



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE  
FEDERAL DE RONDÔNIA

**JOSILENA DE JESUS LAUREANO**

**DIAGNÓSTICO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA MICROBACIA  
DO IGARAPÉ NAZARÉ (JI-PARANÁ, RO): SUBSÍDIOS PARA  
O ENQUADRAMENTO**

Ji-Paraná  
2020

**PROFÁGUA - MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE  
NACIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE  
RECURSOS HÍDRICOS**

**ProfÁgua**



AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

*Campus Ji-Paraná*

**JOSILENA DE JESUS LAUREANO**

**DIAGNÓSTICO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA MICROBACIA  
DO IGARAPÉ NAZARÉ (JI-PARANÁ, RO): SUBSÍDIOS PARA  
O ENQUADRAMENTO**

Dissertação apresentada ao PROFÁGUA – Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação Dos Recursos Hídricos, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação dos Recursos Hídricos.

Área de concentração: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos

Linha de pesquisa: Metodologias para implementação dos Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos

Orientador: Elisabete Lourdes do Nascimento

Co-orientador: Wanderley Rodrigues Bastos

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Fundação Universidade Federal de Rondônia  
Gerada automaticamente mediante informações fornecidas pelo(a) autor(a)

---

L378d Laureano, Josilena de Jesus.

Diagnóstico da Água Subterrânea na microbacia do Igarapé Nazaré (Ji-Paraná, RO): Subsídios para o Enquadramento / Josilena de Jesus Laureano. -  
- Ji-Paraná, RO, 2020.

134 f. : il.

Orientador(a): Prof.<sup>a</sup> Dra. Elisabete Lourdes do Nascimento

Coorientador(a): Prof. Dr. Wanderley Rodrigues Bastos.

Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e  
Regulação de Recursos Hídricos) - Fundação Universidade Federal de

1.Poços rasos. 2.Potabilidade. 3.Diagnóstico ambiental. I. Nascimento,  
Elisabete Lourdes do. II. Título.

CDU 556.3

---

Bibliotecário(a) Bruno Crespo Soares

CRB 4/2061



MINISTERIO DA EDUCAÇÃO  
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

CERTIFICADO

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**Título da dissertação: Diagnóstico da água subterrânea na microbacia do Igarapé Nazaré (Ji-Paraná, RO): subsídios para o enquadramento.**

**Autora:** Josilena de Jesus Laureano

**Orientadora:** Profa. Dra. Elisabete Lourdes do Nascimento

**Coorientador:** Wanderley Rodrigues Bastos

A presente dissertação foi aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS, área de concentração: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos, pela Comissão examinadora:

Profa. Dra. Elisabete Lourdes do Nascimento – Fundação Universidade Federal de Rondônia – UNIR, Orientadora

Prof. Dr. José Luiz Silvério da Silva, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Membro externo

Profa. Dra. Ana Lúcia Denardin da Rosa - Fundação Universidade Federal de Rondônia – UNIR, Membro interno (Prof.Água)

Ji-Paraná, 30 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **ELISABETE LOURDES DO NASCIMENTO, Docente**, em 30/11/2020, às 12:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **ANA LUCIA DENARDIN DA ROSA, Docente**, em 30/11/2020, às 14:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOSE LUIZ SILVERIO DA SILVA, Usuário Externo**, em 02/12/2020, às 13:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

[https://sei.unir.br/sei/controlador.php?acao=documento\\_imprimir\\_web&acao\\_origem=arvore\\_visualizar&id\\_documento=642390&infra\\_sistema=1...](https://sei.unir.br/sei/controlador.php?acao=documento_imprimir_web&acao_origem=arvore_visualizar&id_documento=642390&infra_sistema=1...) 1/2

**PROFÁGUA – MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS**

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais Terezinha Maria de J. Laureano e Sebastião Pedro Laureano (*In Memoriam*), a quem eu devo tudo, e que me possibilitou a maior herança que uma pessoa pode ter na vida que é a educação e o acesso aos estudos. Que sempre foram exemplos de caráter e humildade, pois sem eles esse momento jamais seria possível.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus “Meu refúgio e fortaleza” em todos os momentos, por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Aos meus pais, por todo o apoio e incentivo que apesar de todas as dificuldades sempre estiveram ao meu lado. A toda a minha família pelo apoio incondicional e por entenderem minha ausência durante e esses anos em vários momentos. *Devo a vocês essa conquista!*

Às minhas amigas: Camila Bermond Ruezzenne, Nicolý Dal Santo Svierzoski e Caryne Ferreira pela preocupação, amizade e companheirismo, que sempre se fizeram presentes mesmo à distância.

À turma do Profágua 2018... aos amigos que fiz durante o curso e aos que tive a oportunidade de conhecer melhor, a minha amiga Decauita Poliana Peixoto.

A todos meus professores pelo conhecimento adquirido.

À Profa. Beatriz Machado Gomes, ao laboratório de Limnologia e Microbiologia (LABLIM).

Ao Departamento de Engenharia Ambiental e ao prof. Alberto Dresch Webler.

Aos prof. Ana Lúcia Denardin da Rosa, José Luiz Silvério da Silva, Ana Cristina Strava Correa, por compor a banca de avaliação.

Ao laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer, ao prof. Wanderley Rodrigues Bastos por todo o apoio recebido e por aceitar ser meu orientador, muito obrigado.

A todos os integrantes do Grupo de Pesquisa em Águas Superficiais e Subterrâneas por todas as oportunidades de aprendizado, crescimento e de convívio.

E aos que contribuíram para a construção desse trabalho, principalmente a prof Elisabete Lourdes do Nascimento, Ana Lúcia Denardin da Rosa, Alan Gomes Mendonça, Daíse da Silva Lopes, Lindolaine Machado de Sousa, Tiago de Oliveira Lima, Calina Grazielli Dias Barros.

Agradeço à minha orientadora Professora Elisabete Lourdes do Nascimento, a quem não existe o que eu possa dizer para expressar minha gratidão, pois foi muito mais que uma professora, foi amiga, apoiou nos momentos bons e difíceis, obrigada pela preocupação, confiança e pela oportunidade... nunca vou esquecer tudo o que fez por mim.

Ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE nº 2717/2015. Ao *campus* Ji-Paraná da Fundação Universidade Federal de Rondônia.

## **EPÍGRAFE**

“Ora, a fé é a certeza das coisas que se esperam,  
a convicção de fatos que não se vêem.”

Hebreus 11:1

## RESUMO

Um dos grandes desafios do Brasil é a universalização do saneamento, a precariedade no setor e a disponibilidade da água subterrânea faz com que a população a utilize no abastecimento doméstico. O objetivo da pesquisa foi realizar o diagnóstico da água subterrânea da microbacia do Igarapé Nazaré em Ji-Paraná, RO, etapa inicial para a realização do enquadramento. Foram realizadas coletas de água subterrânea nos meses de março, junho, setembro e dezembro de 2019, amostrando 15 poços. A análise de coliformes foi realizada pelo método de membrana filtrante (APHA, 1995). As determinações de condutividade elétrica, temperatura, sólidos totais dissolvidos e pH foram realizadas com sondas específicas. A análise de turbidez foi realizada com turbidímetro portátil. O oxigênio dissolvido, a alcalinidade total, e os nutrientes nitrato, nitrito, amônia, ortofosfato e fósforo total foram medidos segundo APHA (1995). O mapa de fluxo subterrâneo foi realizado pelo método de Krigagem (Software Surfer 13). A vulnerabilidade foi realizada pelo método GOD que avalia o grau de confinamento hidráulico, a ocorrência dos tipos litológicos e a profundidade da água subterrânea. Os resultados apontam que as variáveis que estiveram em desacordo com a Portaria de Consolidação nº 5/2017/MS e com a Resolução CONAMA nº 396/08, foram: pH, turbidez, coliformes totais, *E. coli* e o nitrato. Indicando que a água encontra-se fora dos padrões de potabilidade e imprópria para o consumo humano sem que haja tratamento prévio, podendo apresentar riscos à saúde humana. A superfície potenciométrica demonstrou convergência do fluxo em direção a região central, a qual pode estar recebendo cargas contaminantes. A análise GOD identificou 68% como vulnerabilidade insignificante, 16% baixa vulnerabilidade, 8% média e 8% alta vulnerabilidade. Ressalta-se a necessidade de maior atenção com as áreas de média e alta vulnerabilidade uma vez que podem servir de foco de contaminação e dispersão de poluentes de águas do aquífero livre para águas profundas. Considerando que o enquadramento é o estabelecimento de metas e objetivos de qualidade da água a ser alcançado ou mantido de acordo com os usos que se faz da mesma, conforme a legislação essas águas se enquadram como sendo de classe I, uma vez que são utilizadas para o abastecimento humano sendo consumidas sem tratamento, no entanto não apresentam qualidade compatível com a referida classe.

**Palavras-chave:** Poços rasos; potabilidade; diagnóstico ambiental.



## ABSTRACT

One of the great challenges of Brazil's is the universalization of sanitation, the precariousness in the sector and the availability of groundwater, making the population use it for domestic supply. The objective of the research is to carry out the diagnosis of groundwater in the Igarapé Nazaré microbasin in Ji-Paraná, the first stage for the classification. Groundwater collections were carried out in March, June, September and December 2019, sampling 15 wells. Coliform analysis was performed using the filter membrane method (APHA, 1995). The determinations of electrical conductivity, temperature, total dissolved solids and pH were performed with specific probes. The turbidity analysis was performed with a portable turbidimeter. Dissolved oxygen, total alkalinity, and the nutrients nitrate, nitrite, ammonia, orthophosphate and total phosphorus were measured according to APHA (1995). The underground flow map performed using the Kriging method (Software Surfer 13). The vulnerability realized by the GOD method, which assesses the degree of hydraulic confinement, the occurrence of lithological types and the depth of groundwater. The results show that the variables that were at odds with Consolidation Ordinance N<sup>o</sup> 5/2017 / MS and with CONAMA Resolution N<sup>o</sup> 396/08, pH, turbidity, total coliforms, *E. coli* and nitrate. Indicating that the water is outside the standards of potability and unfit for human consumption without prior treatment, which may present risks to human health. The potentiometric surface showed convergence of the flow towards the central region, which may be receiving contaminating loads. The GOD analysis identified 68% as insignificant vulnerability, 16% low vulnerability, 8% medium, and 8% high vulnerability. The need to pay more attention to areas of medium and high vulnerability is emphasized, since they can serve as a source of contamination and dispersion of pollutants from waters from the free aquifer to deep waters. Considering that the classification is the establishment of water quality goals and objectives to be achieved or maintained according to the uses which is made of it, according to the legislation, these waters are classified as class I, since they are used for the human supply and are consumed without treatment, however they do not have quality compatible with that class.

**Keywords:** Shallow wells; potability; environmental diagnostics.

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	XII
LISTA DE TABELAS.....	XIV
LISTA DE QUADROS .....	XIV
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS .....	XV
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 ÁGUA SUBTERRÂNEA .....</b>	<b>5</b>
2.1.1 <i>Zona saturada</i> .....	7
2.1.2 <i>Zona de aeração ou zona não saturada</i> .....	8
2.1.3 <i>Classificações dos aquíferos</i> .....	8
2.1.4 <i>Tipos de aquíferos</i> .....	9
2.1.5 <i>Aquíferos confinados</i> .....	9
2.1.6 <i>Aquífero livre</i> .....	10
<b>2.2 IMPORTÂNCIA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....</b>	<b>11</b>
<b>2.3 CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....</b>	<b>12</b>
<b>2.4 VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO À CONTAMINAÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2.5 DIREÇÃO DE FLUXO SUBTERRÂNEO .....</b>	<b>17</b>
<b>2.6 FORMAS DE CAPTAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA .....</b>	<b>19</b>
<b>2.7 LEGISLAÇÃO .....</b>	<b>21</b>
<b>2.8 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>24</b>
2.8.1 <i>Área de estudo</i> .....	24
2.8.2 <i>Geomorfologia</i> .....	25
2.8.3 <i>Pedologia</i> .....	25
2.8.4 <i>Vegetação</i> .....	26
2.8.5 <i>Clima</i> .....	27
2.8.6 <i>Hidrografia</i> .....	27
2.8.7 <i>Hidrogeologia</i> .....	28
REFERÊNCIAS .....	31
<b>3 CAPÍTULO I - CARACTERÍSTICAS HIDROSSANITÁRIAS .....</b>	<b>36</b>
<b>3.1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>36</b>
<b>3.2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>39</b>
<b>3.3 RESULTADO E DISCUSÃO.....</b>	<b>40</b>
3.3.1 <i>Questionário socioambiental</i> .....	40
3.3.2 <i>Aspectos Hidrossanitários</i> .....	46
<b>3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>52</b>
REFERÊNCIAS .....	54
<b>4 CAPÍTULO II - QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA .....</b>	<b>57</b>
<b>4.1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>57</b>
<b>4.2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>58</b>
4.2.1 <i>Amostragem</i> .....	58
4.2.2 <i>Análise Microbiológica</i> .....	60
4.2.3 <i>Análises Físico-químicas</i> .....	61
4.2.4 <i>Análise das Componentes Principais</i> .....	61
<b>4.3 RESULTADOS E DISCUSÃO .....</b>	<b>62</b>

