



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL



Débora Almeida de Oliveira

Estudo Hidrogeológico do Aquífero no Bairro Amaro Lanari, em
Ipatinga/MG

TRABALHO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

OURO PRETO, 2018

Débora Almeida de Oliveira

**Estudo Hidrogeológico do Aquífero no Bairro Amaro Lanari, em
Ipatinga/MG**

TRABALHO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção de Grau em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique Ferreira Galvão.

OURO PRETO, FEVEREIRO DE 2018

O482e Oliveira, Débora Almeida.
Estudo Hidrogeológico do Aquífero do Bairro Amaro Lanari, em Ipatinga/MG
[manuscrito] / Débora Almeida Oliveira. - 2018.

67f.: il.: color; grafs; tabs; mapas.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique Ferreira Galvão.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Ambiental.

1. Hidrogeologia. 2. Aquíferos. 3. Ipatinga (MG). I. Galvão, Paulo Henrique Ferreira. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 556

Catálogo: ficha@sisbin.ufop.br

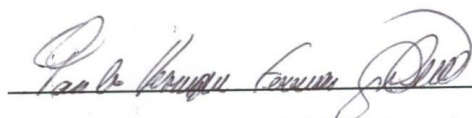
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
Universidade Federal de Ouro Preto – Escola de Minas
Colegiado do Curso de Engenharia Ambiental - CEAMB
Campus Universitário Morro do Cruzeiro-S/N - CEP:35400-000 Ouro Preto – MG
Brasil - Tel.: (31) 3559.1542 – e-mail: ceamb@em.ufop.br

Folha de Aprovação

Débora Almeida de Oliveira

ESTUDO HIDROGEOLÓGICO DO AQUIFERO NO BAIRRO AMARO LANARI, EM
IPATINGA/MG

Trabalho Conclusão de Curso defendido e aprovado em 23/02/2018 pela comissão
avaliadora constituída pelos professores:



Paulo Henrique Ferreira Galvão (orientador) – DEGEO/UFOP



Aníbal da Fonseca Santiago – DECIV/UFOP



Cesar Falcão Barella – DEAMB/UFOP

AGRADECIMENTOS

Ao finalizar mais esse ciclo, vejo o quanto é fundamental as pessoas que estiveram junto a mim para que pudesse estar aqui hoje. A vocês, os meus mais sinceros agradecimentos.

Ao meu orientador, o Professor Paulo Henrique Ferreira Galvão, pelos ensinamentos e paciência.

À COPASA, por fornecer os dados necessários para que esse estudo possa ser realizado.

A todos os mestres que encontrei ao longo da minha vida acadêmica na Universidade Federal de Ouro Preto, que contribuíram, de alguma forma, tanto para meu crescimento profissional, quanto para o pessoal.

À República Tchu Tchu Tchu, porque mesmo depois de ter voltado pra casa, aqui eu vejo que ainda posso encontrar um lar.

À Família Almeida, por ser base, carinho, suporte, alegria e paciência.

Ao meu Pai, Hudson Oliveira Costa, porque mesmo sem entender, está ali sempre para ajudar.

Em especial à minha Mãe, Maria do Sacramento Almeida, por sempre acreditar em mim, incentivar e me apoiar em qualquer decisão que tenha tomado. E ao meu irmão, Renan Almeida de Oliveira, para que essa conquista, seja de alguma forma, uma inspiração.

Muito obrigada!

RESUMO

O desenvolvimento industrial próximo às das cidades pode acarretar em significativo crescimento populacional e o conseqüente aumento na demanda por recursos hídricos. A cidade de Ipatinga (MG), pensando no problema referente ao abastecimento de água para consumo humano, tem como principal opção o manancial subterrâneo, gerenciada pela COPASA. Entretanto, há poucos estudos sobre a hidrogeologia da região, principalmente nas áreas onde os poços de abastecimento estão locados. Assim, o objetivo do trabalho de conclusão de curso foi contribuir no desenvolver de um estudo hidrogeológico, no caso, nas proximidades da Estação de Tratamento de Água da COPASA, no Bairro Amaro Lanari, onde se localizam os principais poços de abastecimento na cidade. A metodologia utilizada foi dividida em duas etapas de estudos: 1) coleta e reorganização de dados existentes e interpretação dos dados; e 2) elaboração de hipóteses sobre funcionamento do aquífero. Os resultados indicam que, na área de estudo, o aquífero é do tipo livre, composto de material inconsolidado e apresentando altos valores de transmissividade e condutividade hidráulica, o que acarreta em altas vazões de água na região. Com relação à qualidade da água, no geral, o aquífero encontra-se em boas condições, necessitando que a água subterrânea passe apenas por tratamento convencional antes de ser distribuída para a população.

Palavras chaves: Hidrogeologia, Ipatinga, aquífero, ensaios de bombeamento, análises químicas, COPASA.

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO.....	7
2 – OBJETIVO GERAL.....	8
2.1 – OBJETIVOS ESPECIFICOS	8
3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
3.1 – CONCEITOS ESTUDADOS	9
3.1.1 – AQUÍFEROS.....	9
3.1.2 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS AQUÍFEROS	10
3.1.3 – TESTE DE AQUÍFERO.....	15
3.1.4 – SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA	15
3.1.5 – SEÇÕES HIDROGEOLÓGICAS	16
3.1.6 – MAPA DE ISÓBATAS E ISÓPACAS	16
3.1.7 – ANÁLISES QUÍMICAS	17
3.2 – ESTUDOS DE CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA	18
3.2.1 – ESTUDOS REALIZADOS NO BRASIL	18
3.2.2 – ESTUDOS REALIZADOS EM MINAS GERAIS.....	21
4 – ÁREA DE ESTUDO	22
4.1 – LOCALIZAÇÃO.....	22
4.2 – CLIMA	24
4.3 – GEOLOGIA	25
4.4 – GEOMORFOLOGIA	26
4.5 – HIDROGRAFIA.....	27
4.5.1 – ÁGUAS SUPERFICIAIS	27
4.5.2 – ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	29
5 - MATERIAIS E MÉTODOS	30
5.1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E LEVANTAMENTO DE DADOS EXISTENTES.....	30
5.2 – ORGANIZAÇÃO DO BANCO DE DADOS	30
5.3 – PERFIS LITOCONSTRUTIVOS	31
5.4 – SEÇÕES HIDROGEOLÓGICAS	31
5.5 – MAPA DE SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA	32
5.6 – MAPAS DE ISÓBATAS E ISÓPACAS.....	32
5.7 – ANÁLISES QUÍMICAS E BACTERIOLÓGICAS	33
6 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34

6.1 – OS POÇOS DA REGIÃO	34
6.2 – GEOMETRIA DO AQUÍFERO.....	34
6.3 – SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA	39
6.4 – TESTE DE AQUÍFERO.....	41
6.5 – ANÁLISES QUÍMICAS	43
7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
ANEXOS	55

1 – INTRODUÇÃO

O município de Ipatinga tem, como principal atividade ao redor da cidade, a indústria metalúrgica, o que acarretou um enorme desenvolvimento desde o seu período de construção e até hoje vem enfrentando grandes dificuldades devido ao seu crescimento populacional. Tal crescimento representa um maior consumo de água, que por sua vez, é realizado através de seu aquífero que ocupa grande parte da cidade.

A captação para o abastecimento da cidade é feita por meio de 30 poços localizados à margem do Rio Piracicaba, no bairro Amaro Lanari, sendo que 28 destes estão em operação e dois poços encontram-se desativados. Esses poços trabalham com uma vazão média de captação dos mananciais subterrâneos de 1000 L/s (ou 3600 m³/h) e são operados e gerenciados pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA. Esses 28 poços são responsáveis pelo abastecimento de cerca de 20 bairros em Ipatinga, dois bairros localizados no distrito de Santana do Paraíso, o distrito de Barra Alegre e parte da zona rural de Ipatinga, totalizando aproximadamente 300 mil pessoas beneficiadas.

O estudo hidrogeológico ainda é muito escasso para essa região, mas sabe-se que o domínio hidrogeológico é constituído de 86,1% por aquíferos fissurados e 13,9% por aquíferos granulares, tornando-se importante a realização de um estudo mais aprofundado para uma maior compreensão sobre as águas subterrâneas e uma análise mais profunda para compreender melhor o comportamento do aquífero, por meio da análise dos seus parâmetros geométricos, hidráulicos e de qualidade da água da região.

Compreender sobre as propriedades das rochas, os tipos de aquíferos, superfície freática, as propriedades hidrodinâmicas permitem entender se os poços estão localizados na melhor região para captação de água, se pode haver indícios de contaminação antrópica, ou se a qualidade da água está adequada para o consumo.

Este trabalho de conclusão de curso teve o apoio da COPASA, por meio da disponibilização de dados, como: perfis litográficos, testes de bombeamento, dados de níveis dinâmicos e análises químicas, físico-químicas e bacteriológicas. Não houve realização do trabalho de campo. Entretanto, os dados fornecidos foram suficientes para que tornasse possível a realização do estudo para caracterização e definição das águas subterrâneas na região da Estação de Tratamento de Água (ETA) da COPASA.

2 – OBJETIVO GERAL

O estudo teve como objetivo geral realizar estudos hidrogeológicos do aquífero cenozoico do bairro Amaro Lanari na região de Ipatinga, sob o ponto de vista de sua geometria, parâmetros hidrodinâmicos e qualidade da água.

2.1 – OBJETIVOS ESPECIFICOS

Os objetivos específicos foram: 1) compreender a geometria do aquífero, definindo sua espessura média via seção hidrogeológica e mapas de isóbatas e isópacas; 2) compreender o fluxo geral subterrâneo do aquífero, a partir da construção de um mapa de superfície potenciométrica; 3) estimar parâmetros hidrodinâmicos do aquífero (condutividade hidráulica e transmissividade); e 4) via análises químicas e bacteriológicas, verificar a qualidade da água para consumo.

3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, será introduzido os conceitos básicos para a realização desse estudo, como os conceitos de aquíferos, características hidráulicas como porosidade, lei de Darcy, condutividade hidráulica, transmissividade, coeficiente de armazenamento, por meio dos testes de aquífero, tanto pelo método de Theis, quanto de Cooper & Jacob. E características geométricas como as seções hidrogeológicas, mapas de isóbatas e isópacas. E por fim, será visto, também, conceitos ligados às análises químicas.

3.1 – CONCEITOS ESTUDADOS

3.1.1 – AQUÍFEROS

A origem dos aquíferos vem sendo discutida muito antes de se tornar um conceito mundialmente aceito, implantado no ambiente interdisciplinar e de grande importância quando se discute questões relacionadas à gestão dos recursos hídricos. Platão acreditava que a água subterrânea tinha sua origem através do oceano, sendo absorvida por meio dos canais presentes no solo, passando por processos de purificação e ascendendo na superfície. Anos mais tarde, Aristóteles reconheceu que existia uma ligação entre os aspectos de evaporação e condensação da água, e relatou sobre a importância da água da chuva para a formação das águas superficiais e subterrâneas. Mas somente no século I que Vitruvius¹ sugeriu que a formação das águas subterrâneas seria por meio da infiltração da água da chuva (Feitosa et al, 2008).

Somente em 1668, com o estudo realizado por Perrault² na bacia hidrográfica do rio Sena, que foi comprovado que as águas das chuvas poderiam facilmente suprir o abastecimento dos rios e dos aquíferos. O segundo passo da comprovação desse conceito foi dado por Marrioté³, que realizou as mesmas medidas que Perrault em Paris, comprovando assim a teoria da infiltração (Feitosa et al, 2008).

¹ Marcus Vitruvius Pollio, foi considerado importante arquiteto no século I.

² Advogado Francês Pierre Perrault.

³ Físico Francês Edmé Marrioté

Somente em 1933 que o conceito de infiltração foi definido por Horton⁴ e introduzido no ciclo hidrológico. Horton descreveu a capacidade de infiltração potencial como sendo a taxa máxima a qual o solo pode absorver a precipitação em determinadas condições. Assim, pode-se concluir que toda água existente abaixo da superfície da Terra pode ser denominada como água subterrânea. Mas para a hidrogeologia, água subterrânea é apenas aquela que circula na zona saturada do solo. Ou seja, um aquífero é definido como uma formação geológica que armazena e transmite água em quantidade o suficiente para que possa ser explorada e/ou explorada (Feitosa et al, 2008).

Ainda no conceito de aquífero, pode-se definir os diferentes tipos de aquífero, de acordo com a pressão que a água exerce na superfície superior e inferior do aquífero. Ele pode ser definido como aquífero livre, quando sua camada superior é uma superfície freática em que todos os pontos encontram-se sobre pressão atmosférica (Feitosa et al, 2008).

O aquífero confinado é aquele em que sua camada na superfície superior tem pressão maior do que a pressão atmosférica. Ele pode ser classificado como aquífero confinado não-drenante e drenante. No primeiro, suas camadas, tanto superior quanto inferior são impermeáveis. Já no confinado drenante apenas uma de suas camadas, inferiores ou superiores, é semipermeável, possibilitando a entrada e saída de fluxos de água pelo topo ou base do aquífero (Feitosa et al, 2008).

3.1.2 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS AQUÍFEROS

3.1.2.1 – POROSIDADE

Para uma melhor compreensão de como ocorre o movimento das águas subterrâneas, é importante entender o conceito de porosidade. Por meio de experimentos realizados pelo francês Henry Darcy⁵, foi possível demonstrar que existe uma relação entre o gradiente hidráulico e o fluxo de água que escoar em uma camada de areia. A partir desse experimento nasceu o conceito de condutividade hidráulica, o que tornou possível estudar os meios porosos

⁴ Engenheiro Hidráulico Robert E. Horton

⁵ Engenheiro Hidráulico Francês Henry Philibert Gaspard Darcy

de acordo com os princípios da hidrodinâmica e estabelecer leis que tratam o meio poroso como contínuo, dotado de propriedades bem definidas (Feitosa et al, 2008).

A porosidade original das rochas é definida como primária e são mais significativas em rochas sedimentares, originando aquíferos porosos. Já aquíferos que apresentam características de porosidade ligadas às fissuras, originam aquíferos fissurais. Enquanto as formações que apresentam características ligadas às cavidades, originam aquíferos cársticos. Tanto as características fissurais, quanto as de cavidades são denominadas como aquíferos de porosidades secundária e terciária, respectivamente (Ford e Williams, 2007). A partir disso, a porosidade de uma rocha ou solo pode ser definida de acordo com sua porosidade total (η), o volume de vazios (V_v) e volume total (V) (Equação 1):

$$\eta = \frac{V_v}{V} \quad (1)$$

Como o tamanho dos grãos do solo é variado, a porosidade depende diretamente do tamanho desses grãos. Assim, se os grãos do solo são de tamanho uniforme, sua porosidade é elevada, pois o espaço de vazios existente entre as partículas são maiores. Quando os grãos tem seu tamanho heterogêneo, este possui baixa porosidade, pois grãos se encaixam diminuindo a quantidade de vazios existente no solo (Feitosa et al, 2008).

Dentro do contexto hidrogeológico é importante, também, o entendimento do conceito de porosidade efetiva, pois, quando retira-se água do aquífero, parte do líquido é retido pela tensão superficial e outra parte pelas forças moleculares. Assim, esse parâmetro pode ser definido como a quantidade de água fornecida por unidade de volume do material, podendo ser estimado pela fórmula (Equação 2) (Feitosa et al, 2008):

$$\eta_e = \frac{V_D}{V} \quad (2)$$

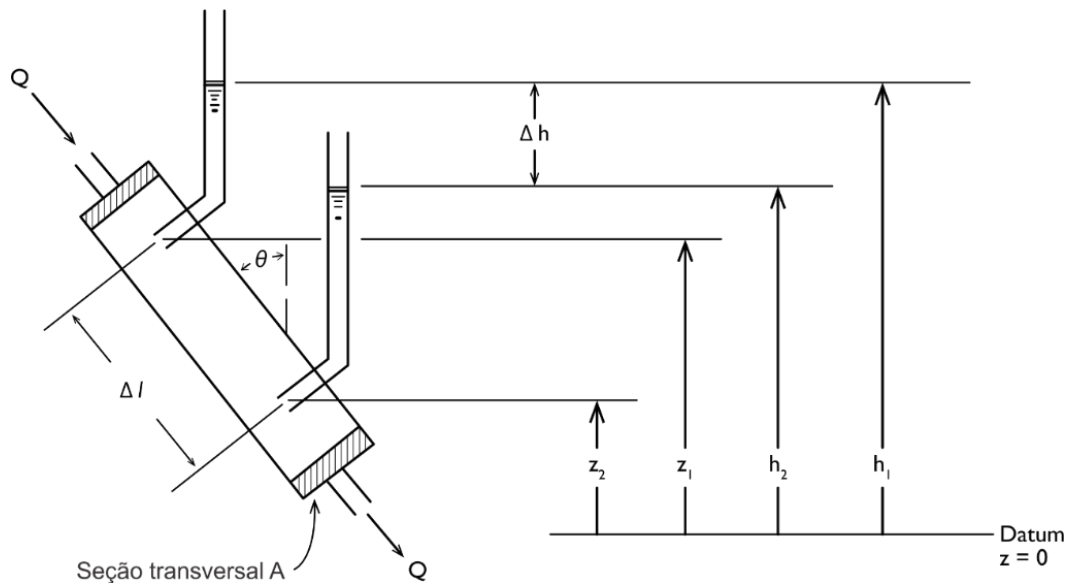
Onde, η_e = Porosidade efetiva;

V_D = Volume de água drenada por gravidade; e V = Volume total.

3.1.2.2 – LEI DE DARCY

No século XIX, Henry Darcy realizou um estudo sobre o escoamento da água em um filtro de areia semelhante ao da Figura 1 e concluiu que a vazão de escoamento é proporcional à diferença entre as cargas hidráulicas h_1 e h_2 , à seção transversal do filtro e inversamente proporcional à distância entre os piezômetros 1 e 2 (Feitosa et al, 2008).

Figura 1: Esquema do filtro utilizado pelo Engenheiro Darcy em seu estudo sobre o escoamento da água.



Fonte: Modificado de Freezy e Cherry 1979.

Onde:

h_1 = Carga hidráulica do piezômetro 1;

h_2 = Carga hidráulica do piezômetro 2;

z_1 = Cota do ponto 1;

z_2 = Cota do ponto 2;

Q = Vazão no cilindro;

A = Área da seção transversal do cilindro;

Δh = Variação da carga hidráulica entre os piezômetros;

Δl = Distância entre os piezômetros;

Assim, Darcy pôde definir a equação de escoamento da água, ficando conhecida como Lei de Darcy (Equação 3):

$$Q = K \cdot A \cdot \frac{(h_1 - h_2)}{L} \quad (3)$$

Onde K é a condutividade hidráulica do sistema.

A Lei de Darcy é aplicada apenas para escoamentos laminares, onde as velocidades são relativamente baixas e as águas apresentam pequenas velocidades pelos poros do aquífero. Esse tipo de escoamento é definido pela viscosidade do líquido e sua perda de carga varia de acordo com a velocidade. Para velocidades maiores, o escoamento passa a ser turbulento, e como nesse tipo de escoamento a perda de carga não varia de acordo com a velocidade linear, a Lei de Darcy não poderá mais ser aplicada. E para a determinação do tipo de fluxo presente em um aquífero é utilizado um parâmetro adimensional, o número de Reynolds, que é dado de acordo com (Equação 4):

$$R_e = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad (4)$$

Onde,

R_e = Número de Reynolds;

D = Diâmetro do tubo;

v = Viscosidade do líquido;

μ = Viscosidade dinâmica;

Quando o valor de R_e for inferior à 2.100, pode-se concluir que trata-se de escoamento laminar, quando o valor é maior que 2.100, o escoamento é turbulento.

3.1.2.3 – CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA

A condutividade hidráulica (K) que aparece na fórmula apresentada por Darcy depende de características do meio, como a forma e o arranjo das partículas, porosidade, tamanho, distribuição e características do fluido em escoamento. Assim, se um fluido é mais viscoso, ele terá uma condutividade diferente que um fluido menos viscoso, e consequentemente, terá sua velocidade diferente do fluido de menor viscosidade. De acordo com propriedades já citadas, a condutividade hidráulica pode ser definida como (Equação 5) (Feitosa et al, 2008):

$$K = \frac{k \cdot \rho \cdot g}{\mu} = \frac{k \cdot g}{\nu} \quad (5)$$

Onde:

k = Permeabilidade intrínseca do meio poroso;

ρ = Massa específica;

μ = Viscosidade absoluta;

ν = Viscosidade cinemática;

g = Aceleração da gravidade;

3.1.2.4 – TRANSMISSIVIDADE

Outra propriedade importante no estudo das águas subterrâneas é a transmissividade (T), que é definida como toda a água que pode ser transmitida horizontalmente por toda espessura saturada do aquífero. Assim, conclui-se que T é diretamente proporcional à K e a espessura (b) do aquífero estudado (Equação 6) (Feitosa et al, 2008):

$$T = K \cdot b \quad (6)$$

3.1.2.5 – COEFICIENTE DE ARMAZENAMENTO

Quando analisa-se a capacidade de um aquífero em armazenar água, duas propriedades devem ser levadas em conta, pois essas características serão responsáveis pelo comportamento do aquífero. As propriedades da água – como viscosidade, densidade e compressibilidade. E as propriedades do meio poroso – como permeabilidade intrínseca, porosidade e compressibilidade (Feitosa et al, 2008).

Outro parâmetro importante é o armazenamento específico do aquífero. Esse parâmetro expressa o volume de água que um volume unitário de aquífero é apto à liberar e/ou receber, de acordo com a variação unitária da superfície potenciométrica (Wrege, 1995). Esse parâmetro está associado a porosidade do aquífero e a fenômenos elásticos, tanto das características da rocha, quanto da água. Em aquíferos confinados, os mecanismos de liberação da água são diferentes dos que ocorrem em aquíferos livres, assim, ao liberar água, os poros dos aquíferos confinados não são esvaziados. Como a pressão nesse aquífero é maior que a pressão atmosférica, quando um poço é perfurado e a água é extraída, ocorre um alívio de pressão hidrostática, o que conseqüentemente aumenta o peso das camadas geológicas sobre a estrutura do material poroso provocando uma compactação do aquífero.

