



# **DISSERTAÇÃO DE MESTRADO - PPGESA**

**PROPOSTA DE MANUAL TÉCNICO PARA ELABORAÇÃO DE  
UM PROGRAMA DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA  
ÁGUA SUBTERRÂNEA NO ESTADO DO PARÁ**

**DISCENTE: MARIA ROBERTA CAVALCANTE DE SIQUEIRA  
ORIENTADOR PROF.DR GIOVANNI CHAVES PENNER**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**



**BELÉM (2024)**



**MARIA ROBERTA CAVALCANTE DE SIQUEIRA**

**PROPOSTA DE MANUAL TÉCNICO PARA ELABORAÇÃO DE UM PROGRAMA  
DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO  
ESTADO DO PARÁ**

Defesa de dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental – PPGESA, da Universidade Federal do Pará – UFPA, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental.  
Linha de Pesquisa: Planejamento, Monitoramento, Operação e Controle de Sistemas de Saneamento

Orientador: Prof. Dr. Giovanni Chaves Penner

BELÉM-PA  
2024



**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de  
acordo com ISBD Sistema de Bibliotecas da Universidade  
Federal do Pará**  
**Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados  
fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

C376m Cavalcante de Siqueira, Maria Roberta.  
PROPOSTA DE MANUAL TÉCNICO PARA  
ELABORAÇÃO DE UM PROGRAMA DE  
COLETA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA  
NO ESTADO DO PARÁ / Maria Roberta Cavalcante de Siqueira.  
— 2024.  
109 f.: il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Giovanni Chaves Penner  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,

Instituto de Tecnologia, Programa de Pós Graduação  
em Engenharia Sanitária e Ambiental, Belém, 2024.

1. Águas subterrâneas. 2. Monitoramento ambiental.  
3. Bailer. 4. Baixa vazão. 5. Licenciamento Ambiental. I. Título.



MARIA ROBERTA CAVALCANTE DE SIQUEIRA


## PROPOSTA DE MANUAL TÉCNICO PARA ELABORAÇÃO DE UM PROGRAMA DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO ESTADO DO PARÁ

Defesa de dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Título de Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental.

DATA DA AVALIAÇÃO: 09/ 02 / 2024


APROVADO EM: 09/02/2024

### BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente  
 **GIOVANNI CHAVES PENNER**  
Data: 04/04/2024 10:15:14-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

Professor Dr. Giovanni Chaves Penner  
Orientador – PPGESA/ITEC/UFPA

Documento assinado digitalmente  
 **MANOEL JOSE DOS SANTOS SENA**  
Data: 08/04/2024 18:05:05-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Professor Dr. Manoel José dos Santos Sena  
Membro – PPGESA/ITEC/UFPA

Documento assinado digitalmente  
 **ALEX RUFFEIL CRISTINO**  
Data: 18/04/2024 11:06:37-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Msc. Biólogo Alex Ruffeuil  
Avaliador Externo



“Há uma força motriz mais poderosa que o vapor, a eletricidade e a energia atômica: a vontade” – Albert Einstein.



## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente a DEUS por mais uma oportunidade de estudar, e que sempre me deu forças e me motivou a finalização deste trabalho. Aos meus pais e a minha família e amigos que sempre me ajudaram e vão estar sempre ao meu lado em todos os momentos. Obrigada por desejarem sempre o melhor para mim, pelo esforço que fizeram para que eu pudesse superar cada obstáculo em meu caminho e chegar aqui e, principalmente, pelo amor imenso que vocês têm por mim. Sou eternamente grata por tudo que sou, por tudo que consegui conquistar e pela felicidade que tenho.

Minha gratidão especial ao Prof. Dr. Giovanni Penner, meu orientador e, sobretudo, um querido e grande amigo, pela pessoa e profissional que é. Obrigada por sua dedicação, que o fez, por muitas vezes, deixar de lado seus momentos de descanso para me ajudar e me orientar. E, principalmente, obrigada por sempre ter acreditado e depositado sua confiança em mim ao longo de todos esses anos de trabalho. Sem sua orientação, apoio, confiança e amizade, não somente neste trabalho, mas em todo o caminho percorrido até aqui, nada disso seria possível. Aos amigos que sempre me motivaram na qualificação profissional, a meu esposo que foi paciente e me deu forças em momentos de dúvidas. Agradeço a banca examinadora pela participação e aos alunos bolsistas do grupo de Hidrologia Marcus Almada e Irlano pelo apoio em campo nas atividades de monitoramento, agradeço a Fernanda Costa pelo incentivo e apoio durante a realização deste trabalho.

A todos que de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho. Muito obrigado.



“Dedico este trabalho ao meu Pai João Roberto de Siqueira, *in memória*, que me ensinou como se reerguer diante das adversidades da vida, e foi meu maior incentivador desde o início”.



## RESUMO

O monitoramento da água subterrânea é uma atividade de extrema importância para o diagnóstico e controle frente a atividades potencialmente poluidoras. Aplicado na gestão e controle ambiental, seja por uma exigência do órgão regulador, através de condicionantes de licenças ambientais, passando a representar um grande passivo ambiental para empresas que não estejam atendendo aos requisitos exigidos por estes respectivos órgãos reguladores. As atividades que podem causar alterações nas águas subterrâneas necessitam de monitoramento periódico para garantir a manutenção da qualidade ambiental, pois são padronizadas e necessitam de normas, manuais, regulamentos. Este respectivo manual foi conduzido baseado em normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), legislações internacionais, manuais de monitoramentos e soluções sobre qualidade da água aplicáveis ao tema, assim como coletas constituída por poços de monitoramento no interior do Campus da Universidade Federal do Pará, em Belém (área experimental desta pesquisa). Para tanto, foram utilizados amostradores Bailer descartáveis e medições utilizando o sistema de baixa vazão (*low flow*), objetivando a definição de orientações e regras claras para a execução das atividades envolvidas no processo, bem como foram comentados outros dispositivos possíveis de serem usados para coleta de amostras de água subterrânea. Foi proposto ao final um manual de boas práticas, como forma de ordenar e orientar o processo de monitoramento das águas subterrâneas. Espera-se que esta proposta de manual técnico sirva como referência para as coletas de águas subterrâneas, pois mediante a preocupação no âmbito do Estado do Pará, é de suma importância organizar efetiva atuação e encaminhamento de soluções para esse problema ambiental. Adicionalmente, este manual, pretende ser um documento propositivo, e pode ser útil no monitoramento ambiental em diferentes atividades poluidoras.

**Palavras-chave:** Monitoramento ambiental; Bailer; Baixa vazão; Licenciamento Ambiental.





## ABSTRACT

Monitoring groundwater is an extremely important activity for diagnosing and controlling potentially polluting activities. Applied to environmental management and control, whether due to a requirement from the regulatory body, through environmental license conditions, it represents a major environmental liability for companies that are not meeting the requirements demanded by these respective regulatory bodies. Activities that can cause changes in groundwater require periodic monitoring to ensure the maintenance of environmental quality, as they are standardized and require standards, manuals and regulations. This respective manual was conducted based on standards from the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT), international legislation, monitoring manuals and solutions on water quality applicable to the topic, as well as collections made up of monitoring wells within the Campus of the Federal University of Pará, in Belém (experimental area of this research). To this end, disposable Bailer samplers and measurements were used using the low flow system, aiming to define clear guidelines and rules for carrying out the activities involved in the process, as well as commenting on other devices that could be used for collection. of groundwater samples. At the end, a manual of good practices was proposed as a way of ordering and guiding the groundwater monitoring process. It is expected that this proposed technical manual will serve as a reference for groundwater collection, as given the concern within the State of Pará, it is extremely important to organize effective action and forward solutions to this environmental problem. Additionally, this manual is intended to be a purposeful document, and can be useful in environmental monitoring in different polluting activities.

**Keywords:** Environmental monitoring; Bailer; Low flow; Environmental Licensing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Comparativo do levantamento bibliográfico do trabalho. ....	21
Figura 2- Cenário atual da gestão das águas subterrâneas de Belém (ANA, 2018).....	25
Figura 3- Possíveis contaminações de água subterrânea.....	35
Figura 4- Localização da área de estudo como referência. ....	46
Figura 5- Mapa de localização dos poços de monitoramento (PM) dentro do campus da Universidade Federal do Pará em Belém-PA, Brasil. ....	47
Figura 6- Equipamentos utilizados na pesquisa. ....	49
Figura 7- Fluxograma de Etapa de coletas. ....	50
Figura 8- Fluxograma de coletas com a utilização do bailer. ....	50
Figura 9- Funcionamento do Bailer. ....	51
Figura 10- Bailer para amostragem de água subterrânea. ....	52
Figura 11- Fluxograma de coleta utilizando o método da baixa vazão (low flow). ....	53
Figura 12- Ciclo de atividades do monitoramento de águas subterrâneas. ....	57
Figura 13- Exemplo de sonda multiparâmetros que pode ser utilizada (modelo HI98194.).....	63
Figura 14- Medidor de nível de água. ....	65
Figura 15- Perfil descritivo de sondagem e poço de monitoramento 02 (PM-02). ....	74
Figura 16- Poço de Monitoramento 02 (PM-02). ....	74
Figura 17- Estado de conservação do PM-02. ....	79
Figura 18- Montagem da Bomba de bexiga. ....	80
Figura 19- Início da medição de nível. ....	81
Figura 20- Montagem do Painel controlador. ....	82
Figura 21- Montagem da célula de fluxo. ....	82
Figura 22- Equipamentos montados para início da Purga. ....	83
Figura 23- Becker de plástico graduado para medição de vazão. ....	83
Figura 24- Balde de plástico de 20 litros graduado. ....	84
Figura 25- Sonda Multiparâmetros com encaixe na célula de fluxo. ....	85
Figura 26- Medição dos parâmetros. ....	86
Figura 27- Coleta em campo. ....	87
Figura 28- Transferências para os frascos de Polietileno (medição em baixa vazão). ....	87
Figura 29- Transferência da amostragem para o frasco de vidro (medição em baixa vazão). ....	88
Figura 30- Transferência para os frascos de Polipropileno (medição em baixa vazão). ....	88
Figura 31- Bailer descartável e lacrado para ser utilizado nas medições. ....	90
Figura 32- Início da coleta. ....	91
Figura 33- Coleta da amostra utilizando o bailer. ....	91
Figura 34- Medição dos parâmetros. ....	92
Figura 35- Coleta da amostra em polipropileno (medições com o bailer) . ....	92
Figura 36- Coleta da amostra em vidro (medições com o bailer). ....	93
Figura 37- Coleta da amostra em frasco polietileno (medição em baixa vazão). ....	93



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Pesquisa em Inglês no software Publish or Perish. ....	21
Tabela 2- Pesquisa no Portal Periódicos CAPES. ....	21
Tabela 3- Acervo bibliográfico utilizado na pesquisa. ....	22
Tabela 4- Classificação dos sistemas de monitoramento. ....	23
Tabela 5- Legislação Federal Aplicada. ....	39
Tabela 6- Legislação aplicada a Águas subterrâneas no estado do Pará. ....	40
Tabela 7- Principais tipos de problemas encontrados em águas subterrâneas. ....	42
Tabela 8- Seleção de Critérios. ....	58
Tabela 9- Parâmetros recomendados pela RESOLUÇÃO CONAMA 396/2008. ....	59
Tabela 10- Comparações entre recipientes. ....	67
Tabela 11- Planilha orçamentária sugerida. ....	69
Tabela 12- Cronograma de Trabalho. ....	71
Tabela 13- Tabela sugestiva para inserção de dados de monitoramento de poços. ....	73
Tabela 14- Modelo sugestivo de cadeia de custódia. ....	78
Tabela 15- Recomendações quanto ao tipo de frascos e coleta. ....	89
Tabela 16- Resultados coletados em campo na sonda multiparâmetro para o método de micro-purga (low flow). ....	94
Tabela 17- Resultados coletados em campo pela sonda multiparâmetros utilizando o método do bailer. ....	94
Tabela 18- Estabilização dos parâmetros indicativos de qualidade. ....	94



## ABREVIATURAS

CE- Condutividade Elétrica  
DBO- Demanda Bioquímica de Oxigênio  
DQO- Demanda Química de Oxigênio  
GPS- Global Positioning System  
LI- Licença de Instalação  
LO- Licença de Operação  
LP- Licença Prévia  
m/m- Metro por metro  
m<sup>3</sup>- Metro cúbico  
Q- Vazão  
OD- Oxigênio Dissolvido  
S.T.D- Sólidos Totais Dissolvidos  
UTM- Universal Transverso de Mercator  
VMP- Valores Máximos Permitidos  
kg- Quilograma  
km<sup>2</sup>- Quilômetros quadrados

## SIGLAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas  
CETESB- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo  
CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente  
COSANPA- Companhia de Saneamento do Pará  
CPRM- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais  
FUNASA- Fundação Nacional de Saúde  
IES- Instituição de Ensino Superior  
IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IDESP- Instituto de Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental do Pará  
INMET- Instituto Nacional de Meteorologia  
MS- Ministério da Saúde  
PCT- Guamá Parque de Ciência e Tecnologia do Guamá  
PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos



## LISTA DE SÍMBOLOS

m	Metros
T	Transmissividade
K	Condutividade Hidráulica
Sy	Rendimento Específico
L	Litros
h	Hora
cm/s	Centímetros por segundo
mm	Milímetros
mm/dia	Milímetros por dia
mm/ano	Milímetros por ano
%	Porcentagem
m <sup>2</sup> /s	Metros ao quadrado por segundo



## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2.OBJETIVOS.....</b>	<b>19</b>
2.1Geral.....	19
2.2Específicos .....	19
<b>3.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>20</b>
3.1Programa de monitoramento de águas subterrâneas .....	22
3.2 Principais dificuldades encontradas em relação ao gerenciamento de águas subterrâneas na região de Belém do Pará .....	24
3.3 Técnicas de amostragem .....	25
3.3.1 Antes da Amostragem .....	26
3.3.2 Amostragem Através de Bailers.....	29
3.3.3 Amostragem com Bombas de Sucção (Vácuo, Centrífuga e Peristáltica) .....	29
3.3.4 Bombas de Ar/Gás (Bexiga) .....	30
3.3.5 Micro Purga ou Amostragem por Baixa Vazão (Low Flow) .....	30
3.4 Poluição das águas subterrâneas.....	31
3.5 Importância do monitoramento de águas subterrâneas .....	36
3.6 Legislação e normas de referências.....	38
3.7 Fontes potenciais de contaminação de água subterrânea .....	42
3.8 Etapas e atividades do monitoramento.....	43
3.8.1 Informações requeridas para a configuração do sistema de monitoramento.....	43
3.9 Os Principais fundamentos de uma rede de monitoramento de água subterrânea ...	44
<b>4.MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>45</b>
4.1Área de estudo .....	45
4.1.1 Critérios de seleção de poços existentes.....	47
4.1.2 Critérios para construção de poços de monitoramento .....	48
4.1.3 Equipamentos para monitoramento e coleta .....	49
4.1.4 Amostragem com bailer .....	50
4.1.5 Amostragem pelo método da baixa vazão (low flow).....	52
4.1.6 Realização de Campanhas de Monitoramento da Água Subterrânea.....	55
4.1.7 Planejamento de ensaios de monitoramento .....	56
4.1.8 Parâmetros físico-químicos .....	58



<b>4.2 Precificação de custo .....</b>	<b>61</b>
4.2.1 Coleta com bailer .....	61
4.2.2 Amostragem por baixa vazão .....	62
<b>4.3 Medidor Multiparâmetros .....</b>	<b>63</b>
<b>4.4 Medição de nível e aparência .....</b>	<b>63</b>
<b>4.5 Vantagens de Uso do Medidor de Nível de Água.....</b>	<b>64</b>
<b>4.6 Preservação de amostras .....</b>	<b>65</b>
<b>4.7 Sistema de controle de qualidade .....</b>	<b>67</b>
<b>4.8 Padrões de referência ambiental – Água Subterrânea .....</b>	<b>68</b>
4.8.1 Custos.....	69
<b>5.RESULTADOS.....</b>	<b>70</b>
<b>5.1 Atividades realizadas em escritório .....</b>	<b>70</b>
<b>5.2 Atividades de campo.....</b>	<b>71</b>
<b>5.3 Seleção do poço de monitoramento .....</b>	<b>73</b>
<b>5.4 Coleta e preservação de amostras .....</b>	<b>74</b>
<b>5.5 Cadeia de custódia .....</b>	<b>76</b>
<b>5.6 Amostragem em campo utilizando a baixa vazão.....</b>	<b>79</b>
5.6.1 Recomendações para coleta e preservação de amostras.....	88
<b>5.7 Amostragem em campo utilizando o bailer.....</b>	<b>90</b>
<b>5.8 Roteiro com conteúdo mínimo para elaboração de um programa de monitoramento de qualidade de água subterrânea .....</b>	<b>95</b>
<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>96</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>98</b>
<b>APÊNDICE A: FICHA DE DADOS DOS POÇOS DE MONITORAMENTO .....</b>	<b>104</b>
<b>APÊNDICE B: FICHA DE AMOSTRAGENS.....</b>	<b>106</b>
<b>APÊNDICE C: FICHA DE AMOSTRAGENS DE PARA COLETAS UTILIZANDO O BAILER E TAMBÉM O MÉTODO DE BAIXA VAZÃO .....</b>	<b>108</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país privilegiado quanto à disponibilidade hídrica total. No entanto a ocorrência da água é desigual em seu território e durante o ano, bem como a demanda por sua utilização e a infraestrutura hídrica adequada para o seu aproveitamento e conservação. A cultura da abundância hídrica tem sido progressivamente substituída pela ideia da água como bem finito e dotado de valor econômico, tornando as análises do balanço entre usos e ofertas hídricas cada vez mais importantes, ao revelar regiões de déficits de acesso à água e risco aos setores produtivos (ANA, 2018).

A água subterrânea é aquela que ocorre abaixo da superfície do terreno e representa a fração da água do ciclo hidrológico que infiltra e percola através do solo e rochas (MENEZES et al., 2006).

De acordo com Hirata et al. (2019) a água subterrânea é um recurso natural de vital importância para o abastecimento de água potável nos meios rurais e urbanos, para o uso em atividades econômicas e para a manutenção de ecossistemas aquáticos e terrestres. A visibilidade da água subterrânea aumentou à medida que a disponibilidade de água superficial em quantidade e qualidade satisfatória diminuiu. Neste sentido, inúmeras discussões relacionadas às águas subterrâneas e que durante muito tempo ficaram restritas a um pequeno grupo passaram a ser ampliadas.

A Constituição Federal de 1988, finda o domínio privado da água, determina a instituição do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e estabelece que as águas subterrâneas são de domínio dos Estados, além de disciplinar as competências entre os entes para tratar da matéria bem como aborda de forma implícita o direito de acesso à água como um direito fundamental (BRASIL, 1988).

O monitoramento da qualidade da água subterrânea é uma atividade de grande importância para o diagnóstico e viabilização de ações, frente a eventuais contaminações, o mesmo é exigido por parte dos órgãos ambientais através de condicionantes de licenças ambientais, termos de referências, e de gestão, seja em termos de quantidade e qualidade, passando a representar um passivo ambiental compulsório para a empresa que não estejam atendendo aos requisitos exigidos por estes respectivos órgãos mencionados. A qualidade da água subterrânea pode variar em uma determinada área considerada. Ela depende da composição da água de recarga, da interação entre a água e o meio onde circula – solo, rocha, gases presentes na zona não saturada e do tempo de residência e reações que acontecem no meio onde está armazenada (OLIVEIRA, 2013).



Em síntese, 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 hidrogeológicos sejam considerados consistentes (PENNER; LIMA, 2014).

Nesse sentido, a proposição de um modelo sistêmico de integração participativa e a consideração da água como um bem econômico finito, vulnerável e essencial para a conservação da vida e do meio ambiente, além da definição de mecanismos que buscam um consumo mais racional, na tentativa de retardar sua escassez.

Com esta diretriz, torna-se evidente que é preciso ampliar o conhecimento sobre as águas subterrâneas para dar o subsídio necessário aos tomadores de decisão quanto às condições e à existência de reservas suficientes para suprir as demandas quantitativas da população local de forma sustentável, ou seja, assegurando o atendimento das demandas atuais e futuras. A importância da água subterrânea não é só como recurso, mas como uma característica essencial do ambiente natural, que participa do ciclo hidrológico e de processos geológicos, sendo assim indispensável o seu conhecimento e gerenciamento (ANA, 2018).

Em consonância com CETESB (2001), o monitoramento e o diagnóstico da qualidade ambiental, bem como as ações de fiscalização, envolvem a medida de uma ou mais variáveis, cujos resultados serão utilizados para avaliar as condições de um ambiente e dar subsídios para a tomada de medidas preventivas e corretivas, com base na legislação existente.

Diante da problemática da contaminação de águas subterrâneas, torna-se necessário um monitoramento hidrogeológico, principalmente em empreendimentos que ofereçam riscos aos solos. Segundo a CETESB (1988), o sistema de monitoramento tem o papel de acusar a influência de uma determinada fonte de poluição na qualidade da água subterrânea. As amostragens são efetuadas em um conjunto de poços distribuídos estrategicamente.

Em síntese, as estratégias de amostragem e os métodos de análises foram empregados, criteriosamente para se obter resultados robustos. A etapa de amostragem é crucial nesse processo, pois o material coletado deve representar de forma o local amostrado. A seleção criteriosa dos pontos de amostragem e a escolha de técnicas adequadas de coleta e preservação de amostras são primordiais para a confiabilidade e representatividade dos dados gerados (ANA; CETESB, 2011).

Além de auxiliar na detecção de uma possível contaminação de águas subterrâneas, o sistema de monitoramento, por meio de poços já instalados na área de estudo potencialmente poluidora, representa uma “janela” de acesso aos comportamentos das águas nos aquíferos. Por meio do monitoramento pode-se verificar variações nos parâmetros físicos químicos e



hidrodinâmicos da água subterrânea. Esses valores são importantes para detectar mudanças nas características naturais (CHAVES, 2009).

A coleta e preservação de amostras infelizmente ainda são consideradas como atividades simples, que não exigem qualquer critério ou conhecimento científico. Essa percepção é falha, porque uma amostra, por definição, representa o próprio ambiente estudado e, assim, a sua coleta exige profundo conhecimento técnico e científico, o que significa contar com recursos humanos treinados e capacitados para desenvolverem as atividades em campo (ANA; CETESB, 2011).

Nesta perspectiva, o presente trabalho vem com o propósito da elaboração desta proposta de manual técnico, visando a padronização de programa de monitoramento da água subterrânea, estabelecendo regras e orientações, visto que ele será um documento consultivo, e pode ser útil na comparação de resultados em diferentes atividades poluidoras mediante o monitoramento ambiental, considerando que o Estado do Pará ainda não possui um manual técnico para elaboração de um programa de qualidade da água subterrânea. A sua utilização irá divulgar, expandir conhecimento e ordenar o processo de monitoramento da água subterrânea, como a maior confiabilidade nos resultados, uma vez que promove o controle sobre as fontes de variabilidade e facilitando o atendimento a legislação, e por fim, visa subsidiar o empreendimento no direcionamento das ações ambientais a serem adotadas posteriormente.



## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Geral

O objetivo geral deste trabalho é a elaboração de uma proposta de manual técnico operacional e consultivo de um programa de monitoramento da qualidade da água subterrânea, tomando como referência uma área experimental inserida na universidade federal do Pará – UFPA, que possa ser usado como referência no estado do Pará e outras unidades da federação, estabelecendo regras e orientações de como realizar o mesmo, e apresentando as técnicas de amostragem utilizando *bailer* e baixa vazão (low flow).

### 2.2 Específicos

- I. Definir um escopo mínimo de um plano de amostragem;
- II. Definir critérios de inspeção inicial na área associado a estrutura usada para monitoramento;
- III. Verificar em campo condições prévias a amostragem;
- IV. Definir os parâmetros a serem monitorados;
- V. Definir critérios de preservação e validade das amostras.
- VI. Realizar ensaio experimental para validação do manual.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A lista de obras consultadas para o desenvolvimento deste trabalho científico ocorreu de forma sistematizada. A busca ocorreu no Portal de Periódico da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) do Ministério da Educação (MEC) e o *software Publish or Perish*.

As buscas nas bases de dados ocorreram através de descritores (palavras-chave) pertinentes ao assunto, utilizados descritores em inglês, nomeadamente construídas linhas de busca (string): *groundwater; environmental monitoring; Bailer; low flow; environmental licensing*. O critério para utilização das palavras-chave em inglês está associado a disponibilidade de material no banco de dados, o qual é maior nesta língua estrangeira.

A busca também foi realizada no *software Publish or Perish* que é um programa que recupera e analisa citações acadêmicas. Ele utiliza base de dados *online* para obter as citações brutas, analisa-as e calcula uma série de métricas de citações. Os resultados ficam disponíveis dentro da pesquisa realizada no *software* e podem ser copiados para a área de transferência do *Windows* (para colar em outros aplicativos) ou salvos em um arquivo de texto (para futura referência ou análise posterior).

