



ESCOLA SUPERIOR  
DA CETESB

**COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO  
ESCOLA SUPERIOR DA CETESB**



**CETESB**

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO “CONFORMIDADE AMBIENTAL COM  
REQUISITOS TÉCNICOS E LEGAIS”**

**Paulo Sérgio Gonçalves Rocha**

**ANALISE DA INFLUÊNCIA DA TURBIDEZ EM RESULTADOS DE  
AMOSTRA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA**

São Paulo  
2019



ESCOLA SUPERIOR  
DA CETESB



CETESB

**Paulo Sérgio Gonçalves Rocha**

## **ANALISE DA INFLUÊNCIA DA TURBIDEZ EM RESULTADOS DE AMOSTRA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Pós-graduação "Conformidade Ambiental com Requisitos Técnicos e Legais", da Escola Superior da CETESB, como requisito parcial para obtenção do título de especialista em Conformidade Ambiental.

Orientador: Dr Robson Leocádio Franklin

São Paulo  
2019

## DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO

(CETESB – Biblioteca, SP, Brasil)

R575a	<p>Rocha, Paulo Sergio Gonçalves Análise da influência da turbidez em resultados de amostra de água subterrânea / Paulo Sergio Gonçalves Rocha. – São Paulo, 2019. 72 p. : il. Color. ; 30 cm.</p> <p>Orientador: Dr. Robson Leocádio Franklin</p> <p>Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Conformidade Ambiental) – Pós-Graduação Lato Sensu Conformidade Ambiental com Requisitos Técnicos e Legais, Escola Superior da CETESB, São Paulo, 2019. Disponível também em: &lt;<a href="http://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/producao-tecnico-cientifica/">http://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/producao-tecnico-cientifica/</a>&gt;.</p> <p>1. Águas subterrâneas – amostragem 2. Águas subterrâneas – análises 3. Metais. 4. Turbidez – indicador ambiental. Franklin, Robson Leocádio, Orient. II. Escola Superior da CETESB (ESC). III. Título.</p> <p>CDD (21. ed. Esp.) 628.114 CDU (2. ed. Port.) 556.388:543.318</p>
-------	---

Catálogo na fonte: Sonia Teresinha Barbosa – CRB 8.3691  
Margot Terada – CRB 8.4422

Direitos reservados de distribuição e comercialização.

Permitida a reprodução desde que citada a fonte.

© CETESB.

Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345  
Pinheiros – SP – Brasil – CEP 05459900

Site: <<http://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/producao-tecnico-cientifica/>>

# FOLHA DE APROVAÇÃO



CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO  
CONFORMIDADE AMBIENTAL COM REQUISITOS TÉCNICOS E LEGAIS



AValiação DOS TRABALHOS DE CONCLUSÃO DE CURSO

A aluno(a):	Paulo Sérgio Gonçalves Rocha	
Título do trabalho:	Avaliação da influência da amostragem em resultados de análises de água subterrânea	Turma: 2017

Avaliadores	Nota	Assinatura
Avaliador 1 Nome: Fabiano Fernandes Toffoli	9,0	
Avaliador 2 Nome: Vicente de Aquino Neto	9,0	
Orientador Nome: Robson Leocádio Franklin	9,0	
Nota final	9,0	
Aprovado em	São Paulo, 08 de fevereiro de 2020	

Ciência do aluno(a): 	Assinatura: 
--------------------------	-----------------

A aprovação do Trabalho de Conclusão de Curso não significa aprovação, endosso ou recomendação, por parte da CETESB, de produtos, serviços, processos, metodologias, técnicas, tecnologias, empresas, profissionais, ideias ou conceitos mencionados no trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família por me apoiar em todos os momentos; em especial a minha esposa pela dedicação e apoio na realização deste trabalho.

Ao meu orientador Robson Leocádio Franklin pela paciência e por toda colaboração na orientação deste trabalho.

E em especial a Escola da CETESB que me deu a oportunidade de agregar mais conhecimento em minha carreira profissional.

## RESUMO

A garantia da qualidade dos resultados analíticos obtidos durante uma amostragem de águas subterrâneas depende diretamente da construção do poço de monitoramento, da técnica de amostragem utilizada, de como as substâncias se comportam durante a amostragem e do critério técnico em campo. Sendo assim, erros durante a amostragem podem levar a obtenção de resultados não representativos e comprometer a avaliação do local. A turbidez é uma excelente ferramenta para avaliação ambiental, notadamente no que diz respeito a quantidade de material particulado presente nas águas. Sua determinação, tanto pelo método eletrométrico quanto apenas a observação visual faz um alerta de como a água retirada do local é purgada, podendo o técnico avaliar se o volume purgado é suficiente para uma boa amostragem. Neste estudo, os dados de turbidez contribuíram para identificação de alteração significativa dos resultados, em função da vazão de bombeamento, podendo causar efeitos negativos nos relatórios finais, fazendo-se importante verificar este parâmetro antes da amostragem para garantir melhores resultados.

Palavras-Chave: Amostragem. Água Subterrânea. Tempo de purga. Turbidez. Metais.

## **ABSTRACT**

Ensuring the quality of analytical results obtained during a groundwater sampling depends directly on the construction of the monitoring well, the sampling technique used, how the substances behave during sampling and the technical criteria in the field. Thus, errors during sampling may lead to unrepresentative results and compromise site evaluation. Turbidity is an excellent tool for environmental assessment, especially regarding the amount of particulate matter present in the waters. Its determination by both the electrometric method and the visual observation alone warns of how the water removed from the site is purged, and the technician can assess whether the purged volume is sufficient for good sampling. In this study, turbidity data contributed to the identification of significant alteration of the results, depending on the pumping flow, which may have negative effects on the final reports. It is important to check this parameter before sampling to ensure better results.

Keywords: Sampling. Underground water. Purge time. Turbidity. Metals.

## LISTAS DE ILUSTRAÇÕES E TABELAS

FIGURA 1 – TIPOS DE AQUIFEROS .....	16
FIGURA 2 - PARÂMETROS HIDRÁULICOS .....	17
FIGURA 3 - VANTAGENS PURGA BAIXA VAZÃO .....	23
FIGURA 4 - PERFIL ESQUEMÁTICO DE POÇO DE MONITORAMENTO .....	26
FIGURA 5 - PONTOS DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE E QUANTIDADE .....	28
FIGURA 6- USO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO .....	29
FIGURA 7 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS BÁSICOS PARA AMOSTRAGEM .....	31
FIGURA 8 - ETAPAS DE PLANEJAMENTO .....	32
FIGURA 9 -ETAPAS DE AMOSTRAS FILTRADAS E NÃO FILTRADAS.....	36
FIGURA 10 - AMOSTRAS FILTRADAS E NÃO FILTRADAS .....	36
FIGURA 11 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NAS ATIVIDADES EM CAMPO .....	38
FIGURA 12 - TURBIDEZ AO LONGO DA AMOSTRAGEM .....	41
FIGURA 13 - FILTROS 0,22 µM .....	44
FIGURA 14 - GRÁFICOS DE ALGUNS ELEMENTOS NAS CAMPANHAS DE VOTUPORANGA .....	48
FIGURA 15 - GRÁFICOS DE ALGUNS ELEMENTOS NAS CAMPANHAS DE SANTA MARIA .....	49
FIGURA 16 - GRÁFICOS DE ALGUNS ELEMENTOS NAS CAMPANHAS DE BROTAS.....	50
FIGURA 17 - GRÁFICOS DE ALGUNS ELEMENTOS NAS CAMPANHAS DE ANALÂNDIA .....	52
FIGURA 18 - EVOLUÇÃO DA TURBIDEZ EM FUNÇÃO DO TEMPO NOS PONTOS DE ANALÂNDIA E VOTUPORANGA .....	53
TABELA 1 - FAIXA DE VARIAÇÃO ACEITÁVEL PARA ESTABILIZAÇÃO .....	25
TABELA 2 - POÇOS PESQUISADOS .....	33
TABELA 3 - CÁLCULO DO VOLUME DE ÁGUA NECESSÁRIA PARA TROCA TOTAL DO SISTEMA .....	34

## LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
CEPAS	Centro de Pesquisa de Águas Subterrâneas
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CTH	Centro Tecnológico de Hidráulica
CGECRE	Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
ELAI	Setor de Química Inorgânica
FEHIDRO	Fundo Estadual de Recursos Hídricos
ICP-MS	<i>Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry</i> = Plasma Acoplado Indutivamente com Espectrometria de Massas
ICP-OES	<i>Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry</i> = Plasma Acoplado Indutivamente com Espectrometria de Emissão Ótica
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LWA	<i>Landesamt fur Wasser und Abfall, Nordrhein Westfallen, Germany</i> = Escritório Estadual de Água e Resíduo, Renânia do Norte - Alemanha
NA	Nível d'água
NIT DICLA	Norma da Divisão de Acreditação de Laboratórios do Inmetro
PTFE	Politetrafluoroetileno
RBC	Rede Brasileira de Calibração
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SECTAM	Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente de Belém
SMA	Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo
UGRHIs	Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i> = Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
VRQ	Valores de Referência de Qualidade

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>14</b>
<b>3 OBJETIVO GERAL</b> .....	<b>14</b>
<b>4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>14</b>
<b>5 REVISÃO LITERÁRIA</b> .....	<b>15</b>
<b>5.1 DEFINIÇÕES</b> .....	<b>15</b>
<b>5.1.1 DEFINIÇÕES E PARÂMETROS INDICADORES NA AMOSTRAGEM</b> .....	<b>16</b>
5.1.1.1 Célula de Fluxo .....	<b>17</b>
5.1.1.2 Nível Estático.....	<b>17</b>
5.1.1.3 Parâmetros Hidráulicos .....	<b>17</b>
5.1.1.4 Rebaixamento do poço .....	<b>17</b>
5.1.1.5 Vazão de Purga .....	<b>17</b>
5.1.1.6 Volume de Purga.....	<b>18</b>
<b>5.2 TURBIDEZ</b> .....	<b>18</b>
<b>5.3 AMOSTRAGEM DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS</b> .....	<b>20</b>
5.3.1 Purga por baixa vazão com monitoramento de parâmetros indicadores .....	<b>22</b>
<b>5.4 ÁGUA SUBTERRÂNEA NO ESTADO DE SÃO PAULO: ALGUMAS CONSIDERAÇÕES</b> .....	<b>27</b>
<b>6 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>30</b>
<b>6.1 PLANEJAMENTO DE AMOSTRAGEM</b> .....	<b>30</b>
<b>6.2 PROCEDIMENTOS E VERIFICAÇÕES PRÉVIAS À REALIZAÇÃO DA AMOSTRAGEM</b> .....	<b>33</b>
6.2.1 Materiais e Equipamentos.....	<b>37</b>
6.2.2 Calibração de equipamentos .....	<b>38</b>
<b>6.3 PROCEDIMENTOS DE AMOSTRAGEM E ANÁLISES DE LABORATORIAIS</b> .....	<b>39</b>
6.3.1 Cuidados a serem observados em campo.....	<b>42</b>
6.3.2 Metodologias analíticas .....	<b>43</b>
<b>7 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>44</b>
<b>8 CONCLUSÕES</b> .....	<b>54</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>56</b>
<b>APÊNDICE A</b> .....	<b>62</b>
<b>APÊNDICE B</b> .....	<b>63</b>
<b>ANEXO A</b> .....	<b>65</b>
<b>ANEXO B</b> .....	<b>67</b>

<b>ANEXO C</b> .....	<b>69</b>
<b>ANEXO D</b> .....	<b>71</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A degradação dos recursos naturais e do meio ambiente são problemas cada vez mais presentes na sociedade moderna. Um dos recursos naturais mais importantes e com situação bastante escassa é a água. É preciso monitoramento e controle do seu uso, para que futuras gerações prosperem e possam usufruir deste recurso com maior segurança e qualidade.

A quantidade de água na Terra é finita. Isto é, não se cria água. Ela apenas se transforma do estado líquido em vapor ou em gelo e volta ao estado líquido. Gerando um ciclo.

A água é essencial para sobrevivência de plantas, animais e micro-organismos. Ela participa de várias reações que ocorrem nos organismos vivos, como o transporte de substâncias e a eliminação de resíduos. Uma das importantes propriedades da água é a capacidade de dissolver outras substâncias, transportando assim íons dissolvidos para os rios e os oceanos.

A hidrosfera ocupa 73% da superfície terrestre, mas a água também é um importante componente da atmosfera e do ambiente terrestre. Nos oceanos estão 97% da massa total de água do planeta. A água doce representa somente 3% dos recursos hídricos da Terra, embora sua importância seja muito maior que sua contribuição quantitativa. Dessa água, 75% estão localizados nas camadas de gelo polar e geleiras sobre montanhas, com 90% deste montante na superfície do gelo continental da Antártica. A água subterrânea representa 20% da água doce e é muito utilizada pela indústria, para a irrigação de agriculturas e uso doméstico. Somente 1% da água doce ocorre na forma superficial (rios, córregos e lagos). Isto representa 0,03% da água presente no globo terrestre (PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011). Uma quantia relativamente limitada para suprir as necessidades de água de toda a população do planeta.

Estima-se que 51% do abastecimento de água para consumo humano no Brasil sejam feitos por captações subterrâneas por meio de 200.000 poços tubulares e mais de 1 milhão de poços cacimbas. A ausência de controle sobre as diversas atividades do homem (práticas domésticas, agrícola e comercial) modificadoras dos mecanismos de reposição natural da água, principalmente dos recursos hídricos subterrâneos,

denotam a importância da regulamentação e controle sobre os nossos recursos. (SECTAM, 2005).

O uso da água subterrânea para abastecimento público tende a aumentar no Estado de São Paulo. Há uma grande demanda por captação privada para hotéis, condomínios, hospitais e indústrias. O Órgão Estadual Gestor da quantidade das águas é o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), que concede outorga de direito de uso das águas aos usuários, observando a disponibilidade hídrica, a qualidade da água e a priorização dos usos (CETESB, 2019). Paralelo a isto, a CETESB iniciou o monitoramento de novos poços de água subterrânea, com alguns apresentando os problemas do ponto de vista qualitativo de elevadas concentrações de elementos em suas águas (CETESB, 2016).

Conforme relatório da CETESB de 2016, a gestão do recurso hídrico subterrâneo prevê o Monitoramento Integrado da Qualidade e Quantidade. Assim, foi implantada uma rede de poços de monitoramento dedicados exclusivamente a esse fim, operada pela CETESB e implementada com recursos do FEHIDRO (Fundo Estadual de Recursos Hídricos), constituída de poços rasos especialmente destinados ao monitoramento do nível d'água e da qualidade, considerando que esses poços possam fornecer informações mais detalhadas sobre a influência das possíveis fontes de poluição e contaminação.

Esta rede de monitoramento apresentou em sua série histórica concentrações elevadas para diversas substâncias inorgânicas, (Fe, Mn, Zn, Ca, dentre outros) em vários poços estas concentrações podem comprometer a qualidade da água destes locais, podendo até inviabilizar seu consumo.

Uma das formas de amostragem de água subterrânea, utilizada na rede de monitoramento da CETESB é a Metodologia de Amostragem de Baixa Vazão, (CETESB, 2016), método específico para este tipo de amostragem por conter um sistema de programação de forma a evitar que se retire maior quantidade de águas do poço que o sistema hidrológico permite. Tal metodologia prevê o monitoramento de alguns parâmetros em campo com o objetivo de se determinar o melhor momento para realização da coleta, e a turbidez não é considerado um dos parâmetros monitorados em campo.

Turbidez é atenuação que sofre um feixe luz ao atravessar uma amostra. Esta atenuação ocorre em função do material particulado em suspensão eventualmente existente na amostra. Este particulado reflete e espalha o feixe de luz, impedindo que este chegue ao detector. Quanto maior a quantidade de partículas na amostra, maior o espalhamento da luz e maior é a turbidez. Os processos erosivos dos solos fazem com que partículas dos solos sejam lançadas aos rios, aumentando sua turbidez (CETESB, 2017). Portanto a principal fonte de turbidez em águas é o material particulado dos solos. Neste caso os elementos metálicos em uma amostra com elevada turbidez também tendem a apresentar concentrações mais elevadas, (notadamente pela presença de Fe, Al, Mn e Si), visto serem constituintes majoritários dos solos.

## **2 JUSTIFICATIVA**

Esse trabalho se justifica porque entende-se ser fundamental verificar a influência de protocolos de campo e procedimentos de amostragens nos resultados de análises de água de poços rasos, tipo piezômetros, de monitoramento da qualidade e quantidade afim de verificar a ocorrência de falso-positivo na concentração de elementos metálicos em amostras de água subterrânea.

## **3 OBJETIVO GERAL**

Analisar o comportamento da turbidez como parâmetro indicador durante a purga com o objetivo de avaliar o melhor momento da coleta.

## **4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar a turbidez como parâmetro indicador para início da purga e amostragem
- Verificar as tendências das concentrações das substâncias monitoradas.
- Estabelecer procedimentos comparativos dos dados gerados em campo para equilíbrio da amostragem.

- Verificar se as elevadas concentrações de elementos apresentam relação com a turbidez e como estas se comportam ao longo do tempo durante o protocolo atual de amostragem com vazão controlada.
- Avaliar a eficácia dessas ações nos resultados dos ensaios de laboratórios.

## 5 REVISÃO LITERÁRIA

As águas subterrâneas abastecem 2 bilhões de pessoas no mundo, onde 150 milhões vivem na América Latina (HIRATA, 2000). Toda essa água precisa ser monitorada para que se determine a quantidade disponível e se verifique as condições de sua qualidade (ANA, 2017).

### 5.1 DEFINIÇÕES

Águas Subterrâneas - Conforme Agência Nacional de Águas (ANA) são águas subterrâneas aquelas que correm naturalmente ou artificialmente no subsolo, de forma suscetível de extração e utilização pelo homem. Desempenham um papel importante como fonte de água para vários usos. Sua grande capacidade de armazenamento e resistência a longos períodos de seca fazem desse recurso uma alternativa importante para lidar com períodos de escassez de água. (ANA, 2017).