Assim, a liberação ocorre por meio da expansão da água, que é proporcionada pela redução da pressão hidrostática e também pela redução na quantidade de vazios do aquífero devido ao aumento da pressão pelas camadas geológicas sobre as estruturas do meio rochoso.

3.1.3 – TESTE DE AQUÍFERO

Em 1935, Theis⁶ desenvolveu um método matemático, por meio de integrais, onde era possível obter as características hidrodinâmicas de aquíferos confinados não drenante em regime transitório. Esse método é realizado a partir da coleta dos dados de nível dinâmico de um poço de observação, enquanto em outro poço há bombeamento de água em vazão constante. A partir desses dados, torna-se possível elaborar o gráfico logarítmico em função do tempo de bombeamento e dos valores de rebaixamento do poço de observação. Onde o rebaixamento é encontrado por meio da diferença do nível dinâmico e o nível estático. Pelo gráfico, é possível obtermos parâmetros hidrodinâmicos, como transmissividade (T), condutividade hidráulica (K), coeficiente de armazenamento (S) e permeabilidade (k).

Em 1946, Cooper & Jacob⁷ propuseram, a partir da simplificação da metodologia de Theis, a elaboração de um gráfico monolog em função do tempo e rebaixamento do poço. Nesse método, os pontos plotados formam uma reta e, partindo dela, pode-se obter a reta padrão. Feito isso, torna-se possível encontrar os valores referentes ao tempo inicial de rebaixamento (t_0) e o valor da variação do rebaixamento (ΔS). Com os valores obtidos pelo gráfico, encontra-se os valores referentes a T , K e S do aquífero estudado.

3.1.4 – SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA

Para analisar a potencialidade de um aquífero, é necessário a compreensão do fluxo da água subterrânea, sendo o mapa de superfície potenciométrica a principal ferramenta para a realização desse estudo. O mapa é um lugar geométrico onde há determinação dos pontos da altura do nível d'água de um aquífero e a cota da superfície do terreno. Por meio da diferença entre o nível d'água e a cota do local obtém-se o valor da carga hidráulica em um determinado ponto do aquífero (Demétrio, 2006). Em outras palavras, a superfície potenciométrica representa a direção do fluxo da água subterrânea (Diniz e Michaluate, 2001 *apud* Barros, 2016).

⁶ Charles Vernon Theis, primeiro hidrologista a desenvolver um modelo matemático de fluxo transitório de água subterrânea

⁷ Hilton Hammond Cooper e Charles Edward Jacob, hidrogeólogos que desenvolveram a técnica gráfica utilizada atualmente para determinar as propriedades hidráulicas dos aquíferos.

Quando observa-se a superfície do mapa, pode-se notar que existem linhas traçadas nesse mapa que são conhecidas como linhas equipotenciais e linhas de fluxo. As linhas equipotenciais representam a superfície do lençol freático em diferentes pontos e quando essas linhas encontram-se com a altura vertical do lençol, esses pontos tratam-se de pontos de carga total do aquífero. Já as linhas de fluxo representam os caminhos ao longo do aquífero em que a água percorre e indicam as áreas de maior potencial para menor potencial hídrico (*apud* Filho e Alencar, 2010).

O estudo do mapa de superfície potenciométrica tem como um dos objetivos entender onde localiza-se a recarga do aquífero, podendo estar, geralmente, localizados em pontos de alta topografia, bem como a descarga do aquífero, que pode-se dar em canais e/ou foz de rios. Assim, torna-se possível compreender a ligação entre os mananciais subterrâneos e as águas superficiais locais (*apud* Barbosa, 2005).

3.1.5 – SEÇÕES HIDROGEOLÓGICAS

As seções hidrogeológicas tem como objetivo a visualização de uma seção transversal de um aquífero por meio dos seus dados litoconstrutivos. Para a confecção dessas seções, são utilizados descrições geológicas e pedológicas da área em determinada profundidade do aquífero. Por meio das seções hidrogeológicas, pode-se estimar a geometria do aquífero, como sua espessura e profundidade, dados que são importantes quando há a caracterização dos parâmetros dos aquíferos.

3.1.6 – MAPA DE ISÓBATAS E ISÓPACAS

Em linhas gerais, entende-se como mapa de isóbatas, aqueles onde linhas representam corpos d'água em pontos de mesma profundidade. Esses mapas são padronizados em espessuras e cores diferentes, onde cada cor corresponde a profundidades com valores equidistantes verticalmente, representando assim, o relevo subaquático (Winge, 2001). Para estudos hidrogeológicos, esses mapas são de grande importância, pois ajudam a prever as primeiras ocorrências em profundidade do aquífero.

Já os mapas de isópacas representam linhas que expressam o mapa de espessura real de qualquer formação geológica. Esse estudo é importante, pois, ao admitir uma permeabilidade razoável, admite-se também uma maior espessura e, conseqüentemente, maiores transmissividades e maiores vazões a serem potencialmente extraídas de um aquífero. Esses mapas permitem, ainda, avaliar o volume do reservatório de água com o objetivo avaliar as reservas do aquífero (Feitosa et al, 2008).

3.1.7 – ANÁLISES QUÍMICAS

Alguns parâmetros tão importantes quanto os parâmetros quantitativos são os de aspectos qualitativos da água. Para verificar a disponibilidade hídrica dos recursos subterrâneos, seja para o uso humano, industrial ou agrícola, é importante analisar características físicas, físico-químicas e biológicas da água. Assim, a análise da qualidade da água tem por finalidade quantificar e identificar as propriedades químicas da água subterrânea com o objetivo de garantir os padrões de potabilidade da água (Feitosa et al, 2008).

A qualidade da água é estabelecida de acordo com sua composição e de acordo com os efeitos que eles podem causar para a saúde. A partir disso, são estabelecidas análises e padrões que tem como objetivo proteger contra diferentes tipos de contaminação (Feitosa et al, 2008). Para isso, ficou estabelecido, por meio da Portaria N° 2.914 de 2011, os procedimentos necessários para o controle e vigilância da qualidade da água que é destinada para consumo humano. Em 2008, ficou instituído a Resolução CONAMA N° 396, onde foi disposto as classificações e diretrizes necessárias para o âmbito da água subterrânea.

Por meio desses procedimentos, ficou estabelecido que parâmetros como cor, temperatura, pH, odor, sabor, sólidos dissolvidos, dureza e turbidez devem estar dentro de padrões adequados para consumo da água. Além desses parâmetros químicos, também são estabelecidos valores limites, como o ferro, manganês, sulfatos, fluoretos, cloretos, cianetos, entre outros.

Para a qualidade das águas, a temperatura é importante para reduzir a solubilidade dos gases, acelerar as reações químicas e ainda apresenta a capacidade de influenciar tanto no seu sabor, quanto no seu odor. Sua amplitude térmica é geralmente baixa – entre 1 e 2°C, para aquíferos profundos, e variando 1°C/30 m em média, para aquíferos pouco profundos. Sua medição deve

ser feita com um termômetro apropriado e em um local onde o interior do poço, depósitos, tubulações e reservatórios não interfiram na representatividade da amostra (Feitosa et al, 2008).

A cor da água é geralmente proveniente de substâncias dissolvidas ou em suspensão na água, que vem por meio de águas lixiviadas de matéria orgânica. Já o odor e o sabor estão relacionados e o que se chama de gosto é geralmente percebido pelo odor. O sabor está ligado ao teor e o tipo de sal dissolvido, além de outras substâncias em suspensão ou solução. A dificuldade da água em transmitir a luz é definida como turbidez, que é provocada pela presença de sólidos em suspensão (Feitosa et al, 2008).

O pH é geralmente medido em função do gás carbônico e alcalinidade presentes na água e são geralmente controlados por reações químicas e pelo equilíbrio entre os íons presentes na água subterrânea. Já a dureza é determinada pela capacidade da água neutralizar sabão pelo efeito do magnésio, cálcio e elementos como cobre, ferro, manganês, entre outros (Feitosa et al, 2008).

Alguns parâmetros químicos, como os cloretos, são muito solúveis em água, ou seja, tem uma grande tendência de absorver água e se liquefazer, sendo assim eles dificilmente se precipitam. Elementos como o manganês não aparecem na sua forma livre, geralmente, estando na forma de silicatos de manganês, pirolusita (MnO_2), entre outros. O ferro, se assemelha ao manganês e ainda adiciona à água um sabor amargo e uma coloração amarelada e turva, decorrente da sua precipitação quando ele é oxidado. Por fim, os fluoretos são geralmente encontrados em pequenas concentrações nas águas subterrâneas, possuindo uma solubilidade limitada, que pouco contribui para a alcalinidade da água, pois rapidamente sofre hidrólise.

3.2 – ESTUDOS DE CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

3.2.1 – ESTUDOS REALIZADOS NO BRASIL

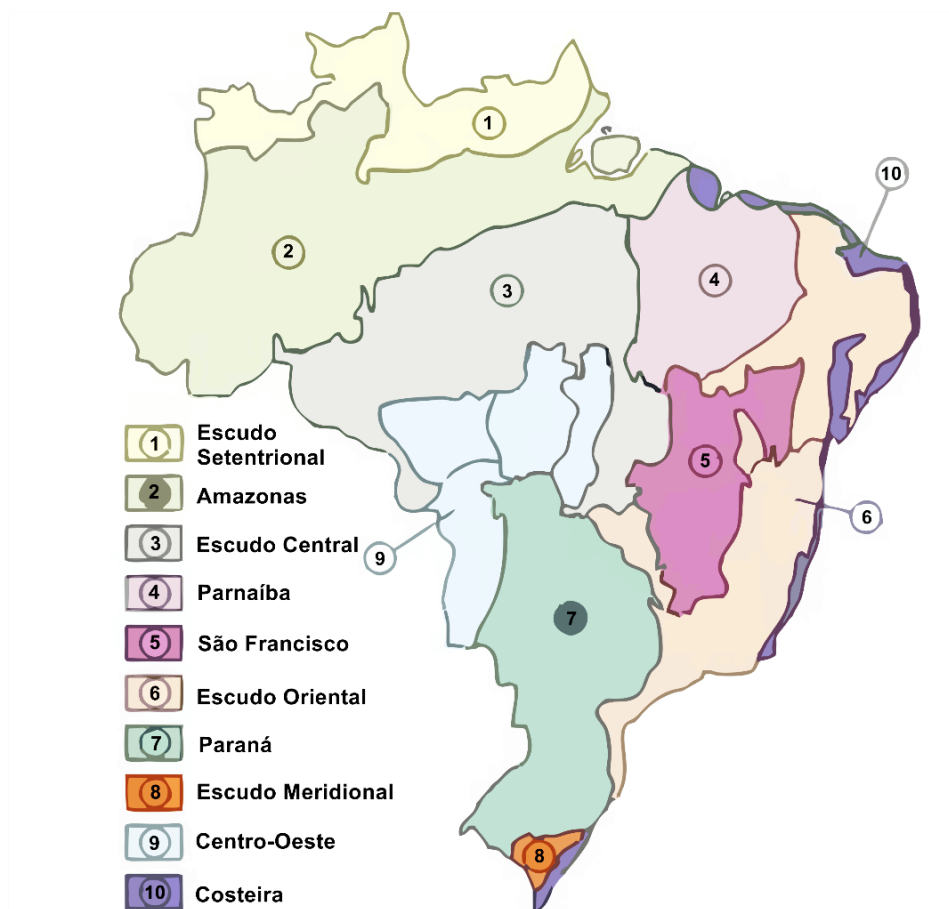
Os estudos realizados no Brasil tiveram seu início na década de 1980, onde alguns mapas hidrogeológicos indicavam os graus de reconhecimento do aquífero, geral e detalhado. Nos anos 1990, analisando esses mapas, notou-se que a área de cobertura de mapas hidrogeológicos não teve grande evolução, porém o conhecimento sobre as águas subterrâneas nacionais houve um aumento em seu progresso geral (Feitosa et al, 2008).

Para realizar algumas caracterizações hidrogeológicas no Brasil, foram utilizadas classificações de acordo com sua importância relativa como aquífero no contexto do território nacional. Assim, a importância do aquífero foi definida de acordo com suas propriedades, como porosidade e permeabilidade, suas condições de ocorrência e explorabilidade. Assim, foi possível definir 11 unidades principais para área hidrogeológica e, a partir destas, definir 3 unidades principais de classificação de água subterrânea: rochas porosas, tendo sua importância de alta à baixa; rochas fraturadas, com importância média à baixa; rochas porosas ou fraturadas, com importância relativa muito baixa (Feitosa et al, 2008).

O sistema aquífero brasileiro é dividido em dez províncias hidrogeológicas (Figura 2), sendo elas o Escudo Setentrional, descrito como um dos melhores aquíferos brasileiros, pois localizam-se em áreas onde há grande ocorrência de areias e arenitos finos, médios e grosseiros constituindo a aluvião. No sistema Amazonas, existem formações hidrogeológicas de aquíferos de depósitos arenosos. A formação Escudo Central encontra-se com uma ausência de informações hidrogeológicas, mas estima-se que os aquíferos da região sejam correspondentes a aquíferos formados por arenitos. Já a Bacia Sedimentar do Parnaíba, na região nordeste do país, seus aquíferos são compostos por arenitos médios e grosseiros em algumas regiões e em outra, pode-se encontrar aquíferos com formações onde predominam arenitos ou areias finas sobre as rochas.

Chegando na província de São Francisco, os estudos constatarem que há uma predominância de aquíferos restritos à fraturas, sendo mais amplos quando ocorrem em regiões onde há presença de rochas porosas. Nessa região, também é possível encontrar extensões que são constituídas de arenitos finos.

Figura 2: Províncias Hidrogeológicas do Brasil



Fonte: Adaptado de Brasil. DNPM/CPRM, 1981.

O sistema Escudo Oriental é dividido em duas subprovíncias: a Nordeste e Sudeste, onde predominam rochas cristalinas, sendo a água subterrânea representada por aquíferos de porosidade secundária, ou seja, aquíferos fissurais. Já em estudos realizados na província do Paraná, indicam que esta é a melhor área de produtividade de aquífero; a bacia em geral é composta por sedimentos clásticos e intrusões e derrames.

No extremo sul do país, encontra-se o sistema do Escudo Meridional, onde estudos de caracterização mostraram que nessa área os aquíferos são restritos às zonas fraturadas das rochas cristalinas. Por se tratar de um local com alto índice de pluviosidade, essas chuvas garantem a perenização dos rios e recarga dos aquíferos. Já na região Centro-Oeste, há uma divisão em quatro subprovíncias, onde somente a província do Alto Paraguai dispõe de estudos hidrológicos. Nessa subprovíncia, localizam-se aquíferos de alta produtividades. Por fim, as províncias Costeiras, corresponde as faixas litorâneas no mapa, estendendo-se do Amapá até o Rio Grande do Sul e é dividido em nove subprovíncias. Os aquíferos mais produtivos nessas

regiões tem características clásticas inconsolidadas, que mostram índices de produtividade média (Feitosa et al, 2008).

3.2.2 – ESTUDOS REALIZADOS EM MINAS GERAIS

De acordo com o mapa das províncias hidrogeológicas do Brasil, percebe-se que Minas Gerais tem ampla ocorrência de aquíferos de porosidades secundária (fraturas) e terciária (condutos cársticos) (província de São Francisco, Figura 2).

Em estudos realizados por Mourão (2007), na região do Quadrilátero Ferrífero, próximo a Belo Horizonte, foi feita a caracterização do Aquífero Cauê, enquanto Soares (2010), na Bacia de Juatuba, realizou o mesmo estudo, onde foram constatadas a presença de rochas fraturadas, além de determinar as demais características do aquífero que, em geral, poderá ser utilizado como um instrumento para gestão de recursos hídricos.

Estudos também foram realizados na região de Sete Lagoas, onde Machado (2011) estudou a caracterização e a vulnerabilidade em torno do Centro Nacional de Pesquisa Milho e Sorgo (CNPMS), tanto para a compreensão do sistema hidrogeológico, como também para análise de possíveis contaminações na região do CNPMS, enquanto Galvão (2015) realizou a caracterização do aquífero cárstico em todo o município.

Na região do Vale do Aço, localizada a centro-leste de MG, e que engloba as cidades de Coronel Fabriciano, Ipatinga, Santana do Paraíso e Timóteo, os estudos hidrogeológicos são ainda escassos. No caso de Ipatinga, somente Wolff (2009) realizou um estudo sobre as águas subterrâneas na região do aterro sanitário do município, tendo como principal objetivo analisar as possíveis contaminações decorrentes desse aterro.

Por essa escassez de estudos, torna-se importante conhecer e estudar o aquífero na região do bairro Amaro Lanari, onde está localizada a Estação de Tratamento de Água da COPASA juntamente com a maioria dos poços utilizados para exploração de água para abastecimento da cidade de Ipatinga. Tal estudo, poderá auxiliar o setor público tanto à gerir as águas subterrâneas, quanto auxiliar em caso de contaminação do aquífero local.

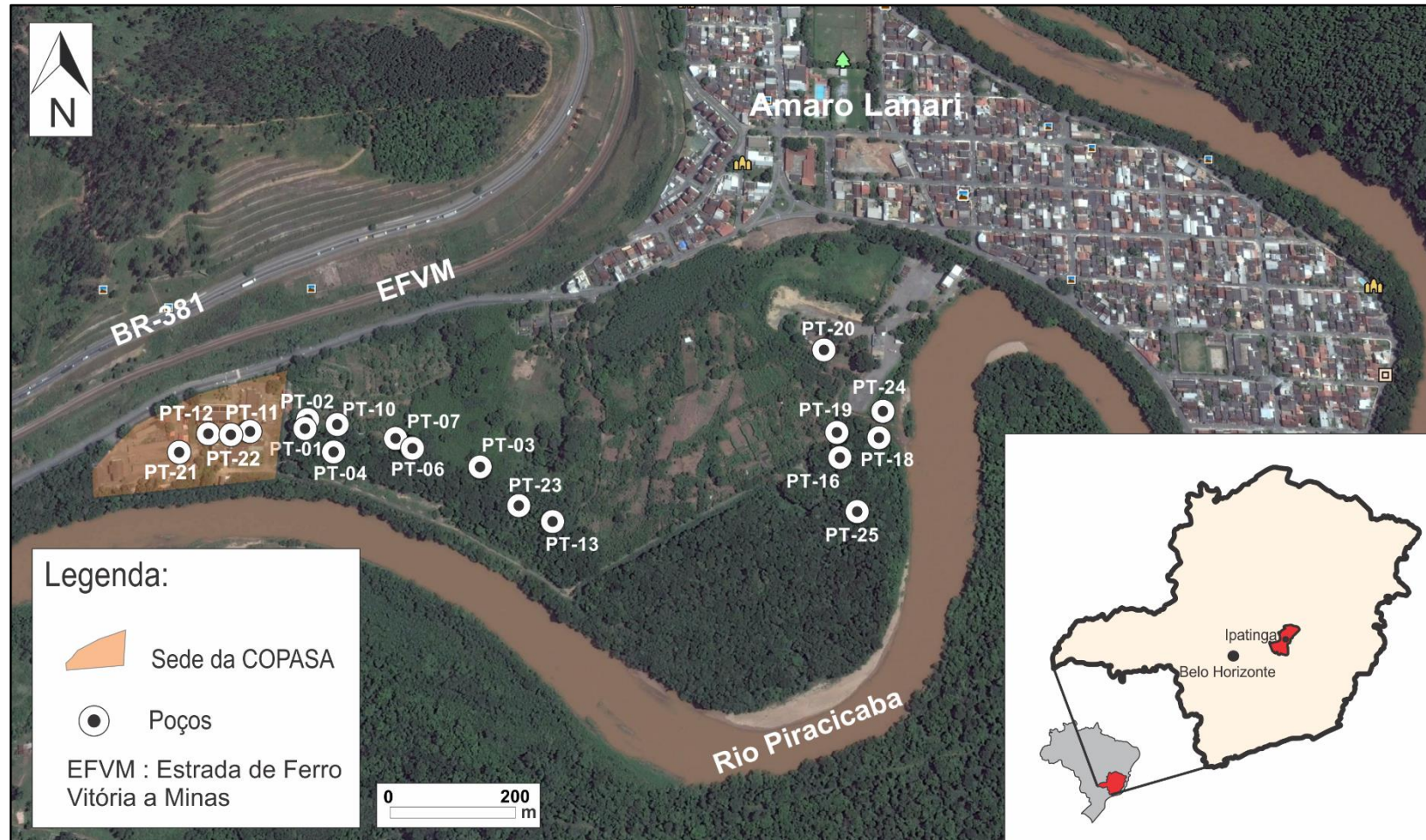
4 – ÁREA DE ESTUDO

4.1 – LOCALIZAÇÃO

O município de Ipatinga está localizado no interior do estado de Minas Gerais, mais precisamente na região centro-leste do estado e pertencente a mesorregião do Vale do Rio Doce e é integrante da região metropolitana do Vale do Aço (Figura 3). A cidade possui área de 164.884 km² e em 2016 conta com uma população estimada de 259.324 habitantes (IBGE, 2016). Sendo o décimo município mais populoso do estado, sua economia é embasada na indústria siderúrgica, no comércio e na prestação de serviços. O desenvolvimento da região deve-se a grandes empresas locais, como a Usiminas, localizada no próprio município, a Aperam, situada na cidade de Timóteo e a Cenibra, em Belo Oriente.

Os poços utilizados para esse estudo são administrados pela COPASA e localizam-se no Bairro Amaro Lanari, no município de Ipatinga. Os poços têm suas profundidades entre 24 a 41 m, trabalhando sempre com altas vazões e são responsáveis pelo abastecimento de grande parte da região do Vale do Aço.

Figura 3: Mapa de localização da área de estudo.



A altitude mínima do município é de 235 m e ocorre na região da foz do rio Piracicaba. Já a altitude máxima é de 1.163 m e ocorre na Serra dos Cocais, que está localizada próximo à divisa da cidade de Ipatinga com Coronel Fabriciano. Salienta-se que a Serra dos Cocais é patrimônio natural cercado ao meio industrial e urbano. O acesso à Ipatinga ocorre a partir de Belo Horizonte por meio da rodovia BR-381, que atravessa o município no sentido a Governador Valadares. A cidade pode ser acessada também pela BR-458 e pela MG-232, sendo a primeira, conexão entre Ipatinga e a BR-116, que forma um importante eixo de ligação entre o Vale do Aço e o eixo norte/sudeste do Brasil. Além do acesso pela rodovia, a cidade também conta com o transporte ferroviário. A linha férrea Vitória a Minas, que liga Belo Horizonte a Cariacica, atravessa a cidade, que conta com a estação Intendente Câmara, situada na BR-381, para desembarque de passageiros (PMSB, 2016).