4.3.1	<i>Avaliação Microbiológica</i> .....	62
4.3.2	<i>Avaliação Físico-química</i> .....	66
4.3.2.1	Condutividade elétrica .....	66
4.3.2.2	Temperatura .....	67
4.3.2.3	Potencial hidrogênioônico (pH) .....	69
4.3.2.4	Turbidez .....	72
4.3.2.5	Oxigênio dissolvido .....	74
4.3.2.6	Alcalinidade total .....	76
4.3.2.7	Sólidos totais dissolvidos .....	77
4.3.2.8	Nutrientes .....	79
4.3.3	<i>Análise da Componentes Principais (ACP)</i> .....	83
4.4	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	85
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	87
<b>5</b>	<b>CAPÍTULO III - VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO E TENDÊNCIA DE DIREÇÃO DO FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA</b> .....	90
5.1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	90
5.2	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	92
5.2.1	<i>Área de estudo</i> .....	92
5.2.2	<i>Aquisição de dados</i> .....	94
5.2.3	<i>Tendência de direção de fluxo</i> .....	95
5.2.4	<i>Vulnerabilidade natural da água subterrânea</i> .....	95
5.3	<b>RESULTADOS E DISCUSÃO</b> .....	97
5.3.1	<i>Tendência de Direção do Fluxo</i> .....	97
5.3.2	<i>Vulnerabilidade Natural à Contaminação</i> .....	100
5.4	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	105
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES GERAIS</b> .....	106
<b>7</b>	<b>RECOMENDAÇÕES</b> .....	107
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	109
	<b>ANEXO A - QUESTIONÁRIO SÓCIO-AMBIENTAL</b> .....	112
	<b>ANEXO B - FICHA DE CAMPO</b> .....	114

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Representação esquemática da distribuição vertical da água no solo.....	7
Figura 2.2 - Tipos de aquífero e superfície potenciométrica.....	10
Figura 2.3 - Aquífero livre e seus níveis freáticos; aquífero confinado e sua superfície potenciométrica.....	18
Figura 2.4 - Tipos de poços a) poço cacimba. Poço tubular profundo em: b) aquífero fraturado c) aquífero sedimentar.....	20
Figura 2.5 - Mapa de domínios hidrogeológicos do estado de Rondônia.....	28
Figura 2.6 - a) Distribuição da área dos domínios aquíferos em Rondônia. b) Disponibilização de água subterrânea em Rondônia.....	29
Figura 3.1 - Localização da microbacia do igarapé Nazaré em Ji-Paraná (Rondônia), evidenciando a distribuição dos 15 pontos de coleta.....	39
Figura 3.2 - Tipo de instalação predial.....	41
Figura 3.3 - Quantas pessoas moram na residência? .....	41
Figura 3.4- Tempo que reside no local.....	42
Figura 3.5 - Forma de aquisição do terreno.....	42
Figura 3.6 - Fonte de abastecimento de água.....	43
Figura 3.7 - Realiza algum tratamento da água.....	43
Figura 3.8- Frequência da aplicação do cloro.....	44
Figura 3.9 - Destino final dos resíduos sólidos.....	45
Figura 3.10 - Frequência de coleta dos resíduos sólidos.....	45
Figura 3.11 - Frequência de doenças relacionadas a água.....	46
Figura 3.12 - Profundidade total dos poços e lâmina d'água em cada período.....	48
Figura 3.13 - Precipitação mensal no ano de 2019.....	49
Figura 3.14 - Condições de revestimento dos poços a) poço 3, b) poço 6, c) poço 8.....	50
Figura 3.15 - Condições das tampas dos poços a) poço 10, b) poço 2, c) poço 11.....	51
Figura 4.1 - Localização da microbacia do igarapé Nazaré em Ji-Paraná (Rondônia), evidenciando a distribuição dos 15 pontos de coleta.....	58
Figura 4.2 - Série temporal da precipitação média mensal na região do período de 1987 a 2018, e no ano de 2019.....	59
Figura 4.3 - Resultados de condutividade elétrica obtidos nos períodos analisados.....	66

Figura 4.4- Gráficos Box-Plot de Condutividade elétrica nos períodos analisados.....	67
Figura 4.5 - Resultados de temperatura nos períodos analisados.....	68
Figura 4.6 - Gráficos Box-Plot de temperatura nos períodos analisados.....	69
Figura 4.7 - Resultados de pH nos períodos analisados.....	70
Figura 4.8 - Gráficos Box-Plot do pH nos períodos analisados.....	71
Figura 4.9 - Resultados de turbidez nos períodos analisados.....	72
Figura 4.10- Gráficos Box-Plot de turbidez nos períodos analisados.....	73
Figura 4.11- Resultados de oxigênio dissolvido nos períodos analisados.....	74
Figura 4.12- Gráficos Box-Plot de oxigênio dissolvido nos períodos analisados.....	75
Figura 4.13- Resultados de Alcalinidade nos períodos analisados.....	76
Figura 4.14- Gráficos Box-Plot de alcalinidade nos períodos analisados.....	77
Figura 4.15- Resultados de sólidos totais dissolvidos nos períodos analisados.....	78
Figura 4.16- Gráficos Box-Plot de sólidos totais dissolvidos nos períodos analisados.....	79
Figura 4.17- Resultados de nitrato nos períodos analisados.....	82
Figura 4.18- Gráficos Box-Plot de nitrato nos períodos analisados.....	83
Figura 4.19- Projeção dos dados da Análise das Componentes Principais (ACP) da microbacia do Igarapé Nazaré nos períodos analisados.....	84
Figura 5.1- Localização do município de Ji-Paraná Rondônia, Brasil.....	92
Figura 5.2 - Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia do Igarapé Nazaré 2019.....	93
Figura 5.3- Sistema GOD para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação.....	96
Figura 5.4- Mapa da Superfície Potenciométrica e tendência da direção de fluxo.....	99
Figura 5.5 - Mapa Índice Vulnerabilidade natural do Aquífero subterrâneo.....	102
Figura 5.6 - Vulnerabilidade natural do aquífero, direção do fluxo subterrâneo e pontos de contaminação.....	103

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Vulnerabilidade natural à poluição do aquífero.....	17
Tabela 3.1- Profundidade total dos poços e profundidade de superfície da água.....	47
Tabela 3.2 - Características dos poços amostrados.....	49
Tabela 4.1-Periodos amostrais na microbacia do Igarapé Nazaré em Ji-Paraná.....	59
Tabela 4.2 - Resultado de coliformes totais e os valor recomendado pelas legislações.....	63
Tabela 4.3 - Resultado de <i>Escherichia coli</i> ( <i>E. coli</i> ) e os valor recomendado pelas legislações.....	65
Tabela 4.4 - Resultados dos nutrientes fósforo total, fósforo dissolvido, amônia, nitrito para os períodos avaliados.....	80
Tabela 4.5 - Correlação das variáveis em estudo, nos eixos 1 e 2 resultantes da Análise das Componentes Principais (ACP).....	84
Tabela 5.1 - Definição prática das classes de vulnerabilidade do aquífero.....	97

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Principais métodos para determinação da vulnerabilidade à poluição de aquíferos. .....	15
Quadro 5.1-Dados dos 47 poços tubulares cadastrados no SIAGAS no município de Ji-Paraná. .....	98
Quadro 5.2 - Resultados obtidos da aplicação do sistema GOD aos vinte cinco poços tubulares.....	100

## **LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS**

ANA-Agência Nacional de Águas

MMA-Ministério do Meio Ambiente

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

SINGRH-Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos-

SISNAMA-Sistema Nacional de Meio Ambiente

CNRH-Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CONAMA-Conselho Nacional do Meio Ambiente

PLANSAB-Plano Nacional de Saneamento Básico

GOD - Grau de confinamento hidráulico (G), Ocorrência litológica (O) e a Distância do nível da água (D)

NAPL-Non aqueous phase liquids

SVE-Extração de vapor do solo

PNRH-Política Nacional de Recursos Hídricos

MI-Ministério do Interior

CRH-Conselho Estadual de Recursos Hídricos

ABH-Agências de Bacias Hidrográficas,

km - Quilômetro

m - metro

PESACRE - Grupo de Pesquisa e Extensão em Sistemas Agroflorestais do Acre

ZSEE-RO - Zoneamento Socioeconômico-Ecológico do Estado de Rondônia

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

SEDAM-Secretaria de Estado de Desenvolvimento Ambiental

mm Milímetro

PERH/RO-Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Rondônia

SAP-Sistema Aquífero Parecis

CAERD - Companhia de Água e Esgoto de Rondônia

GPS - Sistema de Posicionamento Global

AA - Águas altas

AA/AB -Transição de Águas altas para águas baixas

AB-Águas Baixas

AB/AA - Transição de Águas baixas para águas altas

NBR - Norma técnica Brasileira

PRC - Portaria de Consolidação

MS - Ministério da Saúde

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

LABLIM - Laboratório de Limnologia e Microbiologia

UNIR - Universidade Federal de Rondônia

CT - Coliformes Totais

*E. coli - Escherichia coli*

APHA - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

UFC/100mL - Unidades Formadoras de Colônia por 100mL

CE - Condutividade Elétrica,

T °C - Temperatura em Graus Celsius

pH - Potencial Hidrogênioônico

OD - Oxigênio Dissolvido



AL - Alcalinidade Total

STD - Sólidos Totais Dissolvidos

(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) Nitrato

(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) Nitrito

(NH<sub>3</sub>), Amônia

(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), Amônio

(N<sub>2</sub>O) Óxido Nitroso

(N<sub>2</sub>) Nitrogênio Molecular

PD Fósforo Dissolvido

PT Fósforo Total

ACP - Análise dos Componentes Principais

et al. E outros

μS.cm<sup>-1</sup> Microsiemens por Centímetro

VMP Valor Máximo Permitido

uT Unidades de Turbidez

mg.L<sup>-1</sup> Miligramas por Litro

CO<sub>2</sub> Dióxido de Carbono

CaCO<sub>3</sub> Carbonato de Cálcio

μg.L<sup>-1</sup> Microgramas por Litro

CP- Cota do poço

CF-Cota da fossa

PF - Profundidade de fundo

PS - Profundidade de Superfície

SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Serviço Geológico do Brasil-.

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission.

WGS 84 - World Geodetic System 1984

# 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, país considerado abundante em recursos hídricos, a disponibilidade de água é cada vez menor devido à degradação de sua qualidade. Neste cenário, a água subterrânea apresenta grande importância social e econômica, desempenhando um papel fundamental para maior segurança hídrica do país (BERTOLO, 2018).

As águas subterrâneas são águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo, podendo ocorrer em zona não saturada e na zona saturada (BRASIL, 2008). Estão disponíveis em todas as regiões da terra, constituindo importante recurso natural, sendo utilizadas para atender aos diversos usos, devido sua grande disponibilidade e qualidade (TUNDISI & TUNDISI, 2011).

No que tange ao abastecimento de água, as captações subterrâneas correspondem a 63% do total de captações outorgadas para atender diversos usos (ANA, 2017a). Além disso, as águas subterrâneas assumem relevante importância na interação que exercem com as águas superficiais, onde muitos rios são alimentados pelo fluxo subterrâneo, fazendo com que estes apresentem caudal durante todo o ano, mesmo quando não ocorre precipitação (MIDÕES, et al., 2001; ANA, 2017a).

A região com maior abundância em recursos hídricos no Brasil é a região norte, principalmente levando-se em conta a baixa densidade populacional (TUNDISI & TUNDISI, 2011). No entanto, o meio aquático tem ficado em segundo plano, isto porque, a ideia de abundância faz com que os setores da sociedade desconsiderem as interações complexas que ocorrem no ecossistema amazônico, onde qualquer modificação por atividade antrópica no ambiente terrestre terá, mais cedo ou mais tarde, efeitos diretos e indiretos sobre os recursos hídricos e na saúde pública (RIBEIRO, 2004).

Assim, em função da crescente demanda em seu uso, as águas subterrâneas têm sofrido forte pressão, devido à superexploração e problemas de degradação da sua qualidade por atividades antrópicas, como a contaminação por esgotos domésticos e industriais, vazamento em postos de combustíveis, lixões, poluição agrícola, poços mal instalados e abandonados (MMA, 2007).