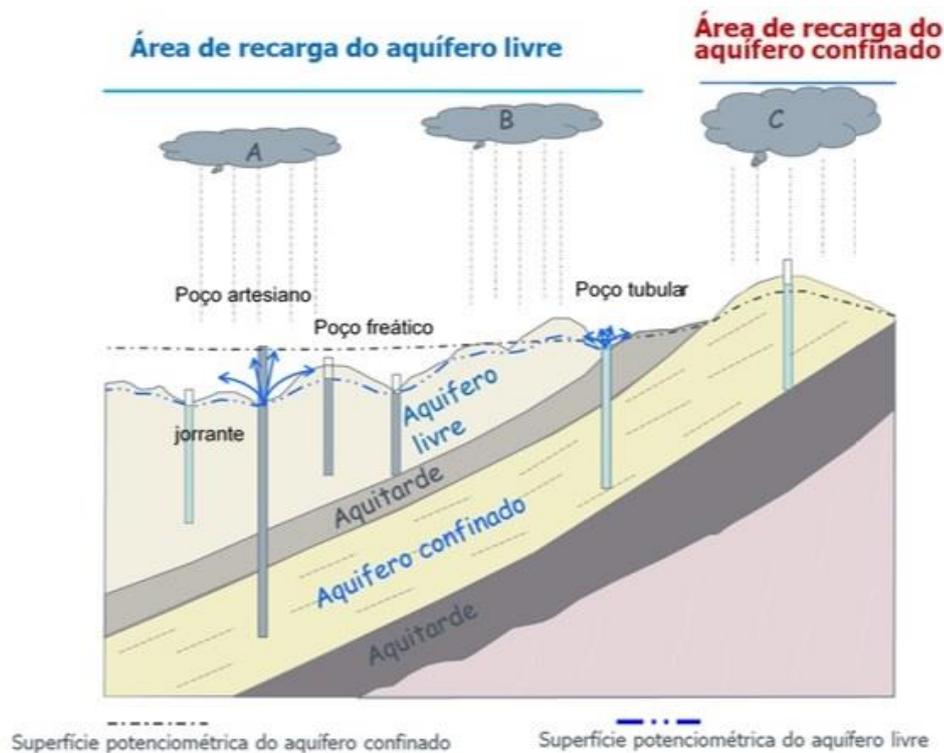
Parte da água que chove sobre o território infiltra para o subsolo e é armazenada como água subterrânea. Outra parte dessa água escoia pela superfície até alcançar o leito dos rios. Ambas as parcelas, superficial e subterrânea, contribuem para a vazão dos rios.

Os aquíferos são rochas ou sedimentos capazes de armazenar e transmitir volumes significativos de água. São classificados em Aquíferos Livres, no qual a água da chuva atravessa a zona não saturada e recarrega o aquífero; e como Aquíferos Confinados aqueles isolados por camadas confinantes acima e abaixo estando submetidos a uma pressão maior que a atmosfera (KARMANN, 2000). A **Figura 1** ilustra estes tipos de aquíferos.

As águas subterrâneas são classificadas em 5 classes, levando em consideração suas características (BRASIL, 2008).

Aquífero - corpo hidrogeológico capaz de acumular e transmitir água através de seus poros, fendas ou espaços resultantes da dissolução e transporte de materiais rochosos (BRASIL, 2008).

**Figura 1 – Tipos de Aquíferos**



Fonte: Varnier (2018)

### 5.1.1 DEFINIÇÕES E PARÂMETROS INDICADORES NA AMOSTRAGEM

A definição dos parâmetros de avaliação está condicionada a cada local e situação hidrológica de uma Região. Parâmetros Indicadores são características físicas e/ou químicas da água subterrânea, medidas durante a purga com o objetivo de avaliar o momento mais adequado para as coletas das amostras (ABNT, 2010). O monitoramento dos parâmetros físico-químicos, em campo ainda que não seja utilizado na definição da finalização da purga, é de grande importância na

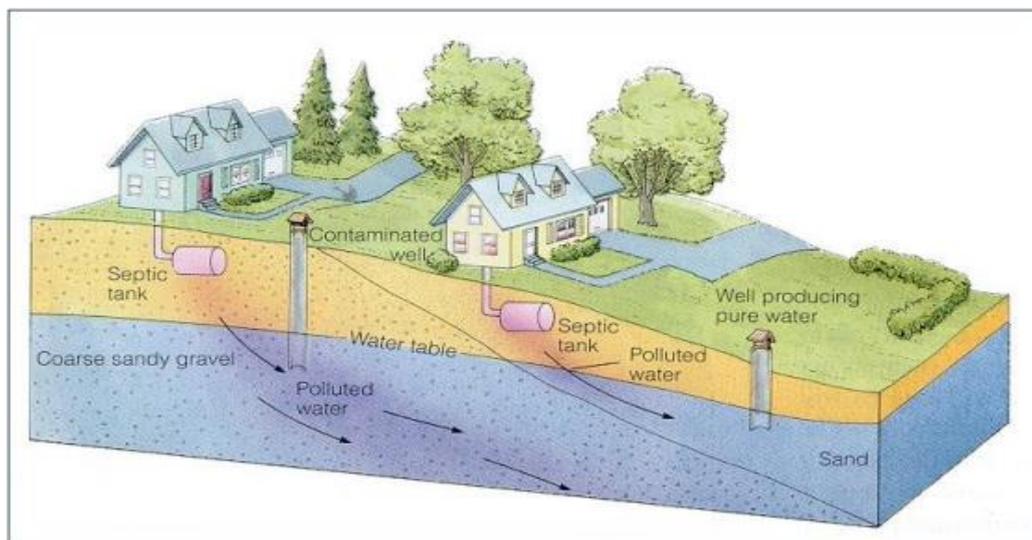
interpretação dos resultados do monitoramento. Abaixo são apresentados alguns parâmetros indicadores:

**5.1.1.1 Célula de Fluxo** – Recipiente hermético que permite que a água purgada flua por sensores para a medição contínua dos parâmetros indicadores, sem que haja contato da água com o ambiente externo (ABNT, 2010).

**5.1.1.2 Nível Estático** – Nível de referência de água do poço. Este deve ser medido principalmente no início e deve ser observado durante todo o procedimento de amostragem até o final (ABNT, 2010).

**5.1.1.3 Parâmetros Hidráulicos** – São fundamentais para o entendimento e caracterização do fluxo da água subterrânea, o qual influencia também o transporte dos contaminantes, dando as informações necessárias de velocidade da água no local, qual direção está se dirigindo. São eles: Transmissividade, condutividade hidráulica, coeficiente de armazenamento, porosidade total, porosidade efetiva, capacidade específica e permeabilidade (**Figura 2**).

**Figura 2 - Parâmetros Hidráulicos**



Fonte: Varnier (2018)

**5.1.1.4 Rebaixamento do poço** – Diferença entre o nível de água estático e dinâmico do poço.

**5.1.1.5 Vazão de Purga** – Vazão com que a água é removida de um poço ou ponto de amostragem durante uma purga (ABNT, 2010).

**5.1.1.6 Volume de Purga** – Quantidade de água removida de um poço para que sejam alcançados os objetivos de purga (ABNT, 2010).

**5.1.1.7 Purga** – Prática de remover um volume de água do poço, com a finalidade de assegurar que a água representativa da formação será coletada (ABNT, 2010).

**5.1.1.8 Desenvolvimento de Poço** – O desenvolvimento do poço faz parte do processo construtivo, e não se configura uma purga e amostragem, informações sobre o desenvolvimento devem estar no relatório construtivo ou de desenvolvimento conforme ABNT NBR 15495-2 (ABNT, 2010).

## **5.2 TURBIDEZ**

A turbidez pode ser considerada como transparência da água, sendo uma função do conteúdo existente de material particulado em suspensão. A água de alta turbidez é indicativa de um alto conteúdo orgânico e inorgânico em suspensão que pode fornecer abrigo para microorganismos e diminuir a eficiência do tratamento químico ou físico da água (SPERLING, 2005).

A turbidez é uma expressão da propriedade óptica que faz com que a luz seja espalhada e absorvida e não transmitida em linha reta através da amostra. Na água é causada por materiais em suspensão, tais como: argila, silte, matéria orgânica e inorgânica finamente dividida, compostos orgânicos solúveis coloridos, plâncton e outros organismos microscópicos. É também um parâmetro indireto que indica a qualidade das águas para abastecimento público (CETESB, 2016; PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011). A origem da turbidez pode ser natural ou antropogênica, sendo importante a sua quantificação e também a identificação da sua origem (CASALI, 2008). De formas naturais, a principal contribuição vem do material que fica em suspensão carreados pelos solos, notadamente os materiais inorgânicos majoritários que existem nestes.

O ferro é um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre e conseqüentemente nos solos. As principais fontes de ferro são os minerais das rochas ígneas tais como piroxênio, anfibólios, biotitas, magnetitas e olivinas. Os óxidos férricos hidratados presentes nas rochas e nos solos são responsáveis pelas colorações marrom, vermelha e amarelada. A solução de ferro a partir de minerais silicáticos pode produzir

acumulações de óxidos e hidróxidos de ferro que são os principais compostos precipitados (HEM, 1985). Desta forma, o material particulado do solo apresenta concentrações elevadas de ferro, que podem vir a influenciar nos resultados analíticos de uma amostra de águas subterrânea por ocasião de uma amostragem onde este material particulado eventualmente esteja presente nesta.

Vale salientar que nas referências normativas sobre a coleta de águas subterrâneas (ABNT, 2010; CETESB; ANA, 2011), não é indicado o monitoramento da turbidez, como parâmetro indicador. Para água de consumo humano o CONAMA (BRASIL, 2008 no seu artigo 13 contempla a turbidez como parâmetro de qualidade, como segue: “Os órgãos competentes deverão monitorar os parâmetros necessários ao acompanhamento da condição de qualidade da água subterrânea, com base naqueles selecionados conforme o artigo 12, bem como pH, turbidez, condutividade elétrica e medição de nível de água”.

Em Brasil, 2017, os valores de turbidez abaixo de 5,0 NTU são os aceitáveis em água para consumo humano, mesmo assim a recomendação é que a turbidez apresente valores inferiores a 1 NTU para maior eficiência do tratamento da água. Por ser um método de fácil determinação e de medição em tempo real, a turbidez pode ser utilizada como indicador potencial para doenças de veiculação hídrica (CASALI, 2008).

Nos monitoramentos da rede Quali Quanti, todos os parâmetros indicadores são realizados em campo com exceção da turbidez que é feito a coleta com frasco, e encaminhada ao laboratório. Com intuito de melhoria e agilidade grande parte das sondas utilizadas hoje no mercado já contemplam sensores específicos a leitura de turbidez, sendo de grande interesse que este dado de turbidez seja retratado de forma instantânea e utilizado como critério de avaliação para a tomada de amostras finais.

Por meio deste ensaio, pode-se melhorar e afinar o critério de início de tomada das amostras a serem enviadas aos laboratórios. Acredita-se que quanto mais informações e geração de dados, melhor será a estabilização dos parâmetros indicadores em campo, a amostra destinada a outras variáveis não sofrerá grandes alterações nos resultados finais. Atualmente a turbidez é utilizada somente em poços de monitoramento em desenvolvimento ou de avaliação pós instalação, sendo purgado água do poço até que sua visualização seja clara ou até que o valor da turbidez chegue a 10 NTU.

O monitoramento da turbidez é de grande relevância, pois indica se o procedimento de purga está sendo seguido e se o poço monitorado encontra-se mau construído ou se precisa ser desenvolvido antes da amostragem podendo ser avaliado a granulometria do material de formação. Poços instalados em solos com textura fina (argilas, siltes) não terão um pré-filtro eficiente que consiga a filtração mecânica, as ranhuras do pré-filtro teriam que ser tão finas que não é viável a sua instalação pois as ranhuras não segurariam os sólidos finos prejudicando a efetivação do pré-filtro.

### **5.3 AMOSTRAGEM DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

A Resolução SMA 100, de 17/10/2013, define que para o laboratório realizar Amostragem por Baixa Vazão deve ser acreditada, devendo cada executor buscar a acreditação do INMETRO (CGECRE) de acordo com a norma ABNT. (ABNT 2017a). Se a amostragem for por purga de volume determinado não é necessário ser acreditado.

Para esta amostragem acreditada e o monitoramento dos parâmetros indicadores são utilizadas bombas pré-programadas com controle de vazão nos poços de monitoramento com o objetivo de evitar o rebaixamento do nível d'água no interior dos poços amostrados. A amostragem de águas subterrâneas geralmente é realizada para a determinação de suas características químicas para consumo humano ou para identificação de contaminações causadas por atividades industriais ou agrícolas (KAMINSKI, 2003).

Muitos países estabeleceram suas próprias estratégias e procedimentos de pesquisa e amostragem de águas subterrâneas para investigar áreas contaminadas. Diretrizes internacionais sobre esse tipo de amostragem, como LWA e USEPA, propõem um procedimento seqüencial que aborda a malha de amostragem na orientação e investigação confirmatória, sua frequência, padrões para monitorar a implantação de poços, preservação de amostras e métodos analíticos (CETESB, 1988). A amostragem de águas subterrâneas nos poços de monitoramento necessita de purga para remoção de água estagnada, que pode não ser representativa na qualidade das águas subterrâneas da formação. Os regulamentos geralmente recomendam a purga de um volume entre três e cinco vezes o volume da água contido do poço. Isso

geralmente resulta em um volume de 15 a 150 litros de água removido de cada poço de monitoramento em um local e pode exceder centenas de litros para poços profundos ou grandes (BARCELONA; VARLJEN; WEHRMANN, 1994).

Após monitorar o desenvolvimento do poço, é necessário um certo tempo, que pode ser calculado, para que o fluxo de água próximo ao poço entre em equilíbrio químico novamente. O tempo de espera para amostragem depende das características do aquífero e suas propriedades (PULS; BARCELONA, 1996).

A utilização de normas técnicas, procedimentos e o emprego da técnica correta na amostragem de águas subterrâneas, são de fundamental importância para que os estudos hidrogeoquímicos sejam considerados consistentes. A qualidade dos resultados analíticos encontrados a partir de uma amostra de água subterrânea depende diretamente das características construtivas do poço de monitoramento, da técnica de amostragem adotada, do comportamento dos contaminantes e do critério técnico do profissional em campo (LIMA et al., 2013).

Normalmente, o objetivo da amostragem da água subterrânea em estudos de contaminação ambiental é identificar a concentração de um elemento químico dissolvido da formação geológica. No caso específico de elementos, essa determinação é especialmente meticulosa, uma vez que, ao contrário de compostos orgânicos, muitos elementos analisados normalmente constituem parte da matriz geológica (RIBEIRO, 2014).

Durante a realização da purga parcial da amostragem de água subterrânea são também monitorados parâmetros físico-químicos indicadores de qualidade, tais como: CE - condutividade elétrica, pH - potencial hidrogeniônico, OD - oxigênio dissolvido e temperatura. Três leituras consecutivas devem apresentar variações de +- 0,2 pH, +- 0,3% para condutividade, +- 10mV no potencial redox, +- 10% para oxigênio dissolvido e 0,5 ° para temperatura e turbidez (BARCELONA: VARLJEN; WEHRMANN, 1994).

O intervalo de tempo entre as leituras deve variar em função da velocidade de bombeamento que pode ocorrer no mínimo a cada 3 minutos.

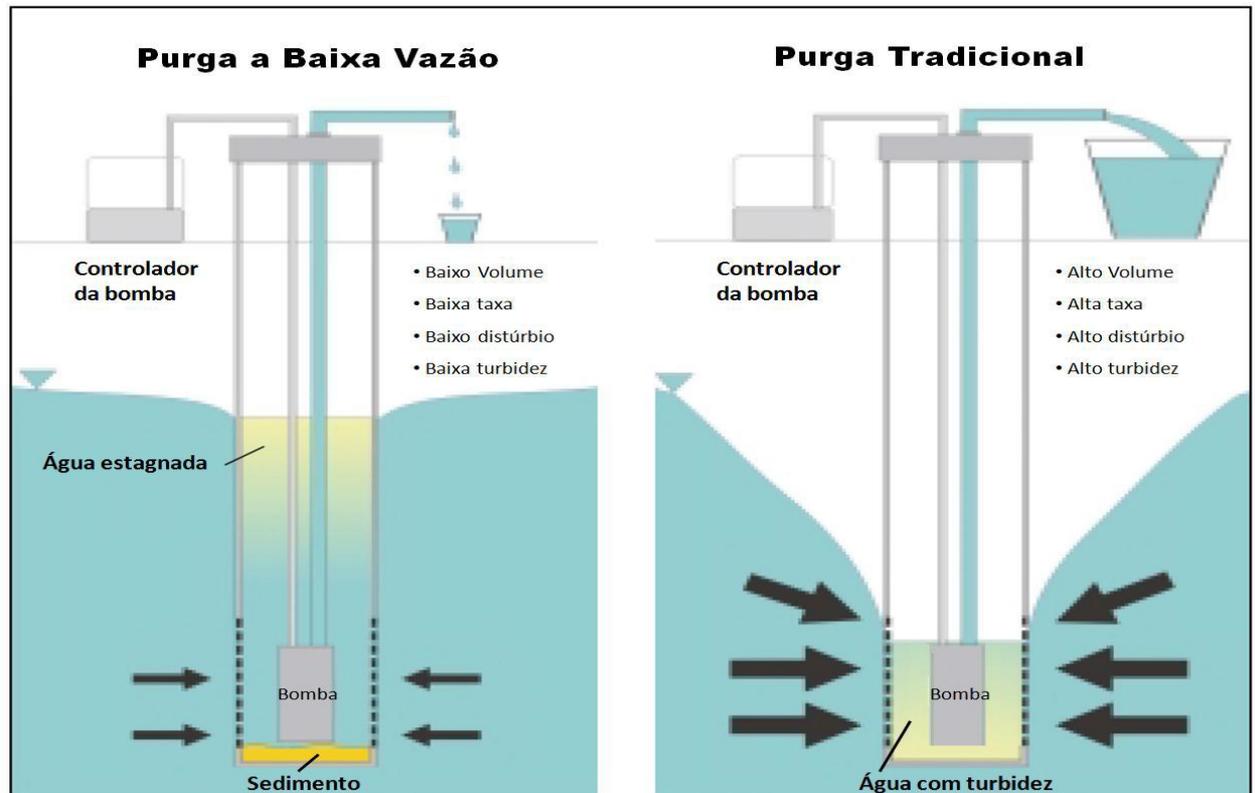
### 5.3.1 Purga por Baixa Vazão com Monitoramento de Parâmetros Indicadores

A amostragem de purga por baixa vazão é uma metodologia que normalmente não resulta na remoção de grandes volumes de purga do poço, evitando as consequências indesejadas de purga tradicional (SORIANO Jr.; REIS, 2005). Na utilização do Bailers na execução da purga ocorre a mistura da água estagnada com a de formação, causando aeração e agitação da amostra, aumentando o oxigênio dissolvido e turbidez, gerando amostras menos precisas ou com utilização de bombas elétricas de alta vazão, é comum que ocorra rebaixamento excessivo, purgam a água estagnada para zona de amostragem, misturam as amostras de zonas distintas, o que já ocorre naturalmente no poço, gerando amostras menos precisas devido a agitação, comprometendo as análises de compostos voláteis e aumentando a turbidez.

O método de amostragem utilizado neste estudo foi de baixa vazão descrito na norma “amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento: método de purga” (ABNT, 2010).

No método de baixa vazão ocorrem distúrbios na coluna d'água somente no momento da introdução da bomba nos poços, por isso se deve minimizar este distúrbio tentando introduzir a bomba o mais lento possível até o meio do filtro escolhido para amostragem. Conforme **Figura 3**, quando se liga a bomba a água vem primordialmente de dentro do poço para a bomba, e é repostada na mesma proporção pelo aquífero, quando não ocorre mais o rebaixamento. O fluxo de água do aquífero renova a água que passa pela seção filtrante, trazendo amostras representativas com pouco volume, sem aeração e sem altas taxas de purga do poço (SORIANO Jr.; REIS, 2005).