Bases de dados utilizáveis:

- *Crossref;*
- *Google Scholar;*
- *Google Profile;*
- *Microsoft Academic;*
- *Scopus;*
- *Web of Science.*

A busca foi limitada para 1000 resultados no *software* do *Publish or Perish*, sendo assim a combinação de descritores, obteve os seguintes resultados: *groundwater, low flow, bailer environmental monitoring; groundwater monitoring*. A pesquisa foi dividida conforme ilustrado nas tabelas e gráfico a seguir:

Tabela 1- Pesquisa em Inglês no *software Publish or Perish*.

Ano da pesquisa	Quantidade artigos encontrados	citações
2017-2018	384	4316
2019-2020	180	2406
2021-2022	362	1161
2022-2023	212	376

Fonte: Autora, 2024.

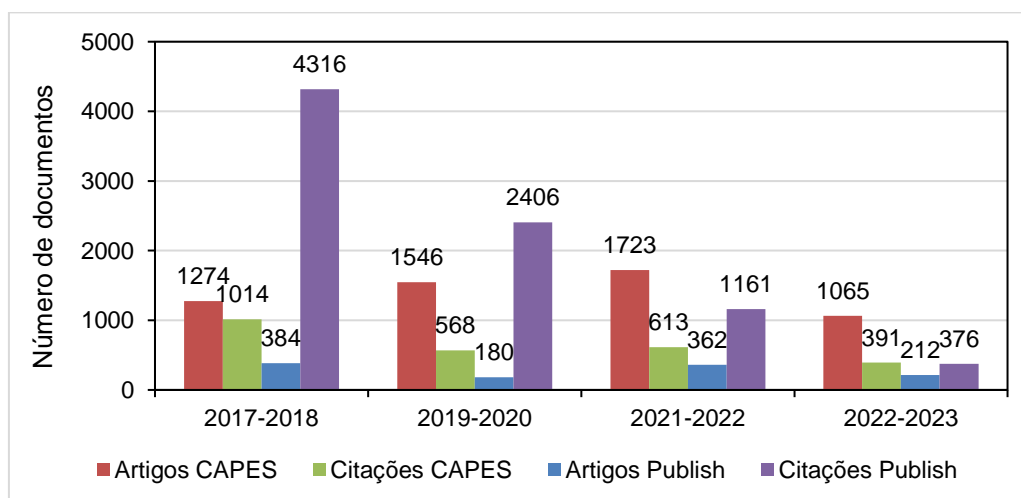
No portal CAPES/MEC a combinação dos descritores obteve os seguintes resultados: Após elaboração e aplicação das *strings* no CAPES/MEC e *software Publish or Perish*, foram aplicados os filtros, a fim de selecionar apenas aqueles que mais se relacionavam com o tema deste trabalho.

Tabela 2- Pesquisa no Portal Periódicos CAPES.

Ano da pesquisa	Quantidade artigos encontrados	citações
2017-2018	1274	1014
2019-2020	1546	568
2021-2022	1723	613
2022-2023	1065	391

Fonte: Autora, 2024.

Figura 1- Comparativo do levantamento bibliográfico do trabalho.



Fonte: Autora, 2024.

O levantamento bibliográfico deste trabalho apresentou um quantitativo de trabalhos

científicos relevantes na área, objeto de estudo, compostos por artigos internacionais, nacionais, dissertações e teses, conforme Tabela 3.

Tabela 3- Acervo bibliográfico utilizado na pesquisa.

Fonte	Filtros
<i>Publish or Perish</i>	2.056 (inglês)
CAPES/MEC	22.131 (inglês)

Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Após aplicação dos filtros, conforme a Tabela 3 percebe-se que as pesquisas em inglês são bem mais abrangentes, e posteriormente foi realizada a análise de conteúdo em quatro etapas: leitura do Tema, Resumo, Metodologia. Na leitura do tema buscou-se avaliar a presença de palavras pertinentes ao objeto de estudo, conforme supracitado no acervo bibliográfico da pesquisa. Na análise do Resumo, buscou-se identificar o objetivo do trabalho e no exame da metodologia objetivou-se verificar o método empregado para a coleta da água subterrânea utilizando *bailer* ou método utilizando a baixa vazão (low flow).

Os principais trabalhos utilizados como referência para o desenvolvimento dessa pesquisa consistiu em: o Guia nacional de Preservação e coleta (Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos) editado pela CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, e pela ANA – Agência Nacional de Águas (2011), a ABNT-NBR 15495-1:2007 (dispõe sobre os poços de monitoramento de águas subterrâneas – projeto e construção), o relatório final dos Estudos hidrogeológicos para a gestão de águas subterrâneas em Belém-Pa, desenvolvido pela Agência Nacional de Águas (ANA): diagnóstico meio físico de Belém do Pará (2018), a Lei nº. 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (Lei dos Recursos Hídricos), a Lei Ordinária estadual do Pará nº 6.381 de 25 de julho de 2001 – SEMAS (Política Estadual de Recursos Hídricos), por fim para execução do procedimento de coleta do trabalho será utilizada a norma da ABNT NBR nº 15847, de julho de 2010 (Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento — Métodos de purga) e demais artigos de periódicos pertinente ao tema (ABNT, 2010).

### 3.1 Programa de monitoramento de águas subterrâneas

O programa de monitoramento ambiental, é uma ferramenta importante para avaliar o estado do ambiente de uma área, consistindo principalmente em medições pontuais e

observações de determinados parâmetros e indicadores, com o objetivo de determinar a resposta ambiental ao seu impacto, permitindo verificar a ocorrência de alterações e medir sua escala e avaliando a eficácia das ações preventivas ou corretivas tomadas (RAMOS, 2009).

De acordo com Lima et al. (2001), os programas de monitoramento da qualidade da água são implementados com base nas propriedades físicas, químicas e biológicas da água. No entanto, tal monitoramento é o processo de analisar, interpretar e comunicar esses atributos no contexto das atividades humanas, uso e conservação do ambiente natural. Este não é um processo rígido e deve ser adaptado às necessidades locais ou regionais. O objetivo final deve ser fornecer informações úteis para a gestão dos recursos hídricos e do meio ambiente.

No caso das águas subterrâneas o monitoramento assume especial importância, uma vez que as alterações de qualidade como de quantidade que venham a ocorrer são geralmente fruto de processos lentos que ocorrem em subsuperfície não sendo, portanto, facilmente percebidos e geralmente afetam grandes áreas. O monitoramento dos aquíferos pode ser feito através de poços construídos especialmente para esse objetivo – poços de monitoramento, ou através de poços de produção de água (CETESB, 2001).

De acordo com Tuinhof et al. (2002), os sistemas e redes de monitoramento se enquadram em três grandes categorias, que não são mutuamente exclusivas:

- Sistemas Primários – servem para detectar mudanças gerais no fluxo de água subterrânea e suas tendências de qualidade, têm o objetivo de se obter o conhecimento científico necessário para entender o comportamento do recurso.
- Sistemas Secundários e Terciários – servem para avaliar e controlar o impacto de riscos específicos da água subterrânea. O primeiro tipo de sistema possui caráter regional, enquanto o segundo e terceiro são de caráter mais local, indicando o monitoramento de proteção e contenção de contaminação, respectivamente. Na Tabela 4 apresenta-se a classificação dos sistemas de monitoramento segundo sua função.

Tabela 4- Classificação dos sistemas de monitoramento.

SISTEMA	FUNÇÃO BÁSICA	LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS
Primário	Avaliação do comportamento geral da água subterrânea devido: <ul style="list-style-type: none"><li>• A tendência resultante de modificação no uso do solo e variação climática;</li><li>• Os processos tais como recarga, fluxo e contaminação difusa;</li></ul>	Em zonas com hidrogeologia e uso do solo uniformes.

Secundário	Proteção contra impactos potenciais em: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Locais onde a água subterrânea seja um recurso estratégico;</li> <li>• Campo de poços ou mananciais para abastecimento público;</li> <li>• Infraestrutura urbana pelo abatimento do solo;</li> </ul>	Em torno das zonas, instalações ou sítios que requerem proteção.
Terciário	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afloramento do nível freático em sítios arqueológicos;</li> <li>• Ecossistemas que dependem da água subterrânea;</li> </ul> Alerta para o impacto na água subterrânea por: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Indústria;</li> <li>• Aterro sanitário e depósitos de resíduos não controlados;</li> <li>• Zonas de recuperação de solos;</li> <li>• Mineração;</li> </ul>	Gradiente imediatamente abaixo ou acima da situação que representa o perigo.

Fonte: Adaptado de Tuinhof et al. (2002).

### 3.2 Principais dificuldades encontradas em relação ao gerenciamento de águas subterrâneas na região de Belém do Pará

Os principais desafios apresentados para a região de Belém, conforme relatado (ANA, 2018) e ratificados, são:

- Carência de informações hidrogeológicas suficientes e adequadas à escala capazes de permitir o desenvolvimento de um modelo conceitual de fluxo de água subterrânea na região;
- Carência de informações de monitoramento quantitativo e qualitativo das características naturais e eventualmente antropizadas das águas subterrâneas;
- Cultura baseada na abundância dos recursos hídricos e nas soluções mais baratas, mas sem acompanhamento técnico mínimo;
- A escassa cobertura de saneamento básico na região;
- Dificuldades logísticas para fiscalização ambiental e específica de recursos hídricos;

Na Figura 2 esboça-se um cenário atual da gestão das águas subterrâneas, caracterizado por um circuito negativo.



Figura 2- Cenário atual da gestão das águas subterrâneas de Belém (ANA, 2018)



Fonte: Adaptado de GWIMATE, 2006.

Esse cenário, por sua vez, se contrapõe ao cenário futuro, ou seja, aquele no qual se objetiva chegar a partir da incorporação das informações hidrogeológicas sistematizadas (ANA, 2018).

Entretanto também é válido ressaltar algumas virtudes, dentro do cenário atual de gestão das águas subterrâneas da região de Belém:

- Modernização do sistema de gestão;
- Descentralização das unidades de gestão ambiental em regionais por todo o Estado do Pará;
- Campanhas de conscientização e educação ambiental com foco em usuários (condomínios na área urbana).

### 3.3 Técnicas de amostragem

É importante que a coleta, preservação e análise da amostra de água sejam realizadas de forma adequada e precisa, de modo que haja representatividade nos resultados e para tal é necessário que se estabeleçam normas e padrões. Para os procedimentos de amostragem e análise, recomenda-se adotar como referência básica os Art. 17 e 18 da RESOLUÇÃO CONAMA 396/2008, cujos aspectos considerados mais importantes são abaixo apresentados (BRASIL, 2008):

- As amostras de água subterrânea deverão ser coletadas utilizando-se métodos

- padronizados em pontos de amostragem que sejam representativos da área de interesse;
- As análises deverão ser realizadas em amostras íntegras, sem filtração ou qualquer outra alteração, a não ser o uso de preservantes que, quando necessários, deverão seguir as normas técnicas vigentes.
  - A filtração é admitida em casos especiais, quando tecnicamente justificada; por exemplo, metais totais são medidos sem filtração e metais dissolvidos com filtração;
  - As análises físico-químicas deverão ser realizadas utilizando-se métodos padronizados, em laboratórios que atendam aos limites de quantificação praticáveis;
  - Os resultados das análises deverão ser reportados em laudos analíticos contendo, no mínimo: identificação do local da amostragem, data e horário de coleta entrada da amostra no laboratório; indicação do método de análises utilizado para cada parâmetro analisado; limites de quantificação praticados pelo laboratório e da amostra, quando for o caso, para cada parâmetro analisado; incertezas de medição para cada parâmetro. Limites de quantificação praticados pelo laboratório e da amostra, quando for o caso, para cada parâmetro analisado; incertezas de medição para cada parâmetro.

### 3.3.1 Antes da Amostragem

Anteriormente ao início de qualquer campanha de amostragem das águas subterrâneas, algumas informações devem preferencialmente ser obtidas com antecedência, uma vez que o conhecimento prévio destas contribui para diminuição do risco da ocorrência de erros durante a execução dos trabalhos. Algumas delas podem não ser obtidas em razão de sua inexistência. Neste caso, deve procurar-se obtê-las em campo, durante a execução dos trabalhos. As informações que devem ser preferencialmente obtidas previamente são as seguintes (MILIORINI; ISHIMINE 2019):

- Existência de plantas, protocolos e objetivos do programa de amostragem;
- Em quais poços serão realizadas as amostragens e qual a sequência executiva preferencial;
- Quais parâmetros serão analisados nas amostras coletadas;
- Existência de ordem preferencial para coleta das amostras conforme a análise a ser executada e a suspeita da existência de contaminação;
- Como é a acessibilidade aos poços, uma vez que este aspecto pode contribuir para definição do tipo de transporte a ser utilizado, da quantidade de pessoas necessárias, da necessidade de autorizações especiais (permissões de trabalho, por exemplo), das

ferramentas a serem utilizadas etc.;

- Quais os parâmetros físico-químicos a serem obtidos no campo e eventualmente exigidos pela natureza das análises a serem executadas. O técnico deverá saber antecipadamente quais dados devem ser coletados (nível d'água, temperatura, potencial redox, potencial hidrogeniônico, concentração de oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, turbidez etc.). Todas as informações devem ser anotadas em formulários com o máximo de clareza;
- Em qual profundidade (dentro do poço) as amostras devem ser coletadas;
- Necessidade ou não de manipulação especializada da água removida dos poços. As águas podem ser despejadas em superfície, em coleta sanitária ou industrial, ou armazenadas como resíduo tóxico potencial. O rejeito perigoso irá requerer identificação (etiquetas, armazenamento e transporte para local adequado);
- Caso os trabalhos sejam executados no interior de uma empresa, deve verificar-se qual o procedimento para acesso às áreas de interesse, horário de expediente, contato com o responsável pela(s) área(s) de trabalho, políticas de segurança da empresa etc.;
- Dados construtivos dos poços (material utilizado, diâmetro, comprimento do filtro etc.) a serem amostrados, uma vez que estes serão utilizados para definição do(s) método(s) de amostragem;
- Avaliações sobre o comportamento físico (oscilações dos níveis d'água) e químico dos poços durante eventos de monitoramento passados. A turbidez da água pode influenciar métodos de amostragem e a necessidade de filtração das amostras. Dependendo das concentrações de determinados compostos presentes na água, o uso do equipamento de proteção individual pode ser necessário;
- Qual será o laboratório para onde serão encaminhadas as amostras coletadas;
- Tipo e número de frascos necessários, volume exigido por amostra e parâmetro a ser analisado, preservativos necessários, prazo de validade de cada amostra até o início das análises, cuidados adicionais para acondicionamento (temperatura de conservação, forma de transporte, etc.);
- Aspectos relativos ao preenchimento da cadeia de custódia;
- Metodologia a ser empregada na coleta (*bailers*, bombas centrífugas ou peristálticas, amostragem por baixa vazão, etc.). A metodologia deve considerar, sempre que possível, os tipos de análises a serem efetuadas;
- Lista de verificação dos equipamentos e materiais necessários: EPIs, veículos, frascos,

coolers, bombas, *bailers*, ferramentas manuais, medidores portáteis, planilhas para anotações, permissões de trabalho, materiais para esterilização, gelo reutilizável etc.

É importante salientar que após a verificação de todas estas informações e antes do início de uma amostragem, todos os poços a serem amostrados devem ser monitorados. Em cada poço este monitoramento deve incluir (ANA; CETESB, 2011):

- Medição do nível d'água estático, visando verificar a existência de fluxos horizontais e verticais e a presença e dimensão da coluna d'água no poço;
- Verificação da presença de lâmina de fase livre de contaminante no interior do poço ou outros indícios de contaminação. Caso seja identificada, sua espessura deve ser medida. Salienta-se que alguns dos métodos de amostragem apresentados a seguir exigem, como parte de sua aplicação, a realização de purga prévia dos poços a serem amostrados, uma vez que o conjunto de procedimentos adotados quando eles são empregados não elimina o problema relativo à água estagnada no interior dos poços, que por sua vez não pode ser considerada representativa da qualidade da água do aquífero local. Por isso, quando realizado, o procedimento de esgotamento deve permitir assegurar que a água estagnada seja substituída pela da formação.

Caso a taxa de renovação seja alta o poço não deve ser totalmente esgotado. Desse modo, o técnico responsável evita que se formem “quedas d'água” para o interior do mesmo, o que pode acelerar a perda de compostos voláteis. Para evitar tal situação recomenda-se a retirada de um volume três vezes superior ao que é encontrado no poço antes do esgotamento, a uma velocidade que não cause renovação excessiva (MILIORINI; ISHIMINE, 2019).

Para casos onde a taxa de renovação é baixa, o esgotamento também deve ser executado a uma velocidade adequada, de forma a promover o esvaziamento completo do poço sem que se formem as já mencionadas “quedas d'água”.

Na fase de esgotamento deve ser utilizado equipamento individual para cada poço, de modo a evitar possíveis contaminações cruzadas entre os pontos de coleta. No caso da utilização de *bailer*, deve ser trocada inclusive a linha que sustenta o mesmo. Caso sejam utilizadas bombas (de qualquer tipo), devem ser trocadas as mangueiras utilizadas (MILIORINI; ISHIMINE, 2019).

No caso de reutilização de equipamentos, estes devem ser previamente esterilizados. Esta esterilização compreende algumas etapas descritas a seguir, devendo ser rigorosamente seguidas para que a limpeza apresente maior eficácia (MILIORINI; ISHIMINE, 2019):

- Lavar o equipamento com água corrente e detergente alcalino não fosfatado;

- Deixar a água corrente retirar todo o detergente e repetir o processo;
- Circular água deionizada pelo equipamento de maneira a substituir a água corrente;
- Em seguida, circular metanol por todo o equipamento e finalmente circular hexano;
- Deixar o equipamento esterilizado secar e guarda-lo (em saco plástico ou saco bolha) para sua reutilização.

### 3.3.2 Amostragem Através de *Bailers*

Os *bailers* são amostradores feitos de diversos materiais como: PVC, polietileno, polipropileno, teflon, alumínio ou aço inoxidável. No caso dos dois últimos, eles podem ser reutilizados após passarem por esterilização. A amostragem com *bailers* não tem restrições de profundidade ou tipo de poço. É necessário o uso de um amostrador individual em cada poço, caso opte-se por esse método para que seja evitada a contaminação (HIDROSUPRIMENTOS, 2023).

Durante a coleta, o técnico deve inserir o amostrador lentamente no poço, tanto na purga (que requer essa etapa) quanto na amostragem, para evitar a turbulência. A transferência da água para os frascos deve ser feita de forma lenta, utilizando controladores de fluxo para reduzir a velocidade da água que sai do amostrador (HIDROSUPRIMENTOS, 2023).

A principal vantagem desse método é o seu baixo custo de aplicação, o que o torna o mais utilizado. No entanto, existem algumas desvantagens, como a necessidade de esgotar os poços, o que gera efluentes que precisam ser descartados adequadamente. Além disso, mesmo com os cuidados tomados durante a amostragem, pode ocorrer turbulência na água amostrada, o que pode resultar na perda de compostos voláteis e no aumento da turbidez das amostras (HIDROSUPRIMENTOS, 2023).

### 3.3.3 Amostragem com Bombas de Sucção (Vácuo, Centrífuga e Peristáltica)

A bomba peristáltica é a mais comumente utilizada entre as mencionadas, pois causa o menor distúrbio (turbulência) na água durante a amostragem, embora não elimine completamente esse problema. Com essa bomba, a água que está sendo purgada ou retirada para a amostragem não entra em contato com o equipamento, apenas com as mangueiras (SODRÉ et al., 2010).

As mangueiras devem ser descartáveis, sendo necessário utilizar uma para cada poço. A bomba peristáltica geralmente possui um dispositivo que permite controlar a velocidade do fluxo da água durante a amostragem. É recomendado que o operador execute a

amostragem em baixa velocidade, especialmente quando estiver retirando material para análise de compostos voláteis (SODRÉ et al., 2010).

O principal limitante dessa bomba é a profundidade de amostragem, que não deve exceder 7,0 metros. Ao nível do mar, esse limite pode chegar a valores próximos de 9,0 metros (SODRÉ et al., 2010).

#### 3.3.4 Bombas de Ar/Gás (Bexiga)

As bombas de ar são compostas por um compartimento externo, geralmente feito de metal ou teflon, onde é inserida uma membrana flexível chamada de bexiga. Essa bexiga está conectada a uma mangueira para a transferência de água e também possui uma abertura para permitir a entrada da água a ser amostrada. O compartimento externo também é conectado a uma mangueira que, por sua vez, é acoplada a um compressor ou cilindro de ar (MILIORINI; ISHIMINE, 2019).

Para realizar a amostragem, o conjunto da bomba é inserido no ponto desejado, de forma que o peso da coluna de água preencha a bexiga. Em seguida, o fluxo de ar é acionado, geralmente por meio de controladores interligados ao cilindro ou compressor. Esse fluxo de ar entra no compartimento externo e comprime a bexiga, fazendo com que ela expulse a água pela mangueira de transferência, permitindo a amostragem (MILIORINI; ISHIMINE, 2019).

Esse tipo de bomba é especialmente adequado para evitar a contaminação cruzada entre poços ou pontos de amostragem, pois a água não entra em contato com o equipamento, apenas com a bexiga e as mangueiras, que podem ser descartadas após o uso em cada poço.

#### 3.3.5 Micro Purga ou Amostragem por Baixa Vazão (Low Flow)

O método descrito envolve a utilização de bombas peristálticas ou de bexiga, desde que estejam conectadas a dispositivos controladores de velocidade de purga. A ideia é realizar a amostragem com uma baixa velocidade de entrada de água no ponto de captação da bomba, durante o bombeamento do poço, e não necessariamente controlar a vazão da água despejada na superfície (CLEAN ENVIRONMENTAL BRASIL, 2001).

Para controlar a vazão, é recomendado monitorar o rebaixamento do nível d'água durante o bombeamento. Isso pode ser feito utilizando uma sonda elétrica para medição contínua desse parâmetro em cada poço. Ao mesmo tempo, é importante monitorar os parâmetros indicadores da qualidade da água, como pH, condutividade elétrica, potencial

de redox, oxigênio dissolvido e turbidez. Esse monitoramento ajuda a determinar o momento em que a água da formação está sendo acessada durante a purga de cada poço, permitindo a amostragem no momento ideal (CLEAN ENVIRONMENTAL BRASIL, 2001).

Para realizar a amostragem, a água purgada deve passar por uma célula de fluxo onde estão acoplados eletrodos sensíveis aos parâmetros indicadores, permitindo a medição contínua desses parâmetros. Quando forem obtidas três leituras sucessivas dentro de uma faixa de variação aceitável para cada parâmetro, indica-se que as condições ideais foram alcançadas para a retirada das amostras (CASTILHO, 2015).

Após a estabilização dos parâmetros em cada poço, a mangueira de polietileno acoplada à bomba deve ser desconectada da célula de fluxo e a água bombeada deve ser despejada diretamente nos frascos destinados ao armazenamento das amostras. O tempo necessário para a amostragem de cada poço depende do controle do rebaixamento do nível d'água e da estabilização dos parâmetros indicadores, que são influenciados pelas características hidrogeológicas locais e pelas características construtivas dos poços (CASTILHO, 2015).

As principais vantagens de sua aplicação são (ROCHA, 2019):

- Eliminação dos efeitos da turbulência durante as amostragens, minimizando consideravelmente a perda de compostos voláteis e a geração de turbidez;
- Eliminação da necessidade de esgotamento dos poços a serem amostrados, minimizando consideravelmente o volume de efluentes gerados durante a amostragem;
- Monitoramento contínuo de parâmetros físico-químicos durante a amostragem, o que é uma garantia de que está sendo amostrada efetivamente a água da formação.

### **3.4 Poluição das águas subterrâneas**

O aquífero subterrâneo é alimentado pelas águas pluviais e superficiais, nas zonas de recarga, e ocasionalmente deságuam originando as fontes ou alimentando rios e lagos. Essa estreita relação entre água subterrânea e superficial reflete na influência da contaminação de um sobre o outro (ALMEIDA, 2016).

Segundo Nascimento et al. (2023), as águas subterrâneas possuem distribuição bastante variável, assim como, as águas superficiais por estarem relacionadas ao ciclo hidrológico, dependendo das condições climáticas, porém as águas subterrâneas apresentam-se cerca de 100 vezes mais abundantes que águas superficiais de lagos e rios. A partir do momento em que os

contaminantes atingem o solo, inicia-se a sua infiltração de forma lenta no meio poroso, tendo acesso às águas do aquífero livre. Para a recuperação das águas subterrâneas, quando contaminadas ou poluídas, é necessário alto investimento financeiro e com resultados em longo prazo.