Essa contaminação se torna ainda mais preocupante tendo em vista que o Brasil possui condições sanitárias precárias na maioria das cidades, repercutindo, principalmente, sobre as taxas de mortalidade infantil (TUNDISI & TUNDISI, 2011). E, embora a região norte possua abundância deste recurso, em contrapartida, é a mais carente em termos de serviços coletivos de esgotamento sanitário. Em Ji-Paraná 77% da população não é atendida com serviço de esgotamento sanitário, 18% utiliza soluções individuais, cerca de 4% tem seu esgoto coletado porém não recebe tratamento antes da disposição final (BRASIL, 2018).

Assim, em decorrência da ausência desse serviço, grande parte da população tende a utilizar formas alternativas de dispor seus dejetos, através de fossas negras e sépticas ou lançando diretamente nos cursos d'água. A maioria das residências que utilizam água de poços, contemplam à fração da população em que não há rede de esgoto ou de drenagem, o que contribui para a contaminação dos aquíferos. Segundo o IBGE (2015), 47,8% da população do estado de Rondônia utiliza como forma de abastecimento poços ou nascentes.

O histórico de vigilância da qualidade da água mostra a frequente contaminação de poços cacimba, especialmente por esgotos, indicando que este tipo de captação é bastante vulnerável, pois a água é extraída de níveis mais rasos do aquífero, com elevada incidência de agentes patogênicos causadores de doenças hídricas (IRITANI & EZAKI, 2012). Dentre os principais contaminantes pode-se citar vírus e microrganismos patogênicos que causam problemas como diarreias e outras doenças, derivados de petróleo, metais pesados e o nitrato (ANA, 2017a).

O nitrato, por sua vez, é o poluente de maior ocorrência nas águas subterrâneas devido ao uso de fertilizantes, criação de animais e ao sistema de saneamento *in situ* (VARNIER & HIRATA, 2002), tem sido utilizado mundialmente como indicador de contaminação devido sua alta mobilidade, podendo atingir extensas áreas (VARNIER et al., 2010). Além disso, em determinadas concentrações o nitrato pode causar a metemoglobinemia, doença que dificulta o transporte de oxigênio na corrente sanguínea de bebês, assim como a formação potencial de nitrosaminas e nitrosamidas, substâncias consideradas carcinogênicas (ALABURDA & NISHIHARA, 1998).

Diversos trabalhos com água subterrânea como os realizados por Ferreira et al. (2013), Nunes et al. (2012), Helbel (2011) e Silva (2008) no município de Ji-Paraná, vêm associando a perda da qualidade dessas águas ao uso e ocupação do solo. Todos estes estudos encontraram presença de coliformes totais, *Escherichia coli* e nitrato, devido ao contato destas águas com esgoto doméstico e o uso de fertilizantes, indicando que estão impróprias para o consumo humano.

Cabe ressaltar, ainda, que o problema da contaminação das águas subterrâneas é agravado quando observado que as águas de poços subterrâneos, geralmente, são consumidas sem qualquer tipo de tratamento prévio (TUNDISI & TUNDISI, 2011).

Pelo exposto, observa-se que o comprometimento da qualidade das águas subterrâneas ocorre em grande parte pela carga poluidora dos lançamentos de esgotos domésticos. Mas, também, poços construídos sem critérios técnicos tendem a criar uma conexão entre águas mais rasas (mais suscetíveis à contaminação) com águas mais profundas (menos vulneráveis), ocasionando a contaminação dos aquíferos, uma vez que a falta de saneamento básico coloca poços de abastecimento de água junto a fossas negras (ANA, 2017a).

O Objetivo do Desenvolvimento Sustentável ODS 6 é assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável de água e saneamento para todos, representa um grande avanço no sentido de trazer a questão da água e do saneamento para o centro da discussão, que passa a considerar uma visão mais abrangente da água como recurso hídrico, em termos de quantidade e qualidade colocando a água como elemento central de temas que possuem relação com diversos outros ODS, como saúde pública e o meio ambiente (ANA, 2019). Nesse sentido a questão da qualidade da água subterrânea vem se tornando cada vez mais importante para o gerenciamento dos recursos hídricos no país (ANA, 2007).

De modo que a caracterização das águas subterrâneas é essencial para estabelecer a referência de sua qualidade (BRASIL, 2008), o que possibilita o seu enquadramento, que é um dos instrumentos de gestão proposto pela Política Nacional de Recursos Hídricos, que visa estabelecer o nível de qualidade, ou seja, as classes a serem alcançadas ou mantidas em um corpo d'água.

O enquadramento é de extrema relevância, serve de referência para os demais instrumentos de gestão dos recursos hídricos e de gestão ambiental, pois se apresenta como um importante elo entre o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos-SINGRH e o Sistema Nacional de Meio Ambiente-SISNAMA (ANA, 2007).

Segundo a Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos-CNRH n° 91, de 2008, que dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos, no art. 3° a proposta de enquadramento deve conter, diagnóstico, prognóstico, proposta de metas relativas as alternativas de enquadramento e programa de efetivação.

A legislação que trata dos aspectos da água subterrânea no Brasil é a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA n° 396 de 2008, a qual dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento, prevenção e controle da poluição das águas subterrâneas.

Segundo a referida legislação para o enquadramento devem ser considerados: a caracterização hidrogeológica e hidrogeoquímica; a caracterização da vulnerabilidade e dos riscos de poluição; cadastramento de poços existentes e em operação; o uso e ocupação do solo e seu histórico; viabilidade técnica e econômica do enquadramento; localização das fontes potenciais de poluição; e a qualidade natural e a condição de qualidade das águas subterrâneas.

Assim, considerando o potencial hídrico da região e seu papel estratégico no contexto atual da crise dos recursos hídricos, bem como a vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas, o planejamento sustentável e o enquadramento dos corpos d'água subterrâneos devem ser priorizados nas políticas ambientais, com a finalidade de preservar o ambiente aquático desta região para as gerações atuais e futuras.

Considerando que a prevenção e o controle da poluição estão diretamente relacionados aos usos e classes de qualidade de água exigidas para um determinado corpo hídrico subterrâneo (CONAMA n° 396/08), a produção e disponibilização de informações no município de Ji-Paraná/RO preencheria a lacuna existente uma vez que na região ainda não foram estabelecidos

o enquadramento das mesmas. Contribuindo de maneira efetiva para conhecimento, gestão e regulação dos recursos hídricos no município.

Diante disso, a presente pesquisa contribuirá com informações importantes para melhor gerir os impactos já existentes na área, e este diagnóstico se apresenta como a primeira etapa para a realização de um futuro enquadramento, importante ferramenta para reverter impactos, e garantir a sustentabilidade desse importante recurso para as gerações atuais e futuras.

Objetivo geral desta pesquisa consiste em realizar o diagnóstico da água subterrânea na microbacia do igarapé Nazaré (Ji-Paraná, Rondônia) como subsídio para seu enquadramento.

Objetivos específicos:

- Caracterizar as práticas e medidas hidrossanitárias utilizadas no abastecimento hídrico e na disposição do esgotamento sanitário nas residências da área estudada;
- Avaliar a qualidade da água subterrânea;
- Verificar o grau de vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero por meio do método GOD (Grau de confinamento hidráulico do aquífero, a ocorrência dos tipos litológicos penetrados pelo poço e a profundidade da água subterrânea);
- Elaborar mapa potenciométrico, caracterizar a tendência de direção do fluxo subterrâneo, assim como identificar possíveis fontes de contaminação para a água subterrânea.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 *Água Subterrânea***

A água é um bem que deve ser utilizado pelo homem para sua sobrevivência e melhoria de suas condições econômicas, sociais e comunitárias. Além disso, a água é também um meio onde habitam organismos que necessitam condições ambientais adequadas para sua sobrevivência (BENETTI & BIDONE, 2015).

Quando o padrão espacial de disponibilidade de água, não está em sintonia com o padrão espacial das necessidades dos centros de consumo, ou seja, a distribuição dos locais onde

existem necessidades relacionadas com os recursos hídricos, a solução para a satisfação das necessidades é a procura por água em outros locais, isso poderá levar-nos a buscar água no subsolo ou superficialmente, em outras localidades (LANNA, 2015).

O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e a rotação terrestre (SILVEIRA, 2015).

Quase toda a água subterrânea existente na terra tem origem no ciclo hidrológico, isto é, no sistema pelo qual a natureza faz a água circular do oceano para a atmosfera e daí para os continentes, de onde retorna, superficial e subterraneamente, ao oceano. Este ciclo é governado, pela ação da gravidade, densidade da cobertura vegetal e, pelos elementos e fatores climáticos, que são os responsáveis pelos processos de circulação da água dos oceanos para a atmosfera, em uma dada latitude terrestre (FILHO, 2008).

A água que circula invisível pelo subsolo da Terra e deságua nos rios durante o período que não chove (13.000 km<sup>3</sup>/ano) constitui a contribuição do manancial subterrâneo. Ela resulta, principalmente, da infiltração nos terrenos de parcela das águas precipitadas da atmosfera na forma de chuva, neblina ou neve (REBOUÇAS, 2008). A reserva total de água subterrânea no Brasil é da ordem de 112.000 km<sup>3</sup>, sendo que cerca de 90% estão nas bacias sedimentares (REBOUÇAS, 2008).

Desde os tempos antigos até 1900, o foco principal da ciência das águas subterrâneas tem sido encontrar e desenvolver recursos de exploração das águas subterrâneas. A água subterrânea ainda é um recurso fundamental, e sempre será. Em alguns lugares, ela é a única fonte de água fresca e doce como por exemplo na Ilha Nantucket, Massachusetts e partes do Saara na África, (FITTS, 2015).

No século passado, aspectos de engenharia e ambientes da água subterrânea também se tornaram importantes. Com o aumento do uso da água na irrigação, indústria e maiores projetos de engenharia, foi necessário o uso de fontes de água de tamanho industrial e a necessidade de



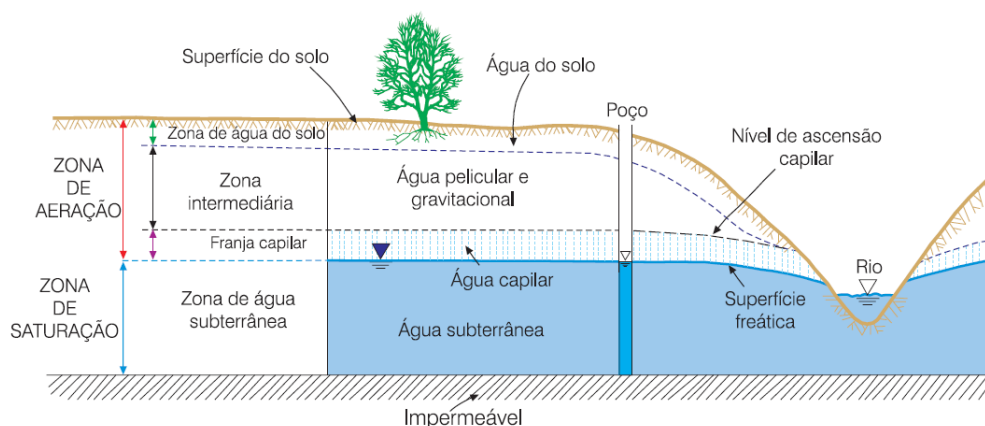
compreender como a água subterrânea afeta estruturas como túneis, represas e escavações profundas (FITTS, 2015).

### 2.1.1 Zona saturada

Abaixo da superfície do terreno, a água contida no solo e nas formações geológicas é dividida, basicamente, em duas zonas horizontais (figura 2.1), denominadas de zona saturada e zona não saturada, de acordo com a proporção relativa do espaço poroso que é ocupado pela água (FILHO, 2008).

Abaixo do lençol freático está a zona saturada ou zona freática, onde as pressões da água são maiores do que as atmosféricas (FITTS, 2015). Fica situada abaixo da superfície freática e nela todos os vazios existentes no terreno estão preenchidos com água. A superfície freática é definida como lugar geométrico dos pontos em que a água se encontra submetida a pressão atmosférica (FILHO, 2008).

Figura 2.1 - Representação esquemática da distribuição vertical da água no solo.



Fonte: Feitosa et al. (2008).

A zona de saturação está limitada superiormente pela linha de saturação (superfície piezométrica) e inferiormente por uma barreira impermeável. As fontes, os poços e as correntes efluentes tem origem na zona de saturação (CAICEDO, 2015).