Apesar da cidade estar inserida redor dos rios Doce e Piracicaba, sua principal fonte de abastecimento de água é feita por meio do aquífero com características cenozoicas, que ocupa cerca de 13,9% da área do município. O restante da unidade é composto em 10,9% de metassedimentos-metavulcânicos e 75,2% de formações cristalinas. O sistema hidrológico subterrâneo de Ipatinga está condicionado a características geomorfológicas, litoestratigráficas e estruturais. Assim, a partir do conhecimento dos diferentes tipos de rocha, pode-se definir dois tipos de unidades aquíferas para a região: granular e fissurada (PMSB, 2016).

4.2 – CLIMA

O clima em Ipatinga é inserido predominantemente na faixa do clima tropical, caracterizado como uma não conformidade climática, que se dá por causa do seu relevo, que influencia, entre outras coisas, o fluxo de massa de ar. Com muito mais pluviosidade no verão do que no inverno, o clima é classificado como Aw, de acordo com a Köppen e Geiger. A pluviosidade média anual é de 1138 mm e tem sua temperatura média de 23,8°C. Assim, o mês mais seco é o de julho com 12 mm de precipitação, enquanto que o mês com maior precipitação é janeiro, com 209 mm. Apesar de existir alguns meses com baixa precipitação, os principais rios drenantes da região são de caráter perenes, em função do acúmulo de água nas vertentes do relevo (PMSB, 2016).

4.3 – GEOLOGIA

A área compreendida pelo município de Ipatinga localiza-se na Província Mantiqueira, em domínio do Cinturão Araçuaí, de idade Brasileira.

O embasamento das rochas arqueanas dessa região constituem o embasamento do Cinturão Araçuaí, formadas por gnaisses ortoderivados de composição tonalítica a granítica do Complexo Mantiqueira e rochas supracrustais metavulcanossedimentares do Supergrupo Rio das Velhas, elaboradas por formações ferríferas, paragneisses, xistos e quartzitos.

Representados pelo corpo Açucena, encontra-se inserido neste embasamento os granitos da Suíte Borrachudos, de composição granítica a sienítica, correlatado ao evento distensivo do rifte Espinhaço, paleoproterozoico. Os xistos e quartzitos representam os metassedimentos do Grupo do Rio das Velhas, aflorantes na porção sudeste da área estudada.

Parte da área estudada insere-se no campo de rochas ígneas de grãos grosseiros Itabira-Ferros, onde podem ser encontradas pedras coradas que incluem quartzo rosa, água-marinha, esmeralda, alexandrita e amazonita. Outro importante mineral encontrado nessa região, que é muito utilizado como rocha ornamental, é o granito, de extrema importância tanto no mercado interno quanto no externo. Outras ocorrências como grafita, minério de ferro e caulim também são encontradas na região (CPRM, 2014).

De acordo com estudos realizados, verificou-se que na pedologia de Ipatinga predominam os solos das classes Latossolos Amarelos, Vermelho-amarelo e os Argissolos Vermelhos, sendo que os Latossolos apresentam menor taxa de erodibilidade, enquanto os Argissolos tem as maiores taxas (EMBRAPA, 2006 *apud* PMSB, 2016).

Da área total de Ipatinga, 81% do seu solo é composto por Latossolos do tipo Vermelho-Amarelos e Amarelos, que teve seu desenvolvimento sobre as rochas do embasamento cristalino. Esse tipo de solo, se caracteriza por serem solos bem drenados e profundos – mais de 2 m de profundidade. Os Latossolos, normalmente, tem sua origem em locais que apresentam relevos planos a suave ondulado, o que facilita o intemperismo e a retirada dos seus minerais primários e secundários. No município de Ipatinga, os Latossolos Vermelho-Amarelos, são encontrados na parte noroeste da cidade e ocupam cerca de 37,5% do município. E por sua vez, os Latossolos Amarelo, estão distribuídos em cerca de 43,5% do território e estão concentrados na parte sudeste (PMSB, 2016).

Os outros 19% da área municipal são constituídos de Argissolos Vermelhos, ocupam o setor central do município de Ipatinga. Estes solos são constituídos por teores mais altos de óxido de ferro, o que faz com que ele apresente cores mais avermelhadas, sendo mais comuns em ambientes bem drenados. Devido à heterogeneidade dos materiais que originam esses solos, este acaba por apresentar uma fertilidade natural muito variável (PMSB, 2016).

4.4 – GEOMORFOLOGIA

Como resultado de todas as combinações e transformações de rochas, a cidade apresenta feições geomorfológicas características que podem ser perfeitamente notadas em suas paisagens e relevos, que são resultados tanto da decomposição e erosão das rochas como também da ação do clima em cima delas. As rochas que apresentam maior resistência ao intemperismo na região de Ipatinga, são as rochas cristalinas. Destacando-se as rochas metamórficas, que resultam em declividades elevadas e escarpas assimétricas (PMSB, 2016).

Ipatinga está localizada em uma região classificada geomorfológicamente como “planaltos e serras do Atlântico Leste-Sudeste, sendo constituídos por morros com formas convexas, elevada densidade de canais de drenagem e vales profundos” (Ross, 2000 *apud* PMSB, 2016).

Nessa região, ainda pode ser visto características particulares como, por exemplo, um relevo intensamente acidentado e desgastado por agentes externos que moldam o relevo e alta densidade de drenagens.

Os Planaltos e Serras do Atlântico Leste-Sudeste, representados regionalmente pelos Planaltos Dissecados do Leste de Minas, compreendem ainda outra importante unidade geomorfológica que apresenta características peculiares como, por exemplo, relevo acidentado intensamente desgastado pelos agentes exógenos e elevada densidade de drenagens. As águas fluviais que atuaram nas formações predominantemente granito-gnáissicas do embasamento resultaram em formatos de cristas e colinas com vales encaixados de uma maneira que foi desenvolvida toda a extensão dos planaltos (Dias, 2005 *apud* PMSB, 2016).

No domínio morfológico do Rio Doce, são identificadas subunidades geomorfológicas, como na parte centro-ocidental de Ipatinga, onde ocorrem predominantemente Morros. Já em sua parte oriental, pode ser observado uma área dominada por planícies aluvionares. As encostas

com alta declividade são áreas submetidas a transformação por escorregamentos e ravinamentos, o que faz com que o perfil seja côncavo, favorecendo fluxos hídricos superficiais. As planícies aluvionais, áreas situadas ao longo das drenagens principais, são constituídas por sedimentos arenosos e cascalhentos. E, por fim, os terraços aluviais, que são formados pelas ações dinâmicas dos rios Doce e Piracicaba e tem como principal característica uma superfície plana com altitude variando entre 230 a 245 m (CETEC, 1982 *apud* Brandt, 2008 *apud* PMSB, 2016).

4.5 – HIDROGRAFIA

4.5.1 – ÁGUAS SUPERFICIAIS

A bacia do Rio Doce está localizada na região sudeste com área total de 83.400 km². As nascentes formadoras do Rio Doce localizam-se nas serras da Mantiqueira que estende-se entre os estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro e do Espinhaço, localizada entre os estados de Minas Gerais e Bahia, e que possuem altitudes superiores a 1000 m. O Rio Doce segue com uma extensão de 853 km em altitudes inferiores a 300 m, desaguando no oceano Atlântico.

Para uma melhor compreensão das águas superficiais da bacia do Rio Doce, foi criada uma divisão de seis comitês em Minas Gerais da Bacia do Rio Doce, estruturados da seguinte forma (PMSB, 2016):

- Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Piranga (DO1);
- Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Piracicaba (DO2);
- Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Santo Antônio (DO3);
- Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Suaçuí (DO4);
- Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Caratinga (DO5); e
- Comitê de Bacia Hidrográfica Águas do rio Manhuaçu (DO6).

O município de Ipatinga está inserido mais precisamente na sub-bacia do rio Piracicaba. Ocupando uma área de 5.681 km², suas nascentes encontram-se na região de Ouro Preto e, durante seu percurso, o rio passa pelas cidades de rio Piracicaba, Nova Era, Antônio Dias e pela região do Vale do Aço. O rio Piracicaba é afluente da margem esquerda do rio Doce e o

principal curso d'água da região estende-se por cerca de 241 km até encontrar o rio Doce, na divisa entre a cidade de Ipatinga e Timotéo. A bacia hidrográfica do rio Piracicaba, na margem esquerda, é dividida pelas sub-bacias do rio do Peixe e do rio Santa Bárbara, enquanto que na margem direita, é codividida pela sub-bacia do rio da Prata. Além desses principais rios, o rio Piracicaba recebe mais descargas de córregos e ribeirões ao longo do seu percurso, sendo o principal curso d'água o ribeirão Ipanema (PARH, 2010 *apud* PMSB, 2016).

Cerca de 88% da área de Ipatinga é limitado pela bacia hidrográfica do ribeirão Ipanema, esse é o primeiro grande curso d'água afluente do rio Doce, após seu encontro com o rio Piracicaba. O rio Piracicaba cruza todo o município banhando Ipatinga em sua porção leste e circunda o município junto ao Bairro Imbaúbas, envolvendo os bairros Castelo, Cariru, Das Águas, Bela Vista e Bom Retiro (PMSB, 2016).

Os principais afluentes da bacia do ribeirão Ipanema encontram-se na margem direita do curso d'água, com os ribeirões Ipaneminha, Tribuna, córregos de Taúbas e Pedra Branca.

O ribeirão Ipanema tem sua extensão em cerca de 28,5 km, e sua nascente está localizada na área rural, mais precisamente na Serra dos Cocais com cerca de 950 m de altitude, percorre toda a área urbana de Ipatinga, até desaguar no rio Doce, 218 m após o encontro do rio Piracicaba com o Doce, próximo ao Bairro Castelo. Este ribeirão sofre grande degradação ambiental, pois há despejo de esgoto doméstico e industrial e lixo ao longo de seu curso, extinção da sua biodiversidade, assoreamento das margens, desague de efluente vindos de oficinas e matadouros e erosão. Para a recuperação do ribeirão, a COPASA instalou uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), que recolhe cerca de 72% do efluente urbano, mas ainda existe 28% do esgoto que são lançado *in natura* nesse corpo d'água sem tratamento. Em paralelo, a prefeitura de Ipatinga vem realizando a recomposição da mata ciliar (PMSB, 2016).

Vale ressaltar que, de acordo com levantamentos realizados, existe em Ipatinga cerca de 300 nascentes e estima-se que um terço delas estão degradadas. A prefeitura de Ipatinga, junto ao Ministério Público do Estado de Minas Gerais (MPMG), vem desenvolvendo o projeto “Mapa da Mina” que tem como objetivo de estudar, catalogar, proteger e recuperar essas nascentes (MPMG, 2015 *apud* PMSB, 2016).

4.5.2 – ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

O aquífero da Bacia do rio Piracicaba é composto, principalmente, por sistemas de aquíferos fissurados e por uma pequena parte de sistemas aquíferos granulares. Da sua área total, cerca de 96% da sua área corresponde à aquíferos fissurados, onde 44% desses são sistemas aquíferos em rochas cristalinas, 36% sistemas fissurados xistosos e 16% correspondem a aquíferos fissurados em quartzitos (PARH, 2010).

Sabe-se que os aquíferos fissurados formados nessas rochas cristalinas são de pequenas extensão, heterogêneos e descontínuos. Por sua vez, os aquíferos fissurados xistosos, geram aquíferos com baixa favorabilidade hidrogeológica e exibem uma porosidade desenvolvida por eventos tectônicos que caracterizam esses aquíferos como aleatórios, descontínuos e de pequena extensão (PARH, 2010).

Quando comparados com os aquíferos já citados, os aquíferos fissurados quartzíticos são caracterizados por possuir alta favorabilidade hidrogeológica. O que faz com que aquíferos fissurados quartzíticos sejam utilizados para retirada de água para diferentes tipos de usos. Esses aquíferos são caracterizados como heterogêneos, descontínuos e condicionados pelo fraturamento (PARH, 2010).

A maior parte da região de Ipatinga está localiza sobre sistemas aquíferos fissurados. Sendo uma unidade hidrogeológica cristalina, com área de aproximadamente 75,2% da área da cidade, outros 10,9% é constituído por unidades metassedimentos-metavulcânicos e os outros 13,9% é constituído por formações cenozoicas (PMSB, 2016).

A unidade cristalina e de metassedimentos-metavulcânicos estão relacionados a aquíferos fissurais, de baixíssima porosidade primária, sendo condicionados a ocorrência de porosidades secundárias (falhas e fraturas na rocha), resultando em vazões globais baixas e em grande parte das vezes, com águas salinizadas (CPRM, 2014).

O comportamento geológico das unidades cristalina e metassedimentos-metavulcânicos é o que irá distinguir os dois tipos apresentados. Ou seja, o parâmetro que tem um grande impacto no acúmulo e fornecimento de água é a maneira como os tipos de rochas irão reagir aos esforços causados pelas fissuras. Assim, espera-se uma maior favorabilidade hidrogeológica das unidades de metassedimentos-metavulcânicos em relação ao cristalino. Entretanto, na região do Vale do Aço, o aquífero cristalino tem alta taxa de produtividade, o que pode ser explicado

pela provável contribuição do aquífero granular localizado nas aluviões do Rio Piracicaba (PIRH, 2010).

Já as formações cenozoicas são áreas de baixa favorabilidade hidrogeológica, pois em geral, elas são estreitas e litologicamente representadas por argilas, cascalhos e areias intercaladas com matéria orgânica (PMSB, 2016).

5 - MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E LEVANTAMENTO DE DADOS EXISTENTES

Para a realização desse trabalho, primeiramente, foi necessário o entendimento e conhecimento dos conceitos de hidrogeologia, o que viria a facilitar o estabelecimento de metas ao longo da realização de pesquisas e estudos. Posteriormente, o levantamento dos dados foi disponibilizado pelo órgão responsável pela gestão dos poços na cidade.

Na fase de levantamento bibliográfico, foi feita uma abrangente pesquisa com foco em conceitos de hidrogeologia, trabalhos de caracterização de diferentes aquíferos, caracterização da área de estudo que engloba a geologia, geomorfologia, clima, hidrologia, hidrogeologia e localização da área em questão.

Portanto, o modelo hidrogeológico conceitual é a interpretação dos resultados alcançados decorrentes das diversas etapas deste trabalho.

5.2 – ORGANIZAÇÃO DO BANCO DE DADOS

Para o estudo realizado, não houve a realização de trabalho de campo. Os dados dos poços tubulares aqui utilizados, tais como perfis litoconstrutivos, vazões, regime de trabalho dos poços, dados de localização e nível d'água, teste de bombeamento e resultados de análises químicas foram fornecidos pela COPASA.

Inicialmente, os dados foram colocados em tabela para uma melhor visualização. Totalizando em 30 poços, e com uma sequência de nomenclatura confusa, os poços foram renomeados para uma melhor visualização dos dados. De acordo com a tabela do Anexo I, é possível visualizar

dados como nome do poço de acordo com a autora e com a COPASA, as coordenadas dos poços, suas elevações, nível dinâmico, carga hidráulica, profundidade do topo e base do aquífero e espessuras do aquífero, que foram utilizadas para elaboração do mapa potenciométrico, isóbatas e isópacas.

Feito isso, foi necessário criar uma segunda tabela, com os dados das análises químicas realizadas pela Companhia. De acordo com Anexo II, é possível observar dados referentes à presença de E-Coli, Alumínio, Cianeto, Cloretos, Ferro, Fluoretos, Manganês, Nitratos, Nitritos, pH, Sólidos Dissolvidos, Sulfatos e Turbidez.

Assim, pôde-se analisar quais os poços tinham seus dados mais viáveis para a caracterização do aquífero. Dos 30 poços, os poços PT-14 e PT-17 estavam desativados, o PT-02, PT-11, PT-13, PT-14, PT-15, PT-16, PT-17, PT-18, PT-19, PT-20, PT-21, PT-22, PT-23, PT-24, PT-25, PT-26 e PT-30 possuem perfis litoconstrutivos, os poços PT-08, PT-09, PT-29 e PT-30 não contavam com dados referentes a sua localização e por fim, os poços PT-11 e PT-12, não possuem seus dados de vazões constantes no teste de bombeamento, o que inviabiliza a utilização do mesmo, pois interfere nos demais dados do teste de bombeamento.

5.3 – PERFIS LITOCONSTRUTIVOS

Inicialmente, com os dados sobre o solo local fornecidos pela COPASA, foi feito a construção do perfil dos poços estudados no programa *CorelDraw X8*. Nessa construção, foi levado em conta a descrição do solo, o tamanho de cada camada presente e sua profundidade. Foi feito também o desenho do poço construído nessa região, demonstrando sua profundidade, raio, localização do filtro, centralizados e pré-filtro.

5.4 – SEÇÕES HIDROGEOLÓGICAS

Com o auxílio do programa *Google Earth*, foram inseridas as coordenadas de localização – latitude e longitude, dos poços de extração de água. Com os dados fornecidos no programa, foi possível fazer a construção topográfica das seções, com os dados de elevações do terreno que foram retiradas do programa *Global Mapper 12* e, assim, iniciar a confecção da seção no

CorelDraw. Para construção das seções, foi também utilizados dados dos perfis litoconstrutivos fornecidos pela COPASA.

5.5 – MAPA DE SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA

Os dados de nível dinâmico da água utilizados para elaboração do mapa de superfície potenciométrica foram coletados em fevereiro de 2017, pela COPASA. Para gerar esse mapa, foi utilizado o programa *Surfer 13*, a fim de traçar as linhas que compõe os mapas por meio da interpolação dos eixos X, Y e Z, onde os eixos X e Y representam os valores das coordenadas geográficas dos poços e o eixo Z representa as cargas hidráulicas desse aquífero. Posteriormente, os dados foram organizados em uma planilha (Anexo I). Assim, a diferença entre a elevação do poço e do ND corresponde à carga hidráulica (h) medida no poço, sendo que a interpolação de todos os valores de h , gera a superfície potenciométrica (Feitosa et al, 2008). Dessa forma, as coordenadas X, Y e Z foram interpoladas pelo *Surfer 13*, utilizando o método de *krigagem*, visando elaborar o mapa de isolinhas das cargas hidráulicas representando a superfície potenciométrica. Esse foi o primeiro mapa elaborado que, posteriormente, foi refinado e ajustado em um programa de design, *Corel Draw*, resultando no mapa final de superfície potenciométrica, indicando que a água se movimenta de uma carga hidráulica maior para a menor.

5.6 – MAPAS DE ISÓBATAS E ISÓPACAS

Para confecção dos mapas de isóbatas e isópacas, foram primeiro analisados os dados de profundidade do topo e base do aquífero com auxílio da seção hidrogeológica A-A'. O primeiro mapa trata-se da primeira ocorrência do aquífero, enquanto o mapa de isópacas, por meio da diferença entre topo e base do aquífero, se obtém a espessura do aquífero. Já com esses dados de topo do aquífero e espessura, com o auxílio do programa *Surfer 13*, foi possível realizar a interpolação, pelo método da *krigagem*, das coordenadas geográficas (X e Y) dos poços com dados, topo do aquífero e espessura (Z), gerando assim dois tipos de gráficos diferentes.

5.7 – ANÁLISES QUÍMICAS E BACTERIOLÓGICAS

A empresa conta com o monitoramento semestral de 14 diferentes parâmetros químicos, físico-químicos e bacteriológicos, sendo os dados disponibilizados para este trabalho referentes ao 2º semestre de 2015. Os parâmetros químicos monitorados são alumínio, cianeto, cloreto, ferro, fluoreto, sulfatos, manganês, nitrato, nitrito, e para comparação foram utilizados os valores máximos permitidos estabelecidos pela CONAMA 396/08. Enquanto os parâmetros físico são temperatura, turbidez, sólidos dissolvidos e pH, além de outros parâmetros como, coliformes totais foi utilizada a Portaria 2.914 de 2011.

Como os dados fornecidos encontram-se dentro do padrão estabelecidos pela CONAMA e pelo Ministério da Saúde, somente para os dados referente ao alumínio, ferro e manganês foram gerados gráficos de qualidade da água, pois apenas esses elementos encontraram-se um pouco acima do limite estabelecido. Esses gráficos também foram gerados com o auxílio do programa *Surfer 13*, seguindo a mesma lógica dos mapas de superfície potenciométrica, isóbatas e isópacas.

