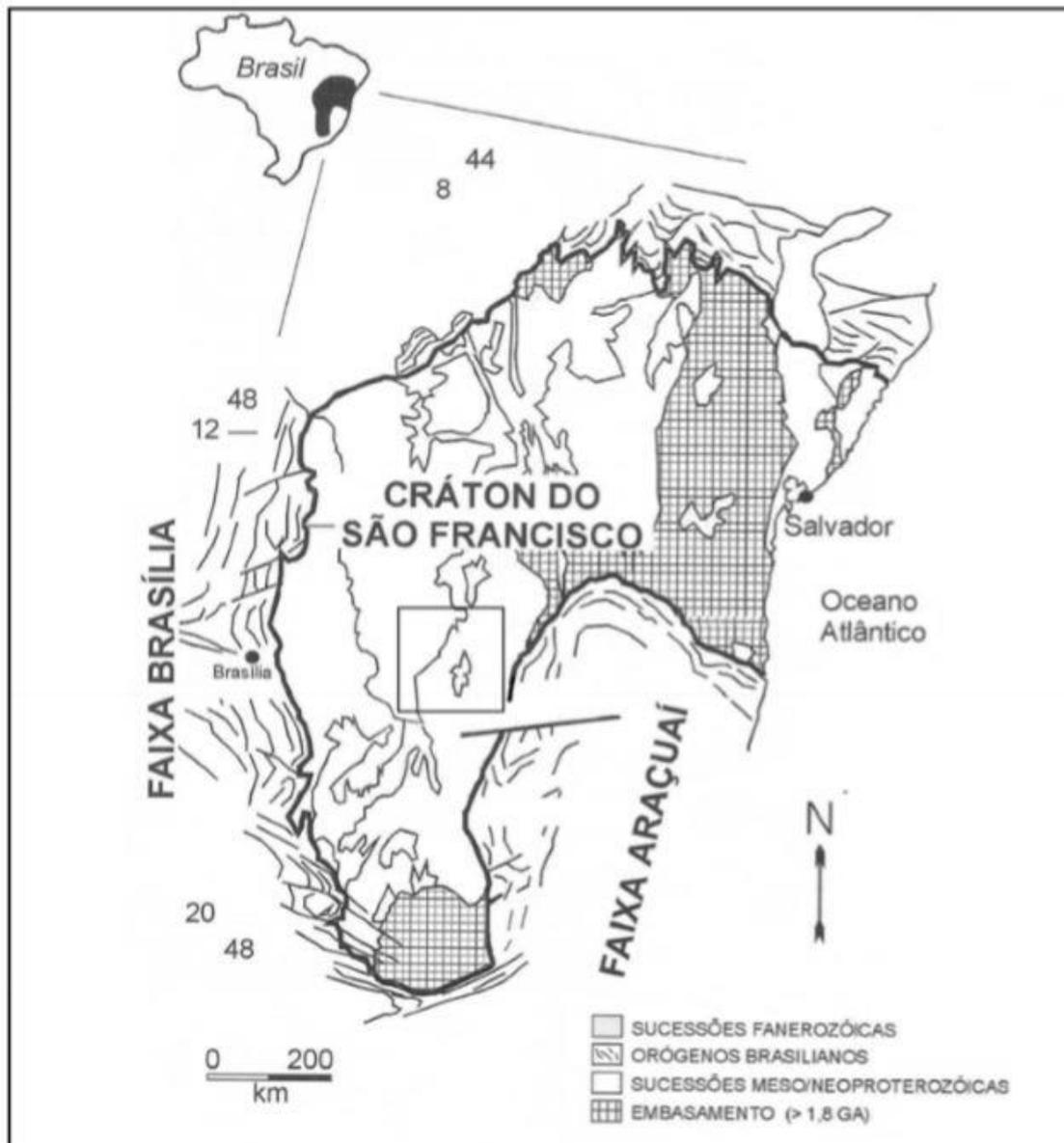


Figura 3.1: Mapa geológico simplificado do Cráton do São Francisco, Faixa Araçuaí e Faixa Brasília, com quadrado destacando a área em estudo (Alkmim & Marshack, 1998 apud Iglesias, 2007)

Tectonicamente, a área insere-se no compartimento central do citado Cráton São Francisco (Alkmim & Martins Neto, 2001) e apresenta uma cobertura tabular sub-horizontal com pouca deformação. É válido ressaltar que essa deformação apresenta aumento na região leste, visto que sofre influências dos dobramentos da Faixa Araçuaí, gerados no evento brasileiro. Estruturas tectônicas apresentam orientação NW-SE e W-E (Figura 3.2) e, em geral, a sua estrutura regional é controlada pela disposição do embasamento (Iglesias & Uhlein, 2009), que sofreu subsidência diferencial associada a falhas normais.

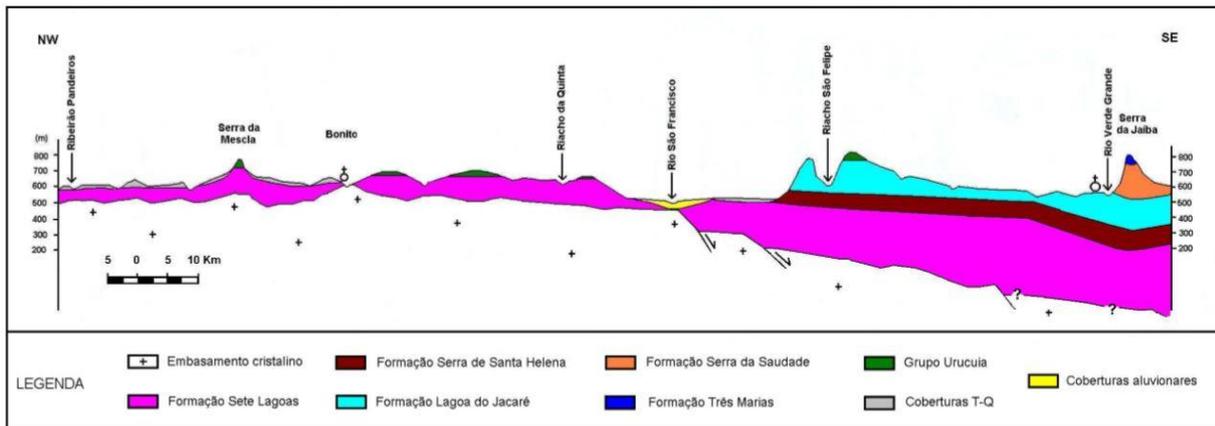


Figura 3.2: Perfil esquemático NW-SE da área de estudo, entre a região de Bonito e a Serra do Jaíba (Iglesias, 2007)

O Grupo Bambuí, unidade estratigráfica do Supergrupo São Francisco, que representa as litologias que compõem os aquíferos do presente trabalho, é dividido em duas sucessões principais: (i) a sucessão basal (marinha), compreendida, da base para o topo, na região de estudo, pelas Formações Sete Lagoas (carbonática), Serra de Santa Helena (pelítico-carbonática), Lagoa do Jacaré (carbonática) e Serra da Saudade (pelítica), as quais compõem o Subgrupo Paraopeba, e (ii) a sucessão de topo, de paleoambiente marinho-continental, representada pela Formação Três Marias, predominantemente psamítica (Iglesias & Uhlein, 2009).

A Formação Sete Lagoas, compreendida pela unidade estratigráfica basal do Grupo Bambuí, constitui-se numa sucessão de calcáreos, calcarenitos, dolomitos e calcarenitos dolomíticos, com aproximadamente 200 metros de espessura média, podendo chegar a 500 metros em algumas regiões. É proveniente de um ambiente marinho raso, que responde a uma transgressão marinha associada a um evento extensional. Ocorrem também algumas lentes pelíticas intercaladas às litologias citadas, assim como alguns níveis dendríticos finos, enquanto que o seu contato de topo é caracterizado como gradativo.

A Formação Serra de Santa Helena, compreendida pela segunda unidade estratigráfica mais antiga do Grupo Bambuí, sobrejacente à referida Formação Sete Lagoas, é composta por siltitos, folhelhos, margas com colorações esverdeadas e intercalações métricas de calcário cinza escuro, que representam os aquíferos mais importantes da região em estudo. Essa unidade apresenta uma espessura média de 135 metros, tem ampla distribuição na região do Vale do rio São Francisco e representa a deposição de uma sucessão em ambiente marinho plataformar.

A Formação Lagoa do Jacaré, terceira unidade estratigráfica mais antiga do Grupo Bambuí, com uma espessura média de 130 metros, também ocorre sob contato gradativo com os estratos da Formação Serra de Santa Helena, subjacente. Sua litologia é caracterizada por calcarenitos, calcissiltitos, calcários impuros, siltitos, margas e brechas intraclásticas. Considerando as litologias da unidade que antecede a Formação Lagoa do Jacaré, tem-se que eventos de regressão marinha ocorreram associados a instalação de plataformas carbonáticas de alta energia, visto que há registros de constantes retrabalhamentos e de tempestades juntamente com as litologias citadas.

A Formação Serra da Saudade, com espessura da ordem de 200 metros, tem seu contato basal com os supracitados estratos da Formação Lagoa do Jacaré, de modo concordante e gradacional. É composta por siltitos, siltitos argilosos, calcissiltitos, folhelhos e lentes finas de calcarenitos. Segundo Iglesias & Uhlein (2008), ocorrem na região do trabalho (Jaíba-MG), afloramentos associados a esta unidade com foliações mostrando uma xistosidade devido à influência da Faixa Araçuaí.

A Formação Três Marias, topo da sequência Bambuí, sobrepõe o Subgrupo Paraopebas, mediante um contato basal concordante gradacional com a Formação Serra da Saudade, exceto na Serra do Jaíba, em que é observado um contato discordante e erosivo com os siltitos. A Formação Três Marias, é basicamente constituída por arcóseos de granulação média a grossa, siltitos e arenitos intercalados, que apresentam espessamento para leste. Segundo Chiavegatto (2003), o paleoambiente de sedimentação dos estratos da Formação Três Marias constituídos por depósitos de borda de bacia, está associado a uma regressão marinha, que evoluiu para um ambiente continental a transicional.

3.1 CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL

Como citado anteriormente, a área de estudo enfocada é compreendida por unidades estratigráficas do Grupo Bambuí em que ocorrem, predominantemente, afloramentos associados aos carbonatos e pelitos das Formações Lagoa do Jacaré e Serra da Saudade, e arcóseos da Formação Três Marias, estes últimos que constituem os topos de serras, algumas de pequena expressão, que se sobressaem na planície da Depressão Sanfranciscana, em cujas largas faixas territoriais é caracterizada por uma cobertura de sedimentos detríticos terciários-quaternários, sobrejacente aos estratos Bambuí. A

Figura 3.3 ilustra, esquematicamente, o perfil geológico associado aos litotipos aquíferos de natureza cárstica a cárstica-fissural da região da Jaíba.

O relevo aplainado, aqui correlacionado à citada unidade morfológica da Depressão Sanfranciscana, tem altitudes médias de 600 metros e desvios topográficos que, em geral, não ultrapassam 50 metros, em conformidade com a Figura 3.4, que conta com outras informações geomorfológicas da região. Os locais com altitudes maiores são a Serra da Jaíba, na porção sudeste, Serra Azul na porção sudoeste e Serra do Sabonetal, também na porção sudoeste.

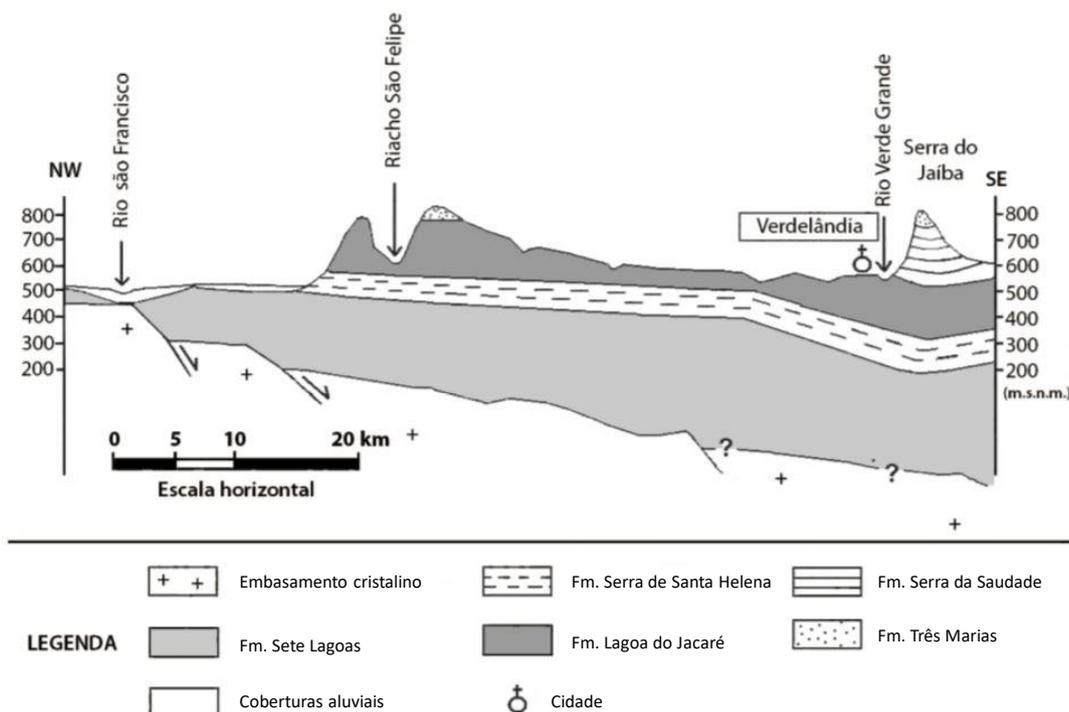


Figura 3.3: Seção esquemática NW-SE, entre a calha do rio São Francisco e a Serra do Jaíba, mostrando a estrutura sinclinal da Serra do Jaíba (Iglesias, 2007; Iglesias & Uhlein, 2007).

Como citado anteriormente, as rochas do Grupo Bambuí sofreram poucas deformações, originárias de um paleoambiente de suaves movimentos diferenciais de acomodações de fundo de bacia que geraram famílias de fraturas orientadas conforme zonas de cisalhamento do embasamento cristalino. A estrutura geral da região da Mata do Jaíba conta com mergulhos sub horizontais com suave mergulho para SE. A carstificação se desenvolveu, principalmente, orientada conforme as famílias de fraturas, que têm orientação em comum conformada por estruturas morfoestruturais alinhadas de dolinas, canyons, uvalas, simas, polgés e fendas. Os esforços causadores dessas fraturas estão relacionados à proximidade com a Faixa Araçuaí, que gerou esforços com orientação principal de 130° a 140° e consequentes fraturas longitudinais com azimute entre 40° e 50°, fraturas diagonais com orientação entre 110° e 120°

e fraturas transversais com orientação entre 130° e 140° (Silva, 1984). A variação da distribuição e intensidade dos diversos tipos de fraturas é decorrente do comportamento reológico de cada litologia em relação aos esforços tectônicos.

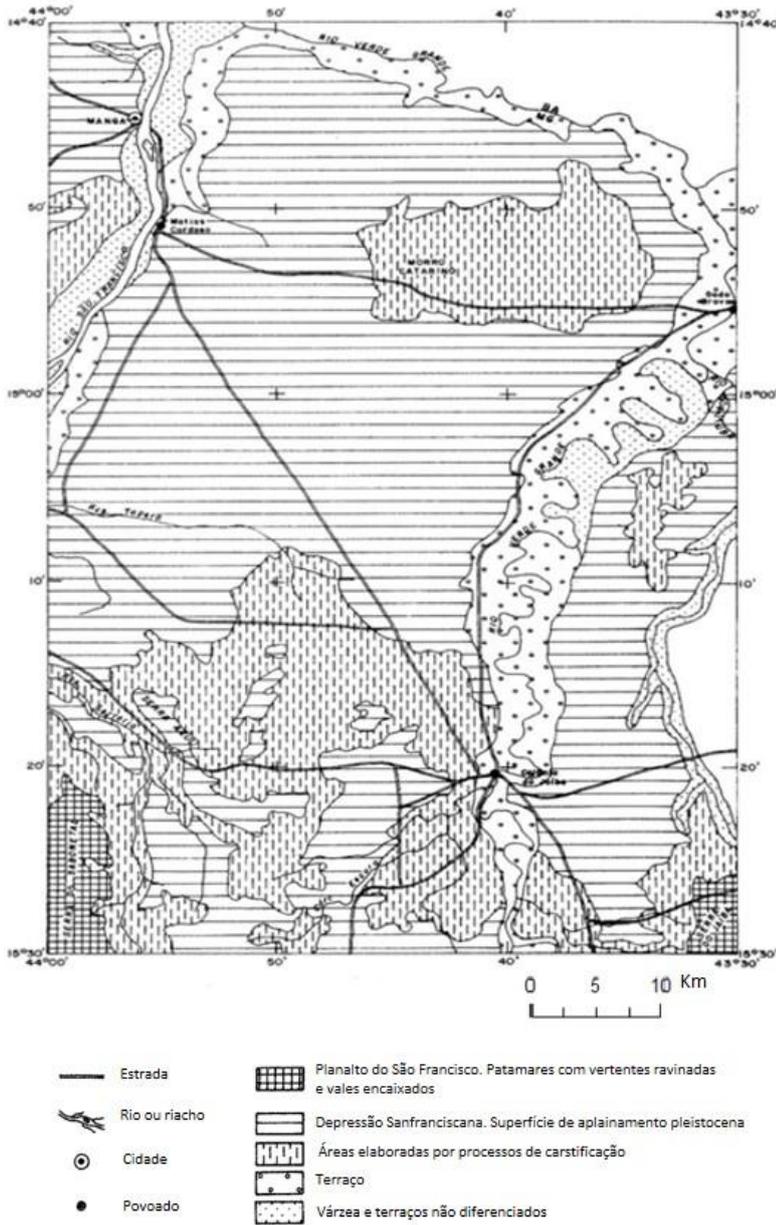


Figura 3.4: Mapa com feições geomorfológicas da região do Jafba (Silva, 1984).

CAPÍTULO 4

ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

São a seguir apresentados os resultados obtidos com a perfilagem de poços pelo método da diluição, mediante análise e interpretação das componentes de fluxo levantadas, com enfoque na interpretação da dinâmica regional de fluxos naturais e identificação de zonas aquíferas cársticas de interesse, associadas à descarga natural, de alto potencial hidrogeológico.

Os dados de perfilagem química levantados compreendem o emprego de dois tipos de traçadores (NaCl e ^{82}Br), diferenciados entre si, e utilizados separadamente em duas campanhas, cujos resultados puderam ser confrontados comparativamente, já que em alguns poços se procedeu à perfilagem com uso de ambos traçadores, o que permitiu avaliar, de modo inequívoco, a eficiência deste método para identificação das fendas cársticas e seus respectivos componentes predominantes de fluxo.

Ao todo, 31 poços foram perfilados com uso de traçador radioativo (^{82}Br) no mês de agosto (período de estiagem do ano hidrológico) e, desses 31 poços, 13 poços foram perfilados com uso do traçador químico NaCl (sal de cozinha), no mês de maio (período de chuva).

A escolha desses poços deveu-se à boa vontade de seus proprietários, que concordaram por sua paralização, por alguns dias, já que foi necessária a desinstalação e reinstalação do sistema de bombeamento logo após a execução da perfilagem. Para a seleção desses poços, deu-se preferência a três sub-áreas, levando-se em conta as suas respectivas faixas de mesma altitude, no âmbito da Depressão Sanfranciscana, com também aquelas de diferenciadas altitudes topográficas, associadas a zonas aquíferas contíguas presumivelmente de recarga e descarga natural do fluxo subterrâneo.

Na Figura 4.1, é apresentado o mapa de localização dos poços perfilados, enquanto que nos apêndices são ilustrados, todos os perfis resultantes da perfilagem, com suas respectivas interpretações. As três sub-regiões principais compreendem os contrafortes ocidental e oriental da Serra do Sabonetal, na porção sudoeste, a faixa centro-sul da sub-região da antiga Colônia da Jaíba, de morfologia aplainada e sob altitude próxima ao nível de base definido pelo rio Verde Grande, a sub-região do Morro Catarino na porção a norte-nordeste, localidades de Lajedão e Lagedinho, a leste de Matias Cardoso e a oeste Gado Bravo, esta localidade situada às margens do rio Verde Grande, tributário do São Francisco.

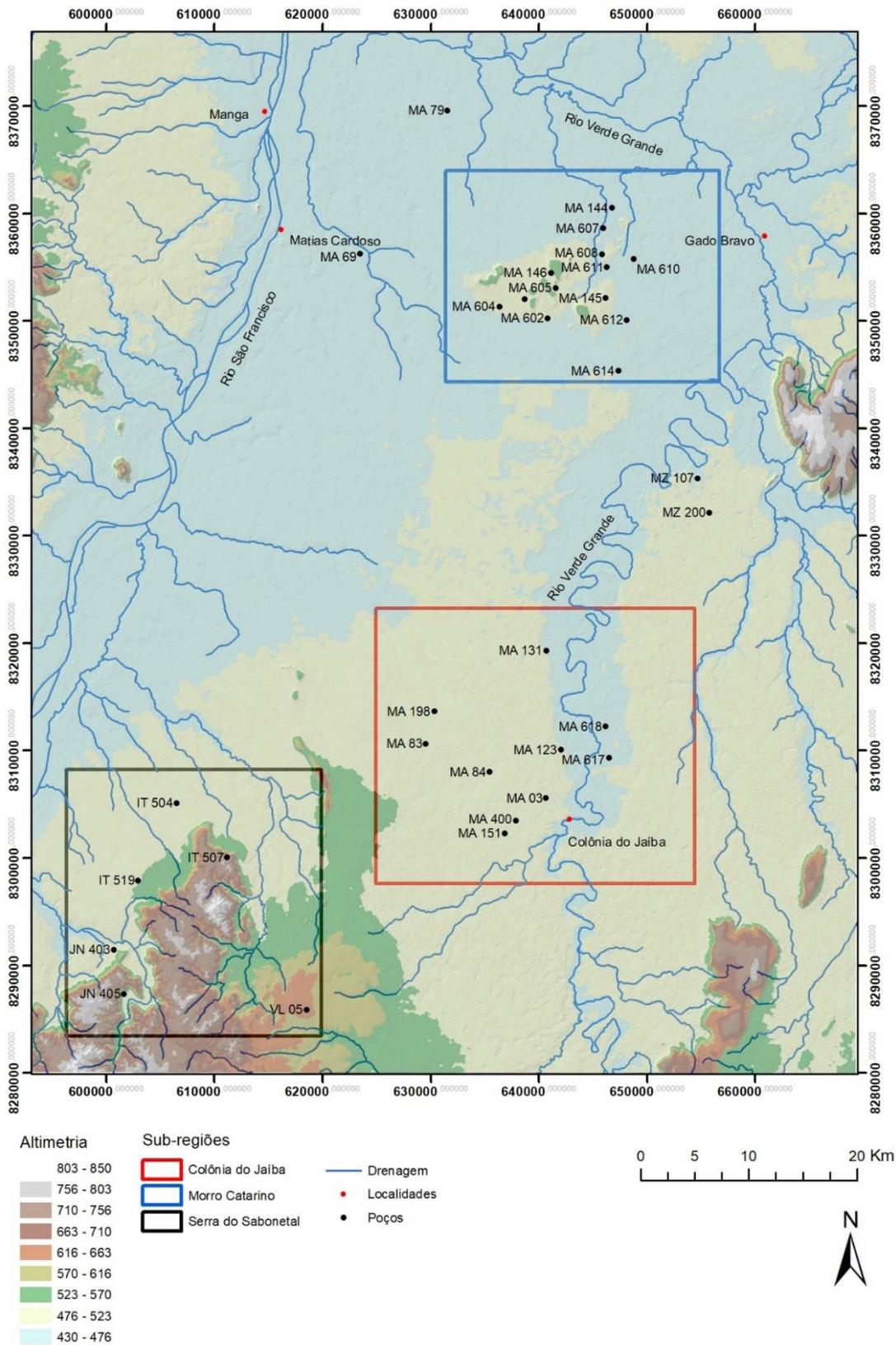


Figura 4.1: Mapa com a localização dos poços e topografia local.

4.1 ANÁLISE DOS DADOS DA REGIÃO MORRO CATARINO

Os dados obtidos através da perfilagem com o traçador químico (NaCl) indicaram 4 poços com fluxo vertical descendente, 7 poços com fluxo vertical ascendente e 6 poços com fluxo horizontal.

Diante da anisotropia do aquífero cárstico, é pertinente ressaltar que a ocorrência de zonas permeáveis ao longo da coluna útil de um mesmo poço venham ser identificadas em diferentes profundidades, fendas produtoras sob componentes predominantes de fluxo horizontal, como de fluxo vertical, que em função das cargas hidráulicas de diferentes áreas de recarga, podem variar sazonalmente, no período seco e período de chuva. Pelo princípio dos “vasos comunicantes”, a interconexão hidráulica entre fendas de dissolução cárstica pode se proceder em zonas aquíferas de baixas e altas permeabilidades, bem como pelo fato de que o fluxo subterrâneo apresente componentes tridimensionais de percolação de fluxo.

Dentre os 13 poços perfilados com o traçador químico (NaCl), 11 se localizam na sub-região do Morro Catarino, área selecionada em uma segunda campanha, em função dos resultados anteriormente obtidos na campanha de perfilagem com traçador radioativo.

Nesta sub-região foi identificada, de modo inequívoco, a ocorrência de fluxos verticais ascendentes, associados a áreas de descarga natural, não influenciada por bombeamento.

Merece ressaltar que esses 11 poços selecionados não eram operados sob regime contínuo de bombeamento; a sua maioria instalados com extração manual, para atendimento de demandas familiares em glebas de colonização.

Ressalta-se também que, dado o objetivo de viabilizar a implantação de um método de perfilagem com emprego de um traçador de simples manuseio e baixo custo, esses 11 pontos amostrais selecionados possibilitaram uma riqueza de dados comparativos que ensejaram resultados muito semelhantes, o que demonstrou a validade de sua utilização.

Apresenta-se, a seguir, a Tabela 4.1 e a Tabela 4.2 com os resultados obtidos nos poços perfilados com os dois traçadores referidos, correlacionados às profundidades de cada fenda identificada, bem como à profundidade do nível estático e sua respectiva cota.

Tabela 4.1: Resumo dos resultados obtidos na perfílame química com o traçador NaCl

| Poço | NE (m) | Tipo de fluxo | Cota NE (m) | Profundidade das fendas (m) | | | | |
|--------|--------|----------------------------------|-------------|-----------------------------|------|----|----|----|
| MA 69 | 11 | Vertical descendente | 438 | 14 | 37 | 48 | 56 | 66 |
| MA 123 | 42 | Vertical ascendente | 441 | 42 | 48,5 | - | - | - |
| MA 145 | 32 | Vertical descendente/ horizontal | 466 | 33 | 51 | 82 | 87 | - |
| MA 151 | 8 | Vertical descendente/ horizontal | 466 | 19 | 38 | 76 | 92 | - |
| MA 602 | 15 | Vertical ascendente/ horizontal | 463 | 18 | 37 | 48 | 62 | - |
| MA 603 | 22 | Vertical descendente | 462 | 28 | 44 | 49 | 54 | 65 |
| MA 604 | 14 | Vertical ascendente | 470 | 22 | 39 | 69 | - | - |
| MA 605 | 19 | Vertical horizontal | 476 | 21 | 34 | 58 | 66 | - |
| MA 607 | 3 | Vertical ascendente | 465 | 24 | 38 | 58 | - | - |
| MA 608 | 4 | Vertical ascendente | 465 | 5 | 13 | 20 | 32 | - |
| MA 610 | 1 | Vertical ascendente | 467 | 1 | 14 | 22 | 29 | 39 |
| MA 611 | 13 | Vertical ascendente/ horizontal | 471 | 19 | 30 | 43 | - | - |
| MA 612 | 15 | Horizontal | 459 | 22 | 40 | - | - | - |

Tabela 4.2: Resumo dos resultados obtidos na perfílame com traçador radioativo (⁸²Br).

| Poço (*) | NE (m) | Tipo de fluxo | Cota NE (m) | Profundidade das fendas (m) | | | | |
|----------|--------|----------------------------------|-------------|-----------------------------|----|----|----|--|
| MA 69 | 12 | Vertical descendente/ horizontal | 437 | 16 | 28 | 40 | 70 | |
| MA 123 | 42 | Vertical ascendente | 441 | 42 | 48 | - | - | |
| MA 145 | 42,5 | Horizontal | 456 | 42,5 | 50 | 82 | - | |
| MA 151 | 15 | Horizontal | 459 | 20 | 73 | 91 | - | |
| MA 602 | 23 | Vertical descendente | 455 | 35 | 47 | 61 | - | |
| MA 603 | 27,5 | Vertical descendente | 456,5 | 30 | 64 | - | - | |
| MA 604 | 17,5 | Vertical ascendente | 466,5 | 19 | 40 | 70 | 85 | |
| MA 605 | 27,5 | Horizontal | 467,5 | 30 | 67 | - | - | |
| MA 607 | 12,5 | Vertical ascendente | 455,5 | 27 | 41 | 58 | - | |
| MA 608 | 12,5 | Vertical ascendente | 456,5 | 13 | 18 | 34 | - | |
| MA 610 | 5 | Vertical ascendente | 463 | 14,5 | 29 | 35 | - | |
| MA 611 | 22 | Vertical ascendente | 462 | 22 | 39 | 43 | - | |
| MA 612 | 22,5 | Vertical descendente | 451,5 | 24 | 40 | 58 | - | |

(*) poços também perfílados com o traçador químico NaCl.

A análise numérica desses dados, cujos níveis estáticos obtidos nos poços perfílados no período de chuva (carga hidráulica média de 462,2 metros) se coadunam com o esperado alteamento da carga hidráulica, enquanto que em relação ao período de estiagem do ano hidrológico, as cargas hidráulicas,

mais baixas, também se mostraram coerentes (média de 455,9 metros), revelando uma variação piezométrica média igual a 6,3 metros entre os dois períodos, conforme mostrado na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Análise comparativa dos resultados obtidos com os diferentes traçadores (NaCl e ^{82}Br).

| Poço | Variação NE (m) | Número de fendas em comum | Número de fendas não identificadas | Alteração no tipo de fluxo |
|---------------------------------------------------|-----------------|---------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| MA 69 | 1 | 6 | 3 | Sim |
| MA 123 | 0 | 4 | - | Não |
| MA 145 | 10,5 | 4 | 1 | Sim |
| MA 151 | 7 | 6 | 1 | Sim |
| MA 602 | 8 | 6 | - | Sim |
| MA 603 | 5,5 | 4 | 3 | Não |
| MA 604 | 3,5 | 6 | - | Não |
| MA 605 | 8,5 | 4 | 1 | Não |
| MA 607 | 9,5 | 6 | - | Não |
| MA 608 | 8,5 | 6 | - | Não |
| MA 610 | 4 | 6 | 1 | Não |
| MA 611 | 9 | 4 | 2 | Sim |
| MA 612 | 7,5 | 4 | 1 | Sim |
| Fendas que foram identificadas pelos dois métodos | | | 83,50 | |
| Poços com alteração sazonal no tipo de fluxo | | | 46,15% | |
| Média da Variação do NE | | | 6,3 (m) | |

Os valores das variações do NE-nível estático, para os poços MA 69 e MA 123, chamam atenção por apresentarem uma variação muito baixa em relação aos demais, fato indicativo de poços localizados em zona de descarga, com alto potencial de exploração de água subterrânea. É importante registrar que, dada a sua localização diferenciada, dois poços perfilados (MA 123 e MA 151), situados na sub-região da Colônia da Jaíba, não são representativos da sub-região do Morro Catarino, enquanto que a oeste desta sub-região, o poço MA 69 tem sua localização mais distanciada, refletindo comportamento hidrodinâmico algo diferenciado.

Reportando-se à Tabela 4.3, verifica-se que o método da diluição empregado, seja com uso de traçador radioativo, seja com traçador químico convencional, se mostrou eficiente no que se refere à identificação da maioria (83,5%) dos trechos de fendas cársticas permeáveis. É pertinente ressaltar que as fendas identificadas no período chuvoso e que se encontram acima do nível estático medido no período de estiagem, foram desconsideradas, já que se encontravam secas. Do exposto, admite-se que a não incidência comparativa de 100% de identificação das fendas permeáveis seja decorrente da hidrodinâmica originária da variação altimétrica da carga hidráulica, em que a sua diminuição possa

refletir baixas pressões hidrostáticas que dificultam o arrasto das soluções dos traçadores empregados, de modo a que os perfis resultantes sejam gerados com mais clareza.

Destaca-se também que os dados numéricos obtidos na sub-região do Morro Catarino refletem, inequivocamente, a maior frequência de similaridade na identificação das fendas permeáveis. O histograma ilustrado na Figura 4.2, assim como todas as tabelas de dados utilizados nesse capítulo, foi elaborado com base nos dados obtidos com o traçador químico (NaCl). Dado que dentre os treze poços perfilados com traçador NaCl, onze poços encontram-se na sub-região do Morro Catarino, a frequência das cotas das fendas produtoras de mais ocorrência revela-se mais relevante e representativa para essa área.