Embora toda a água situada abaixo da superfície da terra seja evidentemente subterrânea, na hidrogeologia a denominação água subterrânea é atribuída apenas a água que circula na zona saturada, isto é, na zona situada abaixo da superfície freática (FILHO, 2008).

### **2.1.2 Zona de aeração ou zona não saturada**

A zona insaturada, zona de aeração (figura 2.1) ou vadosa (rasa), é definida como a zona acima do lençol freático, onde a pressão de água porosa é menor que a atmosfera. Na maior parte da zona insaturada, os espaços porosos contêm parte ocupada por ar e também por água. O termo água vadosa se aplica a toda água na zona insaturada (FITTS, 2015). De baixo para cima divide-se em três partes (FILHO, 2008).

Zona capilar (franja capilar) se estende da superfície freática até o limite de ascensão capilar da água. É o limite abaixo do qual o solo é considerado praticamente saturado (cerca de 75%) (FILHO, 2008). Tradicionalmente ela tem sido atribuída a zona insaturada, embora seja fisicamente contínua e semelhante à zona saturada, sua espessura varia, dependendo dos tamanhos dos poros no meio (FITTS, 2015).

Zona intermediária – compreendida entre o limite de ascensão capilar da água e o limite de alcance das raízes das plantas (FILHO, 2008).

Zona de água do solo - chamada também de zona de evapotranspiração, fica situada entre os extremos radiculares da vegetação e a superfície do terreno (FILHO, 2008).

### **2.1.3 Classificações dos aquíferos**

Os termos aquíferos e camada de confinamento são denominações relativas as zonas ou camadas de materiais com água encontradas abaixo da superfície. Os aquíferos são camadas com maior condutividade hidráulica e camadas de confinamento ou camadas confinantes (aquitardos) são as camadas com menor condutividade hidráulica (FITTS, 2015).

O aquífero é definido como uma formação geológica (ou um grupo de formações) que contém água e permite que a mesma se movimente no seu interior em condições naturais e em

quantidades significativas (CAICEDO, 2015). As formações permeáveis, como areias e os arenitos, são exemplos de aquíferos (FILHO, 2008).

O Aquiclude é uma formação geológica que pode conter água, mas sem condição de movimentá-la de um lugar para outro, em condições naturais e em quantidades significativas (CAICEDO, 2015). São exemplos de aquicludes as formações impermeáveis, como as camadas de argila (FILHO, 2008).

Aquitardo é uma formação geológica de natureza semipermeável, que transmite água a uma taxa muito baixa, comparada com a do aquífero (CAICEDO, 2015). Delimitada no topo e/ou na base por camadas de permeabilidade muito maior, o aquitardo tem o comportamento de uma membrana semi-permeável através da qual pode ocorrer uma filtração vertical ou drenança (FILHO, 2008).

E por fim, a denominação aquífugo aplica-se a uma formação impermeável que nem armazena nem transmite água (FILHO, 2008).

#### **2.1.4 Tipos de aquíferos**

Em um sistema geológico, a natureza e a distribuição dos aquíferos e aquitardos são controladas pela litologia, estratigrafia e estrutura das formações geológicas (FILHO, 2008).

Dependendo da ausência ou da presença da linha da água os aquíferos podem ser classificados em confinados e não-confinados ou seja livres, sendo geralmente os aquíferos confinados de grande produção, enquanto que os aquíferos livres são os mais explorados devido ao fácil acesso (CAICEDO, 2015).

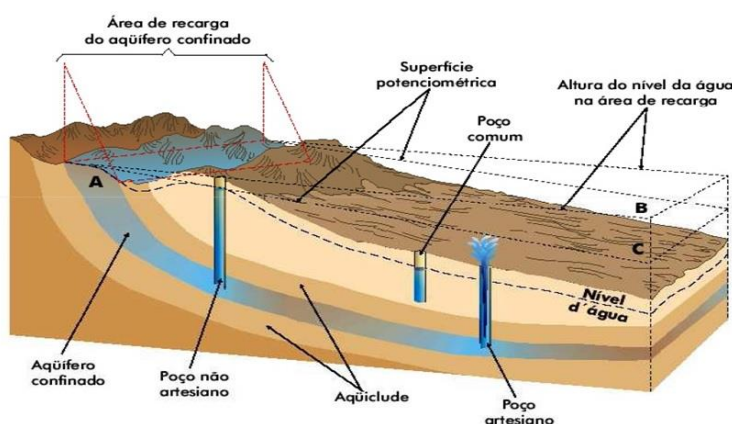
#### **2.1.5 Aquíferos confinados**

Em um aquífero confinado (figura 2.2), toda a espessura da camada do aquífero é saturada e há uma camada de confinamento limitante superiormente e inferiormente por formações impermeáveis (FITTS, 2015).

O aquífero confinado encontra-se a uma pressão maior que a pressão atmosférica. O aquífero artesiano é um aquífero confinado onde a elevação da superfície piezométrica está sobre a superfície do terreno (CAICEDO, 2015). O nível de água no poço nesse caso fluirá livremente sem a necessidade de bombeamento, e o poço é chamado de poço artesiano (FITTS, 2015).

Segundo Filho (2008), em função das características das camadas limítrofes, podem ser definidos como aquíferos confinados não drenantes e confinados drenantes (FILHO, 2008).

Figura 2.2 - Tipos de aquífero e superfície potenciométrica.



Fonte: Karmann (2009).

Aquíferos confinados não drenantes são aquíferos cujas camadas limítrofes, superior e inferior, são impermeáveis. Em um poço que penetra num aquífero desse tipo, o nível da água subterrânea fica acima da base da camada confinante superior (FILHO, 2008).

Já os aquíferos confinados drenantes são aqueles onde, pelo menos, uma das camadas limítrofes é semipermeável, permitindo a entrada ou saída de fluxos pelo topo ou pela base, ocorrendo drenança ascendente ou descendente (FILHO, 2008).

### 2.1.6 Aquífero livre

O aquífero livre (figura 2.2) ou não confinado é aquele onde o lençol freático ocorre dentro da camada do aquífero, também são chamados lençóis freáticos ou lençóis aquíferos (FITTS, 2015).

São aqueles cujo limite superior é a superfície de saturação ou freática na qual todos os pontos encontram à pressão atmosférica. As áreas de recarga dos aquíferos confinados correspondem a aquíferos livres através dos quais os excessos de água da chuva conseguem penetrar por infiltração (FILHO, 2008).

Em alguns ambientes heterogêneos, pode haver um caso especial de aquífero livre, denominado de aquíferos suspensos que são zonas de saturação completamente cercadas por zonas não saturadas (FITTS, 2015). Esses aquíferos as vezes existem em caráter temporário, na medida em que drenam para o nível freático subjacente (FILHO, 2008).

A exemplo dos aquíferos confinados, os aquíferos livres também se classificam em drenantes ou de base semipermeável, e não drenantes quando a base é impermeável (FILHO, 2008).

## **2.2 Importância da Água Subterrânea**

Dos reservatórios de água doce, o gelo glacial e as águas subterrâneas são de longe os maiores. As águas subterrâneas e as águas na superfície são os dois reservatórios mais usados pelo homem, devido a sua acessibilidade. As águas subterrâneas doces são cerca de 100 vezes mais abundantes do que a água doce de superfície, mas usamos mais água da superfície porque ela é mais acessível (FITTS, 2015).

Todavia desde a década de 1970, graças aos progressos das técnicas de construção de poços, as crescentes performances de bombas e a expansão da oferta de energia elétrica, já não há água subterrânea inacessível aos meios tecnológicos disponíveis nos países desenvolvidos, e na maioria dos em desenvolvimento (REBOUÇAS, 2008).

O manancial subterrâneo constitui o maior volume de água doce que ocorre na Terra na forma líquida, da ordem de 10,3 milhões km<sup>3</sup>, enquanto os rios e lagos acumulam cerca de 10 mil km<sup>3</sup> (REBOUÇAS, 2008). A reserva total de água subterrânea no Brasil é da ordem de 112.000 km<sup>3</sup>, e cerca de 90% estão nas bacias sedimentares (REBOUÇAS, 2008).

Os aquíferos subterrâneos são reservas naturais que apresentam um regime de disponibilidade hídrica praticamente constante, quando não submetidos à sobreexploração (extração maior que

a recarga), o que ocasionará o rebaixamento e diminuição de disponibilidade hídrica (LANNA, 2015).

Em mais de 90% do território brasileiro os rios nunca secam, indicando que a infiltração das chuvas que caem nestes domínios é importante. Caso contrário, diz-se que os rios têm regime de fluxo temporário, ou seja, praticamente secam durante os meses do ano em que não chove. Esta é a situação nos rios do Nordeste semiárido do Brasil, cujas bacias hidrográficas encontram-se nos terrenos cristalinos subaflorantes e, praticamente, impermeáveis (REBOUÇAS, 2008).

Para o consumo doméstico a importância da água subterrânea decorre principalmente do fato de poder ser captada no meio urbano, no terreno que abastece. Tendo em vista que o material aquífero não saturado, através do qual a água infiltra, funciona como um filtro e reator biogeoquímico de depuração, a água subterrânea é protegida dos agentes de degradação da sua qualidade. Assim, uma obra de captação mal construída representa um verdadeiro foco de contaminação da água subterrânea (REBOUÇAS, 2008).

### **2.3 Contaminação das Águas Subterrâneas**

A água apresenta duas características que condicionam a formação da sua qualidade, a capacidade de dissolução e de transporte, podendo dissolver substâncias as quais conferem à características peculiares, e que são transportadas ao longo dos cursos d'água (BRASIL, 2014). Devido a sua capacidade de solubilização e de erosão dos continentes, a água não se encontra pura na natureza, e sim como uma dissolução aquosa de sais, gases e matéria orgânica. Praticamente todos os elementos químicos encontram-se dissolvidos em águas naturais, ainda que em baixas proporções (BENETTI & BIDONE, 2015).

Muitas são as atividades que causam poluição. O termo poluição pode ser definido como alteração nas características físicas, químicas ou biológicas de águas naturais decorrentes de atividades humanas (BENETTI & BIDONE, 2015).

Questões químicas e de contaminação ambiental tomaram a frente da ciência de águas subterrâneas somente há algumas décadas. A contaminação abaixo da superfície tornou-se mais

divulgada à medida que as nações se industrializaram, usando e dispondo de mais combustíveis baseados em petróleo e metais (FITTS, 2015).

As fontes de contaminação podem ter diversos tamanhos e formas. Pode-se citar como fontes pontuais: tanques subterrâneos vazando, lagoa de receptação de água de esgoto, sistema séptico, derramamento de resíduo químico. E fontes não pontuais as chuvas poluídas, pesticidas aplicados em lavouras, desastres e rodovias (FITTS, 2015).

A captação de água nas cidades do Brasil é tanto mais precária, quanto os poços são rasos ou que se utilizam dos aquíferos livres ou freáticos. Vale destacar que no Brasil, em geral, a degradação da qualidade da água subterrânea poderá ser gerada por diversos fatores, tais como: A falta de saneamento básico, falta de coleta ou disposição adequada do resíduo que se produz, vazamento de tanques de combustíveis próximos, caóticas condições de uso e ocupação do solo nas cidades e uso de métodos de irrigação pouco eficiente (REBOUÇAS, 2008).

É mais facilmente evitada a poluição de aquíferos subterrâneos do que de rios ou lagos, embora na despoluição destes mananciais ocorra exatamente o contrário (LANNA, 2015). Uma vez que é reconhecido que os processos de remediação são extremamente complexos e dispendiosos, quando não impossíveis (FEITOSA & FEITOSA, 2008).

Daí a necessidade estratégica de preservação qualitativa dos aquíferos subterrâneos, como reserva hídrica para as futuras gerações, atividades que tem assumido a maior relevância em regiões industrializadas e com alta densidade demográfica, que apresentam alta demanda, acrescida de alto potencial de poluição (LANNA, 2015). Pois o atual uso descontrolado da água subterrânea no Brasil vem gerando sérios impactos nos sistemas naturais de fluxos subterrâneos e problemas de recalque diferenciado do subsolo (REBOUÇAS, 2008).

A forma como se processa a contaminação no subsolo depende da geologia local, dos padrões de fluxo das águas subterrâneas, dos processos que ocorrem nos poros, assim como dos processos em escala molecular, podendo se espalhar rapidamente ou se difundir em um passo muito lento (FITTS, 2015).

Quando se fala em contaminação de águas subterrâneas, trata-se de solutos dissolvidos na água que podem torná-la imprópria para nosso uso ou imprópria para um ecossistema. A maior parte das águas naturais contém pelo menos alguma quantidade de substâncias dissolvidas que consideramos potencialmente contaminantes, mas em concentrações baixíssimas, que não nos impõem risco à saúde (FITTS, 2015). Para um contaminante ser um problema potencial, ele precisa estar presente em determinada concentração que venha causar algum risco significativo à saúde humana ou a um ecossistema natural (FITTS, 2015).