Segundo (ANA; CETESB, 2011) o potencial de poluição da água subterrânea depende:

- Das características, da qualidade e da forma de lançamento do poluente no solo. Pois, quanto maior a persistência, menor capacidade de degradação e maior a mobilidade do poluente no meio, solo ou água subterrânea, maior o potencial de poluição. Aliado a isso, uma pequena quantidade de poluentes em regiões muito chuvosas, pode transportar rapidamente as substâncias para as águas subterrâneas, mesmo considerando a capacidade do solo em atenuar os efeitos.
- Da vulnerabilidade intrínseca do aquífero. Pois, a vulnerabilidade de um aquífero pode ser entendida como o conjunto de características que determinam o quanto ele poderá ser afetado pela carga de poluentes. São considerados aspectos fundamentais da vulnerabilidade: o tipo de aquífero (livre ou confinado), a profundidade do nível d'água, e as características dos estratos acima da zona saturada, em termos de grau de consolidação e litologia (argila a cascalho).

De forma geral, a poluição de águas subterrâneas pode ser de origem superficial ou profunda. Fontes de origem profunda são os poços mal construídos ou abandonados, que se transformam em vetores de contaminação entre diferentes aquíferos, e transmissão de poluição de um aquífero para o outro. Fontes de poluição de origem superficial são: fossas sépticas, infiltração de esgoto doméstico e industrial, cursos de água poluída se ligado à recarga natural, infiltração de fertilizantes e pesticidas, e disposição de lixo que infiltram chorume no solo, quando disposto de forma inadequada (Ribeiro et al., 2016).

Segundo Derísio (2017), as contaminações das águas subterrâneas podem ter origens diversas, sendo atualmente mais comuns aquelas relacionadas diretamente com atividades industriais, domésticas e agrícolas.

- Atividades industriais: as indústrias podem produzir contaminação subterrânea através de:

- Águas usadas, contendo compostos químicos, metais e/ou com alta temperatura;
- Manuseio, armazenamento e descarte de material de forma inadequada;



- Elementos radioativos;
- Chorumes (infiltrações através de aterros sanitários, lixões etc.);
- Acidentes com produtos químicos;

- Atividades domésticas: a atividade doméstica pode contaminar a água subterrânea das seguintes maneiras:

- Chorumes de aterros sanitários, lixões;
- Cemitérios;
- Descarte inadequado de substâncias no sistema de esgotamento sanitário ou drenagem urbana;
- Acidentes com rompimentos de fossas sépticas ou de redes de esgotos.

-Atividades agrícolas: a agricultura pode contaminar a água subterrânea através de:

- Solutos dissolvidos por chuva ou irrigação;
- Fertilizantes minerais, naturais etc.;
- Sais, herbicidas, pesticidas etc.

De acordo com a classificação estabelecida pelo *Office of Technology Assessment* (OTA) do Congresso dos Estados Unidos, e citado por Pontes (2018), é possível distinguir as seguintes fontes de contaminação:

**(A) Fontes projetadas para recepção de substâncias:**

- Fossas sépticas (águas residuais e esgotos domésticos);
- Poços de injeção (resíduos perigosos, *run-off* urbano, esgotos municipais);
- Aplicações no solo como fertilizantes (lodos de estações de tratamento, esterco de animais em currais, aviários, etc.); nitrogênio, fósforo e metais pesados podem originar-se dessas fontes e contaminar as águas subterrâneas.

**(B) Fontes projetadas para armazenar, tratar ou receber substâncias:**

- Aterros sanitários (lixões urbanos, restos de demolições, lodos de estações de tratamento, materiais tóxicos e resíduos perigosos de fundições ou indústrias);
- Valas clandestinas abertas (lixo doméstico queimado, cujas cinzas, diluídas pelas chuvas,

podem produzir contaminações da água subterrânea);

- Resíduos de mineração;
- Vazamentos em tanques de armazenamento (produtos de petróleo, químicos agrícolas e outros).

**(C) Fontes projetadas para reter substâncias durante transporte:**

- Vazamentos em oleodutos, gasodutos, esgotos, entre outros;
- Acidentes com caminhões e trens condutores de produtos químicos.

**(D) Fontes produtoras de substâncias em virtude de outras atividades:**

- Irrigação (percolação do excesso de água de irrigação até o nível freático, levando pesticidas e fertilizantes dissolvidos);
- Aplicações de pesticidas para controle de pragas (ervas daninhas, insetos, fungos etc.);
- Aplicações de fertilizantes (nitrogênio, fósforo, potássio, dos quais apenas o nitrogênio pode se constituir em contaminante);
- *Run-off* urbano (sólidos dissolvidos e em suspensão, oriundos das emissões dos veículos motorizados, resíduos de óleos e graxas, fezes);
- Percolação de poluentes atmosféricos (emissões de automóveis, fumaças de indústrias, incinerações etc.). Os poluentes incluem hidrocarbonetos, químicos orgânicos sintéticos, químicos orgânicos naturais, metais pesados, compostos de enxofre e de nitrogênio.

**(E) Fontes que podem atuar como condutoras da água contaminada:**

- Poços produtores (óleo, gás, energia geotérmica e água), nos quais os contaminantes podem ser introduzidos durante a perfuração;
- Poços mal construídos, com cimentações deficientes, e/ou com revestimentos corroídos, podem constituir se em vias de contaminação entre aquíferos;
- Poços escavados (tipo amazonas), abandonados, podem ser usados como receptores de lixo.

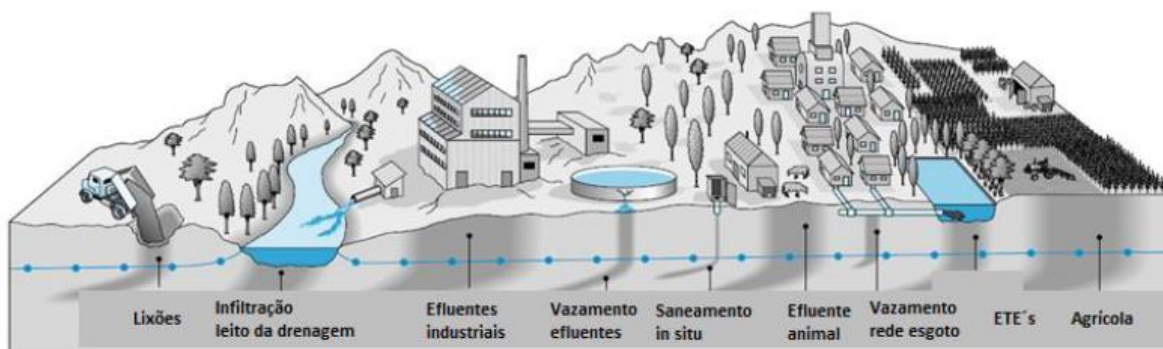
**(F) Fontes naturais cuja descarga é criada pela atividade humana:**

- Interações entre água superficial e subterrânea (indução da água de um rio contaminado em um aquífero);

- Lixiviação natural (minerais dissolvidos de rochas e solos em níveis que podem atingir de 10 a 100 g/L de sólidos totais dissolvidos);
- Intrusão de água do mar em aquíferos costeiros (avanço regional e ascensão do cone de água salgada pela base das estruturas de captação).

Na Figura 3 ilustra-se algumas das possíveis fontes de contaminação em áreas urbanas:

Figura 3- Possíveis contaminações de água subterrânea.



Fonte: Adaptado de GWMATE, 2006.

Assim sendo, na Figura 3, pode-se ter uma ideia da escala temporal na qual algumas contaminações típicas de áreas urbanas se processam e à presença de materiais filtrantes no trajeto, como camadas de solo, rochas e sedimentos. Esses materiais podem funcionar como barreiras físicas e químicas, retendo, filtrando e degradando os contaminantes, diminuindo sua concentração ao longo do percurso.

Se a água subterrânea se move mais lentamente, há mais tempo para que os materiais filtrantes atuem na retenção, filtração e degradação dos contaminantes, resultando em uma maior atenuação. Por outro lado, se a água subterrânea se move mais rapidamente, há menos tempo para que ocorra esse processo de atenuação e os contaminantes podem se espalhar facilmente.

Outro fator que influencia a capacidade de atenuação é a natureza do contaminante. Alguns contaminantes são mais suscetíveis à degradação natural, enquanto outros são persistentes e apresentam baixa capacidade de atenuação. Além disso, a velocidade de fluxo da água subterrânea também desempenha um papel importante na atenuação.

Portanto, a presença de materiais filtrantes e a velocidade de fluxo da água subterrânea são fatores importantes a serem considerados ao avaliar a capacidade de atenuação de contaminantes em áreas urbanas. Essas informações podem ser utilizadas para o desenvolvimento de estratégias de remediação e para a proteção de recursos hídricos subterrâneos.

Quanto maior a velocidade, menor o tempo de contato entre o contaminante e os materiais atenuantes, o que pode comprometer a eficiência do processo. É importante ressaltar que a atenuação natural não é garantida em todos os casos e em todas as condições. Portanto, é fundamental adotar medidas preventivas para evitar a contaminação do aquífero livre, como o controle e tratamento adequado dos efluentes e o uso responsável de produtos químicos (ANA, 2018).

Em situações extremas, o poluente pode ser armazenado por muito tempo no sistema ou ainda ser transportado por grandes distâncias muito rapidamente (HIRATA et al. 2019). Quando ocorre um transporte muito rápido do contaminante, o tempo de residência é curto e o processo de atenuação natural pode não ser efetivo. Entretanto, nas zonas de drenagem que transmitem rapidamente toda a contaminação recebida sem filtração e sem depuração, este tempo de permanência curto contribui para que os contaminantes desapareçam rapidamente se a fonte de contaminação é suprimida.

Em regiões onde ocorre um maior tempo de permanência no reservatório subterrâneo, os processos de dissolução e atenuação natural podem contribuir para limitar o nível de contaminação na exutória do sistema aquífero (HIRATA et al. 2019).

Portanto, é necessário um estudo detalhado de cada caso para entender como ocorrem esses processos de atenuação e como eles podem ser aproveitados para o tratamento de áreas contaminadas. Um programa de monitoramento de águas subterrâneas é fundamental para identificar possíveis poluentes e quantificar suas concentrações. Isso permite que ações de remediação sejam implementadas de forma adequada e eficaz. Além disso, um programa de monitoramento contínuo ajuda a identificar tendências de poluição ao longo do tempo, permitindo uma avaliação mais abrangente do problema. Isso é particularmente importante para áreas onde a poluição pode estar em constante evolução, como locais de atividade industrial (CETESB, 2001).

Além disso, a implementação de um programa de monitoramento ajuda a estabelecer uma base de dados confiável, que pode ser utilizada para embasar a elaboração de políticas públicas e tomada de decisões relacionadas à proteção e preservação das águas subterrâneas sendo essencial para a identificação precoce de problemas de poluição, a seleção adequada de medidas de remediação e a proteção contínua da saúde humana e do meio ambiente.

### **3.5 Importância do monitoramento de águas subterrâneas**

As águas subterrâneas respondem pela maior quantidade de água doce do país em estado líquido, aproximadamente 10,3 milhões de km<sup>3</sup>, enquanto os rios e lagos coletam aproximadamente 100.000 km<sup>3</sup> em período de seca, no valor de 13.000 km<sup>3</sup> por ano (CASTRO,

2022).

As águas subterrâneas desempenham um papel fundamental no abastecimento público e privado em todo o mundo. Estima-se que as necessidades de mais de 1,5 bilhão de pessoas e grande parte da população rural nos centros urbanos sejam atendidas pela fonte subterrânea (HIRATA et al., 2019).

Segundo Ministério da Saúde (2016) define o monitoramento como “um processo programado de amostragem, medições e armazenamento de dados sobre várias características da água”.

Segundo Dias et al. (2018), o monitoramento da qualidade da água, é definido como sendo o esforço para obter uma compreensão das características químicas, físicas e biológicas da água, por meio da amostragem e interpretação estatística. O monitoramento é a coleta de dados com o propósito de obter informações sobre uma característica e/ou comportamento de uma variável ambiental.

No Brasil, a importância do monitoramento da água está conceituada na Política Nacional de Recursos Hídricos, que define, dentre seus objetivos, “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos” (BRASIL, 1997).

Esta Política também conceitua a importância da avaliação integrada da qualidade e quantidade ao determinar, como diretrizes de ação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, a gestão sistemática dos recursos hídricos sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade e a integração da gestão dos recursos hídricos com a gestão ambiental (BRASIL, 1997).

Segundo a Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídrico (RESOLUÇÃO n. 15, 2011) na implementação dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos deverão ser incorporadas medidas que assegurem a promoção da gestão integrada das águas superficiais, subterrâneas e meteóricas (BRASIL, 2011).

Outras ferramentas que favorecem a gestão da quantidade e qualidade são a classificação e o enquadramento dos corpos d'água em classes de usos preponderantes. Para o recurso hídrico subterrâneo foi dado o primeiro passo para esse enquadramento, conforme as diretrizes estabelecidas pela Resolução CONAMA 396/2008 que “Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências”. (BRASIL, 2008).

Segundo esta resolução, Art. 3ª As águas subterrâneas são classificadas em:

– Classe Especial: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial;

– Classe 1: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

– Classe 2: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

– Classe 3: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

– Classe 4: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo

– Classe 5: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso.

A Resolução CONAMA nº 357/2005, classifica as águas em doces, salobras e salinas em função dos usos preponderantes atuais e futuros (CONAMA, 2005, p. 05-06, grifo nosso). O Art. 42 estabelece que enquanto não forem aprovados os respectivos enquadramentos dos corpos d'água, as águas doces serão consideradas classe 2, as salinas e salobras em classe 1, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores (SEMAS, 2014).

Diante desses dados, percebe-se a importância dessa respectiva pesquisa de se investigar e analisar a qualidade das águas subterrâneas para utilizá-las de maneira adequada às necessidades humanas e ao meio físico.

### **3.6 Legislação e normas de referências**

O monitoramento contínuo das águas subterrâneas é uma medida muito importante na gestão dos recursos hídricos subterrâneos, pois permite coletar dados qualitativos e

quantitativos e avaliar os efeitos das atividades humanas nos sistemas hídricos subterrâneos. O papel do monitoramento na caracterização hidrogeológica e no apoio às medidas de proteção e conservação e, por conseguinte, no processo de gestão, tem vindo a ser confirmado em vários normativos, dos quais importa destacar as seguintes legislações (ANA, 2018):

Devido à escassa regulamentação referente às águas subterrâneas, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos editou, por meio de resoluções, normativos infralegais com vistas a abarcar orientações quanto a gestão das águas subterrâneas e a gestão integrada entre recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Na Tabela 5 estão listadas as respectivas legislações em ordem hierárquica espacial e temporal, além de sumarizar suas principais contribuições e alcance.

Tabela 5- Legislação Federal Aplicada.

LEGISLAÇÃO FEDERAL	OBJETO E ALCANCE
Lei das Águas (Lei nº 9433/1997)	Estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH, constituído pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH); Agência Nacional de Águas; Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal; Comitês de Bacias Hidrográficas; os órgãos públicos dos poderes federal, estaduais, do Distrito Federal e municipais cujas competências se relacionem com a gestão de recursos hídricos; e as agências de água.
Resolução CNRH Nº 09/2000	Institui a Câmara Técnica Permanente de Águas Subterrâneas – CTAS.
Resolução CNRH Nº 13/2000	Estabelece diretrizes para a implementação do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos.
Resolução CNRH Nº 15/2001	Estabelece diretrizes gerais para a gestão de águas subterrâneas
Resolução CNRH Nº 16/2001	Estabelece critérios gerais para a outorga de direito de uso de recursos hídricos
Resolução CNRH Nº 22/2002	Estabelece diretrizes para inserção das águas subterrâneas no instrumento Planos de Recursos Hídricos.
Resolução CNRH Nº 65/2006	Estabelece diretrizes de articulação dos procedimentos para obtenção da outorga de direito

	de uso de recursos hídricos com os procedimentos de licenciamento ambiental .
Resolução CNRH N° 76/2007	Estabelece diretrizes gerais para a integração entre a gestão de recursos hídricos e a gestão de águas minerais, termais, gasosas, potáveis de mesa ou destinadas a fins balneários.
Resolução CNRH N° 91/2008	Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos.
Resolução CNRH N° 92/2008	Estabelece critérios e procedimentos gerais para proteção e conservação das águas subterrâneas no território brasileiro.
Resolução CNRH N° 107/2010	Estabelece diretrizes e critérios a serem adotados para o planejamento, a implantação e a operação de Rede Nacional de Monitoramento Integrado Qualitativo e Quantitativo de Águas Subterrâneas.
Resolução CNRH N° 126/2011	Estabelece diretrizes para o cadastro de usuários de recursos hídricos e para a integração das bases de dados referentes aos usos de recursos hídricos superficiais e subterrâneos.
Resolução n° 202/2018	Estabelece diretrizes para a gestão integrada de recursos hídricos superficiais e subterrâneos que contemplem a articulação entre a União, os Estados e o Distrito Federal com vistas ao fortalecimento dessa gestão.
Resolução n° 232/2022	Aprova o Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022-2040 e dá outras providências.
Resolução n° 234/2022	Estabelece procedimentos para deliberação pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos sobre o recurso de que trata o parágrafo único do art. 38 da Lei n° 9.433, de 8 de janeiro de 1997.

Fonte: Adaptado de ANA (2018).

Na Tabela 6 abaixo estão descritas as principais disposições legais sobre águas subterrâneas existentes no Estado do Pará.

Tabela 6- Legislação aplicada a Águas subterrâneas no estado do Pará.

LEGISLAÇÃO ESTADUAL	OBJETO E ALCANCE
Lei Estadual n° 6.381/2001	Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e institui o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado do Pará.



Decreto Estadual nº 1.556/2016	Regulamenta o Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Pará – CERH/PA e dá outras providências. Substitui o Decreto Estadual nº 276/2011.
Resolução CERH Nº. 03/2008	Dispõe sobre a outorga de direito de uso de recursos hídricos e dá outras providências (Complementada pela Resolução CERH nº 10/2010).
CERH nº 11, de 03 de setembro de 2010,	Dispõe sobre o cadastro estadual de usuários de recursos e dá outras providências.
Resolução CERH Nº. 08/2008	Dispõe sobre a Declaração de Dispensa de Outorga e dá outras providências.
Resolução CERH Nº. 09/2009	Dispõe sobre os usos que independem de outorga.
Alteração da Resolução CERH Nº 09/2009	Dispõe sobre os usos que independem de outorga.
Resolução CERH Nº. 10/2010	Dispõe sobre os critérios para análise de Outorga Preventiva e de Direito de Uso de Recursos Hídricos e dá outras providências
Resolução CERH Nº. 11/2010	Dispõe sobre o cadastro estadual de usuários de recursos e dá outras providências.
Resolução CERH Nº. 12/2010	Estabelece diretrizes para a implementação do Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos - SEIRH, para a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
Resolução CERH Nº. 13/2010	Estabelece as diretrizes a serem adotadas nos procedimentos de solicitação de outorga de direito de uso de recursos hídricos relacionados às atividades sujeitas ao licenciamento ambiental.
Lei Estadual Nº 6.929/2006	Estabelece a obrigatoriedade dos postos de combustíveis e empresas de lavagem de carros passarem a utilizar em seus serviços água de poço artesiano.
Lei Estadual Nº 7.026/2007	Cria a Secretaria de Estado de Meio Ambiente – SEMAS.
Decreto Estadual Nº 746/2007	Aprova o Regimento Interno da Secretaria de Estado de Meio Ambiente – SEMAS.
Decreto Estadual Nº 886/2013	Adesão do Estado do Pará ao Pacto Nacional pela gestão das Águas, nos termos estabelecidos pela Resolução ANA nº 379, de 21 de março de 2013.
Decreto Estadual Nº 1.227/2015	Regulamenta a Lei nº 8.091, de 29 de dezembro de 2014, que institui a Taxa de Controle, Acompanhamento e Fiscalização das Atividades de Exploração e Aproveitamento de Recursos Hídricos - TFRH e o Cadastro Estadual de Controle, Acompanhamento e Fiscalização das

---

Atividades de Exploração e Aproveitamento de Recursos Hídricos
--

---

Adaptado de ANA (2018).

### 3.7 Fontes potenciais de contaminação de água subterrânea

Em consonância com a ANA (2018), observou-se uma escassez na disponibilidade dessas informações por parte dos órgãos oficiais. A vulnerabilidade de um aquífero significa sua maior ou menor susceptibilidade de ser afetado por uma carga poluidora.

Segundo Hirata & Foster (1993), a vulnerabilidade do aquífero é função da inacessibilidade hidráulica da penetração de contaminantes e da capacidade de atenuação dos estratos acima da zona saturada do aquífero, como resultado de sua retenção física e reações químicas com o contaminante. Para os autores, a vulnerabilidade deveria ser avaliada para cada contaminante específico ou para cada classe de contaminante, todavia, este procedimento é impraticável, onde as fontes potenciais de contaminação consideradas foram:

- Sistemas de saneamento;
- Atividades industriais;
- Postos de combustíveis;
- Oficinas mecânicas;
- Lava-jatos;
- Hospitais;
- Cemitérios;
- Resíduos Sólidos.
- Áreas rurais (rebanhos, matadouros, criação de animais, uso de fertilizantes/ agroquímicos, áreas agrícolas, entre outros).

Na Tabela 7 abaixo apresenta-se os principais tipos de problemas encontrados em águas subterrâneas.

Tabela 7- Principais tipos de problemas encontrados em águas subterrâneas.

Tipo de Problema	Causa	Contaminantes Especiais
Contaminação do aquífero	Proteção inadequada dos aquíferos vulneráveis contra emissões e lixiviados provenientes de atividades urbanas /industriais e intensificação do cultivo agrícola.	Microorganismo patógenos, nitrato ou amônio, cloreto sulfato, boro, arsênico, metais pesados, carbono, orgânicos dissolvidos, hidrocarbonetos aromáticos e halogenados, certos pesticidas.
Contaminação no próprio poço ou captação	Poço ou captação cuja construção/projeto inadequado permite o ingresso direto de água	Principalmente microrganismos patógenos.

	superficial ou água subterrânea rasa poluída	
Intrusão salina	Água subterrânea salina e as vezes poluída que, por excesso de extração é induzida a influir para o aquífero de água doce.	Principalmente cloreto de sódio, mas pode incluir também contaminantes persistentes produzidos antropicamente.
Contaminação natural	Relacionada com a evolução química da água subterrânea e a dissolução de minerais (pode ser agravada pela poluição agravada pela atividade humana e /ou extração excessiva).	Principalmente fluoreto e ferro solúvel, as vezes sulfato de magnésio, arsênico, manganês, selênio, cromo e outras espécies inorgânicas.

Adaptado de ANA (2018).

### 3.8 Etapas e atividades do monitoramento

De acordo com Penner (2018, apud Martinez, 2004) o monitoramento deve ser considerado como um procedimento sistêmico que envolve a execução de várias atividades de modo ordenado e metódico. A sequência de atividades previstas é:

- Delimitação da área de monitoramento;
- Análise da estrutura geológica, do sistema de fluxo subterrâneo e qualidade das águas subterrâneas;
- Desenho da rede de monitoramento;
- Definição e implementação de métodos de coleta e investigação de campo e procedimentos analíticos laboratoriais;
- Determinação da frequência de amostragem e seleção de variáveis a serem analisadas e adoção de processos que assegurem a qualidade dos dados obtidos;
- Análise, processamento e interpretação dos dados.

Mourão et al. (2009) ressalta que o programa de monitoramento inclui, além do sistema de monitoramento, um sistema de informação e um sistema de controle. O autor aponta que o ponto decisivo do programa de monitoramento é a transformação dos dados em informação útil para diversos usuários técnicos, setores socioeconômicos, setores ambientais, unidades científicas, tomadores de decisão e público em geral, que significa em sistemas de informação bem estruturado, interativo e capaz de criar gráficos e mapas. O sistema de gestão, que representa a etapa final do programa, refere-se efetivamente à utilização dos resultados para subsidiar a implementação de estratégias de proteção das águas subterrâneas.

#### 3.8.1 Informações requeridas para a configuração do sistema de monitoramento

A estrutura e a operação do monitoramento de água subterrânea devem ser estabelecidas de acordo com (HIRATA et al., 2019):

- A função do corpo de água subterrânea;
- As características dos corpos de água subterrânea;
- O nível de conhecimento existente (incluindo o nível de confiança nos modelos conceituais) de um sistema aquífero;
- O tipo, extensão e variação das pressões no corpo ou grupo de corpos de água subterrânea;
- A avaliação de risco a partir das pressões sobre o corpo ou grupo de corpos de água subterrânea.

### **3.9 Os Principais fundamentos de uma rede de monitoramento de água subterrânea**

O monitoramento é um processo que fornece subsídios para a tomada de decisões relacionadas ao uso e tratamento de águas subterrâneas aos órgãos estaduais, suas diversas unidades, empresas de saneamento, comunidades conservacionistas e público em geral.