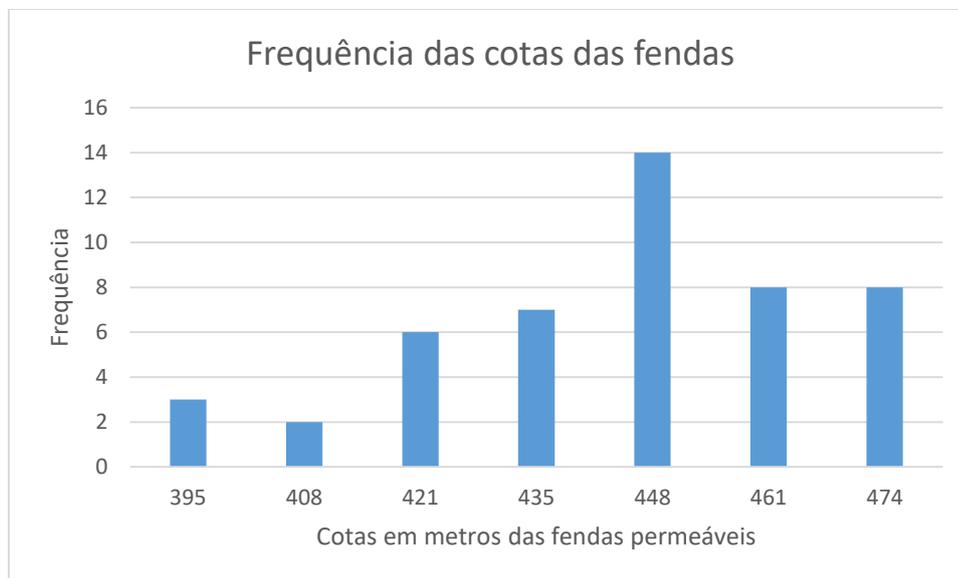


Figura 4.2: Histograma em função das cotas(m) das fendas permeáveis no Morro Catarino.

Conforme mostrado, a maioria das fendas encontra-se no intervalo entre as cotas 421 metros e 474 metros e com maior diferenciação na cota de 448 metros. Como o método de elaboração deste histograma se baseia no agrupamento de dados para que sejam computadas suas frequências, diante da anisotropia e heterogeneidade do aquífero cárstico enfocado, não se recomenda considerar apenas esses três níveis altimétricos supracitados, como níveis aquíferos produtores, mas também cotas limítrofes próximas a esses valores. Portanto, ao perfurar novos poços, será de interesse atingir, pelo menos, a profundidade relativa à cota altimétrica da ordem de 448 metros, com a expectativa estatística de serem interceptadas fendas mais produtoras de água subterrânea, e de preferência, naquelas áreas identificadas com zonas de descarga.

4.2 DELIMITAÇÃO DOS POTENCIAIS DE RECARGA E DESCARGA DA SUB-REGIÃO DO MORRO CATARINO

A partir dos dados apresentados no subcapítulo anterior, foi possível delimitar o zoneamento de áreas mais favoráveis à exploração de água por poços tubulares profundos, associados a áreas de ocorrência de litotipos carbonáticos fraturados e carstificados, em zonas de descarga.

É importante considerar alguns aspectos hidrogeológicos que fornecem indícios significativos para delimitar essas áreas de maior interesse, normalmente, áreas de descarga que encontram-se em baixos estruturais, ou seja, em terrenos de baixas cotas altimétricas. No âmbito desse trabalho, os resultados indicam boa correspondência entre as áreas de baixa altitude, aos fluxos verticais ascendentes, via de regra típicos dessas áreas. Isso ocorre porque os poços em áreas de descarga atingem as fendas provenientes de regiões com maiores cotas, que contam com uma carga hidráulica superior e geram o fluxo vertical ascendente no poço em regiões de baixas altitudes. No entanto, deve-se também levar em conta a associação local dessas áreas de descarga com as rochas-reservatório de litologia predominantemente carbonática, onde é possível identificar à superfície, feições morfoestruturais de fraturamento e elevado grau de carstificação.

No mapa da Figura 4.3, a seguir, são mostrados dois perfis AB e CD, na sub-região do Morro Catarino, representativos da hidrodinâmica demonstrada pelos resultados da perfilagem dos poços. Observa-se que o comportamento hidrodinâmico característico das áreas de recarga tem correspondência com aquelas áreas de cotas elevadas ou que se encontram próximos às serranias, a exemplo dos poços MA 603, MA 605 e MA 145. Por sua vez, aqueles poços situados em cotas e cargas hidráulicas inferiores, não tão próximos às zonas de recarga, estão associados a zonas de descarga, a exemplo dos poços MA604, MA 607, MA 608, MA 610, MA 611 e MA 612, e em especial, o poço MA-79, localizado mais ao norte do Morro Catarino, próximo ao vale do rio Verde Grande em seu baixo curso, no qual identificada forte componente de fluxo vertical ascendente, em zona aquífera de elevado potencial hidrogeológico. Essas áreas limítrofes caracterizadas têm caráter local e puderam ser delimitadas devido a uma amostragem suficiente de poços perfilados representativos. Todavia, ao ser enfocada toda a região da Jaíba, é pertinente considerar ainda insuficientes os dados de poços até então estudados, o que exigiria um recobrimento amostral de um maior número de poços, distribuídos nas demais áreas de interesse, as quais a princípio, se recomendaria serem selecionadas em função da ocorrência de litologia carbonática em zonas piezométricas de menor carga hidráulica.

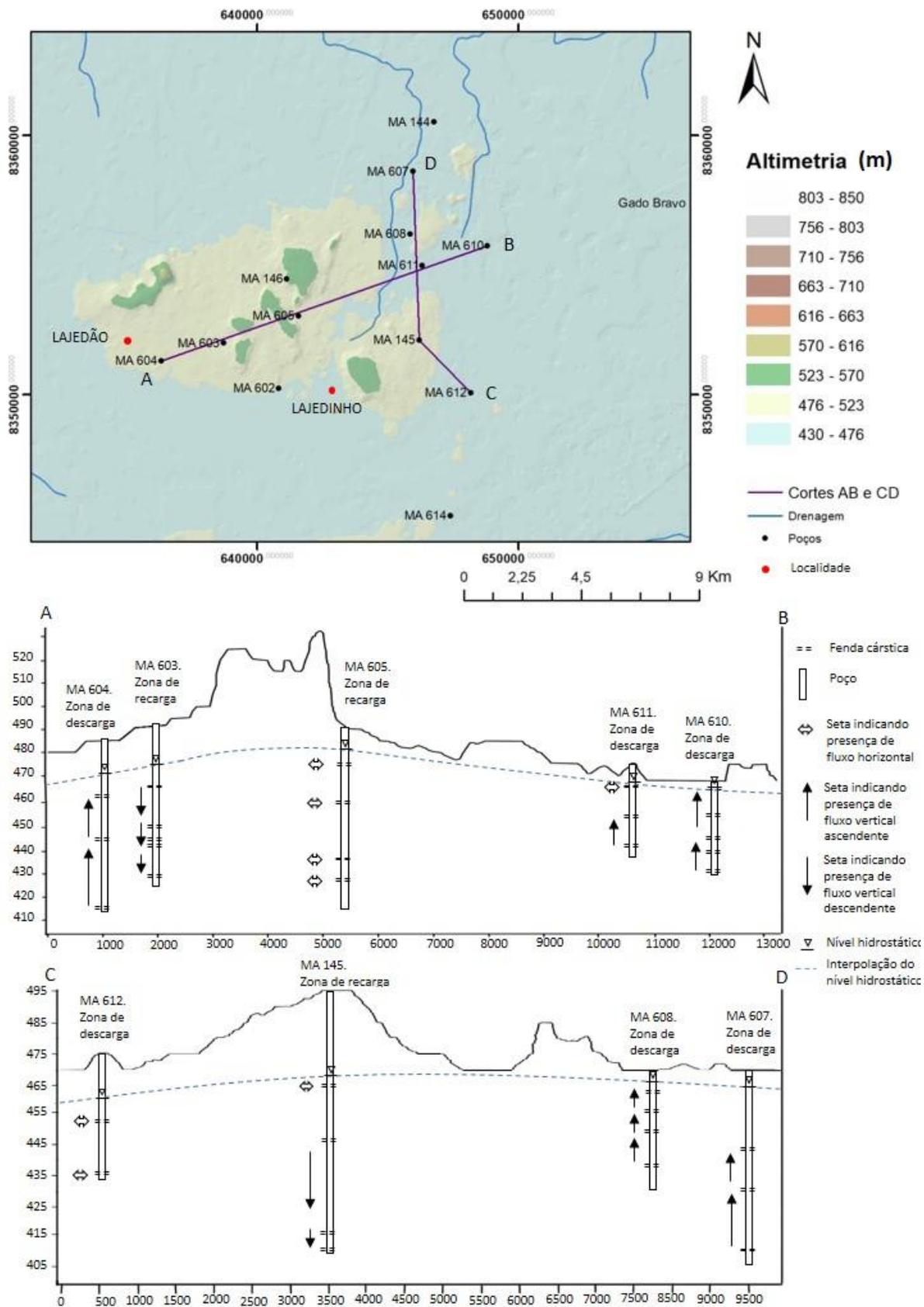


Figura 4.3: Identificação de componentes de fluxo, nos poços localizados no Morro Catarino e seções esquemáticas AB e CD. Poços tubulares captando do substrato aquífero carbonático, carstificado.

4.3 ANÁLISE DOS DADOS REGIONAIS OBTIDOS

Uma análise hidrodinâmica de cunho local foi anteriormente apresentada nos subcapítulos anteriores, já que enfocada apenas a sub-área do Morro Catarino, o que, no entanto, permitiu lograr a validade do método de diluição com uso do traçador químico NaCl. Neste capítulo são apresentados resultados de maior abrangência regional, com dados de 33 poços perfilados com emprego do traçador radioativo Bromo-82. A Tabela 4.4 discrimina o tipo de fluxo identificado, o nível estático (NE) e respectiva carga hidráulica (h), bem como a profundidade das fendas produtoras detectadas nos 33 poços perfilados com o traçador Bromo-82.

Tabela 4.4: Discriminação dos tipos de fluxo, profundidade do nível estático e respectiva carga hidráulica, e profundidade dos trechos das fendas produtoras identificadas nas perfilagens com o traçador ⁸²Br.

| Poço | NE (m) | Tipo de fluxo | h (m) | Profundidade das fendas (m) | | | | |
|--------|--------|---------------------------------|-------|-----------------------------|-----|-----|-----|----|
| IT 504 | 47,5 | Vertical descendente | 447,5 | 49,5 | 60 | 68 | - | - |
| IT 507 | 40 | Vertical descendente | 488 | 44 | 65 | - | - | - |
| IT 519 | 55 | Vertical descendente/horizontal | 467 | 84 | 112 | 144 | - | - |
| JN 403 | 3 | Horizontal | - | 9 | 17 | - | - | - |
| JN 405 | 20 | Vertical ascendente | 503 | 25 | 35 | - | - | - |
| MA 03 | 20 | Vertical descendente/horizontal | 460 | 22 | 32 | 88 | - | - |
| MA 123 | 42 | Vertical ascendente | 441 | 42 | 48 | - | - | - |
| MA 131 | 17,5 | Vertical ascendente/horizontal | 451,5 | 18 | 27 | 50 | - | - |
| MA 144 | 10 | Horizontal | 456 | 13 | 29 | - | - | - |
| MA 145 | 42,5 | Vertical ascendente/horizontal | 455,5 | 42,5 | 50 | 82 | - | - |
| MA 146 | 30 | Vertical descendente | 453 | 34 | 45 | - | - | - |
| MA 151 | 15 | Horizontal | 459 | 20 | 73 | 91 | - | - |
| MA 198 | 22,5 | Vertical descendente | 466,5 | 29 | 58 | - | - | - |
| MA 400 | 15 | Horizontal | 449 | 17 | 43 | 56 | 72 | 92 |
| MA 602 | 23 | Vertical descendente | 455 | 35 | 47 | 61 | - | - |
| MA 603 | 27,5 | Vertical descendente | 466,5 | 30 | 64 | - | - | - |
| MA 604 | 17,5 | Vertical ascendente | 466,5 | 19 | 40 | 70 | 85 | - |
| MA 605 | 27,5 | Horizontal | 467,5 | 30 | 67 | - | - | - |
| MA 607 | 12,5 | Vertical ascendente | 455,5 | 27 | 41 | 58 | - | - |
| MA 608 | 12,5 | Vertical ascendente | 456,5 | 13 | 18 | 34 | - | - |
| MA 610 | 5 | Vertical ascendente | 463 | 14,5 | 29 | 35 | - | - |
| MA 611 | 22 | Vertical ascendente | 462 | 22 | 39 | 43 | - | - |
| MA 612 | 22,5 | Vertical descendente | 451,5 | 24 | 40 | 58 | - | - |
| MA 614 | 25 | Horizontal | 451 | 29 | 64 | 83 | 99 | - |
| MA 617 | 27,5 | Horizontal | 446,5 | 49 | - | - | - | - |
| MA 618 | 15 | Vertical ascendente | 450 | 24 | 140 | - | - | - |
| MA 69 | 12 | Vertical descendente/horizontal | 437 | 16 | 28 | 40 | 70 | - |
| MA 79 | 28 | Vertical ascendente | 436 | 30 | 39 | - | - | - |
| MA 83 | 50 | Vertical ascendente | 454 | 54 | 92 | 114 | - | - |
| MA 84 | 25 | Vertical descendente | 461 | 26 | 44 | 62 | - | - |
| MZ 107 | 32 | Vertical ascendente | 440 | 42 | 72 | 93 | 106 | - |
| MZ 200 | 30 | Vertical ascendente | 445 | 38 | 48 | - | - | - |
| VL 05 | 25 | Vertical descendente | 550 | 26 | 40 | 60 | - | - |

Os perfis gerados nas perfilagens por ^{82}Br são ilustrados no apêndice 14. Ressalta-se que os perfis foram gerados no período de estiagem, onde os níveis estáticos dos poços são em geral de cotas inferiores em relação ao período chuvoso. Observa-se, então, que diante de uma menor espessura saturada (menor coluna útil dos poços perfilados) não se verificam, nesta época de estiagem, aqueles fluxos passíveis de serem detectados no topo da zona saturada no final do período chuvoso, cujas cargas hidráulicas são, em geral, alteadas pela infiltração das águas pluviais. Em outras palavras, dada a diminuição das taxas de recarga e o escoamento contínuo do fluxo subterrâneo, as cargas hidráulicas também diminuem, e algumas fendas se encontram secas, ao final do período de estiagem, por estarem na zona sazonal de aeração, acima do nível estático.

Com base nos dados numéricos apresentados, verifica-se que a média da carga hidráulica (cota do nível estático) dos poços no período de estiagem, é da ordem de 485 metros; 12 poços apresentaram fluxo vertical ascendente, 9 poços apresentaram fluxo vertical descendente, 7 apresentaram fluxo horizontal, 2 poços sob fluxos vertical ascendente e horizontal e 3 com fluxo vertical descendente e horizontal, conforme mostrado na Tabela 4.5.

Tabela 4.5: Síntese dos resultados obtidos a partir da perfilagem radioisotópica.

| | |
|-------------------------------------------------------------|------------|
| Media das cotas do NE nos poços | 485 metros |
| Número de poços com fluxo vertical ascendente | 12 |
| Número de poços com fluxo vertical descendente | 9 |
| Número de poços com fluxo horizontal | 7 |
| Número de poços com fluxo Vertical ascendente e horizontal | 2 |
| Número de poços com fluxo vertical descendente e horizontal | 3 |

Com enfoque nas profundidades e respectivas frequências das fendas produtoras detectadas, foi elaborado o histograma representado na Figura 4.4. Vale ressaltar que este histograma foi gerado com um número bem maior de dados de pontos amostrais e, portanto, possui caráter de alcance representativo mais regional, englobando poços localizados nas citadas sub-regiões da Serra do Sabonetal, Morro Catarino e Colônia da Jaíba.

A maioria das fendas produtoras identificadas neste período chuvoso ocorre na cota altimétrica entre 474 metros e 400 metros, com uma cota altimétrica diferenciada, bem menor, de 449 metros. Este resultado mostra-se muito parecido e correspondente aos resultados obtidos no histograma anteriormente mostrado (vide Figura 4.2), onde se observa a incidência da maioria das fendas, entre as cotas 421 e 474 metros, com uma frequência maior na cota altimétrica da ordem de 448 metros.

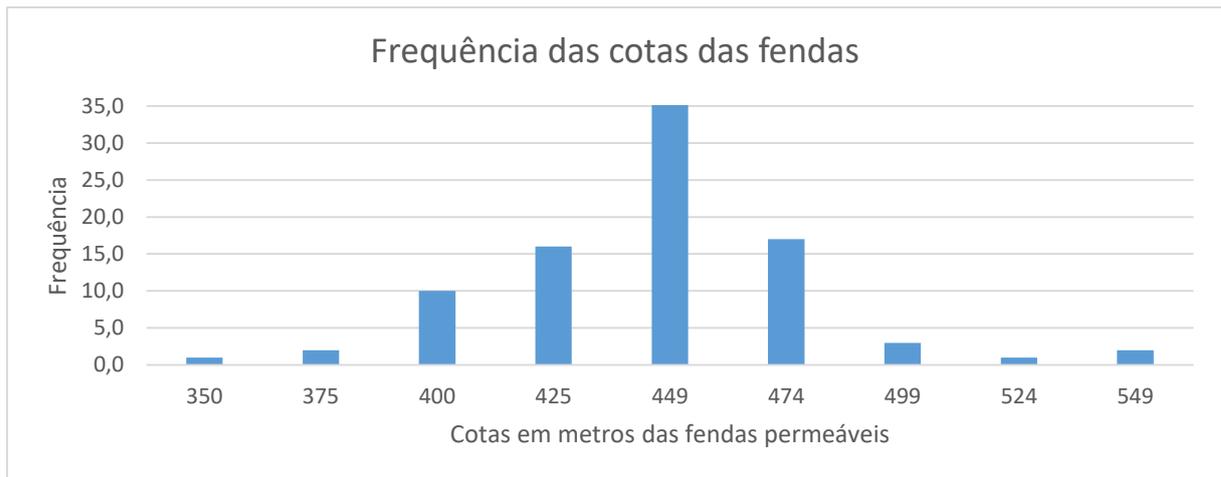


Figura 4.4: Histograma em função das altitudes das fendas permeáveis na região em estudo.

Tal resultado revela-se bastante satisfatório, uma vez que o método de diluição, por si só, não oferece uma precisão muito justa, enquanto que também, o histograma é influenciado pela maior ou menor representatividade de todos os dados considerados.

Estes resultados levam, pois, à conclusão de que a zona de maior incidência de carstificação, com fendas produtoras de água subterrânea, está associada à cota altimétrica da ordem de 450 metros. Logo, ao ser dimensionada a profundidade de perfuração de novos poços tubulares, dever-se-á levar em conta uma profundidade que intercepte, em boa medida, a citada cota altimétrica de 450 metros.

Como observação crítica, no que se refere à interpretação das fendas produtoras a partir do método da diluição, deve-se levar em conta que, em alguns casos, pode ocorrer a superestimação dos trechos das fendas cársticas, valendo ainda ressaltar que algumas fendas não sejam detectadas, pela própria limitação do método, o que acaba compensando os resultados em contraposição às fendas produtoras superestimadas.

Na Tabela 4.6 é discriminada a profundidade das fendas e suas respectivas espessuras. Com relação aos dados obtidos, é possível efetuar estimativas preliminares sobre o volume de água armazenada no aquífero cárstico para toda a área de estudo. Caso se pudesse contar com um maior número representativo de dados de pontos amostrais, para toda a área de estudo, ao se computá-la (área em estudo = $5 \times 10^9 \text{ m}^2$), bem como as espessuras médias dos trechos de fendas permeáveis e se adotar valores médios presumíveis de porosidade eficaz para as áreas diferenciadas do sistema aquífero de natureza cárstica a cárstica-fissural, possa ser tal magnitude de volume estimada.

Como cálculos bastante preliminares e aproximativos, em que pese a anisotropia e heterogeneidade do sistema aquífero, para o cômputo da espessura do trecho permeável, multiplica-se a média da coluna d'água perfilada pela porcentagem de fendas em relação ao total perfilado, enquanto

que o volume de água subterrânea seja calculado multiplicando-se pelo valor médio presumível da porosidade das fendas.

Com base nos dados computados na Tabela 4.6, a espessura da lâmina de água é calculada em $53,08 \text{ m} \times 0,1319 = 7,00$ metros; considerando-se esse valor representativo para toda a área de estudo, igual aproximadamente a $5 \times 10^9 \text{ m}^2$, e assumindo-se um valor médio presumível de porosidade eficaz da ordem de 2 a 5 % (valor médio de 0,035, de acordo com Silva, Custódio & Scudino, 1982), a reserva regional de água subterrânea seria, estimativamente, equivalente ao cômputo de $5 \times 10^9 \text{ m}^2 \times 7,00 \text{ m} \times 0,035$, obtendo-se uma ordem de grandeza de $1.225 \times 10^6 \text{ m}^3$; estimativa relativa à época de estiagem, bastante preliminar e sujeita a confirmações futuras, à luz dos dados disponíveis.

Tabela 4.6: Discriminação das espessuras das fendas produtoras identificadas.

| Poço | Espessura das fendas(metros) | | | | | Total perfilado(metros) |
|-----------------------------------------------------|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-------------------------|
| IT 504 | 2,0 | 1,5 | 1,5 | - | - | 37,5 |
| IT 507 | 2,0 | 2,0 | - | - | - | 40 |
| IT 519 | - | - | - | - | - | 100 |
| JN 403 | 1,0 | 1,0 | - | - | - | 21 |
| JN 405 | 1,0 | 1,0 | - | - | - | 17 |
| MA 03 | 3,0 | 4,0 | 2,0 | - | - | 70 |
| MA 123 | 1,0 | 0,6 | - | - | - | 7 |
| MA 131 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | - | - | 60 |
| MA 144 | 3,0 | 9,0 | - | - | - | 90 |
| MA 145 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | - | - | 43 |
| MA 146 | 2,0 | 2,0 | - | - | - | 20 |
| MA 151 | 4,0 | 3,0 | 2,0 | - | - | 78 |
| MA 198 | 2,0 | 2,0 | - | - | - | 40 |
| MA 400 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 5,0 | 83 |
| MA 602 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | - | - | 40 |
| MA 603 | 4,0 | 2,0 | - | - | - | 37,5 |
| MA 604 | 2,0 | 4,0 | 2,0 | 2,0 | - | 70 |
| MA 605 | 3,0 | 3,0 | - | - | - | 45 |
| MA 607 | 3,0 | 4,0 | 2,0 | - | - | 47,5 |
| MA 608 | 2,0 | 2,0 | 4,0 | - | - | 37,5 |
| MA 610 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | - | - | 31 |
| MA 611 | 1,0 | 1,0 | 2,0 | - | - | 22,5 |
| MA 612 | 2,0 | 3,0 | 2,0 | - | - | 35 |
| MA 614 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | - | 100 |
| MA 617 | 5,0 | - | - | - | - | 117,5 |
| MA 618 | 4,0 | 4,0 | - | - | - | 140 |
| MA 69 | 3,0 | 3,0 | 2,0 | 2,0 | - | 61 |
| MA 79 | 1,5 | 1,5 | - | - | - | 17 |
| MA 83 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | - | - | 67,5 |
| MA 84 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | - | - | 41 |
| MZ 107 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | - | 78 |
| MZ 200 | 2,0 | 2,0 | 0,0 | - | - | 12 |
| VL 05 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | - | - | 45 |
| Soma da espessura das fendas (metros) | 231,1 | | | | | |
| Média (metros) | 2,6 | | | | | |
| Quantidade de Fendas | 82 | | | | | |
| Total perfilado (metros) | 1661,5 | | | | | |
| Média do total perfilado (metros) | 53,08 | | | | | |
| Porcentagem de fendas em relação ao total perfilado | 13,19% | | | | | |

4.4 DELIMITAÇÃO DOS POTENCIAIS DE RECARGA E DESCARGA NA SUB-REGIÃO MATA DO JAÍBA

Esta sub-região, situada na porção centro-sul da área compreendida pelo trabalho, se caracteriza por uma faixa aquífera associada a cargas hidráulicas mais baixas, da ordem de 460-440 metros, conforme mostrado na Figura 4.5.

Dentre os 10 poços perfilados, 3 apresentaram fluxo vertical ascendente, 2 poços com fluxo vertical descendente, 3 com fluxo horizontal, 1 poço com fluxos vertical ascendente e horizontal, e 1 poço com fluxos vertical descendente e horizontal.

A presença do rio Verde Grande, de fase senil, cujo vale de direção NNE, representa o nível de base desta sub-região, em sua faixa oriental, enquanto que a sua margem esquerda, ocidental, apresenta uma relação hidrodinâmica rio-aquífero característica de rio influente, sob fluxo natural, não influenciado por bombeamento, com fluxo regional sentido NW, em direção ao rio São Francisco, nível de base regional da área de estudo.

A maioria dos poços que se encontra próximos a esse rio, em sua margem esquerda, (MA 03, MA 84, MA 151, MA 198, MA 400) apresenta componente de fluxo vertical descendente e horizontal, o que se compatibiliza com a condição de rio influente, sob fluxo de direção regional de sentido NW, acima descrito. Por sua vez, os poços MZ 107, MZ 200, MA 131, MA 618 e MA 617, maioria localizada na margem direita do rio Verde Grande, apresentam componentes de fluxo ascendente e horizontal, o que se coaduna com a condição de rio efluente (área local de descarga), com base no mapa piezométrico representado na citada Figura 4.5.

Do exposto, admite-se que a sub-região da Colônia do Jaíba, nas imediações do vale do rio Verde Grande, bem como na faixa ocidental NNW a fluxo jusante, corresponde a zonas aquíferas de descarga e de bom potencial para a locação de poços de exploração de água subterrânea.

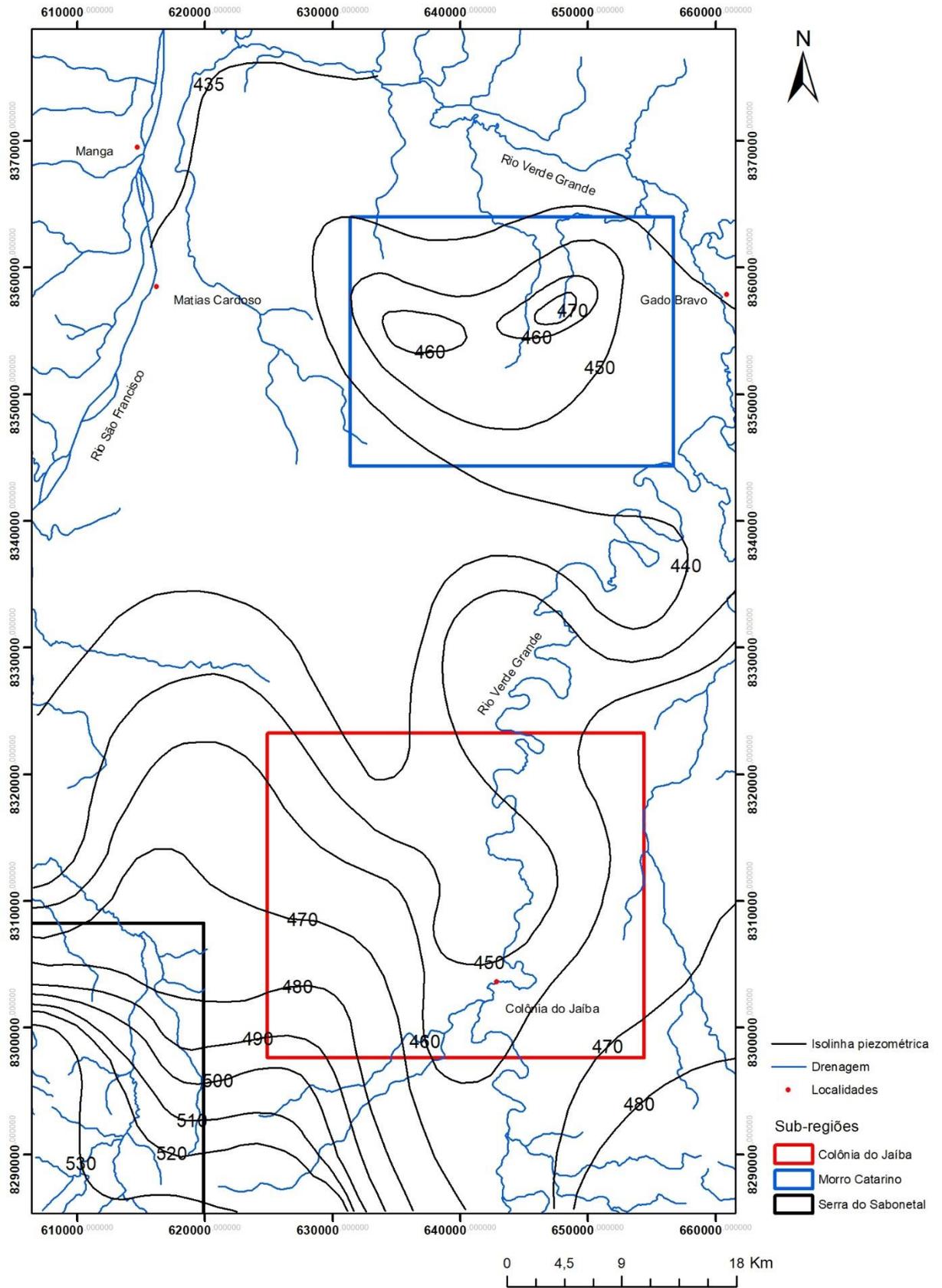


Figura 4.5: Piezometria relativa ao final do período chuvoso (modificado de Silva, 1984)

4.5 DELIMITAÇÃO DOS POTENCIAIS DE RECARGA E DESCARGA NA SUB-REGIÃO DOS CONTRAFORTES DA SERRA DO SABONETAL

Esta sub-região, localizada na porção sudoeste da área de estudo, conta com dados de perfilagem de 6 poços tubulares, posicionados em zona aquífera de cargas hidráulicas mais elevadas, nos contrafortes da Serra do Sabonetal, dentre os quais, 5 (IT 504, IT 507, IT 519, JN 403, e VL 05), apresentaram fluxo vertical descendente e horizontal, caracterizando uma zona aquífera de recarga, conforme o esperado, enquanto que o poço tubular JN 405, de alta capacidade de produção, localizado no sopé desta serra, em zona aquífera local de vale superimposto por lineamento estrutural de fratura, apresentou fluxo vertical ascendente, em zona característica de descarga, sob baixa carga hidráulica.

Do exposto, depreende-se que nas circunstâncias desta serra, onde predominam condições de fluxos descendentes, o potencial hidrogeológico é baixo e limitado; contudo, foram identificadas nesta sub-região, áreas locais associadas a feições morfo-estruturais associadas a lineamentos estruturais de fratura, com elevado potencial, em especial sob lineamentos N-S e N70-80W, de maior favorabilidade de exploração de água subterrânea por poço tubular profundo, onde foram perfurados poços com capacidade de produção superior a 100m³/h na área da Fazenda Agropéva (Scudino, comunicação verbal).

CAPÍTULO 4

DISCUSSÕES

A análise e integração dos resultados obtidos nas perfilagens, correlacionadas à piezometria regional, possibilitou o mapeamento e delimitação aproximada das zonas principais de recarga e descarga natural do fluxo subterrâneo regional, como contribuição subsidiária a futuros trabalhos focados na locação de poços tubulares para a exploração de água subterrânea.

Resultados comparativos até então obtidos em trabalhos anteriores, em especial de Silva, A.B. (1984) e de Cruz, W.B. & Peixoto, C.A.M. (*in*: CETEC, 1995 – Projeto “Desenvolvimento metodológico para um modelo de gerenciamento ambiental de bacias hidrográficas”; Estudo de caso: Bacia do rio Verde Grande), levam a conclusões e avaliações semelhantes a respeito das três sub-regiões aqui enfocadas, conforme se expõe a seguir.

A sub-região Morro do Catarino e circunjacências foi caracterizada em escala regional, pelo CETEC (*op. cit.*), como de baixo potencial hidrogeológico, onde os poços contam com capacidades de produção iguais ou menores a 70 m³/h. Nas faixas do Morro Catarino sob cotas altimétricas mais altas, nas localidades de Lajedão e Lajedinho, essa sub-região é localmente marcada por pequena e rápida recarga e rápida descarga da água infiltrada. Uma chuva não muito intensa seria suficiente para que os níveis d'água dos poços atingissem a superfície do terreno, variação de nível que em geral caracteriza uma baixa capacidade de armazenamento, em zona de cargas hidráulicas mais elevadas, de permeabilidade vertical, relativamente elevada. Verifica-se que os níveis d'água, no período de estiagem, atingem baixos valores em um curto período de tempo, pois a água subterrânea é transferida para zonas adjacentes ao citado Morro Catarino, ou restituídas ao rio Verde Grande, em sua margem esquerda (Silva, *op.cit.*).