A solução para os problemas de contaminação de águas subterrâneas não é algo trivial. O problema e sua origem estão fora de visão, e sua distribuição espacial é sempre incerta. Problemas de contaminação evoluem em resposta a processos físicos, químicos e biológicos complexos e entrelaçados, que compreendemos de modo limitado (FITTS, 2015). Entre os métodos de remediação podemos citar Remoção ou isolamento da fonte, Recuperação de NAPL (Nonaqueous Phase Liquids), Isolamento hidráulico de plumas e solutos, Extração de vapor do solo (SVE), Biorremediação: Barreiras reativas construídas no local.

## **2.4 Vulnerabilidade do Aquífero à Contaminação**

O termo vulnerabilidade de um aquífero à contaminação representa sua maior suscetibilidade a ser adversamente afetado por uma carga contaminante imposta (FOSTER & HIRATA, 1993). É decorrente das propriedades físico-químicas inerentes do meio que expressa a susceptibilidade hidrogeológica da água ser afetada por contaminantes (Maia & Cruz 2011). É um conceito inverso da capacidade de assimilação de contaminantes de um corpo receptor de água superficial, com a diferença de que os aquíferos possuem uma cobertura de substrato que proporciona uma maior proteção (FOSTER & HIRATA, 1993).

O conceito de vulnerabilidade de aquíferos foi utilizado por Le Grand em 1964 nos Estados Unidos, a partir de então diversas metodologias foram desenvolvidas nessa temática, o quadro 2.1 mostra as diferentes métodos de cartografia de vulnerabilidade de aquíferos, descrevendo seus principais objetivos e os parâmetros utilizados (HIRATA & REBOUÇAS, 1999).



Quadro 2.1 - Principais métodos para determinação da vulnerabilidade à poluição de aquíferos.

MÉTODO	AValiação DE	FATORES	REFERÊNCIA
SURFACE IMPOUNDMENT ASSESSMENT	Sistemas de disposição de águas servidas	-Zona não saturada -importância do recurso -qualidade de águas subterrâneas -periculosidade do material	LE GRAND (1964)
LANDFILL SITE RANKING (método Le Grand-Brown)	Aterros sanitários novos e em operação	-distância aterro e poços produtores -profundidade do nível d'água -gradiente do aquífero -permeabilidade e capacidade de atenuação	LE GRAND (1983)
SITE RANKING SYSTEM	Disposição de produtos químicos, novos e em operação	-solo, caract. Hidráulica, sorção e tamponamento químico -hidrodinâmica do aquífero -ar -população próxima	HAGERTY et al. (1973)
POLUIÇÃO DOS LENÇÓIS AQUÍFEROS	Vulnerabilidade geral	-geologia (litologia e estrutura)	TALTASSE (1972)
WASTE-SOIL INTERACTION MATRIX	Disposição de resíduos sólidos e líquidos e novas indústrias	-efeitos na saúde -características do produto químico -comportamento dos produto -capacidade do solo/atenuação -hidrogeologia -características do local	PHILIPS et al. (1977)
SITE RANKING METHODOLOGY	Disposição de resíduos sólidos e líquidos e novas indústrias	-receptor-população/uso da água/uso local/degradação ambiental -caminhos, nível e tipo de contaminação; profundidade do nível d'água; pluviometria; Permeabilidade do solo -característica do resíduo-toxicidade, persistência -prática de manejo-aspectos operacionais e construtivos	KULFS et al (1980)
TPE	Áreas de risco de contaminação	-velocidade da água subterrânea -porcentagem de argila -atividade potencialmente contaminante -exploração dos aquíferos	SILVA et al. (1980)
HAZARD RANKING SYSTEM	Áreas prioritárias para limpeza do aquífero	-migração-características do meio e resíduo; quantidade de produto; população próxima -explosão e fogo -contato direto	CALDWELL et al. (1981)
MAPA DE VULNERABILIDADE	Vulnerabilidade geral	-características litológicas -área de recarga e descarga	DUARTE (1980)
BRINE DISPOSAL METHODOLOGY	Águas de formação em campos de petróleo e gás	-método de disposição -volume -geologia -densidade de poços de petróleo -proximidade de poços de água	WESTERN MICHIGAN UNIVERSITY (1981)
PESTICIDE INDEX	Pesticidas, uso normal	-características físico-química de pesticida -clima -perfil do solo -cultura	RAO et al. (1985)
DRASTIC	Vulnerabilidade geral	-D profundidade da água subterrânea -R recarga -A meio aquífero -S solo -T topografia -I impacto no aquífero -C condutividade hidráulica	ALLER et al. (1985)

GOD	Vulnerabilidade geral	-G tipo de aquífero -O litologia zona vadosa -D profundidade da água	FOSTER & HIRATA (1988)
GROUNDWATER VULNERABILITY MAP FOR NITRATE	Potencial de lixiviação de nitrato	-tipo de solo -características hidráulica e litológica do aquífero	CARTER et al. (1987)
POTENTIAL WASTE SITES (PWDS)	Disposição de resíduos sólidos	-vulnerabilidade -confinamento do aquífero -proximidade de fontes -tipo e quantidade de contaminantes -velocidade zona saturada -percolação	BGS (sem data)
(Sem nome)	Vulnerabilidade geral, baseado na teoria do fluxo-pistão	-condutividade hidráulica zona não saturada -profundidade da água subterrânea -umidade do solo -recarga real	Marcolongo & Pretto (1987)
SINTACS	Vulnerabilidade geral	Igual ao DRASTIC, com pesos diferentes	CIVITA et al. (1990)
(Sem nome)	Vulnerabilidade geral	-característica litológica e de permeabilidade -profundidade da água	ADAMS & FOSTER (1992)
PERIGO ASSOCIADO A SISTEMA DE SANEAMENTO IN SITU	Avaliar áreas de maior risco por sistema de saneamento <i>in situ</i>	-vulnerabilidade (GOD) -densidade população -análises indicadores físico-químicos (condutividade elétrica)	FERREIRA & HIRATA (1993)

Fonte: Hirata & Rebouças, 1999.

Os componentes que determinam a vulnerabilidade dos aquíferos são resultantes de uma combinação de vários fatores, entretanto pode-se simplificar e utilizar os parâmetros tipo de ocorrência da água subterrânea, características e litologia das camadas geológicas acima do aquífero e profundidade do nível de água (BRAGA, 2008). Nessa avaliação, a vulnerabilidade deve ser tomada com precaução, devido ao fato de que existem diversos tipos de contaminantes, com características distintas (BRAGA, 2008).

Entre os métodos citados o índice de vulnerabilidade calculado pelo método GOD tem sido amplamente utilizado em estudos hidrogeológicos na América Latina, por causa de sua simplicidade de conceitos e aplicações (HIRATA & FERNANDES, 2008). As informações necessárias à aplicação deste método são disponíveis em estudos básicos de hidrogeologia regional.

O sistema GOD foi desenvolvido por Foster e Hirata (1987) e aperfeiçoado por Foster et al. (2006) caracteriza a vulnerabilidade do aquífero a contaminação a partir dos seguintes parâmetros, geralmente disponíveis ou facilmente determinados:

-O confinamento hidráulico da água subterrânea no aquífero, esse parâmetro é avaliado em uma escala de 0,0-1,0.

-Os estratos de cobertura (zona vadosa ou camada confinante), em termos da característica hidrogeológicas e do grau de consolidação que determina sua capacidade de atenuação do contaminante, isso leva a uma segunda pontuação em uma escala de 0,4-1,0.

- a profundidade até o lençol freático (de aquíferos não confinados) ou até o teto do aquífero confinado, com classificação na escala de 0,6-1,0.

Tabela 2.1 - Vulnerabilidade natural à poluição do aquífero.

Índice GOD	Vulnerabilidade
0-01	Insignificante
0,1-0,3	Baixa
0,3-0,5	Média
0,5-0,7	Alta
0,7-1,0	Extrema

Fonte: Foster et al, 2006.

O índice final integral de vulnerabilidade do aquífero é o produto dos três índices desses parâmetros que varia de 0, onde a vulnerabilidade do aquífero a contaminação é insignificante, a 1,0 que indica vulnerabilidade extrema do aquífero conforme apresentado na tabela 2.1.

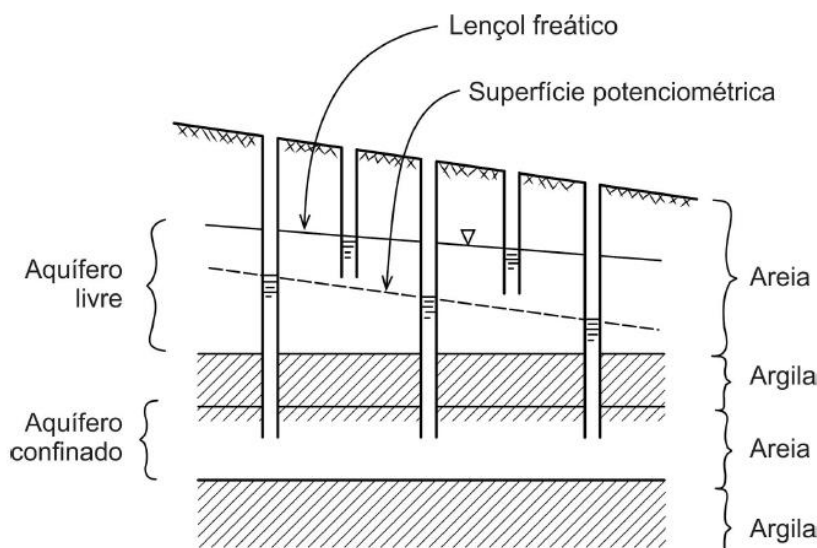
## **2.5 Direção de Fluxo Subterrâneo**

O movimento da água subterrânea é guiado pela força gravitacional e pela diferença de pressão entre dois pontos, exercida pela coluna de água sobrejacente aos pontos e pelas rochas adjacentes, essa diferença de pressão é o potencial hidráulico que promove o movimento da água de pontos com alto potencial (cristas do nível freático), para zonas de baixo potencial (fundos de vales), essa pressão pode causar fluxos ascendentes contrários à gravidade (TEIXEIRA et al., 2009).

Embora o conceito de potencial envolva pressão, gravidade e energia cinética, na prática, mede-se simplesmente a altura da água (acima de um determinado Datum) para determinar o potencial do aquífero (CLEARY, 2006).

Se as elevações de nível de água em poços explorando um aquífero confinado (figura 2.3) são plotadas em um mapa e esboçadas linhas de mesma elevação, a superfície resultante, a qual é na verdade um mapa de carga hidráulica no aquífero, é chamada de superfície potenciométrica. Um mapa da superfície potenciométrica fornece uma indicação das direções de fluxo de suas águas subterrâneas (FREEZE & CHERRY, 2017).

Figura 2.3 - Aquífero livre e seus níveis freáticos; aquífero confinado e sua superfície potenciométrica.



Fonte: Freeze & Cherry (2017).

Um mapa da superfície potenciométrica (aquífero confinado) é uma boa ferramenta para se compreender os padrões de fluxo horizontal nos aquíferos. Essas superfícies representam a distribuição horizontal da coluna hidrostática no aquífero. Como a água sempre flui para uma carga hidráulica mais baixa, direções de fluxo horizontal podem ser deduzidas a partir desses mapas (FITTS, 2015).

Também é possível confundir a superfície potenciométrica com o nível freático em áreas onde ambos os aquíferos livres e confinados existem, no entanto as duas não coincidem (FREEZE & CHERRY, 2017). Para construir um mapa de superfície potenciométrica, é preciso medições de nível de água de diversos poços de observação perfurados no mesmo aquífero. Para um mapa de lençol freático, os dados deverão ser de poços que são perfurados interceptando o lençol freático (FITTS, 2015).

O estudo da tendência da direção do fluxo das águas subterrâneas é importante para obter-se a direção da pluma em caso de contaminação, e conhecendo-se a tendência de direção de fluxo pode-se planejar e prever ações voltadas a minimizar os riscos de contaminação ou, em casos mais graves evitar a instalação de novos empreendimentos poluidores (LÖBLER et al., 2013).

## **2.6 Formas de Captação da Água Subterrânea**

A captação de água subterrânea é feita, geralmente, em locais não abastecidos por sistemas públicos de água ou para complementar o volume fornecido pela rede, principalmente, quando se necessita de grandes quantidades (IRITANI & EZAKI, 2012).