6 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 – OS POÇOS DA REGIÃO

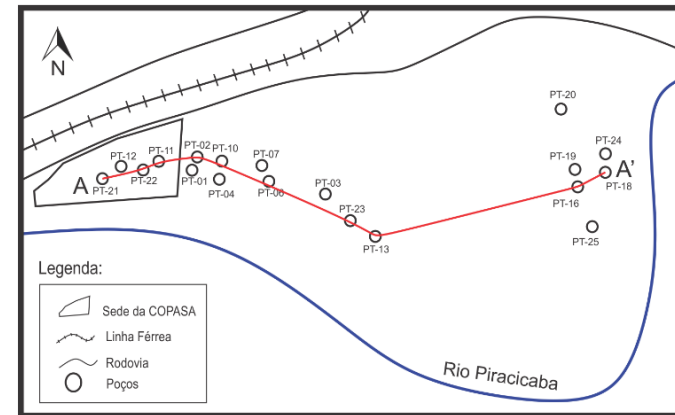
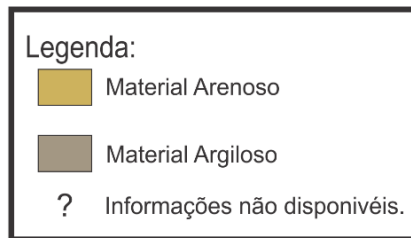
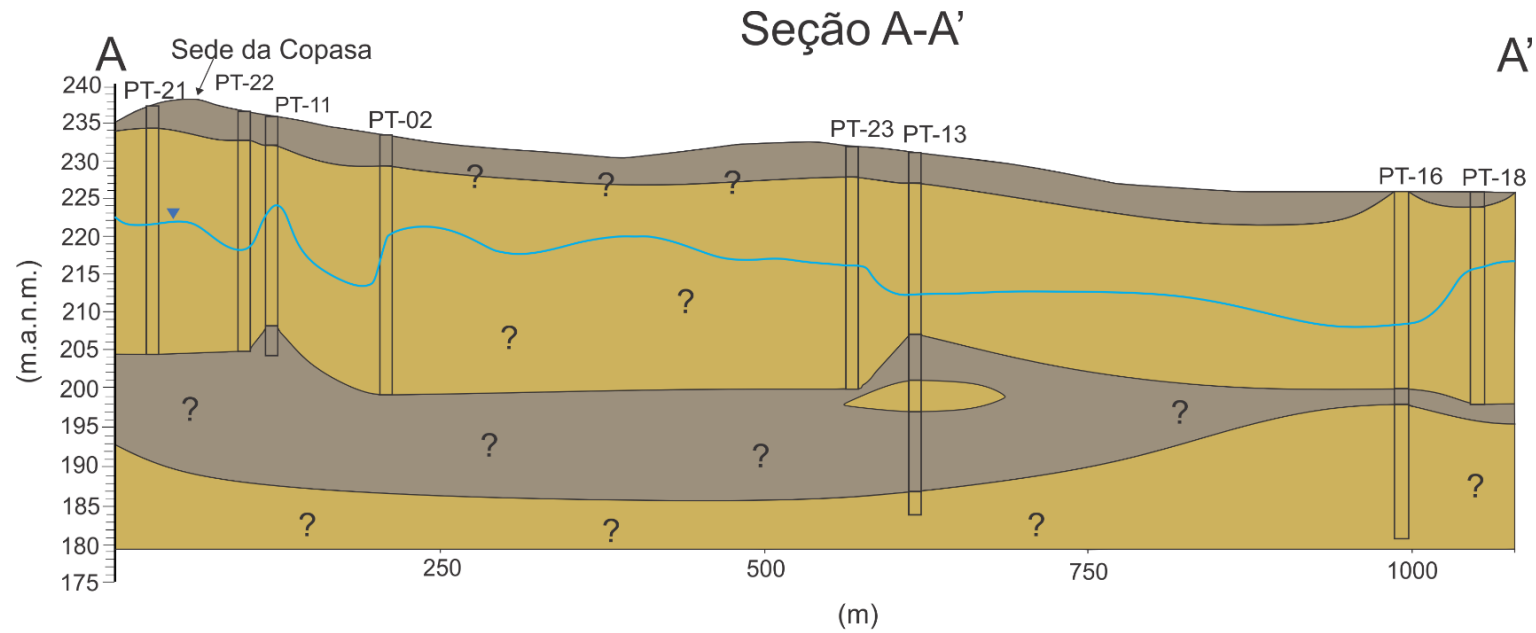
Foi observado que as descrições litológicas de vários perfis não são semelhantes, que pode ser explicado pela área de estudo se localizar em uma planície de inundação, ou seja, uma área próxima ao rio, que em épocas de cheias ocasionam camadas de deposição de materiais mais grosseiros devido a força da água nessas épocas. Mas os solos, no geral, eram descritos como argilito arenoso em determinado perfil, em outros perfis próximos a esse solo eram descritos alternadamente como, areno argiloso, material argiloso, material arenoso, em alguns perfis constando a presença de matéria orgânica, entre outros.

Independente disso, pode-se concluir que se trata de materiais parecidos, diferenciando apenas na granulometria do material, hora com maior porcentagem de matéria mais fina, hora com material mais grosso. Assim, para fins de interpretação, assumiu-se que o solo é composto de material predominantemente argiloso ou arenoso.

6.2 – GEOMETRIA DO AQUÍFERO

Para a caracterização da geometria do aquífero, foram utilizados os perfis litoconstrutivos disponibilizados pela COPASA, onde foram possíveis confeccionar a seção hidrogeológica A-A' (Figura 4), bem como os mapas de isóbatas (Figura 5) e isópacas (Figura 6).

Figura 4: Seção esquemática hidrogeológica da área dos poços.



A seção hidrogeológica A-A' segue paralelamente a direção do rio Piracicaba, facilitando a visualização do sentido e direção do fluxo da água. Por meio dessa seção, foi possível observar que o aquífero tem espessura média de 28 m, sendo o local de maior espessura próximo ao poço PT-02 com espessura em torno de 31 m e o local de menor espessura localiza-se na região do PT-13 com aproximadamente 20 m.

Ainda na seção hidrogeológica, é possível observar que há uma pequena camada de material argiloso de aproximadamente 5 a 7 m de espessura abaixo da elevação do terreno, que pode desempenhar um papel de proteção natural ao aquífero, evitando que contaminantes antrópicos atinjam a água subterrânea.

Pelo aquífero ser caracterizado por essa camada média de 28 m de material arenoso, isso explica as altas vazões obtidas desses poços, uma vez que o aquífero é composto somente por material inconsolidado, ou seja, não há presença de rochas, apenas material de alta permeabilidade tornando-se assim um bom reservatório de água. Portanto, a área de estudo se encaixa nos 13,9% de ocorrência na região da unidade hidrogeológica constituída por formações cenozoicas, citada pela PMSB (2016).

A partir de 193 m abaixo da superfície do terreno, pode-se observar a delimitação inferior do aquífero estudado com uma camada de material argiloso. A partir dessa delimitação, fica claro a separação entre o aquífero estudado de um aquífero mais profundo presente nessa região.

Os mapas de isóbatas e isópacas indicam as primeiras ocorrências do aquífero e suas linhas gerais de igual espessura do aquífero, respectivamente. Assim, por meio do mapa de isóbatas (Figura 5), pode-se notar que o aquífero tem uma formação convexa, tendo sua área mais alta (231 m.a.n.m) próximo ao poço PT-11 e, a partir de então, decaindo até a região do poço PT-25, onde volta a elevar-se, atingindo um pico máximo de 223,5 m.a.n.m.

Já o mapa de isópacas (Figura 6) revela uma espessura de 17 a 36 m da área estudada. As isópacas de menores valores são vistas na parte sudeste da região de estudo, enquanto as de maiores valores encontram-se próximas ao PT-20, com aproximadamente 36 m de espessura, tanto nessa região quanto onde localiza-se a sede da COPASA, com uma espessura de 25 m ao redor do poço PT-11.

Figura 5: Mapa de isóbatas do aquífero.

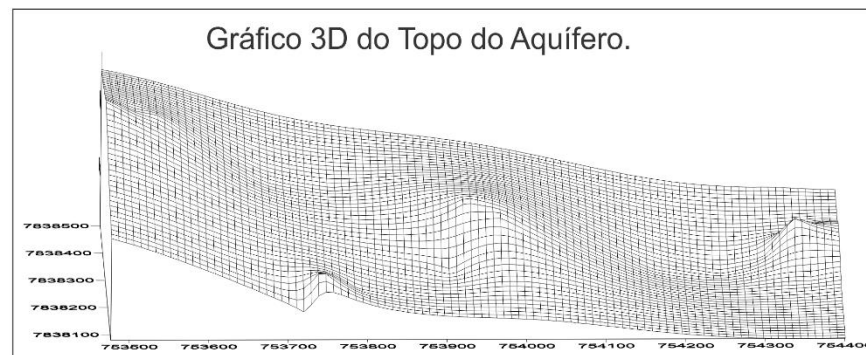
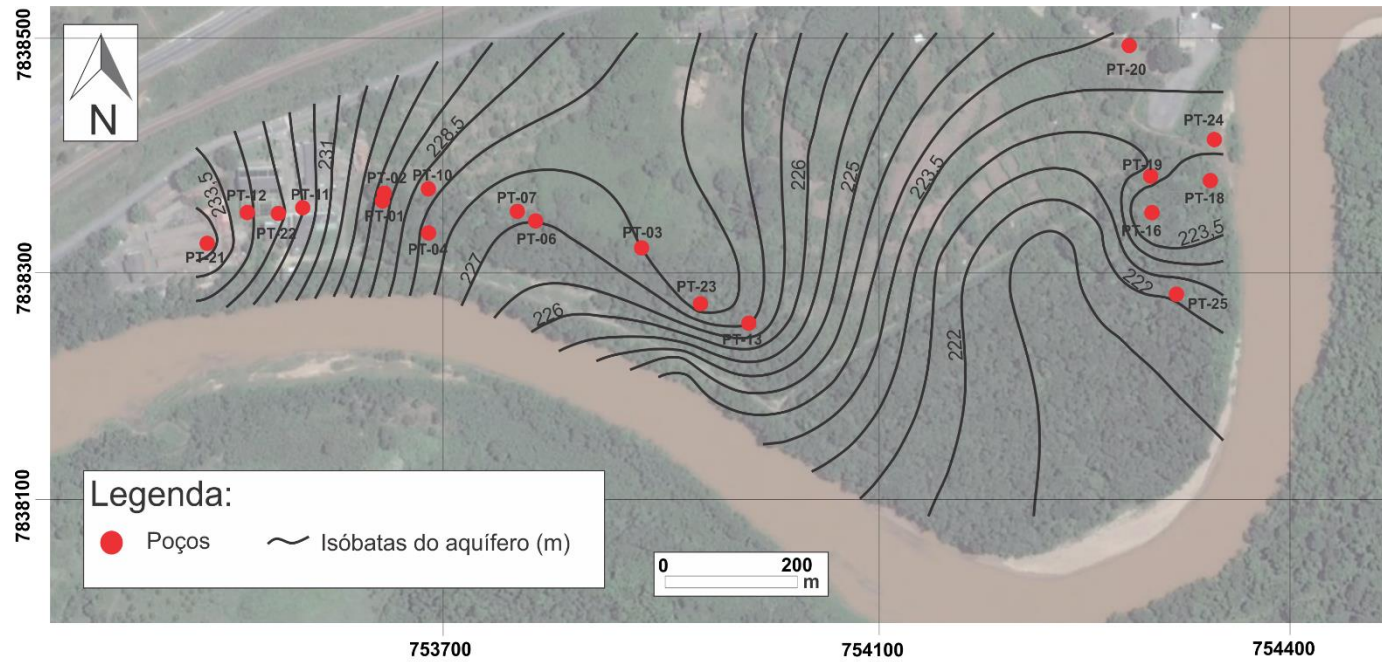
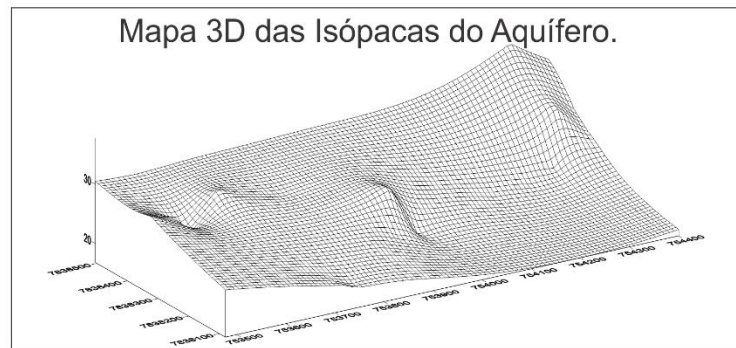
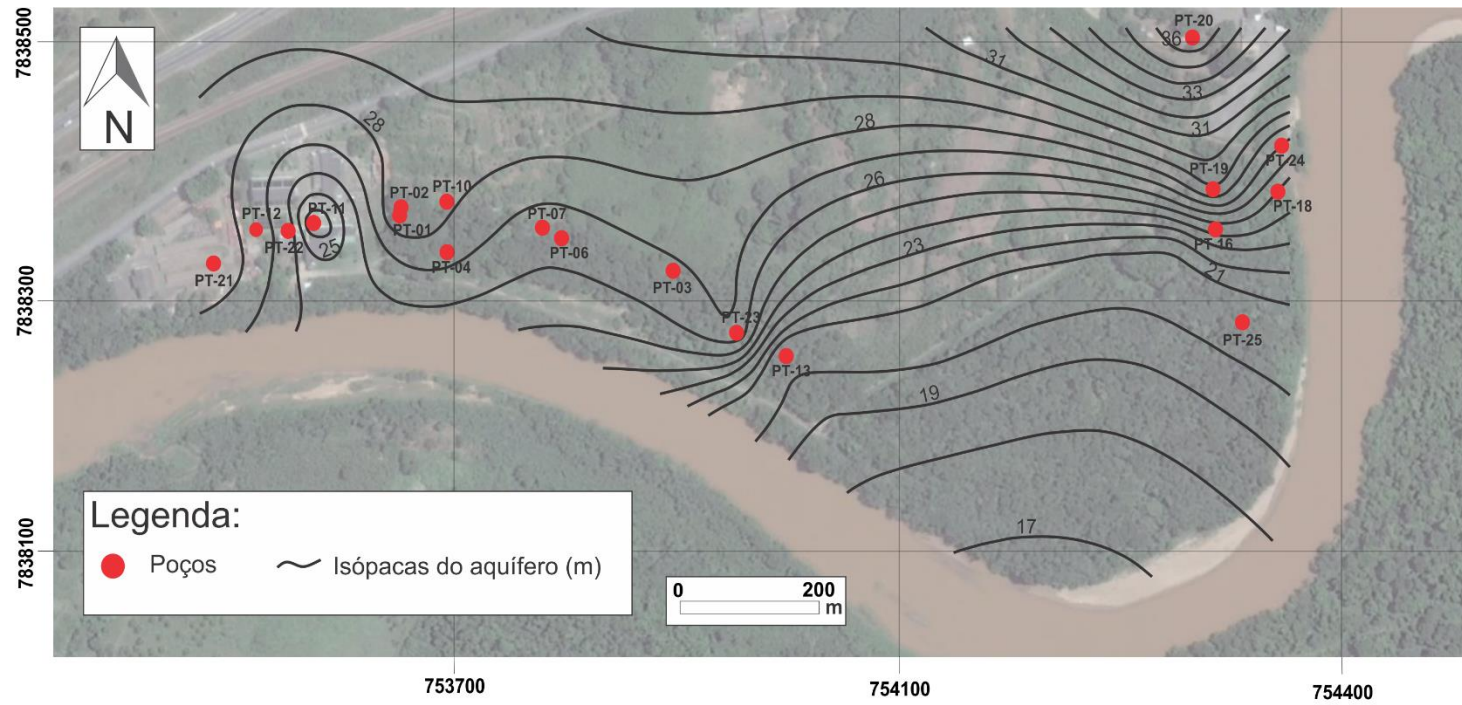


Figura 6: Mapa de isópacas do aquífero.

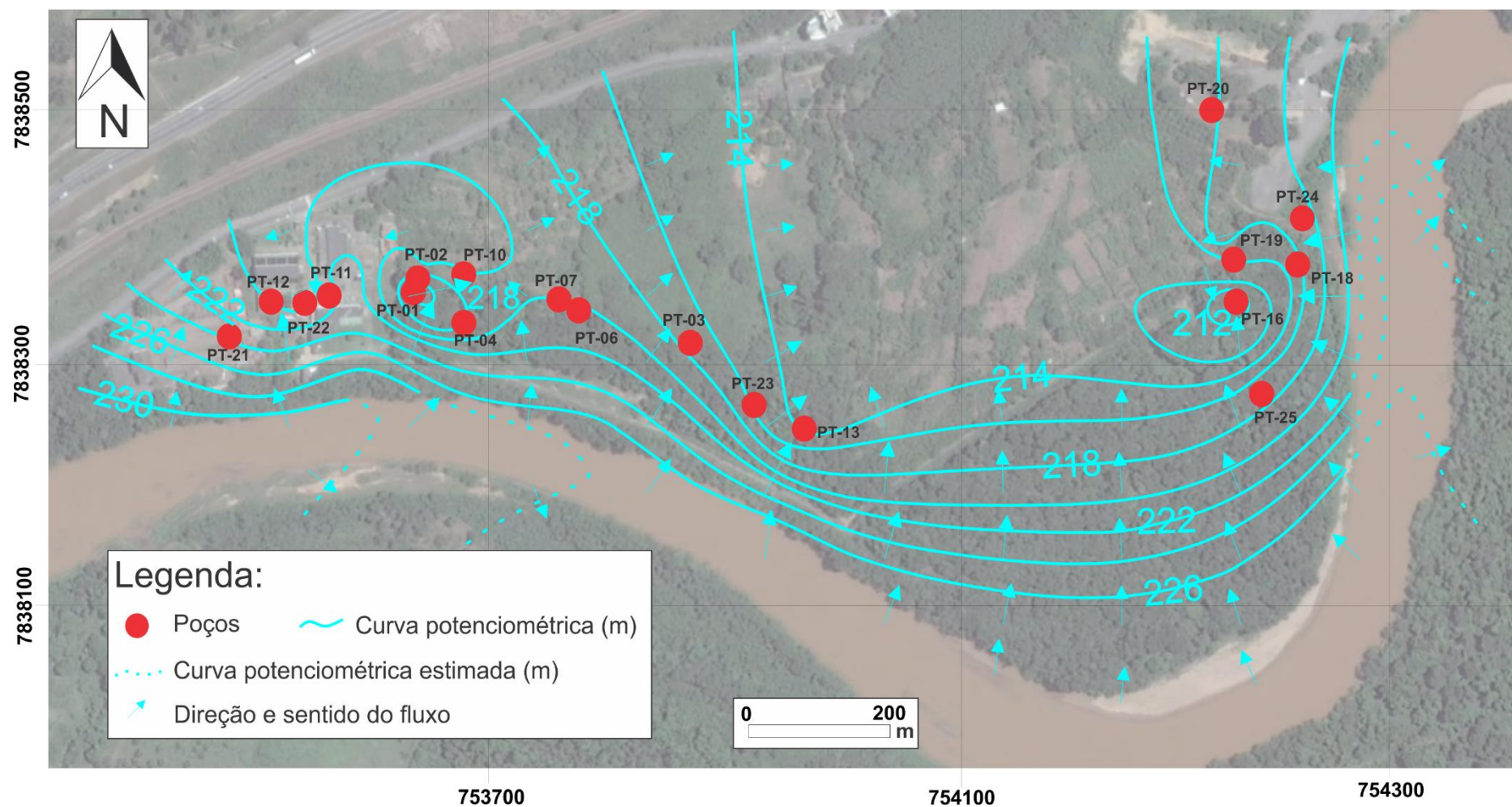


6.3 – SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA

A superfície potenciométrica do aquífero para valores de níveis dinâmicos medidos em fevereiro de 2016 (Figura 7) evidenciou a influência do rio Piracicaba no aquífero, visto que o fluxo da água vai do rio para o aquífero em um sentido e direção geral de S-N. No caso das linhas equipotenciais, estas indicam duas regiões distintas com cone de rebaixamento, resultado direto da extração de água com altas vazões, principalmente, próximas aos poços PT-01, PT-02 e PT-16. Devido a essas extrações, houve uma modificação do fluxo natural subterrâneo, ocasionando assim a convergência dos fluxos de água subterrânea para o centro desses cones.

Devido as extrações de água, não é possível afirmar se o rio Piracicaba é influente naturalmente ou se tornou influente por causa do bombeamento na região. Assim, para a confirmação dessa informação, seria necessário o desligamento dos poços por longos períodos com o intuito de voltar a ter fluxos naturais de água subterrânea nessa região e, dessa forma, realizar a coleta de dados de níveis d'água para a elaboração de um mapa potenciométrico mais preciso.

Figura 7: Mapa de superfície potenciométrica do aquífero.



6.4 – TESTE DE AQUÍFERO

Segundo Feitosa et al. (2008), a leitura da evolução do rebaixamento dos níveis dinâmicos nos testes de bombeamento devem ser feita em um poço de observação, para evitar que a zona de turbilhonamento da bomba influencie o nível dinâmico do poço, resultando em perdas de cargas hidráulicas e o consequente incremento dos rebaixamentos. Entretanto, os dados dos testes de bombeamento fornecidos pela empresa indicaram que as leituras dos rebaixamentos foram feitos apenas no próprio poço bombeado, o que pode acarretar em eventuais erros na hora de aplicar os métodos de Cooper & Jacob e Theis. Devido a isso, não foi possível realizar o método de Theis nos dados de 30 poços. O método de Cooper & Jacob foi realizado nos 30 poços, mas somente em 3 poços apresentaram bons resultados, sendo eles os PT-08, PT-09 e PT-10 (Tabela 1, Figuras 8, 9 e 10).

Para esses poços, o teste apresentou duração de 8 horas (480 minutos), a vazão do teste foi de 216 m³/h. Os valores de ΔS , T e K encontrados estão de acordo com a tabela abaixo e a espessura média utilizada foi de acordo com a espessura do aquífero da seção hidrogeológica A-A'. Onde $b = 28$ m.

Tabela 1: Valores de ΔS , T e K encontrados pelo método de Cooper & Jacob e o valor de b.

Poços	ΔS (m)	T (m ² /h)	$b_{\text{méd.}}$ (m)	K (m/h)
PT-08	0,072	549,00	28	19,6
PT-09	0,077	513,40	28	18,3
PT-10	0,070	564,77	28	20,2

Evidenciou-se os altos valores de transmissividade do aquífero nessa região (média de 542 m²/h) e de condutividade hidráulica (média de 19 m/h), que podem ser explicados pelo tipo de material arenoso e inconsolidado, ou seja, a água tende a fluir com uma maior facilidade entre as partículas. Além disso, deve-se levar em conta as limitações dessa etapa, já que neste caso os dados utilizados para a elaboração do método de Cooper & Jacob derivam de medições coletadas no próprio poço bombeado. Portanto, fica a sugestão de novos testes de aquíferos de, pelo menos, 24 h de duração, vazão constante e leitura da evolução dos níveis dinâmicos em, no mínimo, um poço de observação.

Figura 8: Método gráfico de Cooper & Jacob para a determinação da transmissividade (T), variação de rebaixamento (ΔS) e condutividade hidráulica (K), para o poço PT-08.