Essas citações, de uma abordagem em escala regional, referem-se, portanto, a uma zona aquífera cárstica característica de recarga, associada a áreas restritas de maior altitude e sob altas cargas hidráulicas, o que pôde ser verificado em detalhe, nas perfilagens dos poços circunscritos ao Morro Catarino e suas circunjacências a fluxo jusante de sua restrita zona de recarga. Desse modo, os estudos hidrodinâmicos mais detalhados aqui enfocados mediante a perfilagem de poços, vieram contribuir para melhor conhecimento dessas zonas cársticas marginais ao Morro Catarino, sob cotas altimétricas mais baixas, a fluxo jusante, onde se verificou a coexistência de componentes verticais de fluxo subterrâneo ascendente, não mais característico de zonas de recarga em que predominam condições de fluxo vertical descendente.

Nestas zonas associadas a fluxo vertical ascendente e a cargas hidráulicas mais baixas, mesmo que sejam no período úmido influenciadas a fluxo montante, por cargas hidráulicas mais elevadas de morros, refletem escoamentos naturais a fluxo jusante e, portanto, apresentam condições hidrogeológicas diferenciadas, mais favoráveis à exploração por poços tubulares profundos. Neste contexto, a faixa circunscrita ao Morro Catarino pode ser considerada uma sub-região de baixo potencial para exploração de água subterrânea, se comparada à faixa de terrenos mais baixos, de fluxo jusante, ao norte deste morro e ao longo do vale do rio Verde Grande, conforme mapeamento regional (CETEC, *op.cit.*).

Sobre a sub-região Serra do Sabonetal, sudoeste da área de estudo, os dados apresentados por Silva (*op.cit.*) e CETEC (*op.cit.*) são muito parecidos e análogos aos da sub-região Morro Catarino, cujos poços contam com baixo potencial para exploração de água (máximo 70m³/h). Esta faixa de relevo acentuado, sob gradientes hidráulicos elevados, reflete condições de uma rápida descarga para as regiões adjacentes. Do exposto, e com base nos resultados hidrodinâmicos mais detalhados obtidos nas perfilagens realizadas, admite-se, salvo situações locais observadas em alguns poços localizados em zonas de fundo de vales impostos por faturamento e próximo ao nível de base, que a sub-região da Serra do Sabonetal não represente uma zona aquífera favorável à exploração de água subterrânea, dadas a suas características associadas a uma zona predominante de recarga.

A sub-região Colônia do Jaíba apresenta-se diferenciada no que se refere aos resultados obtidos por Silva (*op.cit.*), que a caracterizou como de grande heterogeneidade, com a ocorrência de faixas de alta permeabilidade e resposta de infiltração defasada às chuvas, conferindo-lhe uma alta capacidade de armazenamento de água subterrânea, alta infiltração de água pluvial e um alto potencial (maior que 150m³/h) para exploração de água, ao passo que os dados do CETEC (*op.cit.*) apontam um potencial hidrogeológico médio, cujos poços perfurados têm uma capacidade maior que 70m³/h e menor que 150m³/h. Por sua vez, os dados obtidos na perfilagem, como a piezometria regional, refletem características típicas de zona de descarga, sob grande heterogeneidade, citada por Silva (*op.cit.*), e de potencial hidrogeológico relativamente elevado onde associado a um substrato de calcário puro, fraturado e carstificado, e de potencial mais limitado onde o substrato litológico encontra-se interdigitado por metapelitos, caracterizados por uma baixa permeabilidade de dissolução química; avaliação que se apresenta conforme ao mapeamento do CETEC (*op.cit.*), que caracteriza esta sub-região como de potencial médio, acima referido, com a expectativa de se obterem poços com uma capacidade de extrair entre 70 e 150m³/h.

Por fim, a sub-região do rio Verde Grande, compreendendo a faixa ao norte da Colônia do Jaíba, arredores do Morro Catarino a nordeste, e a faixa a noroeste sob fluxo regional em direção ao vale do rio São Francisco, por conter poucos dados de perfilagem, não foi analisada separadamente nesse trabalho. Contudo, os dados expostos por Silva (*op.cit.*), indicam que esta sub-região possui terrenos

cársticos de alta permeabilidade, com resposta de infiltração defasada às chuvas e uma consequente capacidade para acumular água. Conforme mostrado no mapa piezométrico regional aqui apresentado, esta extensa sub-região pode representar uma área de descarga com alto potencial para exploração de água subterrânea. Assim como nos trabalhos de Silva (*op.cit.*) e CETEC (*op.cit.*), esta sub-região é apontada como de alto potencial (maior que $150\text{m}^3/\text{h}$), o que confirmaria os resultados obtidos no presente trabalho. Do exposto, admite-se que esta sub-região, associada ao vale do rio Verde Grande, apresenta alto potencial, mesmo naquelas faixas onde este rio se mostra de comportamento hidrodinâmico influente e efluente, como citado anteriormente.

Estes resultados demonstram terem sido atingidos os objetivos deste trabalho, o qual teve por intuito, a aquisição de dados e informações hidrodinâmicas do aquífero cárstico da região do Jaíba, que se mostraram coerentes e compatíveis com os demais estudos regionais anteriores.

Do exposto, conclui-se que o emprego da perfilagem de poços abertos, pelo método de diluição com uso de traçadores químicos, e mediante uma rede amostral representativa, mesmo que em caráter regional, também possibilita resultados satisfatórios e compatíveis com os demais métodos convencionais de investigação hidroquímica e hidrodinâmica, de análoga interpretação quanto à concepção de um modelo hidrogeológico conceitual. O mapa a seguir apresentado representa (Figura 5.1), com base nos resultados aqui descritos, o zoneamento do aquífero cárstico da região de estudo, com suas áreas características, preponderantemente, de recarga e descarga natural, assim como estimativas de sua respectiva capacidade de exploração mediante a captação de água subterrânea por poços tubulares profundos.

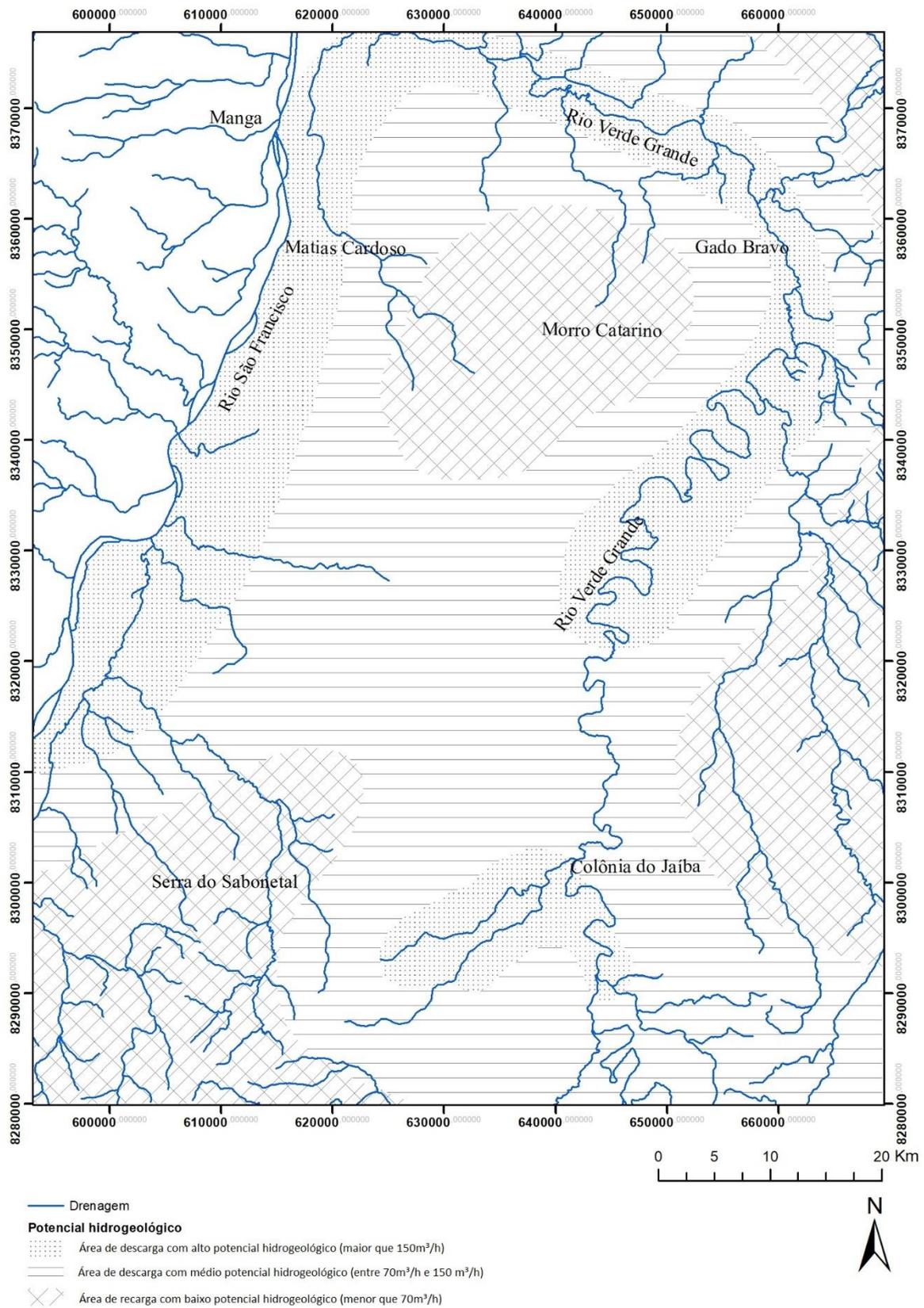


Figura 5.1: Delimitação regional de zonas aquíferas e respectivo potencial hidrogeológico.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

O estudo realizado nesse trabalho teve como objetivo delimitar áreas da região da Colônia do Jaíba conforme seus potenciais hidrogeológicos, que foram caracterizados a partir de perfis gerados utilizando o método da diluição. Foram realizadas análises qualitativas e quantitativas a partir dos perfis analisados e a partir da integração com outros dados, tais como a piezometria regional e dados altimétricos.

A análise quantitativa (numérica) possibilitou calcular a frequência a qual ocorre o maior número de fendas produtoras, ou seja, possibilitou gerar uma profundidade mínima preferencial a ser atingida no ato da perfuração de novos poços, já que oferece uma alta probabilidade de se encontrar calcário carstificado com potencial para exploração de água. Outro dado quantitativo que foi explorado é o referente ao volume de água armazenado no aquífero cárstico durante o período de estiagem, que exibiu um volume alto de água a ser explorada na região.

A análise qualitativa, que seria a classificação da área conforme seu potencial hidrogeológico, se alto, médio, ou baixo, conforme o último mapa do capítulo anterior, foi o resultado principal e pôde ser adquirido com os dados da perfilagem química. Os perfis gerados e interpretados conforme o tipo de fluxo no interior dos poços foram, desde o início, trabalhados para que as zonas preferenciais de recarga e descarga fossem distinguidas e limitadas. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi alcançado e serve como contribuição para que a locação de novos poços sejam realizados, preferencialmente, nas áreas delimitadas com os maiores potenciais hidrogeológicos e nas profundidades delimitadas nos estudos quantitativos (numéricos).

O método da diluição se mostrou muito eficiente nesse trabalho, que pode constituir subsídios a outros que venham a lidar com situações semelhantes ou que venham a trabalhar na própria região da Jaíba. Recomenda-se então, em futuros trabalhos que venham a se realizar nesta região, que seja utilizado um número maior de poços a serem perfilados, para que o comportamento hidrodinâmico do aquífero cárstico possa ser melhor estudado.

Lara, J.P. 2017, Perfilagem química de poços tubulares na região cárstica do Jaíba, Norte de Minas Gerais.

REFERÊNCIAS BLIOGRÁFICAS

ARRAES, T. Proposição de critérios e métodos para delimitações de bacias hidrogeológicas, 2008.

CAETANO, L. Simulação da influência da litologia nos perfis de poço e aplicação com dados do campo namorado na bacia de campos, 2014.

CASTRO, P.T.A, características estratigráficas e sedimentológicas dos conglomerados e rochas associadas da Formação Samburá (Grupo Bambuí), região do alto rio São Francisco, SW do Cráton do São Francisco.

CETEC (1995) – “Desenvolvimento metodológico para um modelo de gerenciamento ambiental de bacias hidrográficas”; Estudo de caso: Bacia do rio Verde Grande. Texto e mapas, escala 1:500.000. Belo Horizonte-MG, 1995. Inédito.

CHANDRA, U. Técnicas isotópicas na hidrologia: Teste de bombeamento e técnicas de diluição pontual-uma comparação, 1982.

CHIAVEGATTO J.R.S., Gomes N.S., Dardenne M.A., Delgado C.E.R. 2003. Estratigrafia do Grupo Bambuí nas regiões do Norte de Minas Gerais: Uma nova unidade estratigráfica em um contexto de inversão de bacia. In: SBG, Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 12, Ouro Preto, 2003. Anais, CD rom (1 vol).

GALLAS, J. O método do potencial espontâneo(SP)– Uma revisão sobre suas causas, seu uso histórico e suas aplicações atuais, 2005.

FIUME, B. Geologia estrutural de detalhe para elaboração de modelo conceitual de circulação de água subterrânea: Estudo de caso em Jurubatuba, SP, 2013.

FRANGOSO, D.G.C; UHLEIN, A; STANGLARD, J; SUCKAU, G; GUERZONI, H; FARIA, P. Geologia dos Grupos Bambuí Areado e Mata da Corda na folha Presidente Olegário (1:100.000), MG: registro deposicional do neoproterozóico ao neocretáceo da bacia do São Francisco, 2011.

IGLESIAS, M; UHLEIN, A. Estratigrafia do Grupo Bambuí e coberturas fanerozóicas no vale do rio São Francisco, norte de Minas Gerais, 2009.

IGLESIAS, M.Estratigrafia e tectônica do Grupo Bambuí no norte do estado de Minas Gerais, 2007.

GUERRA, K. Aplicação de método geofísico em estudo hidrogeológico, no município de nova lima – MG. Caracterização de aquíferos em área urbana, 2010.

Lara, J.P. 2017, Perfilagem química de poços tubulares na região cárstica do Jaíba, Norte de Minas Gerais.

MARTÍNEZ, M. Estratigrafia e tectônica do Grupo Bambuí, norte do estado de Minas Gerais, 2007.

MARTINS-NETO, M.A. & ALKMIM, F.F. Estratigrafia e evolução tectônica das bacias neoproterozóicas do paleocontinente São Francisco e suas margens: Registros da quebra de Rodínia e colagem de Gondwana. In: INLESIAS, M. Estratigrafia e Tectônica do Grupo Bambuí no norte do estado de Minas Gerais, 2001.

LIMA, K. Utilização de métodos sísmicos, perfilagem e testemunhos de poços para caracterização dos turbiditos da formação urucutuca na bacia de almada (BA), 2005.

NERY, G. Perfilagem geofísica. Hydrolog Serviços de Perfilagem Ltda. Salvador-BA, 2004. (Apostila).

NERY, J & FERREIRA, L & MOURA, H. Determinação da velocidade e sentido do fluxo de águas subterrâneas utilizando radioisótopos pela técnica do poço único, 2008.

OLIVEIRA, L. Avaliação do uso da perfilagem geofísica para obtenção de informações secundárias para utilização em co-estimativas de variáveis geológico-minerais, 2005.

PAPA, L. Interpretação de dados de perfis geofísicos de poços para caracterização hidrogeológica na região de Valparaíso/SP, 2014.

PLATA, A. Bedmar; SILVA, A.B. e SCUDINO, P.C.B. Perfilagem de poços tubulares utilizando isótopos artificiais. 1.^o Congr. Bras. de Águas Subterrâneas. ABAS, Recife-PE. p. 131-146.

PLATA, A. Bedmar. Isótopos em Hidrologia. Editora Alhambra, Madrid. 1 vol, 328p., 1972.

SCUDINO, P.C. B. - “Perspectivas de incrementos na produção de água subterrânea utilizando-se técnicas de estimulação de poços”. Anais ... III Simpósio Brasileiro de Geologia de Minas Gerais, SBG- Sociedade Brasileira de Geologia; p. 313-320. Belo Horizonte-MG, 1985.

SCUDINO, P.C.B., 1984 - Projeto Estimulação de Poços por Meio de Explosivos no Estado de Alagoas. CETEC-MG, SUDENE/EDRN-AL; CETEC, Belo Horizonte-MG, 1983/84. Inédito.

SCUDINO, P.C.B. I simpósio de Águas Subterrâneas da Região Sudeste. Conferência” Desenvolvimento de um método de perfilagem de poços com traçador químico”. ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. COPASA-MG, CETEC-MG, Belo Horizonte, 1980. Inédito.

SILVA, A.B. Hidrogeologia de Meios Cársticos, Hidrogeologia-conceitos e aplicações; 3.^a edição. Cap. 3.3 p. 153 – 174, 812 p. In: FEITOSA, F.A.C. et al. CPRM, 2008. SILVA, A. B. Análise morfoestrutural, hidrogeológica e hidroquímica no estudo do aquífero cárstico do Jaíba, Norte de Minas Gerais. Tese de doutorado; Instituto de Geociências, USP-Universidade de São Paulo. 1 vol., 190 p. São Paulo-SP, 1984.

SILVA, A. B. & ESCODINO (SCUDINO), P.C.B. Desenvolvimento de um método de perfilagem de poços tubulares utilizando-se traçador químico. Revista Spectrum, 1983.

SILVA, A.B., CUSTÓDIO G. E.; ESCONDINO (SCUDINO), P.C.B. Estudo hidrogeológico do carste da Jaíba, norte de Minas Gerais. 2.^o Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Anais, 1 vol., pág. 65-88. Salvador (BA), 1982.

SILVA, A. B. & SCUDINO, P.C.B.- “Estimulação de poços tubulares por meio de explosivos, no karst da região da Jaiba, Norte de Minas Gerais”. Revista Águas Subterrâneas-ABAS, n.º 4, p.45-68, São Paulo-SP, dez. 1981.

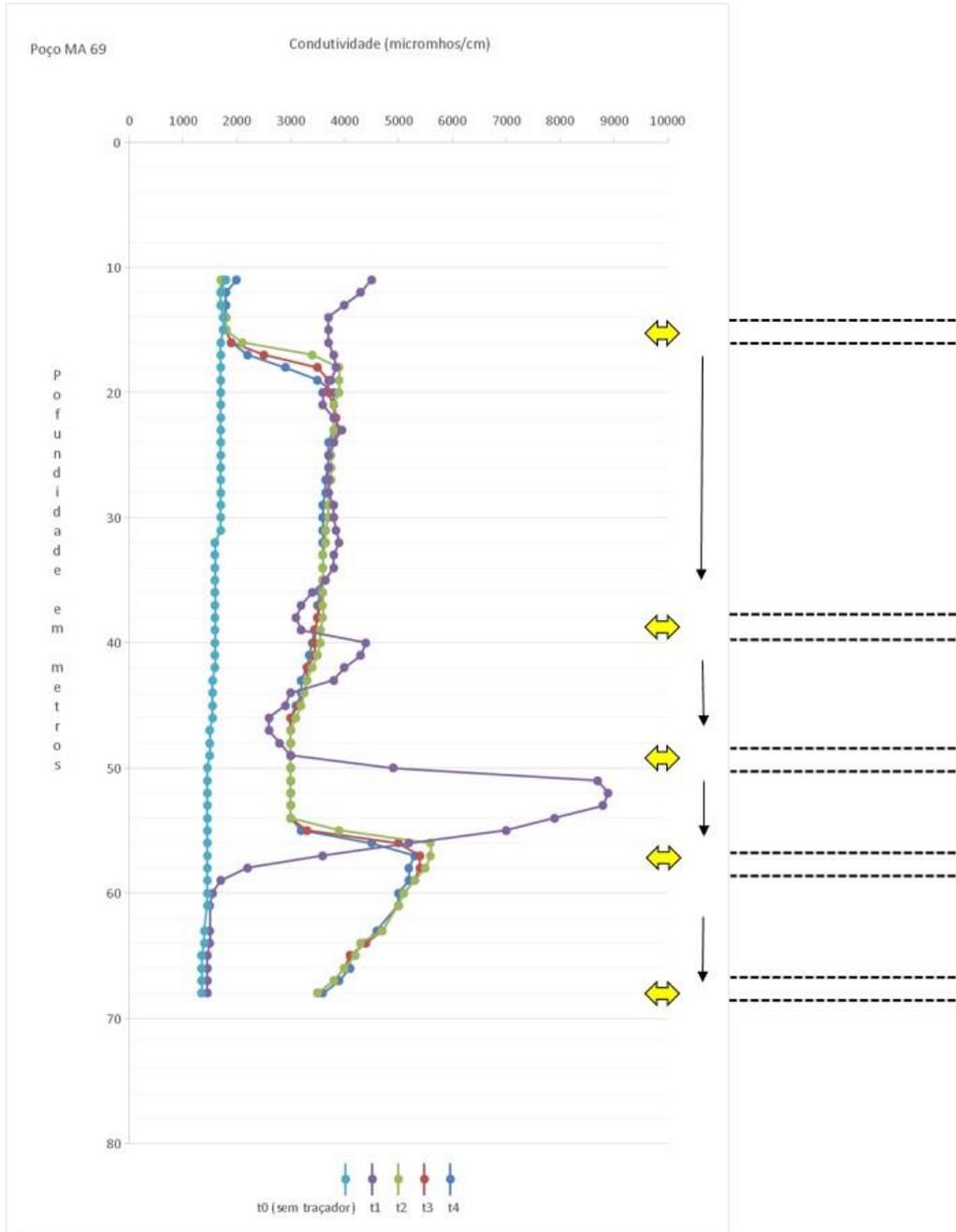
SILVA, A B & ESCODINO (SCUDINO, P.C.B.) - “Perfilagem de poços tubulares utilizando-se isótopos artificiais”. Anais... I Congresso Bras. de Águas Subterrâneas. ABAS-Associação Brasileira de Águas Subterrâneas; p.131- 146. Recife-PE, 1980.

SILVA, A. B. *et al.* -. Geologia da área do Projeto Karst. CETEC-MG, 1978.

SOUZA, L. Mapeamento de aquíferos na cidade de Manaus (AM) - utilizando perfilagem geofísica de poço e sondagem elétrica vertical, 2005.

RIDER, M. The Geological Interpretation of Well Logs. Petroleum Exploration Consultant, Rider-French Consulting Ltd., Cambridge and Sutherland. [S.l.]: Whittles Publishing, Caithness, 2000.

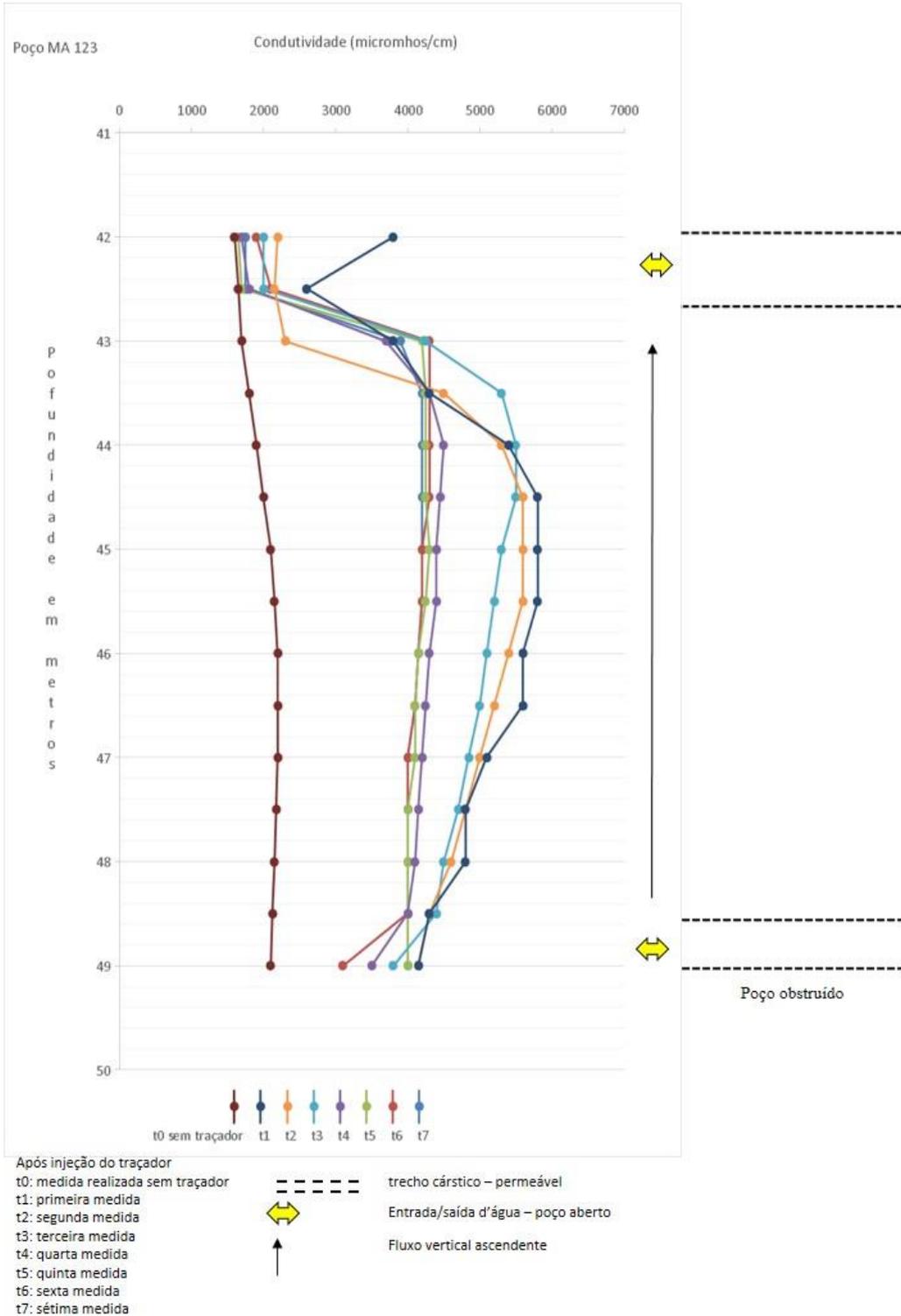
Apêndice 1- Perfilagem do poço MA-69 mediante uso do NaCl como traçador



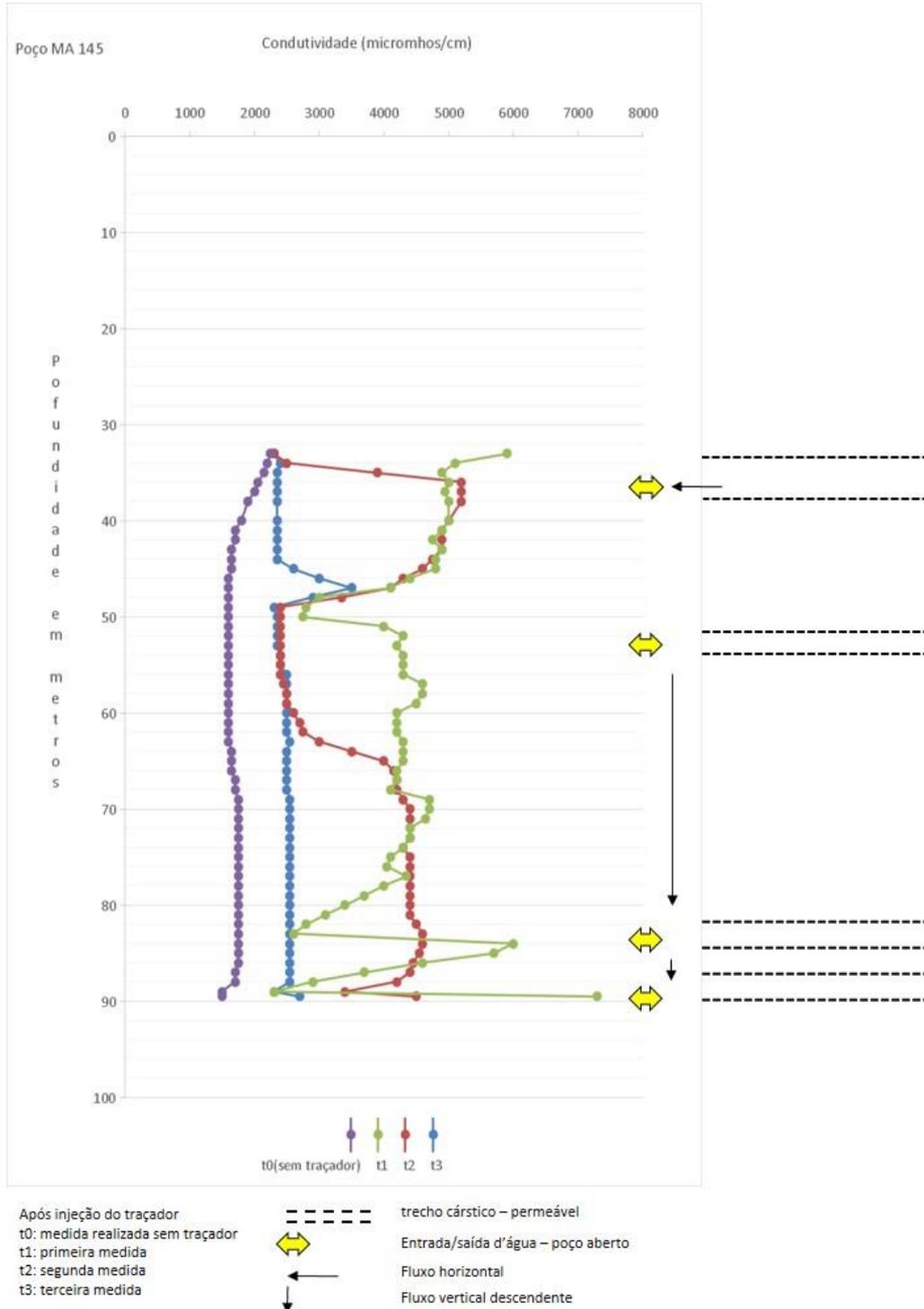
Após injeção do traçador
 t0: medida realizada sem traçador
 t1: primeira medida
 t2: segunda medida
 t3: terceira medida
 t4: quarta medida

--- trecho cárstico – permeável
 Entrada/saída d'água – poço aberto
 Fluxo vertical descendente

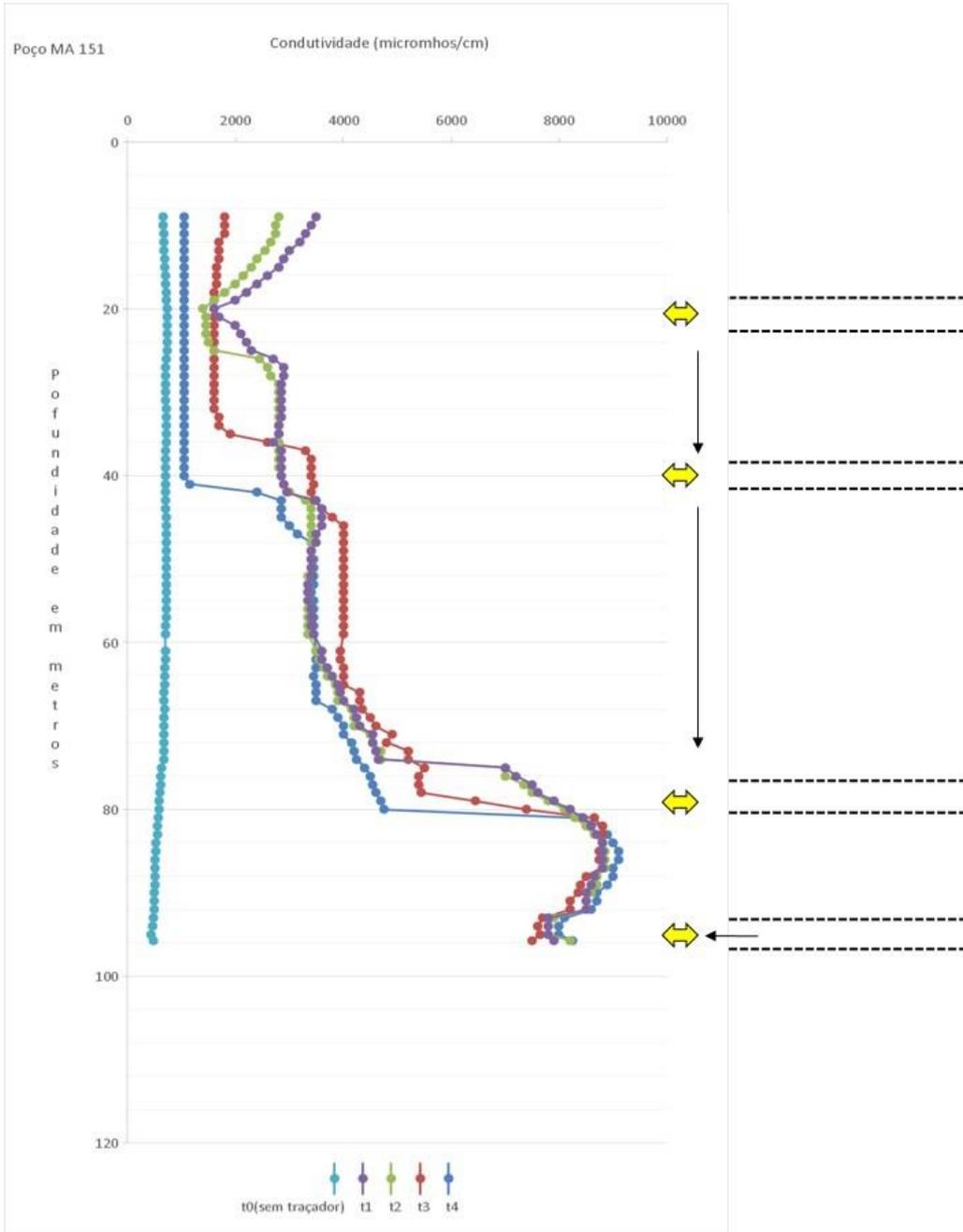
Apêndice 2- Perfilagem do poço MA-123 mediante uso do NaCl como traçador