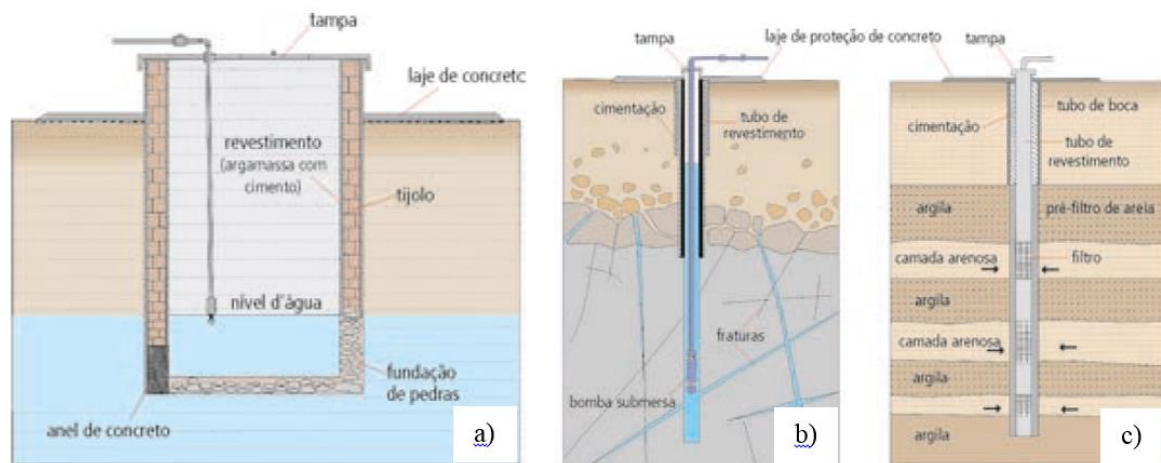
Os poços são utilizados no mundo inteiro para atender a demandas dos mais variados fins. Na atualidade, considerasse a água subterrânea de grande valor e importância no desenvolvimento mundial, auxiliando, viabilizando e muitas vezes funcionando como fonte única e indispensável no abastecimento de indústria, atividades de agricultura e pecuária, pequenos núcleos populacionais, cidades etc (OLIVEIRA, 2012).

Antes da construção do poço, é necessário verificar sua distância (acima de 30 metros) e posicionamento em relação a fossas negras e outras fontes de poluição, de modo a evitar a contaminação da água (IRITANI & EZAKI, 2012). O poço, raso ou profundo, é a forma mais comumente utilizada para captar água subterrânea (IRITANI & EZAKI, 2012).

Poço raso, cisterna, cacimba, caipira ou amazonas: são em geral poços de grandes diâmetro de 1 metro ou mais (figura 2.4 a), escavados manualmente e revestidos com tijolos ou anéis de concreto. Captam a água do lençol freático (livre) e apresentam profundidade inferior a 30m (GIAMPÁ & GONÇALES, 2005; IRITANI & EZAKI, 2012).

Este tipo de poço geralmente tem pouca profundidade e pela baixa produção de água é utilizado predominantemente em pequenas propriedades, na maioria, não atendidas pela rede pública de água (IRITANI & EZAKI, 2012).

Figura 2.4 - Tipos de poços a) poço cacimba. Poço tubular profundo em: b) aquífero fraturado c) aquífero sedimentar



Fonte: Iritani & Ezaki (2012).

Poço tubular profundo: obra de engenharia geológica de acesso a água subterrânea (figura 2.4 b e c), executada com sonda perfuratriz mediante perfuração vertical, para captação de água (GIAMPÁ & GONÇALES, 2005).

O poço tubular apresenta pequeno diâmetro, em geral entre 10 a 50 cm, e profundidade e capacidade de produção de água bem maior que o poço cacimba. Quanto maior a profundidade e a produtividade do aquífero, maior deve ser o diâmetro do poço tubular (IRITANI & EZAKI, 2012).

Em aquíferos livres, a profundidade dos poços tubulares varia, em geral, entre 100 a 200 metros. Mas, em aquíferos confinados e profundos, os poços podem atingir mais de 500 metros (IRITANI & EZAKI, 2012).

Tendo em vista as caóticas formas de uso e ocupação do solo nas cidades do Brasil, em particular, torna-se um risco utilizar a água subterrânea que é extraída de poços que captam aquíferos freáticos (rasos) (REBOUÇAS, 2008).

Assim sendo no Brasil, poços para abastecimento humano no meio urbano, deverão ser construídos atendendo especificações de engenharia geológicas, engenharia hidráulica e engenharia sanitária (REBOUÇAS, 2008).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT, estabelece que a perfuração de poços tubulares estão condicionadas as normas técnicas para o projeto com a ABNT/NBR n°12.212/2006 e para a construção do poço com a ABNT/NBR n°12.244/2006.

Além disso, tem-se a definição dos filtros em função do calibre das areias que formam as camadas aquíferas mais promissoras e sua colocação adequada deverá proporcionar uma vazão de produção ou de injeção com perdas de carga mínima ou atendendo as boas normas da engenharia hidráulica. Por sua vez a cimentação do espaço anelar superficial até uma profundidade adequada e constituição de selo sanitário na superfície deverão impedir a infiltração de águas do freático, muitas vezes, contaminadas (REBOUÇAS, 2008).

## **2.7 Legislação**

O decreto n° 24.643, de 10 de julho de 1934 conhecido como Código de Águas reconhecia como propriedade particular as águas subterrâneas, sendo está de pose do dono do terreno onde se encontrava. Com a Constituição Federal de 1988 as águas subterrâneas passaram a ser de domínio dos Estados.

Neste contexto a Política Nacional de Recursos Hídricos-PNRH Lei n° 9.433/97 representa um marco na gestão das águas brasileiras, esta é a lei maior de recursos hídricos do país, que estabelece que as águas subterrâneas são legalmente de domínio dos Estados, cabendo a estes o direito de conceder outorga e a cobrança pela sua utilização. Entre seus fundamentos ela aborda que a água é um bem de domínio público, de valor econômico, sendo a bacia hidrográfica a unidade de planejamento e a gestão deve ser participativa e descentralizada.

A referida legislação prevê ainda o enquadramento dos corpos de água como instrumento de integração de qualidade e quantidade de água, sendo fundamental para a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental e de uso e ocupação do solo, este é um instrumento de gestão da esfera do planejamento, que se expressa por meio do estabelecimento de metas intermediárias e final a serem alcançadas.

No entanto a classificação dos corpos d'água com relação à sua qualidade é anterior à PNRH, O enquadramento era estabelecido pelos órgãos públicos estaduais e federais, com pequena ou

nenhuma participação da sociedade (ANA, 2017 a). O estado de São Paulo por exemplo foi o primeiro a estabelecer um sistema de classificação em 1955, no entanto o enquadramento só foi estabelecido em 1977 pelo decreto nº10.755, baseado na classificação do Decreto nº8.468 de 1976 (ANA, 2017).

Na esfera federal a classificação dos corpos d'água foi estabelecido pela Portaria do Ministério do Interior-MI nº13 de 1976. Em 1986 a Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA nº 20 revogou a Portaria MI 13/1976 e estabeleceu novos parâmetros para a classificação das águas doces, salinas e salobras.

Em 1997 a Lei nº 9.433 institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, a referida lei traz como um dos seus instrumentos o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água, com o objetivo de assegurar as águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas e diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes.

Com a evolução sobre o tema o conselho Nacional de Meio Ambiente-CONAMA elaborou a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, que revoga a Resolução CONAMA nº20/86 a qual dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, nela o enquadramento é definido como sendo o estabelecimento da meta ou objetivo de qualidade da água (classe) a ser, obrigatoriamente, alcançado ou mantido em um segmento de corpo de água, de acordo com os usos preponderantes pretendidos.

A referida legislação ainda estabelece as classes de qualidade para as águas doces, salobras e salinas. No caso das águas doces, são classificadas como: classe especial, classes 1, 2, 3 e 4, cada qual com parâmetros máximos definidos e outras condições específicas.

O CONAMA por meio da Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008, estabeleceu a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas.

Sendo essas classificadas em: classe especial destinada a preservação do ecossistema e Unidades de Conservação; classe 1 que são águas sem alteração de sua qualidade por atividades



antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes; classe 2 são águas sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que exigem tratamento adequado, dependendo do uso; classe 3 águas com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que pode exigir tratamento adequado dependendo do uso; classe 4, águas com alteração de sua qualidade por atividade antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso menos restritivo, e pôr fim a classe 5 são águas que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não tem requisito de qualidade para uso.

A Resolução CONAMA nº 396/2008 considera que os aquíferos se apresentam em diferentes contextos hidrogeológicos e podem ultrapassar os limites de bacias hidrográficas, como também que as águas subterrâneas possuem características físicas, químicas e biológicas intrínsecas, com variações hidrogeoquímica, sendo necessário que as suas classes de qualidade sejam pautadas nessas especificidades, a fim de viabilizar o seu enquadramento.

Além disso, a Resolução supracitada considera que a prevenção e controle da poluição estão diretamente relacionados aos usos e classes de qualidade de água exigida para um determinado corpo hídrico subterrâneo, assim como a necessidade de se promover a proteção da qualidade das águas subterrâneas, tendo em vista que uma vez poluídas ou contaminadas, a remediação é lenta e onerosa.

Já a Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos-CNRH nº 91, 5 de novembro de 2008, dispõe sobre os procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água tanto superficiais como os subterrâneos estabelece no seu Art. 3º que a proposta de enquadramento deverá ser desenvolvida em conformidade com o Plano de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica, e a sua elaboração, deve conter: diagnóstico, prognóstico, propostas de metas relativas às alternativas de enquadramento, programa para efetivação.

Além de considerar, de forma integrada as águas superficiais e subterrâneas, contando com ampla participação da comunidade por meio de consultas públicas, encontros técnicos, oficinas de trabalho, o que representa um grande avanço considerando que no passado a comunidade não participava desse processo.

Na esfera estadual segundo a Lei complementar nº 255, de 25 de janeiro de 2002 que instituiu a Política, cria o Sistema de Gerenciamento e o fundo de Recursos Hídricos do Estado de Rondônia, que tem por objetivos básicos promover o uso racional, o gerenciamento integrado e o uso múltiplo das águas de domínio do Estado, superficiais e subterrâneas.

Compete ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos-CRH de Rondônia enquadrar os corpos de água estaduais em classes de uso preponderante, de acordo com as diretrizes do Conselho Nacional do Meio ambiente-CONAMA, por proposta dos Comitês de Bacias Hidrográficas.

Compete aos Comitês de Bacia Hidrográfica propor ao CRH o enquadramento dos corpos de águas, em classes de uso preponderante, conforme disposto na legislação federal.

Compete as Agências de Bacias Hidrográficas-ABH, propor ao Comitê de Bacia, a que estiverem vinculadas, com fundamento em estudos técnicos, econômicos e financeiros o enquadramento dos corpos de água nas classes de uso preponderante, para aprovação do Conselho Estadual de Recursos Hídricos-CRH de Rondônia.

Assim como a competência do poder público para implementar, adequar e manter a rede básica Hidrometeorológica e de monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

## **2.8 Caracterização da Área de Estudo**

### **2.8.1 Área de estudo**

O município de Ji-Paraná localiza-se na porção centro-leste do estado de Rondônia, no sudoeste da Amazônia Legal Brasileira, possui 116.610 habitantes (IBGE, 2010). O município possui área territorial de 6.896,649 km<sup>2</sup> e encontra-se entre os paralelos 8°22' e 11°11' de latitude sul e entre meridianos 61°30' e 62°22' de longitude oeste, estando a uma altitude 170 metros e, distante aproximadamente 373 km de Porto Velho, capital do Estado.

Com a denominação de Ji-Paraná em homenagem ao caudaloso rio que atravessa toda sua área, de sul para norte dividindo a cidade, em dois setores urbanos, Ji-Paraná em linguagem indígena significa rio machado (PESACRE, 2007).

Segundo o Zoneamento Socioeconômico-Ecológico do Estado de Rondônia toda a extensão do município encontra-se definida de acordo com as diretrizes traçadas em três sub-zonas (1.1, 3.2 e 3.3), a maior delas é a formada pela zona 3 e suas sub-zonas 3.2 (Reserva Biológica Federal do Jarú) área constituída pelas unidades de conservação de Proteção Integral e 3.3 (Terra Indígena Lourdes) que ocupam toda a sua parte norte. Abaixo delas, ao centro, ao sul e ao oeste encontra-se a sub-zona 1.1 área de intensa ocupação (ZSEE-RO, 2010).