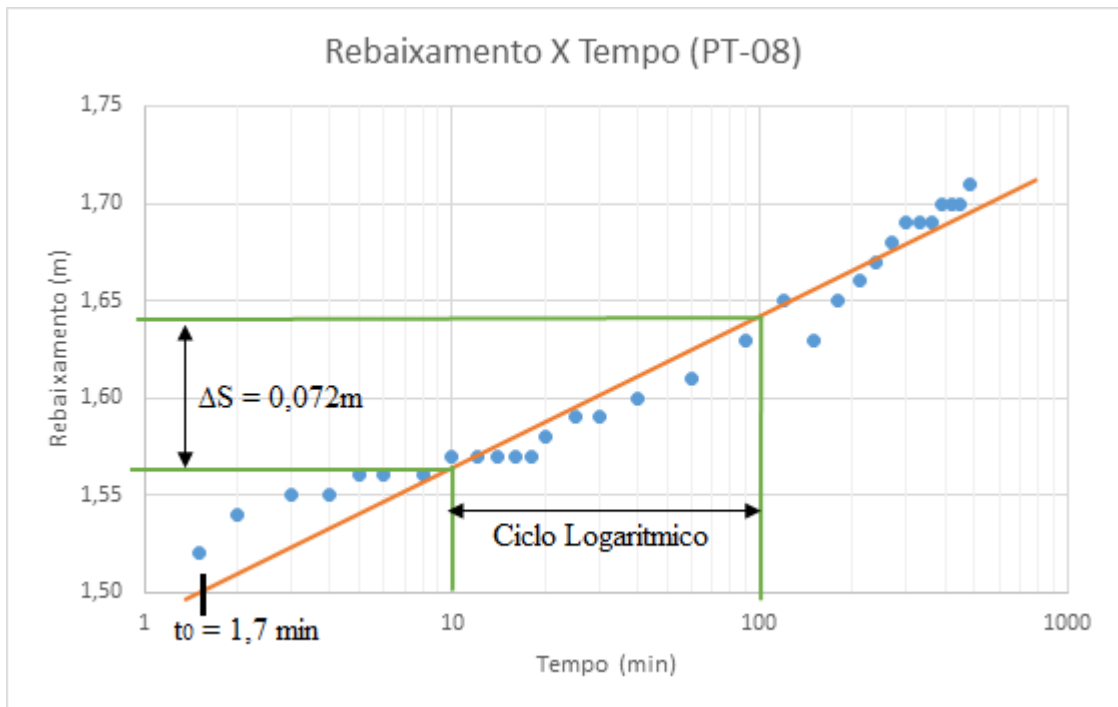


Figura 9: Método gráfico de Cooper & Jacob para a determinação da transmissividade (T), variação de rebaixamento (ΔS) e condutividade hidráulica (K), para o poço PT-09.

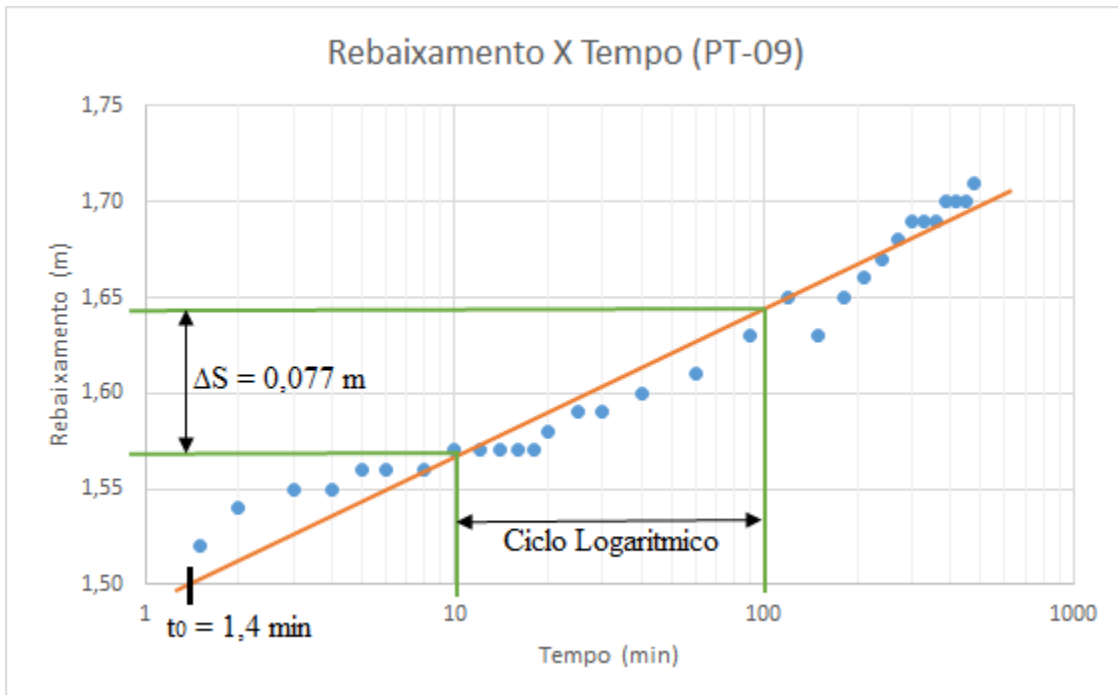
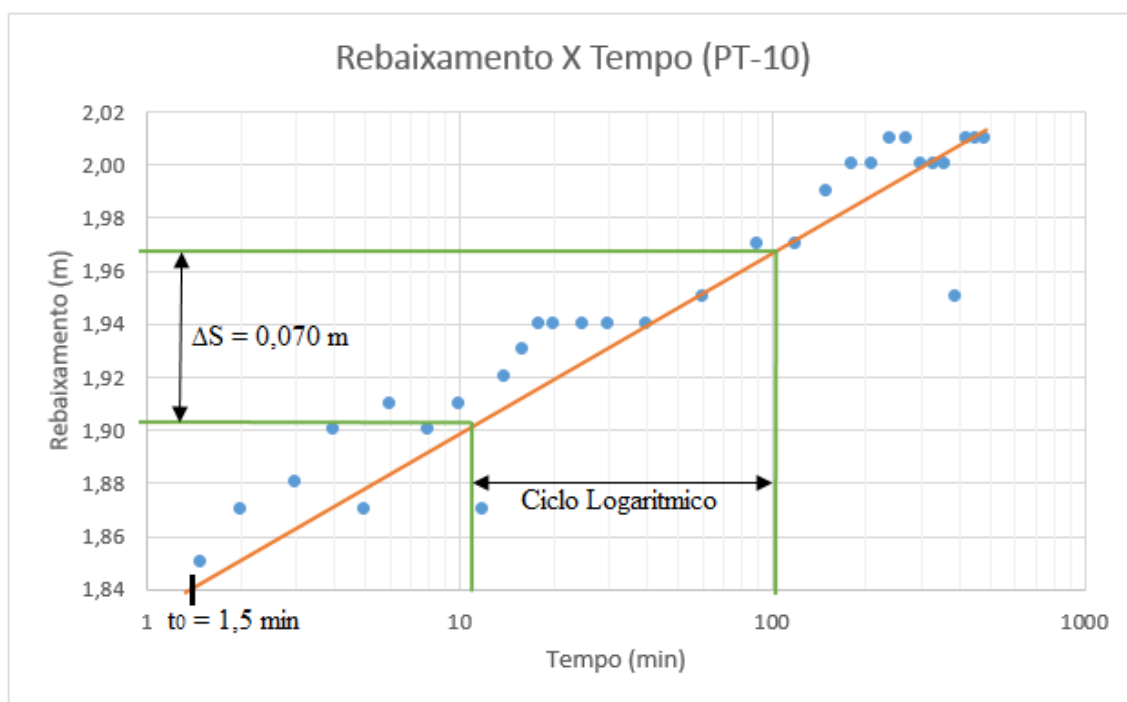


Figura 10: Método gráfico de Cooper & Jacob para a determinação da transmissividade (T), variação de rebaixamento (ΔS) e condutividade hidráulica (K), para o poço PT-10.



6.5 – ANÁLISES QUÍMICAS

No caso do alumínio (Figura 11), considerado uma substância organoléptica, ou seja, trata-se de uma substância que pode ser sentida pelos sentidos do consumidor. De acordo com artigo de qualidade de água e suas variáveis da CETESB, quando encontrado em altos níveis ou quando nosso organismo não tem capacidade de eliminá-lo, pode causar efeitos neurotóxicos, osteomalacia (enfraquecimento dos ossos devido desmineralização de ossos maduros) e seu acúmulo tem sido associado ao aumento de casos do Mal de Alzheimer. Para esse elemento, somente o poço PT-07 (Figura 11) apresentou alteração superior ao valor máximo permitido (VPM) de 0,20 mg/L (CONAMA 396, 2008).

Já o monitoramento do cianeto e cloreto são importantes, pois o primeiro, em altas doses pode causar danos à glândula tireoide e ao sistema nervoso. O cloreto, apesar de ser muito utilizado para a desinfecção das águas, se encontrado em altas quantidades, podem apresentar um efeito laxativo e conferir sabor à água (Silva e Araújo, 2003). No caso da área de estudo, não foram encontrados valores acima do VPM, de acordo com a CONAMA 396, para cianeto e cloreto.

O ferro (Figura 12), geralmente associado ao manganês, é facilmente perceptível pelos sentidos humanos, principalmente pela mudança de cor para amarelo que o elemento pode ocasionar na água, o que acarreta manchas em tecidos, deixa um sabor metálico na água, em comidas e bebidas, e pode prejudicar processos industriais e favorecer incrustações nos canos (Von Sperling, 1996). Assim como o alumínio, o ferro apresentou valores superiores ao seu máximo permitido estabelecido pela CONAMA 396, de 0,3 mg/L nos poços PT-01, PT-02, PT-10, PT-16, PT-19 e PT-20 (Figura 12).

A fluoretação é um processo utilizado com o objetivo de prevenir cáries, tecnologia recomendada pela Organização Mundial de Saúde e pelo Ministério da Saúde, mas é importante estabelecer os valores máximos dessa substância para evitar problemas como fluorose dental, que se trata de manchas brancas que podem surgir nos dentes. Já o sulfato, em altos valores, pode provocar um efeito laxante no consumidor. No caso da área de estudo, não foram encontrados valores acima do VMP para fluoretos e sulfatos (CONAMA 396, 2008).

O manganês (Figura 13), substância organoléptica, por estar associado ao ferro, confere também a água cor, sabor e odor, além de deixar mancha em tecidos e favorecer o processo de incrustações em canos. Caso esse elemento venha a acumular no corpo humano pela ingestão de águas com níveis excessivos, podem causar problemas ligados a doenças degenerativas do sistema nervoso central (Von, Sperling, 1996). Na região de estudo, os poços PT-01, PT-02, PT-07, PT-10, PT-11, PT-12, PT-19, PT-20 e PT-21 (Figura 13) apresentam valores superiores ao VMP de 0,1 mg/L estabelecido pela CONAMA 396.

O nitrato é um dos contaminantes que mais gera preocupação quando o assunto é água subterrânea e eles se originam normalmente de aplicações de fertilizantes, esterco animal e esgoto humano. Altas concentrações desse elemento podem causar em recém nascidos metahemoglobinemia, também conhecido como a síndrome do bebê azul e em adultos pode ser responsável por causar câncer, pois quando o nitrato é reduzido a nitrito, ele reage com aminas formando as nitrosamina, que trata-se de uma substância cancerígena (Varnier e Hirata, 2002). No caso da área de estudo, não foram encontrados valores superiores ao limite inferior estabelecido pela CONAMA 396 de 2008.

Já o potencial hidrogeniônico (pH), é importante o controle desse parâmetro, pois um pH muito baixo pode acarretar em corrosões e agressividades nas águas de abastecimento e o pH muito alto pode levar a incrustações nas tubulações de abastecimento (Von Sperling, 1996). A área de

estudo, esse parâmetro encontra-se dentro do estabelecido, com médias de 6,0 a 9,5 (Portaria 2.914, 2001).

Outros parâmetros importantes são a temperatura e a turbidez, a primeira é importante mantê-la à temperatura ambiente, pois quanto maior a temperatura maior a taxa de reações químicas, biológicas e baixa solubilidade de gases, o que pode acarretar em odores desagradáveis na região (Dezuane, 1997 *apud* Libânio, 2010). Já a turbidez, representa o grau de interferência da passagem de luz através da água, e isso é constituído principalmente pelos sólidos em suspensão presentes nessa água, que tem como origem partículas de rocha, algas, despejos domésticos ou industriais (Von Sperling, 1996). É importante manter esses parâmetros dentro dos valores estabelecidos para evitar que esses sólidos em suspensão sirvam como abrigo para microrganismos patogênicos, diminuindo assim a eficiência do processo de desinfecção, que ainda pode estar também associado a compostos tóxicos. E para a área de estudo, esses parâmetros encontram-se dentro do padrão estabelecidos, que são em média 25 °C para a temperatura e 5,0 uT para turbidez na rede de distribuição (Portaria 2.914, 2001).

Por fim, as bactérias presentes no grupo coliformes totais não são bactérias patogênicas, mas mesmo assim, de acordo com a Portaria 2914, caso a água contenha a presença dessas bactérias, a água torna-se inviável para o consumo humano. Para os poços estudados, apresentaram ausência para coliformes totais.

Como pode-se notar, os poços mais próximos a região da sede da COPASA apresentam maiores valores para o alumínio, para o ferro e para o manganês. Os índices de concentrações são baixos, assim pode ser que esteja ocorrendo uma anomalia geológica que pode estar fazendo com que se evidencie essas alterações na amostra da água. Outra possibilidade é que possa estar ocorrendo alguma contaminação antrópica decorrendo da instalação da Estação de Tratamento de Água da COPASA nessa região, mas torna-se difícil afirmar que a área é mais susceptível a infiltração, pois os poços PT-01, PT-07, PT-10 e PT-12 não possuem perfil litológico.

De forma geral, a água da região estudada se encontra dentro dos padrões estabelecidos pela CONAMA 396 e Portaria 2.914, pois não foram observados valores anômalos para cianeto, cloreto, fluoreto, sulfatos, nitrato, nitrito, pH, temperatura, turbidez e coliformes totais. No caso das concentrações alumínio e ferro, apesar de um pouco alteradas, com tratamento convencional, a água pode voltar a se enquadrar dentro dos padrões estabelecidos de acordo com a CONAMA 396 de 2008 e a Portaria 2.914 de 2001. Assim, a COPASA deve ter um pouco de atenção para os casos do alumínio, ferro e especialmente o manganês, que se

encontram com valores acima dos valores máximo permitido, de acordo com a CONAMA 396/08 para que não ocorra problemas de saúde da população ligadas ao consumo e acúmulo de manganês no corpo humano.

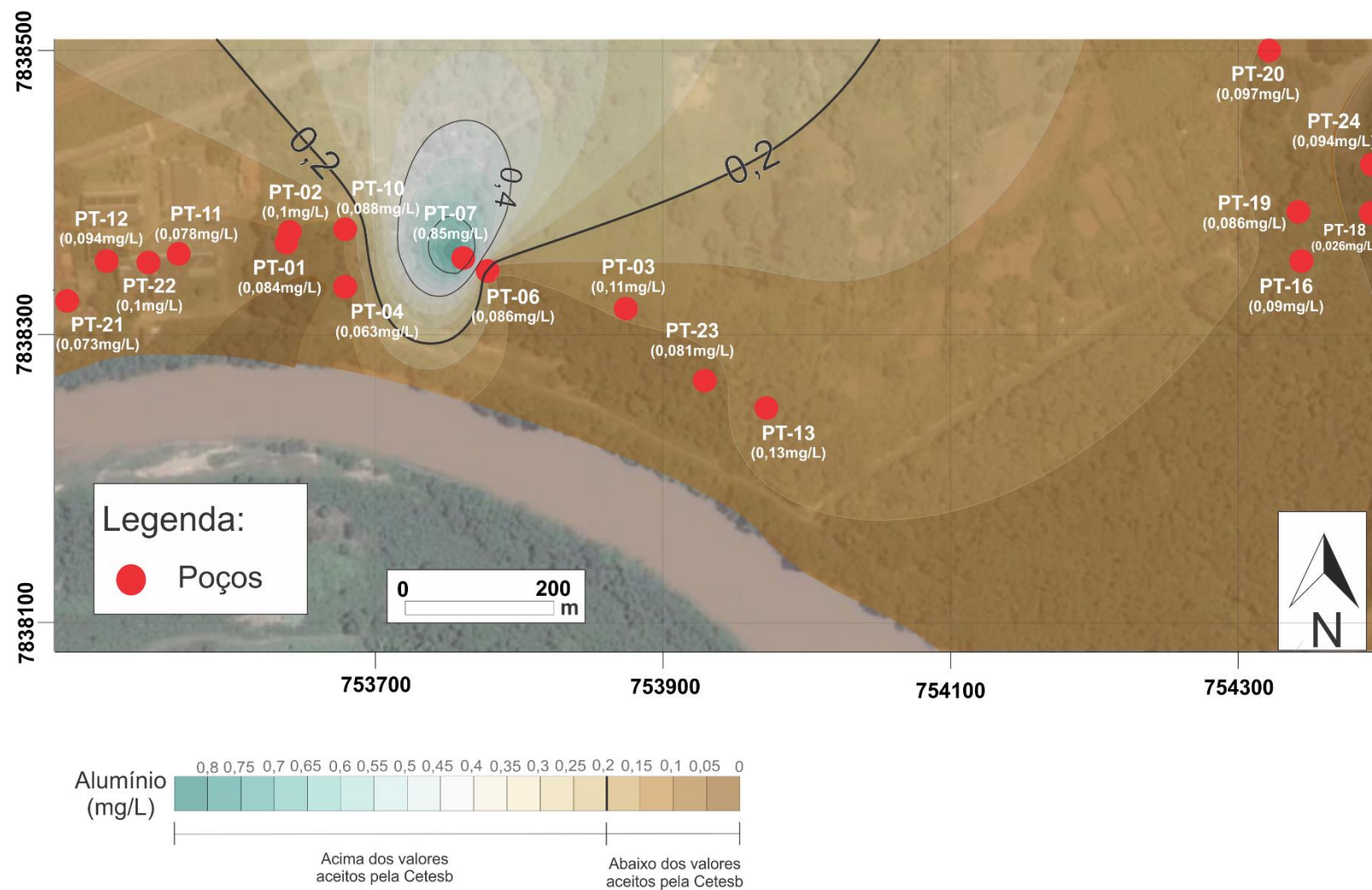


Figura 11: Mapa de isovalores de concentração de alumínio.

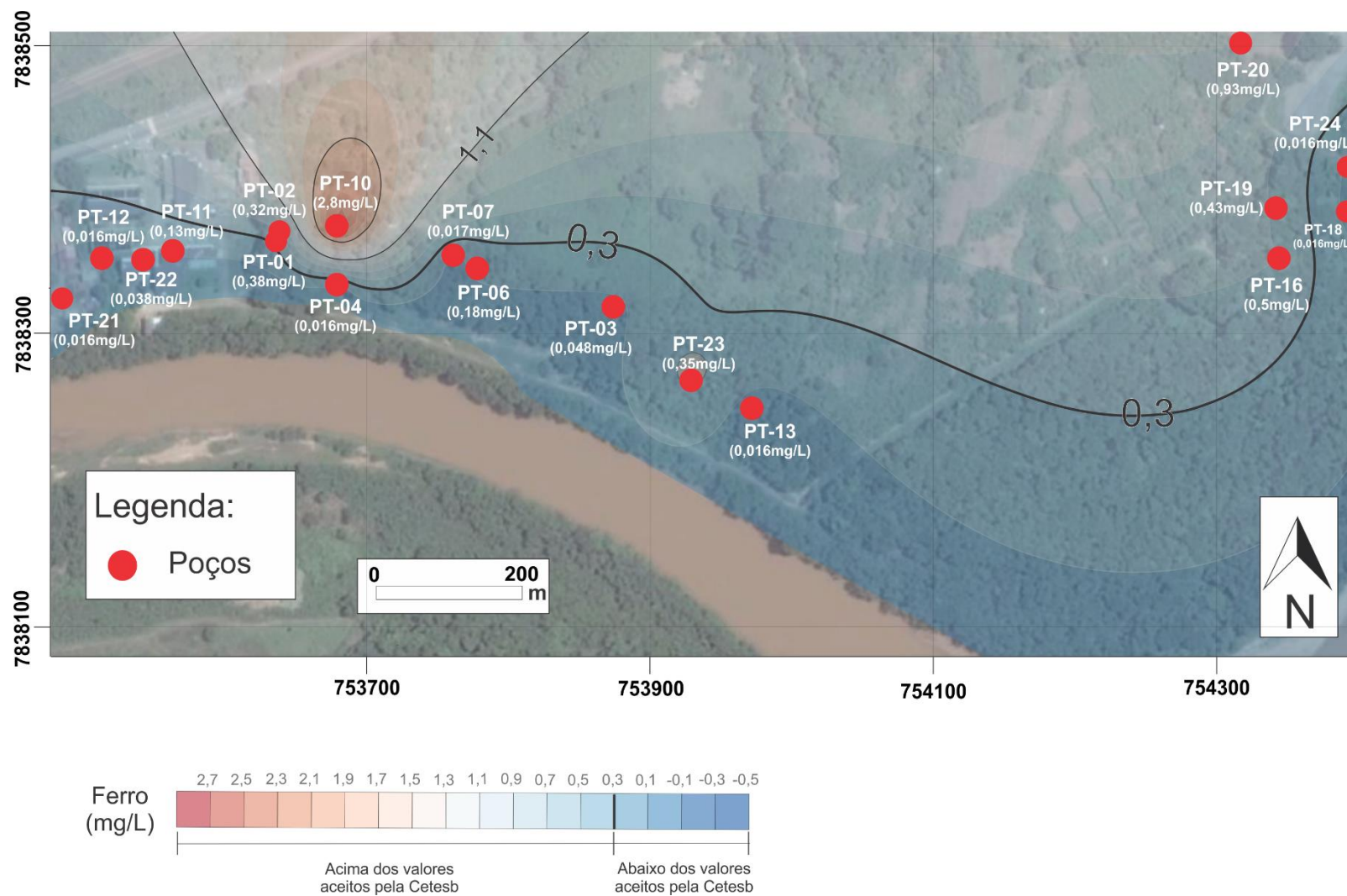


Figura 12: Mapa de isovalores de concentração do ferro.