Apêndice 3- Perfilagem do poço MA-145 mediante uso do NaCl como traçador

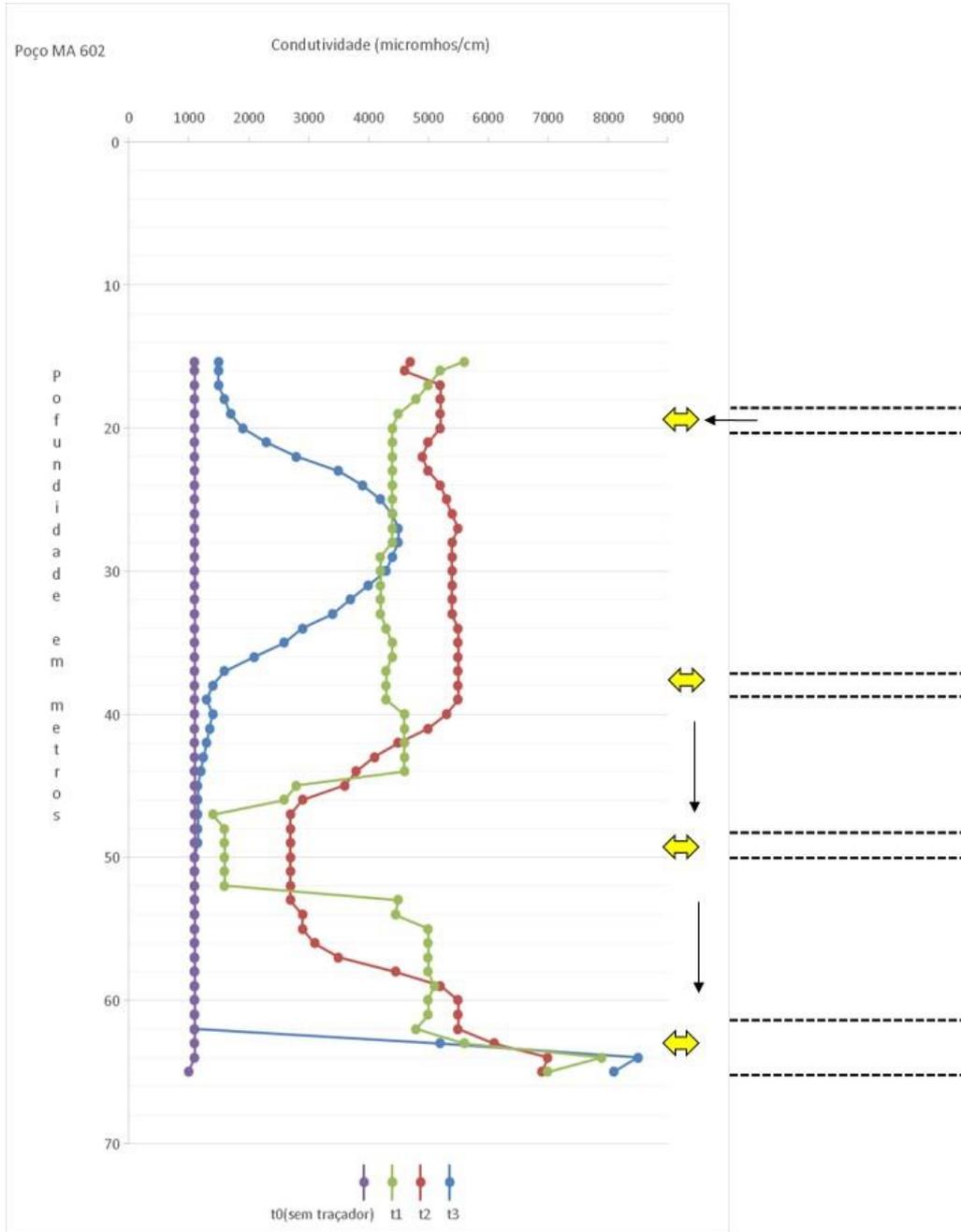


Apêndice 4- Perfilagem do poço MA-151 mediante uso do NaCl como traçador



| | | |
|-----------------------------------|---------|------------------------------------|
| Após injeção do traçador | --- --- | trecho cárstico – permeável |
| t0: medida realizada sem traçador | ↔ | Entrada/saída d'água – poço aberto |
| t1: primeira medida | ↓ | Fluxo vertical descendente |
| t2: segunda medida | ← | Fluxo horizontal |
| t3: terceira medida | | |
| t4: quarta medida | | |

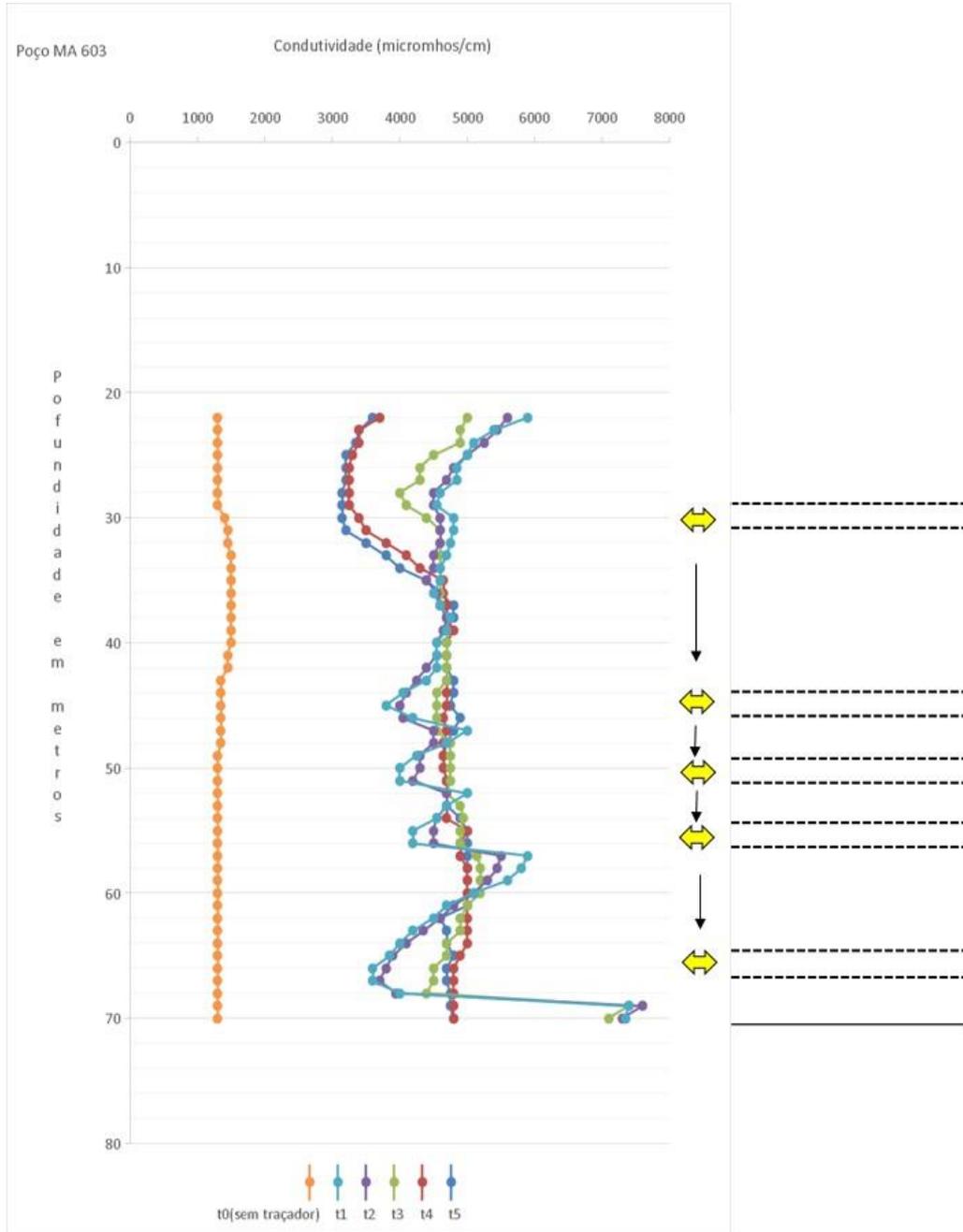
Apêndice 5- Perfílagem do poço MA-602 mediante uso do NaCl como traçador



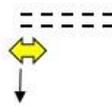
Após injeção do traçador
 t0: medida realizada sem traçador
 t1: primeira medida
 t2: segunda medida
 t3: terceira medida

trecho cárstico – permeável
⇔ Entrada/saída d'água – poço aberto
← Fluxo horizontal
↓ Fluxo vertical descendente

Apêndice 6- Perfilagem do poço MA-603 mediante uso do NaCl como traçador

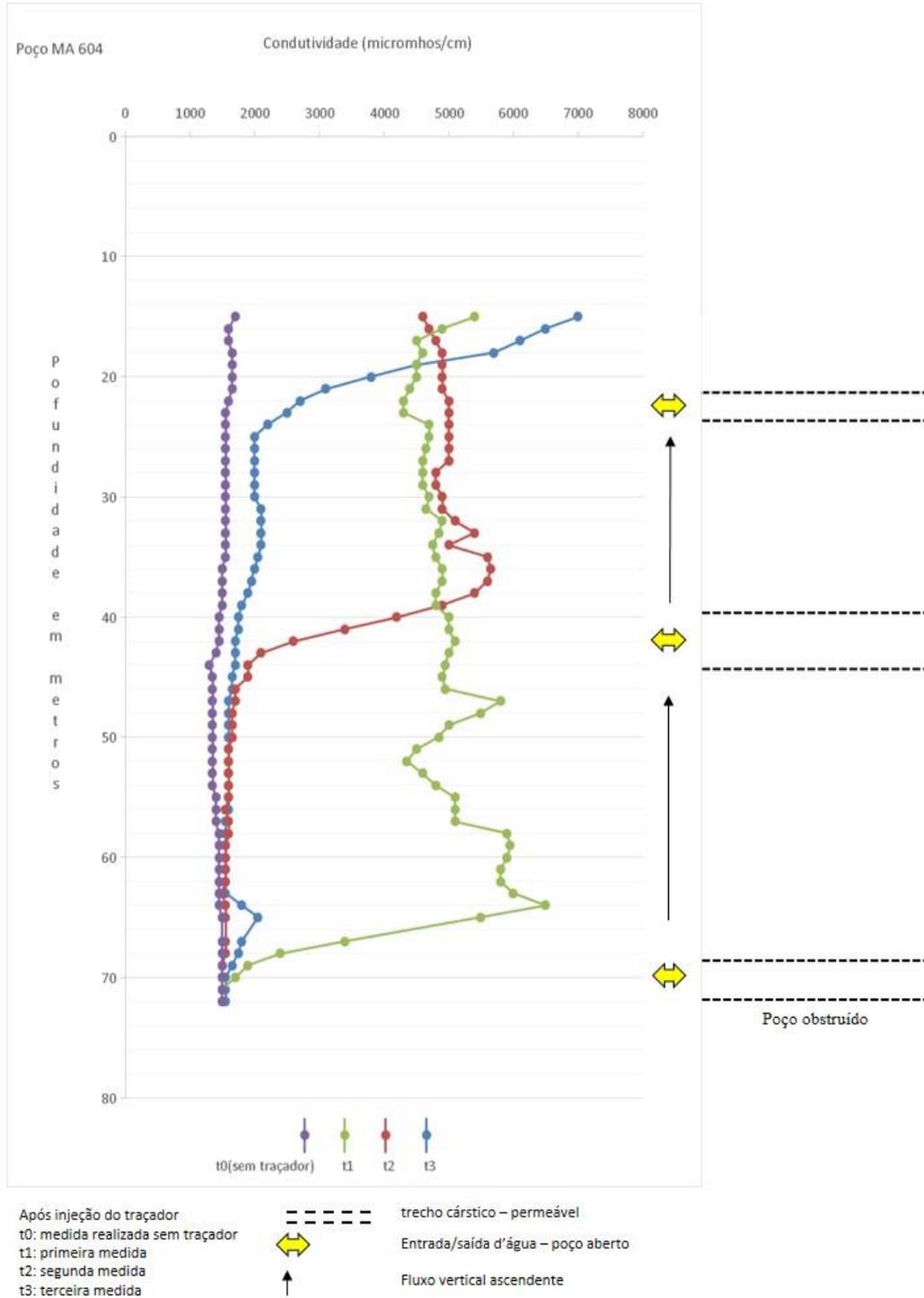


Após injeção do traçador
t0: medida realizada sem traçador
t1: primeira medida
t2: segunda medida
t3: terceira medida
t4: quarta medida
t5: quinta

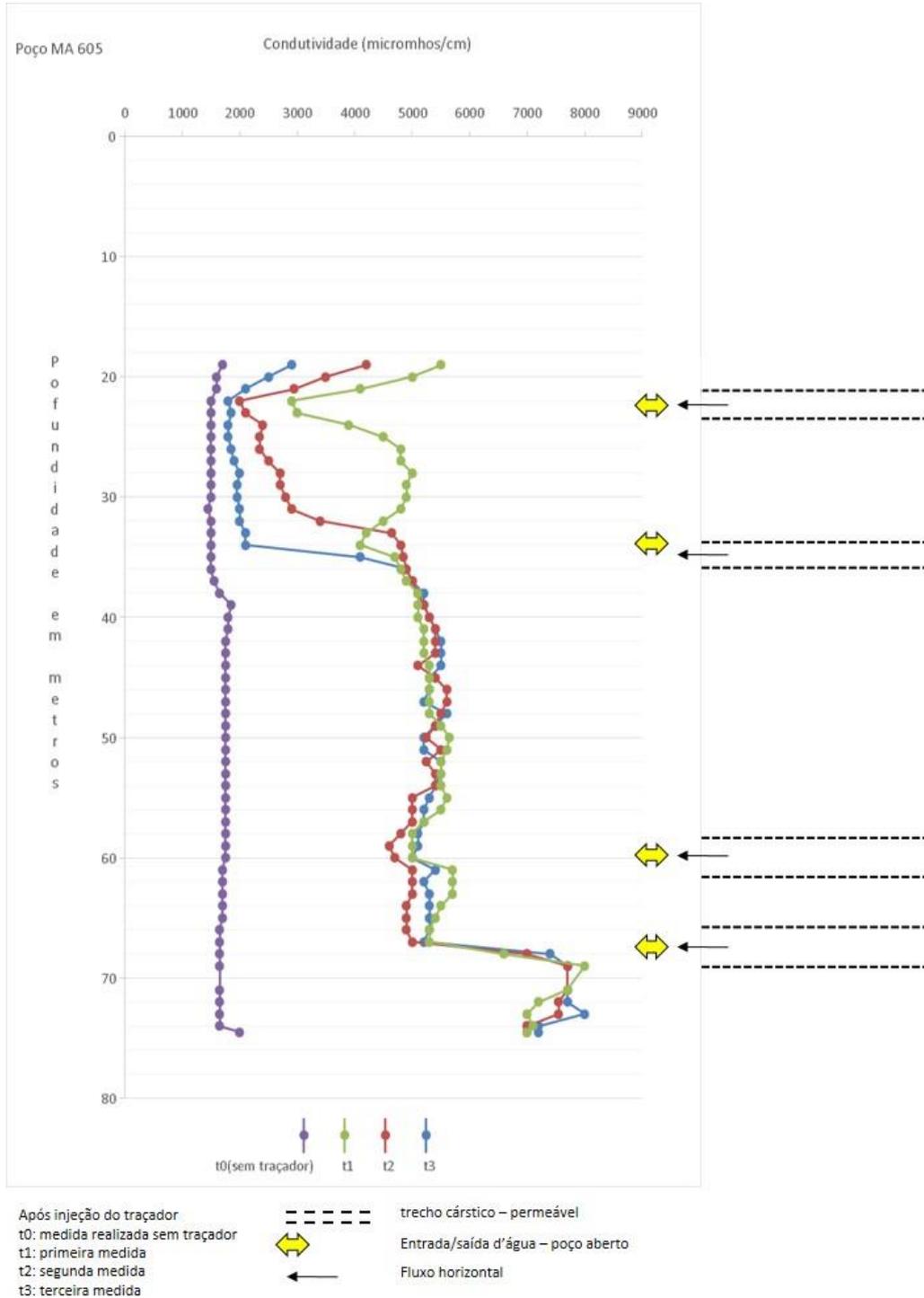


--- trecho cárstico – permeável
↕ Entrada/saída d'água – poço aberto
↓ Fluxo vertical descendente

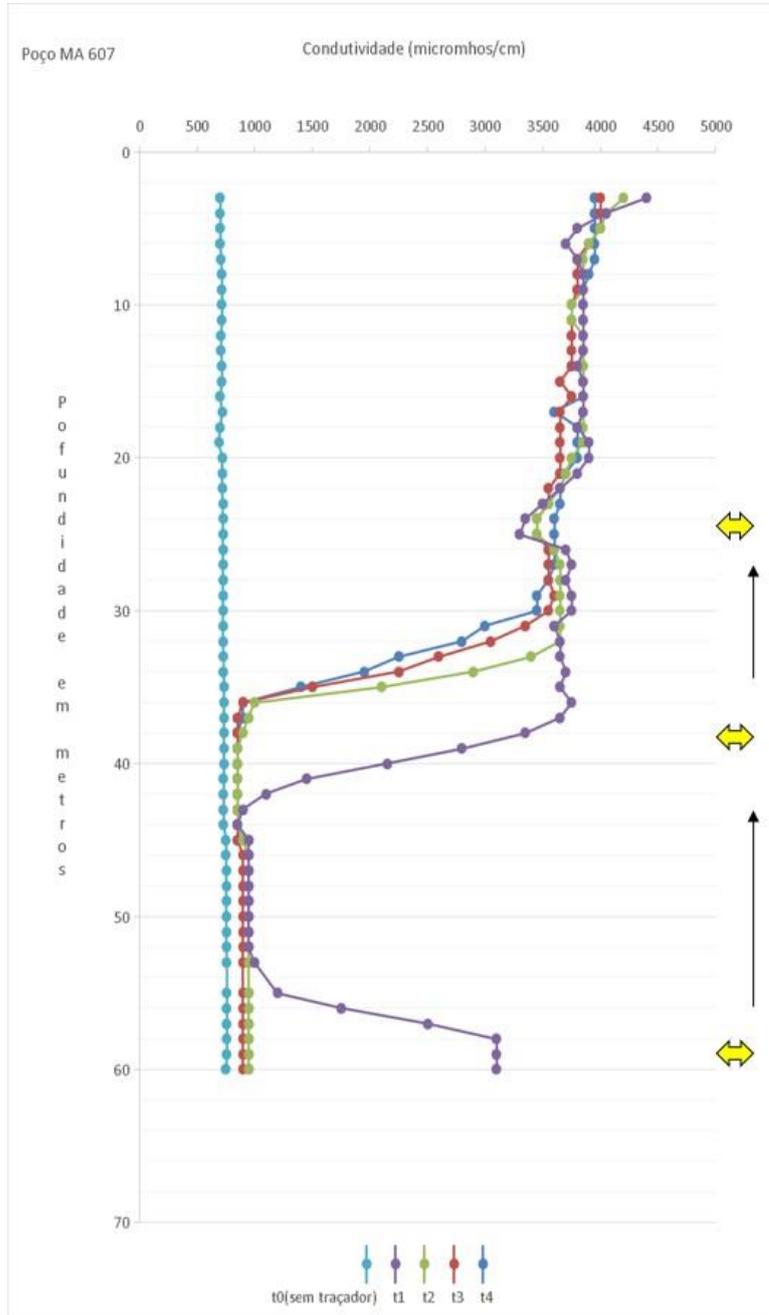
Apêndice 7- Perfilagem do poço MA-604 mediante uso do NaCl como traçador



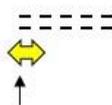
Apêndice 8- Perfilagem do poço MA-605 mediante uso do NaCl como traçador



Apêndice 9- Perfilagem do poço MA-607 mediante uso do NaCl como traçador

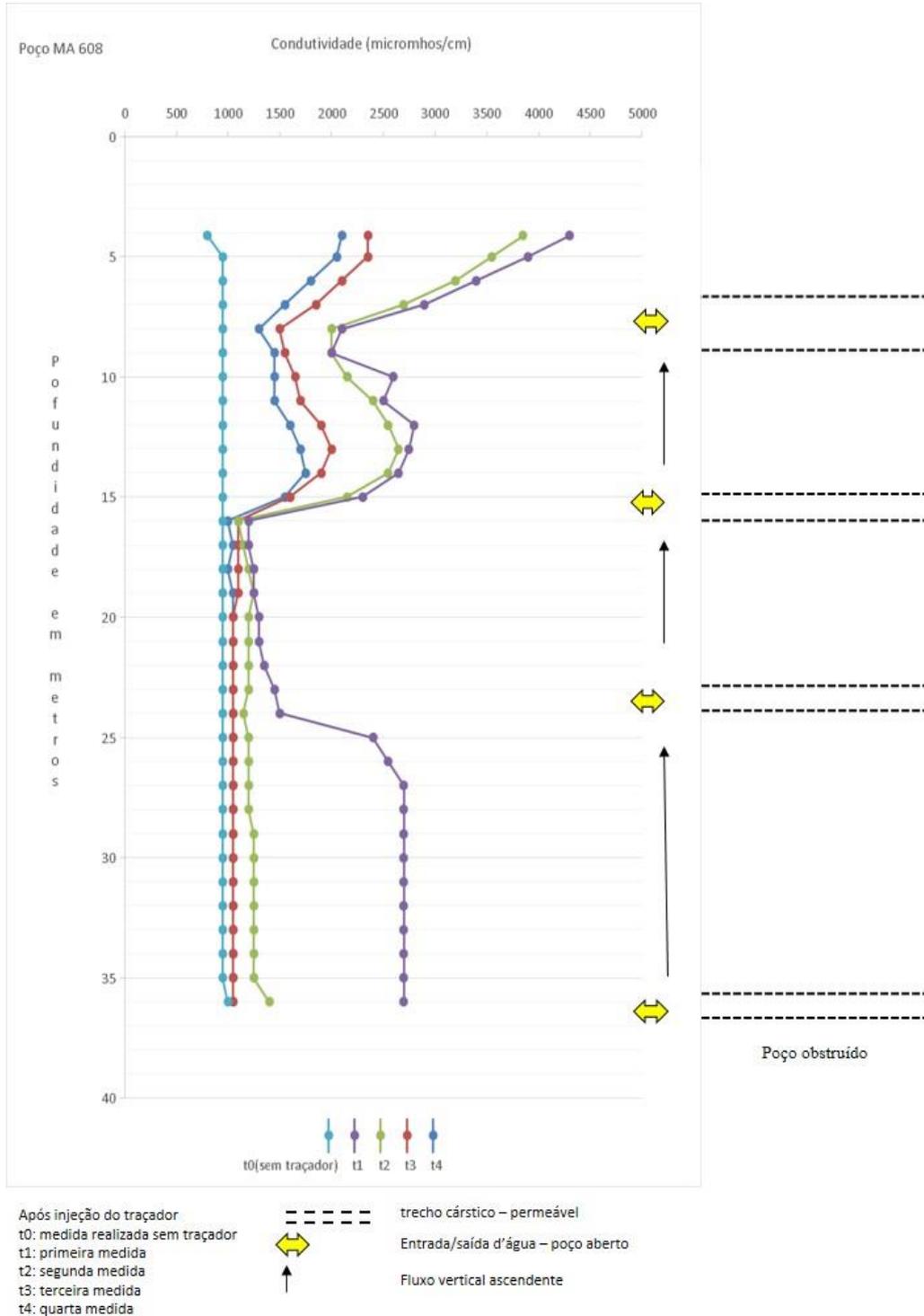


Após injeção do traçador
 t0: medida realizada sem traçador
 t1: primeira medida
 t2: segunda medida
 t3: terceira medida
 t4: quarta medida

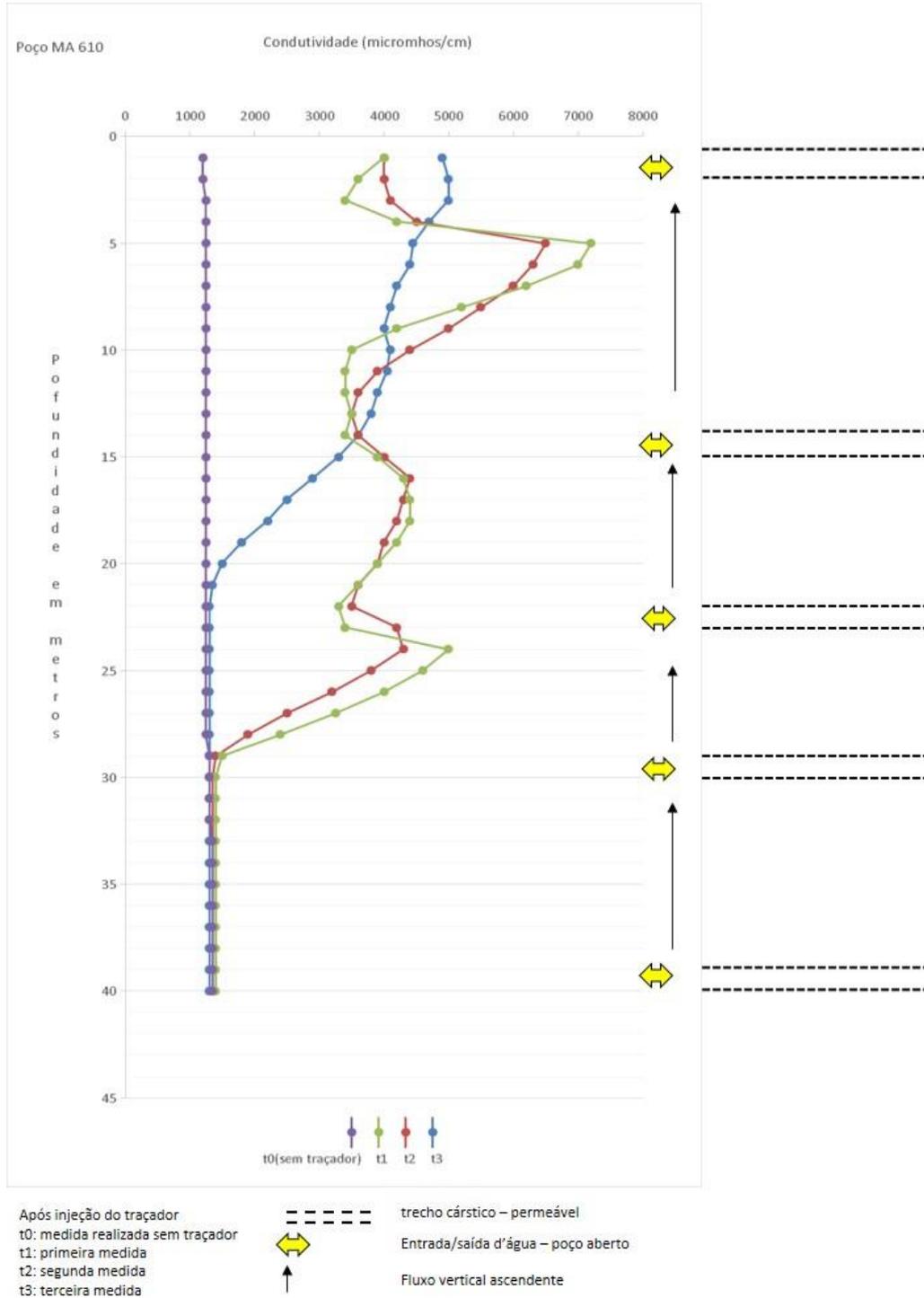


--- trecho cárstico – permeável
 ⇔ Entrada/saída d'água – poço aberto
 ↑ Fluxo vertical ascendente

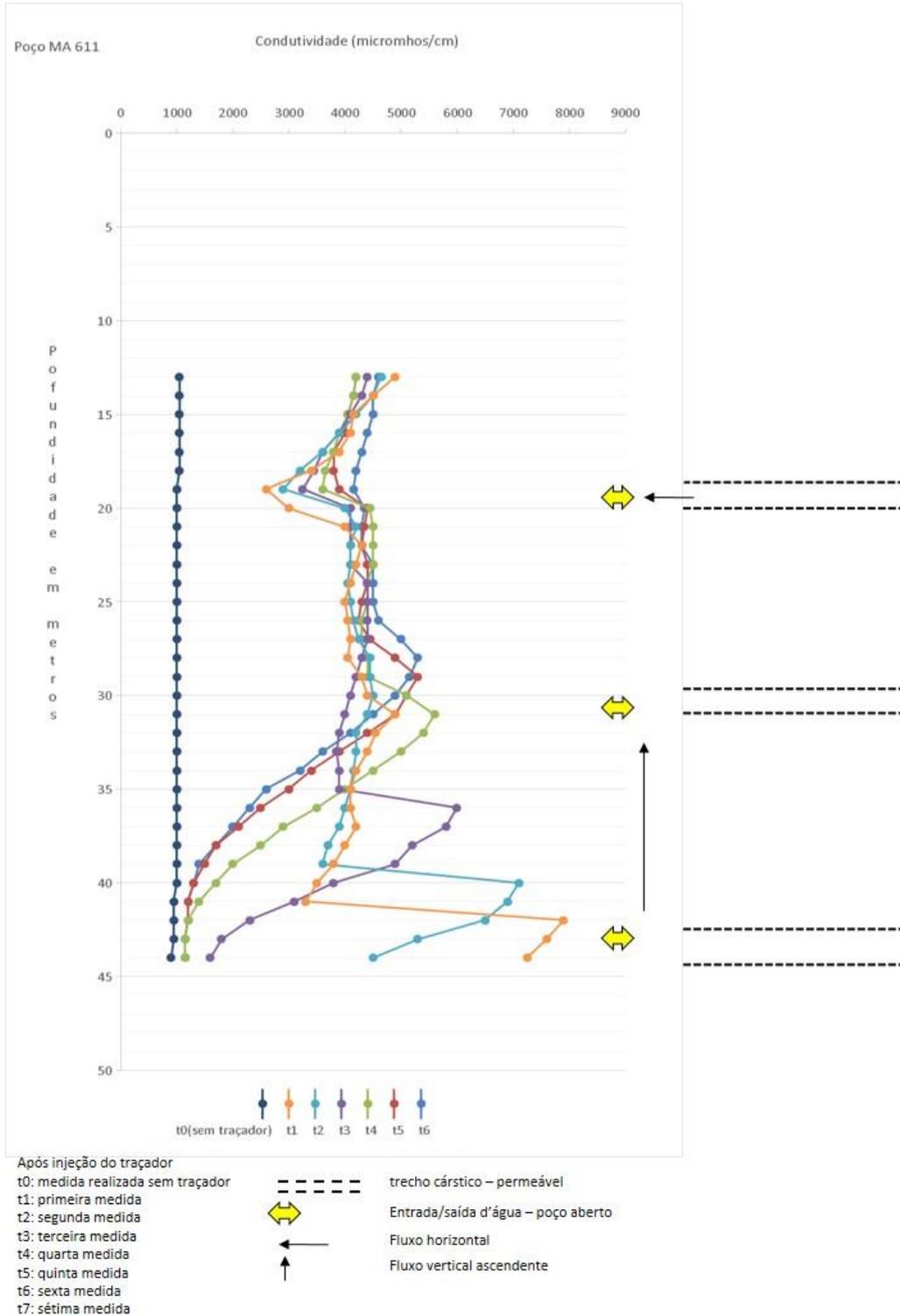
Apêndice 10- Perfilagem do poço MA-608 mediante uso do NaCl como traçador