Apesar da diversidade de necessidades das águas subterrâneas, é inegável a necessidade de um banco de dados hidrogeológicos consistente e, nesse contexto, o monitoramento é uma atividade fundamental. A implementação de um programa de monitoramento tem muitas vantagens e as informações obtidas são usadas, por exemplo, para (GENARO, 2021):

- Subsidiar e validar os procedimentos de análise de risco;
- Promover uma avaliação confiável da condição quantitativa dos corpos de água subterrânea, incluindo a avaliação da disponibilidade do recurso hídrico subterrâneo;
- Estimar a direção e taxa de fluxo da água subterrânea;
- Estabelecer avaliações de tendência de longo termo tanto como resultado de mudanças nas condições naturais quanto derivadas de atividades antropogênicas;
- Definir o estado qualitativo dos corpos d'água considerados sob risco de contaminação;
- Identificar tendências significativas de crescimento na concentração de poluentes e no aumento do rebaixamento do nível d'água;
- Avaliar a reversão das tendências nas condições qualitativas e/ou quantitativas após a implantação de medidas mitigadoras.

O programa de monitoramento deve ser eficaz, flexível e levar em consideração as condições hidrogeológicas regionais e locais, cultivo e uso e ocupação dos terrenos, demanda de água atual e futura e as necessidades específicas de diferentes usuários.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

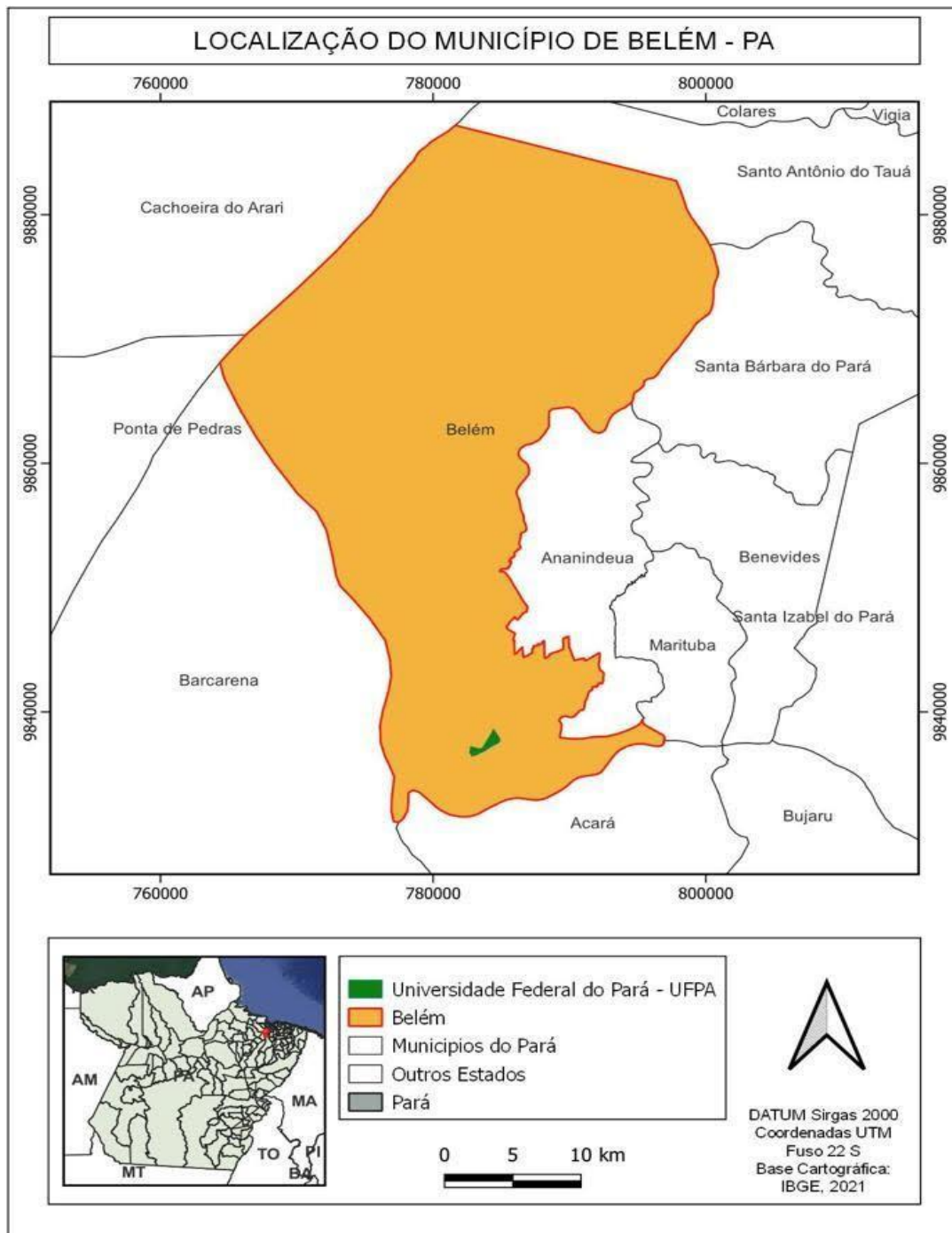
Esse item descreve a metodologia utilizada para o desenvolvimento de um manual técnico associado a um programa de monitoramento da qualidade da água subterrânea em poços de monitoramento e suas respectivas técnicas de amostragem que deve ser adaptada de acordo com a área de estudo e o objetivo do desenvolvimento de uma pesquisa. Dentro disso, exigiu-se a elaboração de uma estrutura organizacional afim de nortear o planejamento e execução de cada etapa do trabalho. O planejamento, estruturação e operação do programa de monitoramento integrado de águas subterrâneas, deverão obedecer ao cumprimento de diversas atividades sequenciais ou simultâneas. O êxito do programa depende da promoção de ações responsáveis pela implantação do monitoramento, que deverão estar devidamente organizadas e estruturadas tanto em termos materiais quanto de recursos humanos para sua execução.

### 4.1 Área de estudo

A área de abrangência do estudo experimental compreende como referência para a análise do programa de monitoramento de água subterrânea, os Poços de Monitoramento (PM) localizados no espaço territorial da Cidade Universitária Prof. José da Silveira Neto, comumente conhecida como Universidade Federal do Pará como referência. Tal instituição situa-se as margens do Rio Guamá conforme Figura 4.

A Universidade Federal do Pará situa-se no bairro Universitário, ao sul do município de Belém sobre uma região de planície, juntamente com a Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), o Núcleo Pedagógico Integrado (NPI), o Museu Emílio Goeldi e o Parque de Ciência e Tecnologia.

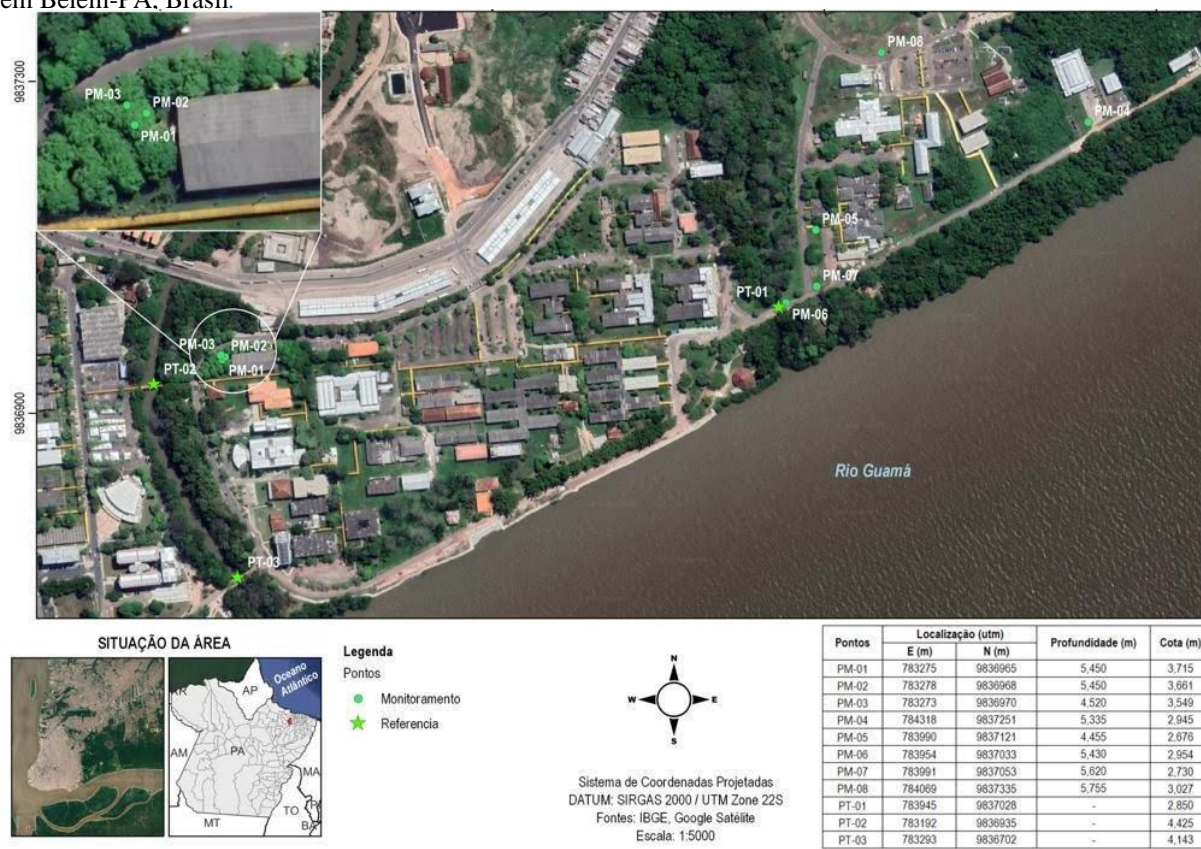
Figura 4- Localização da área de estudo como referência.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Neste contexto, há uma necessidade urgente de qualificar e organizar o conhecimento em monitoramento de águas subterrâneas, em regiões tropicais mais precisamente na Amazônia. Em síntese, o presente estudo será realizado, em poços de monitoramento (PM) localizados no campus da Universidade Federal do Pará (UFPA), inserido em área urbana ao sul do município de Belém, capital do estado do Pará (Figura 5).

Figura 5- Mapa de localização dos poços de monitoramento (PM) dentro do campus da Universidade Federal do Pará em Belém-PA, Brasil.



Fonte: Autora, 2024.

A cidade de Belém possui terreno parcialmente peninsular de formação geomorfológica fluvial recente, compondo uma grande área de várzea, com bacias hidrográficas formadas por lagos, rios e igarapés que entrecortam os ambientes urbano e natural, quase todos retificados por canais, formando áreas de terra firme e alagáveis sujeitas a inundações sob a influência de marés ou por incidência pluvial. O relevo da região é predominantemente plano e uniforme, inserido em um sistema flúvio-estuarino complexo, que inclui porções continentais e insulares, contornadas por rios importantes como os Rios Guamá e Pará e uma série de furos e igarapés (ANA, 2018).

#### 4.1.1 Critérios de seleção de poços existentes

Em consonância com Mourão et al. (2019) todo o programa de monitoramento é integralmente dependente de uma rede de poços de observação. Um monitoramento quantitativo efetivo será aquele em que os pontos de observação são capazes de identificar o impacto potencial das pressões existentes e a evolução do nível d'água a curto, médio e longo termos. Portanto, a seleção dos poços existentes deve ser feita de forma bastante criteriosa, considerando os seguintes aspectos:

- Ser representativo das condições aquíferas específicas a serem monitoradas, com filtros localizados em uma única unidade hidrogeológica. Este critério determina que os aspectos hidráulicos e litológicos devam ser característicos do aquífero selecionado. Além disso, é preciso assegurar que a(s) entrada(s) d'água esteja(m) restrita(s) àquele aquífero.
- Possuir perfis técnico, construtivo e litológico. Além dessas informações, deve ser feita verificação em campo da situação atual do poço e uma análise de como esta pode influenciar no dado a ser obtido no monitoramento.
- Ter sido construído de acordo com as normas ABNT. A construção correta do poço implica em maior segurança na confiabilidade do dado de monitoramento;
- Possuir condições locais de segurança. Este é um aspecto desejável, mas não restritivo. Abrange a existência de cerca de proteção, acesso fácil e de um responsável pela manutenção do poço. Tais condições deverão ser estabelecidas, caso o poço não as possua.

#### 4.1.2 Critérios para construção de poços de monitoramento

É certo que o programa de uma rede de monitoramento para um determinado sistema aquífero não poderá ser construído somente com os poços existentes, sendo exigida a perfuração de poços simples ou multiníveis. Estes poços de observação deverão ser perfurados conforme os seguintes preceitos (MOURÃO et al., 2019).

- Estar localizado, preferencialmente, próximo à rede de monitoramento hidrometeorológico. Do mesmo modo que no item anterior, há a preocupação com obtenção de dados complementares para análise e interpretação dos resultados do monitoramento bem como com a gestão integrada das águas.
- Ser construído, preferencialmente, com profundidade de até 50 metros. Considerando os elevados custos de perfuração, a construção de novos poços irá privilegiar as porções livres e áreas de recarga dos aquíferos e, portanto, esse valor deve ser entendido como uma média. Entretanto, dadas as significativas variações hidrogeológicas e a diversidade de pressões sofridas pelos aquíferos no território brasileiro é possível que, eventualmente, seja necessária a perfuração de poços com profundidades muito maiores.
- Ser projetado e construído de acordo com as normas ABNT, especialmente, a NBR 15495/2007 que trata da construção de poços de monitoramento e amostragem (ABNT,2010).



### 4.1.3 Equipamentos para monitoramento e coleta

A realização de amostragem de águas subterrâneas é um procedimento cada vez mais importante atualmente, pois essas águas se contaminadas, podem gerar grandes danos ao meio ambiente e ao ser humano. Existem diferentes métodos para executar esse monitoramento conforme apresentado no tópico de técnicas de amostragem. Entretanto para a área objeto de estudo optou-se por utilizar a técnica de amostragem o método de Kit de Amostragem de Baixa Vazão, que possui elevada demanda no segmento ambiental, e o método de amostragem utilizando o *bailer* sendo um dos mais utilizados devido a sua alta eficiência e baixo custo de mercado.

Ambos os métodos garantem representatividade da amostra colhida, oferecendo detalhes. O método de Kit de Amostragem de Baixa Vazão é também conhecido pelos nomes de método *low flow* ou micro purga. Na Figura 6 apresenta-se todos os equipamentos serão utilizados para analisar e comparar os métodos aplicados nos poços de monitoramento localizados na UFPA.

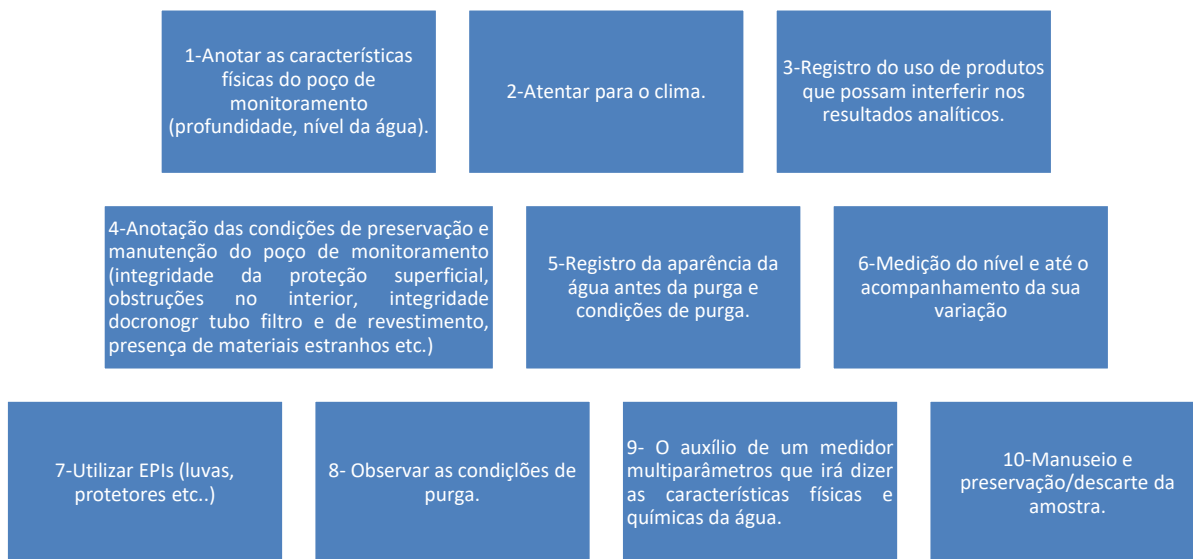
Figura 6- Equipamentos utilizados na pesquisa.



Fonte: Autora, 2024

Na Figura 7 ressalta-se todas as etapas que devem ser levadas em consideração na aplicação de uma amostragem:

Figura 7- Fluxograma de Etapa de coletas.

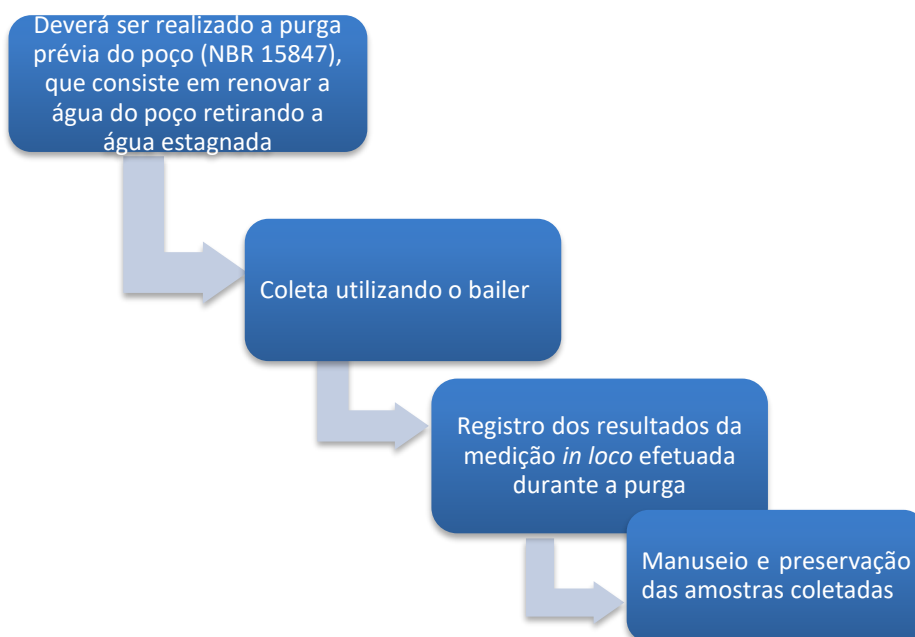


Fonte: Autora, 2024.

#### 4.1.4 Amostragem com bailer

Para realizar a coleta de água subterrânea utilizando o amostrador descartável para água subterrânea ou *bailer*, que é um dispositivo muito utilizado para obtenção de amostras em poços de monitoramento, será observado as seguintes etapas conforme figura a seguir:

Figura 8- Fluxograma de coletas com a utilização do *bailer*.



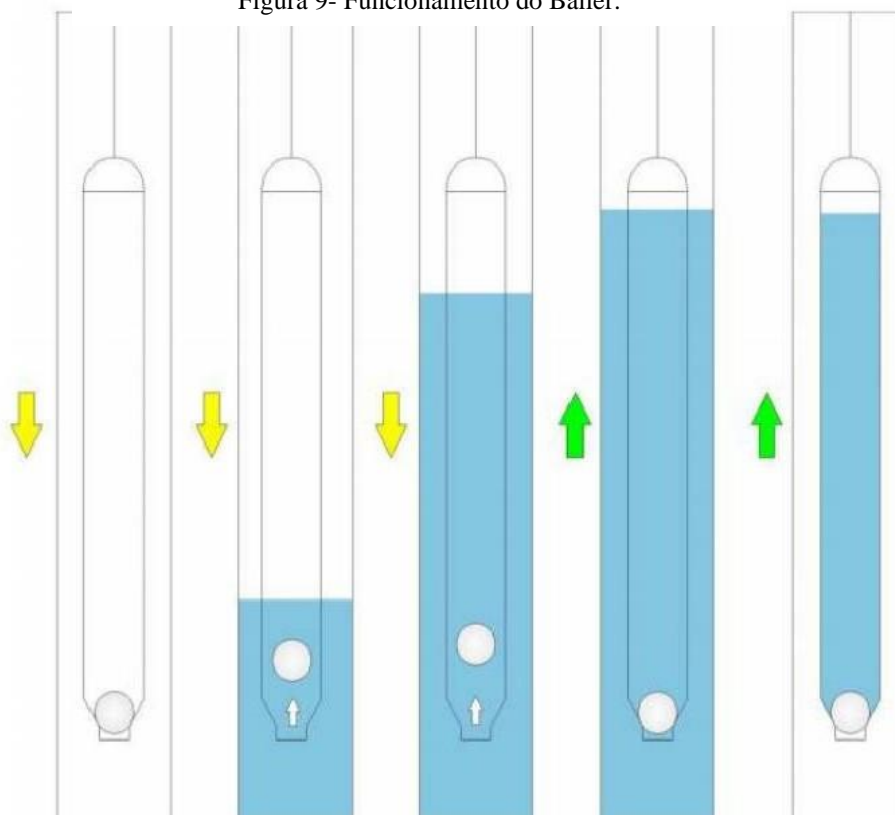
Fonte: Autora, 2024.

Por razões diversas, os amostradores descartáveis foram rotulados de pouco precisos e pouco confiáveis quando comparados a outros métodos como, bombas de bexiga ou peristálticas. Os amostradores descartáveis podem ser fabricados com diversos materiais (polipropileno, polietileno, PTFE e PVC para os descartáveis e aço inoxidável e PTFE para os reutilizáveis) e em diferentes formatos.

Basicamente é um tubo oco com uma válvula em uma extremidade e uma alça na outra. Os críticos do *bailer* não levam em conta que existe uma metodologia que deve ser aplicada e seguida e que, quando utilizados corretamente, são uma ferramenta precisa e confiável para amostragem de água subterrânea (GEOSFERA AMBIENTAL, 2018).

Para coletar uma amostra de água em um poço de monitoramento, um cordão descartável é amarrado à alça na parte superior do amostrador. Este amostrador é então descido lentamente dentro do poço até entrar em contato com a água subterrânea. O peso do amostrador faz com que ele afunde no líquido e, como a pressão externa é maior que a pressão interna, o líquido abre a válvula inferior e preenche o corpo do amostrador. Assim, quando o nível do líquido dentro do amostrador se equilibra com o meio externo a válvula se fecha impedindo que ele saia, na Figura 9 exemplifica-se o funcionamento do *bailer*.

Figura 9- Funcionamento do Bailer.



Fonte: Geosfera Ambiental, 2019.

Figura 10- Bailer para amostragem de água subterrânea.



Fonte: Geosfera Ambiental, 2019.

Neste momento, o amostrador é então retirado lentamente do interior do poço e a amostra do líquido transferida, para os frascos que serão encaminhados ao laboratório. Geralmente os materiais de construção dos amostradores descartáveis são polímeros leves, o que os torna relativamente baratos, de fácil transporte e utilização em campo. O material mais comum utilizado no Brasil para fabricação dos amostradores descartáveis é o polipropileno, principalmente por sua resistência química, facilidade de extrusão e injeção, baixo custo, baixa absorção de umidade e atoxicidade (GEOSFERA AMBIENTAL, 2018).

Entretanto, vale ressaltar a importância de se utilizar um *bailer* para cada PM, sendo importante usar um na purga e outro na coleta para cada poço visto que os mesmos devem ser descartáveis, para que não ocorra uma contaminação cruzada, ou seja, caso um poço tenha algum tipo de impureza, será transmitido para o outro que não tenha pelo contato do equipamento contaminado com a água subterrânea, exceto para o *bailer* de aço inoxidável que aí precisa ser descontaminado após cada uso individual (GEOSFERA AMBIENTAL, 2018).

Antes de tudo é muito importante anotar as características físicas do poço, sua integridade e higiene. Atentar para o clima também é importante, já que climas secos e chuvosos interferem diretamente no reservatório. Caso o *bailer* seja o responsável por fazer a coleta de água em poços de monitoramento, deverá ser realizado a purga do poço, que consiste em retirar o volume de água contido nele para que não haja erros causados pela água estagnada (AGSOLVE, 2022).