### **2.8.2 Geomorfologia**

A geografia física do Estado de Rondônia caracteriza-se por extenso domínio de terrenos de cotas de 100 a 300 m, embasados por rochas metamórficas, ígneas e sedimentares de diversas idades. Entretanto, ressalta-se, de forma disseminada ao longo do estado um conjunto de terrenos dissecados em relevos residuais, modelados sobre o embasamento ígneo-metamórfico, e planaltos elevados em cobertura sedimentares plataformais (Chapada dos Pacaás Novos com altitudes superior a 1.000 m, e a Chapada dos Parecis com 600 m). Destacam-se, ainda as extensas zonas deposicionais localizadas nos eixos de drenagem principais no estado: o vale do rio Madeira e o amplo vale do rio Guaporé (DANTAS & ADAMY, 2010).

O Estado de Rondônia foi compartimentado em nove domínios geomorfológicos: Planície Fluvial dos Rios Madeira-Mamoré-Guaporé, Depressão do Rio Guaporé, Tabuleiros da Amazônia Centro-Occidental, Superfícies Aplainadas do Sul da Amazônia, Planaltos Dissecados do Sul da Amazônia, Planaltos Sedimentares do Sul da Amazônia, Planalto dos Rios Roosevelt-Aripuanã, Depressão de Pimenta Bueno e Planalto e Chapada dos Parecis (DANTAS & ADAMY, 2010).

### **2.8.3 Pedologia**

No Estado de Rondônia os solos predominantes são Argissolos Vermelho-Amarelo cobrem cerca de 40 % da área total do estado, Latossolos Vermelho-Amarelo ocupam 18,4%, e Latossolos Amarelo (17,4%) (SHINZATO et al., 2010).

Os Argissolos ocorrem, predominantemente, sobre as Superfícies Aplainadas do Sul da Amazônia e Planaltos Dissecados do Sul da Amazônia e também sobre o Planalto e Chapada dos Parecis (SHINZATO et al., 2010).

Compreendem solos constituídos por material mineral, que tem como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou atividade alta desde que conjugada com saturação por bases baixas ou com caráter alumínico. São profundamente variável, desde forte a imperfeitamente drenados, de cores avermelhadas, amareladas, brunadas ou acinzentadas. A textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt. São de forte a moderadamente ácidos (EMBRAPA, 2018).

Os Latossolos ocorrem, principalmente, sobre as unidades geomorfológicas Tabuleiros da Amazônia, Centro-Occidental, Superfícies Aplainadas do Sul da Amazônia, Depressão do Rio Guaporé e Planalto e Chapada dos Parecis (SHINZATO et al., 2010).

Compreendem solos constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico. São solos em avançado estágio de intemperização, virtualmente destituídos de minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo. Variam de fortemente a bem drenados, embora ocorram solos que têm cores pálidas, de drenagem moderada (EMBRAPA, 2018). São normalmente muito profundos, sendo a espessura do solum raramente inferior a 1 m. Tem sequência de horizontes A, B, C com pouca diferenciação de sub-horizontes e transições usualmente difusas ou graduais (EMBRAPA, 2018).

#### **2.8.4 Vegetação**

A cobertura original do Território Central de Rondônia aponta para a Floresta Ombrófila. Isto significa, de uma forma mais simplificada, a presença de floresta tropical (PESACRE, 2007).

A Floresta Ombrófila Aberta tem como característica a descontinuidade do dossel permitindo a luz solar alcance o sub-bosque favorecendo a regeneração, com árvores de até 30 metros de altura, ocorre a presença de palmeiras, ocorrem em relevos mais acentuados, variando entre 100 m a 600 m (PESACRE, 2007).

A Floresta Ombrófila Densa, caracteriza-se pela maior densidade do estrato superior e menor presença do sub-bosque, com árvores de até 45 metros de altura. A Floresta Ombrófila Densa Submontana também ocorre em relevos variando entre 100 m a 600 m, sendo mais comum a presença de cipós, bambus e sororocas (PESACRE, 2007).

### **2.8.5 Clima**

Localizado na Amazônia Ocidental, o Estado de Rondônia não sofre grandes influências da continentalidade. Seu clima predominante, durante todo o ano, é o tropical úmido e quente, com insignificante amplitude térmica anual e notável amplitude térmica diurna, especialmente no inverno (SEDAM, 2012).

Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante é do tipo Aw-Clima Tropical Chuvoso, com média anual da temperatura do ar entre 24 a 26 °C, e um período seco bem definido durante a estação de inverno, quando ocorre um moderado déficit hídrico com índices pluviométricos inferiores a 50 mm. A média anual da precipitação pluviométrica varia entre 1.400 a 2.600 mm/ano (SEDAM, 2012).

### **2.8.6 Hidrografia**

Integrada à imensa Bacia Amazônia, a hidrografia do estado de Rondônia é formada principalmente pela Bacia do Rio Madeira, composta por seis principais bacias tributárias: Jamari, Machado (Ji-Paraná), Guaporé, Mamoré, Alto Madeira e Abunã (KUNZLER & BARBOSA, 2010).

O rio Machado, também chamado Ji-Paraná, recebe esse nome após a confluência dos rios Barão de Melgaço ou Comemoração e Pimenta Bueno ou Apediá, próximo à cidade de Pimenta Bueno, e suas nascentes estão localizadas no município de Vilhena (KUNZLER & BARBOSA, 2010).

Esse rio percorre cerca de 800 km até sua foz, situada na margem direita do rio Madeira, próximo à vila Calama. Seus afluentes principais são os rios Jarú, Urupá, Machadinho e Jacundá, todos pela margem esquerda. Constitui um rio de domínio estadual, drenando diversas

cidades importantes do estado, tais como Ji-Paraná, Cacoal e Pimenta Bueno (KUNZLER & BARBOSA, 2010).

### 2.8.7 Hidrogeologia

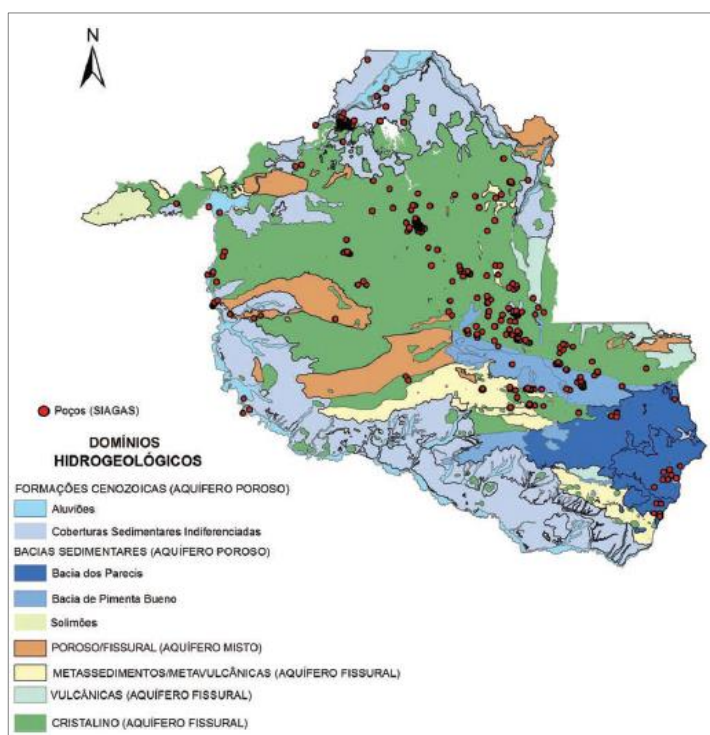
A caracterização do território brasileiro em grandes domínios hidrogeológicos e a sua consequente aplicação em Rondônia permitiram estabelecer uma boa correlação entre os referidos domínios (unidades geológicas) mapeados e os distintos aquíferos identificados assim definidos (figura 2.5) (CAJAZEIRAS et al., 2010):

Formações Cenozoicas: Aquífero Aluvionar e Aquífero Coberturas Sedimentares Indiferenciadas.

Bacias Sedimentares: Sistema Aquífero Parecis, Aquífero Pimenta Bueno e Aquífero Solimões.

Poroso/Fissural, Metassedimentos/Metavulcânicas, Vulcânicas, Cristalino: aquíferos restritos e localizados.

Figura 2.5 - Mapa de domínios hidrogeológicos do estado de Rondônia.



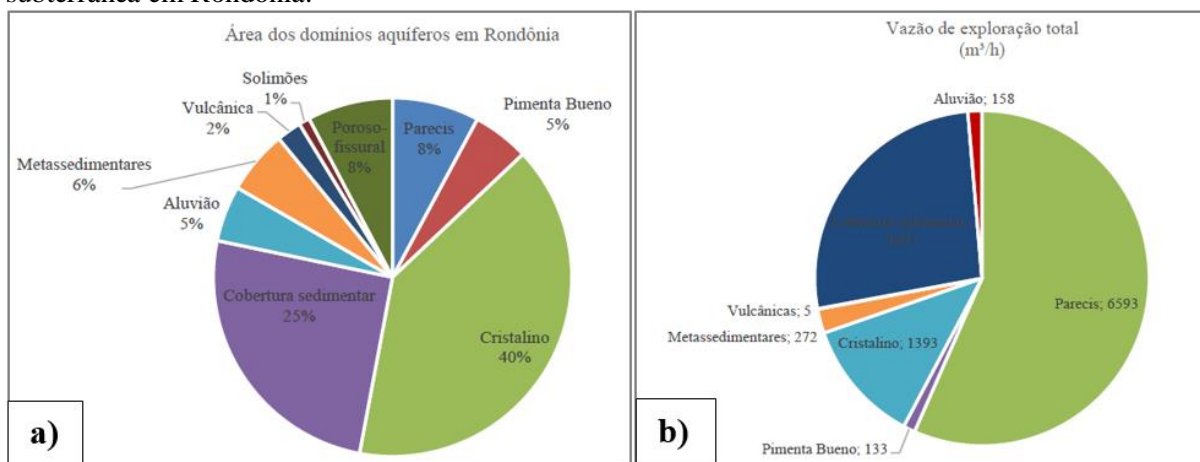
Fonte: Cajazeiras et al. (2010).

No município de Ji-Paraná podem ser identificados domínios aquíferos Cristalino, Vulcânicas, Bacia Pimenta Bueno e Cobertura Sedimentar indiferenciada.

Em termos de representatividade geográfica, o Sistema Cristalino constitui o aquífero mais importante por sua distribuição e maior aproveitamento pela população. Embora esse domínio não seja importante como portador de aquíferos potenciais em comparação a outros domínios, representa uma alternativa de abastecimento de água as populações locais, sobretudo por meio de poços rasos (<40 m), a exemplo dos municípios de Ariquemes e Ji-Paraná (CAJAZEIRAS et al., 2010).

De acordo com dados apresentado no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Rondônia-PERH/RO de 2018, grande parte da área do estado de Rondônia (40%) encontra sobre os domínios aquíferos Cristalino, 25% está distribuída sobre Cobertura Sedimentar, os aquíferos Parecis e Poroso-Fissural correspondem a 8% cada, Metassedimentares 6%, Pimenta Bueno e Aluvião 5%, Vulcânica e Solimões 2% e 1% respectivamente (figura 2.6).

Figura 2.6 - a) Distribuição da área dos domínios aquíferos em Rondônia. b) Disponibilização de água subterrânea em Rondônia.



Fonte: PERH/RO (2018).

Como pode ser observado na figura 6 o Sistema Aquífero Parecis-SAP apresentou a maior produtividade individual por poço, seguido da Cobertura Sedimentar, Cristalino, Metassedimentares e Metavulcânicas, Aluvião e, por fim, o domínio Pimenta Bueno. Cabe ressaltar que estes valores são uma simples referência, pois há ainda uma grande carência de dados sistematicamente obtidos sobre os aquíferos do Estado (PERH/RO, 2018).

O SAP, por suas características litológicas, estratigráficas e clima, é um aquífero dos mais importantes do estado estando disponível para atender à demanda de áreas urbanas e agrícolas do importante polo regional que é Vilhena. É importante observar que a área do domínio aquífero poroso correspondente ao Parecis, aquele que comporta os poços mais produtivos, ocupa apenas 8% da área estadual (PERH/RO, 2018).



## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS-ANA. *ODS 6 no Brasil visão da ANA sobre os indicadores*: Brasília-DF, 2019. 100p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS-ANA. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno*. Brasília-DF, 2017 a. 169p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS-ANA. *Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil*. Caderno de Recursos Hídricos n 5°. Brasília-DF, 2007. 126p.

ALABURDA, J.; NISHIHARA, L. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. *Revista de Saúde Pública*. v. 32, n°2. p.160-165. 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12.212*: Projeto de poço tubular para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro, 2006. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12.244*: Construção de poço tubular para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro, 2006. 6 p.