**Figura 3 - Vantagens Purga Baixa Vazão**



Fonte: Ritchey (2002, p. 34)

A metodologia de amostragem de baixa vazão afirma que a melhor maneira de obter uma amostra verdadeiramente representativa é remover a água do poço muito lentamente. O fluxo de bombeamento deve ser da ordem de 100 a 500 ml por minuto, ou no máximo 1000 ml / min, dependendo das condições hidrogeológicas do local. O rebaixamento causado pelo bombeamento deve ser inferior a 25 cm (NEGRÃO, 1997). Esta purga de baixa vazão realizada por meio de taxas de bombeamento reduzidas devem ser compatíveis com a capacidade de produção do poço de monitoramento e que não causem o rebaixamento excessivo do nível da água.

Durante o bombeamento os parâmetros indicadores são monitorados até que seja obtida a estabilização das leituras. A frequência entre as leituras deve ser baseada no tempo necessário para se renovar pelo menos um volume da célula de fluxo ou no mínimo a cada 3 minutos, o que for maior (ABNT, 2010).

Antes da coleta de amostra deverá ser removido um determinado volume de água do poço, com a finalidade de assegurar que a água representativa da formação será coletada. Esta etapa se enquadra em uma parte muito importante na avaliação da

estrutura e formação geológica onde foi instalada a seção filtrante do poço de monitoramento, pois é neste momento que se avalia se a água a ser amostrada é de reposição.

Pode-se avaliar se há coloração muito forte e formação de resíduos, indicando uma passagem de componentes não esperados pelos cortes dos tubos e pelas camadas componentes dos filtros e pré – filtros. Normalmente, estes resíduos são partículas do solo adjacente ao poço de monitoramento que podem ser arrastadas devido ao aumento da vazão da água e vir a passar pelas ranhuras dos filtros em situações de maior retirada de água do que a capacidade natural de recarga. Estas partículas de solo podem ser as responsáveis por maiores concentrações de alguns elementos metálicos, concentrações essas, acima dos valores de qualidade estabelecidos para a água subterrânea (ABNT, 2010).

Na coleta de amostras com baixa vazão (low-flow), a captação da bomba deve ser posicionada no centro da seção filtrante do poço de monitoramento. (PULS; BARCELONA, 1996). O método também permite amostragem na faixa desejada do tubo-filtro, excluindo problemas de diluição do contaminante analisado. A colocação da bomba não deve estar próxima ao fundo do poço para evitar a suspensão de sedimentos no fundo (POWELL; PULS, 1997).

A coleta da amostra deve ser realizada no momento em que os parâmetros de condutividade, pH, OD e potencial de oxido redução (Redox potencial) da água mostram-se estáveis. As condições de estabilidades não são rigidamente definidas. Ao invés de se monitorar os cinco parâmetros aceita-se que sejam monitorados somente pH, condutividade e oxigênio dissolvido. Para considerar que ocorreria estabilização três leituras consecutivas podem variar dentro da faixa definida conforme **Tabela 1** (SORIANO Jr.; REIS, 2005).

O parâmetro de turbidez mesmo não sendo incorporado a nenhuma norma ou legislação é um excelente disseminador e divisor de avaliação de troca de fluidos. A leitura tanto pelo método eletrométrico quanto visual faz um alerta de como a água retirada do local está sendo purgada, podendo ser avaliado se a água purgada não sofrerá possível interferência da presença de material em suspensão.

**Tabela 1 - Faixa de Variação aceitável para estabilização**

pH	+/- 0,2 unidades
Temperatura	+/-0,5 °C
Oxigênio Dissolvido	+/- 0,2 mg/L ou 10 % das leituras, o que for maior
Condutividade	+/- 5,0 % da leitura
Eh (potencial de oxiredução)	+/- 20mV

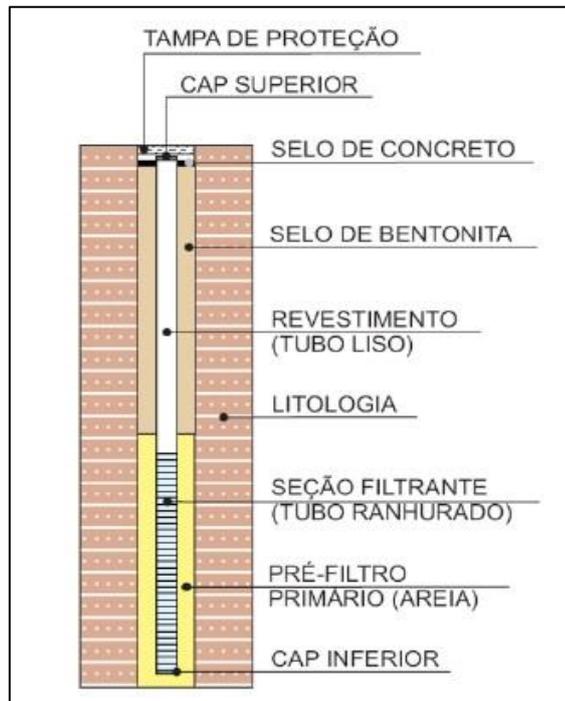
Fonte: ABNT (2010, p.14)

Essa metodologia também define o tempo que será necessário para a correta troca dos fluidos analisados em campo, considerando que para cada medida é de extrema necessidade a troca da água de todo o sistema utilizado, incluindo os valores de volume de mangueira e recipientes de medida (Célula de Fluxo), levando em consideração a graduação do copo de medida de cada equipamento a ser utilizado, e assim, garantindo que as leituras serão realizadas após toda a troca de água do sistema até a estabilização total dentro dos desvios utilizados nos protocolos de campo.

A amostra de purga por baixa vazão pode nem sempre ser recomendada, porém na maioria das vezes é eficaz em comparação com o tempo utilizado para execução e precisão dos dados gerados, encurtando o tempo de amostragem, podendo reduzir o volume de purga, minimizando a perturbação, reduzindo a mistura.

O rebaixamento do nível da água do poço durante a purga, deve ser o mínimo possível, preferencialmente nenhum, de forma a satisfazer os requisitos necessários e a permitir a execução do trabalho em tempos aceitáveis e condizentes aos procedimentos alterando o mínimo possível a dinâmica de fluxo natural.

**Figura 4 - Perfil Esquemático de Poço de Monitoramento**



Fonte: Ribeiro (2014, p. 24)

- 5.3.1.1 A ABNT (2007b), descreve em detalhes as principais partes constituintes de poços de monitoramento em aquíferos granulares. De nota particular aqui estão considerações: **Pré-filtro primário** - tem como principal finalidade reter o material da formação enquanto permite a passagem da água subterrânea para o interior do poço. A granulometria do pré-filtro deve ser determinada com base nas características granulométricas do meio perfurado (RIBEIRO, 2014);
- 5.3.1.2 **Tubo-filtro (seção filtrante)** - tem como finalidade reter o material do filtro-primário enquanto permite a passagem d'água ao interior do poço. A abertura das ranhuras também deve ser determinada com base na granulometria da formação aquífera. Pode ser classificado como curto (< 2m), indicado para situações de maior complexidade geológica ou necessidade de maior precisão de caracterização da qualidade da água, ou longo (> 2m), indicado para situações mais homogêneas e sem fluxo vertical (RIBEIRO, 2014);

5.3.1.3 **Tubo de revestimento** - normalmente construídos em PVC, aço inoxidável ou materiais flúor-polímeros (RIBEIRO, 2014).

Os poços piezômetros da Rede Integrada de Qualidade e Quantidade têm como características básicas profundidades da ordem de 40 metros, diâmetro útil de 2 e 4 polegadas, profundidade dos níveis de água variando em torno de 5 a 25 metros e estão situados em bacias que já tenham postos fluviométricos e pluviométricos da Rede Hidrológica Básica do DAEE. A implantação de piezômetros próximos a postos situados na mesma bacia visa facilitar a operacionalização da rede e contribuir no aperfeiçoamento do conhecimento do ciclo hidrológico e balanço hídrico.

Uma forma de avaliar a qualidade da amostra coletada é a observação visual da água e o acompanhamento das medidas de campo realizadas em sondas multiparamétricas. Em relação ao parâmetro de turbidez, quanto menor o valor, menor a chance de trazer na coleta arraste de partículas que possam vir influenciar nos resultados analíticos, evitando assim a necessidade de filtração das amostras, reduzindo também o custo da amostragem. Esta avaliação de dados no campo irá mostrar que quanto maior o tempo de espera para a estabilização da turbidez, maior garantia de qualidade da amostra encaminhada para análise no laboratório.

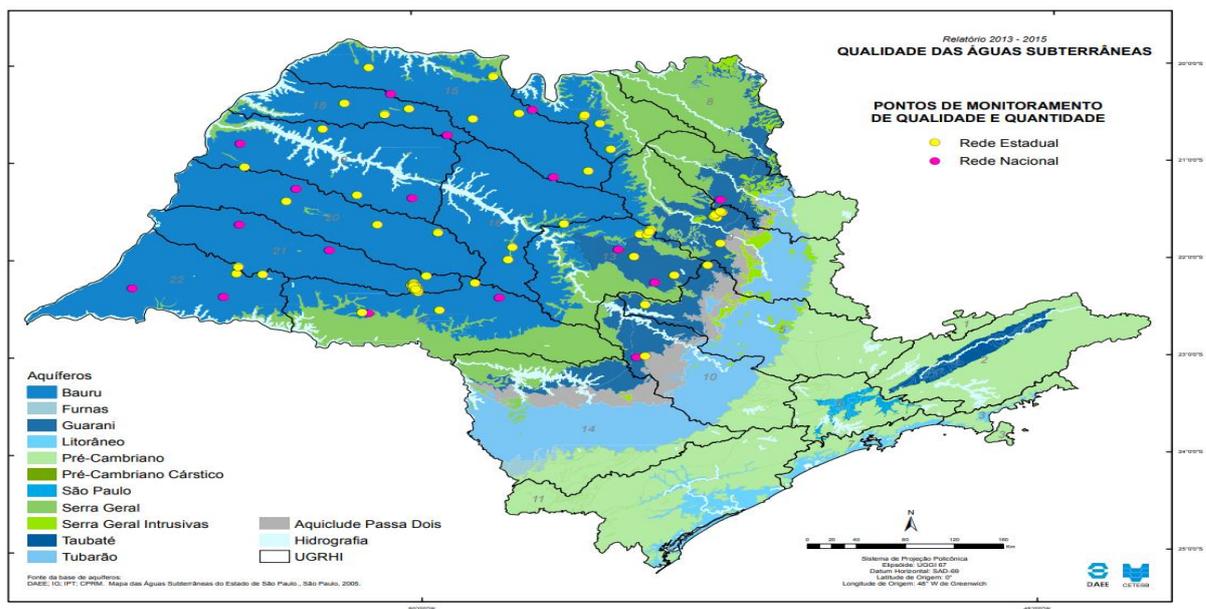
#### **5.4 ÁGUA SUBTERRÂNEA NO ESTADO DE SÃO PAULO: ALGUMAS CONSIDERAÇÕES**

O programa de monitoramento dos mananciais subterrâneos no Estado de São Paulo conta com mais de 300 pontos de amostragem no período de 2007 a 2015, distribuídos nos aquíferos Bauru, Guarani, Pré-Cambriano, Serra Geral, Tubarão, Furnas, Taubaté e São Paulo. Os dados gerados pelo monitoramento permitem avaliar as condições de qualidade das águas brutas, utilizadas principalmente para abastecimento público, nas UGRHs e nos aquíferos (CETESB, 2016).

Na **Figura 5**, estão identificados no mapa os pontos de monitoramento da Rede (Quali-Quant) qualidade e quantidade realizadas pela CETESB no Estado de São Paulo, inclusive os pontos da Rede Nacional, distribuídos por UGRHs. Hoje no estado de São Paulo para critério de avaliação, as Redes de monitoramento foram divididas em duas partes a Rede de Qualidade de água subterrânea, com mais de 200 pontos

e a Rede de Qualidade e Quantidade que também conta com mais de 60 pontos espalhados em todas as regiões do estado buscando avaliar as diversas causas e fontes, sendo avaliados e monitorados semestralmente. Para este trabalho foi utilizado pontos da Rede Quali-Quanti por se utilizar na avaliação a amostragem por baixa vazão, sistema necessário para conclusão deste tema.

**Figura 5 - Pontos de Monitoramento de Qualidade e Quantidade**



Fonte: CETESB (2016, p.33)

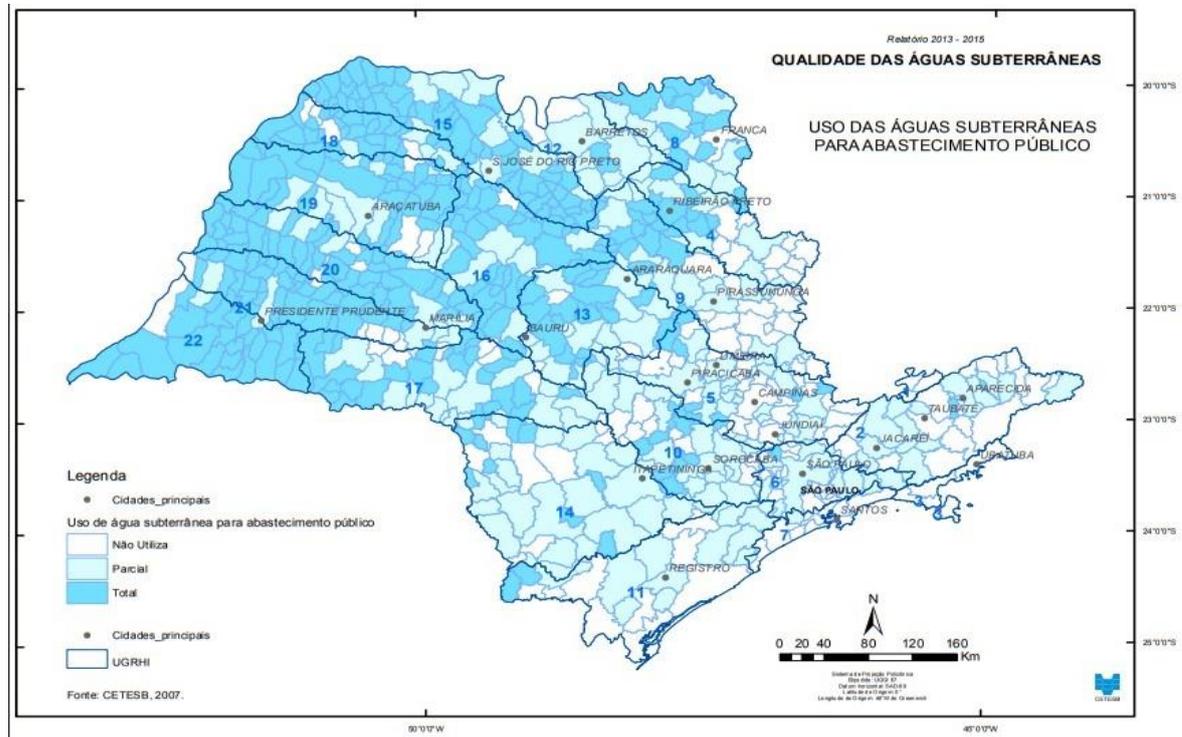
Frente à crescente demanda dos recursos hídricos, a exploração das águas subterrâneas é uma alternativa bastante atraente para abastecimento e agricultura em virtude da sua abundância, qualidade e relativo baixo custo de captação, principalmente considerando-se a condição inadequada de qualidade das águas superficiais associada ao elevado custo do tratamento dessas águas para os diversos usos e à escassez verificada em algumas regiões.

O recurso hídrico subterrâneo vem se tornando estratégico para desenvolvimento econômico da sociedade, devendo, portanto, ser protegido contra a poluição (CETESB, 2019).

No Estado de São Paulo, atualmente, aproximadamente 80% dos municípios são totais ou parcialmente abastecidos por águas subterrâneas (CETESB, 2019). A

**Figura 6** apresenta o levantamento de uso da água subterrânea para abastecimento público no Estado de São Paulo realizado pela CETESB entre 2013 e 2015.

**Figura 6- Uso de Água Subterrânea para Abastecimento Público**



Fonte: CETESB (2016, p.90)

Todos os pontos de amostragem utilizados neste estudo estão localizados no interior do Estado de São Paulo e pertencem a Rede Integrada de Qualidade e Quantidade de água da CETESB, facilitando assim uma melhor avaliação de dados e controles analíticos. Os pontos de interesse que apresentaram alterações nos resultados analíticos para metais, pertencem ao Aquífero Guarani, porém para fazer um levantamento se havia ocorrência semelhante em outros pontos, foram selecionados também pontos pertencentes ao aquífero Bauru.

Na amostragem de baixa vazão, o nível d'água é mensurado diariamente nos poços de monitoramento, que foram instalados preferencialmente distantes de atividades que interferem no nível d'água, como poços em bombeamento, barragens e outros, e próximos de estações fluviométricas e pluviométricas, com objetivo de contribuir para

o cálculo do balanço hídrico regional. Os parâmetros de monitoramento da qualidade serão os mesmos analisados na Rede de Monitoramento de Qualidade da CETESB. Estima-se que sejam necessários para a Rede de Qualidade e Quantidade, no mínimo 200 pontos de monitoramento integrado para obtenção de dados para subsidiar a gestão do recurso hídrico subterrâneo (CETESB, 2019).

## 6 MATERIAIS E MÉTODOS

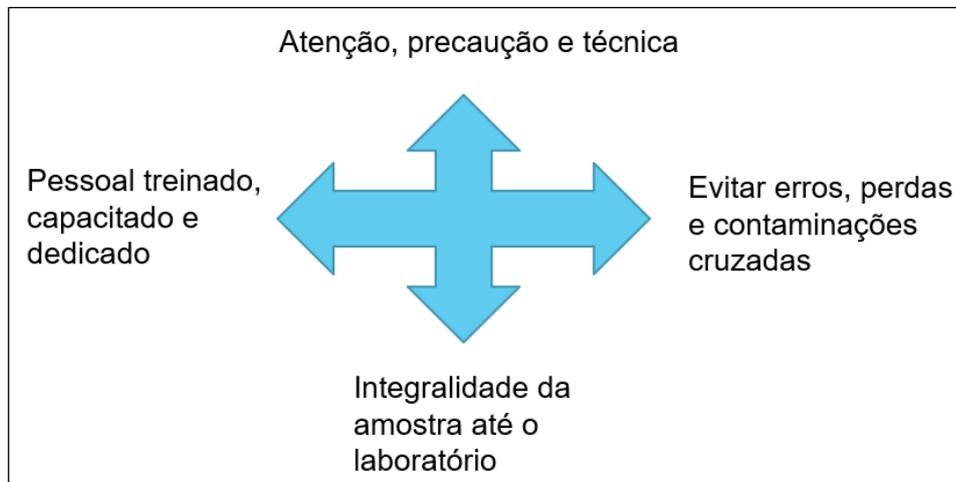
Para que a atividade fosse bem desenvolvida foi necessário a elaboração de protocolos de amostragem, levando em considerações diversas etapas de controle e qualidade. Estas etapas foram de extrema importância para a garantia de uma amostragem precisa, significativa e de resultados de ensaios confiáveis.