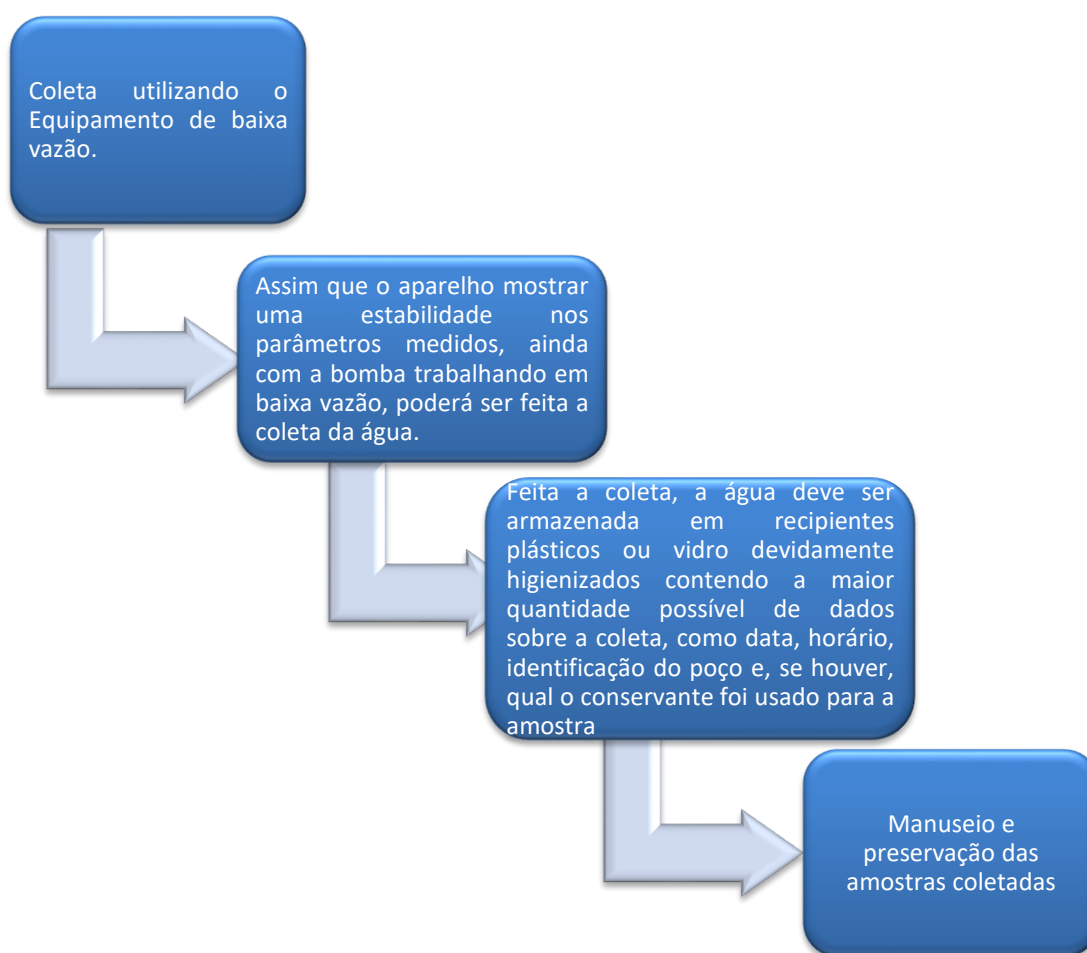
#### 4.1.5 Amostragem pelo método da baixa vazão (low flow)

Ao realizar a coleta, manuseio ou armazenamento de amostras de água subterrânea, perdas incontáveis dos compostos voláteis podem facilmente influenciar o resultado em uma ou mais ordens de grandeza (BEZERRA, 2011).

Em casos extremos, a perda por manuseio e coleta equivocados pode levar o analista a obter um falso negativo, não sendo possível a determinação dos analitos quando na verdade eles estão presentes na amostra. Com respeito à amostragem de água subterrânea, uma notável preocupação chamou a atenção em como obter amostras que sejam representativas do ambiente, como condições de fluxo da água a depender da profundidade. Essa preocupação levou ao desenvolvimento do método de amostragem por baixa-vazão (BEZERRA, 2011).

O fluxograma da Figura 11 indica as etapas de coletas demonstrando o passo a passo com a utilização do método de baixa vazão:

Figura 11- Fluxograma de coleta utilizando o método da baixa vazão (low flow).



Fonte: Autora, 2024.

Caso a coleta seja feita com uma das bombas, basta usar o método de baixa vazão com o auxílio de um medidor multiparâmetro que indicará as características físicas e químicas da água. Portanto, uma amostra coletada após uma purga realizada usando-se um método não é necessariamente equivalente a amostras coletadas após a aplicação de outros métodos de purga. A seleção do método adequado dependerá de vários fatores, que devem ser considerados na defi

nição do plano de amostragem. Assim que o aparelho mostrar uma estabilidade nos parâmetros medidos, ainda com a bomba trabalhando em baixa vazão, poderá ser feita a coleta da água.

Feita a coleta, a água deve ser armazenada em recipientes plásticos ou de vidros (conforme o adequado) devidamente higienizados contendo a maior quantidade possível de dados sobre a coleta, como data, horário, código do poço e, se houver, qual o conservante foi usado para a amostra.

Alguns tipos de análise necessitam que compostos químicos sejam adicionados a fim de preservar algumas características da amostra. Um exemplo a ser citado será um caso de análise de cátions dissolvidos na água, para que os cátions permaneçam dissolvidos, é necessário adicionar ácido nítrico (mais comum) para baixar o pH da água até 2 e conservar especialmente esta característica (GENARO, 2021).

Por fim, qualquer amostra, com preservantes ou não, precisa ser armazenada em refrigeração e ao abrigo da luz para que suas características e dos possíveis poluentes sejam mantidos. Alguns poluentes, por exemplo, podem volatilizar dependendo da temperatura e da agitação da amostra, perdendo-se da amostra e causando erros nas análises (GENARO, 2021).

A amostragem por baixa vazão é uma metodologia que reduz a perturbação tipicamente causada ao aquífero por um bombeamento brusco. O bombeamento lento, com baixa vazão, minimiza o revolvimento do solo e o isolamento da água, já que as amostras devem representar a formação da água e a mobilidade dos contaminantes, e não a água estagnada (WYLIE, 2010).

No sistema de baixa vazão (low flow), a água subterrânea é bombeada diretamente da seção filtrante do poço em baixa vazão, ou seja, de forma lenta, purgando apenas a zona de amostragem, o que minimiza os distúrbios na água do poço e reduz a turbidez da amostra (AGSOLVE, 2022).

O método consiste no bombeamento (purga) em vazão regulada da água subterrânea do poço a ser amostrado. Dessa forma, esta vazão deve ser ligeiramente inferior à capacidade de produção de água do poço, provocando o mínimo de rebaixamento possível e ao mesmo tempo proporcionando a estabilização da profundidade do nível de água (AGSOLVE, 2022).

A purga é feita com o objetivo de assegurar que água representativa da formação foi captada pelo poço no momento da realização da amostragem, de forma a refletir com a menor incerteza possível a química da água subterrânea. Na água extraída é essencial a medição de alguns parâmetros geoquímicos como: pH, condutividade elétrica, temperatura, potencial de oxirredução, turbidez e oxigênio dissolvido. A finalidade dessas análises é indicar o momento da coleta da amostra para a análise química. A estabilização dos parâmetros indicará que a água

que está sendo bombeada é a representativa do aquífero. É necessário manejar a água purgada de acordo com os regulamentos definidos no plano de amostragem e análise em conformidade com a legislação vigente. Pode ser preferível que se selecione um método de purga que minimize o volume purgado (AGSOLVE, 2022).

#### 4.1.6 Realização de Campanhas de Monitoramento da Água Subterrânea

Toda atividade poluidora licenciada precisa passar pelo processo de monitoramento. O monitoramento é definido como condicionante no processo de licenciamento ambiental onde um plano deve ser descrito descrevendo as diversas etapas. O procedimento para a execução dos trabalhos deve seguir a norma da ABNT NBR nº 15.847, de julho de 2010 e para a coleta deve ser utilizado o método de purga mais adequado, de modo que a amostra de água subterrânea seja representativa do meio amostrado (ABNT, 2010).

Os métodos utilizados para purga nesta pesquisa são: o *bailer* (tubo transparente de polietileno) e o sistema de baixa vazão (low flow) como comparativo. As amostras coletadas devem ser acondicionadas em frascos específicos para cada parâmetro, com presença de preservantes caso seja necessário, e devidamente identificadas. Ainda, devem ser mantidas refrigeradas à temperatura de  $4 \pm 2$  °C desde o momento da coleta até a entrega no laboratório (ANA; CETESB, 2011).

Segundo Dias (2008), para o monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, são requeridas, no mínimo, 1 amostragem por ano em aquíferos grandes e estáveis e são mais frequentes 4 amostragens por ano em pequenos aquíferos aluviais.

Os trabalhos de campo devem seguir um protocolo padronizado de amostragem, que é considerado, por diversos órgãos que condicionam de monitoramento de água, como fundamental para o controle da qualidade dos dados obtidos, principalmente quando esta atividade é desenvolvida por várias pessoas ou instituições diferentes, visando uniformidade de procedimentos. Para que sejam minimizados os efeitos da água estagnada e que ocorra estabilização das condições do aquíferos dentro do poço, há uma recomendação geral de retirada de um volume de água correspondente a no mínimo três vezes o volume da água dentro da obra de captação, ou seja, poço tubular ou poços de monitoramento (ANA; CETESB, 2011).

Em poços de monitoramento, a purga pode ser efetuada por meio de bombas ou, manualmente, utilizando-se um *bailer*. Normalmente a purga é feita em um dia e a coleta de amostras de água é feita no dia seguinte, após a recuperação do poço, o uso de *bailer* para purga e amostragem costuma causar aeração do meio podendo aumentar a turbidez da água devido ao aumento da concentração de sedimentos. Quando a amostra turva é acidificada (de

acordo com as técnicas de preservação de amostras para metais totais), os íons metálicos, que inicialmente estavam adsorvidos ou faziam parte dos minerais de argila que compõe a formação, são liberados, causando uma elevação da concentração de metais na amostra, tornando-a não representativa (RIBEIRO, 2014).

Além disto, o procedimento de purga pode levar a perdas de substâncias voláteis. Para evitar estes inconvenientes, Puls; Barcelona (1996) descrevem métodos de coleta com purga mínima, aplicáveis principalmente em poços de monitoramento. A purga mínima requer a remoção do menor volume possível de água, previamente ao início da coleta e as vazões de bombeamento devem ser menores do que 1 L/minuto. Uma vantagem deste método é o baixo volume de água gerado na purga, diminuindo problemas de descarte. Mas uma desvantagem é o tempo para realizar a coleta, podendo levar várias horas até que ocorra estabilização dos parâmetros indicadores.

#### 4.1.7 Planejamento de ensaios de monitoramento

Segundo UNEP/WHO (1996) a *International Organization for Standardization* (ISO) define o monitoramento como “um processo programado de amostragem, medições e armazenamento de dados sobre várias características da água”.

Castagnoli (2012) enfatiza que, a primeira etapa do projeto de monitoramento deve ser a definição apropriada dos objetivos, providenciando respostas às perguntas: “por que e onde monitorar?”, e “que informações se espera do monitoramento da água?”. Na prática, a definição dos objetivos não é uma tarefa fácil e requer a consideração de vários fatores, incluindo os aspectos sociais, legais, econômicos, políticos, administrativos e operacionais. Outras etapas do projeto de rede de monitoramento compreendem a seleção dos pontos de amostragem, da frequência e duração da amostragem e seleção das variáveis a serem medidas.

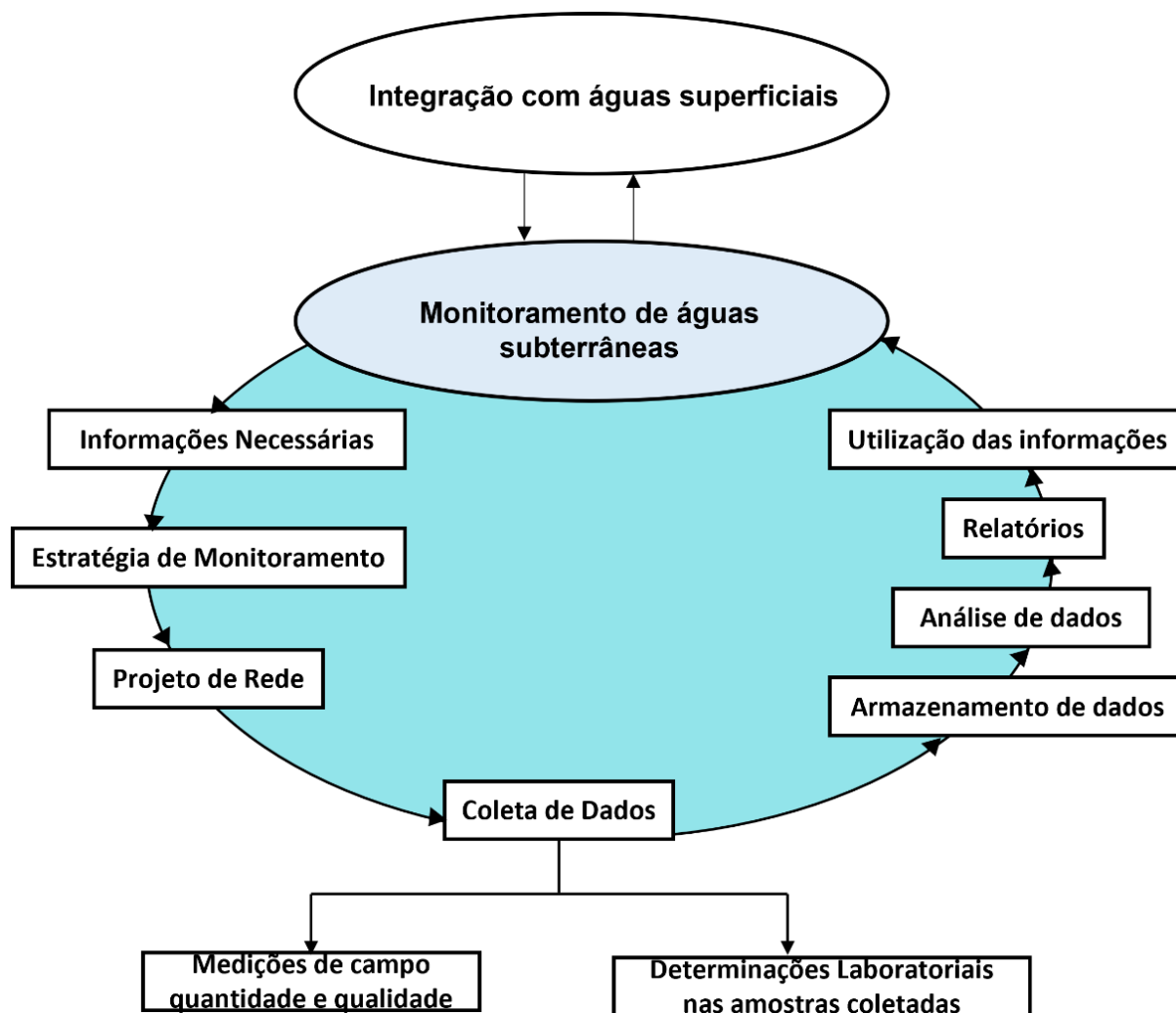
Para (ANA; CETESB, 2011) a operação de uma rede de monitoramento da qualidade compreende todas as atividades de coleta dos dados, incluindo a amostragem, análises laboratoriais, processamento e interpretação dos dados obtidos e produção de informações necessárias para atender aos objetivos da rede de monitoramento.

Uma visão ampla das etapas do monitoramento é fornecida Uil (1999), onde um sistema de monitoramento efetivo das águas subterrâneas deve iniciar-se pela especificação das informações que serão necessárias para a caracterização do corpo hídrico subterrâneo a ser monitorado e para atingir os objetivos do monitoramento e terminar com a utilização das informações obtidas.



Por sua vez, as informações obtidas subsidiarão uma redefinição das informações necessárias e como obtê-las. Além disso, é preciso definir preliminarmente uma estratégia de monitoramento que possibilite definir os responsáveis pelo monitoramento e otimizar os recursos técnicos, legais, financeiros e humanos disponíveis e garantir a obtenção dos produtos esperados. Na Figura 12 abaixo apresenta o ciclo de atividades do monitoramento, segundo (UIL, 1999).

Figura 12- Ciclo de atividades do monitoramento de águas subterrâneas.



Fonte: Autora, 2023 adaptado de Uil et al. (1999).

Segundo Dias (2005), em função dos custos, uma rede de monitoramento deve ser implantada gradualmente, passo a passo, primeiramente com base em um modelo conceitual sobre a delimitação tridimensional do corpo hídrico a ser monitorado, suas características químicas e hidrológicas e sua vulnerabilidade a fontes de poluição e super exploração. Com a avaliação dos dados obtidos, é possível melhorar o modelo conceitual e também o próprio monitoramento. Este processo continua até que os objetivos propostos sejam atingidos com elevado nível de confiança, a um custo possível (ABNT, 2010).

Assim, pode-se afirmar que as etapas gerais do monitoramento são:

- (i) Definição dos objetivos do monitoramento;
- (ii) Projeto de rede (seleção de pontos de monitoramento, parâmetros a serem determinados, frequência de amostragem);
- (iii) Operação do monitoramento (coleta, análise, interpretação, controle de qualidade); e
- (iv) Avaliação dos resultados frente aos objetivos para validação do monitoramento.

#### 4.1.8 Parâmetros físico-químicos

A análise do estado químico da água subterrânea deverá ser baseada em três aspectos (EUROPEAN COMMISSION, 2004):

A concentração de poluentes não deve exibir os efeitos de intrusões salinas determinadas por mudanças na condutividade;

- A concentração de poluentes não deve exceder os padrões de qualidade aplicáveis;
- A concentração de poluentes não pode ser tal que comprometa os objetivos ambientais para as águas associadas, nem promova a redução significativa da qualidade química e ambiental de tais corpos ou ainda produzam qualquer dano aos ecossistemas terrestres que dependem diretamente do corpo de água subterrânea.

Na Tabela 8 abaixo apresenta-se os critérios para seleção de parâmetros de análise com base no Uso da Terra.

Tabela 8- Seleção de Critérios.

PARÂMETROS	USOS DA TERRA				PECUÁRIA
	AGRICULTURA	PASTAGENS	REFLORESTAMENTO	URBANO	
Íons Maiores	✓	✓	✓	✓	✓
Metais Traços				✓	
Inorgânicos Especiais				✓	
Pesticidas Organonitrogenados	✓		✓		✓
Pesticidas Organoclorados	✓				
Herbicidas Ácidos	✓	✓		✓	
Pesticidas Fenóis	✓			✓	
VOCs – Compostos Orgânicos				✓	

Voláteis					
PAHs Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos				✓	
Orgânicos Especiais	✓				✓

Fonte: Autora, 2023 adaptado de EUROPEAN COMMISSION (2004)

A RESOLUÇÃO CONAMA 396/2008 em seu Anexo II apresenta um exemplo de estabelecimento de padrões por classe para parâmetros selecionados de acordo com o art. 12, considerando o uso concomitante para consumo humano, dessedentação, irrigação e recreação (BRASIL, 2008). Na Tabela 9 abaixo apresenta-se os parâmetros recomendados pela RESOLUÇÃO CONAMA 396/2008.

Tabela 9- Parâmetros recomendados pela RESOLUÇÃO CONAMA 396/2008.

Motivação da inclusão	Padrões por classe – concentração (µg.L-1)			
	Parâmetros selecionados passíveis de ser de origem natural	Classes 1 e 2 (VRQ)	Classe 3	Classe 4
Características hidrogeológicas	Arsênio	Se VRQ <10 Classe 1	10	200
		Se VRQ > 10 Classe 2		
	Ferro	Se VRQ <300 Classe 1	300	5000
		Se VRQ > 300 Classe 2		
	Chumbo	Se VRQ <10 Classe 1	10	5000
		Se VRQ > 10 Classe 2		
Cromo	Se VRQ <50 Classe 1	50	1000	
	Se VRQ > 50 Classe 2			
Motivação da inclusão	Parâmetros de Origem antrópica	Classes 1 e 2 (VRQ)	Classe 3	Classe 4
Uso intensivo na região	Aldicarb	AUSENTE	10	54,9
	Carbofuran	AUSENTE	7	45
	Pentaclorofenol	AUSENTE	9	10
Possível influência de Posto de gasolina	Benzeno	AUSENTE	5	10
	Etilbenzeno	AUSENTE	200	200
	Tolueno	AUSENTE	24	24
	Xileno	AUSENTE	300	300
Parâmetros mínimos obrigatórios	Sólidos Totais Dissolvidos	Se VRQ <1.000.000 Classe 1	1.000.000	1.000.000
		Se VRQ >1.000.000		

		Classe 2		
	Coliformes termotolerantes	Ausentes em 100 ml	Ausentes em 100 ml	4000 em 100ml
	Nitrato (expresso em N)	Se VRQ<10.000 Classe 1	10.000	90.000

Fonte: Adaptado de RESOLUÇÃO CONAMA 396/2008.

Legenda:

VRQ - valor de referência de qualidade, definido pelos órgãos competentes.

Os referidos valores representam a concentração de determinada substância no compartimento investigado acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado. A medida que as legislações usadas para comparação sejam atualizadas as novas interpretações contemplarão os novos valores.

O monitoramento contínuo dos parâmetros indicativos da qualidade da água são fundamentais para a determinação do momento em que a purga pode ser encerrada. Uma vez que o nível de rebaixamento da coluna d'água se estabilize para uma vazão de purga e os parâmetros indicativos da qualidade da água se estabilizem, presume-se que a água bombeada é proveniente da formação. Neste momento, as amostras devem ser coletadas. Os parâmetros indicativos da qualidade da água que devem ser monitorados durante a purga são: temperatura, pH, condutividade elétrica, potencial de oxirredução e oxigênio dissolvido, os limites aceitáveis estão descritos na norma supracitada (ABNT, 2010).

Pesquisas científicas e a experiência prática demonstraram que a condutividade elétrica e o oxigênio dissolvido são os parâmetros mais confiáveis para a determinação da estabilização, sendo este último o mais conservador de todos, por ser o mais sensível a interferências. Para efetuar a medição dos parâmetros em campo, é necessária a utilização de uma célula de fluxo conectada em série com o sistema de coleta por bombeamento, permitindo que a água bombeada não entre em contato com o ambiente externo previamente à realização das leituras (ABNT, 2010).

Todos os instrumentos analíticos de campo, devidamente calibrados, devem permanecer na sombra durante os trabalhos de campo, a fim de evitar alterações indesejadas em função da incidência direta do sol na instrumentação. É importante que se conheçam as recomendações do fabricante dos equipamentos de medição quanto aos procedimentos de calibração e do tempo necessário para que os equipamentos se aclimatizem no ambiente de amostragem, de maneira a garantir a representatividade dos dados coletados (ABNT, 2010).

Com o desenvolvimento dessa proposta de Manual técnico, contribui-se para a qualificação técnica e a harmonização dos procedimentos de coleta e preservação de amostras

de águas subterrâneas entre os profissionais que operam no monitoramento da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos no Estado do Pará, facilitando a comparação e análise conjunta dos dados de monitoramento e o aprimoramento dos diagnósticos de qualidade das águas como subsídio à gestão integrada de recursos hídricos.

## 4.2 Precificação de custo

O monitoramento de água subterrânea a nível nacional é um processo de grande demanda técnica e organizacional e também bastante dispendioso em termos operacionais e de instrumentação. Os benefícios advindos dos custos do monitoramento devem ser dimensionados a partir do valor e da qualidade da informação obtida. Os custos do monitoramento quali-quantitativo envolvem, em termos gerais:

- Capacitação de técnicos para realização de medidas e coleta de amostras;
- Coleta dos dados;
- Os custos de aquisição e manutenção dos equipamentos;
- Análise físico-química.

Os custos irão depender dos parâmetros a serem analisados e a frequência de coleta. As determinações diárias (condutividade elétrica e temperatura) irão exigir a aquisição de sensores automáticos;

- Criação e manutenção de um sistema de armazenamento e disponibilização dos dados;
- Equipe especializada para acompanhamento da estruturação e operação da rede; consistência e tratamento dos dados resultantes do monitoramento;
- Mobilização/logística;
- Alimentação do banco de dados.

### 4.2.1 Coleta com *bailer*

A amostragem de águas subterrâneas é realizada em diversos setores, sobretudo no setor industrial que vem se apropriando de novas técnicas e alternativas sustentáveis para remediar ou prevenir eventuais danos ambientais. O amostrador descartável para água subterrânea *bailer* é fabricado em polietileno, atendendo os mais rigorosos padrões de qualidade, com 100% de matéria prima pura, garantindo um processo limpo e um produto incomparável (SAUBER SYSTEM, 2023).

O *bailer* é uma ótima solução para coletar amostras de água e contaminantes líquidos em poços de monitoramento. Existem vários tipos de amostradores de água subterrânea, sendo que cada um deles possui características específicas, tornando-os mais adequados para determinados fins (SAUBER SYSTEM, 2023).

#### Características:

- Fluxo orbital da válvula que reduz o tempo de enchimento;
- Sede da válvula de esfera permite fechamento perfeito, sem vazamento;
- Cantos arredondados para minimizar atritos;
- Fabricados sob condições rígidas de limpeza e higiene;
- Utilizando apenas resinas virgens;
- *Bailer* fabricado de polietileno de alta qualidade, translúcido, sem aditivos;
- Embalagem individual estanque que garante a preservação das condições de limpolietileno do produto até sua utilização.

#### **-Bicos de transferência direta para os frascos de amostragem, com perdas mínimas, dos líquidos amostrados:**

- Bico normal para frascos de boca larga;
- Bico fino para frascos tipo Vial.

#### 4.2.2 Amostragem por baixa vazão

Existem diferentes métodos para executar esse monitoramento, sendo um dos mais utilizados o método de Kit de Amostragem de Baixa Vazão, que possui elevada demanda no segmento ambiental. Isso porque este é um método que garante excelente representatividade da amostra colhida, oferecendo detalhes com segurança e precisão. O método de Kit de Amostragem de Baixa Vazão é também conhecido pelos nomes de método *low flow* ou micropurga (SAUBER SYSTEM, 2023).