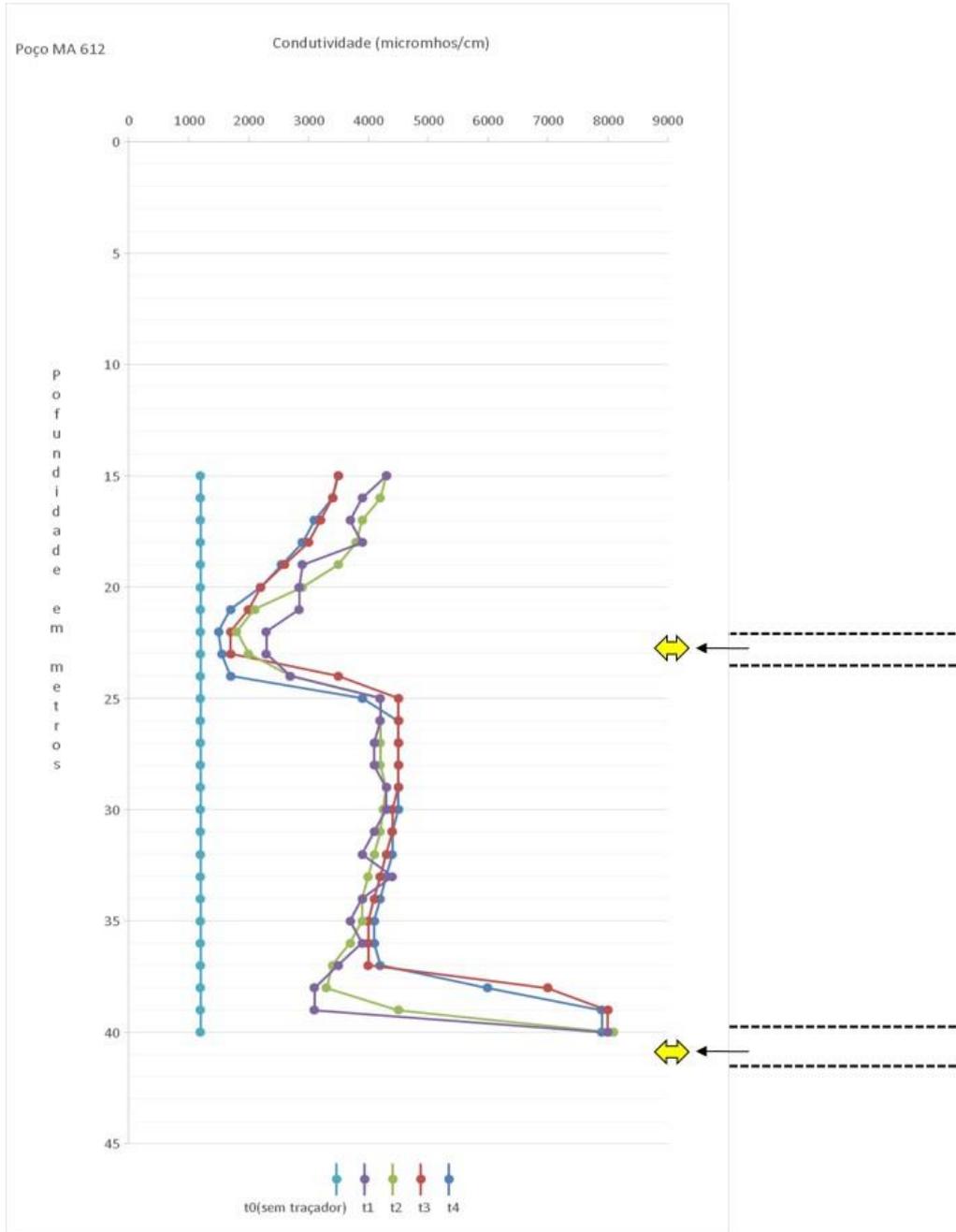
Apêndice 11- Perfilagem do poço MA-610 mediante uso do NaCl como traçador



Apêndice 12- Perfilagem do poço MA-611 mediante uso do NaCl como traçador



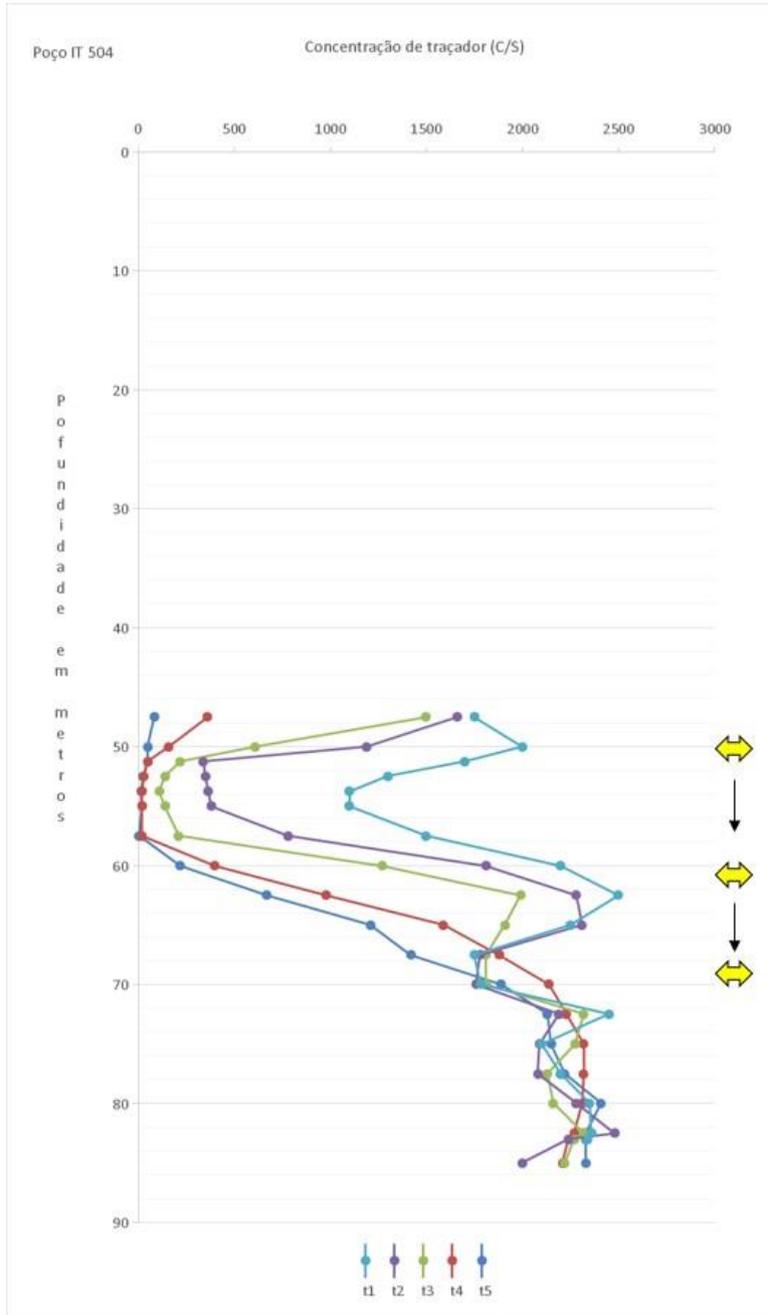
Apêndice 13- Perfilagem do poço MA-612 mediante uso do NaCl como traçador



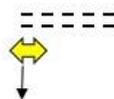
Após injeção do traçador
t0: medida realizada sem traçador
t1: primeira medida
t2: segunda medida
t3: terceira medida
t4: quarta medida

trecho cárstico – permeável
⇔ Entrada/saída d'água – poço aberto
 Fluxo horizontal

Apêndice 14- Perfilagem do poço IT-504 mediante uso do ^{82}BR como traçador



Após injeção do traçador
 t1: primeira medida
 t2: segunda medida
 t3: terceira medida
 t4: quarta medida
 t5: quinta medida

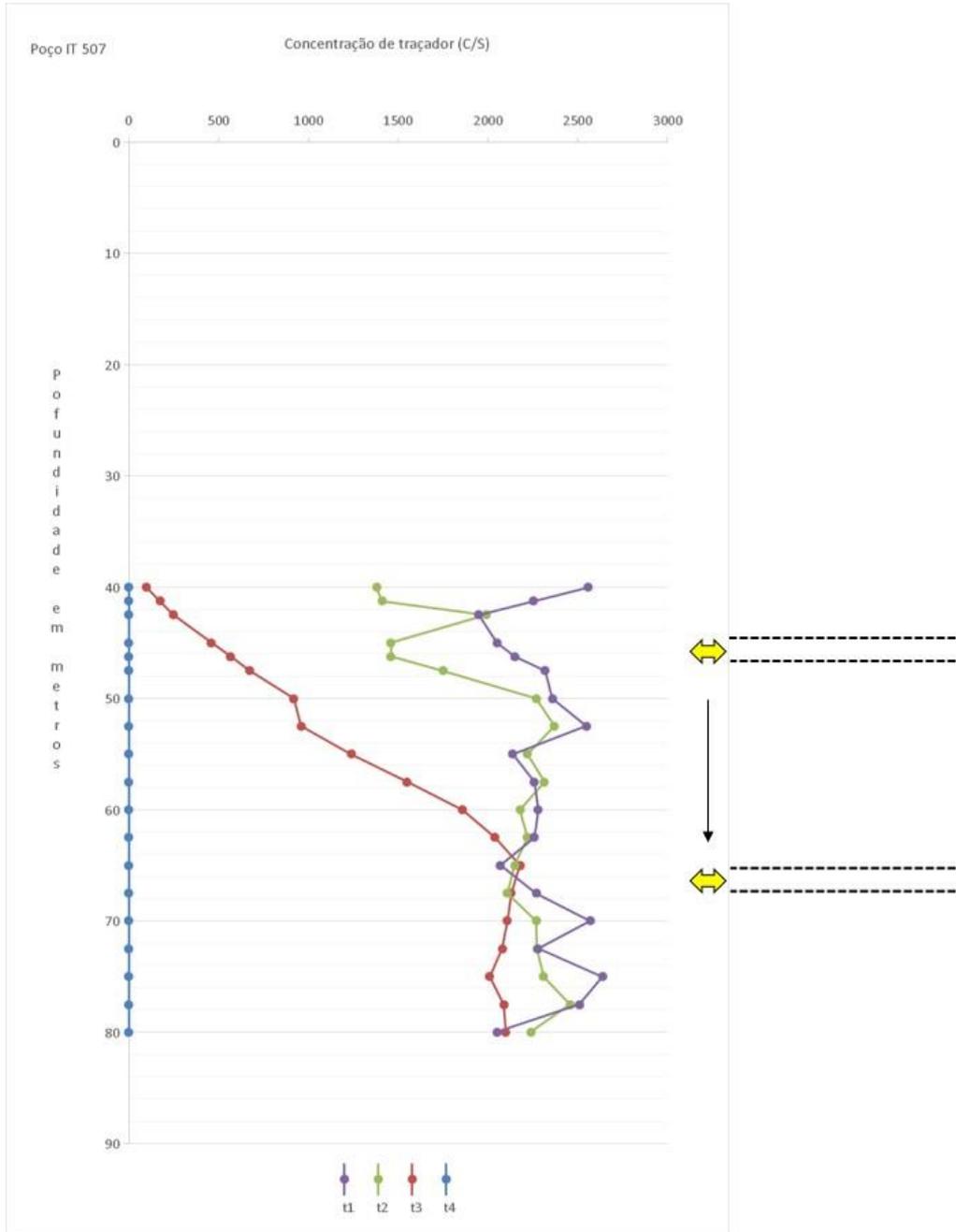


--- trecho cárstico – permeável

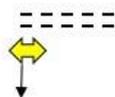
Entrada/saída d'água – poço aberto

Fluxo vertical descendente

Apêndice 15- Perfilagem do poço IT-507 mediante uso do ^{82}BR como traçador

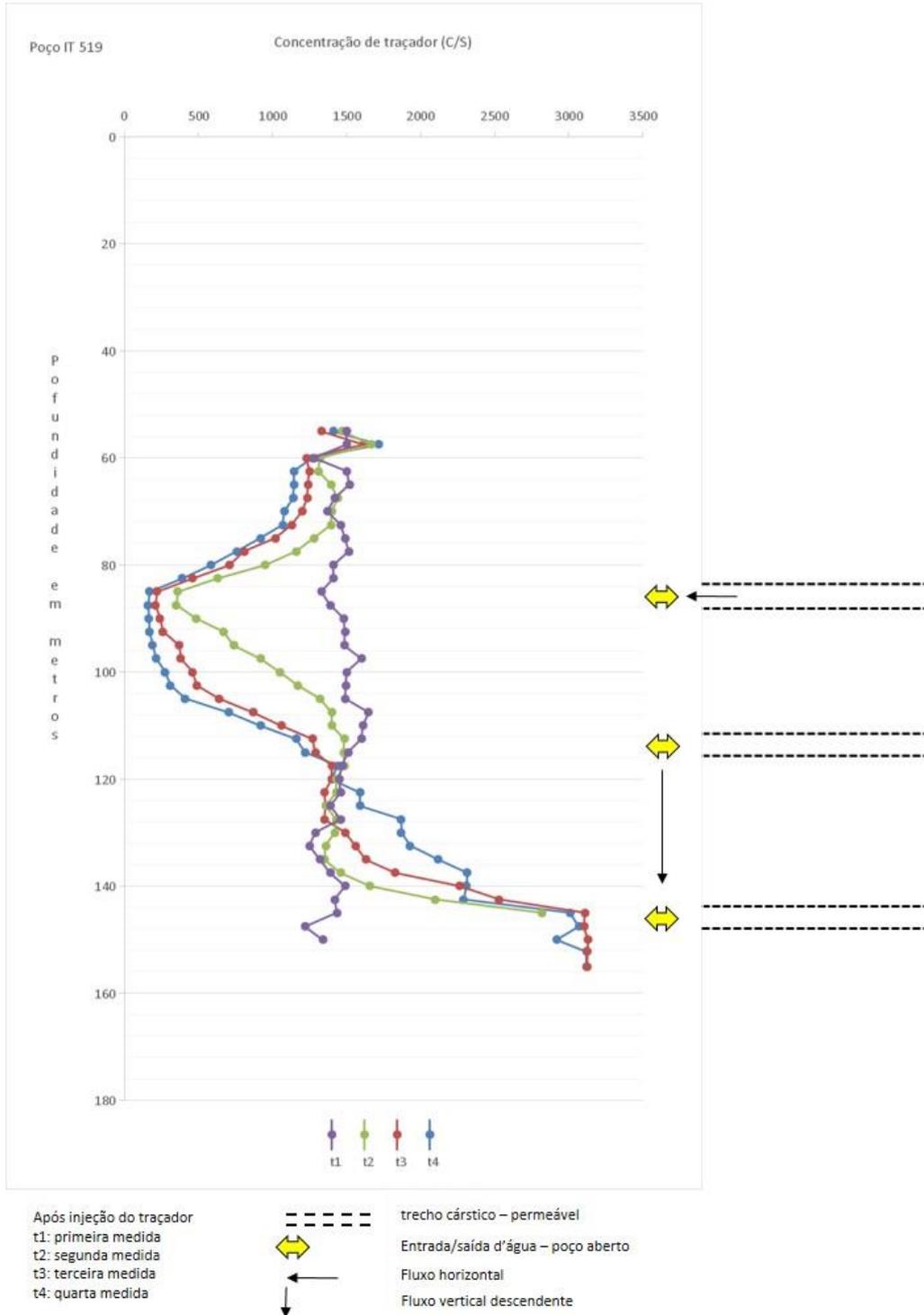


Após injeção do traçador
t1: primeira medida
t2: segunda medida
t3: terceira medida
t4: quarta medida

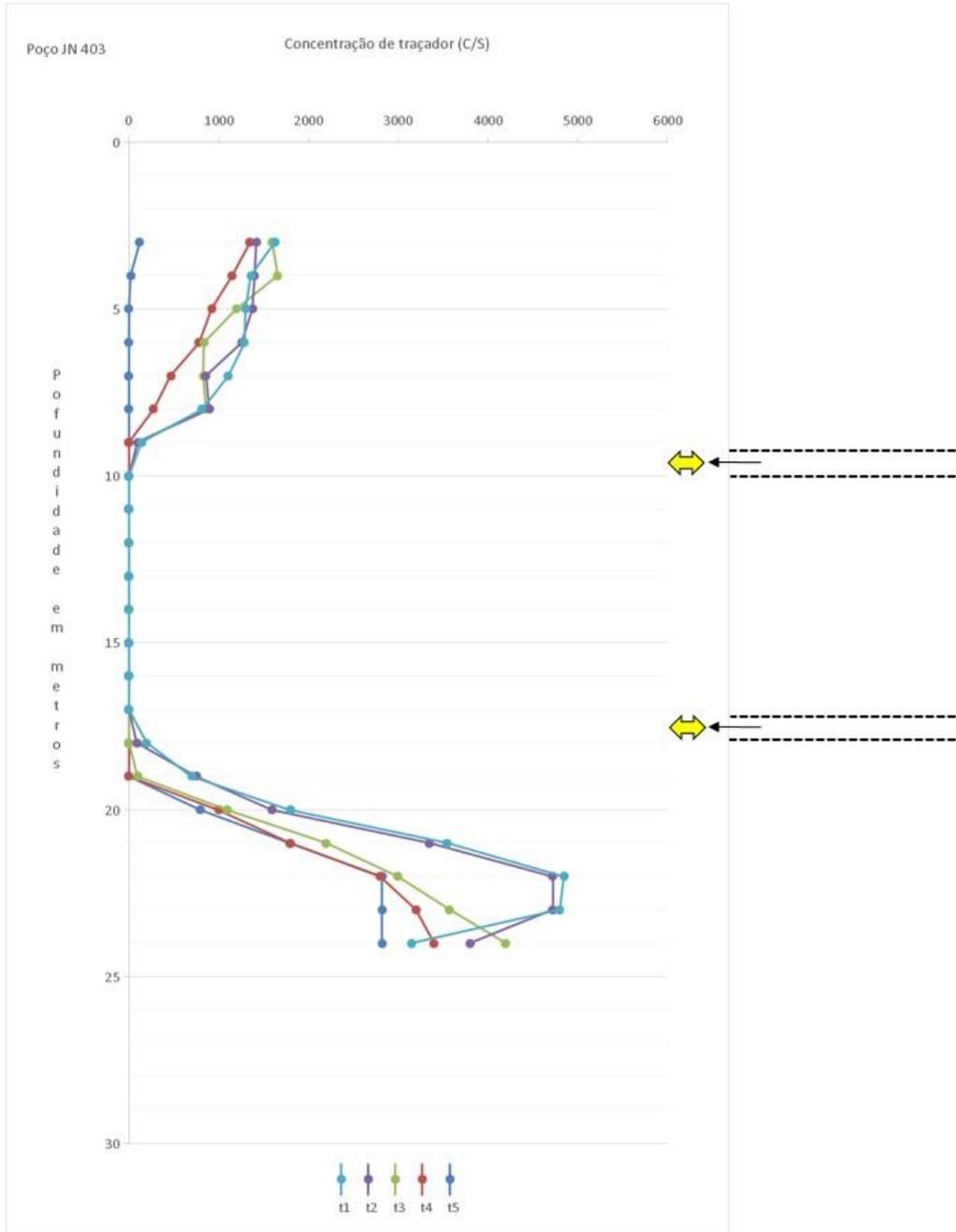


--- trecho cárstico – permeável
↔ Entrada/saída d'água – poço aberto
↓ Fluxo vertical descendente

Apêndice 16- Perfilagem do poço IT-519 mediante uso do ^{82}BR como traçador



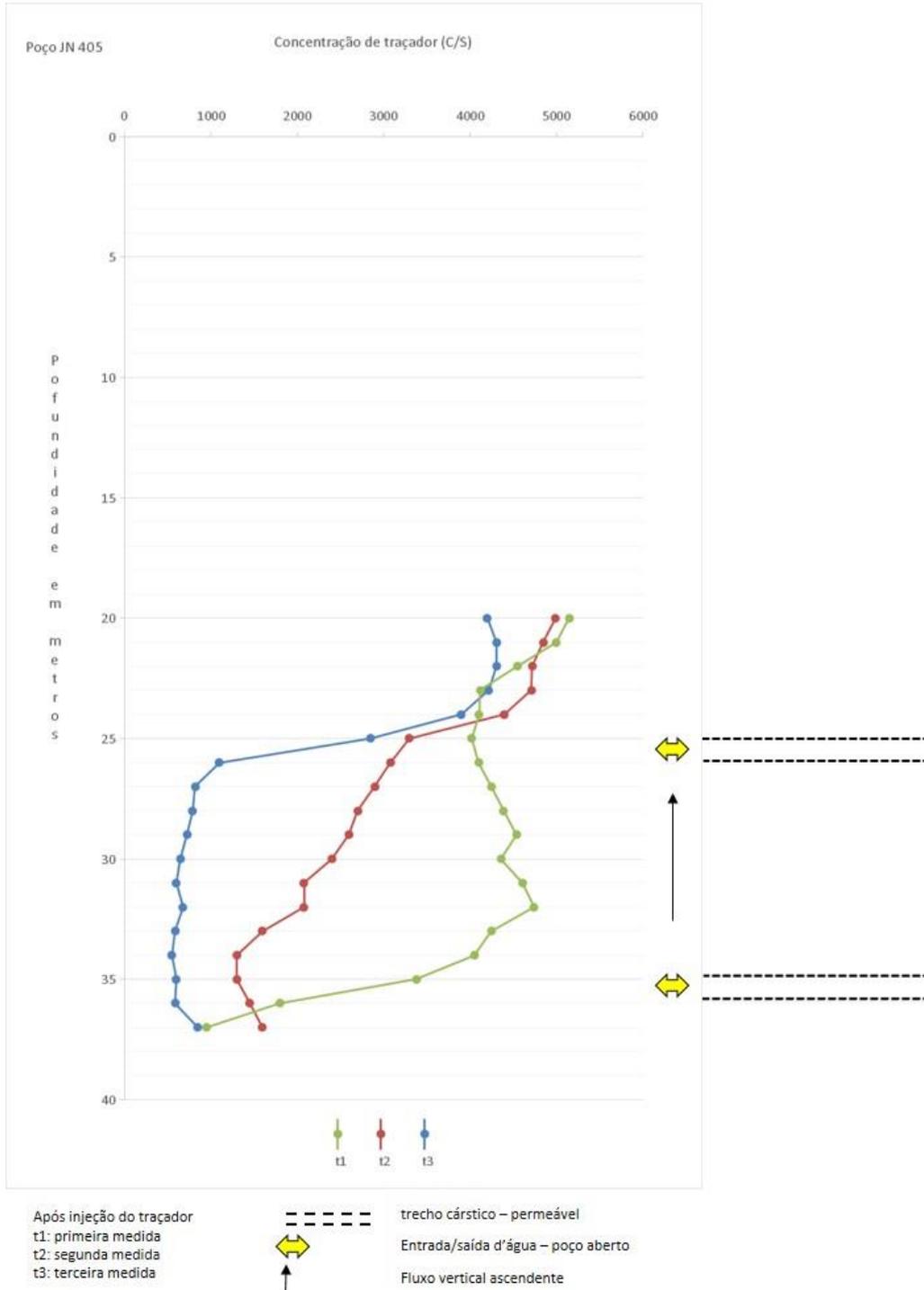
Apêndice 17- Perfilagem do poço JN-403 mediante uso do ⁸²BR como traçador



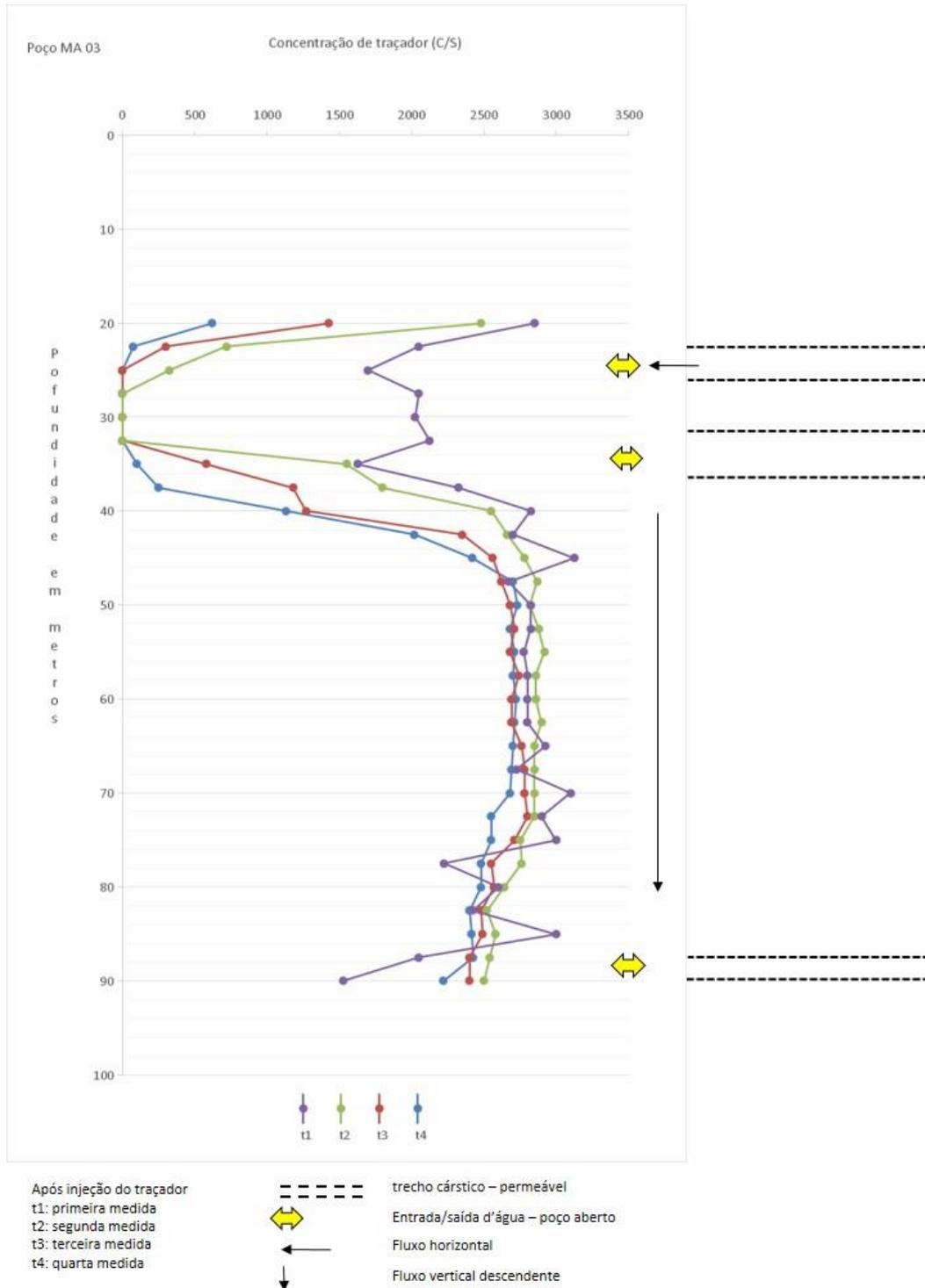
Após injeção do traçador
 t1: primeira medida
 t2: segunda medida
 t3: terceira medida
 t4: quarta medida
 t5: quinta medida

--- trecho cárstico – permeável
 Entrada/saída d'água – poço aberto
 Fluxo horizontal

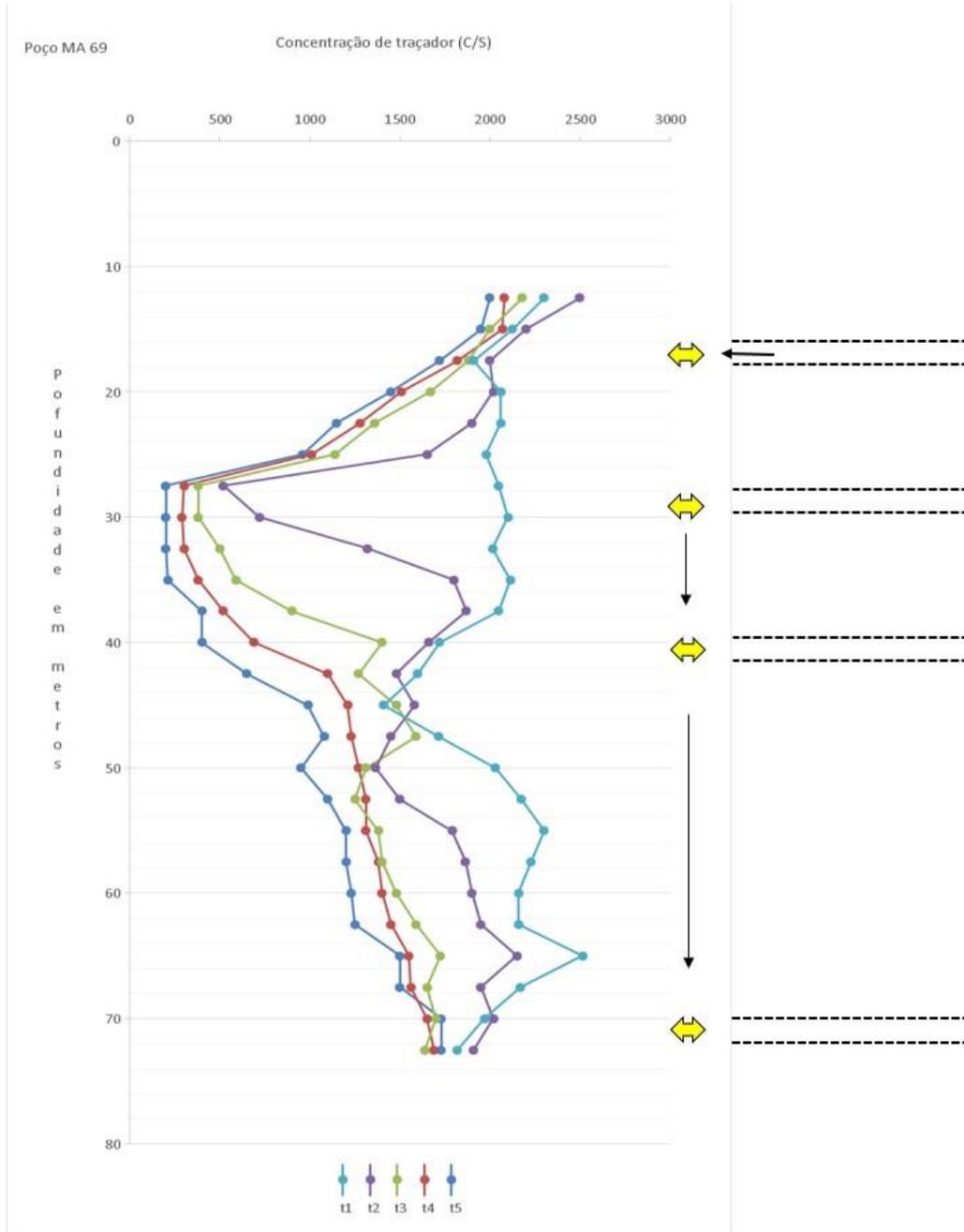
Apêndice 18- Perfilagem do poço JN-405 mediante uso do ^{82}BR como traçador