### 6.1 PLANEJAMENTO DE AMOSTRAGEM

O objetivo do planejamento é definir as atividades de amostragem, preservação, manuseio e transporte de amostras, recursos humanos e financeiros, além de métodos analíticos utilizados assegurando a obtenção de todas as informações necessárias de forma mais precisa, e com total garantia e controle de qualidade dos dados gerados em campo. Nesse plano deve-se determinar corretamente os pontos de coleta e definir um itinerário coerente, sempre de acordo com a disponibilidade dos laboratórios e prazos de vencimento das amostras.

Conforme mostra a **Figura 7** para que uma amostragem por baixa vazão esteja com um grau de satisfação adequada, alguns objetivos específicos básicos são esperados. Estes objetivos tendem a qualificar as atividades de amostragem em campo, pois são princípios que todos que exercem ou querem exercer esta atividade devem ter em seus protocolos ou procedimentos.

**Figura 7 – Objetivos específicos básicos para amostragem**

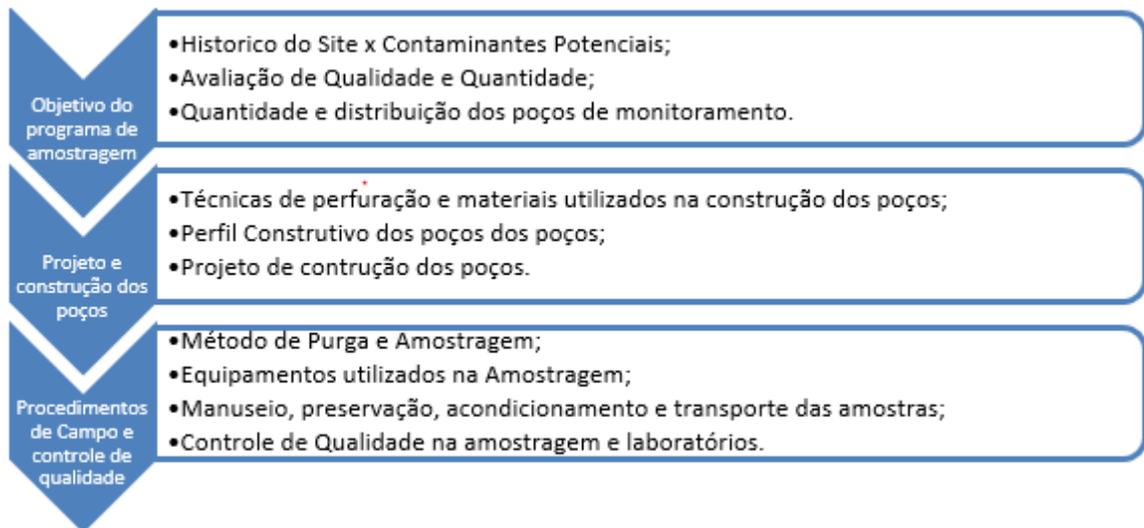


O processo de amostragem no campo é pouco definido em literatura. Assim vários procedimentos de amostragem podem ser introduzidos de diversas maneiras, gerando necessidade de atenção a alguns detalhes, tais como:

- a) Métodos e equipamentos de purgas inadequados;
- b) Equipamentos de amostragem;
- c) Manuseio de equipamentos;
- d) Procedimentos de amostragem (filtração e preservação);
- e) Descontaminação de equipamentos entre os poços;
- f) Dados de qualidade obtidos por técnicas inadequadas;
- g) Procedimentos de campo uniformes sem variação entre pontos de coleta e equipamentos de amostragem.
- h) Boas práticas e condutas.

Tendo os objetivos bem definidos no planejamento, as etapas seguintes, conforme **Figura 8**, são necessárias para elaboração de um programa de monitoramento mais completo:

**Figura 8 - Etapas de planejamento**



Fonte: Negrão (2009, adaptado em fevereiro 2019)

### 6.1.1 – Locais de Estudo

Foram executadas amostragens nos pontos localizados nos municípios de Brotas, Analândia, Santa Maria e Votuporanga. As amostras coletadas em dois períodos hidricos teve a ideia de trazer maior dados, onde se buscou avaliar a diversidade hídrica dos locais. A primeira campanha foi realizada entre os meses de abril e maio, período de maior recarga de aquíferos por chuvas, e a segunda campanha nos meses de outubro e novembro (ambos os períodos no ano de 2018), onde ocorre baixa ocorrências de chuvas, esta e etapa deve estar definida do planejamento.

Na **Tabela 2**, encontram-se os pontos pré-definidos no planejamento e utilizados neste estudo buscando uma melhor relação entre os protocolos usados atualmente na amostragem, distribuídos nas UGRHIS do Estado de São Paulo, já monitorados pela CETESB e onde foram apresentados alguns resultados fora dos limites regulatórios para poços de controle para alguns metais, notadamente para o elemento ferro.

Por motivos de logísticas não foi possível seguir o planejamento, pois os pontos utilizados coincidem com os da Rede Quali-Quanti da CETESB, sendo e as amostragens realizadas em conformidade com as da Rede.

**Tabela 2 - Poços Pesquisados**

<b>Locais e Pontos</b>	<b>Coordenadas Geográficas</b>		<b>Aquifero*</b>	<b>UGRHi</b>	<b>Concentração de Ferro (<math>\mu\text{g L}^{-1}</math>)**</b>
Analândia	WO 47° 41' 21"	S 22° 07' 57"	Z-5002 GU	05	16300 - 75850
Brotas	WO 47° 57' 46"	S 22° 14' 37"	Z-5005 GU	13	6080 - 27600
Santa Maria	WO 47° 10' 56"	S 22° 32' 20"	Z-5005 GU	05	19,1 - 96,5
Votuporanga	WO 50° 01' 36"	S 20° 30' 29"	Z-5029 BA	18	5,9 - 313

\*Aquíferos – onde, Z – refere-se a ponto de poço piezômetro, números – Numeração definida para identificação para a rede estadual e a sílaba ao lado – Sistema Aquífero avaliado.

\*\*Mínimo e máximo resultado obtido no período entre 2013 a 2015 (CETESB, 2016)

Fonte: CETESB (2016, apêndice A)

## **6.2 PROCEDIMENTOS E VERIFICAÇÕES PRA REALIZAÇÃO DA AMOSTRAGEM**

As coletas foram realizadas em conjunto com as da Rede de Monitoramento da CETESB.

As primeiras observações ocorreram na avaliação da situação do local a ser coletado, sendo verificadas as condições de limpeza ao redor, com anotações de anomalias e se possível o registro com fotos para futuras consultas.

As primeiras etapas são:

- a) Observação da situação de limpeza atual do poço e seus arredores.
- b) Cobertura com lona do local onde será realizada a atividade, evitando que os componentes entre em contato com o solo, para não aderir sujeiras do local aos acessórios que irão entrar em contato com a água. Ex. mangueiras e bombas.
- c) Introdução no poço de um medidor de nível e rebaixamento MP30 até atingir seu nível de água estático, fixando a altura da sonda do medidor de nível e rebaixamento, como também da água, para que durante o bombeamento não ocorra um rebaixamento excessivo do poço.
- d) Dentro do corpo da bomba foi acoplada uma bexiga descartável e conectou-se a tubulação dupla de descarga da água bombeada (mangueira de água) e posteriormente a conexão da tubulação de ar comprimido ou gás de CO<sub>2</sub> (mangueira

cinza) na parte superior da bomba. Nestes procedimentos tanto as mangueiras quanto a bexiga foram utilizadas exclusivamente para esta amostragem e são substituídas a cada troca de poço monitorado evitando traços de contaminações cruzadas.

e) Como em todos os poços estudados existem os perfis construtivos dos poços, conforme exemplo no **Apêndice A**. Identificando os posicionamentos dos filtros. Ocorreu variações de profundidade de amostragens variando de poço para poço. A bomba foi posicionada no meio da seção filtrante mais próximo do nível d`água.

f) Início da purga, sendo calculada a quantidade de água necessária para a total troca de todo o sistema. Nesta etapa foi utilizado uma planilha de campo (**Apêndice B**) que auxilia no registro de todas as etapas do processo, nela são descritos os volumes necessários para cada parte da amostragem e estabilização conforme **Tabela 3**.

Deve-se tomar o cuidado de equilibrar o poço, não retirando quantidade de água maior que a reposição natural do aquífero pode repor, ocasionando um rebaixamento, e comprometendo os ensaios estudados.

Quando ligamos a bomba a água vem do interior do poço. A água que estava estagnada foi misturada durante a introdução da bomba. Não podemos garantir que a água vem direto da formação para a captação da bomba, sem que ocorra a mistura.

No momento que se liga a bomba é criado um gradiente na formação e a água que entra no filtro neste início vem direto do pré-filtro do poço de monitoramento, devendo continuar o bombeamento até a troca total do sistema e conseqüentemente a reposição de água de formação para início dos controles.

**Tabela 3 - Cálculo do volume de água necessária para troca total do sistema**

Diâmetro do Tubo de descarga	¼ ou ½
I - Volume da bexiga (ml)	15 ou 100
II - Volume dentro do tubo de descarga (ml)	A calcular
III - Volume da Célula de fluxo utilizada (ml)	-
Soma: I + II + III (ml)	TOTAL

Fonte: NEGRÃO, P; KAMINSKI, D.B (2007)

- 1) **Diâmetro dentro do tubo de descarga** – volume de água que se encontra dentro de toda a profundidade do tubo, este volume foi calculado em laboratório e foi definido que em cada 1 metro de tubo, existe 17 ml de água.

- 2) **Volume da Bexiga** - este volume varia conforme a bomba utilizada, mas geralmente quando se utilizada a baixa vazão, o valor é fixo.
- 3) **Volume da célula de fluxo** – volume variando conforme a sonda utilizada, pois é dela que é definido o copo de leitura em circuito fechado. Estes podem variar de 200 ml a 300 ml, dependendo do equipamento utilizado.

A soma de todos os volumes acima definidos, foram utilizados para definição do volume de água que é preciso para realizar a troca de fluido dentro do sistema, e a definição de quanto tempo foi necessário para realizar cada leitura para não ocorrer a leitura repetitiva dos ensaios de equilíbrio e estabilização. A frequência entre as leituras deve ser baseada no tempo necessário para se renovar pelo menos um volume do sistema. Por exemplo, uma célula de 500 mL de volume com um bombeamento de vazão de 250 mL/minuto mais o volume de tubo de 10 mts, sendo este 170 mL/minuto terá seu volume renovado em 3 minutos. Assim as leituras para estabilização dos parâmetros devem ser registradas pelo menos a cada 3 minutos ou mais, garantindo a renovação da água no copo de leitura da célula (ABNT, 2010).

Se o operador conseguir esgotar totalmente a bexiga, a água no interior dela já é uma água nova, assim não seria necessário o cálculo acima mencionado na tabela 3.

g) Utilização do painel de controle do controlador de vazão MP50 sendo definido e iniciado com o ciclo de enchimento e descarga por minuto. Esta programação é definida por tempos, onde é lançado no poço por meio da bomba uma pressão de 30 PSI por 10 segundos com uma descarga de água do poço de 5 segundos. É uma etapa que ocorre sempre em ciclos, conforme programação do equipamento, esta programação pode ser alterada conforme a vazão necessária para cada poço sempre com o cuidado de não ocorrer o rebaixamento da água do poço acima do permitido de 25 cm. A pressão pode variar em função da profundidade do poço, este dado precisa ser avaliado e alterado em campo conforme necessidade.

Uma etapa muito importante e que em muitos casos não é realizada, é a desinfecção dos equipamentos que tiveram contato com a água, para utilização em outros locais. Ela evita uma possível contaminação cruzada, prejudicando os estudos e gerando falsos dados dos aquíferos. Para uma efetiva desinfecção utiliza-se um detergente neutro e muita água deionizada ou destilada para a lavagem dos equipamentos e acessórios, realizando várias vezes o enxague para total eliminação de resíduos impregnados nos orifícios e orings da bomba. Outros acessórios utilizados como as

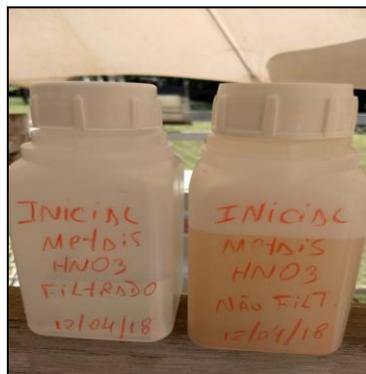
mangueiras, são totalmente retiradas as sobras de água e descartadas em locais apropriados.

Nesta etapa para efeito de avaliação foram coletados dois frascos para ensaios de metais, um sem filtração e outro com filtração conforme figuras 9 e 10.

**Figura 9 -Etapas de Amostras filtradas e não filtradas**



**Figura 10 - Amostras filtradas e não filtradas**



Fonte: elaboração própria (12/04/2018)

Os principais fatores que influenciam a concentração dos elementos na fração dissolvida da amostra são o tipo de filtros, o diâmetro do filtro, o método de filtração,

a concentração de sedimentos suspensos e a concentração de coloides e o volume da água processada. O termo “fração dissolvida” refere-se à fração de água e seus constituintes que passam através de um filtro de membrana e porosidade de 0,45 (ou 0,22)  $\mu\text{m}$  (micras) (PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011). Esta membrana é constituída de Politetrafluoretileno Expandido - PTFE hidrofóbico e com apoio de uma seringa descartável foi realizada a filtração por pressão positiva e acondicionado em frasco apropriado e realizado o mesmo procedimento de preservação da amostra sem filtração.

Para avaliar a questão das amostras com valores de turbidez elevados, a filtragem de amostras na membrana de 0,45  $\mu\text{m}$  foi adotada como prática comum (HEIDLAUF; BARTLETT, 1993). Ainda sim, há a afirmação de Puls e Barcelona (1996) que a escolha da filtragem de amostras deve basear-se no objetivo do estudo a ser realizado e não como uma correção para amostragens mal executadas.

### 6.2.1 Materiais e Equipamentos

Os materiais utilizados nestas atividades foram:

- a) Cronômetro;
- b) Balde graduado 20 litros;
- c) Bateria 12 Volts;
- d) Água deionizada;
- e) Reagentes químicos (Ácido Sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) diluído 1:1, Ácido nítrico concentrado ( $\text{HNO}_3$ ), Hidróxido de Sódio ( $\text{NaOH}$ ) 6N);
- f) Bomba bexiga de aço inox Sample Pro (**Figura 11 – A**);
- g) Painel controlador de ar comprimido MP50 ou controlador de digital MP15 (**Figura 11 – B**);
- h) Compressor de Ar comprimido de até 150 ou mais Psi;
- i) Cilindro de  $\text{CO}_2$ ;
- j) Mangueira de polietileno descartável de  $\frac{1}{4}$  ou  $\frac{1}{2}$  conforme modelo bomba nas cores cinza- ar e incolor - água (**Figura 11 – C**);
- k) Medidor de nível de água e rebaixamento ou Interface (**Figura 11 – D**);

- l) Sonda Multiparâmetro - Modelo ProDSS com célula de fluxo em circuito fechado compatível - com os parâmetros e limites (**Figura11 – E**);
- m) Medidor de Turbidez de campo modelo Hach (**Figura 11 – F**);
- n) Frascos de coletas, conforme necessidade dos ensaios;
- o) Proveta de 500 ml;
- p) Filtros de 0,22 micras;
- q) GPS (Global Positioning System – Sistema de posicionamento Global);
- r) Calculadora;
- s) Luvas de segurança;

**Figura 11 - Equipamentos utilizados nas atividades em campo**



Fonte: elaboração própria (17/04/2018)

### 6.2.2 Calibração de equipamentos

O equipamento utilizado no trabalho foi um medidor Multiparâmetro YSI Pro-DSS calibrado com rastreabilidade a RBC, o que é um requisito do INMETRO para que seja estabelecida a rastreabilidade metrológica dos resultados relatados.

O ajuste do sistema de medição do equipamento foi da seguinte forma para os parâmetros abaixo:

- a) pH - Ajustado em 3 pontos. MRC 7,00; 10,00; 4,00, respectivamente;
- b) ORP – Ajustado em solução Zobell (230mV);
- c) Condutividade – Ajustado em 1 ponto. MRC 1413 uS/cm;
- d) Oxigênio Dissolvido – Ajustado em 100% de saturação com 0,50cm de água limpa no copo do equipamento;
- e) Turbidez – Para este estudo não foram considerados como comparação os dados de campo realizados com a sonda. Por não haver procedimento de calibração para este ensaio foi realizada somente uma checagem de leitura, sendo comparada somente com um valor conhecido de água ultrapura.
- f) Foram realizadas coletas em frascos apropriados em todos os tempos da estabilização dos parâmetros indicadores e encaminhado ao laboratório ELAI da CETESB por ser ensaio acreditado e considerados os resultados obtidos.
- g) Para realização das medições os sensores são inseridos nos padrões, movendo-a para remover possíveis bolhas de ar. É necessário aguardar a estabilização de cada ensaio de interesse para que sejam consideradas as leituras e registrar nos cadernos de controle.

### **6.3 PROCEDIMENTOS DE AMOSTRAGEM E ANALISES DE LABORATORIAIS**

A amostragem pelo método de baixa vazão foi realizada de acordo com a ABNT NBR-15847 – Amostragem de água Subterrânea em poços de monitoramento – Método de Purga (2010) e protocolos internos de controle da divisão de amostragem da CETESB. As principais etapas realizadas nesta amostragem são descritas a seguir:

- Avaliação do estado de limpeza e acesso do local, com conferências das coordenadas geográficas;
- Medição do nível d'água: onde foram medidos o nível estático e a profundidade do poço, estas informações geralmente se encontra no perfil construtivo, mas foi verificado;
- Instalação da bomba: a bomba foi abaixada lentamente até a profundidade pré-determinada, que para estes poços são afogados, onde a bomba foi posicionada na metade da seção filtrante;

- Purga do poço: o bombeamento sempre foi realizado a vazão mínima, medida por meio de uma proveta graduada, buscando nunca ultrapassar os 250 mL/min;
- Monitoramento do Rebaixamento do nível de água: com objetivo de adquirir uma razão de fluxo estável que resulta num nível d'água também estável, este monitoramento foi efetuado a cada 3 minutos ou a troca total do sistema bombeado, conforme tabela 3, sendo monitorado o NA constantemente.
- Monitoramento dos parâmetros indicadores: temperatura, condutividade, pH, oxigênio dissolvido, ORP e turbidez, com o objetivo de garantir que a alíquota de água subterrânea coletada fosse representativa, estes sendo registrados em planilhas apropriadas com o tempo necessária a cada troca de fluxo.
- Para turbidez foi considerado o aspecto visual da água em completamente límpida e translúcida, e avaliação das medidas em campo com auxílio da sonda multiparametros.
- O poço foi considerado estável e pronto para início da amostragem quando os parâmetros em questão apresentaram três leituras iguais consecutivas, dentro dos intervalos de diferenças (ABNT, 2010), conforme tabela 1.
- Amostragem para os ensaios deste estudo: após a estabilização do poço e dentro do intervalo de tempo definidos, a cada registro foi realizado a coleta para ensaio de turbidez, metais totais e metais dissolvidos com filtração em campo.
- Amostragem para outros ensaios: após a estabilização dos parâmetros indicadores, a célula de fluxo foi desacoplada da mangueira de saída de água do poço, coletando as amostras necessárias diretamente nos frascos apropriados com a vazão máxima de 250 mL/minuto, evitando turbulência.
- Acondicionamento das amostras: as amostras foram preservadas logo após o preenchimento dos frascos, etiquetadas e acondicionadas imediatamente em local refrigerado, mantendo assim até a chegada ao laboratório.
- Descontaminação dos equipamentos: apenas a bomba e a célula de fluxo foram descontaminados com detergente e água destilada em abundância entre cada ponto de amostragem. Os demais materiais utilizados (mangueiras, cabos e bexigas da bomba) foram destinados em locais apropriados depois de cada amostragem.