O kit de amostragem baixa vazão pode conter os itens abaixo:

- Compressor;
- Controlador de Ar;
- Bomba de bexiga;
- Célula de fluxo;
- Medidor multiparâmetros;
- Mangueiras descartáveis, EPIs, filtros para metais, frascos, dentre outros;
- Medidor de nível de água.

### 4.3 Medidor Multiparâmetros

Para esta etapa pode ser utilizada uma sonda multiparâmetros medidor portátil profissional a Prova d'Água. O visor com luz de fundo fornece resolução fácil de ler mesmo em áreas com pouca iluminação e uma combinação de teclas dedicadas e de função permite uma operação fácil. A poderosa capacidade de registro e a sonda digital tornam este medidor multiparâmetro de qualidade de água uma ótima ferramenta.

Figura 13- Exemplo de sonda multiparâmetros que pode ser utilizada (modelo HI98194.)



Fonte: Hanna instruments, 2023.

### 4.4 Medição de nível e aparência

A medição do nível e aparência da água é uma tarefa importante em várias aplicações, como monitoramento de qualidade da água, controle de nível em reservatórios, detecção de vazamentos, entre outros. Existem diferentes métodos para medir o nível da água, como sensores de pressão, sensores ultrassônicos, boias flutuantes, entre outros. A escolha do método depende das necessidades específicas da aplicação (SAUBER SYSTEM, 2023).

Em relação à aparência da água, ela pode ser avaliada visualmente ou através de técnicas de análise de imagem. A análise visual pode envolver a observação de características como cor, turbidez, presença de sedimentos ou partículas estranhas. Já a análise de imagem pode ser feita utilizando algoritmos de processamento de imagem para detectar e quantificar essas características (SPERLING, 1995).

Com foco em medir o nível de água em poços, aquíferos livres ou mesmo em tanques, o Medidor de Nível de Água possui uma série de elementos, como apresenta-se a seguir, que

formam um sistema eficaz, resistente e seguro, oferecendo simplicidade, qualidade e praticidade para o usuário (SAUBER SYSTEM, 2023).

O equipamento é formado por uma combinação de características que variam de acordo com o modelo do medidor de nível de água, porém, no geral, ele é formado por um carretel confeccionado com abas em alumínio, com tubo em PVC e cavalete em aço inox que o sustenta, o cabo pode variar de 30 até 500 metros, a sonda tem dois sensores para contatos precisos, com peso articulado de aço inox rosqueado na parte inferior do sensor, para auxiliar na descida.

Junto com estes elementos, o Medidor de Nível de Água apresenta componentes de apoio, como um painel de controle, módulos eletrônicos que indicam profundidade, e alcance da água e um freio, que permite uma operação segura e confortável (SAUBER SYSTEM, 2023).

Basicamente pode ser dividido em 4 partes principais:

- Cabo e sonda articulada;
- Carretel;
- Painel com circuito eletrônico;
- Suporte metálico.

#### **4.5 Vantagens de Uso do Medidor de Nível de Água**

O Medidor de Nível de Água e suas vantagens são caracterizadas com base na precisão de resultados, durabilidade do material, uso contínuo sem incoerências, melhor custo-benefício do mercado e acessibilidade em locais disformes por conta da sua sonda articulada. Assim, o consumidor garante seu trabalho e atesta a qualidade do material adquirido, efetivando seus serviços e assegurando seus resultados (SAUBER SYSTEM, 2023).

A medição do nível de água, deve ser feita com medidor de nível d'água eletrônico. Para a amostragem desta pesquisa utilizou-se o medidor de nível de água conforme figura abaixo:



Figura 14- Medidor de nível de água.



Fonte: Autora, 2023

Início da purga:

Durante a purga monitorar os seguintes parâmetros:

- Rebaixamento máximo:
- Poço não afogado = estabilização do rebaixamento deve ocorrer no máximo a 25 cm do nível estático.
- Poço afogado = Preferencialmente o nível d'água deve se estabilizar acima do topo do tubo filtro. Caso isso não seja possível, a estabilização deve ocorrer no máximo a 25 cm abaixo do topo do tubo filtro.
- Medição dos parâmetros físico-químicos em campo: pH, Condutividade Elétrica, Oxigênio Dissolvido, Potencial de Oxirredução e, se possível, Turbidez. Anotar os valores obtidos na Ficha de Campo específica (apêndice).
- Descartar a água de purga em local apropriado, isto é, a água de purga passa a ser considerada um efluente.

#### 4.6 Preservação de amostras

Independente da natureza da amostra, a estabilidade completa para cada constituinte nunca pode ser obtida. As técnicas de preservação, a seleção adequada dos frascos e a forma de armazenamento, têm por objetivo retardar a ação biológica e a alteração dos compostos químicos; reduzir a volatilidade ou precipitação dos constituintes e os efeitos de adsorção; e/ou preservar organismos, evitando ou minimizando alterações morfológicas, fisiológicas e de densidades populacionais, em todas as etapas da amostragem de coleta, acondicionamento, transporte, armazenamento, até o momento do ensaio (ANA; CETESB, 2011).

As alterações químicas que podem ocorrer na estrutura dos constituintes acontecem, principalmente, em função das condições físico-químicas da amostra. Assim, metais podem precipitar-se como hidróxidos, ou formar complexos com outros constituintes; os cátions e ânions pode mudar o estado de oxidação; íons podem ser adsorvidos na superfície interna do frasco de coleta; e outros constituintes podem dissolver-se ou volatilizar-se com o tempo. As técnicas de preservação de amostras mais empregadas são: adição química, congelamento e refrigeração (ANA; CETESB, 2011):

- Adição química

O método de preservação mais conveniente é o químico, através do qual o reagente é adicionado prévia (ensaios microbiológicos) ou imediatamente após a tomada da amostra, promovendo a estabilização dos constituintes de interesse por um período maior. Contudo, para cada ensaio existe uma recomendação específica. Geralmente é realizada com o auxílio de um frasco dosador, frasco conta-gota, pipeta, proveta, entre outros.

- Congelamento

É uma técnica aceitável para alguns ensaios e serve para aumentar o intervalo entre a coleta e o ensaio da amostra *in natura*, sem comprometer esta última. É inadequada para as amostras cujas frações sólidas (filtráveis e não filtráveis) alteram-se com o congelamento e posterior retorno à temperatura ambiente, e para a maioria das determinações biológicas e microbiológicas.

- Refrigeração

Constitui uma técnica comum em trabalhos de campo e pode ser utilizada para preservação de amostras mesmo após a adição química, sendo empregada frequentemente na preservação de amostras para Preenchimento dos frascos ensaios microbiológicos, físico-químicos orgânicos e inorgânicos, biológicos e toxicológicos.

Para o preenchimento dos frascos deverá ser obedecida a seguinte ordem:

- Vial;
- Âmbares;
- Frascos plásticos;
- Os frascos não devem conter espaços vazios (bolhas);
- Filtrar apenas as amostras de metais dissolvidos.
- Não filtrar as amostras de metais totais.

A Tabela 10 abaixo ressalta a comparação entre recipientes de vidro (borossilicato) e polietileno, polipropileno ou outro polímero inerte:

Tabela 10- Comparações entre recipientes.

Condições Operacionais	Material	
	Vidro (Borossilicato)	Plástico (polímero inerte)
Interferência com a amostra	Indicado para todas as análises de compostos orgânicos. Inerte a maioria dos constituintes, exceto a forte alcalinidade. Adsorve metais em suas paredes.	Indicado para a maioria dos compostos inorgânicos, biológicos e microbiológicos. Pode contaminar amostras com ftalatos.
Peso	Pesado	Leve
Resistência à Quebra	Muito Frágil	Durável
Limpeza	Fácil	Alguma dificuldade na remoção de componentes adsorvíveis.
Esterilizável	Sim	Apenas por técnicas de uso pouco comum no Brasil, como óxido de etileno e radiação gama. Alguns tipos são autoclaváveis

Fonte: Autora, 2023 adaptado de Ana; Cetesb (2011).

#### 4.6 Sistema de controle de qualidade

Os procedimentos de controle de qualidade seguirão as orientações descritas no “Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras” ANA/CETESB (2011), e suas atualizações. Para garantir a qualidade da amostragem, todas as amostras serão acondicionadas em frascos específicos, fornecidos pelo laboratório, para análise de cada parâmetro de interesse. Imediatamente após a coleta, as amostras serão armazenadas em caixa térmica com gelo reutilizável, no intuito de preservar as amostras na temperatura de  $4 \pm 2$  °C.

Como forma de assegurar a rastreabilidade de todo processo analítico, juntamente com as amostras serão encaminhadas as Cadeias de Custódia, contendo a identificação das amostras, matriz, data e hora das coletas. As amostras serão avaliadas, respeitando-se o *holding time* de cada parâmetro a ser analisado. Serão realizados controles para avaliar a presença de contaminação em partes específicas dos procedimentos de coleta, denominados brancos. Os brancos são usados para determinar a existência de problemas de contaminação e medir a representatividade de um processo analítico. Essa contaminação pode vir da etapa de amostragem / coleta, transporte e manuseio da amostra, bem como, na execução do ensaio, a partir dos utensílios, equipamentos e até mesmo reagentes que possam estar contaminados.

Serão realizados os seguintes controles:

- ✓ Branco de Equipamento (usados para determinar a existência de problemas de contaminação e medir a representatividade de um processo analítico);
- ✓ Branco de Campo (fornecem uma segurança adicional, pois auxiliam na interpretação dos resultados e na tomada de decisões, pois caso ocorra contaminação no branco, possivelmente

também ocorreu contaminação nas amostras. Caso a contaminação esteja presente sugere-se a invalidação da amostragem e repetição do processo de coleta das amostras);

✓ Branco de Viagem (semelhante ao branco de campo, porém, não contempla a etapa de amostragem).

Com relação ao prazo de vencimento das amostras (*holding time*), estes deverão ser rigorosamente obedecidos.

#### **4.7 Padrões de referência ambiental – Água Subterrânea**

A água subterrânea apresenta-se, em geral, em condições adequadas para o uso in natura, necessitando apenas de simples desinfecção, tendo como uso prioritário o abastecimento humano. Logo, é de fundamental importância a proteção e o controle da qualidade da água subterrânea, e, para tanto, os órgãos ambientais utilizam os seguintes instrumentos (CETESB, 2011):

- a) Licenciamento ambiental e fiscalização de fontes potenciais de poluição;
- b) Monitoramento da qualidade para subsidiar as ações de proteção e controle;
- c) Estabelecimento de padrões de qualidade ambiental;
- d) Mapeamento da vulnerabilidade ao risco de poluição;
- e) Zoneamento ambiental por meio da delimitação de áreas de proteção de zonas de recarga de aquíferos, áreas de restrição e controle do uso da água e de perímetros de proteção de poços;
- f) Elaboração de sistemas integrados de informação;
- g) Planos de recursos hídricos;
- h) Classificação e enquadramento das águas subterrâneas;
- i) Projetos de caracterização dos aquíferos;
- j) Controle da contaminação de solo e águas subterrâneas.

Para interpretação dos resultados analíticos das amostras de água subterrânea serão adotados os seguintes padrões de referência ambiental, a saber:

1. Valores Máximos Permitidos (VMP), constantes na “Lista de parâmetros com maior probabilidade de ocorrência em águas subterrâneas”, do Anexo I da Resolução N° 396 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, de 03 de abril de 2008, e atualizações (BRASIL, 2008).
2. Valores de Investigação (VI), constantes na “Lista de Valores Orientadores para Solos e para Águas Subterrâneas”, no Anexo II da Resolução N° 420 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, de 28 de dezembro de 2009, e atualizações (BRASIL, 2009).

Os referidos valores representam a concentração de determinada substância no compartimento investigado acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado. À medida que as legislações usadas para comparação sejam atualizadas as novas interpretações contemplarão os novos valores.

#### 4.7.1 Custos

A planilha a seguir apresenta todos os custos iniciais que devem ser considerados em um monitoramento de água subterrânea utilizando o método de baixa vazão e *bailer*:

Tabela 11- Planilha orçamentária sugerida.

<b>Composição de Preços Global ou Unitária</b>					
<b>A - Mão de Obra</b>					
Item	Descrição	Unidade	Preço por Unidade	Fator de Utilização	Custo
<b>A - Custo Total de Mão de Obra:</b>					
<b>B – Equipamentos</b>					
Item	Descrição	Unidade	Preço por Unidade	Fator de Utilização	Custo
<b>B - Custo Total de Equipamentos:</b>					
<b>C – Materiais</b>					
Item	Descrição	Unidade	Preço por Unidade	Fator de Utilização	Custo
	EPIS				
	OUTROS MATERIAS				
<b>C - Custo Total de Materiais:</b>					

Fonte: Autora, 2023

## 5 RESULTADOS

Nesta seção são expostos os resultados obtidos a partir de dados de coletados, tais como, dados da área de estudos, poços de monitoramento, definição dos equipamentos que foram utilizados na coleta e metodologia comparativa de todas as etapas necessárias para execução do monitoramento, definindo escopo mínimo de um plano de amostragem, critérios de inspeção inicial na área associado a estrutura usada para monitoramento, verificação em campo de condições prévias a amostragem, definição de parâmetros a serem monitorados e critérios de preservação e validade das amostras.

### 5.1 Atividades realizadas em escritório

Em consonância com o Guia Nacional de Coleta e preservação de amostras desenvolvido pela ANA; CETESB (2011) e as diretrizes estabelecidas na NBR 15847 - Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento - Métodos de purga, inicialmente e necessário organizar o relatório de purga e amostragem de um poço de monitoramento, que deve conter no mínimo o seguinte (ABNT, 2010):

- a) Levantamento dos dados relativos ao perfil construtivo dos poços de monitoramento (profundidade, comprimento e posicionamento do tubo filtro diâmetro da perfuração e do tubo filtro e de revestimento, material do tubo filtro e tubo de revestimento);
- b) Identificação do local (nome e endereço);
- c) Identificação do poço de monitoramento;
- d) Nome dos membros da equipe de amostragem;
- e) Registro dos dados das condições climáticas;
- f) Registro do uso de produtos que possam interferir nos resultados analíticos (protetor solar e repelente, por exemplo);
- g) Dados de calibração de equipamentos utilizados em campo (identificação do instrumento e data da última calibração).

#### 5.1.1 Cronograma de monitoramento

Na etapa de planejamento do monitoramento foi elaborado o cronograma a seguir, que pode ser considerado como cronograma sugestivo para um programa de monitoramento, em uma amostragem de 06 meses, ou conforme a perspectiva de trabalho.

Tabela 12- Cronograma de Trabalho.

Etapas	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Planejamento da pesquisa bibliográfica	■					
Elaboração da metodologia		■				
Tabulação dos dados de monitoramento dos poços no escritório			■			
Análise dos dados coletados dos poços				■		
Coleta de amostras de água subterrânea					■	
Análise da coleta					■	
Interpretação dos dados					■	
Geração de resultados						■

Fonte: Autora, 2024.

## 5.2 Atividades de campo

Estabelecido o planejamento de amostragem, que inclui a definição dos objetivos, dos locais e frequência de amostragem, dos parâmetros selecionados, dos métodos analíticos e de amostragem adequados e o cronograma de atividades, passa-se para as etapas de organização e execução dos trabalhos de campo. O planejamento correto das atividades de campo é de importância fundamental para o sucesso dos trabalhos e deve envolver os seguintes aspectos (ANA; CETESB, 2011):

- Seleção de itinerários racionais, observando-se os acessos, o tempo para coleta e preservação das amostras e o prazo para seu envio aos laboratórios, obedecendo-se o prazo de validade para o ensaio de cada parâmetro, a capacidade analítica e o horário de atendimento e funcionamento dos laboratórios envolvidos. Muitos programas de amostragem necessitam de vários dias para serem desenvolvidos, o que exige remeter amostras coletadas diariamente aos laboratórios por despachos rodoviários ou aéreos. Nesses casos, devem-se planejar coletas calculando-se a localização e os horários das empresas transportadoras;
- Certificação de que a programação de coleta foi enviada aos laboratórios envolvidos e de que os mesmos tenham condições de atender ao programa;
- Verificação da existência de eventuais características locais nos pontos de coleta que exigem equipamentos ou cuidados especiais, o que permitirá a sua adequada seleção e preparo. Isto vale especialmente para coletas em locais de difícil acesso, ou com alto risco de acidentes (rios caudalosos, mar, pontes de tráfego intenso, amostragem em indústrias etc.);
- Preparação de tabelas contendo os equipamentos e materiais necessários aos trabalhos (fichas de coleta, frascos para as amostras, preservantes químicos, caixas térmicas,

equipamentos de coleta e de medição, cordas, equipamento de segurança etc.). É conveniente levar frascos reserva para o caso de amostragem adicional, perda ou quebra de frascos;

- Verificação da disponibilidade e funcionamento adequado dos equipamentos utilizados para amostragem e de apoio.

Convém assegurar-se de que os técnicos envolvidos nas atividades de coleta estejam devidamente treinados e capacitados para utilizar as técnicas específicas de coleta, preservação de amostras e as medidas de segurança, manusear os equipamentos de campo e de medição, e localizar precisamente os pontos de coleta.

É fundamental que se observe e seja notável de quaisquer fatos ou anormalidades que possam interferir nas características das amostras (cor, odor ou aspecto estranho, presença de algas, óleos, corantes), nas determinações laboratoriais e na interpretação dos dados. Devem ainda ter condições para estabelecer, se necessário, pontos de amostragem alternativos e outros parâmetros complementares para uma melhor caracterização do ambiente em estudo. Um técnico bem treinado, consciente e observador é de importância fundamental para a consecução dos objetivos dos programas de avaliação dos ecossistemas aquáticos (ANA; CETESB, 2011).

Após organizar as atividades de escritório, inicia-se a realização da atividade de campo. É necessário utilizar todos os EPIs previstos para a atividade como luvas, capacetes, coletes etc... em seguida realizar anotação das condições de preservação e manutenção do poço de monitoramento, integridade da proteção superficial, obstruções no interior, integridade do tubo filtro e de revestimento, presença de materiais estranhos (ANA; CETESB, 2011):

- a) Anotação das observações efetuadas em campo (odores, medidas de vapores orgânicos);
- b) Registro da aparência da água antes e após a purga (aspecto, turbidez), cor, odor;
- c) Registro da data e o tempo de início e finalização da purga;
- d) Descrição dos procedimentos de descontaminação de equipamentos não descartáveis
- e) Medição e anotação do nível da água estabilizado antes da purga, utilizando ponto de referência demarcado de elevação conhecida (descrever o ponto de referência), e a data em que esta medição foi efetuada;
- f) Registro da presença ou não de fase livre e sua espessura;
- g) Medição e registro da profundidade do poço de monitoramento e comparar com os dados construtivos (dependendo do método de purga, efetuar esta medição após a sua finalização);
- h) Citação do método e dos equipamentos utilizados para purga;



- i) Registro da variação do nível d'água durante a purga (anotar o nível da água em relação ao tempo de execução);
- j) Vazão de purga na estabilização (se aplicável);
- k) Volume de água purgada (se aplicável);
- l) Registro dos resultados da medição efetuada durante a purga (nível da água, parâmetros indicadores, monitoramento de compostos orgânicos voláteis (VOC));
- m) Registro das medições dos parâmetros indicadores na estabilização e tempo necessário para atingir a estabilização;
- n) Descrição do manuseio e destinação da água purgada (se aplicável);
- o) Métodos de coleta, manuseio e preservação das amostras coletadas.

### 5.3 Seleção do poço de monitoramento

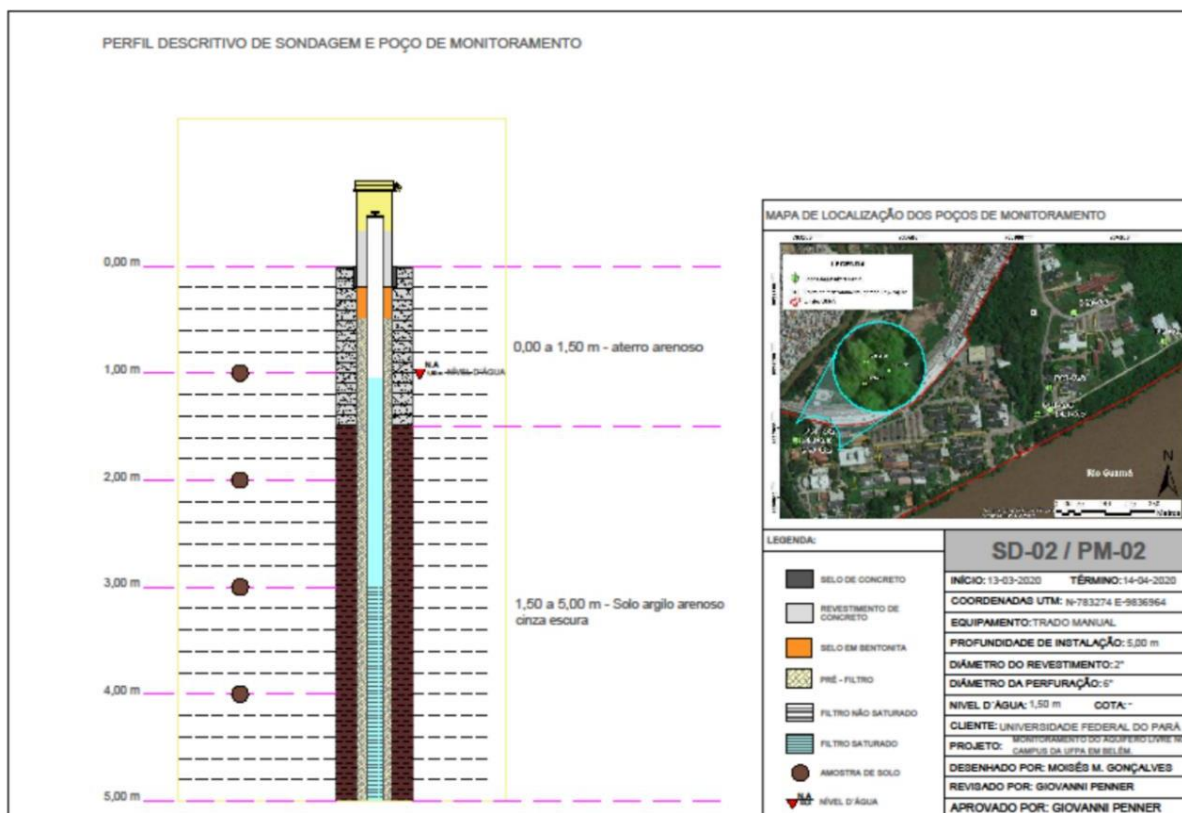
A locação do ponto de amostragem selecionado na data de 26 de setembro de 2023 as 11:29 da manhã neste programa de monitoramento, foi definido com base no modelo hidrogeológico local, a conformação topográfica local e o conhecimento prévio da área. O monitoramento da água subterrânea na área objeto de estudos será realizado através do poço de monitoramento já existente. O poço PM-02 foi escolhido por estar em condições de utilização. Na Tabela 13 estão descritas as informações do PM selecionado na área do presente estudo:

Tabela 13- Tabela sugestiva para inserção de dados de monitoramento de poços.

POÇO PM 02	Coordenadas Geográficas		Profundidade e do poço	Diâmetro de revestimento	Localização	Justificativa
	Latitude	Longitude				
	1°28'25''	48° 27'16''	5 metros	2''	UFPA	Poço em boas condições

Fonte: Autora, 2023

Figura 15- Perfil descritivo de sondagem e poço de monitoramento 02 (PM-02).



Fonte: Costa e Lopes (2021)

Figura 16- Poço de Monitoramento 02 (PM-02).



#### 5.4 Coleta e preservação de amostras

A coleta de amostras é, provavelmente, o passo mais importante para a avaliação da área de estudo; portanto, é essencial que a amostragem seja realizada com precaução e técnica, para evitar todas as fontes possíveis formas de contaminação e perdas e representar o corpo d'água amostrado.