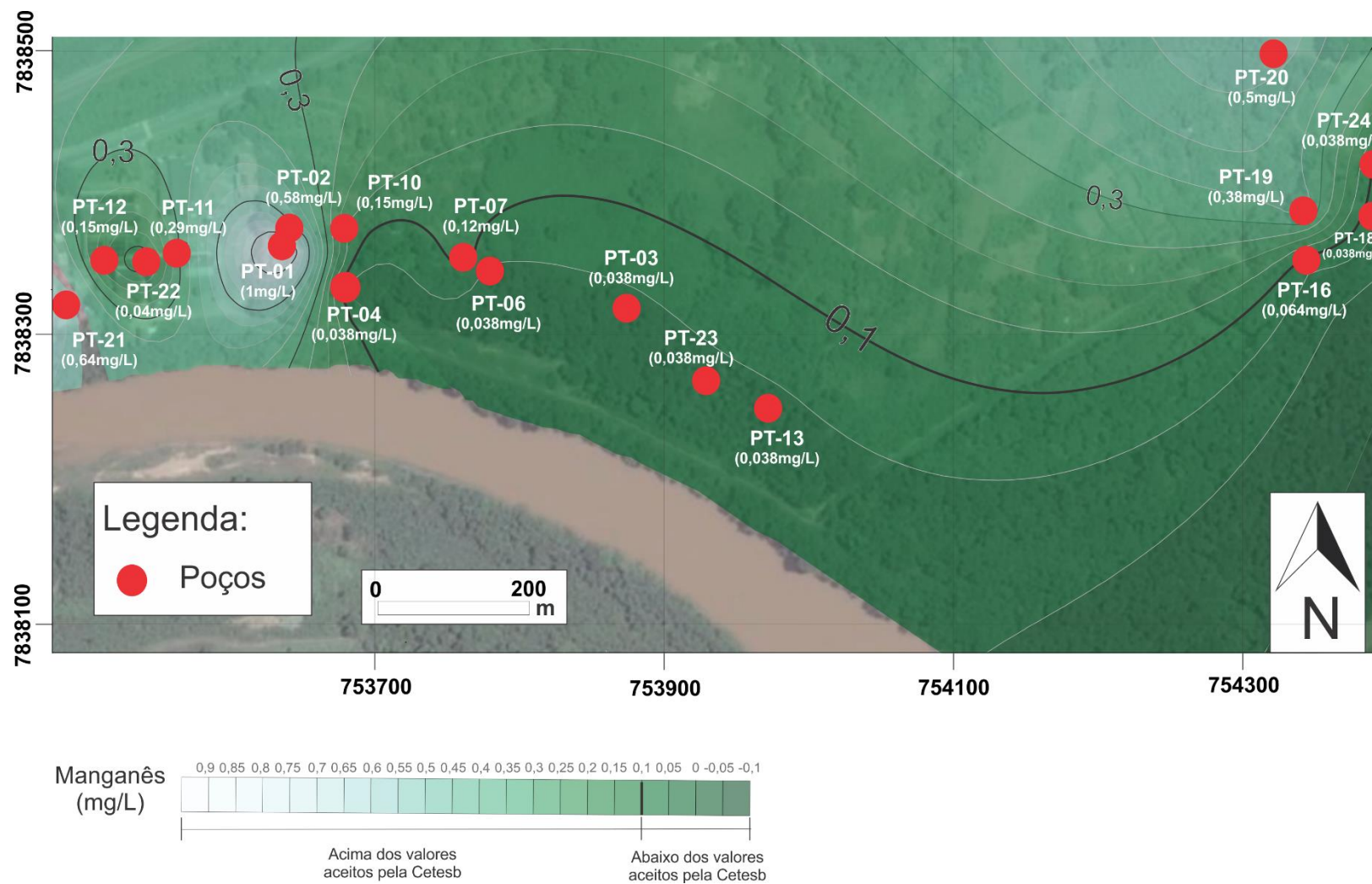


Figura 13: Mapa de isovalores de concentração do manganês.

7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Desse modo, na região de estudo, o aquífero é do tipo não confinado, com uma pequena camada argilosa, que atua mais como um protetor natural do aquífero do que uma camada impermeável. O aquífero conta ainda com a influência do rio Piracicaba, entretanto, não se pode dizer se essa influência ocorre naturalmente ou é devido a influência do bombeamento realizado na região, tornando-se o rio responsável por parte da recarga que ocorre nesse aquífero. O aquífero conta com uma transmissividade média de 542 m²/h e uma condutividade hidráulica média de 19 m/h.

Os dados referentes aos testes de bombeamento desses poços são os que mais necessitam de atenção, pois tratam-se de dados antigos, realizados por diferentes pessoas ou empresas, sendo esses testes de no máximo 8 horas e no próprio poço bombeado, fazendo com que a zona de turbilhonamento influencie nos dados obtidos no teste, o que acarreta imprecisões na hora da aplicações dos métodos de Cooper & Jacob e Theis.

Assim, como sugestões para empresa, é importante realizar um monitoramento mais preciso para que se tenha uma compreensão mais clara da região de estudo. Torna-se importante realizar uma melhor descrição do perfil de solo desses poços e elaborar o perfil litológico dos poços que não apresentam essa descrição, no caso, especialmente, dos poços PT-01, PT-07, PT-10 e PT-12, por se tratar de uma região onde está localizada concentrações maiores de alumínio, ferro e manganês.

Os dados de qualidade da água, no geral, estão dentro dos padrões estabelecidos, ou seja, a água encontra-se em boas condições para passar por um tratamento convencional antes de ser distribuída para a população, devendo ter atenção apenas para os valores referentes ao manganês, para que não ocorra qualquer problema futuro decorrente dessa substância.

O trabalho contou com algumas limitações no decorrer da sua elaboração, pois dos 30 poços, alguns não contavam com os dados de localização, o que dificultou a utilização de alguns dados na hora de realizar a descrição da área de estudo. Outros poços não contavam com a descrição do perfil litológico, o que se tornou um obstáculo tanto na hora da elaboração da seção hidrogeológica, quanto na hora de analisar se determinadas concentrações são decorrentes de anomalias geológicas ou se tem como origem outros tipos de fontes. Os outros poços que continham descrição contavam com uma descrição que não seguia um padrão, o que pode ser

justificado pelas diferentes empresas e pessoas que realizaram a descrição do mesmo, tornando-se um pouco difícil interligar os perfis.

Por fim, é importante que a COPASA realize o desligamento dos poços por um período maior, para realizar a medição do nível d'água natural do aquífero e compreender melhor o fluxo subterrâneo do local, bem como para realizar o teste de bombeamento em um período de 24 horas para cada poço, por meio de um poço de observação. Assim, será possível obter dados mais confiáveis para que possa haver uma compreensão mais exata do fluxo subterrâneo nessa região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AQTESOLV. Cooper and Jacob Solution for Confined Aquifers. Disponível em <<http://www.aqtesolv.com/cooper-jacob.htm>>. Acesso em: 13 de Outubro de 2017.

AQTESOLV. Theis Solutions for Nonleaky Confined Aquifers. Disponível em <<http://www.aqtesolv.com/theis.htm>>. Acesso em: 13 de Outubro de 2017.

BARROS, C. G. D. *et al.* Superfície Potenciométrica e Possíveis Fontes de Contaminação do Aquífero Parecis no Município de Vilhena – RO, BR. Revista de Monografias Ambientais – REMOA, v. 15, n. 1, p. 74-84, jan-abr, 2016.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Norma de Qualidade de água para Consumo Humano*. Portaria 2914. Dezembro de 2011.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Apêndice D. Índice de Qualidade de Águas. São Paulo. Disponível em <<http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-D-%C3%8Dndices-de-Qualidade-das-%C3%81guas.pdf>>. Acesso em: 07 de Fevereiro de 2018.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Qualidade de Água e suas Variáveis. São Paulo. Disponível em <<http://www.quimlab.com.br/PDF-LA/Artigo%20CETESB%20Qualidade%20de%20%C1gua%20e%20suas%20Vari%E1veis.doc>>. Acesso em: 19 de Fevereiro de 2018.

CHAVES, M. L. S. C.; ANDRADE, K. W.; BENITEZ, L. *Geologia integrada das Folhas Jequitaiá, Bocaiúva e Montes Claros (1:100.000), norte de Minas Gerais*. Geonomos, Belo Horizonte, p. 1-7, 2011.

CLIMA-DATA. Clima: Ipatinga. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/location/2884/>>. Acesso em 12 de Março de 2017.

COOPER, H.H.; JACOB, C. E. *A generalized graphical method for evaluating formational constants and summarizing well field history*. Transactions American Geophysical Union, v. 27, p. 526-634, 1946.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil: Termos Hidrogeológicos Básicos. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede->>

Ametista/Canal-Escola/Termos-Hidrogeologicos-Basicos-631.html>. Acesso em 10 de Outubro de 2017.

DEMETRIO, J. G. A.; CORREIA, L. C.; SARAIVA, A. L. *Utilização de imagens SRTM na Confecção de Mapas Potenciométricos*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 14, 2006. *Anais...* São Paulo, 2006.

FEITOSA, F. A. C. et al. *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. 3. Ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID. 812p. 2008.

FILHO, J. P.; ALENCAR, C. A. *Estudos Hidrogeológicos e de Modelagem Numérica de Fluxo*. Rio de Janeiro. Relatório Ecologus. 2010. 47 p.

FORD, D.C., WILLIAMS, P.W., 2007. *Karst geomorphology and hydrology*. 2nd edn. John Wiley & Sons, Chichester, U.K. 562 p.

FREEZE, A.R., CHERRY, J.A., 1979. *Groundwater*: Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, 604 p.

GALVÃO, P. H. F. *Caracterização Hidrogeológica e Implantação de um Modelo de Gestão de Recursos Hídricos Subterrâneos para Aquíferos Cársticos, no Município de Sete Lagoas (MG)*. 2015. Dissertação (Recursos Minerais e Hidrogeologia). Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo. 2015.

HASUI, Y. et al. *Geologia do Brasil*. 1ª edição. Brasil: BECA, 2013. 850 p.

HYDROLOGY. Virtual hydrologists Project: Robert E. Horton. Disponível em: <<http://hydrology.agu.org/virtual-project-robert-e-horton-2/>>. Acesso em 05 de Outubro de 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2016. *Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2016*. Acesso em 26 de setembro de 2017.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. *Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Piracicaba – PARH Piracicaba*. Maio, 2010.

LIBÂNIO, M. *Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água* 3ª Edição. São Paulo: Editora Átomo. 2010. 494 folhas.

MACHADO, D. A. *Caracterização Hidrogeológica e Vulnerabilidade Natural das Águas Subterrâneas no Entorno do Centro Nacional de Pesquisa Milho e Sorgo – Sete Lagoas/MG*. 2011. 230 f. Dissertação (Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Escola de Engenharia – Universidade Federal de Minas Gerais. 2011.

MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA. *Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil*. Belo Horizonte, 2000.

MOURÃO, M. A. A. *Caracterização Hidrogeológica do Aquífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero, MG*. 2007. 321 f. Tese (Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Escola de Engenharia – Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais. 2007.

PREFEITURA MUNICIPAL DE IPATINGA. *Plano de Saneamento Básico de Ipatinga*. Ipatinga, 2016.

SILVA, R. C. A., ARAUJO, T. M. *Qualidade da água do manancial subterrâneo em área urbanas de Feira de Santana (BA)*. Disponível em: <https://www.scielo.org/article/ssm/content/raw/?resource_ssm_path=/media/assets/csc/v8n4/a23v8n4.pdf>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2018.

SOARES, R. C. V. *Caracterização do Fluxo Subterrâneo das Águas na Porção Sudoeste da Bacia Representativa de Juatuba*. 2010. 162 f. Dissertação (Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Escola de Engenharia – Universidade Federal de Minas Gerais. 2010.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. Instituto de Geociências. *Anuário do Instituto de Geociências*. Rio de Janeiro, 2005. 102-115 p.

VARNIER, C., HIRATA, R. *Contaminação da água subterrânea por nitrato no parque ecológico do tietê – São Paulo, Brasil*. rev. Águas Subterrâneas. nº 16. Maio, 2002.

WOLFF, G. et al. *Caracterização Hidrogeológica e Aspectos Qualitativos das Águas Subterrâneas da Área do Aterro Sanitário do Vale do Aço, MG*. v. 6, n. 3, p. 003-014, set./dez. 2009.

ANEXOS

Anexo I: Tabela com dados gerais utilizados para elaboração dos mapas potenciométrico, isóbatas e isópacas.

ID	ID COPASA	COORDENADAS UTM		ELEVAÇÃO	N.D. (m)	Carga	Profundidade	Profundidade	ESPESSURA
		X (m)	Y (m)	Google Earth (m)	15/02/2017	Hidraulica (m)	Topo Aquifero (m)	Base do Aquifero (m)	DO AQUIFERO (m)
PT-01	C-13	753638	7838364	233,8	20,65	213,15	229,2	199,1	30,1
PT-02	C-14	753639	7838367	233,5	13,00	220,50	229,2	199,1	30,1
PT-03	C-15	753874	7838318	232,4	15,20	217,20	227,5	199,7	27,8
PT-04	C-16	753679	7838333	231,5	13,65	217,85	227,8	199,4	28,4
PT-06	C-18	753778	7838344	230,5	10,70	219,80	227	199,6	27,4
PT-07	C-19	753761	7838353	230,5	10,80	219,70	227	199,6	27,4
PT-10	C-22	753679	7838373	232,2	11,25	220,95	228,2	199,1	29,1
PT-11	C-23	753563	7838356	236	12,00	224,00	232	208,2	23,8
PT-12	C-24	753513	7838351	238,3			233	204,6	28,4
PT-13	C-27	753972	7838249	231	18,65	212,35	227,1	207	20,1
PT-16	C-31	754344	7838351	225	17,55	207,45	225	199,6	25,4
PT-18	C-33	754397	7838381	225	10,00	215,00	223,9	198	25,9
PT-19	C-35	754342	7838385	225,2	9,25	216,95	223	192,6	30,4
PT-20	C-36	754323	7838505	225,8	10,60	215,20	224	186	38
PT-21	C-37	753477	7838323	237,5	15,70	221,80	234,3	204,3	30
PT-22	C-38	753542	7838350	236,8	18,90	217,90	232,7	204,8	27,9
PT-23	C-39	753929	7838268	231,9	15,50	216,40	227,9	199,7	28,2
PT-24	C-42	754401	7838418	226,2	8,80	217,40	223,3	195,6	27,7
PT-25	C-43	754366	7838277	225	8,90	216,10	222	201	21

Anexo II: Tabela com dados gerais de qualidade da água.

ID	TEMPERATURA (°C)	Coliformes	Alumínio	Cianeto	Cloreto	Ferro	Fluoretos
		Totais	VMP: 0,20 mg/L	VMP: 0,07 mg/L	VMP: 250 mg/L	VMP: 0,3 mg/L	VMP: 1,5 mg/L
		2º/2015	2º/2015	2º/2015	2º/2015	2º/2015	2º/2015
PT-01	24	A	0,084	ND	8,8	0,38	0,16
PT-02	24	A	0,1	ND	5,8	0,32	0,15
PT-03	24	A	0,11	ND	6,5	0,048	0,18
PT-04	24	A	0,063	ND	6,3	<0,016	0,19
PT-06	24	A	0,086	ND	10	0,18	0,18
PT-07	24	A	0,85	ND	4,2	<0,017	0,17
PT-10	24	A	0,088	ND	7,5	2,8	0,16
PT-11	24	A	0,078	ND	5	0,13	0,15
PT-12	24	A	0,094	ND	8,7	<0,016	0,17
PT-13	24	A	0,13	ND	4,4	<0,016	0,19
PT-16	25	A	0,09	ND	3,4	0,5	0,093
PT-18	25	A	0,026	ND	2,9	<0,016	0,15
PT-19	25	A	0,086	ND	4,9	0,48	0,12
PT-20	25	A	0,097	ND	6,8	0,93	0,098
PT-21		A	0,073	ND	13	<0,016	0,16
PT-22	24	A	0,1	ND	8,7	0,038	0,2
PT-23	24	A	0,081	ND	6,6	0,35	0,22
PT-24	25	A	0,012	ND	4,9	<0,016	0,15

VMP: Valor Máximo Permitido estabelecido pela CONAMA 396/08 e Portaria 2.914/11

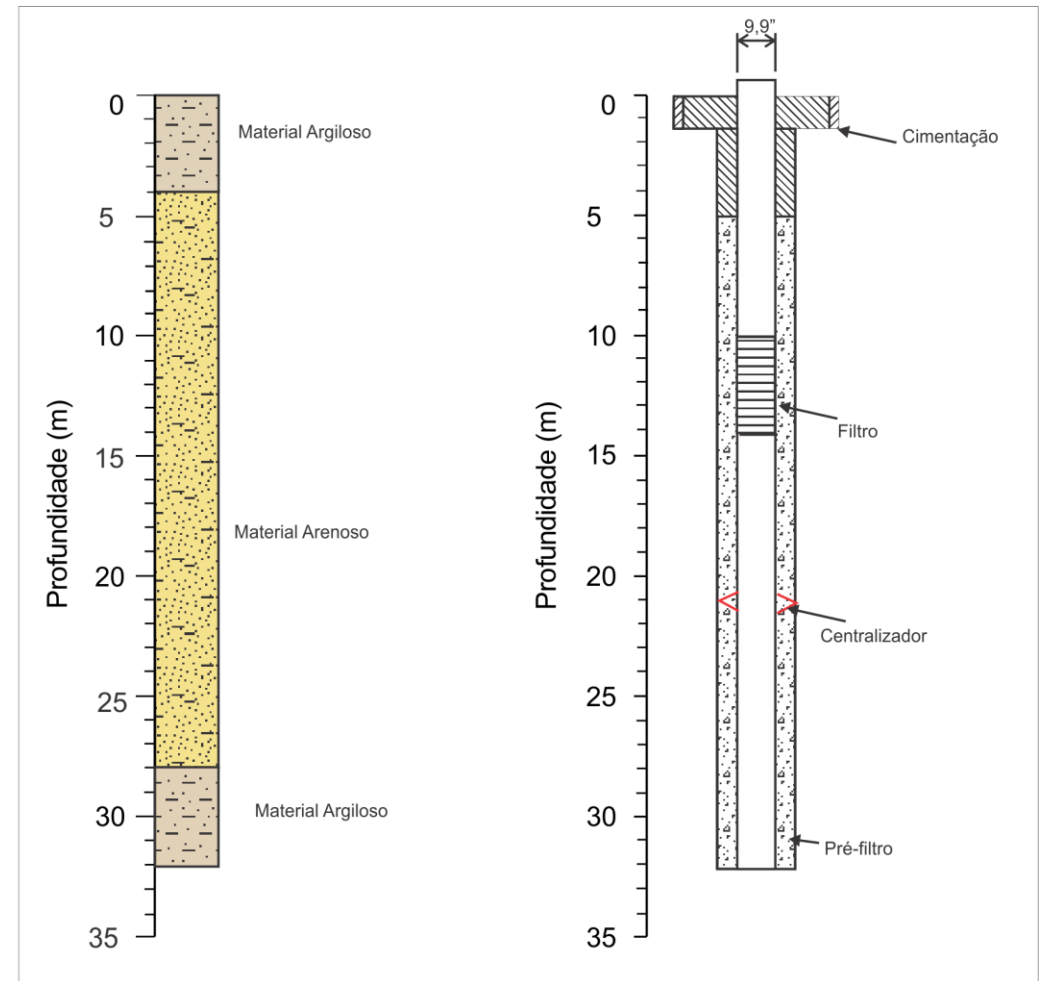
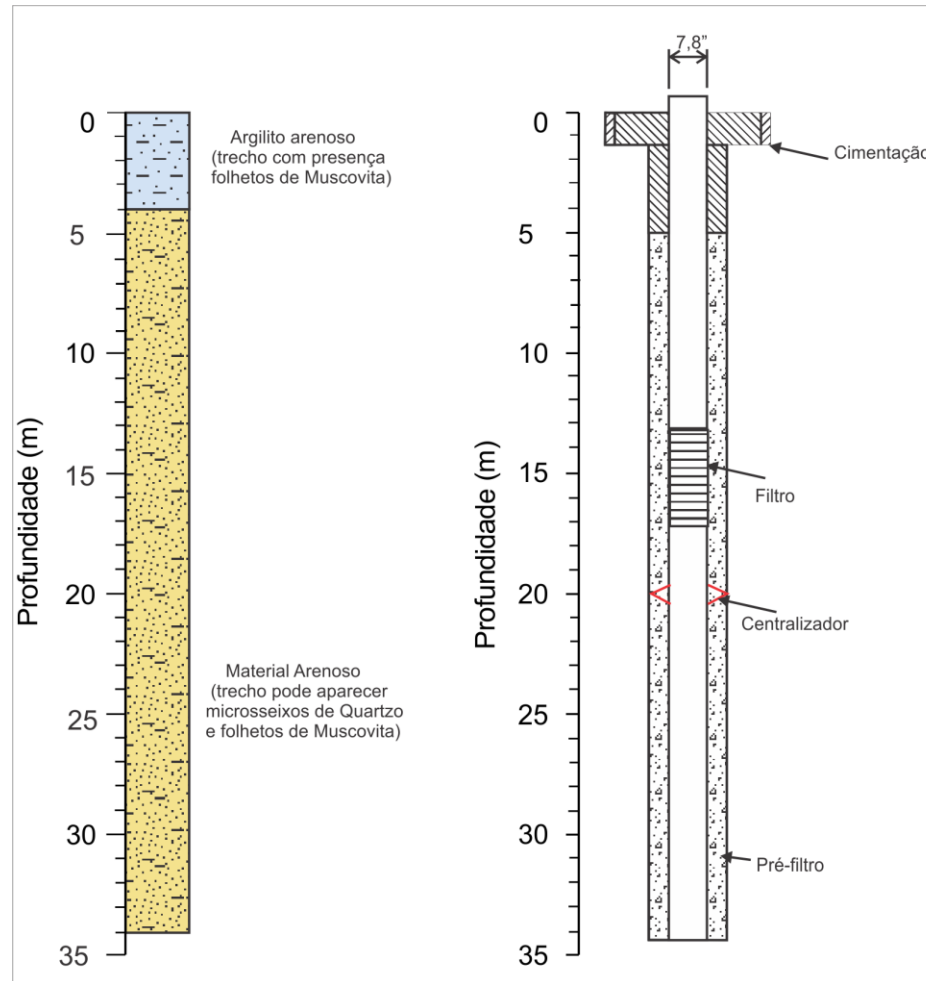
Anexo II: Tabela com dados gerais de qualidade da água (continuação).