A **Figura 12** apresenta coletas sucessivas realizadas em um dos pontos, onde é perceptível visualizar uma atenuação da turbidez das amostras nos frascos. O sentido temporal das amostras é da esquerda para a direita, ou seja, a amostra mais à esquerda foi a primeira coletada do poço, e a mais à direita, a última. Justamente estas partículas sólidas em suspensão, responsáveis pela turbidez, podem causar concentrações superestimadas para compostos orgânicos e Inorgânicos, notadamente os elementos que são os constituintes majoritários dos solos brasileiros, como, por exemplo, o ferro.

Para esta comparação as amostras de turbidez foram coletadas seguindo a programação de registro de cada ponto, sendo coletada a cada tempo pré-definido no início da purga.

Foi possível verificar que a turbidez em alguns pontos estabilizou juntamente com os outros parâmetros, mas esta avaliação não foi conclusiva, pois como já descrito, este estudo foi realizado em conjunto com a Rede de Monitoramento de água da CETESB – Quali-Quanti e para não alterar outras avaliações decidiu com a não continuidade dos testes.

**Figura 12 - Turbidez ao longo da amostragem**



Fonte: elaboração própria (12/04/2018)

### 6.3.1 Cuidados a serem observados em campo

Erros ou alterações de protocolos durante a amostragem podem levar a resultados não representativos e comprometer todo o processo de monitoramento. A avaliação de um local é baseada nos dados analíticos obtidos nessas amostras, que visam revelar a presença ou ausência de contaminantes. Como eles não refletem a realidade, aumenta o risco de classificar incorretamente o caso diante dos órgãos e regulamentações ambientais (NEGRÃO, 1997).

Outros erros sistemáticos podem ser provenientes de contaminação cruzada de amostras e reagentes inadequados, erros na calibração de instrumentos, impurezas de reagentes ou da água de diluição, mau funcionamento de equipamentos, erros nos métodos de amostragem, dissolução incompleta de amostras, erros nos cálculos, entre outros. Erros aleatórios podem ser humanos ou inerentes às medidas, como a maneira com que os instrumentos são operados (PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011).

Os problemas mais comuns encontrados são:

- a) Colocação da mangueira de amostragem dentro dos frascos, ocasionando uma possível contaminação externa para a amostra de interesse;
- b) Local de estudo com muita sujeira e com vegetação muito alta, impossibilitando a chegada próximo ao local e na preparação para atividade;
- c) Equipamentos em estado de uso indevido, ocasionando perda de atividade de campo. Ex. equipamento sem pilhas carregadas o suficiente, ocasionando a parada da atividade de leituras dos ensaios de campo, sendo necessário o cancelamento dos dados e posterior recomeço da atividade;
- d) Rebaixamento excessivo em desacordo com o potencial hídrico do poço, ocasionando arraste de partículas indesejáveis, alterando sua estrutura e gerando resultados falsos nas leituras de dados (um exemplo é a turbidez muito alta e alguns metais em concentrações muito elevadas frente a valores esperados);
- e) Falta de conhecimento técnico do operador na articulação da atividade como: colocação da bomba no poço até a profundidade de amostragem, sendo que este deve ser colocada em processo lento, evitando além do arraste de

partículas impregnadas nas bordas do poço a agitação excessiva da coluna de água causando movimentação de partículas.

- f) A não observação ao perfil estrutural e construtivo do poço, podendo causar uma falta de mangueira até o local onde encontra-se o pré-filtro, local este onde irá se posicionar a bomba para início da purga, conforme comentado antes.
- g) Atentar as regras de programação do equipamento a ser utilizado, pois cada modelo contém suas especificações e modo de programação automática, não gerando excesso de ar no poço, ocasionando bolhas no sistema e prejudicando as análises de controle, como: alteração nos valores de oxigênio dissolvido, este processo se anula com a observação de bolhas na mangueira de saída de água (transparente);
- h) Utilização de equipamentos de proteção (luvas) evitando contato direto da mão com amostras;
- i) Não desinfecção dos equipamentos utilizados que entraram em contato com a água ocasionando a chamada contaminação cruzada.

OBS: Caso a equipe de campo for utilizar os equipamentos em outros pontos é necessário realizar a descontaminação em campo, recomenda-se utilização de detergente neutro, com enxague com água abundante e por fim umas três passadas de água destilada, e realizar um branco de equipamento para garantia de qualidade da lavagem.

### **6.3.2 Metodologias analíticas**

A determinação de turbidez foi realizada em campo por equipamentos portáteis, sendo eles o Turbidímetro Hack e a Sonda Multipamêtros YSI que realiza também os ensaios de pH, CE, temperatura, OD e ORP, todos calibrados com padrões rastreados à RBC -Rede Brasileira de Calibração. Nesta etapa ainda foram coletadas amostras em paralelo de turbidez e metais em cada tempo da estabilização para ensaios no ELAI (Laboratório de Química Inorgânica da CETESB), com um Turbidímetro Hack previamente calibrado com padrões rastreados junto à rede Brasileira de calibração.

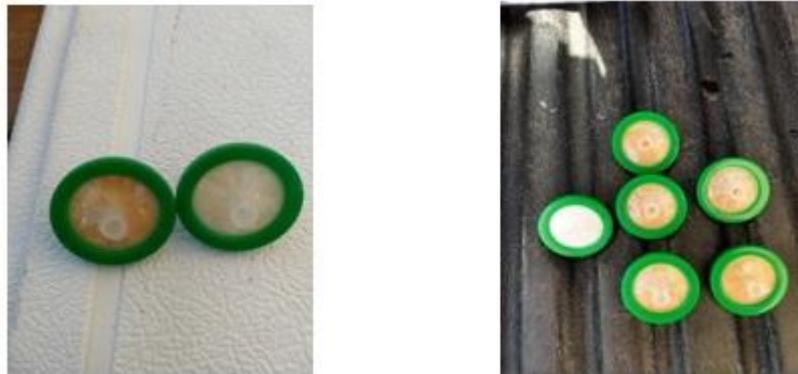
Os metais: bário, cádmio, crômio, ferro, manganês, potássio, lítio, magnésio, sódio, fósforo, zinco e estrôncio foram determinados por meio das técnicas de ICP-MS e ICP OES. A escolha desses metais se deu por eles terem boa relação com a turbidez, e por conter aspectos de análises mais precisas para comparação, sendo seu prazo

para análise aumentado após a preservação, favorecendo as análises dos dados gerados.

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras para metais foram filtradas em campo com filtros de 0,22  $\mu\text{m}$  e foi observado que existe uma grande influência de sólidos, como mostra as fotos da **Figura 13**. O filtro utilizado no início ficou com coloração mais escura, marrom, e o filtro utilizado no final da amostragem ficou com coloração branca, este fato observado em campo nos leva a acreditar que se os protocolos ou procedimentos de campo forem rigorosamente seguidos e não ocorrer alterações nos tempos utilizados para a estabilização dos parâmetros indicadores, aumento da descarga de água ou aumento da vazão já pré-definida no início, a turbidez tende a diminuir.

**Figura 13 - Filtros 0,22  $\mu\text{m}$**



Fonte: elaboração própria (12/04/2018)

Por meio das determinações de turbidez realizadas com a sonda multiparametros em conjunto com os intervalos de tempo definidos em campo com auxílio do painel controlador, foi verificado que a turbidez inicial ficou com os valores maiores que as leituras seguintes, com tendência a estabilização, estas comparações entre as leituras também eram fáceis de visualização a olho nú em campo, conforme **Figura 12**.

Todos os resultados obtidos em campo para os parâmetros pH, Oxigênio Dissolvido, Condutividade, Potencial Redox, Temperatura e Vazão, assim como os resultados obtidos para os elementos analisados, estão nos **Anexos C ao F**.

A coleta realizada em Votuporanga no primeiro semestre de 2018 demonstrou as relações que podem ser estabelecidas entre a turbidez, os elementos presentes na amostra e a vazão da coleta (purga).

O grafico **12** apresenta a evolução das concentrações de alumínio e turbidez ao longo do tempo, que foi definido no inicio da purga, com calculo de volume necessário para a troca de todo o sistema, conforme tabela 3. Neste ponto o cálculo para a troca de todo o volume de água, foi de 908 mL, sendo necessário 4 minutos para cada leitura para a troca total, com uma vazão de 250 mL/minuto.

Ao iniciar a purga, a turbidez no “tempo zero” estava elevada e as concentrações dos elementos também estavam altas. No decorrer do tempo de estabilização, as coletas em tempos sucessivos (4, 8, 12 e 16 minutos) indicaram a diminuição das concentrações dos elementos (metais e turbidez), que com a vazão estável de 250 mL/minuto.

Verificou-se que entre 4 e 12 minutos os ensaios mesmos ensaios ficaram estáveis, e depois, após 12 minutos, foram aumentando novamente. Como nesta etapa de estabilização dos parâmetros indicadores não ocorreu alteração de vazão, não foi possível avaliar se esta alteração foi em consequencia de algum arraste do pré-filtro ou se a vazão para este poço estava acima da recarga.

Porém, a alíquota da amostra efetivamente considerada para a análise dos parâmetros dentro da rede de monitoramento Quali-Quant, coletada a 16 minutos, apresentou uma turbidez 50% maior do que o tempo de 8 minutos. E a consequência disto foi observado uma maior concentração para os elementos Al, Fe, Mn e Cr, dentre outros. Elementos estes que são tipicamente associados ao Fe e a Al, constituintes majoritários das partículas do solo. Provavelmente, este possível "arraste" de material particulado para a amostra após decorridos mais de 12 minutos de purga pode ter sido em função de uma vazão de purga maior do que a capacidade de recarga do poço monitorado, possibilitando o arraste de partículas do pré-filtro ao poço e consequentemente aumentando a turbidez e a concentração de elementos avaliados.

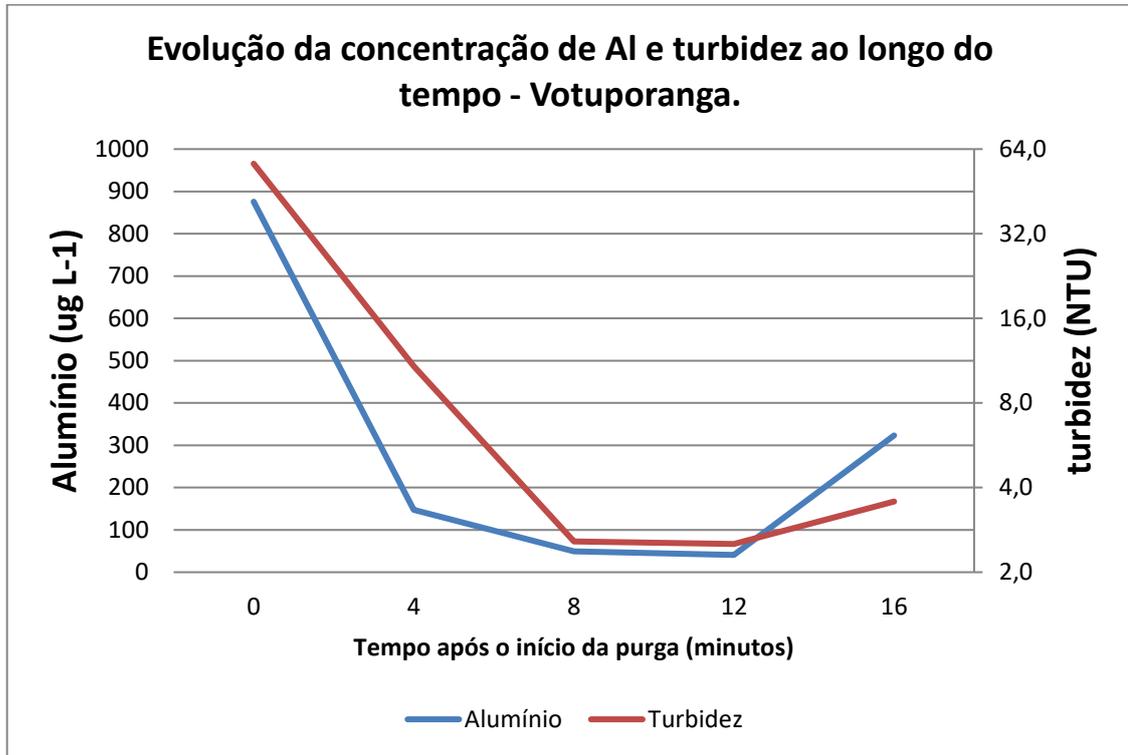
Desta forma, e de acordo com os resultados obtidos de turbidez e elementos, o melhor momento de coleta das amostras seria entre 8 e 12 minutos, visto que após este tempo tais parâmetros tiveram incremento de concentrações.

Em muitas situações mesmo a vazão sendo ajustada a recarga do aquífero e obedecendo os protocolos de rebaixamento, a necessidade de ajustes da vazão, pois não ocorrendo a estabilização dos indicadores, este se faz necessário prevenindo que possíveis arrastes de partículas sólidas sejam carregadas a bomba de captação.

Caso a turbidez estivesse como parâmetro indicador, poderia se avaliar a necessidade de reduzir a vazão que era de 250 mL/minutos, e monitorar se de fato a turbidez iria diminuir, como neste trabalho não foi possível este monitoramento não é correto afirmar que houve arraste de partículas sólidas dos pré filtros ou do solo para as amostras coletadas. Vale lembrar que a alteração de vazão só deve ocorrer para menor do que a vazão de equilíbrio, isto é, se a vazão de equilíbrio da purga foi de 250 mL/minuto, o ajuste caso necessário deve ser menor e nunca maior, pois ocorreria um desequilíbrio e possivelmente um rebaixamento maior que o definido na norma.

Para uma melhor avaliação dessas ocorrências seria necessário a continuidade dos testes em campo, com alterações de aumento e diminuição de vazões e descarga de água, fatos que não foram possíveis de ser realizados neste estudo, sendo necessário a continuidade do monitoramento dos parâmetros por mais tempo para conclusão de melhor performance da turbidez. Esta avaliação poder ser continuada com agregação de outros estudos futuros.

**Gráfico 1 - Evolução das concentrações de Al e turbidez ao longo do tempo com vazão de bombeamento de 250 mL/Minuto.**

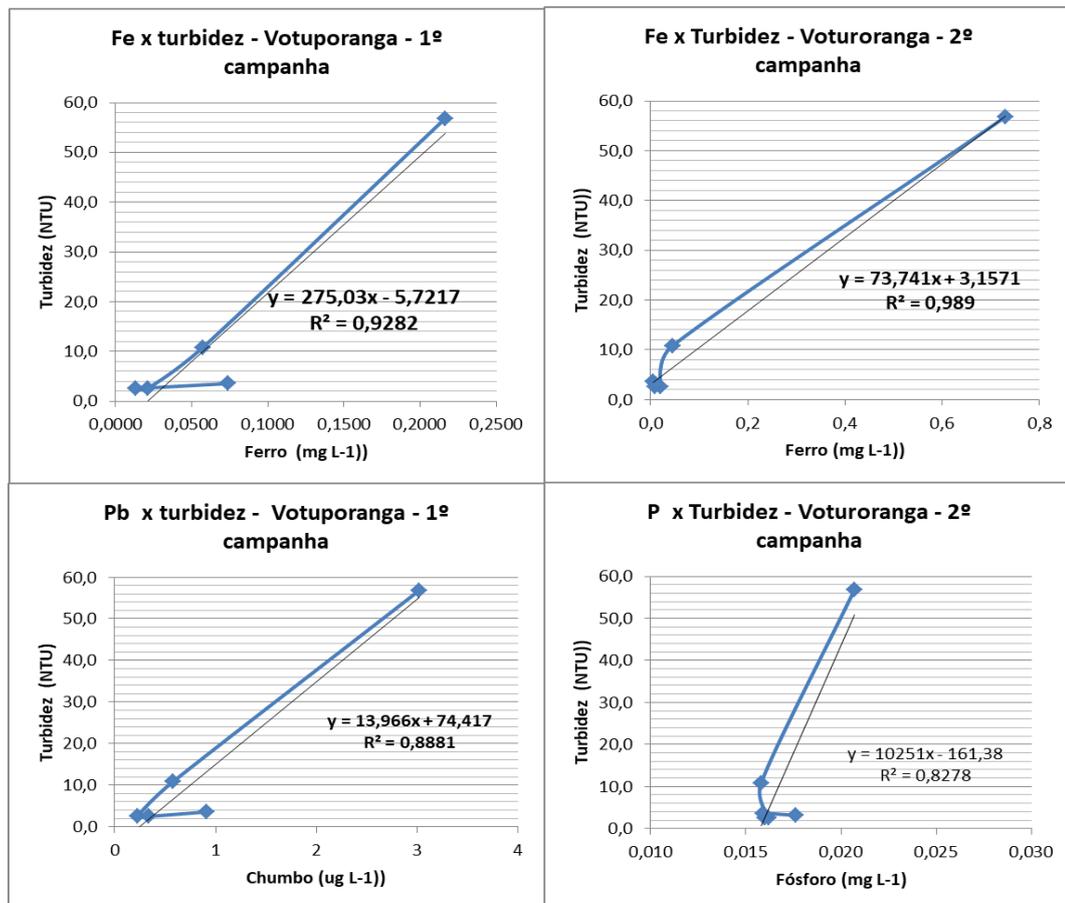


Em relação ao incremento das concentrações dos elementos com a turbidez da amostra, a **Figura 14** apresenta o gráfico correlacionando os elementos Fe x turbidez nas duas campanhas de monitoramento, com a variação de alta e baixa recarga hídricas, também correlaciona Pb x turbidez no período de baixa e P x turbidez no período de alta, estas correlações foram importantes neste estudo, pois foi possível comparar os resultados nas duas campanhas de amostragem que ocorreram em Votuporanga, nestas atividades a vazão da 1ª campanha se manteve 250 mL/minuto e na 2ª campanha foi de 175 mL/minuto e ambas se mantiveram constante do início ao fim das medições dos indicadores até a estabilização final. Além dos macroelementos formadores dos solos como Fe e Al, outros também apresentaram relação de incremento de concentração com o aumento de turbidez, O Pb e P estão exibidos no gráfico (**Figura 14**) apenas como exemplos adicionais. Esta dinâmica - incremento das concentrações com o aumento da turbidez - ocorre para todos os elementos que apresentam a tendência de ficar mais aderido ao material particulado do solo - responsável pela elevação de turbidez - tais como Mn, V, Zn, Co, U, Cu, Cr, além dos citados P e Pb. Vale reforçar que o aumento de turbidez na última alíquota,

coincidente com o aumento da concentração de Al (e demais elementos analisados associados com o material particulado do solo) podem ter sido oriundos de uma vazão de retirada de água acima da capacidade de recarga do aquífero.