A técnica a ser adotada para a coleta de amostras depende da matriz a ser amostrada, do tipo de amostragem (amostra simples, composta ou integrada) e, também, dos ensaios a serem solicitados (ensaios físico-químicos, microbiológicos, biológicos e toxicológicos) e devem ser tomados os seguintes cuidados (ANA; CETESB, 2011):

- Verificar a limpeza dos frascos e dos demais materiais e equipamentos que serão utilizados para coleta (baldes, garrafas, pipetas etc.);
- Empregar somente os frascos e as preservações recomendadas para cada tipo de determinação, verificando se os frascos e reagentes para preservação estão adequados e dentro do prazo de validade para uso. Em caso de dúvida, substituí-los;
- Certificar-se que a parte interna dos frascos, assim como as tampas e batoques, não sejam tocadas com a mão ou fiquem expostas ao pó, fumaça e outras impurezas (gasolina, óleo e fumaça de exaustão de veículos podem ser grandes fontes de contaminação de amostras);
- Cinzas e fumaça de cigarro podem contaminar as amostras com metais pesados e fosfatos, entre outras substâncias. É importante, portanto, que os técnicos responsáveis pela coleta de amostras não fumem durante a coleta e utilizem uniformes e EPIs adequados para cada tipo de amostragem (avental, luva cirúrgica ou de borracha de látex, óculos de proteção, entre outros), sempre observando e obedecendo às orientações de cada local ou ambiente onde será realizada a amostragem;
- Fazer a ambientação dos equipamentos de coleta com água do próprio local, se necessário;
- Garantir que as amostras líquidas não contenham partículas grandes, detritos, folhas ou outro tipo de material acidental durante a coleta;
- Coletar um volume suficiente de amostra para eventual necessidade de se repetir algum ensaio no laboratório;
- Fazer todas as determinações de campo em alíquotas de amostra separadas das que serão enviadas ao laboratório, evitando-se assim o risco de contaminação;
- Colocar as amostras ao abrigo da luz solar, imediatamente após a coleta e preservação;
- Manter registro de todas as informações de campo, preenchendo uma ficha de coleta por amostra, ou conjunto de amostras da mesma característica, contendo os seguintes dados:
  - a) Nome do programa de amostragem e do coordenador, com telefone para contato;
  - b) Nome dos técnicos responsáveis pela coleta;
  - c) Número de identificação da amostra;
  - d) Identificação do ponto de amostragem: código do ponto, endereço, georreferenciamento, etc.

- e) Data e hora da coleta: Natureza da amostra (água tratada, nascente, poço freático, poço profundo, represa, rio, lago, efluente industrial, água salobra, água salina etc.);
- f) Tipo de amostra (simples, composta ou integrada);
- g) Medidas de campo e eventuais observações (temperatura do ar e da água, pH, condutividade, oxigênio dissolvido, transparência, coloração visual, vazão, leitura de régua, etc.);
- h) Condições meteorológicas nas últimas 24 horas que possam interferir com a qualidade da água (chuvas);
- i) Indicação dos parâmetros a serem analisados nos laboratórios envolvidos;
- j) Equipamento utilizado (nome, tamanho, malha, capacidade, volume filtrado, e outras informações relevantes).

A amostragem de água subterrânea foi realizada por equipe capacitada e seguiu os procedimentos descritos na norma NBR 15847 - Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento - Métodos de purga. (ABNT, 2010), e as orientações descritas no “Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras” (ANA; CETESB, 2011).

A seleção do método de purga e amostragem considerou uma avaliação das condições hidráulicas dos poços, o perfil construtivo e as características dos parâmetros ambientais a serem analisados. O método de amostragem empregado consistiu sua descrição nas fichas de campo e na cadeia de custódia e documentado por fotografias ao longo dos trabalhos de campo.

## 5.5 Cadeia de custódia

A cadeia de custódia na análise de água refere-se ao processo de documentação e rastreamento do manuseio e transporte de amostras de água desde o momento em que são coletadas até o laboratório onde serão analisadas. Esse processo é essencial para garantir a integridade e confiabilidade dos resultados das análises (ANALYTICS BRASIL, 2019).

A Cadeia de custódia é o documento utilizado para garantir a identidade e integridade de uma amostra, desde a amostragem até a emissão do relatório de ensaio. Neste documento são registradas informações como razão social, endereço, identificação do ponto de amostragem, local da amostragem, data de coleta, quantidade frascos, data de amostragem, origem, tipo de coleta, horário da amostragem, ensaios solicitados, etc. (ANALYTICS BRASIL, 2019).

A cadeia de custódia envolve a identificação única de cada amostra, o registro de informações detalhadas sobre a coleta, armazenamento e transporte das amostras, bem como a

assinatura de responsáveis em cada etapa do processo. Isso garante a rastreabilidade e a responsabilidade caso haja alguma discrepância ou questionamento sobre os resultados, através dela é obtida as seguintes informações (ANA; CETESB, 2011):

- Identificação das amostras;
- Data e hora da coleta;
- Análises requeridas;
- Legislação (realização de um comparativo dos resultados com alguma legislação específica);
- Dados para faturamento;
- Identificação do cliente;
- Identificação do projeto.

Esse documento deve ser preenchido sempre que o interessado enviar uma amostra ao laboratório para análise e liberação dos resultados, de forma correta e legível. Além de agilizar as etapas que compõem a análise ambiental no laboratório, este documento é fundamental para garantir a rastreabilidade do processo. A partir da cadeia de custódia pode-se avaliar também a garantia da qualidade de uma análise, como por exemplo: De forma resumida a cadeia de custódia registra o caminho da amostra desde a coleta, até o momento da análise, indicando os responsáveis neste trâmite. Na Tabela 14 sugere-se um modelo de Cadeia de Custódia passível de ser utilizado construída com base na cadeia de custódia da Eurofins Anatech (2023):



Tabela 14- Modelo sugestivo de cadeia de custódia.

Sempre verificar a validade online.		<b>CADEIA DE CUSTÓDIA (COC)</b>			Proposta/contrato LAB-S:		LAB nº:		Coleta nº		Pág. ____ de ____			
Dados do Contratante:		Proposta/contrato LAB-P:			ID do Projeto:		Relatório para (quando dif. do resp. pelo projeto):		Nome:		Pág. ____ de ____			
Cliente: CNPJ:		Endereço:			Resp. pelo projeto:		e-mail:		e-mail:					
Endereço:		Cidade: UF: CEP: Tel/Fax:			e-mail:									
Cidade: UF: CEP: Tel/Fax:		Dados do Solicitante: (Dados para emissão do relatório)			Análises Requeridas									
Cliente: CNPJ:		Endereço:			Cidade: UF: CEP: Tel/Fax:		Faturar para: CNPJ:		Nome: E-mail:		Endereço: Tel/Fax:			
Endereço:		Cidade: UF: CEP: Tel/Fax:			Faturar para: CNPJ:		Nome: E-mail:		Endereço: Tel/Fax:					
Login (Uso Interno)		ID da amostra		Data		Hora		Matriz (Ver tabela)		Preservação (Vertabela)		Qt. Frasc.		
(*) Legislações e Normas		Relatório com comparativo da Legislação?			Sim		Não		Qual?:		Metals solicitados			
Amostragem realizada por:		Contratante			Outros:		Responsável:		TOTAL		<input type="checkbox"/> Ag <input type="checkbox"/> Al <input type="checkbox"/> As <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> Ba <input type="checkbox"/> Be <input type="checkbox"/> Bi <input type="checkbox"/> Ca <input type="checkbox"/> Cd <input type="checkbox"/> Co <input checked="" type="checkbox"/> Cr <input type="checkbox"/> Cu <input type="checkbox"/> Fe <input type="checkbox"/> Hg <input type="checkbox"/> K <input type="checkbox"/> Mg <input type="checkbox"/> Mn <input type="checkbox"/> Mo <input type="checkbox"/> Na <input type="checkbox"/> Ni <input type="checkbox"/> Pb <input type="checkbox"/> Pd <input type="checkbox"/> Pt <input type="checkbox"/> Rh <input type="checkbox"/> Sb <input type="checkbox"/> Se <input type="checkbox"/> Sn <input type="checkbox"/> Ti <input type="checkbox"/> TI <input type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> Zn <input checked="" type="checkbox"/> P (não metal) <input checked="" type="checkbox"/> Listagem CETESB (15) <input type="checkbox"/> PPM (13) <input type="checkbox"/> Outros (citar no campo OBS)			
Observações/Instruções:		Dissolvido			<input type="checkbox"/> Ag <input type="checkbox"/> Al <input type="checkbox"/> As <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> Ba <input type="checkbox"/> Be <input type="checkbox"/> Bi <input type="checkbox"/> Ca <input type="checkbox"/> Cd <input type="checkbox"/> Co <input type="checkbox"/> Cr <input type="checkbox"/> Cu <input type="checkbox"/> Fe <input type="checkbox"/> Hg <input type="checkbox"/> K <input type="checkbox"/> Mg <input type="checkbox"/> Mn <input type="checkbox"/> Mo <input type="checkbox"/> Na <input type="checkbox"/> Ni <input type="checkbox"/> Pb <input type="checkbox"/> Pd <input type="checkbox"/> Pt <input type="checkbox"/> Rh <input type="checkbox"/> Sb <input type="checkbox"/> Se <input type="checkbox"/> Sn <input type="checkbox"/> Ti <input type="checkbox"/> TI <input type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> Zn <input type="checkbox"/> P (não metal) <input type="checkbox"/> Listagem CETESB (15) <input type="checkbox"/> PPM (13) <input type="checkbox"/> Outros (citar no campo OBS)									
Checklist - LAB-S		Conferido por (nome por extenso):			Data/Hora:		As amostras estão em condições ideais para análise: Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Se não, Motivo?		Checklist - LAB-P		Todos os parâmetros estão dentro do prazo de validade (holding time)?		Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> N/A <input type="checkbox"/>	
Temperatura interna da caixa térmica: _____ °C (Aceitação: 4°C±2°C)		A caixa térmica e os frascos estão íntegros?			Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> N/A <input type="checkbox"/>		As amostras foram coletadas e preservadas adequadamente?		Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> N/A <input type="checkbox"/>		Os vials foram entregues sem bolhas ou com bolhas menores que uma ervilha?		Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> N/A <input type="checkbox"/>	
Metals dissolvidos filtrados em campo?		Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> N/A <input type="checkbox"/>			Os rótulos dos frascos ou recipientes identificam as amostras e estão de acordo com a COC?		Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> N/A <input type="checkbox"/>		Temperatura interna da caixa térmica: _____ °C (Aceitação: 4°C±2°C)		Conferido por (nome por extenso):		Data: ____/____/____ hora: ____:____	
Etiquetado por (nome por extenso):		Etiquetado por (nome por extenso):			Data: ____/____/____		Hora: ____:____		Normal _____ úteis		Rush _____ úteis		Prazo Acordado:	
Observação:		Entrada no laboratório (LIMS): ____/____/____			revisão liberação do Relatório: ____/____/____									

1 - Cliente: Preenchimento obrigatório pelo cliente 2 - As amostras são mantidas em custódia por 10 dias após emissão dos relatórios/

## 5.6 Amostragem em campo utilizando a baixa vazão

O estado de conservação de um poço pode afetar o método de purga, ao limitar a escolha de equipamento. Por exemplo, em função de alterações como rachaduras no revestimento e juntas, curvatura do revestimento, problemas na laje de proteção, estanqueidade dos tampões, falta de limpeza etc.

Neste método a purga é realizada por meio de taxas de bombeamento reduzidas (entre 0,05 L/min e 1,0 L/min), compatíveis com a capacidade de produção do poço de monitoramento, que não causem o rebaixamento excessivo do nível da água, evitando a coleta da água não representativa. Durante o bombeamento, parâmetros indicadores são monitorados até que seja obtida a estabilização das suas leituras, indicativo de que água representativa da formação está sendo coletada e que a purga está completa (ABNT, 2010).

O equipamento de amostragem deve ser posicionado de forma lenta no interior do poço de monitoramento, e para que se tenha um fator de segurança, deve ser posicionado preferencialmente no meio do tubo-filtro conforme o ensaio apresentado. A finalização da purga será definida por meio da estabilização dos parâmetros indicadores, de acordo com os critérios estabelecidos na norma regulamentadora (ABNT, 2010).

A amostragem e coleta do método da baixa vazão ocorreu na data de 26 de setembro de 2023 nos intermédios da UFPA (área de estudo), especificamente no PM 02. As imagens abaixo referem-se as etapas executadas na atividade:

O Poço de Monitoramento 02, encontra-se em perfeito estado de conservação para realização de amostragens conforme observa-se na Figura 17 a seguir:

Figura 17- Estado de conservação do PM-02.



Fonte: Autora, 2023

Em seguida foi selecionada a bomba de bexiga, para amostragem de água subterrânea com baixa vazão, fabricada pela empresa GEOSFERA. A bomba utiliza bexigas descartáveis de troca simples facilitando os trabalhos de campo, principalmente a descontaminação. Sua vazão por ciclo corresponde a 180 mL. Profundidade máxima de amostragem corresponde a 60 metros, a mangueira de ar possui material polietileno de baixa densidade 4 mm, mangueira de descarga de água metrial de polietileno de baixa densidade 6 mm, conforme Figura 18:

Figura 18- Montagem da Bomba de bexiga.



Fonte: Autora, 2023

A vazão de bombeamento deve ser definida de forma a minimizar os distúrbios que podem ser gerados pelo rebaixamento excessivo do nível da água no poço de monitoramento e na formação, pelo aumento da velocidade de movimentação da água subterrânea no aquífero e pelo aumento da zona de captura do poço.

Ela deve permitir a estabilização do nível da água. A vazão de purga nunca deve ser superior a 1 L/min. A vazão de preenchimento dos frascos de coleta deve ser menor ou igual à vazão de purga e nunca superior a 250 mL/min para substâncias orgânicas e 500 mL/min para inorgânicas. A vazão utilizada durante as medições correspondeu a 250 mL/min.



Em seguida foi utilizado o medidor de nível, onde constatou-se conforme as fichas de campo em anexo, onde a lâmina d'água consiste no nível 2,15 m e o poço de monitoramento com profundidade total de 5 m conforme Figura 19:

Figura 19- Início da medição de nível.



Fonte: Autora, 2023

A bomba de bexiga foi inserida no PM-02 lentamente, mantendo-se ao nível de 3,5 m de profundidade. A bateria (Potência 12 VCC - 2,2 A), foi acoplada ao painel controlador portátil da marca GeoControl-Pro, que possui profundidade de operação até 55 metros e regulação dupla de vazão (controle duplo de carga e descarga), após o ajuste do painel o mesmo foi ligado após acoplar as mangueiras de polietileno à bomba e a célula de fluxo, conforme observa-se nas Figuras 20 e 21:

Figura 20- Montagem do Painel controlador.



Fonte: Autora, 2023

Figura 21- Montagem da célula de fluxo.



Fonte: Autora, 2023

Após a montagem de todos os equipamentos, foram checados se estavam em conformidade com a NBR 15847 de 2010 para que o monitoramento fosse iniciado conforme apresenta-se nas Figuras 22, 23, e 24.

Figura 22- Equipamentos montados para início da Purga.



Fonte: Autora, 2023

Figura 23- Becker de plástico graduado para medição de vazão.



Fonte: Autora, 2023

Figura 24-Balde de plástico de 20 litros graduado.



Fonte: Autora, 2023

O monitoramento contínuo dos parâmetros indicativos da qualidade da água é fundamental para a determinação do momento em que a purga pode ser encerrada. Uma vez que o nível de rebaixamento da coluna d'água se estabilize para uma vazão de purga e os parâmetros indicativos da qualidade da água se estabilizem, presume-se que a água bombeada é proveniente da formação. Neste momento, as amostras devem ser coletadas (início). Os parâmetros indicativos da qualidade da água que devem ser monitorados durante a purga são: temperatura, pH, condutividade elétrica, potencial de oxirredução e oxigênio dissolvido. Pesquisas científicas e a experiência prática demonstraram que a condutividade elétrica e o oxigênio dissolvido são os parâmetros mais confiáveis para confirmar a determinação da estabilização, sendo este último o mais conservador de todos, por ser o mais sensível a interferências (ABNT, 2010). A Figura 25 apresenta o momento do encaixe da sonda multiparâmetros na célula de fluxo.

Figura 25- Sonda Multiparâmetros com encaixe na célula de fluxo.



Fonte: Autora, 2023

Para efetuar a medição dos parâmetros em campo, é necessária a utilização de uma célula de fluxo conectada em série com o sistema de coleta por bombeamento, permitindo que a água bombeada não entre em contato com o ambiente externo previamente à realização das leituras. Todos os instrumentos analíticos de campo, devidamente calibrados, devem permanecer na sombra durante os trabalhos de campo, a fim de evitar alterações indesejadas em função da incidência direta do sol na instrumentação. É importante que se conheçam as recomendações do fabricante dos equipamentos de medição quanto aos procedimentos de calibração e do tempo necessário para que os equipamentos se aclimatizem no ambiente de amostragem, de maneira a garantir a representatividade dos dados coletados. A Figura 26 apresenta o momento da medição dos parâmetros com a utilização da sonda medidora.

Figura 26-Medição dos parâmetros.



Fonte: Autora, 2023

A primeira leitura dos parâmetros deve ser realizada após a passagem do volume de água contido na bomba, somado ao volume da tubulação e volume da célula de fluxo. Este volume é denominado volume do sistema. Após o descarte do volume do sistema, as leituras devem ser iniciadas. Deve-se calcular as variações percentuais em relação à primeira leitura após a estabilização do nível da água para os parâmetros condutividade elétrica e oxigênio dissolvido. Os parâmetros indicativos da qualidade da água são considerados estáveis quando suas variações permanecem dentro de uma faixa de oscilação predeterminada, por no mínimo três leituras consecutivas.

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 min, o que for maior. É muito importante definir a faixa de leitura, precisão e incerteza dos instrumentos utilizados para o monitoramento e definição dos parâmetros de estabilização utilizados. Caso o instrumento de medição não seja capaz de medir com precisão dentro da faixa definida para a estabilização, deve ser avaliada a possibilidade de se utilizarem outras faixas de variação para o programa de amostragem.

Antes da purga a amostragem já apresentava turbidez acentuada, após a purga a amostra praticamente não sofreu alterações visto que o método de purga utilizado foi o de baixa vazão. A vazão da coleta em campo apresentou-se em 250 ml por minuto, a amostragem durou 9 minutos em média, realizando medições a cada 3 minutos conforme determinado pela NBR

15847 de 2010, totalizando em torno de 800 ml coletado até a estabilização dos parâmetros (ABNT, 2010). Na Figura 27 apresenta o início da coleta em campo.

Figura 27- Coleta em campo.



Fonte: Autora, 2023

Os parâmetros avaliados foram: Temperatura, pH, Oxigênio dissolvido (OD), Condutividade Elétrica e Potencial de Oxirredução. Após as medições com a sonda multiparâmetros, a água coletada foi retirada e coletada em frascos conforme Figuras 28, 29, e 30.

Figura 28- Transferências para os frascos de Polietileno (medição em baixa vazão).



Fonte: Autora, 2023

Figura 29- Transferência da amostragem para o frasco de vidro (medição em baixa vazão).



Fonte: Autora, 2023

Figura 30- Transferência para os frascos de Polipropileno (medição em baixa vazão).



Fonte: Autora, 2023

#### 5.6.1 Recomendações para coleta e preservação de amostras

As recomendações quanto ao tipo de frasco para coleta, quantidade de amostra necessária, forma de preservação e o prazo entre a coleta e o início de análise para os parâmetros de maior interesse são apresentados na Tabela 15-Metodologia inclusa na 21ª Edição do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, (2005) e USEPA, (1998).



Tabela 15- Recomendações quanto ao tipo de frascos e coleta.

PARAMETROS	FRASCO	PRESERVAÇÃO	PRAZO
Alcalinidade	Vidro polietileno ou polipropileno	Refrigeração a 4°C	14 dias água limpa 24hrs; água poluída < 24hrs*
Alumínio	Polietileno, polipropileno e vidro	HNO <sub>3</sub> para pH < que 2	06 meses menor possível*
Carbono Orgânico Total	Polietileno, polipropileno e vidro	Refrigeração a 4°C, HCl ou H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ou H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> para pH < 2	28 dias 07 dias*
Cianeto	Polietileno, polipropileno e vidro	Refrigeração a 4°C, NaOH para pH > 12	14 dias 24 horas*
Cloreto	Polietileno, polipropileno e vidro	Não é necessário	Análise imediata 07 dias*
Cobre	Polietileno, polipropileno e vidro	HNO <sub>3</sub> para pH < 2	06 meses
Condutividade	Polietileno, polipropileno ou vidro	Refrigeração a 4°C	24 horas
Cor	Polietileno, polipropileno e vidro	Refrigeração a 4°C	48 horas 24 horas*
Cromo total	Polietileno, polipropileno e vidro	HNO <sub>3</sub> para pH < 2	6 meses
Cromo 6 <sup>+</sup>	Polietileno, polipropileno e vidro	Refrigeração a 4°C	24 horas
Cromo 3 <sup>+</sup>	Polietileno, polipropileno e vidro	HNO <sub>3</sub> para pH < 2	06 meses
DBO <sub>5</sub>	Polietileno, polipropileno e vidro	Refrigeração a 4°C	48 horas 24 horas*
DQO	Polietileno, polipropileno e vidro	Refrigeração a 4°C, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> para pH < que 2	28 dias 07 dias*
Dureza Total	Polietileno, polipropileno e vidro	Refrigeração a 4°C e HNO <sub>3</sub> para pH < 2	07 dias
Dureza Cálcio	Polietileno, polipropileno e vidro	Refrigeração a 4°C e HNO <sub>3</sub> para pH < 2	07 dias
Dureza Magnésio	Polietileno, polipropileno e vidro	Refrigeração a 4°C e HNO <sub>3</sub> para pH < 2	07 dias
Fenóis	Vidro	Refrigeração a 4°C, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> para pH < que 2	28 dias 24 horas*
Ferro	Polietileno, polipropileno e vidro	HNO <sub>3</sub> para pH < 2	06 meses
Fluoreto	Polietileno ou polipropileno	Não é necessário; Refrigeração a 4°C*	28 dias 07 dias*
Manganês	Polietileno, polipropileno e vidro	HNO <sub>3</sub> para pH < 2	06 meses
Nitrogênio Amoniacal	Polietileno, polipropileno e vidro	Refrigeração a 4°C, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> para pH < que 2	24 horas
Nitrito	Polietileno, polipropileno e vidro	Refrigeração a 4°C	48 horas 24 horas*

Nitrogênio Total	Polietileno, polipropileno e vidro	Refrigeração a 4°C, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> para pH < que 2	28 dias 07 dias*
Óleos e graxas	Vidro	Refrigeração a 4°C, HCl ou H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> para pH < que 2	24 horas
pH	Polietileno, polipropileno e vidro	-----	Análise imediata
Sulfato	Polietileno, polipropileno e vidro	Refrigeração a 4°C; pH < 8,0*	28 dias 07 dias*
Sulfetos	Polietileno, polipropileno e vidro Vidro*	Refrigeração a 4°C, adicionar Acetato de Zinco + Hidróxido de Sódio para pH >9 pH 6,0 - 9,0	07 dias
Surfactantes	Polietileno, polipropileno e vidro	Refrigeração a 4°C	48 horas 24 horas*
Turbidez	Polietileno, polipropileno e vidro âmbar	Refrigeração a 4°C; Evitar exposição à luz*	48 horas 24 horas*
Zinco	Polietileno, polipropileno e vidro	HCl ou HNO <sub>3</sub> para pH < que 2	06 meses
Coliformes Totais e Fecais	Polietileno, polipropileno e vidro âmbar	Refrigeração a 4°C, 0,008% Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – águas cloradas	08 horas preferência Não exceder 24 horas

Fonte: Adaptado de ANA/CETESB, 2011.

### 5.7 Amostragem em campo utilizando o bailer

Na data de 27 de setembro de 2023 ocorreu a amostragem com a utilização do bailer, antes da amostragem ocorreu a purga do poço na data de 26 de setembro de 2023. O nível da água correspondia a 2,15 metros na data supracitada, sendo purgado em torno de 700 ml. Foi utilizado um bailer descartável para realização da amostragem conforme Figura 31:

Figura 31- Bailer descartável e lacrado para ser utilizado nas medições.



Fonte: Autora, 2023

Em seguida o bailer foi inserido lentamente no poço, objetivando a realização da coleta no PM-02, conforme a Figura 32:

Figura 32-Início da coleta.



Fonte: Autora, 2023

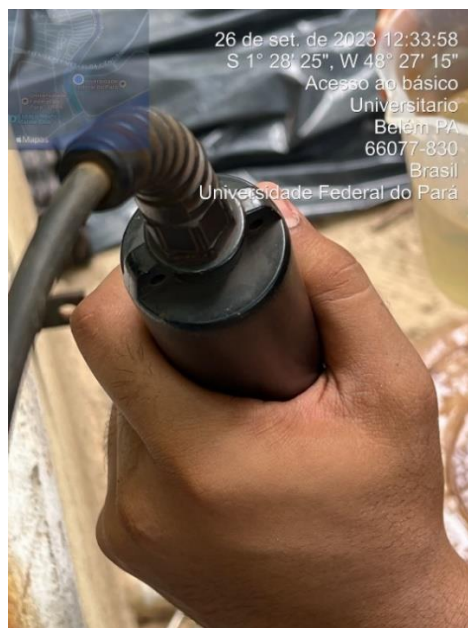
A amostra foi coletada lentamente com o bailer sendo introduzido no poço, e em seguida o líquido do tubo foi transferido para um medidor graduado para que fosse realizada a leitura com a sonda multiparâmetros conforme nas Figuras 33 e 34 abaixo:

Figura 33- Coleta da amostra utilizando o bailer.



Fonte: Autora, 2023

Figura 34- Medição dos parâmetros.