Apêndice 19- Perfilagem do poço MA-03 mediante uso do ^{82}BR como traçador



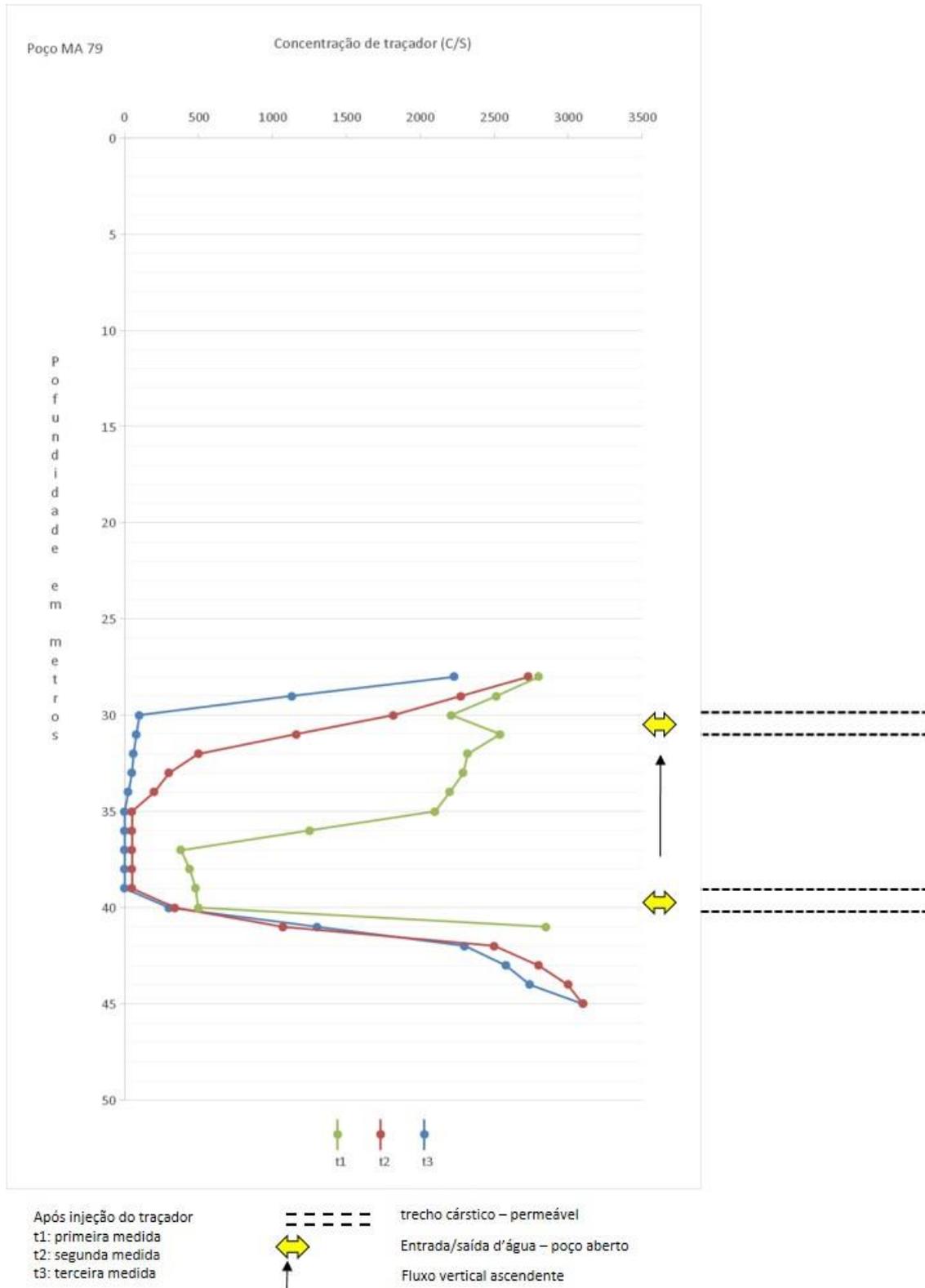
Apêndice 20- Perfilagem do poço MA-69 mediante uso do ^{82}BR como traçador



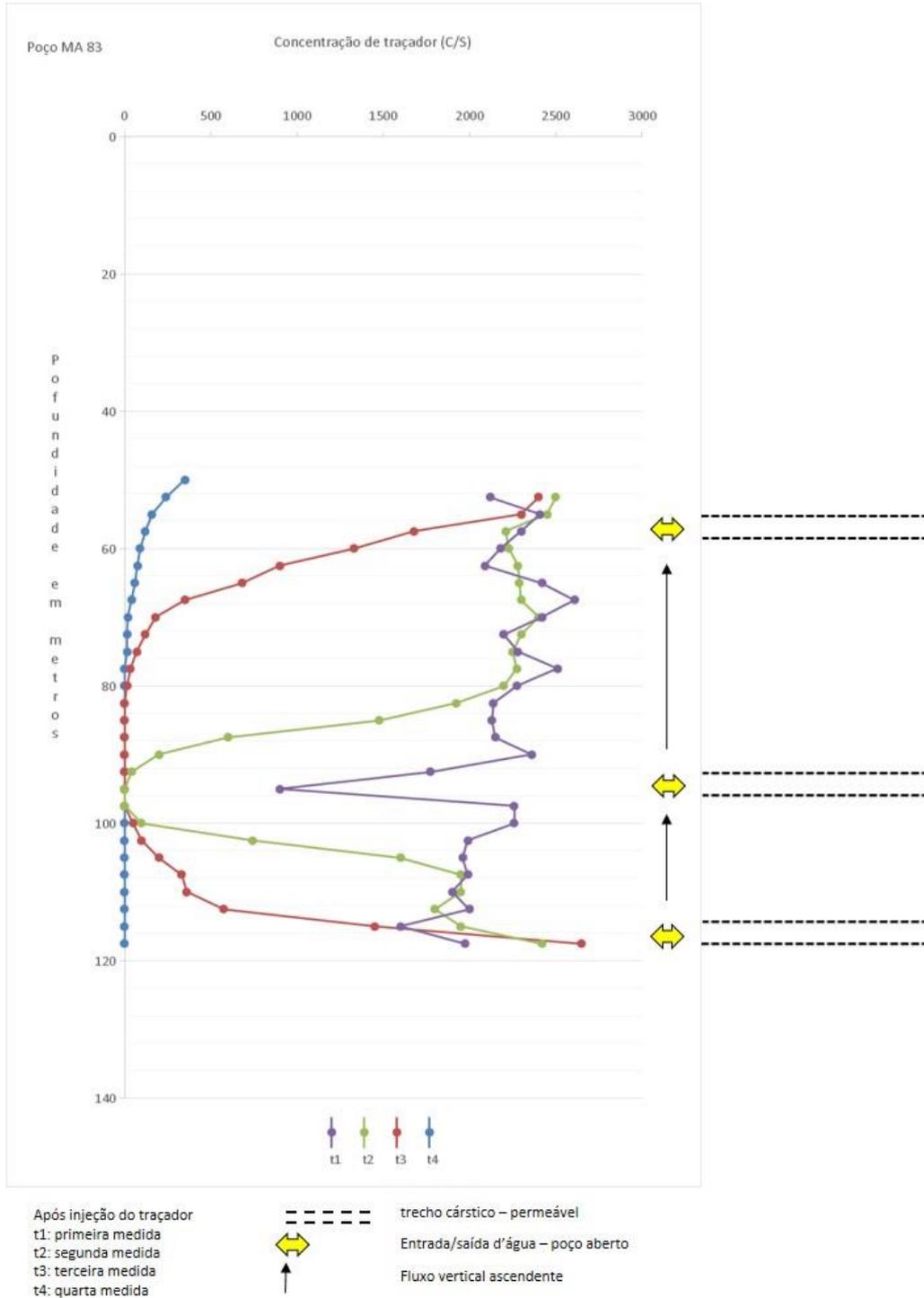
Após injeção do traçador
t1: primeira medida
t2: segunda medida
t3: terceira medida
t4: quarta medida
t5: quinta medida

--- trecho cárstico – permeável
 Entrada/saída d'água – poço aberto
 Fluxo horizontal
 Fluxo vertical descendente

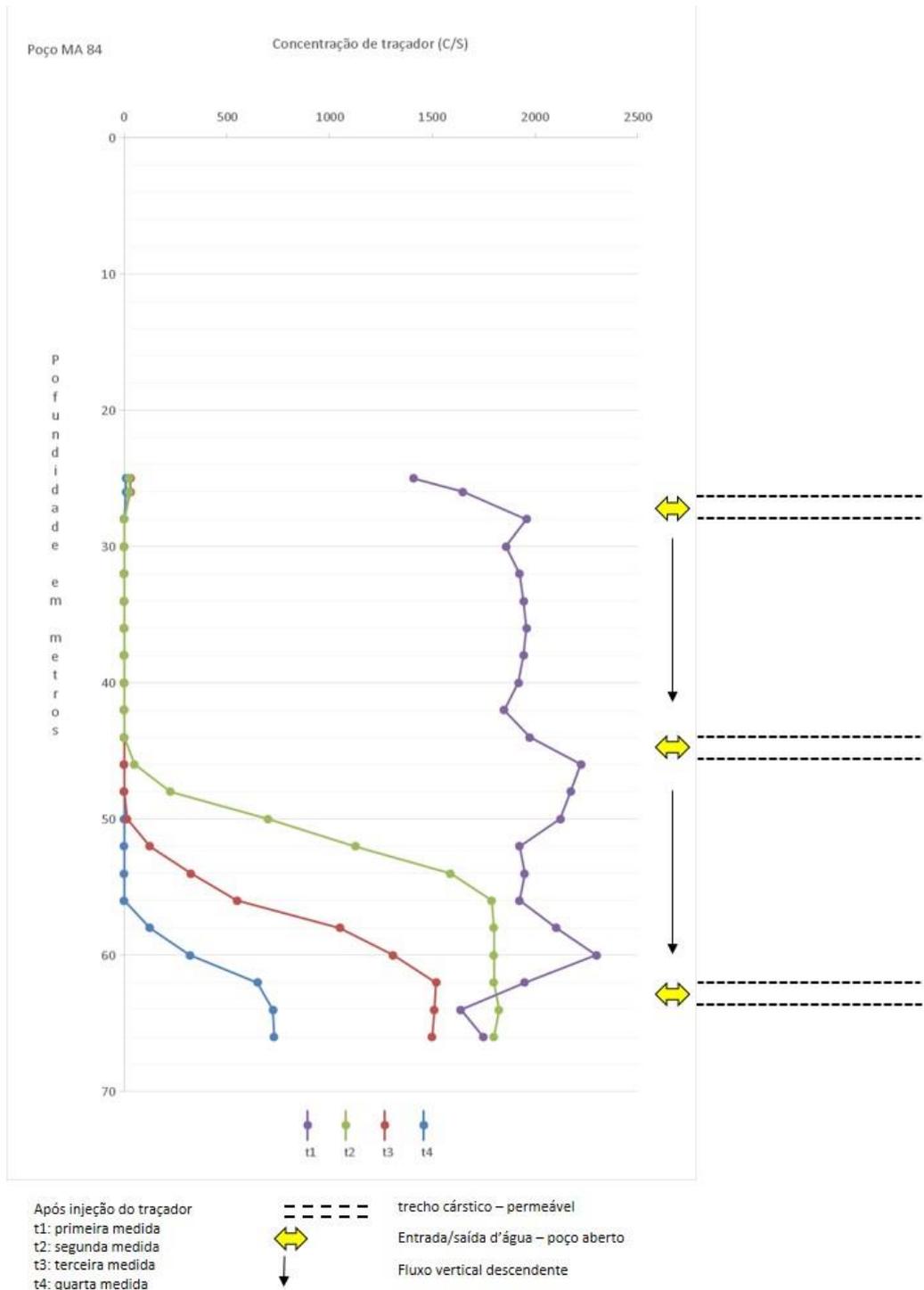
Apêndice 21- Perfilagem do poço MA-79 mediante uso do ^{82}BR como traçador



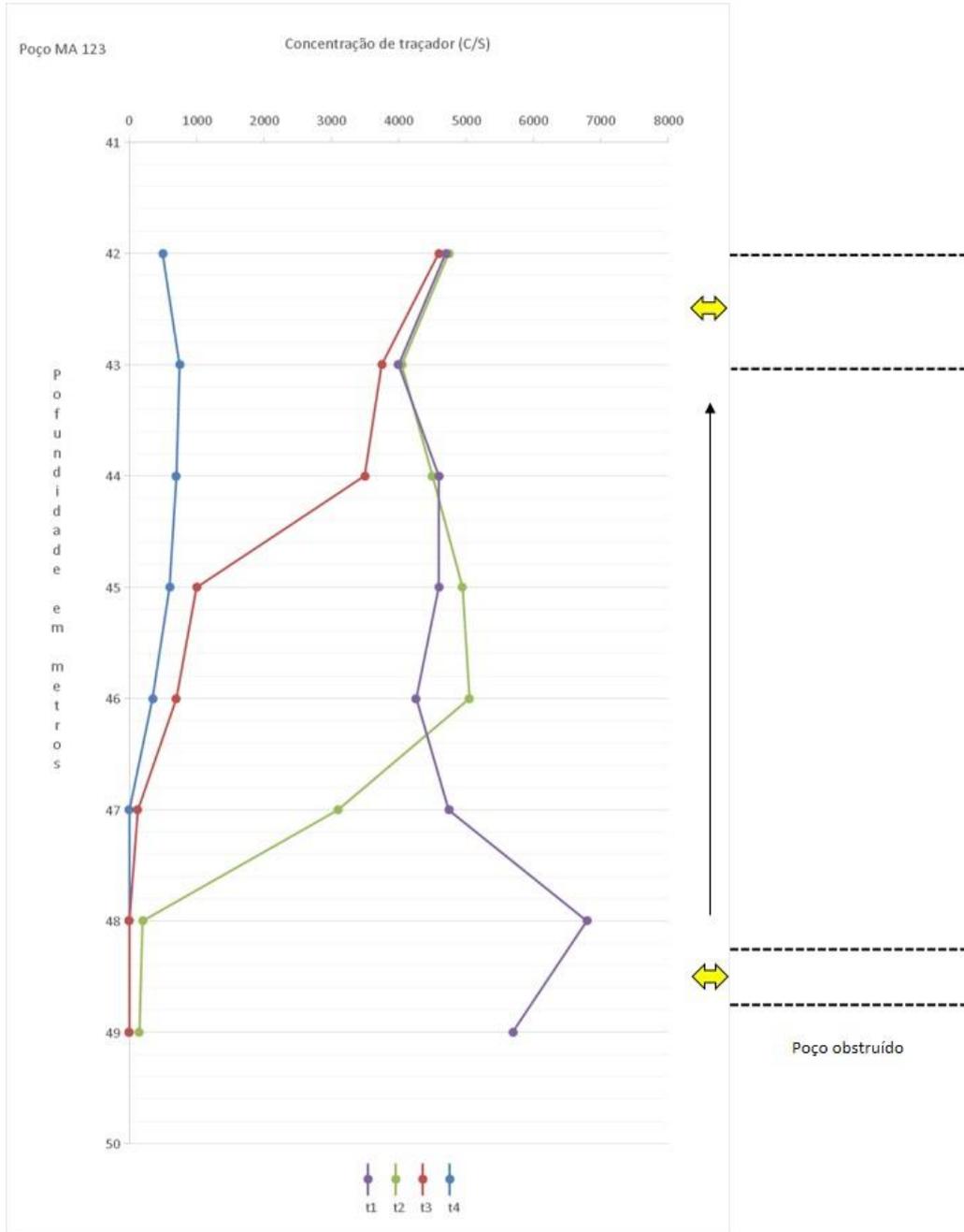
Apêndice 22- Perfilagem do poço MA-83 mediante uso do ^{82}BR como traçador



Apêndice 23- Perfilagem do poço MA-84 mediante uso do ^{82}BR como traçador



Apêndice 24- Perfilagem do poço MA-123 mediante uso do ^{82}BR como traçador

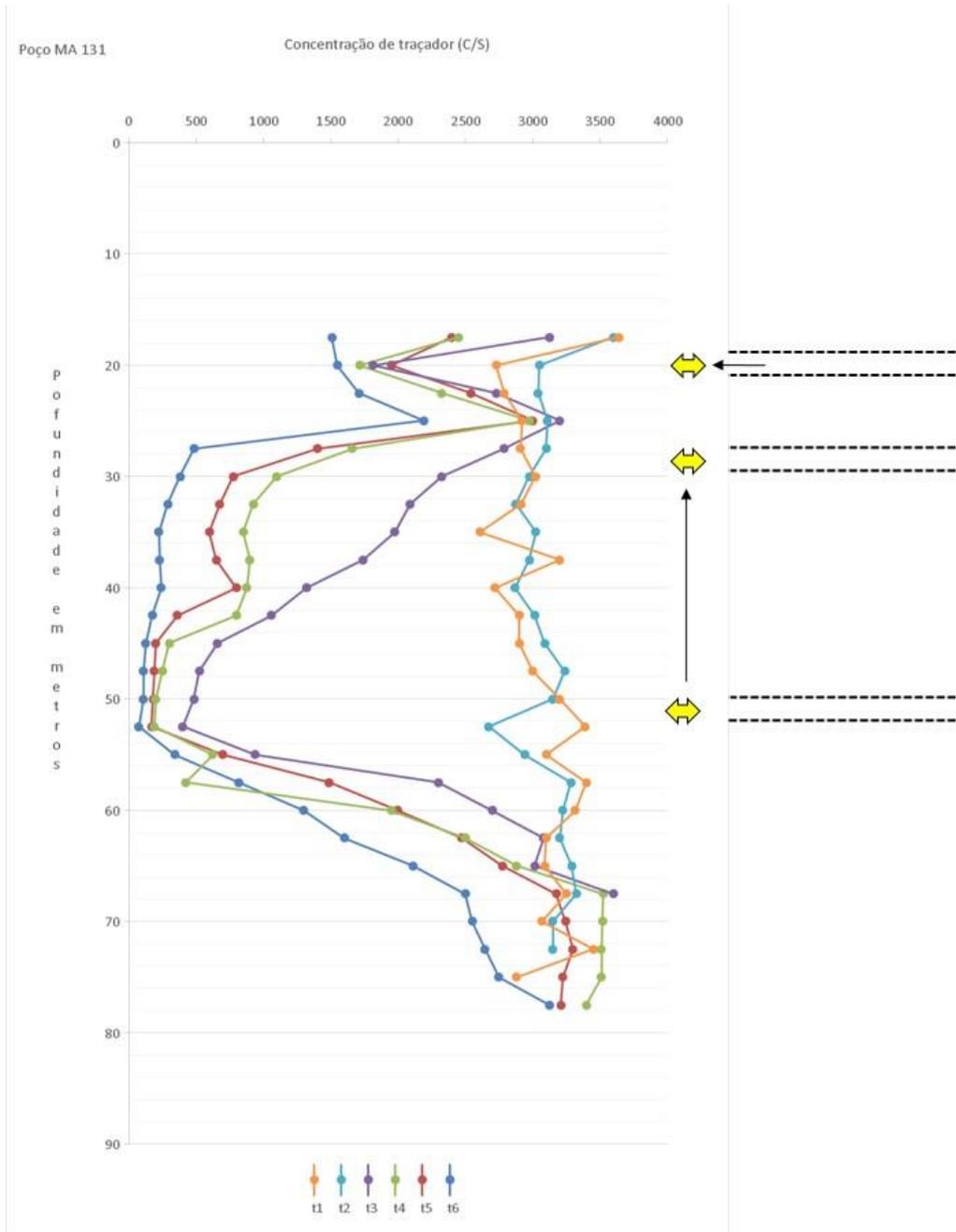


Após injeção do traçador
t1: primeira medida
t2: segunda medida
t3: terceira medida
t4: quarta medida

--- trecho cárstico – permeável
 Entrada/saída d'água – poço aberto
 Fluxo vertical ascendente

Poço obstruído

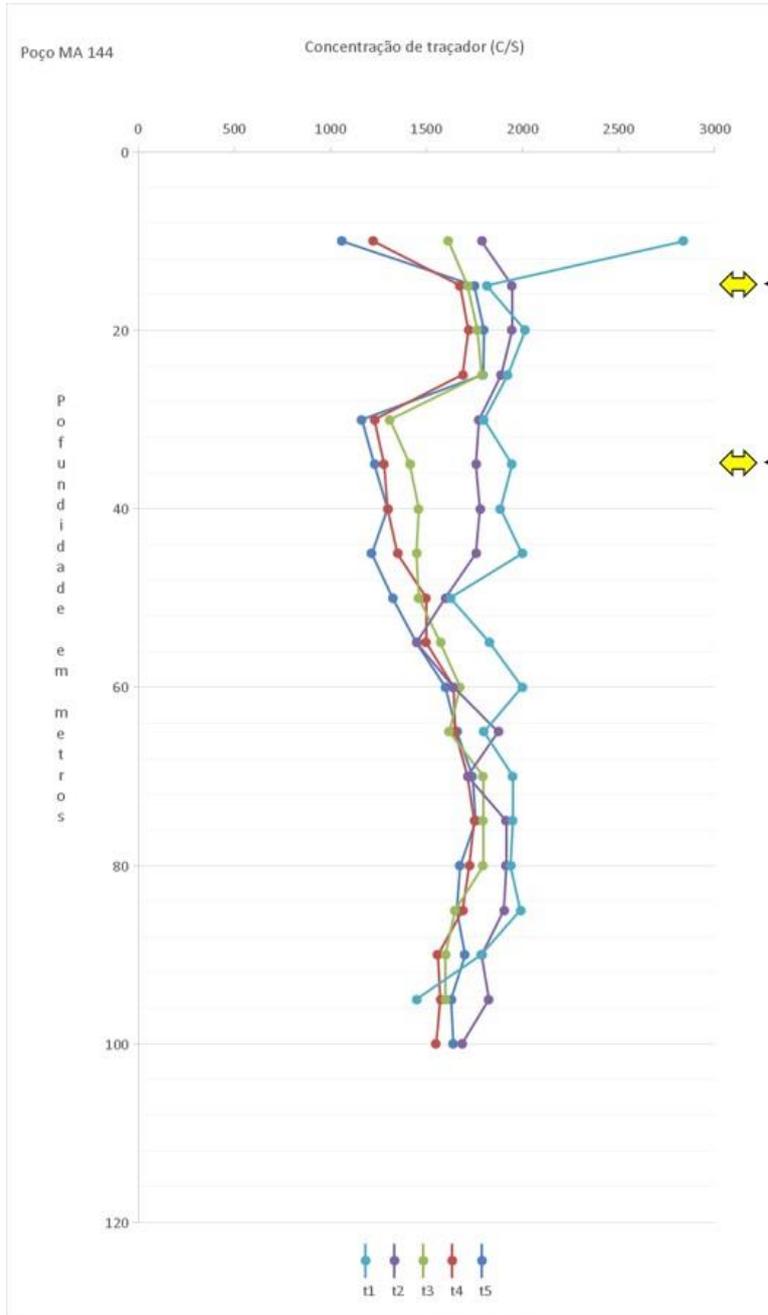
Apêndice 25- Perfilagem do poço MA-131 mediante uso do ^{82}BR como traçador



Após injeção do traçador
t1: primeira medida
t2: segunda medida
t3: terceira medida
t4: quarta medida
t5: quinta medida
t6: sexta medida

- trecho cárstico – permeável
- Entrada/saída d'água – poço aberto
- Fluxo horizontal
- Fluxo vertical ascendente

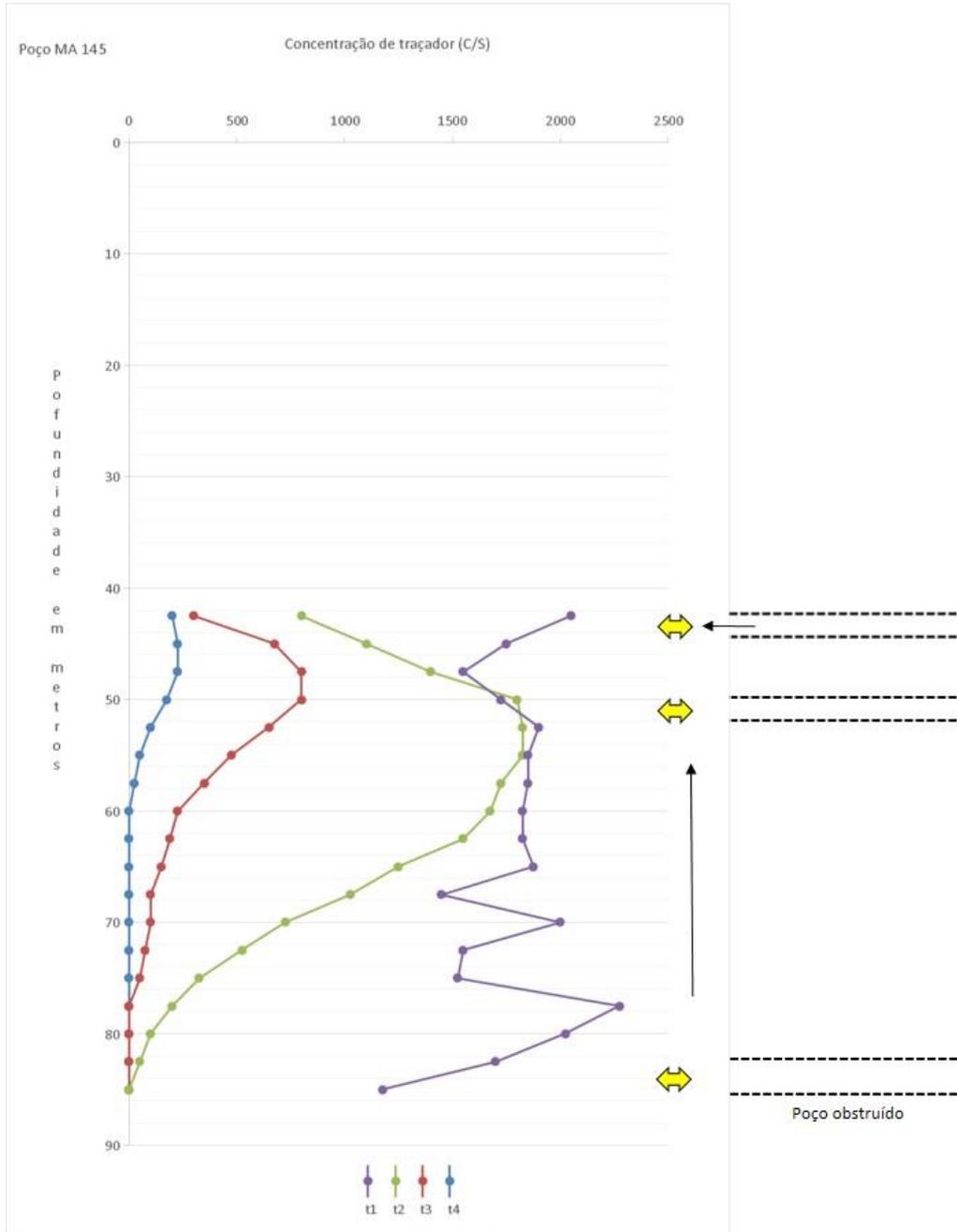
Apêndice 26- Perfilagem do poço MA-144 mediante uso do ^{82}BR como traçador



Após injeção do traçador
 t1: primeira medida
 t2: segunda medida
 t3: terceira medida
 t4: quarta medida
 t5: quinta medida

----- trecho cárstico – permeável
 Entrada/saída d'água – poço aberto
 Fluxo horizontal

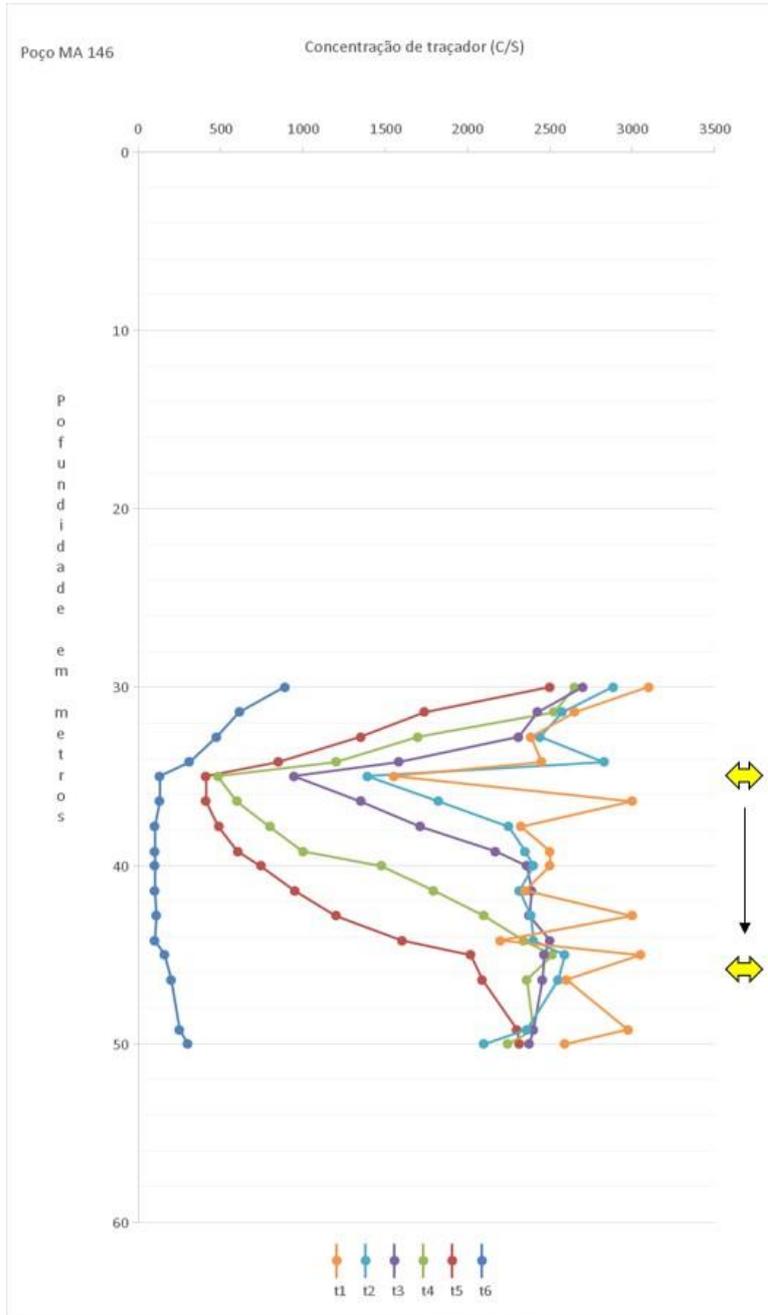
Apêndice 27- Perfilagem do poço MA-145 mediante uso do ^{82}BR como traçador



Após injeção do traçador
 t1: primeira medida
 t2: segunda medida
 t3: terceira medida
 t4: quarta medida

--- trecho cárstico – permeável
 Entrada/saída d'água – poço aberto
 Fluxo vertical ascendente
 Fluxo horizontal

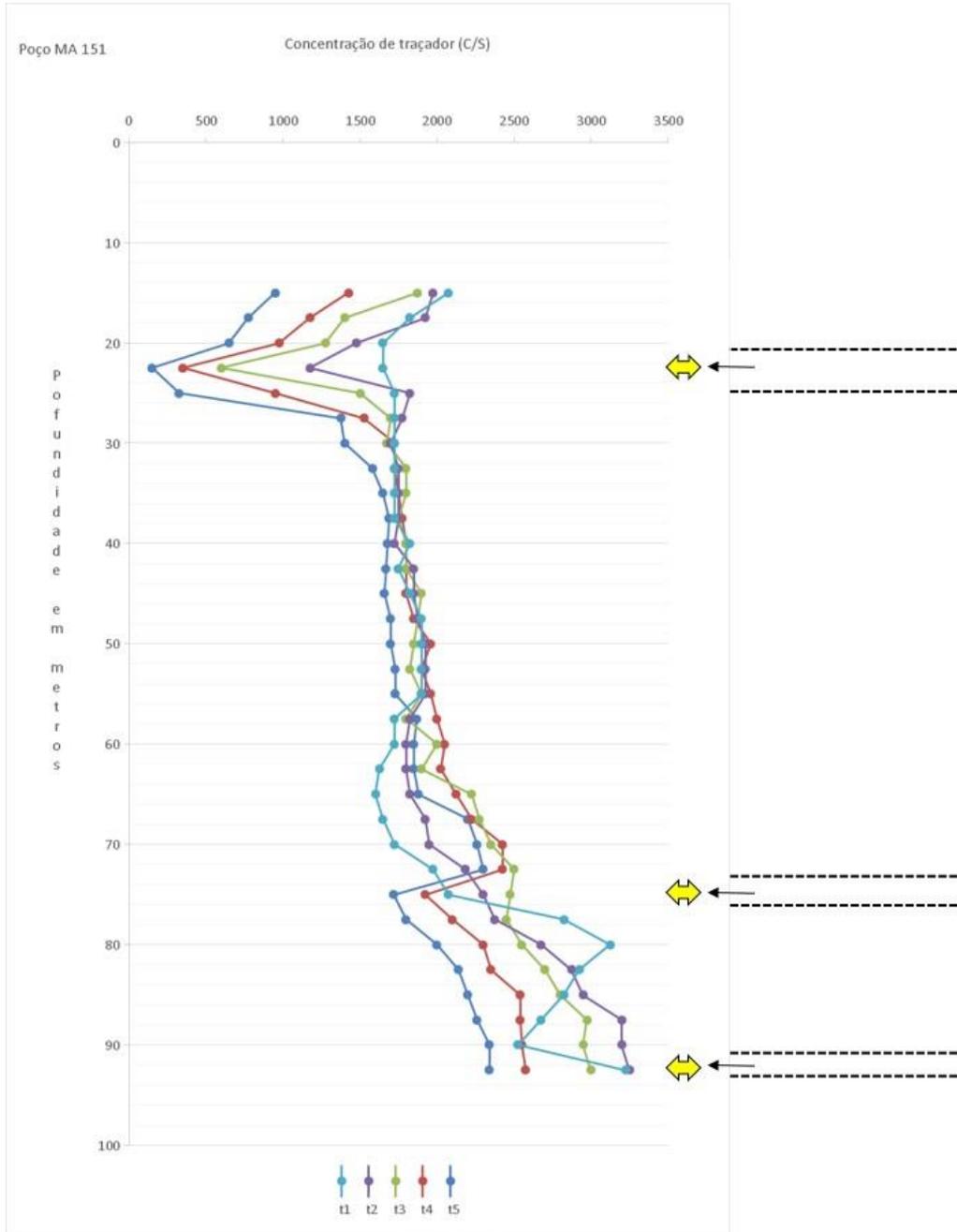
Apêndice 28- Perfilagem do poço MA-146 mediante uso do ⁸²BR como traçador