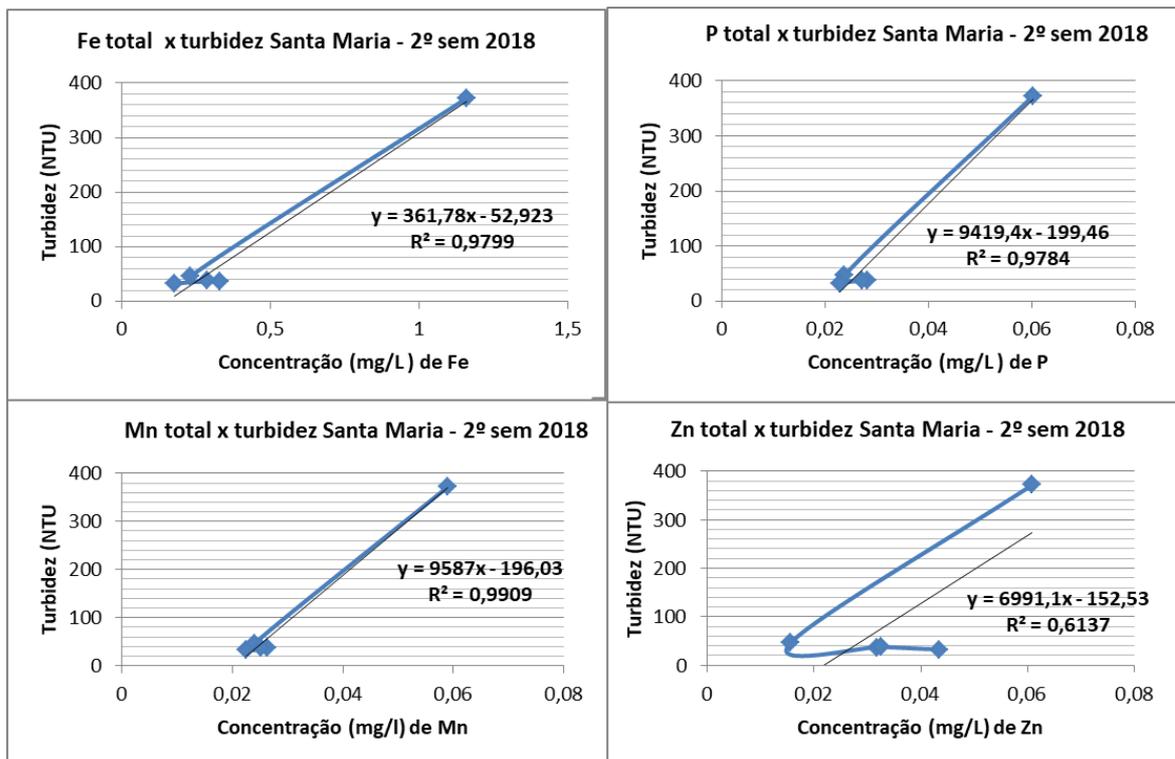
Nos locais (Analândia e Santa Maria da Serra) onde a leitura inicial da turbidez foi muito alta (>50 NTU) e a segunda leitura não apresentou uma redução significativa (<10%), a vazão de bombeamento foi reduzida. Não foi possível a redução significativa e necessária, pois os pontos utilizados fazem parte da Rede de Monitoramento da CETESB, e conforme já informado anteriormente, este estudo foi realizado em conjunto com a Rede não sendo possível as alterações, para que não houvesse interferência nos ensaios do monitoramento.

**Figura 14 - Gráficos de alguns elementos nas Campanhas de Votuporanga**



O ponto coletado no Município de Santa Maria é um ponto recém incluído na rede de águas subterrâneas da CETESB e apresentou em 2016 e 2017 resultados discretamente elevados de ferro (CETESB, 2019). Não somente este elemento, mas diversos outros, tais como Mn, P e Zn (**Figura 15**) apresentaram correlações significativas com a turbidez, este com a vazão estabilizada em 230 mL/minuto indicando, da mesma forma que o ponto de Votuporanga, existe uma relação entre o material particulado do solo – causador da turbidez, e as concentrações observadas dos elementos nas amostras de água coletadas.

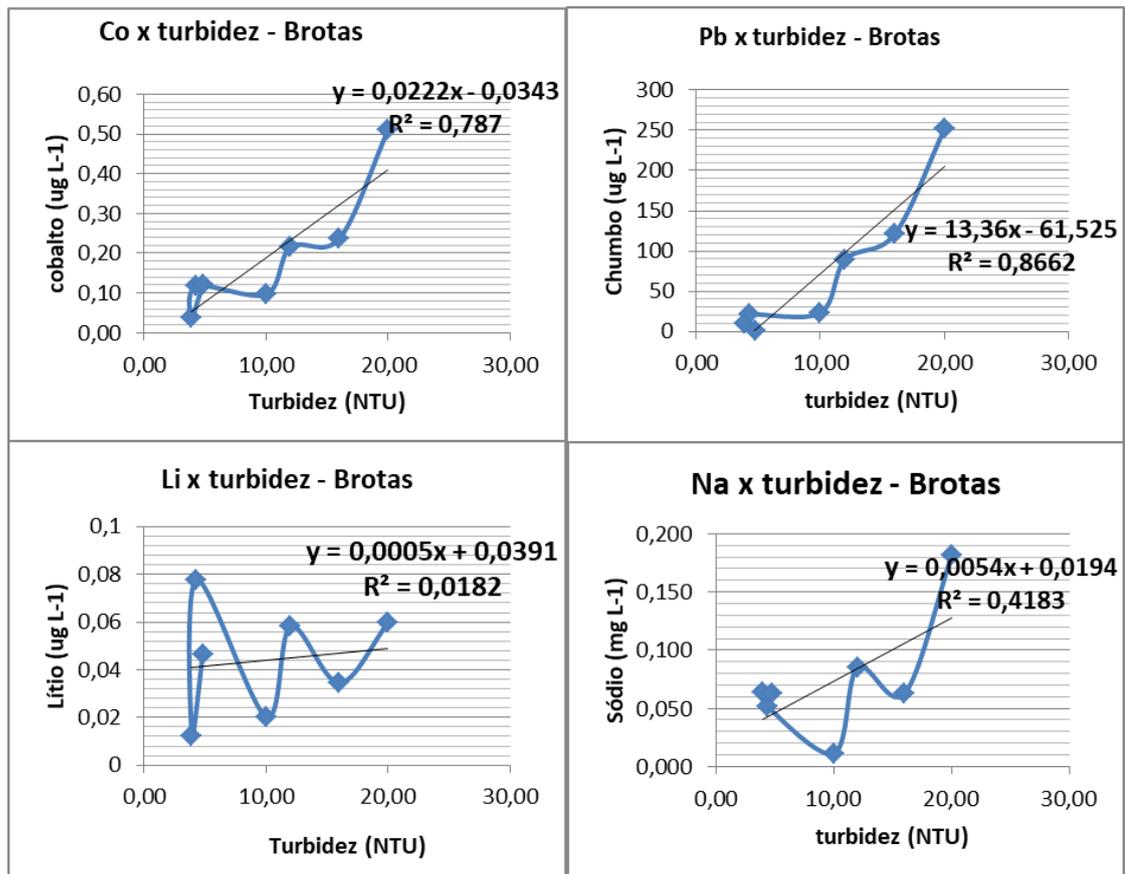
**Figura 15 - Gráficos de alguns elementos nas Campanhas de Santa Maria**



No ponto coletado em Brotas, foi realizada a estabilização da vazão em 340 mL/minuto, este acima dos 250 mL/minuto considerado ideal para este tipo de amostragem e ocorreu a mesma dinâmica entre os elementos e a turbidez. Quanto maior a turbidez, maior a concentração dos elementos que ocorrem mais associados ao solo, tais como Fe, Mn, Al dentre outros. A **Figura 16** apresenta como exemplos os elementos Co e Pb, com excelentes correlações com a turbidez e comumente

considerados insolúveis e retidos pelo solo (Siegel, 2000). Por outro lado, os elementos alcalinos, reconhecidamente solúveis, não apresentaram correlação significativa com a turbidez, como por exemplo o Li e o Na, como pode ser observado na **Figura 16**.

**Figura 16 - Gráficos de alguns elementos nas Campanhas de Brotas**



Em relação ao ponto situado no município de Analândia, observa-se dinâmica similar aos outros pontos já descritos. Forte associação do Fe e demais elementos, conforme **Figura 17**, com a turbidez. Este local foi o que apresentou os maiores resultados de ferro, ao redor dos 30 mg L<sup>-1</sup>, e também de turbidez, com aproximadamente 200 NTU, tanto no levantamento histórico da CETESB quanto neste estudo. Pode se verificar que este local provém de formação argilosa, no momento da amostragem a vazão foi estabilizada em 275 mL/Minuto na 1<sup>o</sup> campanha. Os dados da 2<sup>o</sup> campanha foram os mais altos, mesmo sendo com uma vazão menor 190 mL/minuto, este pode ser efeito

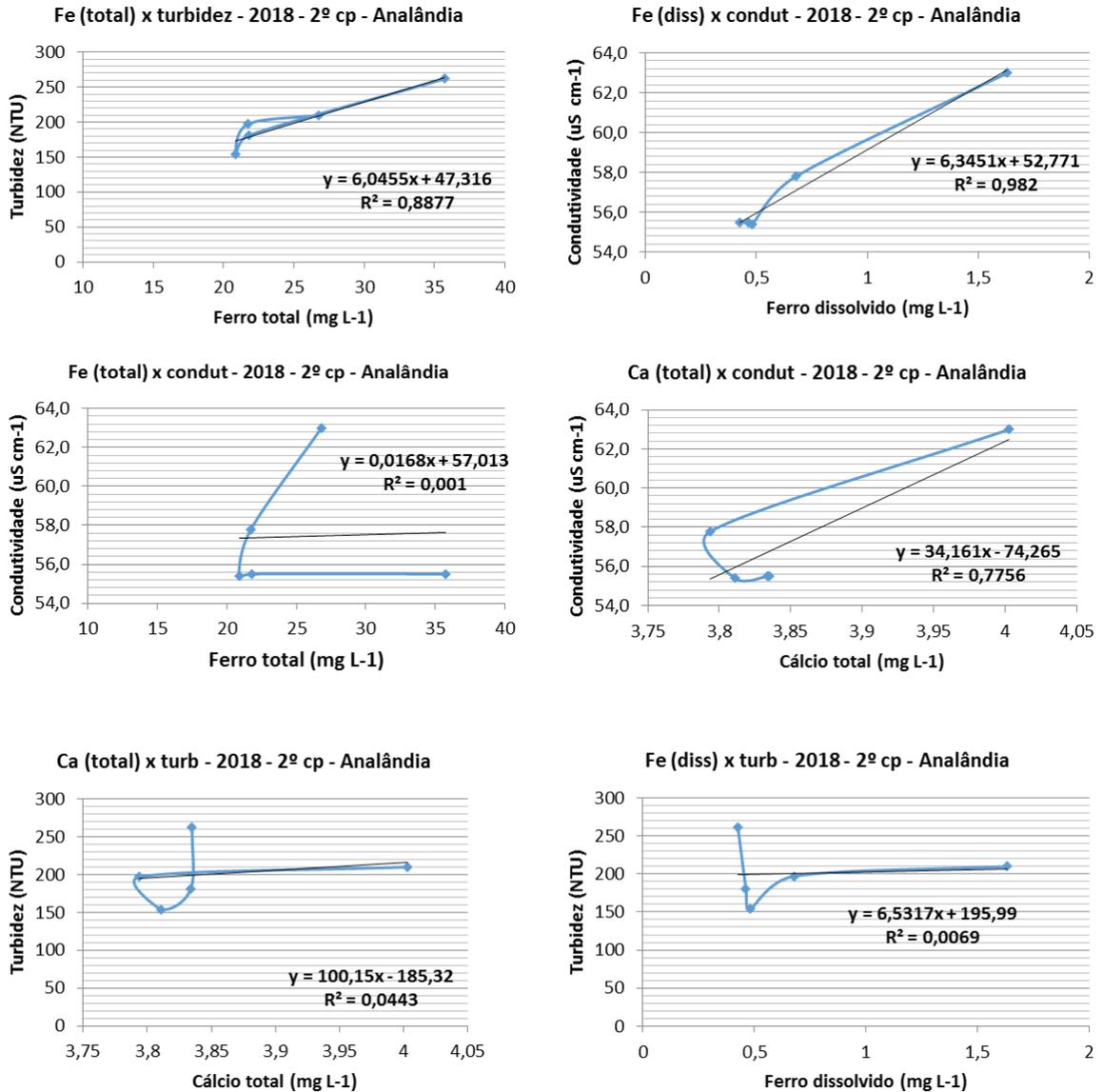
do arraste de partículas finas, que não se aderem nas ranhuras dos filtros, este local pode se avaliar a necessidade de filtração das amostras indiferente da vazão, devido as partículas finas de formação passarem pelos filtros e se juntarem a água do poço, ocasionando aumento de concentrações e turbidez.

Outra resposta interessante foi verificar a boa correlação existente entre a condutividade e o ferro dissolvido nestas amostras. As concentrações de Fe total não apresentaram boa correlação com a condutividade, ao contrário do ferro dissolvido, com excelente correlação com a condutividade. Entretanto, a diferença de quase 100 vezes as concentrações de Fe total (ao redor dos 20 mg L<sup>-1</sup>) para com as dissolvidas (aproximadamente 0,30 mg L<sup>-1</sup>) coloca em evidência a origem deste elemento fortemente associada ao material particulado, justamente o responsável pelos elevados valores de turbidez. Por isto, as concentrações totais não apresentaram correlações significativas com a condutividade (**Figura 17**) enquanto que as dissolvidas apresentaram.

Para reforçar esta hipótese de a condutividade retratar os elementos plenamente dissolvidos, o cálcio, tanto o total quanto o dissolvido, apresentou boas correlações com a condutividade, conforme pode ser observado na **Figura 17**, enquanto que com a turbidez o cálcio não apresentou correlação significativa, tanto na fração total (**Figura 17**) quanto na fração dissolvida.

Neste ponto, na amostra efetivamente coletada e que integrou os resultados da Rede da CETESB, novamente ocorreu incremento da turbidez, o que pode indicar uma exploração de água durante a amostragem maior que a capacidade de recarga do poço. Com estas informações podemos verificar que a condutividade realizada em campo, também pode ser um bom indicador se a amostra filtrada em campo, pode ser aceito como representativa da fase dissolvida.

**Figura 17 - Gráficos de alguns elementos nas Campanhas de Analândia**



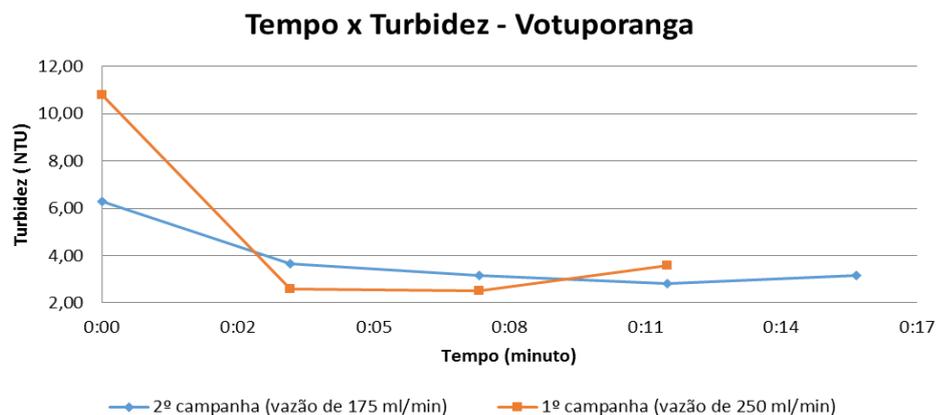
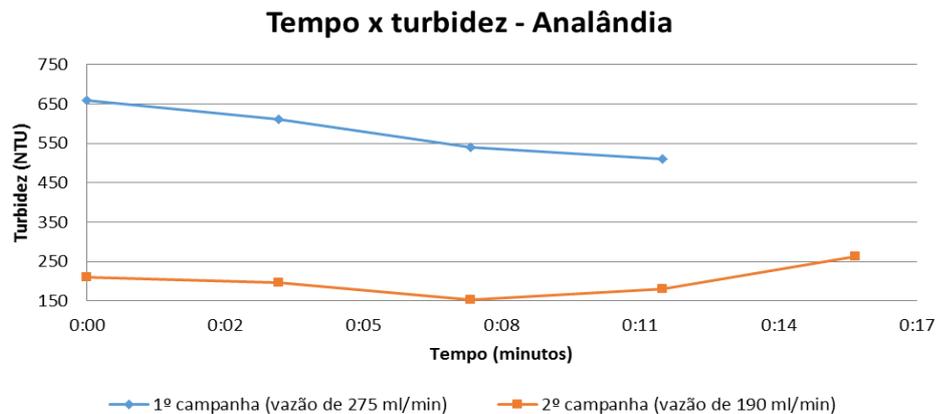
Foram importantes as leituras da turbidez neste estudo, pois conseguimos identificar que a alteração significativa da vazão de bombeamento (descarga de água), pode alterar este parâmetro causando avaliações distorcidas nos resultados e efeitos negativos nas interpretações dos resultados finais.

Estas variações de turbidez, observadas neste estudo, também podem estar relacionadas com outras fontes, não sendo necessariamente por arraste de partículas do solo, podendo ser:

1. Material da formação que foi mobilizado e que após um tempo de bombeamento, entrou no poço.

2. Indicativo de que o poço não está bem construído ou desenvolvido, necessitando de uma avaliação.
3. Comparação do diâmetro da perfuração com o diâmetro do tubo filtro.
4. O volume de água contida no pré-filtro.
5. O tempo necessário para garantia de que a água purgada é a de formação.
6. Após a estabilização dos indicadores, qual melhor tempo para realização da coleta de amostras.
7. Avaliar se os perfis construtivos estão com todas as informações necessárias para a continuidade da análise, pois em muitos casos a amostragem é prejudicada por falta de informações adequadas como, vazão de bombeamento do poço e carga hidráulica do local. Informações que são de grande importância devendo ser acrescido nos relatórios construtivos dos poços, facilitando a amostragem e evitando utilização de bombeamentos excessivos.