Fonte: Autora, 2023

Em seguida a amostra coletada foi transferida para os frascos, simulando uma análise para ser analisada em campo conforme nas Figuras 35, 36 e 37.

Figura 35- Coleta da amostra em polipropileno (medições com o bailer) .



Fonte: Autora, 2023

Figura 36- Coleta da amostra em vidro (medições com o bailer).



Fonte: Autora, 2023

Figura 37- Coleta da amostra em frasco polietileno (medição em baixa vazão).



Fonte: Autora, 2023

### 5.7 Tratamento dos dados e apresentação dos resultados

Os resultados coletados em campo demonstram que os parâmetros indicativos da qualidade da água são considerados estáveis quando suas variações permanecem dentro de uma faixa de oscilação predeterminada, por no mínimo três leituras consecutivas. 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 min, o que for maior (ABNT, 2010).

*Observa-se a Tabela 16 a seguir, que utilizando a sonda multiparâmetros apresentaram as seguintes caracterizações para o método baixa vazão (low-flow):*

Tabela 16- Resultados coletados em campo na sonda multiparâmetro para o método de micro-purga (low flow).

pH	OD	CE	Eh	Temperatura
6,66	0,04	569	-82,2	27,78
6,69	0,00	564	-93,5	27,71
6,70	0,00	561	-99,1	27,74

\*Recomenda-se que após a estabilização do OD o monitoramento seja finalizado.

O pH manteve-se estável em todas as leituras apresentadas, o Oxigênio dissolvido estabilizou-se após a segunda leitura consecutiva, o parâmetro de Condutividade elétrica apresentou-se menor a cada leitura realizada, e o parâmetro de potencial de oxirredução aumentou conforme as leituras durante o bombeamento da micro purga, já o parâmetro de Temperatura apresentou-se praticamente estável.

Os resultados encontrados durante a coleta utilizando o *bailer* apresenta-se na Tabela 17.

Tabela 17- Resultados coletados em campo pela sonda multiparâmetros utilizando o método do bailer.

pH	OD	CE	Eh	Temperatura
6,72	0,23	531	-82,3	28,35

Durante as medições com o bailer, observou-se que o Ph apresentou-se em faixa de concentrações sem anormalidade, o parâmetro de Oxigênio Dissolvido apresentou-se um pouco acima, a Condutividade Elétrica um pouco mais abaixo do esperado e o potencial de oxirredução manteve-se estável, assim como o parâmetro de Temperatura.

O aumento da turbidez está associado ao aumento das concentrações de metais e do tempo de filtragem com filtros para metais. Por ser um método manual, a qualidade do processo está diretamente ligada à habilidade do técnico, podendo ser afetada pela velocidade com que o bailer é introduzido no poço.

A NBR 15847 de 2010 recomenda as faixas de variação para estabilização dos parâmetros indicativos da qualidade da água (ABNT, 2010) conforme a Tabela 18:

Tabela 18- Estabilização dos parâmetros indicativos de qualidade.

pH	OD	CE	Eh	Temperatura
± 02, Unidades	± 10% das leituras ou ±0,2 g, o que for maior	± 5,0 % das leituras	± 20 mV	± 0,5 °C

Fonte: ABNT (2010)

## 5.8 ROTEIRO COM CONTEÚDO MÍNIMO PARA ELABORAÇÃO DE UM PROGRAMA DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Conforme apresentado este trabalho definiu-se que é necessário a criação de um roteiro com conteúdo mínimo para elaboração de um manual de monitoramento de águas subterrâneas com base no Manual Cetesb Completo áreas contaminadas (CETESB, 2001), e com base também no Guia Nacional de Preservação e coleta (Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos) editado pela CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, e pela ANA – Agência Nacional de Águas (2011), qual deverá estar contido:

- a) Escopo do programa de monitoramento;
- b) Localização do empreendimento;
- c) Caracterização do empreendimento;
- d) Critérios de inspeção inicial na área;
- e) Descrição detalhada do programa de monitoramento da qualidade das águas;
- f) Definição das atividades realizadas em campo e no escritório;
- g) Definição dos pontos de amostragem de água subterrânea;
- h) Seleção da metodologia de amostragem de água subterrânea;
- i) Seleção dos parâmetros de análise em água subterrânea;
- j) Controle de qualidade para amostragem de água subterrânea;
- k) Descrição detalhada de critérios e preservação da amostra;
- l) Descrição detalhada da coleta de água subterrânea;
- m) Padrões de referência ambiental – águas subterrâneas;
- n) Interpretação e avaliação dos resultados e comparação com a legislação vigente;
- o) Cronograma executivo.

## CONCLUSÃO

Este trabalho permitiu a elaboração de um manual técnico, onde recomenda-se procedimentos operacionais para monitoramento da qualidade da água subterrânea, a ser aplicado como um documento consultivo e orientativo. O procedimento foi elaborado para utilização em escala global, de modo a guiar a execução das investigações ambientais conforme o tópico anterior de roteiro orientativo (conteúdo mínimo). Ressalta-se que o mesmo poderá ser traduzido e adaptado às condições de cada projeto, conforme necessidade.

A partir da pesquisa realizada, pôde-se concluir que existe uma extensa produção de documentos (normas, guias, procedimentos, entre outros) na área de monitoramento de águas subterrâneas, porém no estado do Pará e na maior parte dos estados da Federação Brasileira ainda o mesmo é inexistente um manual orientativo. A elaboração do procedimento visou deste modo, agregar as informações disponíveis, adequando-as às especificidades. Com isto, obtém-se simplificação, economia e agilidade, uma vez que todas as informações necessárias se encontram em um único documento, de fácil acesso a quem necessitar (consultores, órgãos licenciadores etc..).

Com a criação deste manual espera-se:

- Redução na variabilidade do processo: Com a padronização das atividades envolvidas no processo de monitoramento das águas subterrâneas, espera-se obter resultados mais confiáveis e comparáveis entre si;
- Maior facilidade de treinamento para os executores desta atividade: Uma vez que o processo esteja padronizado e documentado, o treinamento de novos executores/consultores na execução do mesmo é facilitado.
- Maior facilidade de comunicação com Consultorias externas: O procedimento deste manual, deve facilitar a troca de informações entre a empresa e as consultorias externas, responsáveis pela execução das investigações, visto que as necessidades e requisitos básicos do processo já estão estabelecidos.
- Maior facilidade de atendimento a requisitos legais: O procedimento facilita o atendimento a requisitos legais, visto que estabelece regras sobre frequência de monitoramento e compostos a serem avaliados, e permite a incorporação de requisitos técnicos para execução das atividades.
- Formação de base para a implantação de melhorias: A documentação do processo de monitoramento de poços desta magnitude forma uma base para a identificação de pontos fracos e consequentes oportunidades de melhoria;



- Tornar-se um documento consultivo e orientativo para elaboração de outros programas de monitoramento de qualidade de água subterrânea.

Com relação aos métodos de amostragem de águas subterrâneas, que propiciam a avaliação de sua qualidade, ainda se verifica que o mais amplamente aplicado, justamente por seu baixo custo, é o que utiliza amostradores descartáveis do tipo bailer. Contudo, as crescentes exigências por parte dos Órgãos de Controle Ambiental pela obtenção de resultados com maior qualidade, têm conduzido à aplicação cada vez mais frequente do método de micro purga ou baixa vazão, uma vez que este apresenta vantagens sobre os outros quando se trata da obtenção de resultados que reflitam de forma mais confiável a situação de contaminação de um determinado aquífero.

Com relação a definir critérios de inspeção inicial na área associado a estrutura usada para monitoramento, os resultados demonstram que é necessário estabelecer uma linha de base, ou seja, um ponto de referência para futuras comparações. Ela envolve a coleta de dados sobre a qualidade da água, níveis de água subterrânea, características geológicas e hidrológicas da área, entre outros aspectos relevantes. Essas informações são fundamentais para o desenvolvimento de estratégias de monitoramento adequadas e resultados confiáveis.

A partir desses resultados apresentados neste manual, serão recomendadas as estratégias necessárias para o controle de fontes poluidoras ou mesmo de remediação de uma área que já esteja contaminada e apresente risco à saúde pública. O monitoramento permitirá que seja feita uma avaliação real, de forma qualitativa e quantitativa, da extensão da contaminação, provendo, assim, os dados para a tomada de decisão com relação ao gerenciamento da qualidade e das águas subterrâneas no estado do Pará e assim como em todos os estados da federação brasileira.

## REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15495-1:2007, versão corrigida 2:2009 – Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 1: Projeto e construção. 2009.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15847-1:2010, –Amostragem de águas subterrâneas em poços de monitoramento (métodos de purga) 2010.

ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Estudos hidrogeológicos para a gestão das águas subterrâneas da região de Belém/PA: Relatório Final**. Belém 2018 a. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br>. Acesso em: 08 ago. 2023.

ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Diagnóstico do Meio Físico da Região de Belém/PA**. Belém 2018 b. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br>. Acesso em 08 ago. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA (Brasil); COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia nacional de coleta de preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. Brasília, DF: ANA; São Paulo: CETESB, 2011. 327 p. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/publicacoes/guia-nacional-coleta-2012.pdf>. 08 ago. 2023.

ANALYTICS BRASIL (Belo Horizonte). **Medição de nível de águas**. 2023. Disponível em: <https://www.analyticsbrasil.com.br/>. Acesso em: 19 ago. 2023.

ALMEIDA, Leonardo de. **Hidrogeologia Conceitos Básicos**:. Coordenação de Águas Subterrâneas SIP/ANA. 2016. ANA- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Disponível em: chrome extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/<https://progestao.ana.gov.br/destaque-superior/eventos/oficinas-de-intercambio-1/aguas-subterraneas-1/oficina-aguas-subterraneas-brasil-2016/apresentacoes-ana/ana-1-hidrogeologia-leonardo-de-almeida.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2023.

APHA – American Public Health Association; AWWA – American Water Works Association & WEF - Water Environment Federation. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Eaton, A. D.; L. S. Clesceri; A. E. Greenberg (Ed.), 20th ed. Washington, D.C.: [s.n.], 2005.

AGSOLVE.AGSOLVE - **PRODUTOS E SOLUÇÕES**: kit low flow - baixa vazão. 2022. Disponível em: [https://www.agsolve.com.br/?gclid=Cj0KCQiAnNacBhDvARIsABnDa69ro eSvK0mgVMTj0NELbpDJSpxetlHYbykhM0E5egdIOHdlz4NSOKsaAhMvEALw\\_wcB](https://www.agsolve.com.br/?gclid=Cj0KCQiAnNacBhDvARIsABnDa69ro eSvK0mgVMTj0NELbpDJSpxetlHYbykhM0E5egdIOHdlz4NSOKsaAhMvEALw_wcB). Acesso em: Acesso em: 19 ago. 2023.

BEZERRA; G. P.. universidade federal da bahia, instituto de geociências programa de pós-graduação em geoquímica: **Petróleo e meio ambiente-ospetro contaminação de águas subterrâneas por btex na bacia do rio lucaia**, salvador, bahia.2011.

BORGES D. S, J. **Programa de monitoramento ambiental: uma importante ferramenta no controle em processo de bio-manguinhoS**. 2009.



BRASIL. Lei 3.191, de 2 de julho de 1957. **Cria a Universidade do Pará e dá outras providências.** 1957.

BRASIL. Lei nº. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Lei dos Recursos Hídricos.** Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/hpsenado>. Acesso em: 19 ago. 2023.

BRASIL. **Resolução no 22/2002** do CNRH determinou a inserção dos recursos hídricos subterrâneos nos Planos de Recursos Hídricos e definiu os aspectos que necessariamente devem ser contemplados. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/legislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2022.pdf> Acesso em: 19 ago. 2023.

BRASIL. **Resolução no 15/2001** do CNRH determinou que na implementação dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos deverão ser incorporadas medidas que assegurem a promoção da gestão integrada das águas superficiais, subterrâneas e meteóricas. Disponível em <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2018/02/Resolu%C3%A7%C3%A3o-n%C2%BA-15-de-11-de-Janeiro-de-2001-CNRH.pdf>: Acesso em: 19 ago. 2023.

BRASIL. **Lei Ordinária nº 6.381 de 25 de julho de 2001 – SEMAS**, Dispõe Sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/legislacao/normas/view/517> Acesso em: 19 ago. 2023.

BRASIL. **DECRETO Nº 3.060, DE 04 DE SETEMBRO DE 1998 – SEMAS**, regulamenta a Lei nº 6.105, de 14 de janeiro de 1998. Disponível em: [https://www.semas.pa.gov.br/legislacao/files/dia\\_da\\_agua\\_guia\\_de\\_bolso.pdf](https://www.semas.pa.gov.br/legislacao/files/dia_da_agua_guia_de_bolso.pdf) Acesso em: 19 ago. 2023.

BRASIL. **LEI ORDINÁRIA Nº 6.105, DE 14 DE JANEIRO DE 1998 – SEMAS**,. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/legislacao/normas/view/354#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20conserva%C3%A7%C3%A3o%20e,Par%C3%A1%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%Aancias>. Acesso em: 19 ago. 2023.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.** Brasília, DF: Presidente da República, [2016]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm). Acesso em: 19 ago. 2023.

CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível superior. Ministério da Educação. 2022 disponível em <https://www-periodicos-capes-gov.br.ez1.periodicos.capes.gov.br/>. Acesso em: 19 ago. 2023.

CETESB, COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Manual Cetesb Completo áreas contaminadas.** 2º edição ed. São paulo:v. 2º edição.2001.

CLEAN ENVIRONMENTAL BRASIL. **Procedimento de Purga por Baixa-Vazão com Equipamentos MicroPurge Basics.** 2001. Disponível em <https://www.clean.com.br/>. Acesso em: 19 ago. 2023



CASTILHO, C. DE. **Instituto militar de engenharia estudo da contaminação por metais nos corpos de água em um campo de destruição de munições e explosivos.**2015.

CASTAGNOLI, R. RIBEIRO. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA Campus de Ourinhos: **Monitoramento das águas superficiais do estado de são paulo: reflexões sobre a bacia do alto paranapanema (ugrhi-14).**2012.

CASTRO, C NASCIMENTO. . **Água, Problemas Complexos e o Plano Nacional de Segurança Hídrica.** 2022 Disponível em:  
[https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11115/1/%C3%81gua\\_problemas\\_complexos.pdf](https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11115/1/%C3%81gua_problemas_complexos.pdf). Acesso em: 19 ago. 2023

CAPES- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível superior. Ministério da Educação. 2022 disponível em <https://www-periodicos-capes-gov-br.ezl.periodicos.capes.gov.br/>. Acesso em 09/12/2022.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 396: Classificação e enquadramento das águas subterrâneas.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente 2008.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357: Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente 2005.

CHAVES DIAS, Claudio Luiz *et al.* **A importância do monitoramento das águas subterrâneas na gestão dos recursos hídricos.** 2008. Disponível em:  
<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23294>. Acesso em: 19 ago. 2023.

DIAS L.C. **Critérios para projeto de rede de monitoramento de águas subterrâneas-proposta de implantação na bacia hidrográfica do alto tietê, sp.** 2018.

DERÍSIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental.** 2018. Disponível em:  
<https://www.ofitexto.com.br/introducao-ao-controle-de-poluicao-ambiental-/p>. Acesso em: 19 ago. 2023.

Foster, S & Hirata, R. 1988.**Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data.** CEPIS/PAHO-WHO. Lima Peru, 81pp.

GWMATE – GROUNDWATER MANAGEMENT ADVISORY TEAM. **Gestión Sustentable del Agua Subterránea – Conceptos y Herramientas.** Serie de Notas Informativas: Nota 1 , 2006.

GENARO, R. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL-CPRM DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL- **Relatório de Atividades Departamento de Hidrologia Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas** .RIMAS área: recursos hídricos subterrâneos subárea: levantamento de recursos hídricos subterrâneos relatório de atividades nº 1-ano 2021.

GEOSFERA AMBIENTAL (São Paulo). Geosfera Ambiental. **Geoesfera ambiental equipamentos para monitoramento, amostragem e remediação de solo e água subterrânea**. 2019. Disponível em: <https://geoesfera.wordpress.com/>. Acesso em: 19 Ago. 2023.

HIDROSUPRIMENTOS. **Hidrosuprimentos**: tecnologia em meio ambiente. tecnologia em meio ambiente. 2023. Disponível em: <http://www.hidrosuprimentos.com.br/>. Acesso em: 19 ago. 2023.

HIRATA, R. et al. **As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil**. 2019 disponível em [//efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/https://igc.usp.br/igc\\_downloads/Hirata%20et%20al%202019%20Aguas%20subterranea%20e%20sua%20importancia.pdf](https://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/https://igc.usp.br/igc_downloads/Hirata%20et%20al%202019%20Aguas%20subterranea%20e%20sua%20importancia.pdf) Acesso em: 19 ago. 2023.

LIMA, E. F. W. et al. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. Disponível em <https://www.yumpu.com/pt/document/view/39990810/introducao-ao-gerenciamento-de-recursos-hidricos-aneel> Acesso em: 19 ago. 2023.

MILIORINI, Fernando; ISHIMINE, Vinicius. **Métodos de amostragem de águas subterrâneas e aplicabilidade da portaria 518 do ministério da saúde**. 2005. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23241>. Acesso em: 19 ago. 2023.

LOURÃO, M. et al. **Fundamento para implantação da rede básica nacional de monitoramento integrado das águas subterrâneas**. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2009. Campo Grande (MT).

MENEZES, M. et al. **Programa de Monitoramento de Águas Subterrâneas das Sub-bacias dos Rios Verde Grande, Riachão e Jequitaiá**. 2006.

MINISTÉRIO DA SAÚDE, B. MINISTÉRIO DA SAÚDE Brasília-DF 2016: **A Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano**.

MARTINEZ, N. O. V. **Monitoreo de Águas Subterrâneas**. Bogotá: IDEAM – Instituto de Hidrologia, Meteorología y Estudios Ambientales. 2004. Disponível em: Acesso em: 08 ago. 2023.

NASCIMENTO, E. A. et al. **The groundwater flow in the coastal aquifer system associated with holocenic wind aeolian deposits in the Cassino/RS region**. *Águas Subterrâneas*, v. 37, n. 3, 31 maio 2023.

OLIVEIRA, M. S. D. **Elaboração de um procedimento operacional para monitoramento da qualidade da água subterrânea em áreas industriais**. 2013.

PENNER, G. C. **Instituto federal de educação, ciência e tecnologia do Ceará especialização em elaboração e gerenciamento de projetos para a gestão municipal de recursos hídricos proposta de programa de monitoramento da qualidade da água subterrânea para o município de Belém-pa**. FORTALEZA-CE 2018.



PENNER, G.; LIMA, M. **amostragem de btx em água subterrânea: comparação de resultados e o gerenciamento de áreas contaminadas**. Revista Científica Eletrônica Uniseb., v. 3, p. 247–258, jan. 2014.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM – PMB. **Anuário Estatístico do Município de Belém. 2019**. Disponível em: <http://anuario.belem.pa.gov.br/>. Acesso em: 11 agosto. 2023.

PUBLISH OR PERISH. Disponível em <https://harzing.com/resources/publish-or-perish>: acesso em 09/08/2023

PULS, R.W.; BARCELONA, M.J. (1996) **Ground- water issue paper: Low-Flow (Minimal-Draw- down) Ground- Water sampling procedures. U.S Environmental Protection Agency**, EPA/540/S-95/504, 12 p.

RAMOS, Nilza Patrícia; LUCHIARI JUNIOR, Ariovaldo. **Monitoramento ambiental**. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/pre-producao/meio-ambiente/monitoramento-ambiental>. Acesso em: 19 ago. 2023.

RIBEIRO, A.P. et al. **Rede doctum de ensino instituto tecnológico de caratinga curso superior de engenharia civil águas subterrâneas viabilidade do uso de água subterrânea pela empresa de abastecimento público da cidade de caratinga**. 2019.

ROCHA, P. S; G.; PAULO, S. companhia ambiental do estado de são paulo escola superior da cetesb curso de pós-graduação **“Conformidade ambiental com requisitos técnicos e legais” análise da influência da turbidez em resultados de amostra de água subterrânea**. 2019.

AMBIENTAL, Sauber System. **Medidor de nível de água**. 2023. Disponível em: <https://www.saubersystem.com.br/>. Acesso em: 19 ago. 2023.

SEMAS-PA. **Cartilha gestão das águas por um futuro sustentável**. 2014. Disponível em: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.semas.pa.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/Cartilha\\_Gest%C3%A3o-das-%C3%81guas-por-um-futuro-sustent%C3%A1vel.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.semas.pa.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/Cartilha_Gest%C3%A3o-das-%C3%81guas-por-um-futuro-sustent%C3%A1vel.pdf). Acesso em: 19 ago. 2023.

SODRÉ, F. F. et al. **sistema limpo em linha para extração em fase sólida de contaminantes emergentes em águas naturais**. nova. 2010.

TUINHOF, A. et al. **Requerimientos de Monitoreo del Agua Subterránea para manejar la respuesta de los acuíferos y las amenazas a la calidad del agua Autores (Grupo Base del GWMATE)**. 2002

UNEP/WHO. (1996) **Water Quality Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes**. Geneva: Organização Mundial da Saúde.

USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. National Water Quality Inventory - 1998 Report to Congress. EPA 816-R-00-013. Agosto de 2000. Office of



Ground Water and Drinking Water. 99p. Disponível em [http://www.epa.gov/safewater/protect/98\\_305b\\_all.pdf](http://www.epa.gov/safewater/protect/98_305b_all.pdf). acessado em 19 de Ago. de 2023.

UFPA. **Universidade Federal do Pará em números 2021**. Belém. Disponível em: <http://www.ufpanumeros.ufpa.br/index.php/2-unidades>. Acesso em: 09 de Agosto de 2023.

UIL, H. (HILKO). **State of the art on monitoring and assessment of groundwaters**. [s.l.] RIZA, Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment, ECE Task Force project-secretariat, 1999.

WYLIE, P. L. **Analysis of volatile organic compounds by Purge-and-Trap gas chromatography / mass selective detection – Application**. Agilent Technologies, 2001. Disponível em: [http://www.chem.agilent.com/enUS/Search/Library/\\_layouts/Agilent/PublicationSummary.aspx?whid=27145&liid=527](http://www.chem.agilent.com/enUS/Search/Library/_layouts/Agilent/PublicationSummary.aspx?whid=27145&liid=527) > Acesso em: 11 Agosto de 2023.



## **APÊNDICE A: FICHA DE DADOS DOS POÇOS DE MONITORAMENTO**



Tabela para inserção dos dados dos poços de monitoramento.

Nº Poço	Coordenadas Geográficas		Cota do Terreno(m)	Cota da Boca do Poço (m)	Nível d'Água (m)	Data
	LESTE	NORTE				

Onde:

- ✓ Poço: Identificação do Poço Amostrado;
- ✓ Coordenadas Geográficas: Coordenadas Geográficas (Leste e Norte) do Poço Amostrado;
- ✓ Cota do Terreno: Cota topográfica do terreno ao redor do poço;
- ✓ Cota da Boca do Poço (m): Cota topográfica do ponto de referência utilizado para determinação do nível d'água. Este ponto de referência pode ser um ponto marcado dentro do tubo de revestimento ou a própria boca do poço;
- ✓ Nível d'água (m): Distância entre o ponto de referência e o nível d'água;

Exemplo de Notação:

- (1) Poço obstruído na campanha
- (2) Poço seco na campanha
- (3) Poço inexistente na campanha



## **APÊNDICE B: FICHA DE AMOSTRAGENS**



### FICHA DE AMOSTRAGEM

**Projeto:**

**Data:**

**Responsável:**

**Equipamento Utilizado para Desenvolvimento:**

**Equipamento Utilizado para Coleta:**

Data	Ponto	Volume Removido	Medições em situ					
			pH	OD	CE	Eh	Temperatura	Observações
<b>Volume água a ser removido (litros)</b>				<b>Volume água a ser removido (litros)</b>			<b>Observações da coleta e Parâmetros Analisados:</b>	
<b>Lâmina d'água</b>	<b>Diâmetro do Poço</b>			<b>Lâmina d'água</b>	<b>Diâmetro do Poço</b>			



**APÊNDICE C: FICHA DE AMOSTRAGENS DE PARA COLETAS UTILIZANDO O BAILER E  
TAMBÉM O MÉTODO DE BAIXA VAZÃO**



### FICHA DE AMOSTRAGEM

<b>Projeto:</b>											
<b>Data:</b>								<b>Responsável:</b>			
<b>Equipamento Utilizado para Purga:</b>											
<b>Equipamento Utilizado para Coleta:</b>											
<b>Purga</b>				<b>Coleta</b>							
Ponto	Data	NA	Volume Removido	Data	NA	pH	OD	CE	Eh	Temperatura	Observações
<b>Volume água a ser removido (litros)</b>			<b>Volume água a ser removido (litros)</b>			<b>Observações da coleta e Parâmetros Analisados:</b>					
<b>Lâmina d'água</b>	<b>Diâmetro do Poço</b>		<b>Lâmina d'água</b>	<b>Diâmetro do Poço</b>							