ID	Manganês	Nitrato	Nitrito	pH	Sólidos Dissolvidos	Sulfatos	Turbidez
	VMP: 0,1 mg/L	VMP: 10 mg/L	VMP: 1,0mg/L	VMP: 6,0 à 9,5	VMP: 1000 mg/L	VMP: 250 mg/L	VMP: 5,0 uT
	2º/2015	2º/2015	2º/2015	2º/2015	2º/2015	2º/2015	2º/2015
PT-01	1	0,4	<0,005	7,9	88	10	0,97
PT-02	0,58	0,3	0,007	7,9	76	9,8	0,55
PT-03	<0,038	0,2	<0,005	7,9	75	10,5	0,5
PT-04	<0,038	0,4	<0,005	7,9	73	10,2	0,32
PT-06	<0,038	0,3	<0,005	7,8	71	10,3	0,36
PT-07	0,12	0,4	<0,005	7,7	69	9,5	0,39
PT-10	0,15	0,4	<0,005	7,7	70	10,5	2,2
PT-11	0,29	0,8	0,058	7,8	72	9,2	0,17
PT-12	0,15	0,8	<0,005	7,8	74	9,9	0,22
PT-13	<0,038	0,4	<0,005	7,8	71	10,6	0,71
PT-16	0,064	0,1	<0,005	7,8	59	8,9	0,63
PT-18	<0,038	0,5	<0,005	7,7	66	9,2	0,36
PT-19	0,38	0,3	<0,005	7,8	63	11	0,98
PT-20	0,5	0,4	<0,005	7,8	55	9,2	5,4
PT-21	0,64	0,2	<0,005	7,8	86	9,4	0,36
PT-22	0,04	0,3	<0,005	7,8	74	9,9	0,5
PT-23	<0,038	0,2	<0,005	7,8	72	9	1,4
PT-24	<0,038	0,6	0,007	7,8	69	10	0,34

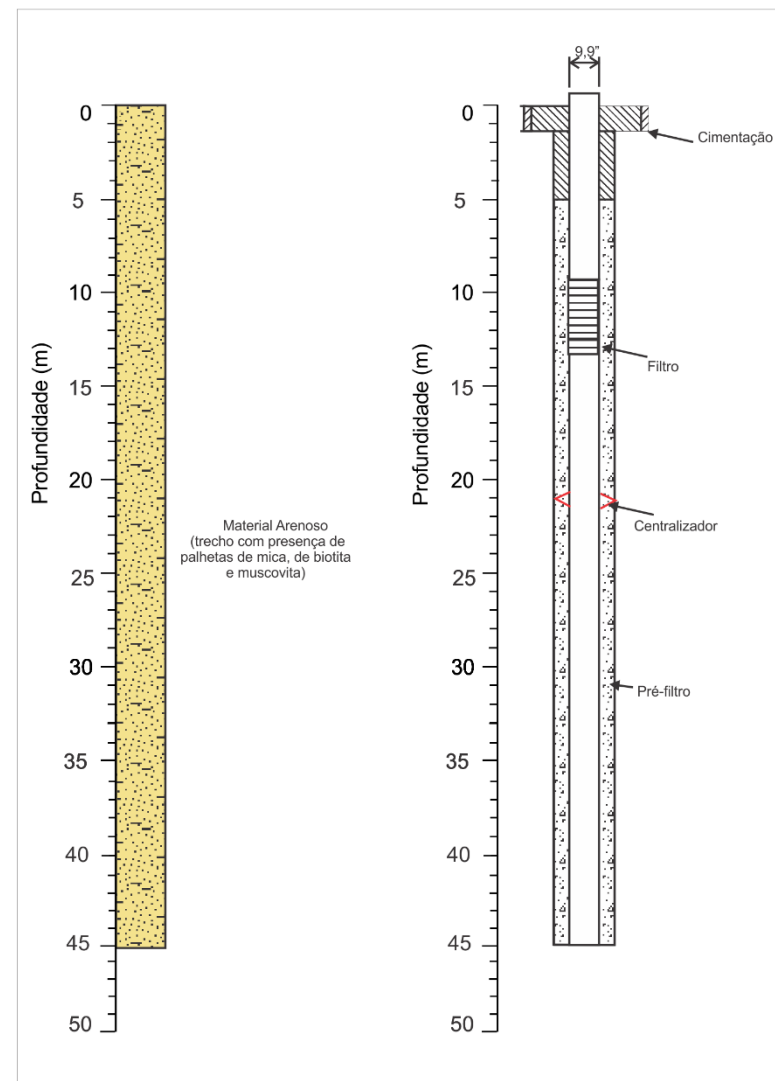
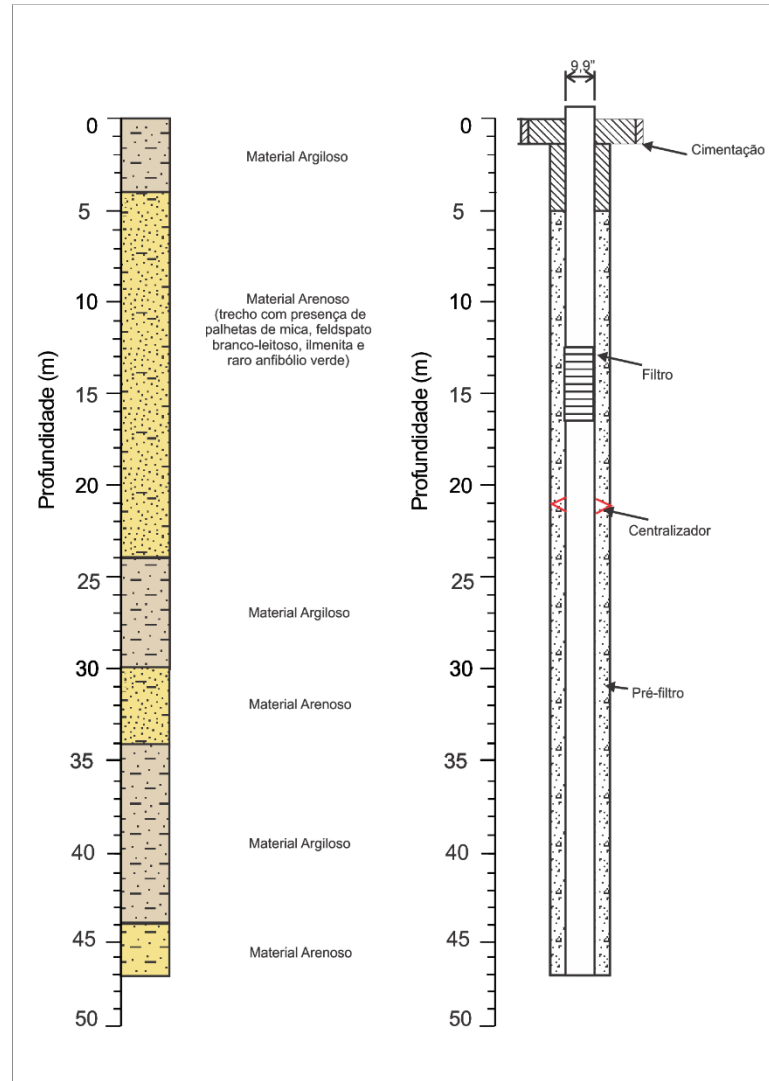
VMP: Valor Máximo Permitido estabelecido pela CONAMA 396/08 e Portaria 2.914/11

Anexo III: Perfis litoconstrutivos dos poços.

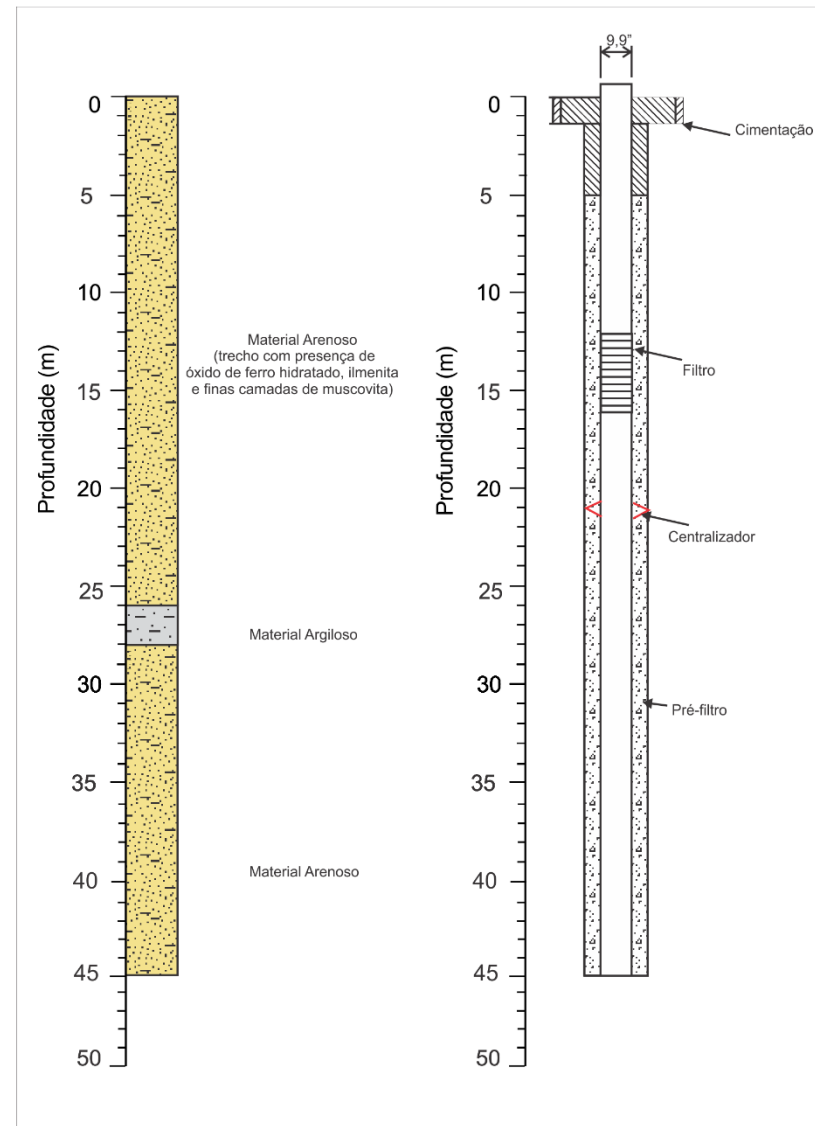
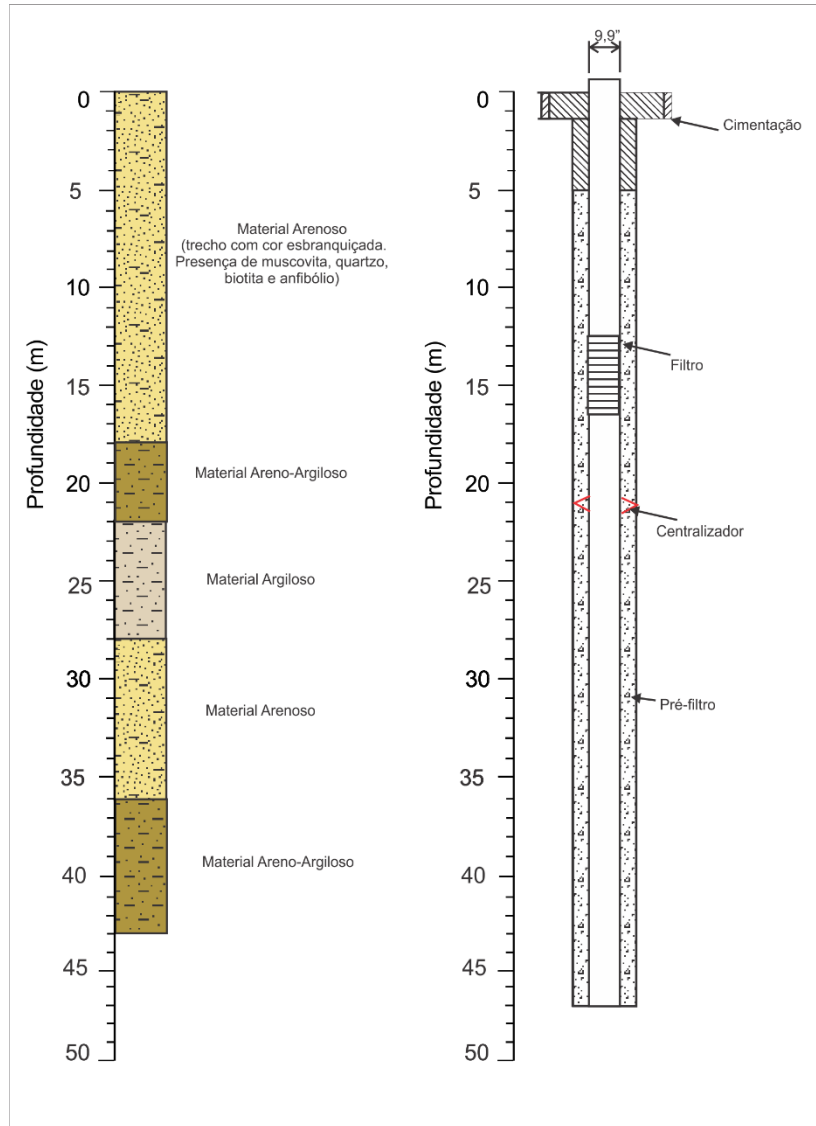
PT-02 e PT-11.



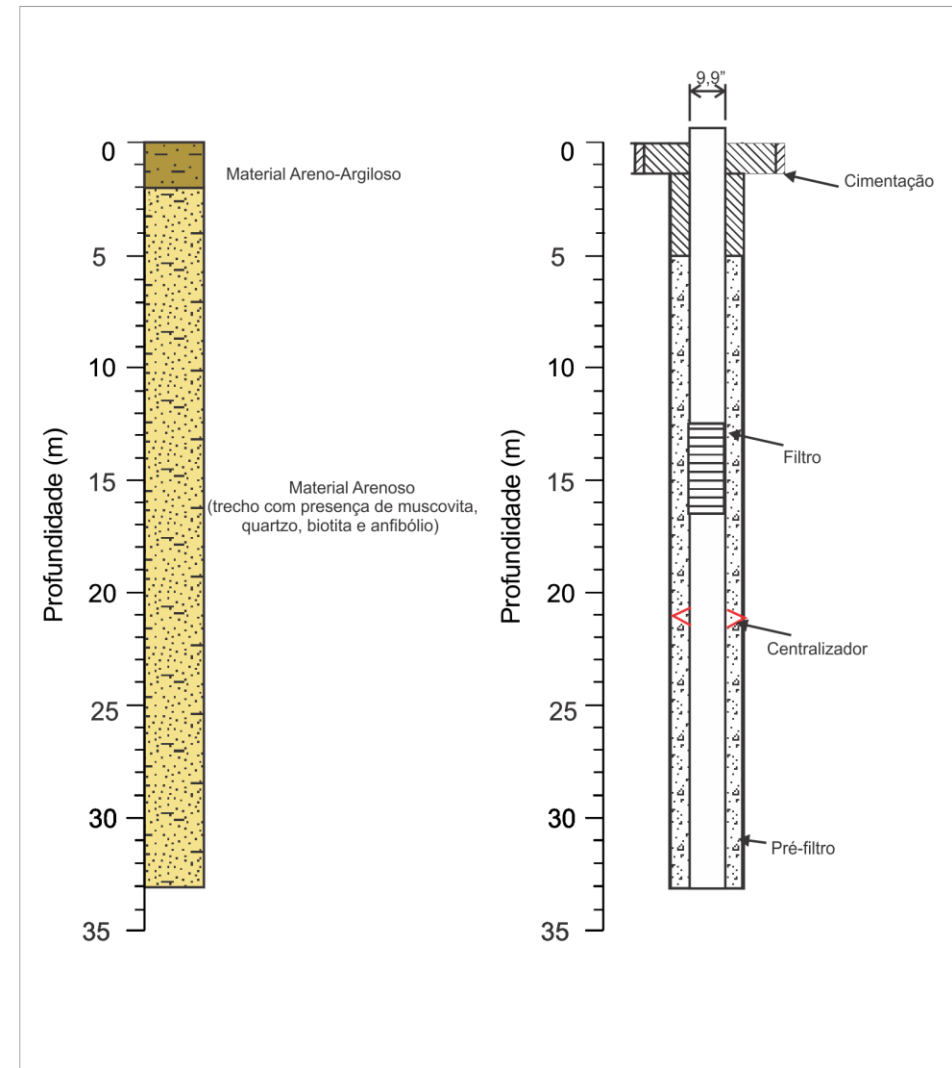
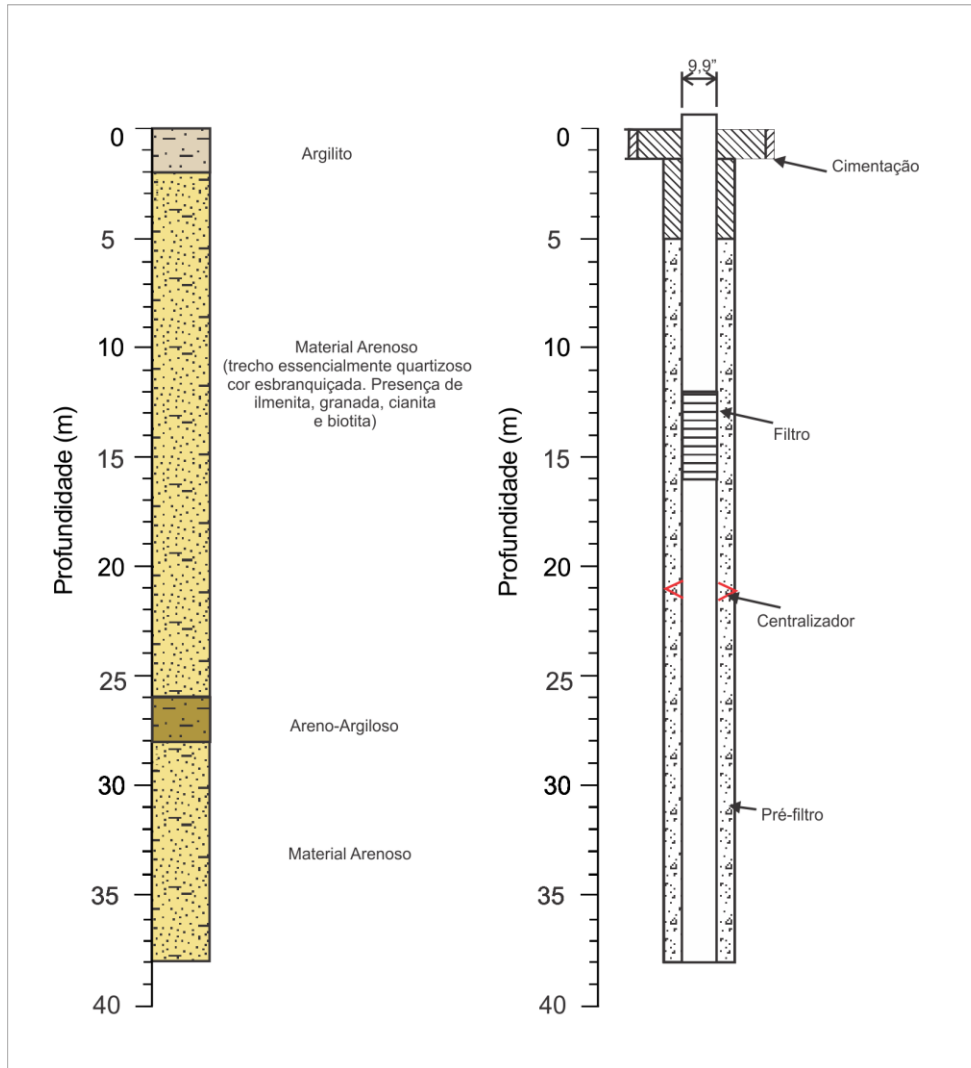
PT-13 e PT-14.