**Figura 18 - Evolução da turbidez em função do tempo nos pontos de Analândia e Votuporanga**



## 8 CONCLUSÕES

Neste estudo foi observado que a medida de turbidez pode contribuir bastante no momento de encerramento de estabilização dos parâmetros indicadores, pois é um dado simples de realizar em campo e também a olho nú.

Com esta análise, foi possível avaliar a interferência da vazão em relação ao aumento da turbidez, e esta pode interferir nos resultados finais. Para uma melhor avaliação deste evento seria necessário a continuidade de testes por mais tempo e em locais com diferentes formações hidrológicas e geológicas, levando para discussões a necessidade de englobar a leitura de turbidez de campo como um parâmetro indicador de controle e equilíbrio nos ensaios pré amostragem e não somente para o desenvolvimento do poço como é utilizado hoje.

Com os dados gerados nos pontos de pesquisa dos aquíferos, podemos perceber que os protocolos de campo não sendo bem elaborado e seguidos na integra, interferem diretamente nos resultados finais. Os valores encontrados na pesquisa servem para mostrar a necessidade de monitoramento permanente dos poços, com aprimoramentos e treinamentos técnicos, viabilizando uma garantia de qualidade das atividades de campo e gestão de qualidade dos dados gerados.

As medições de turbidez devem ser tomadas durante a purga e na estabilização dos parâmetros indicadores para demonstrar se a estabilização ocorreu ou não e alertar que a água no interior do poço é predominantemente da formação.

Se a amostra de água subterrânea tem uma turbidez elevada, ela apresenta certas concentrações de elementos carregados pelo material particulado responsável por esta turbidez. Em relação à possibilidade de filtração de amostras nestes casos onde suspeita-se de casos de poços com construção inadequada, recorrer a filtração da amostra para remoção das partículas em suspensão ou eliminar a turbidez excessiva pode afetar as características químicas das amostras, entretanto, tal filtração deverá gerar resultados que refletem de maneira precisa os dados reais da qualidade da água subterrânea.

Uma etapa muito importante que podemos avaliar neste estudo, foi a falta de testes de vazões após as construções dos poços, os croquis de informações de construção dos poços não mostram estas leituras ou limites. Com estas informações nos

descritivos ou perfis construtivos dos poços seriam de grande validade no momento do monitoramento, pois mostraria os diversos limites e níveis a que aquele poço foi condicionado e quais vazões ele pode se limitar, estas informações geradas no momento da construção e desenvolvimento como nível estático e nível dinâmicos e vazão máxima e mínima, dariam melhor eficácia nas amostragens.

Para continuidade destas pesquisas é necessário a realização de outros estudos complementares a este, buscando mais informações através de outros dados realizados em campo e o entendimento e desenvolvimentos mais apurado dos poços.

## REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 15847**: amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento: método de purga. Rio de Janeiro, 2010. 15 p.

ABNT. **NBR ISO/IEC 17025**: requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio de calibração. Rio de Janeiro, 2017a. 32 p.

ABNT. **NBR ISO/IEC 17034**: requisitos gerais para a competência de produtores de material de referência. Rio de Janeiro, 2017b. 27 p.

ABNT. **NBR 15495-1**: poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares: parte 1: projeto e construção. 1.ed. Versão corrigida 2009. Rio de Janeiro, c2007. 25 p.

ANA (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017**: relatório pleno. Elaboração dos originais: Agência Nacional de Águas e Anderson Araújo de Miranda. Brasília, 2017. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/relatorio-conjuntura-2017.pdf>>. Acesso em: jun. 2019.

BALDOTTO, M. A. **Propriedades redox e grupos funcionais de ácidos húmicos**. 2006, 102 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Centro de Ciências e Tecnologias da Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, ago. 2006. Disponível em: <[http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/PRODVEGETAL\\_3434\\_1161290815.pdf](http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/PRODVEGETAL_3434_1161290815.pdf)>. Acesso em: jun. 2019.

BARCELONA, M. J.; VARLJEN, M. D.; WEHRMANN, H. A. Reproducible well-purging procedures and VOC stabilization criteria for ground–water sampling. **Ground Water**, v. 32, n. 1. p. 12-22, jan./Feb.1994.

BELÉM (Pará). Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. **Água**: fonte de vida. Belém, 2005. Disponível em: <<https://www.semas.pa.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/Cartilha-Agua-Fonte-de-Vida.pdf>>. Acesso em: jun. 2019.

BITTENCOURT, C.; PAULA, M. A. S. **Tratamento de água e efluentes – fundamentos de saneamento ambiental e gestão de recursos hídricos**. São Paulo: Érica, 2018.

BRASIL. CONAMA. **Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Disponível em:

<<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>>. Acesso em: jun. 2019.

BRASIL. Portaria nº 5, de 28 de setembro de 2017. **Consolidação das Normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde**. [Brasília].

CASALI, C. A. Qualidade da água para consumo humano ofertada em escolas e comunidades rurais da região central do Rio Grande do Sul. 2008. 173 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2008.

CETESB; ANA. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas**. Organizadores: Carlos Jesus Brandão et al. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. 325 p. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/GuiaNacionalDeColeta.pdf>>. Acesso em: jun. 2019.

CETESB. **Águas subterrâneas: importância**. São Paulo, 2019. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas>>. Acesso em: jun. 2019.

CETESB. **Qualidade das águas subterrâneas do estado de São Paulo 2013-2015**. São Paulo, 2016. (Série Relatórios). Disponível em: <[https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/wp-content/uploads/sites/13/2013/11/Cetesb\\_QualidadeAguasSubterraneas2015\\_Web\\_20-07.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/wp-content/uploads/sites/13/2013/11/Cetesb_QualidadeAguasSubterraneas2015_Web_20-07.pdf)>. Acesso em: jun. 2019.

CETESB. Amostragem e monitoramento de águas subterrâneas: norma CETESB, 1988. In: LOPES, A. G. et al. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. 2.ed. São Paulo, 2001. Parte 6410. Projeto CETESB-GTZ. Apresenta texto na íntegra da Norma Técnica CETESB O6.010/abr.1988, revogada pela Decisão de Diretoria nº 281/2016/P, de 20 dez. 2016.

CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E.; EATON, A. D. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th. ed. Washington, DC: American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation, 1998. 1325 p.

FREITAS, C. A.; CLEMENTE, A. R.; NETTO, J. P. M. Reabilitação de poços tubulares paralisados por baixa vazão, através de processos químicos de alta eficiência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 15., 2008, Natal, RN. **Anais...** São Paulo: ABAS, 2008. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23821/15887>>. Acesso em: jun. 2019.

GEO Brasil: recursos hídricos: componente da série de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil. Brasília, DF: Agência Nacional de Águas;

Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, jan. 2007. 264 p. (GEO Brasil Série Temática). Disponível em: <[http://biblioteca.ana.gov.br/asp/download.asp?codigo=20686&tipo\\_midia=2&IndexSrv=1&iUsuario=0&obra=3813&tipo=1&iBanner=0&idioma=0](http://biblioteca.ana.gov.br/asp/download.asp?codigo=20686&tipo_midia=2&IndexSrv=1&iUsuario=0&obra=3813&tipo=1&iBanner=0&idioma=0)>. Acesso em: jun. 2019.

HEIDLARUF, D. T.; BARTLETT T. R... Effects of monitoring well purge and sampling techniques on the concentration of metal analytes in unfiltered groundwater samples. In: NGWA OUTDOOR ACTION CONFERENCE, 7., 1993, Las Vegas, NV. **Proceedings...** Westerville, OH: National Ground Water Association, p. 437–450.

HEM, J. D. **Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water**. 3<sup>rd</sup>. ed. Alexandria, VA: U.S. Geological Survey, 1985. 263 p. (U.S. Geological Survey Water-Supply Paper, 2254).

HIRATA, R. Recursos hídricos. In: TEIXEIRA, W. et al. (Org.). In: **Decifrando a terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. p. 421-444.

INMETRO: Norma nº NIT-DICLA-057: **Critérios para Acreditação da Amostragem para Ensaio de Águas e Matrizes Ambientais**. Inmetro. Rio de Janeiro, p.04, 2018.

KAMINSKI, D.B **Ground Water Sampling. Pollution Engineering**, 2003

KARMANN, I. Ciclo da água. In: TEIXEIRA, W. et al. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. p. 113-138.

LAMON, Antonio Wagner. **Aplicação de microssensores no monitoramento de oxigênio dissolvido, potencial redox e temperatura em estudos Limnológicos**. 2014. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências da Engenharia Ambiental, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

LIMA, M. P. et al. Avaliação e comparação dos métodos mais utilizados para amostragem de BTEX em água subterrânea e sua eficácia no gerenciamento de áreas contaminadas. In: III Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo, 2013, São Paulo. **Artigo**. São Paulo: Abas, 2013. p. 1 - 4. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/27479/17750>>. Acesso em: 03 jan. 2020.

LWA (Germany). **Landesamt für Wasser und Abfall, Nordrhein Westfalen**. Düsseldorf, 1989. Série monográfica.

MAGALHAES, V.S. Hidroquímica. In: \_\_\_\_\_. **Hidroquímica e qualidade das águas superficiais e subterrâneas em áreas sob influência de lavras pegmatíticas nas Bacias dos Córregos Água Santa e Palmeiras, Município de Coronel Murta**

**(MG)**. Dissertação (Mestrado em Geologia Econômica e Aplicada) —Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte: UFMG, 2006. Cap. 5. Disponível em: <[http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/MPBB-6ZQERE/cap\\_tulo\\_05\\_hidroqu\\_mica.pdf?sequence=9](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/MPBB-6ZQERE/cap_tulo_05_hidroqu_mica.pdf?sequence=9)>. Acesso em: 10 dez. 2018.

NEGRÃO, P. A utilização de sistemas dedicados de baixa vazão para coleta de amostras de águas subterrâneas aumenta a precisão da amostra, reduz os custos do monitoramento em até 50% e o volume de descarte 90%. **Clean News**: boletim da empresa Clean Environment Brasil, Valinhos, SP, n. 4, 1997.

NEGRÃO, P. **Amostragem de águas subterrâneas pelo método de baixa-vazão (Low Flow Sampling)**. São Paulo: Clean Environment Brasil, 2009. 143 slides, color.

NEGRÃO, P. Groundwater Camp do Programa PIA – Amostragem de águas Subterrâneas pelo método de Baixa Vazão (low flow Sampling) - **Técnicas de Amostragem de águas Subterrâneas**. 2004-2010. Nazaré Paulista, SP.

NEGRÃO, P.; KAMINSKI, D. B. “**Low-Flow/Low-Volume Purging and Sampling of Ground-Water Monitoring Wells – Performance and Application Criteria**”, Anais do XXV Congresso da International Association of Hydrogeologists, Lisboa, 2007.

NEW JERSEY. Department of Environmental Protection. **Field sampling procedures manual**. Technical Editor Jerry Schoenleber. Trenton, NJ, 2005. Disponível em: <<https://clu-in.org/download/char/passsamp/New-Jersey-Field-Sampling-Manualsmp2005.pdf>>. Acesso em: jun. 2019.

PÁDUA, V. L.; FERREIRA, A. C. S. Qualidade da água para consumo humano. In: HELLER, L.; PÁDUA, V.L. (Org.). **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2006. p. 153-222.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Colombo, PR: Embrapa Florestas, ago. 2011. (Documentos, 232). Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/57612/1/Doc232ultima-versao.pdf>>. Acesso em: jun. 2019.

PULS, R. W.; BARCELONA, M. J. **Low-flow (minimal drawdown) ground water sampling procedures**. Washington, DC: USEPA, Apr. 1996. (Ground Water Issue). Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/lwflw2a.pdf>>. Acesso em: jun. 2019.

PULS, R. W.; POWELL, R. M. Acquisition of representative ground water quality samples for metals. **Ground Water Monitoring & Remediation**, 1992. v. 12, n. 3, p. 167–176.

PULS, R. W.; POWELL, R. M. Transport of inorganic colloids through natural aquifer material: implications for contaminant transport. **Environmental Science & Technology**, 1997. v. 26, n. 3, p. 614-621.

RIBEIRO, L. G. **Caracterização hidrogeológica e avaliação estatística da contaminação em área de usina siderúrgica**. 2014. 169 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Naturais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014.

RITCHEY, J. Low-flow purging and sampling ground water: evolution of technology and standards. **ASTM Standardization News**, West Conshohocken, PA, USA, p. 18-23, Apr. 2002. Disponível em: <[https://www.astm.org/SNEWS/APRIL\\_2002/ritchey\\_apr02.html](https://www.astm.org/SNEWS/APRIL_2002/ritchey_apr02.html)>. Acesso em: jun. 2019.

SÃO PAULO (SP). Secretaria do Meio Ambiente. **Resolução nº 100, de 17 de outubro de 2013**. Regulamenta as exigências para os resultados analíticos, incluindo-se a amostragem, objeto de apreciação pelos órgãos integrantes do Sistema Estadual de Administração da Qualidade, Proteção, Controle e Desenvolvimento do Meio Ambiente e Uso Adequado dos Recursos Naturais – SEAQUA. Republicada no Diário Oficial do Estado de São Paulo de 22 out. 2013, Poder Executivo, Seção I, p. 41. Disponível em: <<https://smastr16.blob.core.windows.net/legislacao/2013/10/Resolu%C3%A7%C3%A3o-SMA-100-2013-Processo-CETESB-98-2012-310-E-exig%C3%A7%C3%A3o-para-os-resultados-anal%C3%ADticos-republicada.pdf>>. Acesso em: jun. 2019.

SECTAM, Secretaria Executiva de Ciência Tecnologia e Meio Ambiente. **Água: Fonte e Vida**. Belém, 2005.

SELUCHI, M.; NOBRE, P. **CHES - Crise hídrica, estratégia e soluções da SABESP**. São Paulo: Sabesp, 2015.

SORIANO JÚNIOR, R.; REIS, F. A. Análise comparativa entre métodos de amostragem de águas subterrâneas. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, SP, v. 2, n. 1, p. 149-167, jan./dez. 2005. Disponível em: <<http://ferramentas.unipinhal.edu.br/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=JHNp74d0-zjsAuw9OQ96TXCLo01onyna69Jvd9j4YxY>>. Acesso em: jun. 2019.

SPERLING, M.V. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: DESA; UFMG, 2005. 452 p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v.1).

USEPA. **Groundwater Sampling and Monitoring with Direct Push Technologies** (EPA 540 / R-04/005) US - Geórgia 2005 Pag.32. Disponível em: <https://clu-in.org/download/char>. Acesso em: set. 2019.

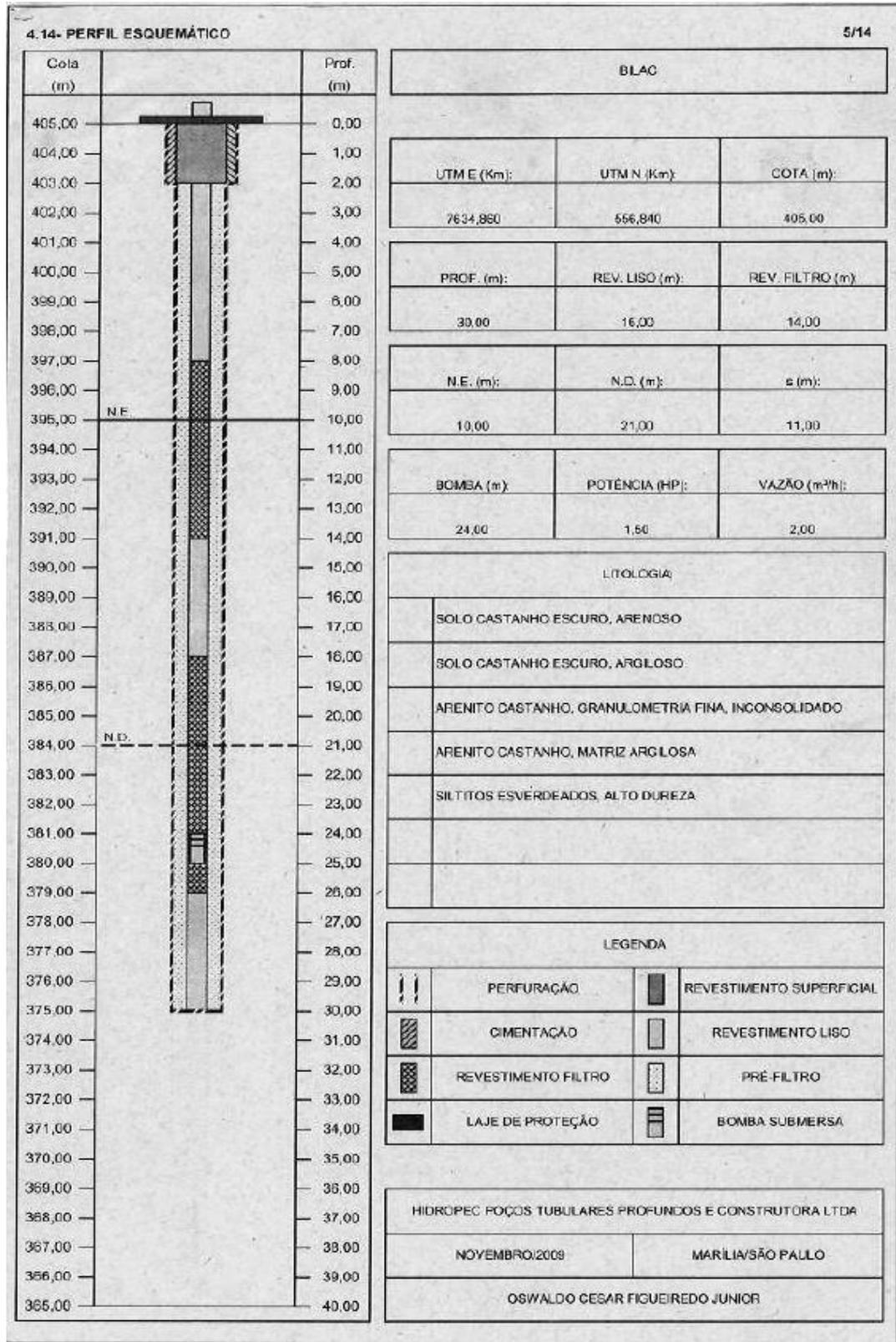
USEPA. **Operating Procedure Groundwater Sampling** (EPA 301 / R3) US 2013 pag.30. Disponível em: <https://www.epa.gov/pruduction/files/documents> -

<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/Groundwater-Sampling.pdf> Acesso em: set. 2019.

VARNIER, C. **Caracterização e vulnerabilidade das águas subterrâneas**. São Paulo: Instituto Geológico (IG/SMA), 2018. 144 slides, color.

VANLOON, G. W.; DUFFY, S. J. **Environmental chemistry: a global perspective**. New York: Oxford University Press, 2000. 492 p.