Após injeção do traçador
 t1: primeira medida
 t2: segunda medida
 t3: terceira medida
 t4: quarta medida
 t5: quinta medida
 t6: sexta medida

==== trecho cárstico – permeável
 Entrada/saída d'água – poço aberto
 Fluxo vertical descendente

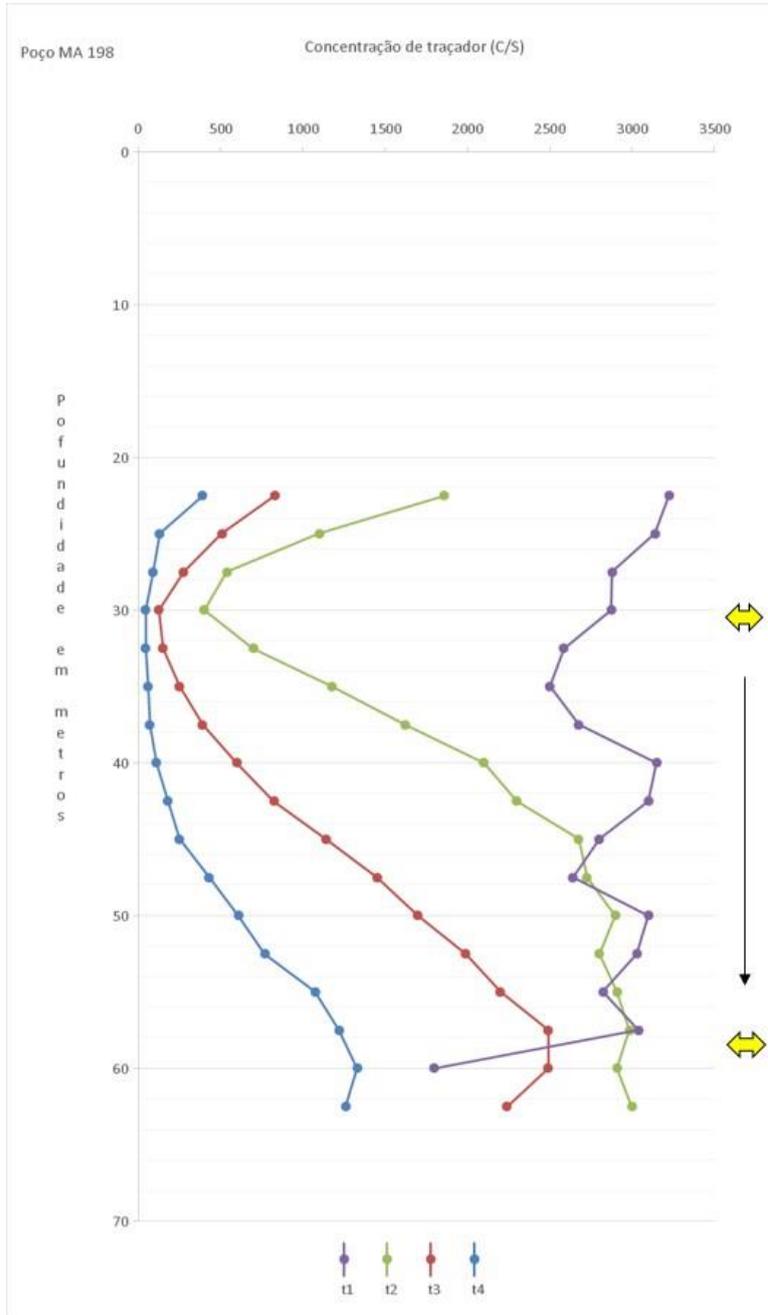
Apêndice 29- Perfilagem do poço MA-151 mediante uso do ^{82}BR como traçador



Após injeção do traçador
 t1: primeira medida
 t2: segunda medida
 t3: terceira medida
 t4: quarta medida
 t5: quinta medida

--- trecho cárstico – permeável
 Entrada/saída d'água – poço aberto
 Fluxo horizontal

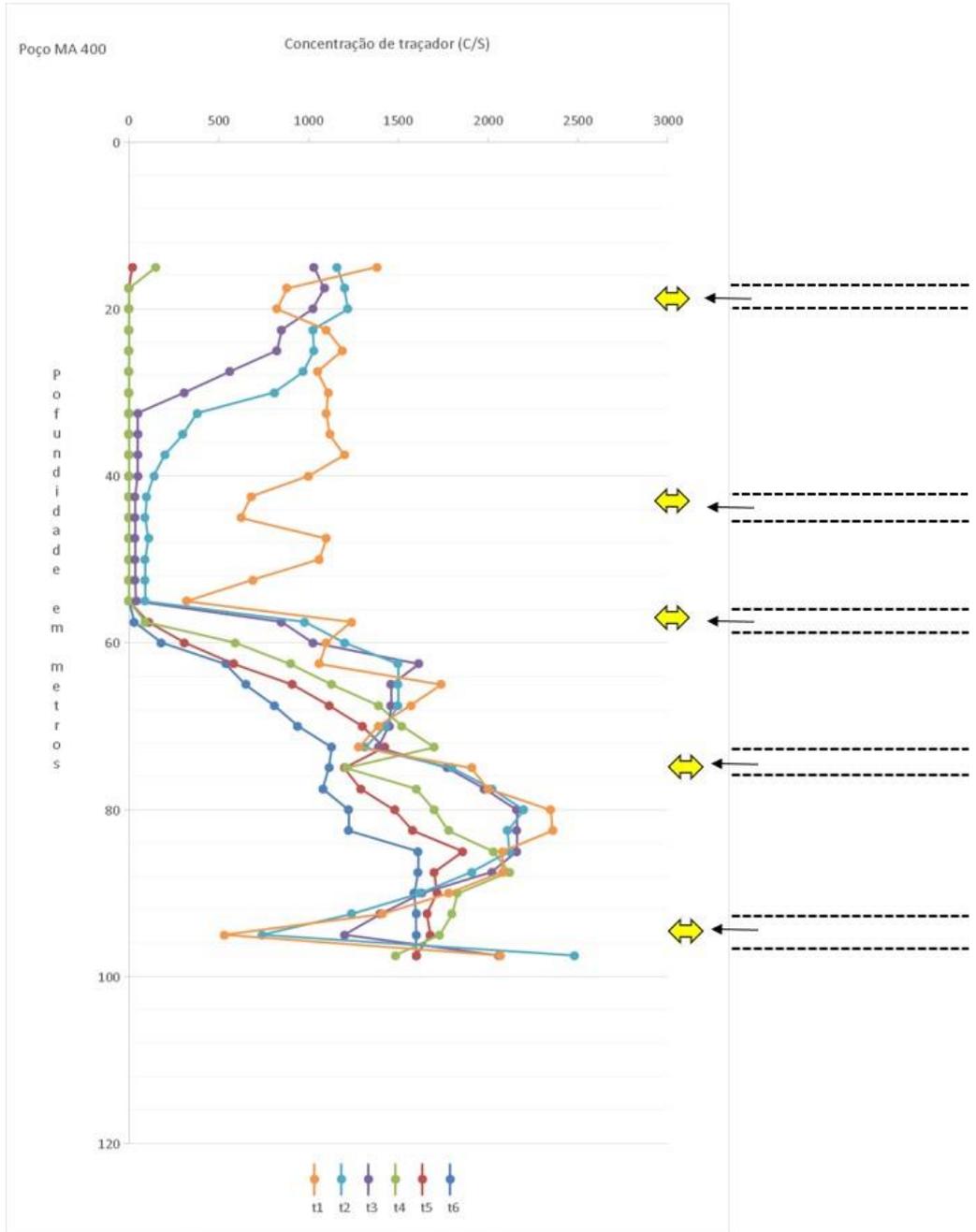
Apêndice 30- Perfilagem do poço MA-198 mediante uso do ⁸²BR como traçador



Após injeção do traçador
t1: primeira medida
t2: segunda medida
t3: terceira medida
t4: quarta medida

----- trecho cárstico – permeável
 Entrada/saída d'água – poço aberto
 Fluxo vertical descendente

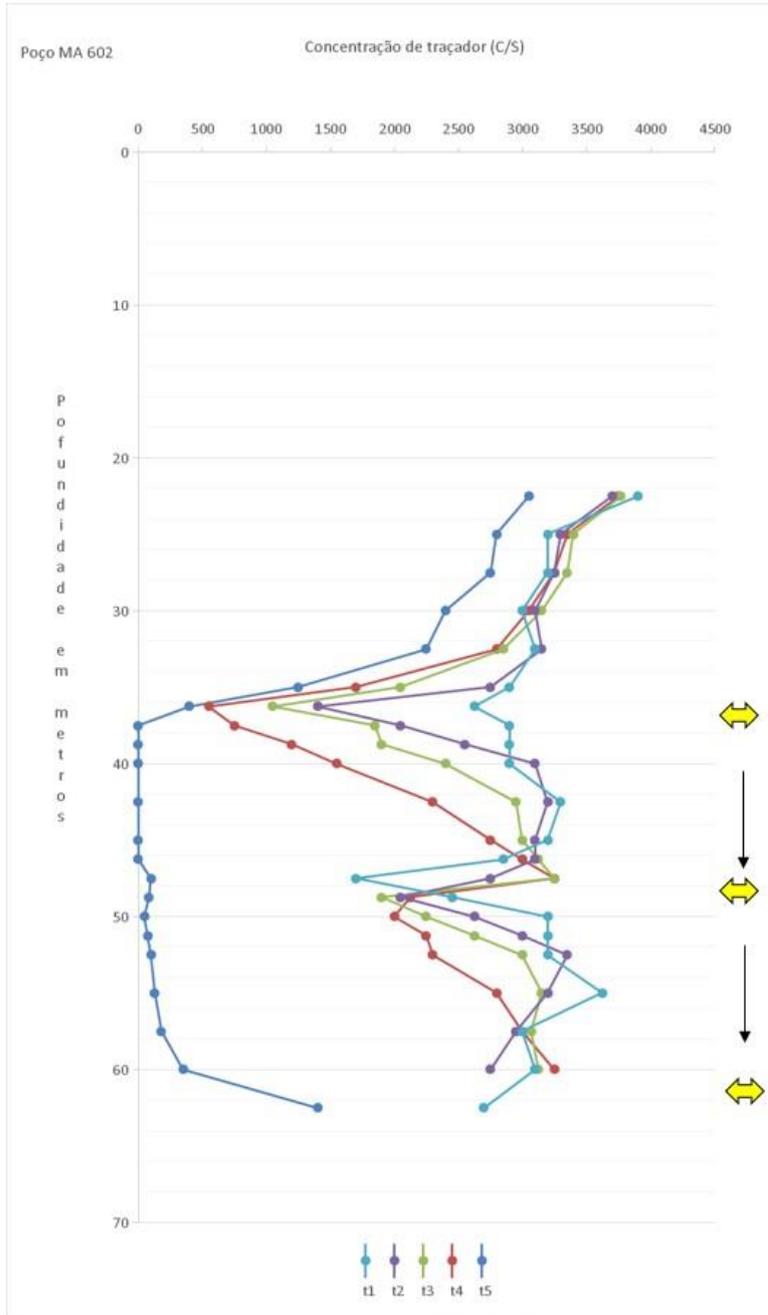
Apêndice 31- Perfilagem do poço MA-400 mediante uso do ^{82}BR como traçador



Após injeção do traçador
 t1: primeira medida
 t2: segunda medida
 t3: terceira medida
 t4: quarta medida
 t5: quinta medida
 t6: sexta medida

--- trecho cárstico – permeável
 Entrada/saída d'água – poço aberto
 Fluxo horizontal

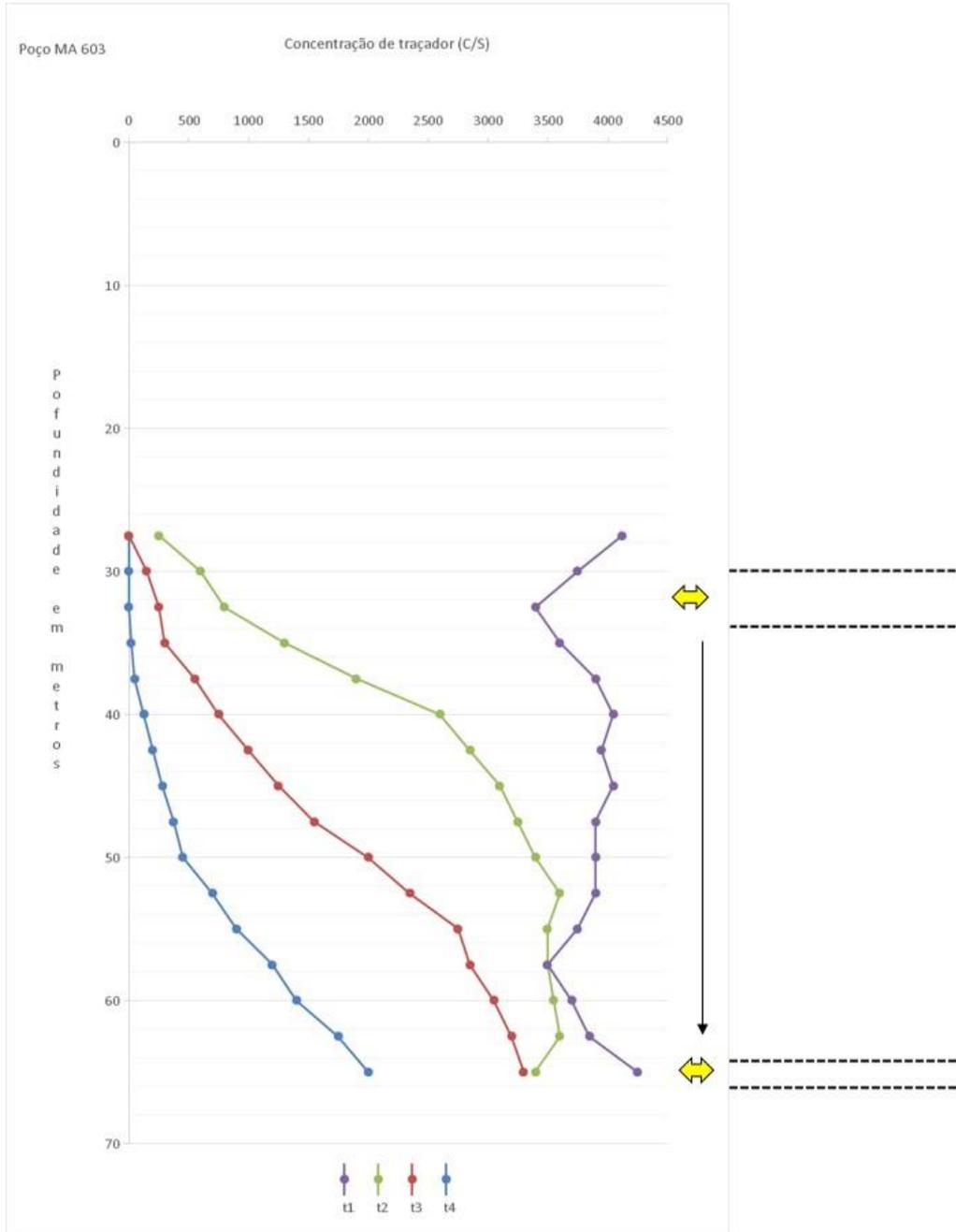
Apêndice 32- Perfilagem do poço MA-602 mediante uso do ⁸²BR como traçador



Após injeção do traçador
 t1: primeira medida
 t2: segunda medida
 t3: terceira medida
 t4: quarta medida
 t5: quinta medição

----- trecho cárstico – permeável
 Entrada/saída d'água – poço aberto
 Fluxo vertical descendente

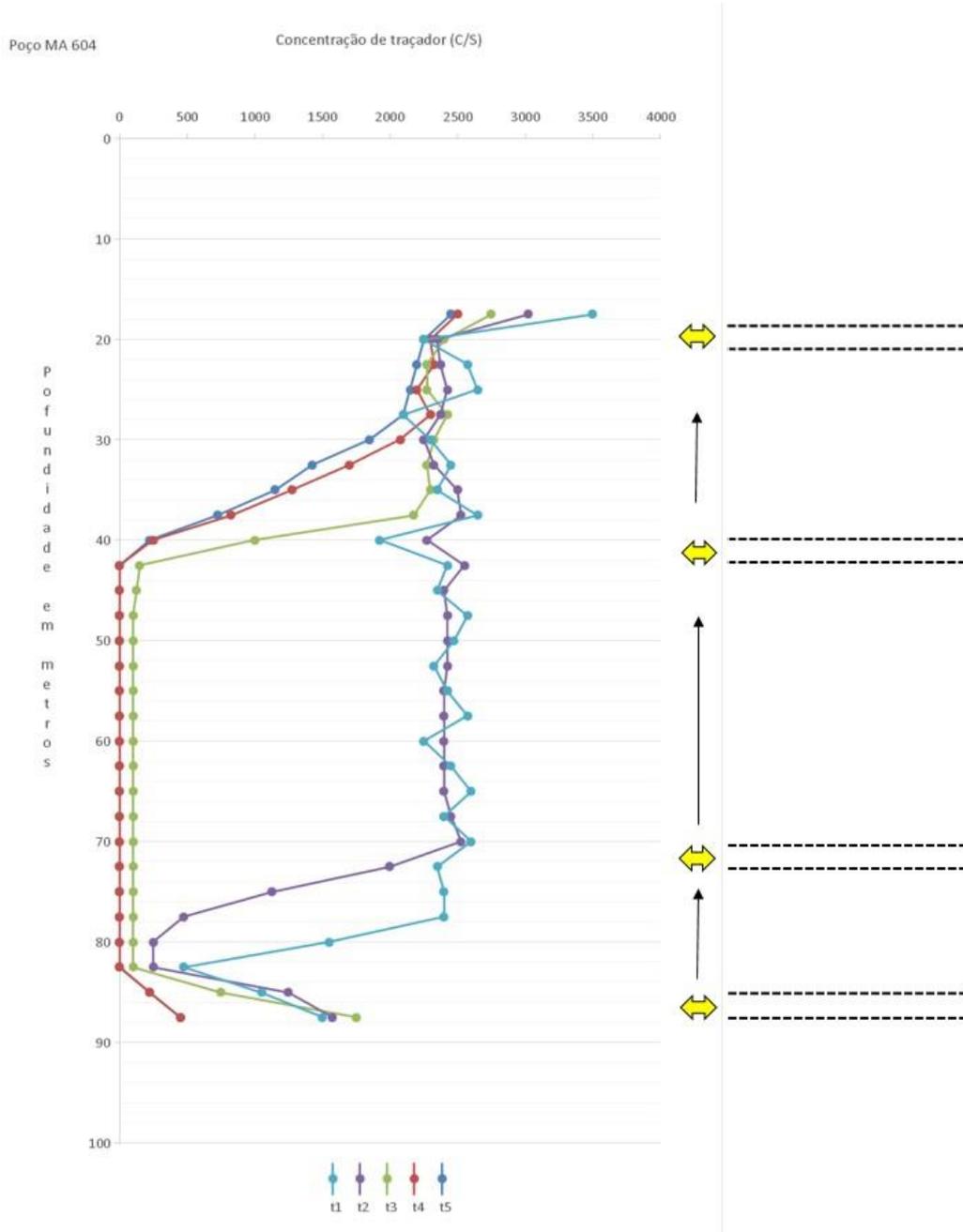
Apêndice 33- Perfilagem do poço MA-603 mediante uso do ^{82}BR como traçador



Após injeção do traçador
t1: primeira medida
t2: segunda medida
t3: terceira medida
t4: quarta medida

trecho cárstico – permeável
 Entrada/saída d'água – poço aberto
 Fluxo vertical descendente

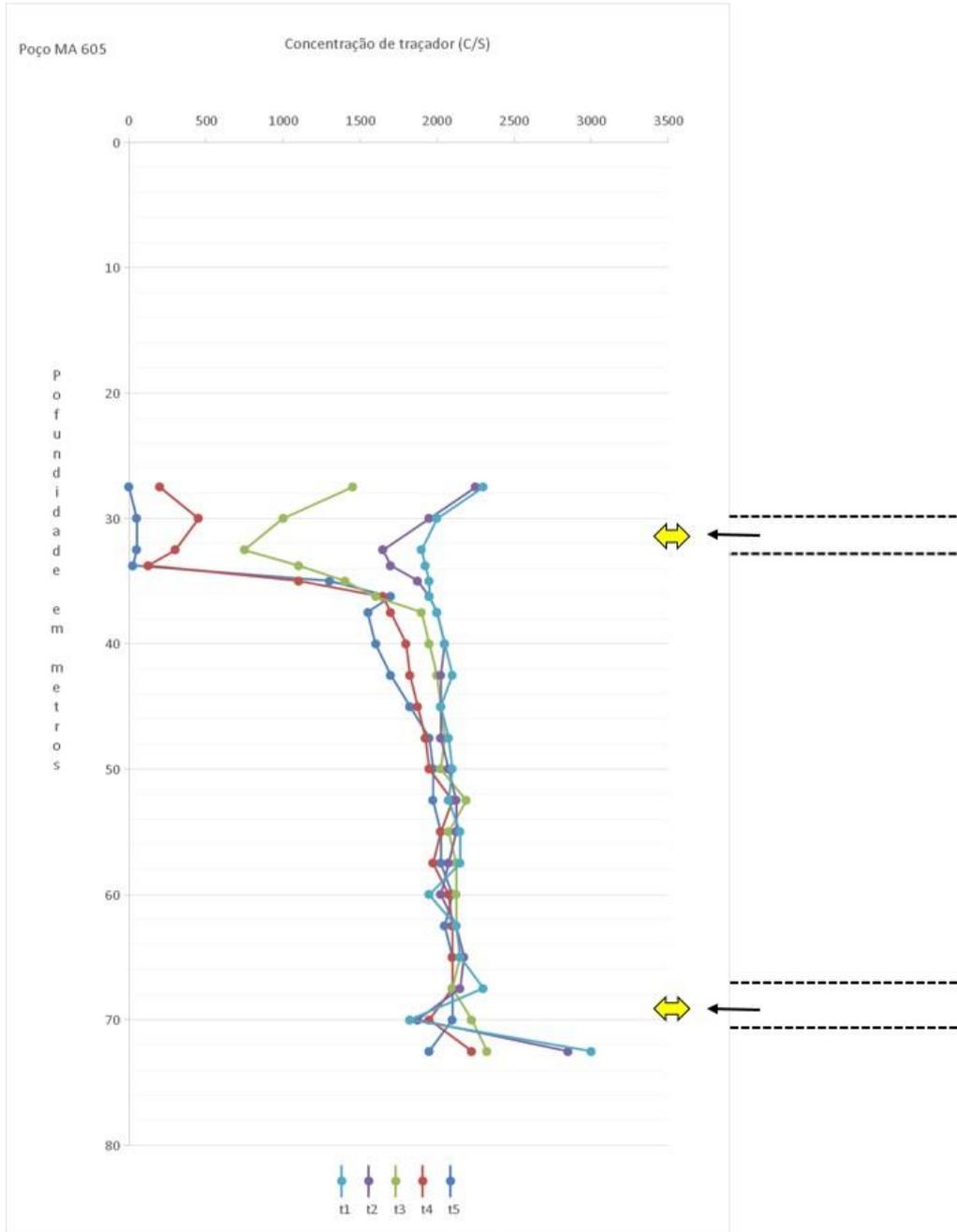
Apêndice 34- Perfilagem do poço MA-604 mediante uso do ⁸²BR como traçador



Após injeção do traçador
 t1: primeira medida
 t2: segunda medida
 t3: terceira medida
 t4: quarta medida
 t5: quinta medida

--- trecho cárstico – permeável
 Entrada/saída d'água – poço aberto
 Fluxo vertical ascendente

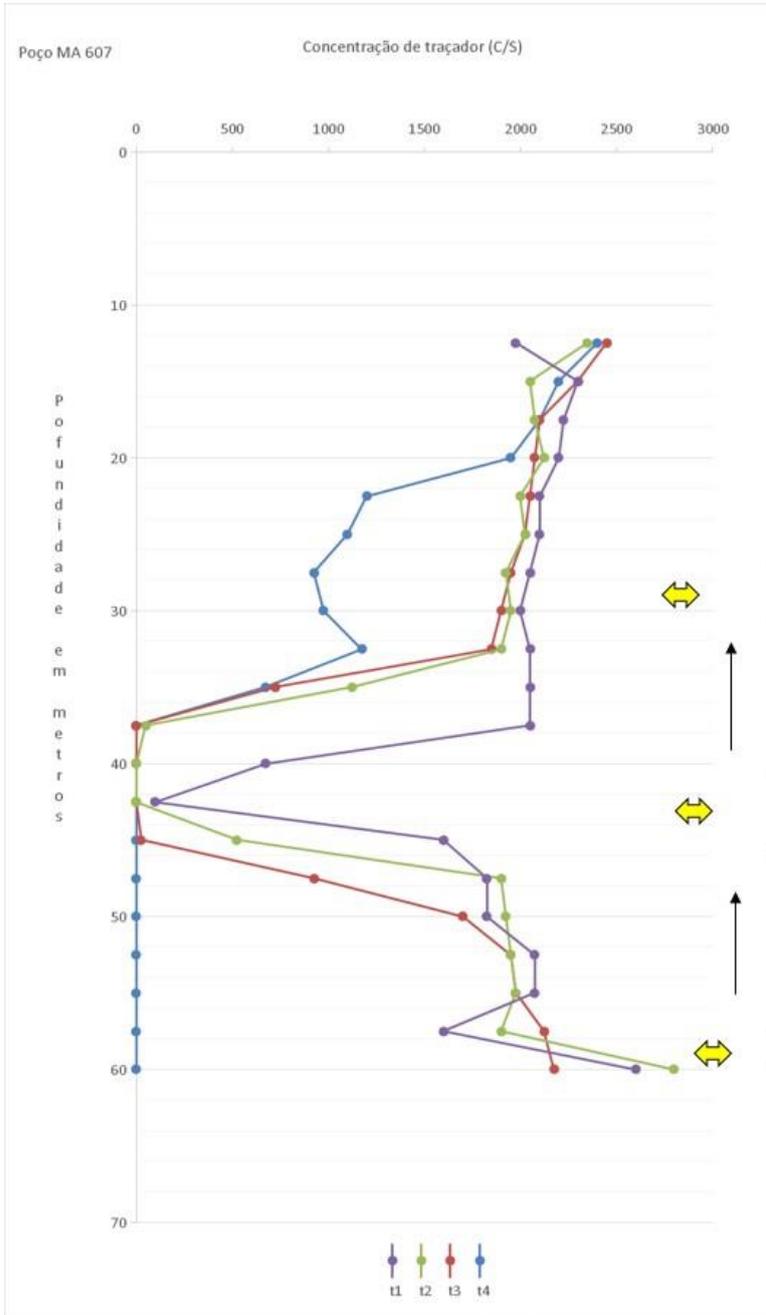
Apêndice 35- Perfilagem do poço MA-605 mediante uso do ^{82}BR como traçador



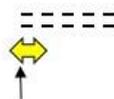
Após injeção do traçador
t1: primeira medida
t2: segunda medida
t3: terceira medida
t4: quarta medida
t5: quinta medida

--- trecho cárstico – permeável
 Entrada/saída d'água – poço aberto
 Fluxo horizontal

Apêndice 36- Perfilagem do poço MA-607 mediante uso do ⁸²BR como traçador



Após injeção do traçador
t1: primeira medida
t2: segunda medida
t3: terceira medida
t4: quarta medida

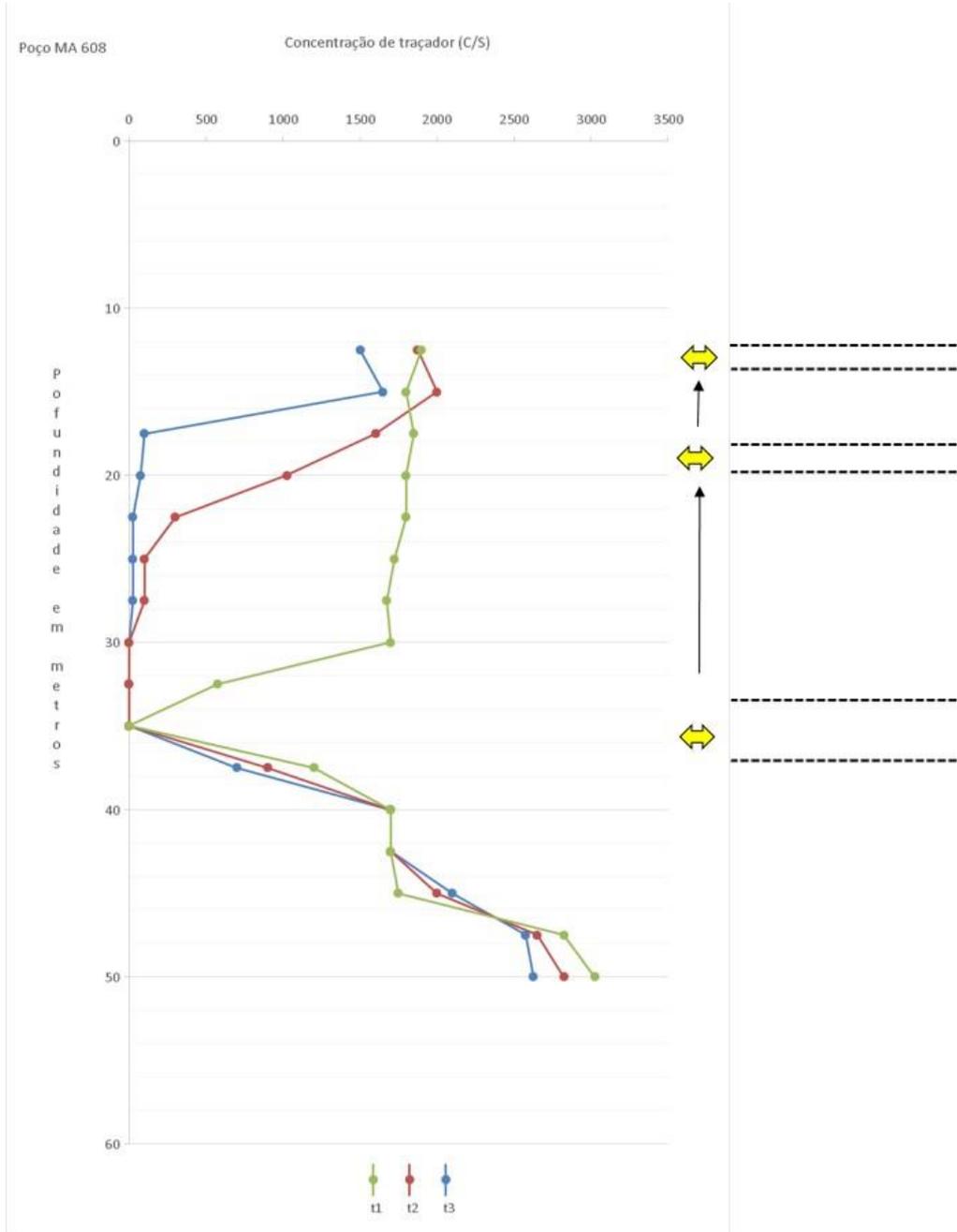


--- trecho cárstico – permeável

Entrada/saída d'água – poço aberto

Fluxo vertical ascendente

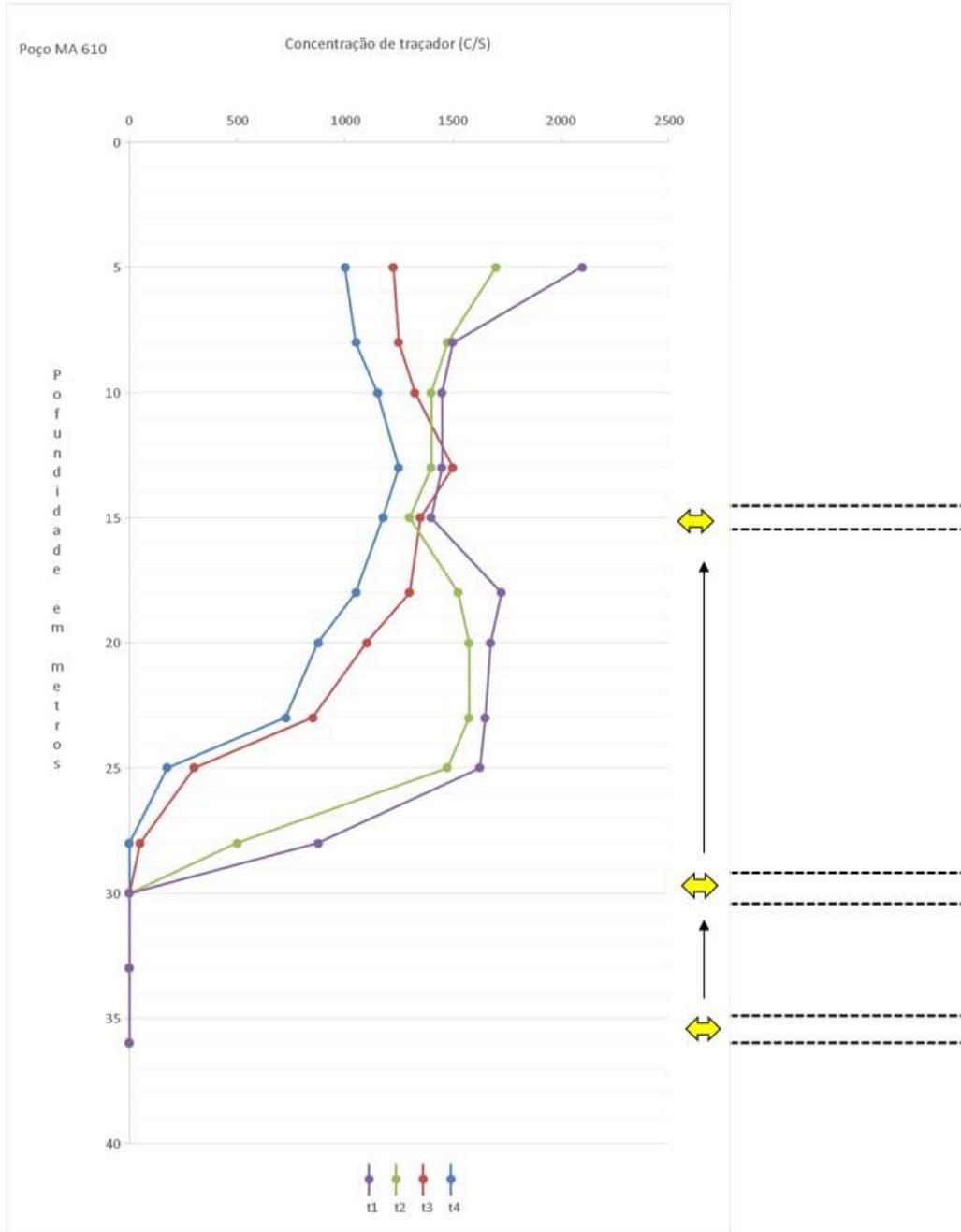
Apêndice 37- Perfilagem do poço MA-608 mediante uso do ^{82}BR como traçador