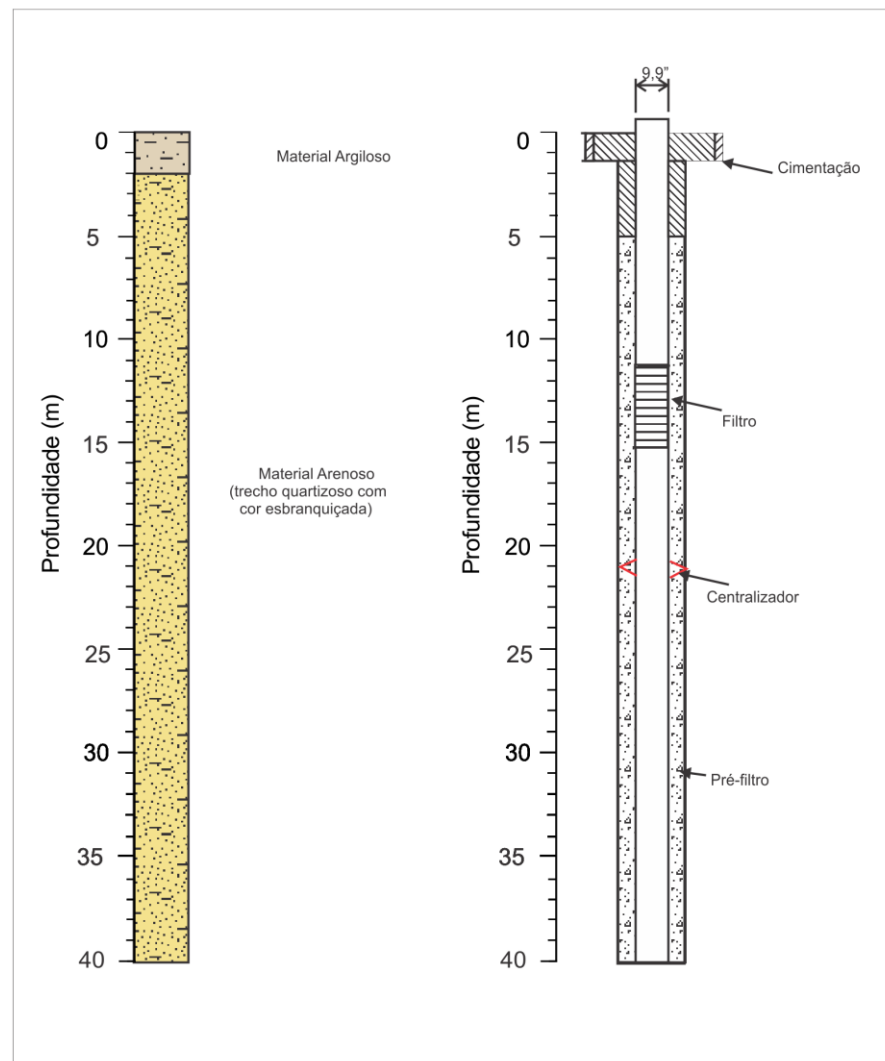
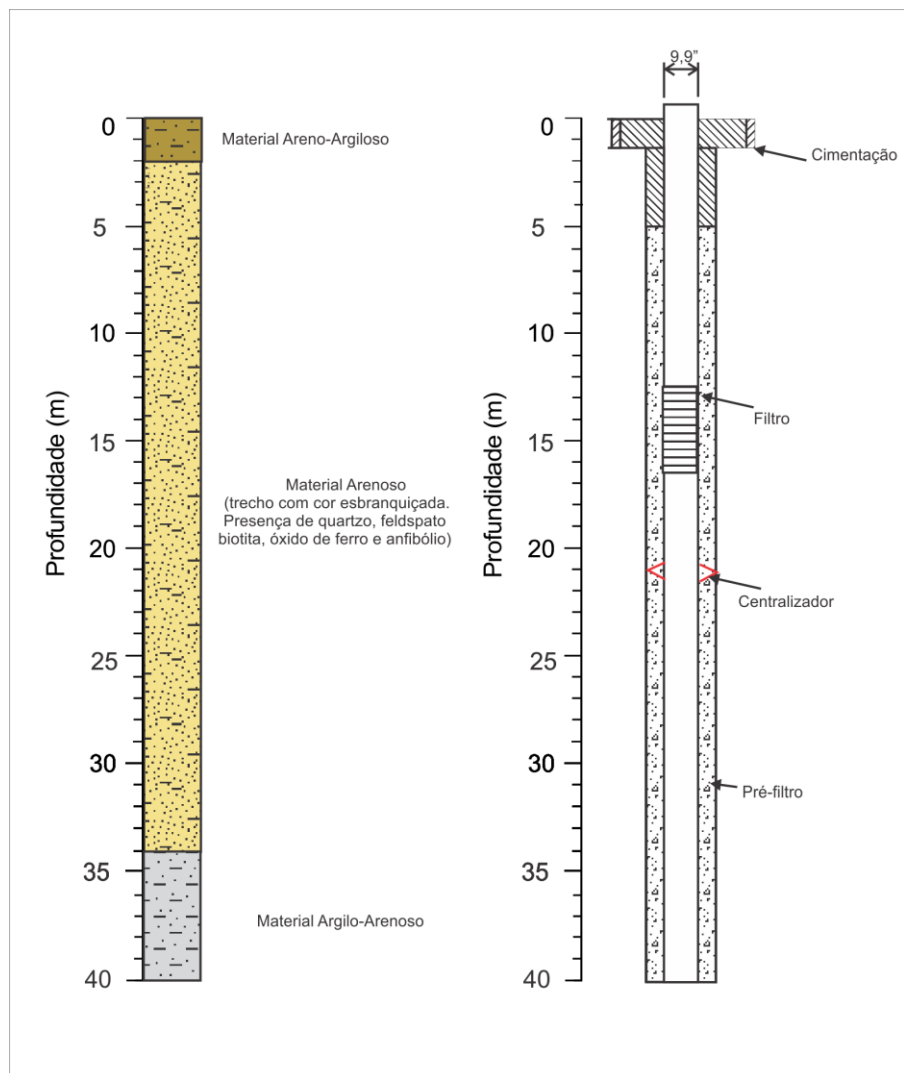
PT-15 e PT-16.



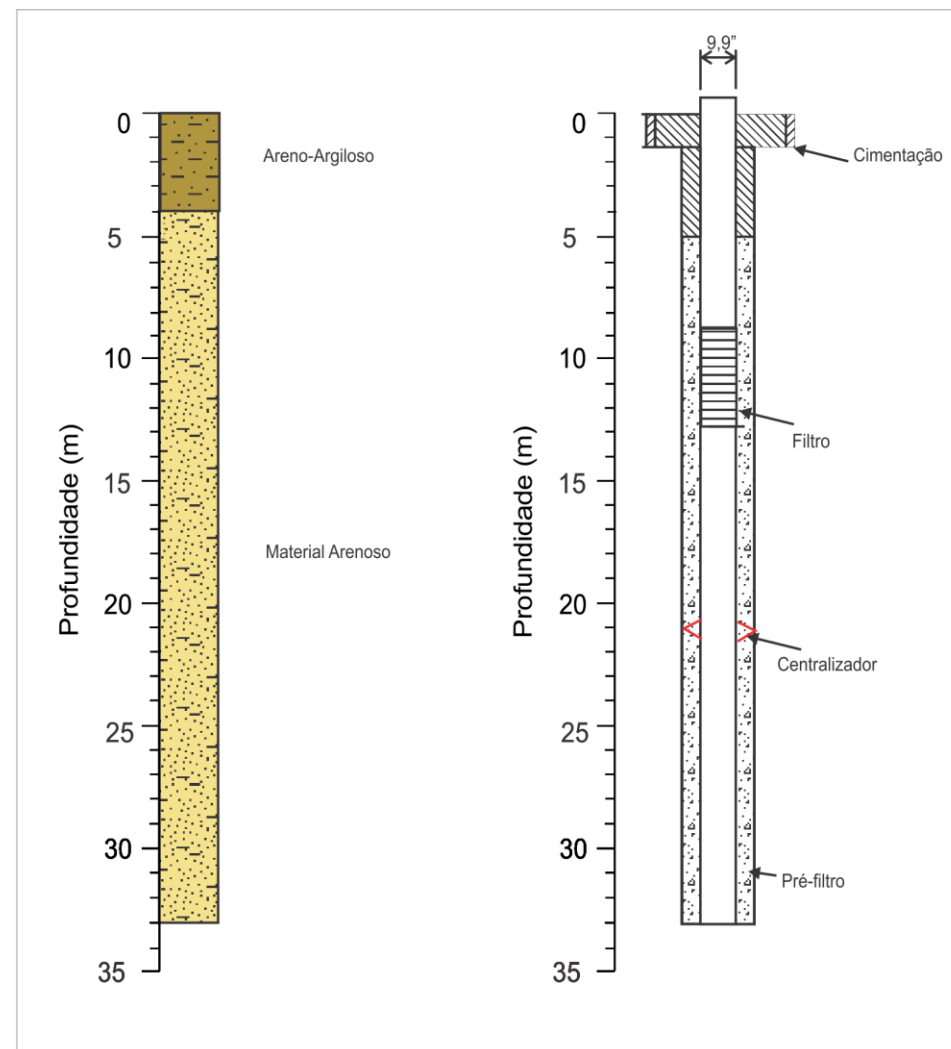
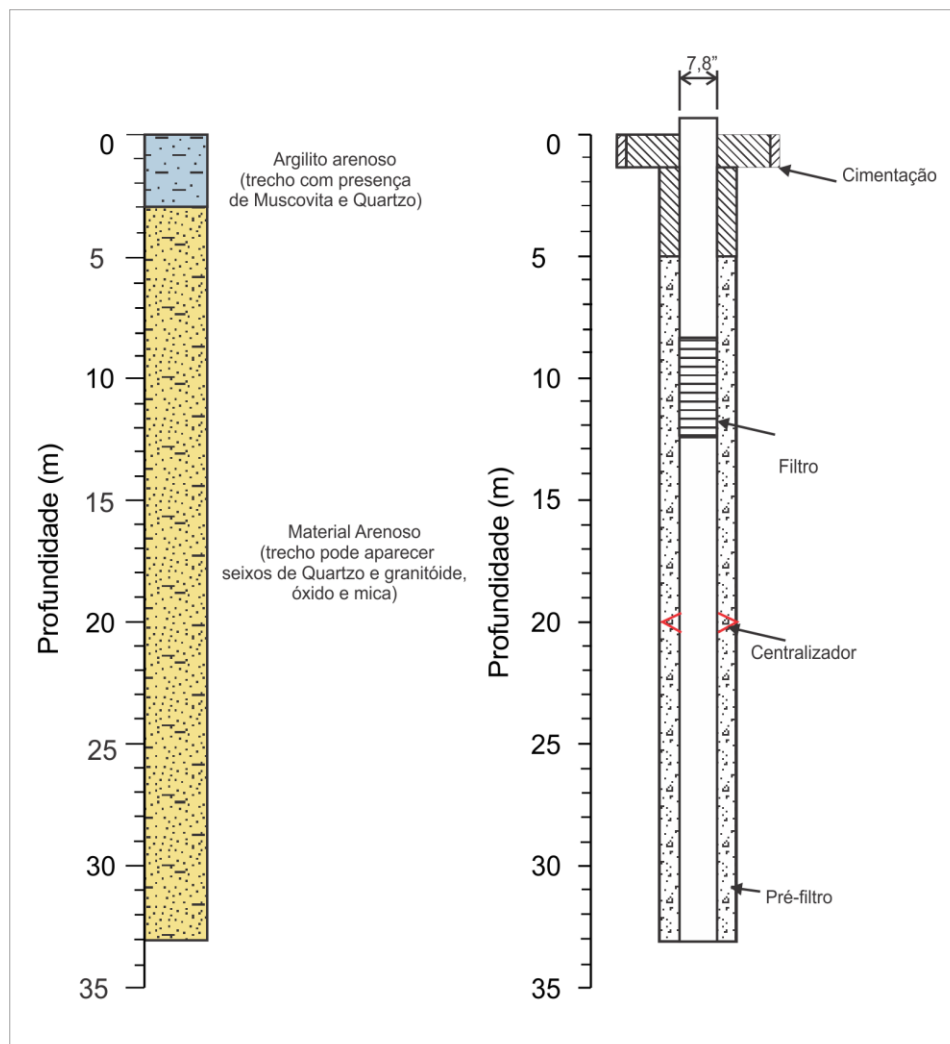
PT-17 e PT-18.



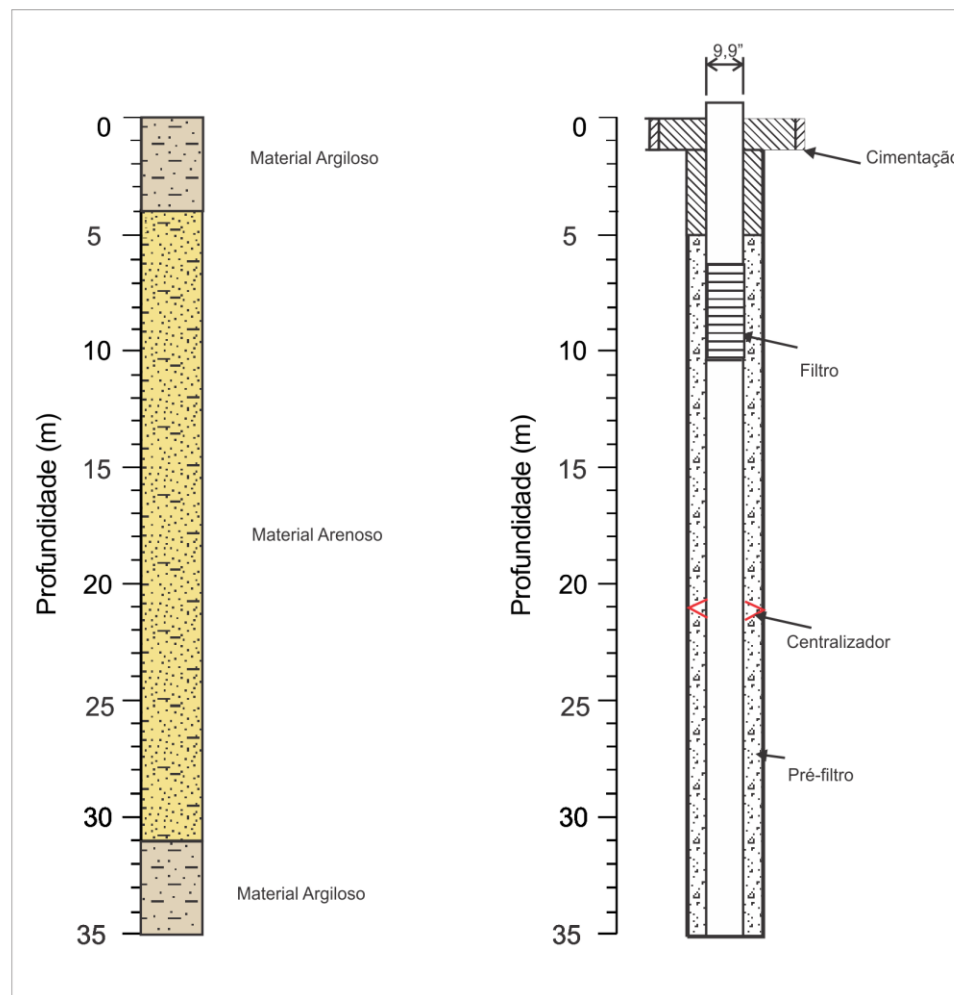
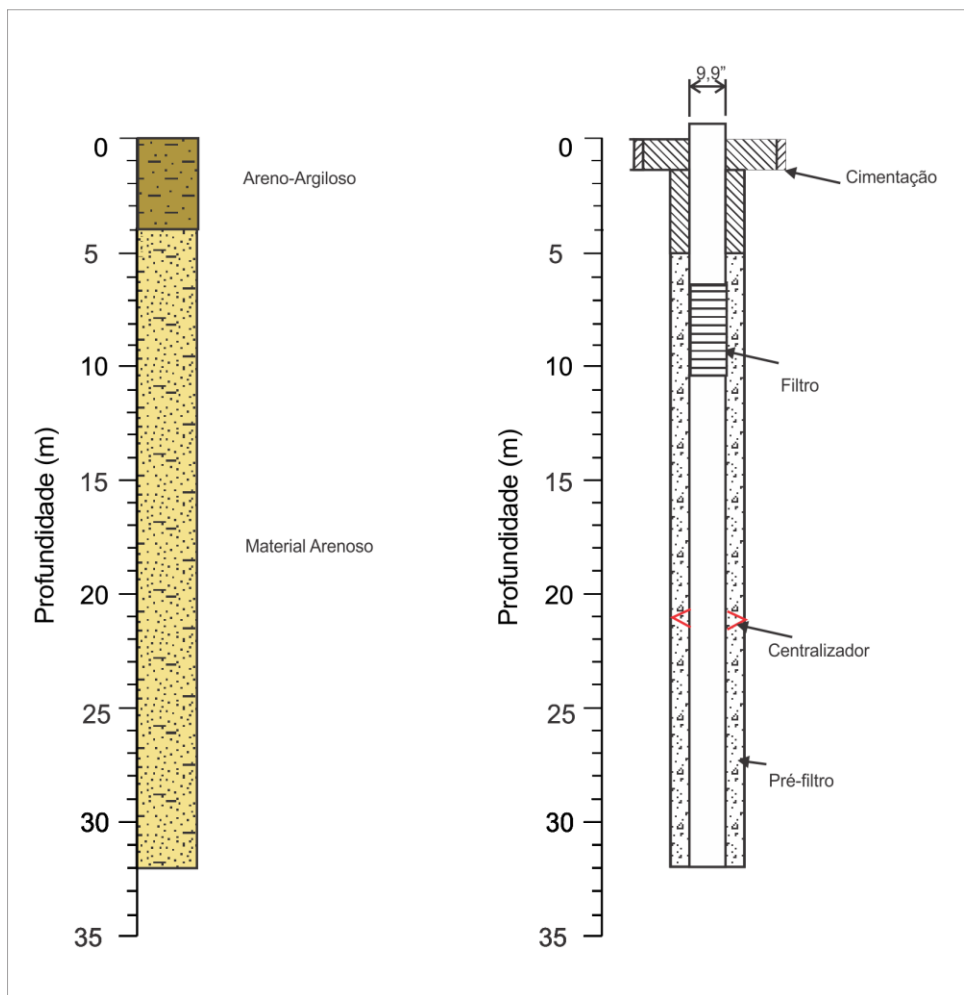
PT-19 e PT-20.



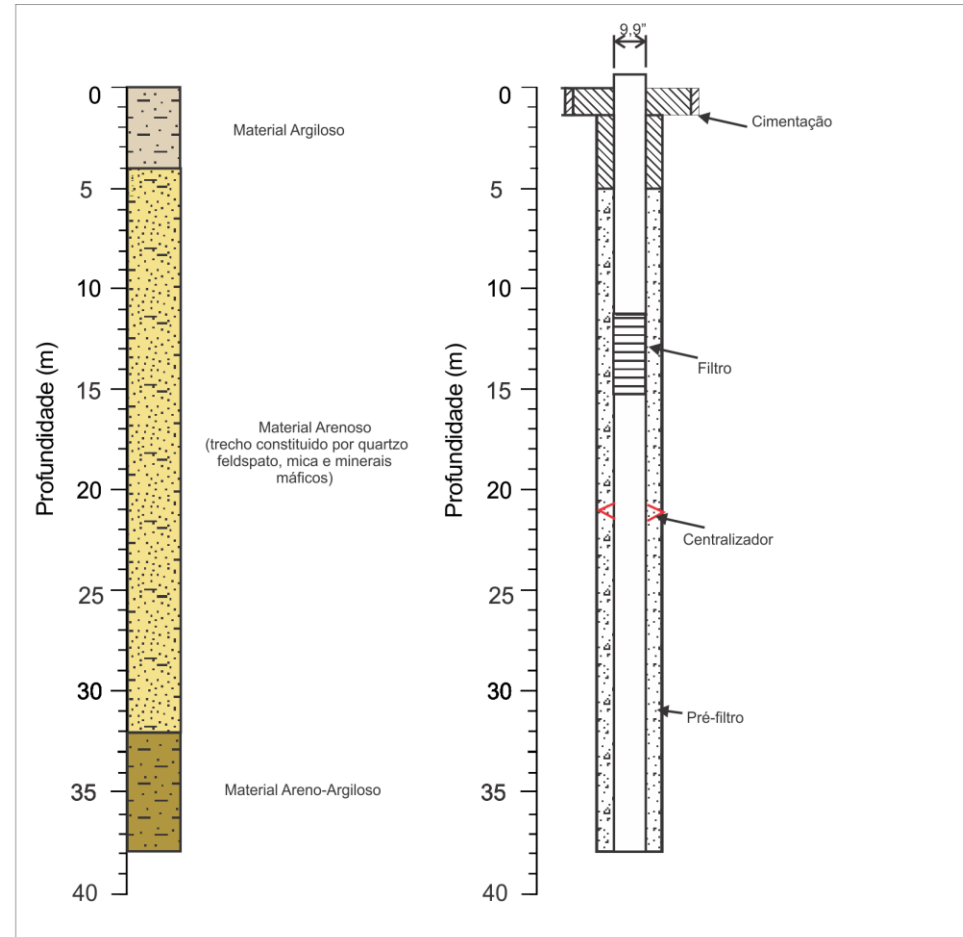
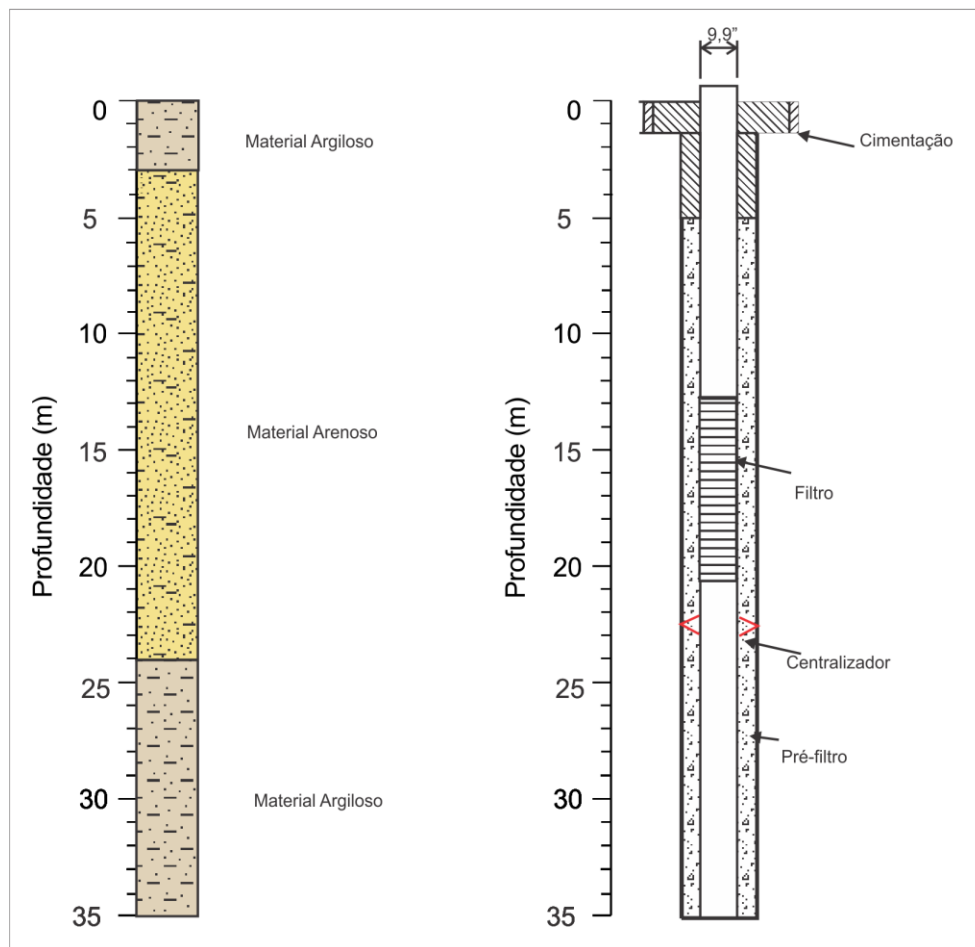
PT-21 e PT-22.



PT-23 e PT-24.



PT-25 e PT-26.



PT-30.