## APÊNDICE A





**CETESB****RASCUNHO DE CAMPO – AMOSTRAGEM DE ÁGUA SUBTERRÂNEA**

Horário (HH: MM)	NA (m)	Temperatura da água (°C)	Condutividade (mS/cm)	pH	OD (mg/L)	Eh (mV)	Turbidez (NTU)	Pressão (psi)	Vazão (mL/min)	Notas
										Leitura inicial
										Início da micro purga
										Termino da purga

**OBSERVAÇÕES:**


---



---



---



---



---

Responsáveis pela Coleta: \_\_\_\_\_ Data: \_\_/\_\_/\_\_

\_\_\_\_\_ Data: \_\_/\_\_/\_\_

## ANEXO A

Resultados Analíticos de Água Subterrânea - Ponto Votuporanga													
Parâmetro	Unidade	1º campanha 2018					2º campanha 2018						
Hora	-						13:36	13:39	13:43	13:46	13:50	13:54	
Tempo*	minutos	inicial	0:00	0:04	0:08	0:12	inicial	0:00	0:04	0:08	0:12	final	
OD (oxigênio dissolvido)	mg/L	4,46	3,90	3,64	3,51	3,44	4,66	3,55	3,39	3,23	3,11	3,06	
pH	-	5,41	5,24	5,40	5,35	5,52	5,63	5,56	5,55	5,56	5,56	5,56	
E <sub>H</sub> (potencial redox)	mV	191,2	172,1	160,7	156,6	152,5	83,5	87,0	89,5	87,7	87,0	86,5	
Condutividade	µS/cm	46,0	43,3	43,2	42,9	42,9	200,8	111,2	94,2	92,4	92,3	92,5	
Turbidez Hack	NTU	56,60	4,31	1,35	1,08	1,25	78,10	2,38	1,38	1,17	0,55	0,85	
Turbidez Lab.	NTU	56,80	10,80	2,57	2,52	3,57	73,2	6,27	3,67	3,16	2,80	3,15	
Turbidez Sonda	NTU	9,0	6,3	4,3	2,9	2,1	12,3	11,2	31,1	41,6	43,7	44,3	
Vazão de bombeamento	L/s	250	250	250	250	250	175	175	175	175	175	175	
Temperatura da água	°C	28,4	28,3	27,9	28,3	28,2	26,3	25,9	25,9	25,9	25,9	25,8	
Ferro (filtrado)	mg/L	- 0,0018	-0,0027	0,0006	-0,0064	0,0049	0,0154	0,0104	0,0011	0,0036	0,0010	0,0006	-0,0008
Ferro	mg/L	0,2164	0,0572	0,0210	0,0130	0,0737	0,7299	0,0449	0,0198	0,0096	0,0044	0,0114	0,0142
Bário (filtrado)	mg/L	0,0476 5	0,05799	0,03461	0,03030	0,03985	0,14302	0,19225	0,19168	0,15399	0,19723	0,19276	0,19366
Bário	mg/L	0,0499 9	0,05469	0,02948	0,02104	0,03570	0,17691	0,19337	0,19614	0,19242	0,19803	0,19960	0,19574
Cálcio (filtrado)	mg/L	0,9298	0,8033	0,4524	0,3913	0,5504	3,269	4,543	4,532	5,601	4,617	4,513	4,496

Resultados Analíticos de Água Subterrânea - Ponto Votuporanga													
Parâmetro	Unidade	1º campanha 2018					2º campanha 2018						
<b>Cálcio</b>	<b>mg/L</b>	0,8285	0,7638	0,3763	0,3040	0,4358	3,374	4,503	4,565	4,442	4,568	4,600	4,486
<b>Potássio (filtrado)</b>	<b>mg/L</b>	5,679	3,270	1,835	1,579	2,116	3,394	5,987	4,459	2,932	3,545	3,631	3,415
<b>Potássio</b>	<b>mg/L</b>	4,800	2,923	1,485	1,119	1,848	3,685	6,219	3,816	3,552	3,588	3,879	3,452
<b>Magnésio (filtrado)</b>	<b>mg/L</b>	0,7325	0,8751	0,5397	0,4703	0,6151	2,565	3,533	3,531	3,103	3,579	3,504	3,501
<b>Magnésio</b>	<b>mg/L</b>	0,9729	0,8722	0,4632	0,3306	0,5671	3,321	3,508	3,535	3,426	3,511	3,517	3,470
<b>Manganês (filtrado)</b>	<b>ug/L</b>	0,0154 5	0,02077	0,01423	0,01160	0,01488	0,00282	0,00162	0,00098	0,00076	0,00060	0,00059	0,00053
<b>Manganês</b>	<b>ug/L</b>	0,1256 6	0,04216	0,01613	0,01067	0,03060	0,23311	0,01988	0,00800	0,00368	0,00220	0,00304	0,00146
<b>Sódio (filtrado)</b>	<b>mg/L</b>	0,8227	0,9445	0,4950	0,4077	0,5746	1,655	1,965	1,914	1,904	1,937	1,912	1,874
<b>Sódio</b>	<b>mg/L</b>	0,6374	0,7974	0,3853	0,2339	0,4579	1,683	1,936	1,910	1,885	1,899	2,082	1,869
<b>Fósforo_1782 (filtrado)</b>	<b>mg/L</b>	0,0024	0,0010	0,0024	0,0007	0,0010	0,0126	0,0156	0,0164	0,0265	0,0158	0,0156	0,0142
<b>Fósforo_1782</b>	<b>mg/L</b>	0,0064	0,0032	0,0018	<,0000	0,0018	0,0207	0,0158	0,0162	0,0160	0,0159	0,0176	0,0148
<b>Fósforo_2136 (filtrado)</b>	<b>mg/L</b>	0,0056	0,0034	0,0046	0,0028	0,0042	0,0118	0,0191	0,0155	0,0283	0,0168	0,0172	0,0164
<b>Fósforo_2136</b>	<b>mg/L</b>	0,0088	0,0037	0,0037	0,0032	0,0052	0,0195	0,0153	0,0159	0,0166	0,0163	0,0174	0,0156
<b>Estrôncio (filtrado)</b>	<b>mg/L</b>	0,0122	0,0137	0,0084	0,0072	0,0096	0,04301	0,06039	0,06048	0,06587	0,06195	0,06058	0,06066
<b>Estrôncio</b>	<b>mg/L</b>	0,0113	0,0128	0,0069	0,0050	0,0079	0,04671	0,06057	0,06165	0,06031	0,06205	0,06238	0,06116
<b>Zinco (filtrado)</b>	<b>ug/L</b>	0,0097	0,0034	0,0010	<,0000	0,0024	0,0089	0,0068	0,0062	0,0081	0,0045	0,0098	0,0018
<b>Zinco</b>	<b>ug/L</b>	0,0116	0,0051	<,0000	0,0013	<,0000	0,0125	0,0067	0,0048	0,0085	0,0035	0,0264	0,0001

## ANEXO B

Resultados Analíticos de Água Subterrânea - Ponto Analândia										
Parâmetro	Unidade	1º campanha 2018				2º campanha 2018				
Hora	-	14:07	14:11	14:14	14:17	16:33	16:46	16:50	16:54	16:58
Tempo*	minutos	0:00	0:04	0:08	final	inicial	0:04	0:08	0:12	final
OD (oxigênio dissolvido)	mg/L	3,54	2,50	2,44	2,41	1,62	1,59	1,60	1,62	1,73
pH	-	6,02	5,67	5,69	5,72	5,60	5,61	5,60	5,61	5,61
E <sub>H</sub> (potencial redox)	mV	217,6	233,1	232,7	229,1	-25,7	-25,5	-27,0	-25,9	-22,9
Condutividade	µS/cm	54,0	53,8	53,8	53,9	63,0	57,8	55,4	55,5	55,5
Turbidez Hack	NTU	NR	NR	NR	NR	208,00	280,00	216,00	234,00	335,00
Turbidez Lab.	NTU	659,00	611,00	540,00	511,00	210,00	197,00	154,00	181,00	226,00
Turbidez Sonda	NTU	77,2	683,9	606,0	495,6	340,0	317,0	271,5	266,1	287,9
Vazão de bombeamento	L/s	275	275	275	275	190	190	190	190	190
Temperatura da água	°C	24,2	23,5	23,5	23,6	23,2	23,2	23,2	23,1	23,2
Ferro (filtrado)	mg/L	0,0087	-0,0098	0,0035	-0,0034	<b>1,632</b>	<b>0,6778</b>	<b>0,4815</b>	<b>0,4621</b>	<b>0,4257</b>
Ferro	mg/L	33,61	24,27	33,44	12,18	<b>26,8</b>	<b>21,73</b>	<b>20,87</b>	<b>21,79</b>	<b>35,75</b>
Bário (filtrado)	mg/L	0,02905	0,01378	0,03705	0,05572	0,0676	0,05978	0,06018	0,05937	0,05918
Bário	mg/L	0,03536	0,02522	0,04326	0,01479	0,079	0,06478	0,06499	0,06567	0,06922
Cálcio (filtrado)	mg/L	1,9810	0,9947	2,6990	4,0730	3,909	3,768	3,849	3,879	3,871
Cálcio	mg/L	2,0420	1,4820	2,5990	0,8454	4,003	3,794	3,811	3,834	3,835
Potássio (filtrado)	mg/L	0,862	0,337	0,922	1,569	1,74	1,412	1,9	1,641	1,786
Potássio	mg/L	0,668	0,496	0,826	0,284	1,775	1,429	1,968	1,695	1,83
Magnésio (filtrado)	mg/L	1,108	0,567	1,491	2,212	2,162	2,051	2,078	2,08	2,049
Magnésio	mg/L	1,126	0,820	1,431	0,477	2,159	2,065	2,046	2,047	2,029
Manganês (filtrado)	ug/L	0,03317	0,01582	0,04166	0,06148	0,09526	0,08628	0,08152	0,07718	0,07488

Resultados Analíticos de Água Subterrânea - Ponto Analândia										
Parâmetro	Unidade	1º campanha 2018				2º campanha 2018				
Manganês	ug/L	0,03558	0,02414	0,04258	0,01434	0,10118	0,08812	0,08066	0,07716	0,07679
Sódio (filtrado)	mg/L	0,5037	0,1923	0,6821	1,1670	1,014	0,8439	0,8763	0,8802	0,9185
Sódio	mg/L	0,4449	0,2991	0,6070	0,1296	0,9906	0,8241	0,8612	0,9111	0,918
Fósforo_1782 (filtrado)	mg/L	0,0011	0,0004	0,0008	0,0018	<b>0,0021</b>	<b>&lt;,0000</b>	<b>&lt;,0000</b>	<b>&lt;,0000</b>	<b>&lt;,0000</b>
Fósforo_1782	mg/L	0,2745	0,1924	0,2431	0,0907	<b>0,2381</b>	<b>0,1906</b>	<b>0,1214</b>	<b>0,1182</b>	<b>0,2093</b>
Fósforo_2136 (filtrado)	mg/L	0,0019	0,0021	0,0029	0,0027	0,0023	0,0007	<0,0000	0,0017	0,0014
Fósforo_2136	mg/L	0,2725	0,1923	0,2428	0,0920	0,2242	0,178	0,1142	0,1111	0,1952
Estrôncio (filtrado)	mg/L	0,01461	0,00745	0,01980	0,02984	0,02887	0,02836	0,02943	0,02991	0,02995
Estrôncio	mg/L	0,01512	0,01114	0,01907	0,00644	0,03021	0,02871	0,02954	0,02993	0,03009
Zinco (filtrado)	ug/L	0,0061	0,0001	0,0021	0,0066	0,0137	0,0084	0,0071	0,0053	0,0074
Zinco	ug/L	0,0053	0,0024	0,0051	<,0000	0,0202	0,0065	0,0088	0,0144	0,0137

## ANEXO C

Resultados Analíticos de Água Subterrânea - Ponto Brotas								
Parâmetro	Unidade	1º campanha 2018						
Hora	-	8:32	8:35	8:38	8:41	8:44	8:47	8:50
Tempo*	minutos	inicial	0:03	0:06	0:09	0:12	0:15	final
OD (oxigênio dissolvido)	mg/L	1,87	3,74	4,50	4,71	4,84	4,84	4,92
pH	-	6,58	6,02	5,83	5,74	5,68	5,68	5,65
E <sub>H</sub> (potencial redox)	mV	128,2	-49,0	3,4	22,9	25,4	23,4	28,8
Condutividade	µS/cm	20,5	18,2	15,2	14,3	13,8	13,9	13,7
Turbidez Hack	NTU	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Turbidez Lab.	NTU	20,00	16,00	12,00	10,00	4,30	3,90	4,80
Turbidez Sonda	NTU	43,8	35,8	11,5	8,6	7,1	7,0	6,0
Vazão de bombeamento	L/s	340	340	340	340	340	340	340
Temperatura da água	°C	23,5	23,4	23,4	23,5	23,5	23,5	23,5
Ferro (filtrado)	mg/L	0,9212	0,7403	0,2675	0,4568	0,1468	0,1960	0,2921
Ferro	mg/L	3,0700	1,5580	1,1290	0,5062	0,5425	0,1951	0,5027
Bário (filtrado)	mg/L	0,00046	-0,00005	0,00048	0,00035	0,00003	0,00047	0,00002
Bário	mg/L	0,00105	0,00027	0,00033	0,00001	0,00008	-0,00029	0,00020
Cálcio (filtrado)	mg/L	0,0733	0,0826	0,0689	0,0948	0,0280	0,0752	0,0481
Cálcio	mg/L	0,1060	0,0480	0,0441	0,0054	0,0334	<,0000	0,0426
Potássio (filtrado)	mg/L	0,5767	0,0594	0,1636	0,1056	0,0428	0,0808	0,0254
Potássio	mg/L	0,2604	0,0774	0,1629	0,0306	0,0669	-0,0498	0,0728
Magnésio (filtrado)	mg/L	0,0393	0,0422	0,0267	0,0495	0,0225	0,0430	0,0264
Magnésio	mg/L	0,0578	0,0313	0,0308	0,0163	0,0265	0,0062	0,0302
Manganês (filtrado)	ug/L	0,02002	0,02264	0,01099	0,01480	0,00622	0,00570	0,00275
Manganês	ug/L	0,02833	0,01347	0,01206	0,00544	0,00769	0,00287	0,00747
Sódio (filtrado)	mg/L	0,0411	0,1143	0,1103	0,2369	0,0272	0,0645	0,0323

Resultados Analíticos de Água Subterrânea - Ponto Brotas								
Parâmetro	Unidade	1º campanha 2018						
Sódio	mg/L	0,1815	0,0628	0,0850	-0,0112	0,0520	-0,0638	0,0626
Fósforo_1782 (filtrado)	mg/L	<,0000	0,0000	0,0006	0,0006	<,0000	0,0011	0,0024
Fósforo_1782	mg/L	0,0020	0,0002	0,0002	0,0003	<,0000	<,0000	0,0012
Fósforo_2136 (filtrado)	mg/L	0,0022	0,0039	0,0032	0,0022	0,0025	0,0023	0,0030
Fósforo_2136	mg/L	0,0033	0,0035	0,0028	0,0013	0,0025	0,0015	0,0031
Estrôncio (filtrado)	mg/L	0,00046	0,00034	0,00067	0,00059	0,00009	0,00040	0,00022
Estrôncio	mg/L	0,00068	0,00037	0,00031	0,00005	0,00026	-0,00015	0,00032
Zinco (filtrado)	ug/L	2,5350	2,0170	0,8196	1,3110	0,5116	0,6307	0,5315
Zinco	ug/L	3,5800	1,4860	1,2110	0,6851	0,7768	0,3037	0,8091

## ANEXO D

Resultados Analíticos de Água Subterrânea - Ponto Santa Maria da Serra						
Parâmetro	Unidade	2º campanha 2018				
Hora	-	14:17	14:20	14:23	14:26	14:29
Tempo*	minutos	inicial	0:03	0:06	0:09	Final
OD (oxigênio dissolvido)	mg/L	5,54	5,46	5,39	5,35	NR
pH	-	4,49	4,50	4,49	4,50	NR
E <sub>H</sub> (potencial redox)	mV	49,8	47,4	47,0	46,5	NR
Condutividade	µS/cm	27,8	27,8	27,8	27,7	NR
Turbidez Hack	NTU	493,00	32,00	36,10	30,50	20,20
Turbidez Lab.	NTU	372,00	46,30	37,10	37,90	32,50
Turbidez Sonda	NTU	51,3	46,3	42,0	40,0	40,2
Vazão de bombeamento	L/s	230	230	230	230	230
Temperatura da água	°C	23,9	24,0	24,0	24,0	NR
Ferro (filtrado)	mg/L	<b>0,0446</b>	<b>0,0223</b>	<b>0,0189</b>	<b>0,0152</b>	<b>0,0128</b>
Ferro	mg/L	<b>1,16</b>	<b>0,2311</b>	<b>0,3303</b>	<b>0,2877</b>	<b>0,1757</b>
Bário (filtrado)	mg/L	0,08437	0,09195	0,09273	0,08558	0,09182
Bário	mg/L	0,14233	0,10049	0,10223	0,10182	0,09849
Cálcio (filtrado)	mg/L	0,4803	0,4112	0,4589	0,4543	0,3961
Cálcio	mg/L	0,7076	0,4812	0,4903	0,4939	0,4056
Potássio (filtrado)	mg/L	2,679	2,066	2,549	2,566	2,124
Potássio	mg/L	2,807	1,952	2,547	2,627	2,117
Magnésio (filtrado)	mg/L	0,9154	0,9183	0,9269	0,9137	0,8854
Magnésio	mg/L	1,151	0,9368	0,958	0,9563	0,898
Manganês (filtrado)	ug/L	<b>0,01981</b>	<b>0,01952</b>	<b>0,02021</b>	<b>0,01981</b>	<b>0,01951</b>
Manganês	ug/L	<b>0,05901</b>	<b>0,02399</b>	<b>0,02642</b>	<b>0,02524</b>	<b>0,02242</b>
Sódio (filtrado)	mg/L	0,328	0,2219	0,2836	0,31	0,2044

<b>Sódio</b>	<b>mg/L</b>	0,3014	0,2021	0,2659	0,2743	0,1863
<b>Fósforo_1782 (filtrado)</b>	<b>mg/L</b>	<b>0,0173</b>	<b>0,0192</b>	<b>0,0181</b>	<b>0,0175</b>	<b>0,0172</b>
<b>Fósforo_1782</b>	<b>mg/L</b>	<b>0,0601</b>	<b>0,0236</b>	<b>0,0281</b>	<b>0,027</b>	<b>0,0229</b>
<b>Fósforo_2136 (filtrado)</b>	<b>mg/L</b>	0,017	0,0174	0,0162	0,0171	0,0171
<b>Fósforo_2136</b>	<b>mg/L</b>	0,0572	0,0218	0,0276	0,027	0,0219
<b>Estrôncio (filtrado)</b>	<b>mg/L</b>	0,01166	0,01135	0,01174	0,01154	0,01107
<b>Estrôncio</b>	<b>mg/L</b>	0,01598	0,01177	0,0125	0,01257	0,01148
<b>Zinco (filtrado)</b>	<b>ug/L</b>	0,0346	0,0192	0,0282	0,0285	0,0372
<b>Zinco</b>	<b>ug/L</b>	0,0609	0,0156	0,0317	0,0326	0,0435