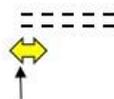
Após injeção do traçador
t1: primeira medida
t2: segunda medida
t3: terceira medida

----- trecho cárstico – permeável
 Entrada/saída d'água – poço aberto
 Fluxo vertical ascendente

Apêndice 38- Perfilagem do poço MA-610 mediante uso do ⁸²BR como traçador



Após injeção do traçador
t1: primeira medida
t2: segunda medida
t3: terceira medida
t4: quarta medida

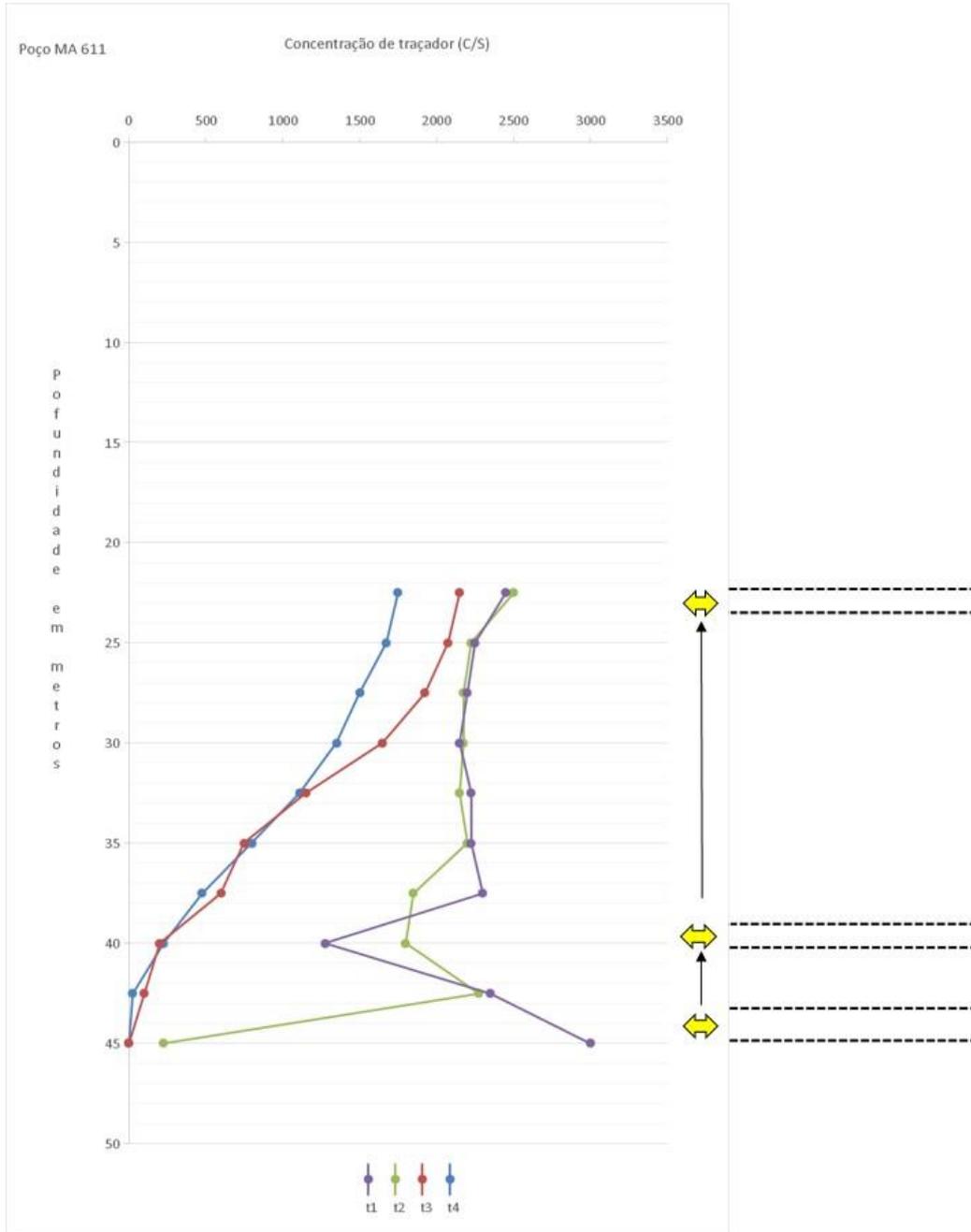


--- trecho cárstico – permeável

Entrada/saída d'água – poço aberto

Fluxo vertical ascendente

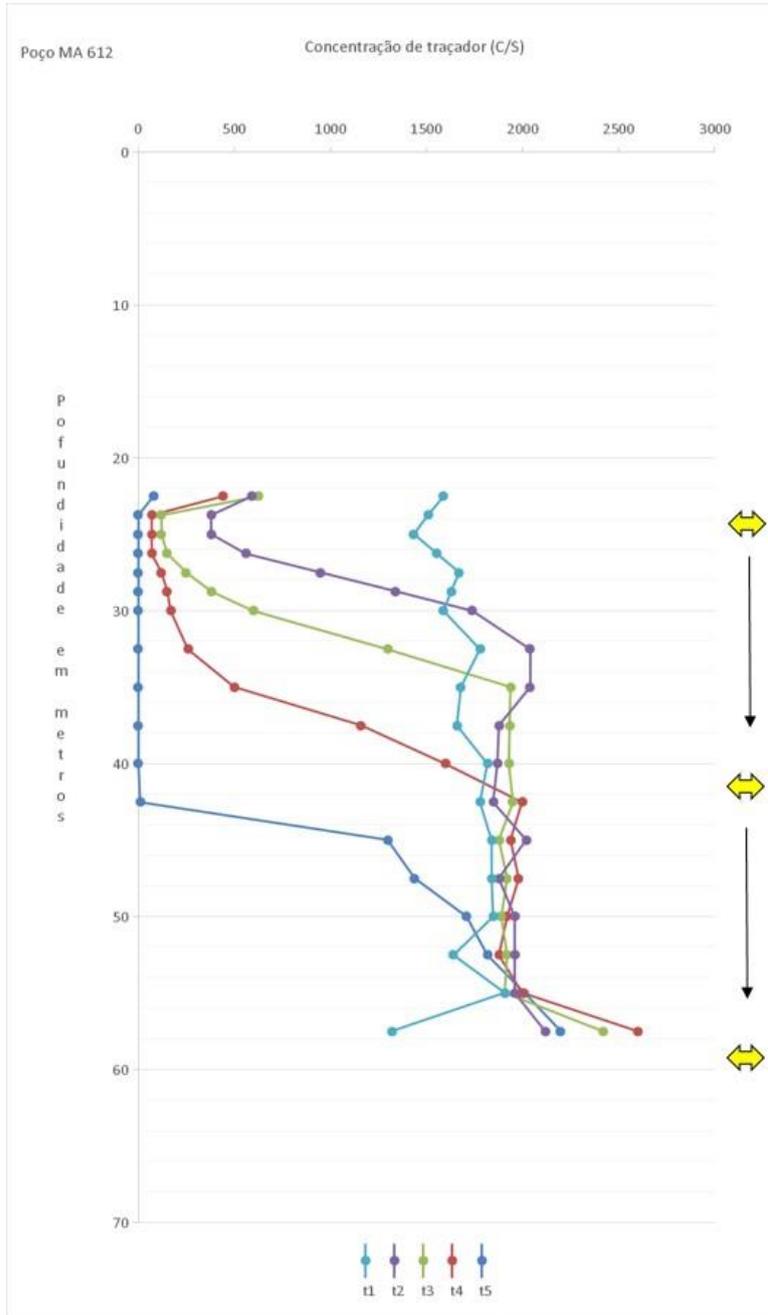
Apêndice 39- Perfilagem do poço MA-611 mediante uso do ^{82}BR como traçador



Após injeção do traçador
t1: primeira medida
t2: segunda medida
t3: terceira medida
t4: quarta medida

--- trecho cárstico – permeável
 Entrada/saída d'água – poço aberto
 Fluxo vertical ascendente

Apêndice 40- Perfilagem do poço MA-612 mediante uso do ⁸²BR como traçador



Após injeção do traçador

t1: primeira medida

t2: segunda medida

t3: terceira medida

t4: quarta medida

t5: quinta medida

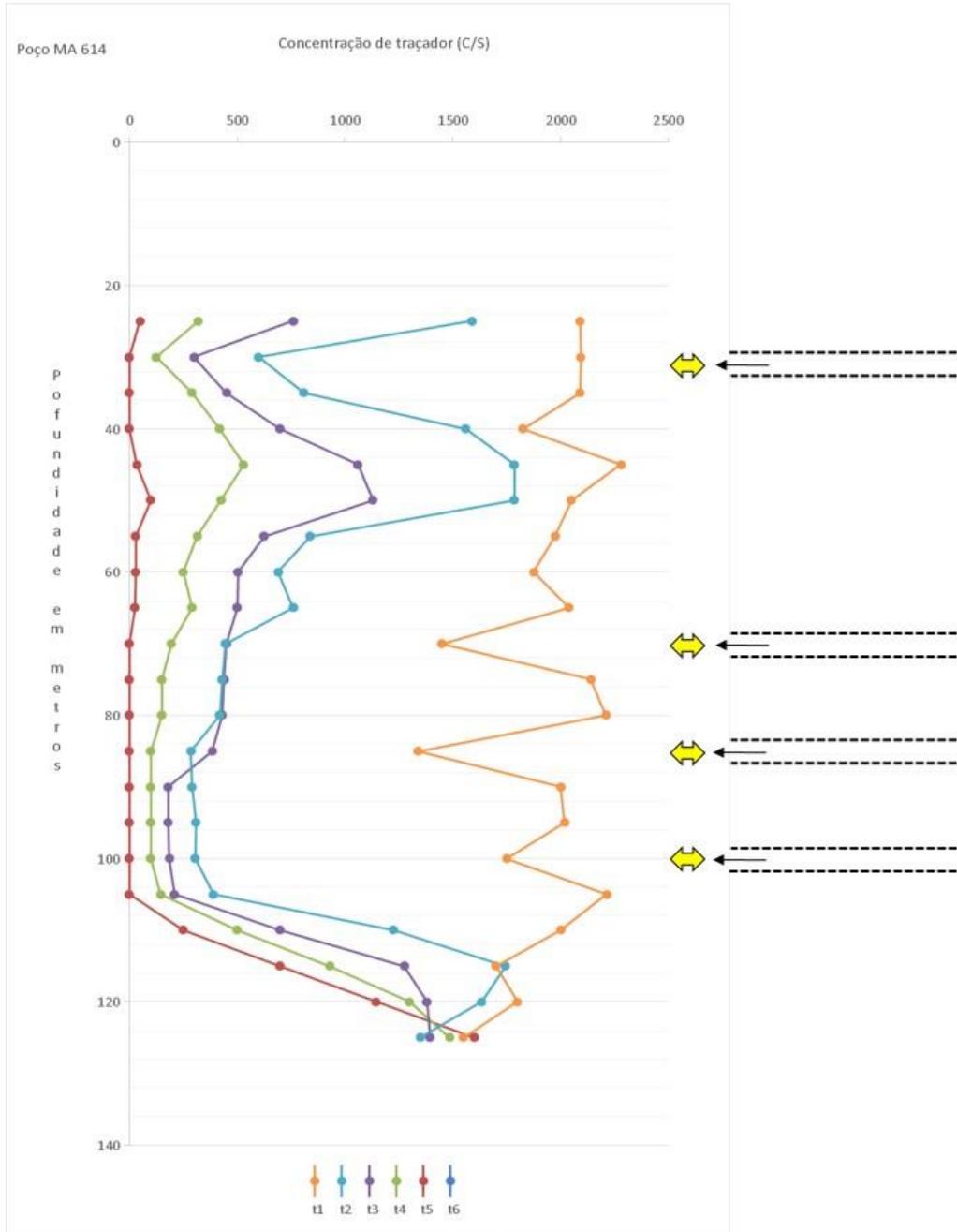


--- trecho cárstico – permeável

↕ Entrada/saída d'água – poço aberto

↓ Fluxo vertical descendente

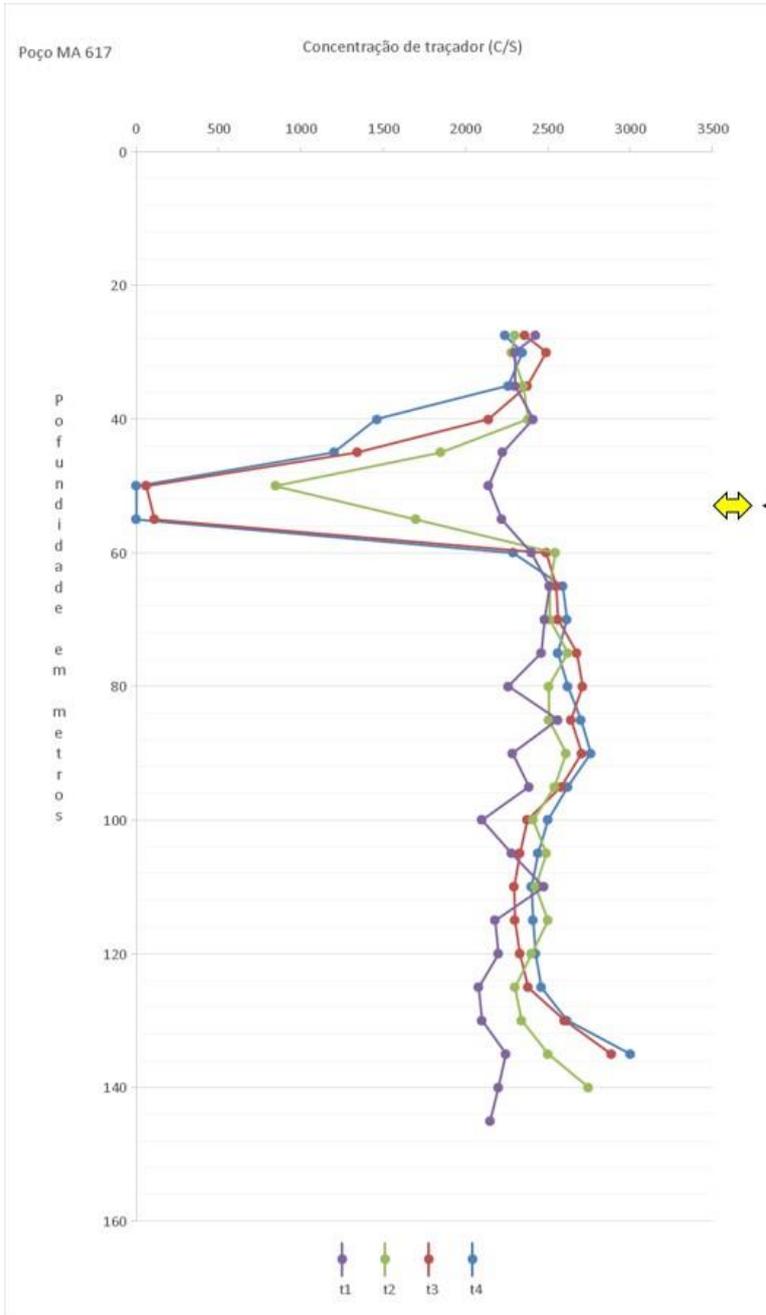
Apêndice 41- Perfilagem do poço MA-614 mediante uso do ^{82}BR como traçador



Após injeção do traçador
t1: primeira medida
t2: segunda medida
t3: terceira medida
t4: quarta medida
t5: quinta medida
t6: sexta medida

trecho cárstico – permeável
⇔ Entrada/saída d'água – poço aberto
 Fluxo horizontal

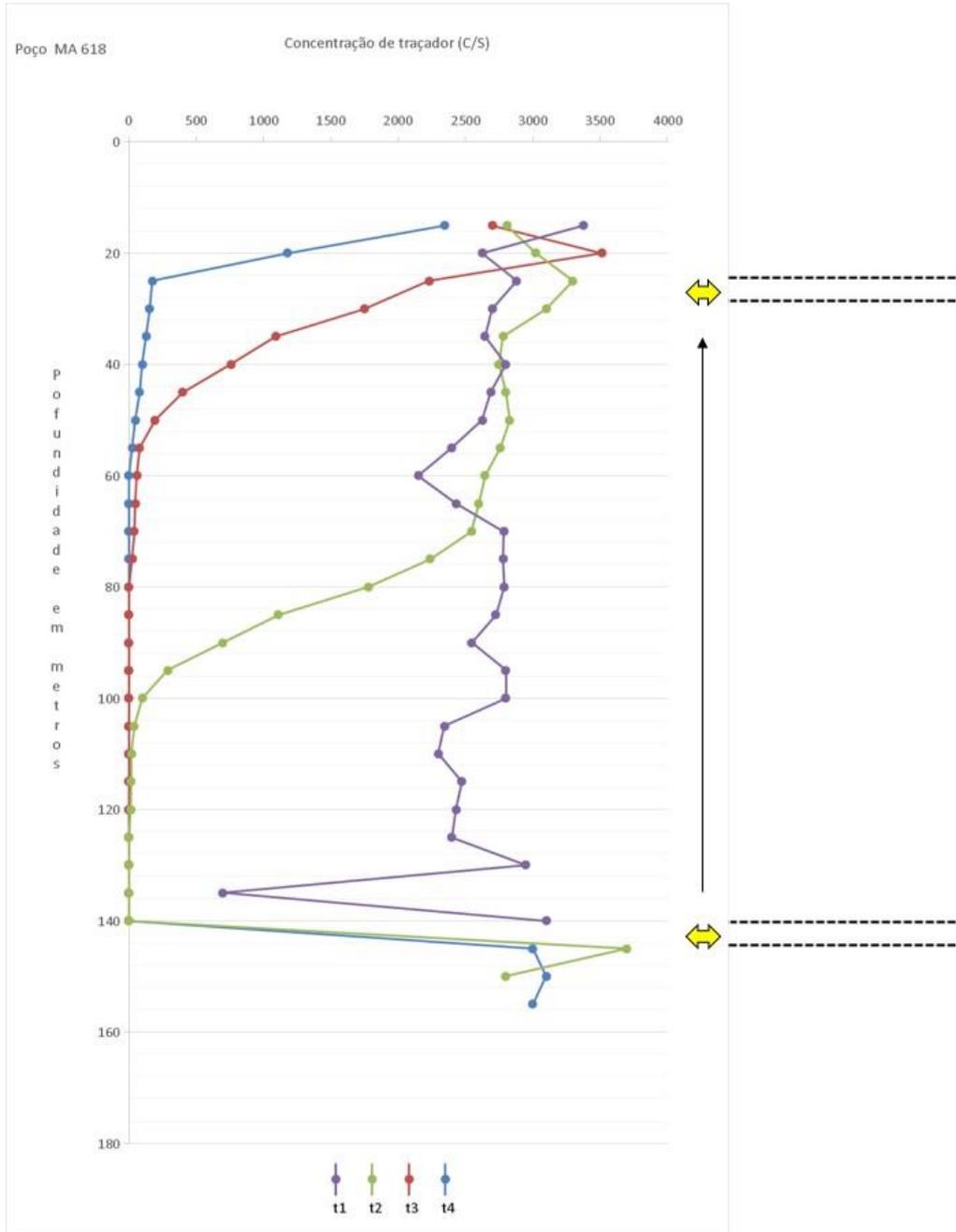
Apêndice 42- Perfilagem do poço MA-617 mediante uso do ^{82}BR como traçador



Após injeção do traçador
t1: primeira medida
t2: segunda medida
t3: terceira medida
t4: quarta medida

----- trecho cárstico – permeável
 Entrada/saída d'água – poço aberto
 Fluxo horizontal

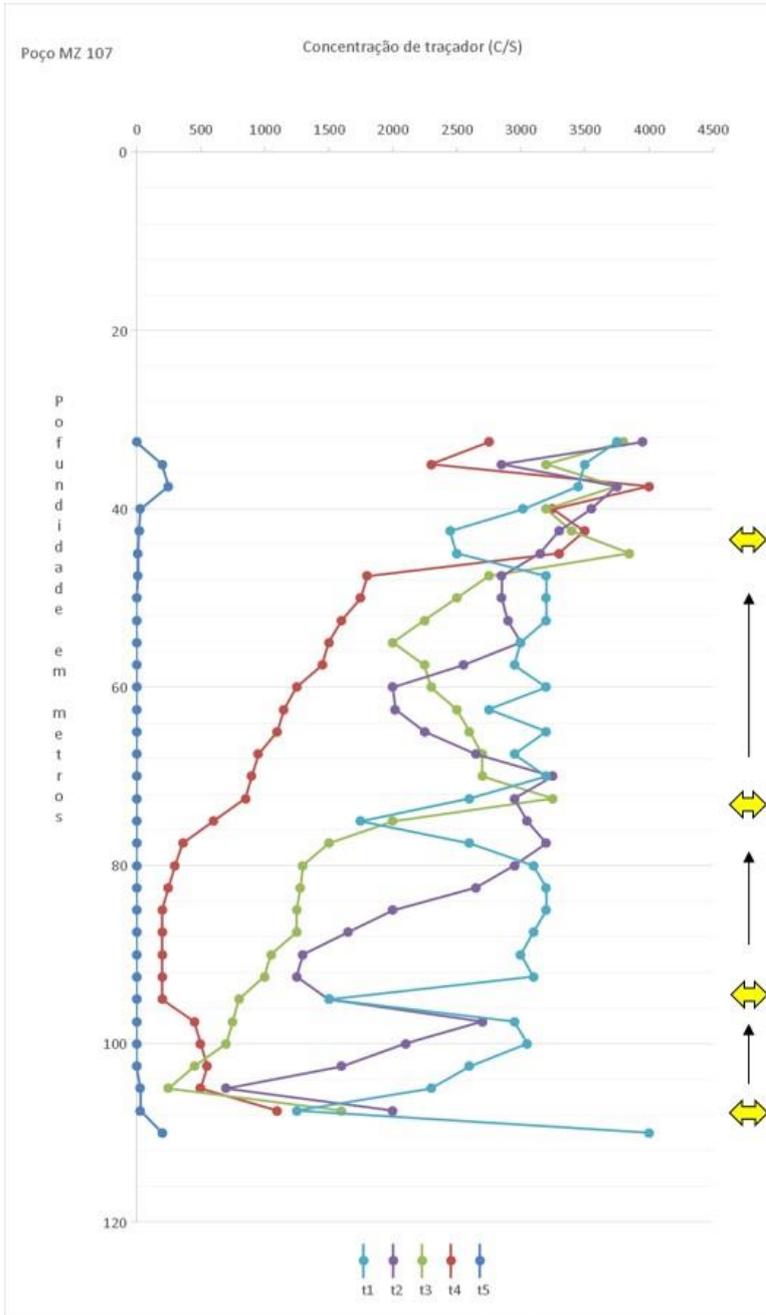
Apêndice 43- Perfilagem do poço MA-618 mediante uso do ^{82}BR como traçador



Após injeção do traçador
 t1: primeira medida
 t2: segunda medida
 t3: terceira medida
 t4: quarta medida

trecho cárstico – permeável
↔ Entrada/saída d'água – poço aberto
↑ Fluxo vertical ascendente

Apêndice 44- Perfilagem do poço MZ-107 mediante uso do ⁸²BR como traçador

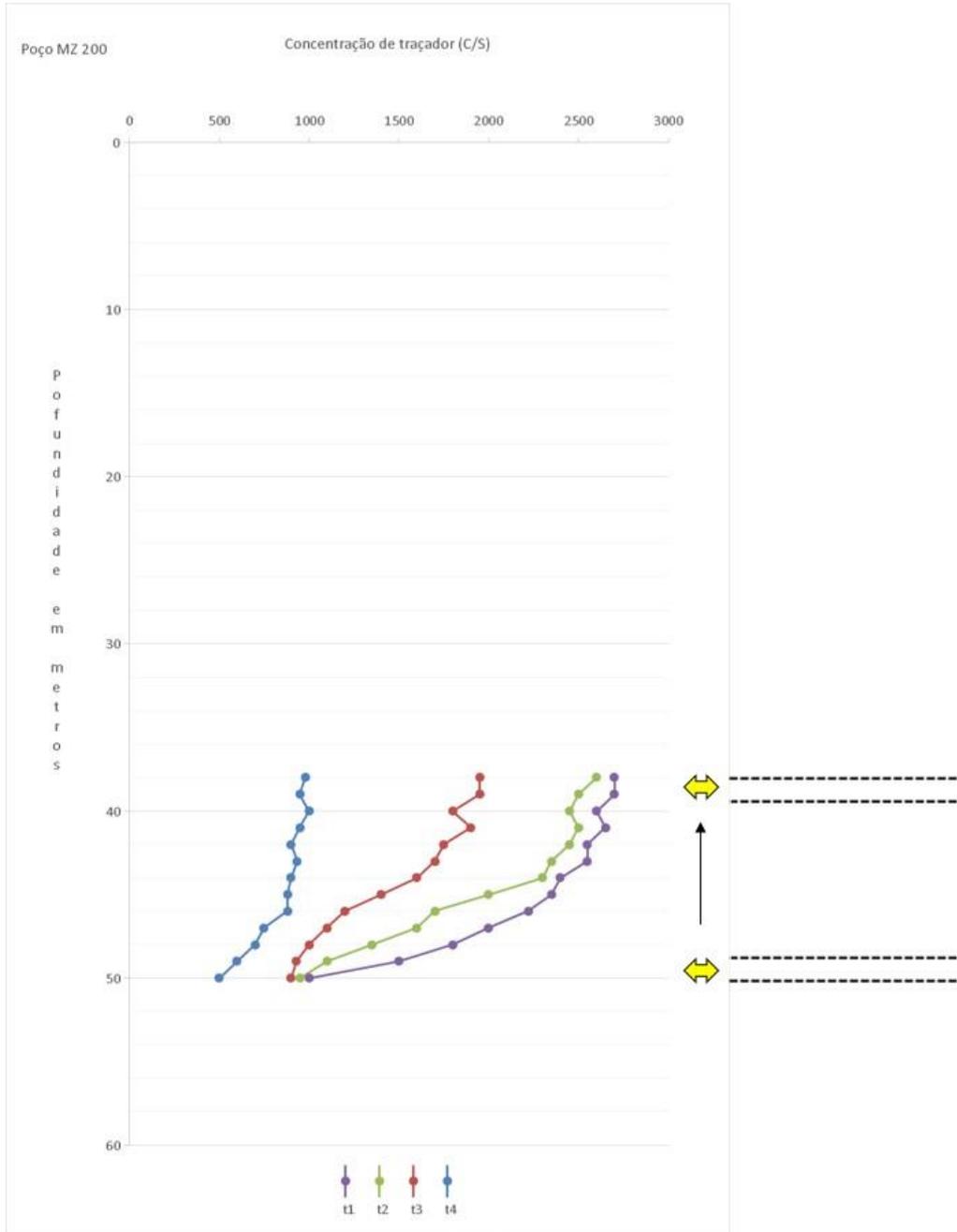


Após injeção do traçador
 t1: primeira medida
 t2: segunda medida
 t3: terceira medida
 t4: quarta medida
 t5: quinta medida

--- --- --- --- ---
 Entrada/saída d'água – poço aberto

 Fluxo vertical ascendente

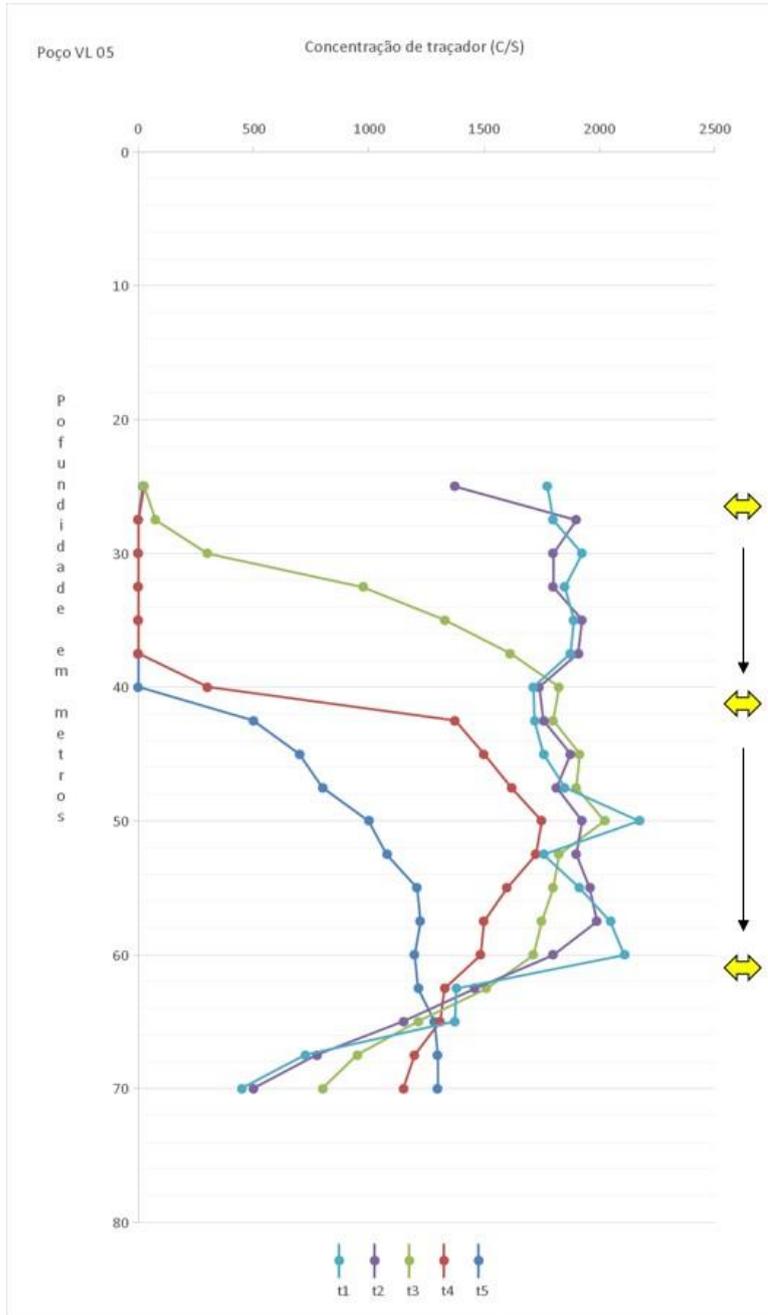
Apêndice 45- Perfilagem do poço MZ-200 mediante uso do ^{82}BR como traçador



Após injeção do traçador
 t1: primeira medida
 t2: segunda medida
 t3: terceira medida
 t4: quarta medida

--- trecho cárstico – permeável
 Entrada/saída d'água – poço aberto
 Fluxo vertical ascendente

Apêndice 46- Perfilagem do poço VL-05 mediante uso do ⁸²BR como traçador



Após injeção do traçador
t1: primeira medida
t2: segunda medida
t3: terceira medida
t4: quarta medida
t5: quinta medida

--- trecho cárstico – permeável
 Entrada/saída d'água – poço aberto
 Fluxo vertical descendente