BENETTI, A., BIDONE, F. O meio ambiente e os recursos hídricos. In: TUCCI, C, E. M.; SILVEIRA, A. L. L. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 4 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. 2015. p.943.

BERTOLO, R. Proposta de metodologia de valoração de recursos hídricos subterrâneos impactados por atividades contaminantes. *In-Relatório, Seminário: Passivos Ambientais e Urbanismo*. Centro de Estudos e Aperfeiçoamento Funcional/ Escola Superior do Ministério Público de São Paulo. São Paulo, 2018. 32p.

BRAGA, A. C. O. (2008). Estimativa da vulnerabilidade natural de aquíferos: Uma contribuição a partir da resistividade e condutância longitudinal. *Revista Brasileira de Geofísica*. 26 (1). p. 61-68. 2008.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2018*. Brasília: SNS/MDR, 2019. 180 p.: il.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. *Diário Oficial da União*, 09 de janeiro, 1997.

BRASIL. Constituição (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil*. Brasília-DF: Senado Federal: 2015. 488p.

BRASIL. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. 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. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). *Diário Oficial da União*, nº 053, 8 mar, 2005, p58-63.

BRASIL. Resolução nº 396 de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). *Diário Oficial da União*, n. 66, 7 abr, 2008, 66p.

BRASIL. Resolução nº91 de 05 de novembro de 2008. Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneas. Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). *Diário Oficial da União*, n. 66, 7 abr, 2008, 66p.

BRASIL. Decreto nº 24.643 de 10 de julho de 1934. Código das águas. Dispõe sobre Águas em geral e sua propriedade. *Diário Oficial da União* de 27 julho de 1934. 32p.

BRASIL. Resolução nº 20 de 18 de junho de 1986. Dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). *Diário Oficial da União* de 30 de julho de 1986, p.11356-11361.

BRASIL. *Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS*. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde - Funasa. Brasília: Funasa, 2014.

CAICEDO, N, L. Água subterrânea. In: TUCCI, C, E. M.; SILVEIRA, A. L. L. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 4 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. 2015. p.943.

CAJAZEIRAS, C. C. A.; PEREIRA, L. A. C.; CAVALCANTE, A. S. A. Aspectos Hidrogeológicos. In: AMILCAR, A. *Geodiversidade do estado de Rondônia. Programa geologia do Brasil levantamento da geodiversidade*. - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil-CPRM. Porto Velho:, 2010. 337p.

CLEARY, R. W. Águas Subterrâneas. 2007. Disponível em <http://www.clean.com.br/cleary.pdf> Acesso em maio 2020.

DANTAS, M. E.; ADAMY, A. Compartimentação do Relevo. In: AMILCAR, A. *Geodiversidade do estado de Rondônia. Programa geologia do Brasil levantamento da geodiversidade*. - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil-CPRM. Porto Velho:, 2010. 337p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 5º edição revista e ampliada. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília-DF, 2018.

FEITOSA, E. C.; FEITOSA, F. A. C. Metodologia básica de pesquisa de água subterrânea. In: FERNANDO A. C. FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J, M.; FEITOSA, E, C.; DEMETRIO, J. G. A. *Hidrogeologia: Conceitos e aplicações*. 3º ed. revisada e ampliada. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. p.812.

FERREIRA, R. F. *Avaliação da qualidade da água utilizada por produtores de polpa de fruta na região central de Rondônia*. Ji-Paraná-RO, UNIR, 2013. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia, 2013.

FILHO, J. M. Ocorrência das águas subterrâneas. *In: FERNANDO A. C. FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. 3° ed. revisada e ampliada. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. p.812.

FITTS, C. R. *Águas subterrâneas*. Tradução Daniel Vieira. 2. Ed. Elsevier, Rio de Janeiro, 2015. ISBN 978-85-352-7744-9. p.577.

FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. *Água Subterrânea*. Tradução de Everton de Oliveira traduzido de: Groundwater ... [et al.]; Everton de Oliveira (Coord.). –São Paulo (SP): Everton de Oliveira, 2017. 698p.

FOSTER, S; HIRATA, R. *Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes*. São Paulo: Instituto Geológico, 1993. (Boletim Nº 10).

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. *Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais*. Edição brasileira: SERVIMAR – Serviços Técnicos Ambientais Ltda. São Paulo, 2006.

GIAMPÁ, C. E. Q.; GONÇALES, V. G. *Orientações para a utilização de águas subterrâneas no estado de São Paulo-Federação das Indústrias do Estado de São Paulo-FIESP - DH Perfurações*. *In: Associação Brasileira de Água Subterrânea*, 2005.

GRUPO DE PESQUISA E EXTENSÃO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS DO ACRE-PESACRE. *Plano territorial de desenvolvimento rural sustentado*. Secretaria de Desenvolvimento Territorial- Ministério do Desenvolvimento Agrário. Território central-Estado de Rondônia, 2007.

HELBEL, A. F. *Análise da qualidade das águas subterrâneas no perímetro urbano de Ji-Paraná / RO – Brasil*. Ji-Paraná: UNIR, 2011. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia, 2011.

HIRATA, R.C.A., FERNANDES, A. J. (2008). Vulnerabilidade à Poluição de Aquíferos. *In: FEITOSA, [et al.]. Hidrologia: conceitos e aplicações*. 3. Ed.rev. e ampl.- Rio de Janeiro. CPRM: LABHID, 2008. 812p. 2008.

HIRATA, R. C. A.; REBOUÇAS, A. C. (1999). La protección de los recursos hídricos subterráneos: una visión integrada, basada en perímetro de protección de pozos y vulnerabilidade de acuíferos. *Boletín Geológico y Minero, Madrid*, v. 110, 79-92p. 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. *Indicadores de Desenvolvimento Sustentável*. Brasil, Rio de Janeiro 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (2010). Cidades. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/painel/historico.php?codmun=110025>>. Acesso em: 30 de janeiro de 2020.

IRITANI, M.A.; EZAKI, S. *Águas Subterrâneas do estado de São Paulo*. Cadernos de educação ambiental. São Paulo: Secretaria de Estado do meio ambiente-SMA, 2012, 104p.

MIDÕES, C; FERNANDES, J; COSTA, C. G. *Água subterrânea: conhecer para proteger e preservar*. IGM, 2001. 24p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE-MMA. *Águas subterrâneas um recurso a ser conhecido e protegido*. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. Brasília, 2007. 40p.

KARMANN, I. Ciclo da água: Água subterrânea e sua ação geológica. In: TEIXEIRA, W; FAIRCHILD, T.R; TOLEDO, M. C. M; TAIOLI, F. *Decifrando a Terra*. 2º Ed. Companhia Editora Nacional, São Paulo, 2009.

KUNZLER, J. C. S.; BARBOSA, F. A. R. Recursos Hídricos Superficiais. In: AMILCAR, A. *Geodiversidade do estado de Rondônia. Programa geologia do Brasil levantamento da geodiversidade*. - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil-CPRM. Porto Velho., 2010. 337p.

LANNA, A. E. Gestão dos recursos hídricos. In: TUCCI, C, E. M.; SILVEIRA, A. L. L. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 4 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. 2015. p.943.

LOBLER, C.A.; SILVA, J.L.S.; MARTELLI, G.V.; ERTEL, T. Pontos Potenciais de Contaminação e vulnerabilidade Natural das águas Subterrâneas do Município de Restinga Seca-RS. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.06, nº03, p.500-509. 2013.

MAIA, P. H. P.; CRUZ, M. J. M. (2011). Um novo método para avaliar a vulnerabilidade de aquíferos. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, 2011, 15 (2) p.29-40.

NUNES, M.L.A.; GOMES, J.B.; WEBLER, A.D.; ANDRADE, L.R.; MARCHETTO, M. Comprometimento da qualidade da água subterrânea por nitratos. *Revista. Nucleus* v.9 nº1. p.63-72. 2012.

OLIVEIRA, C. P. *Águas subterrâneas: Fontes legais e seguras de abastecimento*. Caderno Técnico nº 5. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas-ABAS. São Paulo, 2012.

PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE RONDÔNIA. PERH/RO. *Relatório final*. Governo do estado de Rondônia. Ministério do Meio Ambiente-MMA. Execução: RHA Engenharia e Consultoria LTDA. Recursos Hídricos e Ambientais, Curitiba-PR, 2018.

REBOUÇAS, A. C.; Importância da água subterrânea. In: FERNANDO A. C. FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. 3º ed. revisada e ampliada. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. p.812.

RIBEIRO, K. T. S. *Água e saúde humana em Belém*. Belém: Cejup, 2004. 280p.

RONDÔNIA. Lei complementar nº 255, de 25 de janeiro de 2002. Institui a Política, cria o Sistema de Gerenciamento e o fundo de recursos hídricos do estado de Rondônia e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado* nº 4909, de 25 de janeiro de 2002.

SHINZATO, E.; TEIXEIRA, W. G.; MENDES, A. M. SOLOS. In: AMILCAR, A. *Geodiversidade do estado de Rondônia. Programa geologia do Brasil levantamento da geodiversidade*. - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil-CPRM. Porto Velho:, 2010. 337p.

SILVA, A. G. *Estudo da contaminação do lençol freático através da integração de técnicas geofísicas e geoquímicas em Ji-Paraná- RO*. Rio Claro: UEP, 2008. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2008.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 4 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. 2015. p.943.

SECRETARIA DE ESTADO DE DESENVOLVIMENTO AMBIENTAL-SEDAM. *Boletim climatológico de Rondônia- Ano 2010*. COGEO- SEDAM/ Coordenadoria de Geociências-Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental- Porto Velho. v.12, 2010. 89p.

TEIXEIRA, W; FAIRCHILD, T.R; TOLEDO, M. C. M; TAIOLI, F. *Decifrando a Terra*. 2º Ed. Companhia Editora Nacional, São Paulo, 2009.

TUNDISI, J.G; TUNDISI, T.M. *Recursos Hídricos no Século XXI*. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

VARNIER, C.; IRITANI, M.A.; VIOTTI, M.; ODA, G.H.; FERREIRA, L.M.R. Nitrato nas águas subterrâneas do sistema aquífero Bauru, área urbana do município de Marília (SP). *Revista do Instituto Geológico*, São Paulo. v.31, nº1/2, p.1-21. 2010.

VARNIER, C.; HIRATA, R. Contaminação da água subterrânea por nitrato no parque ecológico do Tietê-São Paulo, Brasil. *Revista Águas Subterrâneas*. nº16. p.97-104, 2002.

ZONEAMENTO SÓCIOECONÔMICO ECOLÓGICO DO ESTADO DE RONDONIA-ZSEE-RO. *21 anos, Planejamento para o desenvolvimento sustentável e proteção ambiental*. Porto Velho-RO, 2010.

### **3 CAPÍTULO I - CARACTERÍSTICAS HIDROSSANITÁRIAS**

#### **3.1 INTRODUÇÃO**

A água é um elemento essencial a vida e a sua qualidade e oferta condicionam a saúde e o bem-estar das populações. A veiculação hídrica de agentes infecciosos ou parasitários são responsáveis pela alta incidência de doenças que afetam as populações de modo geral (BRASIL, 2014).

Nas últimas décadas, o crescimento populacional contribuiu significativamente para a aceleração do crescimento de áreas urbanas, muitas vezes deficientes em infraestrutura urbanísticas e de saneamento, e conseqüentemente, levando a um aumento da demanda por água potável e para outras formas de uso (CAPP et al., 2012).

Entre as regiões do Brasil no que se refere aos serviços de saneamento básico a região Norte é a mais atrasada em termos de acesso a abastecimento de água e esgotamento sanitário, apenas 54,5% da população tem acesso a abastecimento de água, 7,8 % da população tem acesso a coleta dos esgotos e apenas 14% dos esgotos gerados são tratados. No estado de Rondônia no ano de 2014, cerca de 41% da população tinha acesso a água, 3,53% acesso ao esgotamento sanitário e cerca de 4,24 % dos esgotos gerados foram tratados (TRATA BRASIL, 2016).

Devido a precariedade no setor de saneamento básico a população por vezes se vê obrigada a utilizar formas alternativas para suprir suas necessidades. Como a utilização de poços para abastecimento de água e fossas para destinação do esgoto domésticos.

Entre as fontes que geram a contaminação dos aquíferos destacam-se os poços e captações cuja construção inadequada permite o ingresso direto de água superficial ou água subterrânea rasa poluída, principalmente com microrganismos patogênicos (FOSTER, et al., 2006). Os poços construídos sem critérios técnicos adequados, coloca em risco a qualidade da água, à medida que cria uma conexão entre águas mais rasas suscetíveis à contaminação com águas mais profundas menos vulneráveis (ZOBY, 2008). Dessa forma as condições de construção dos poços garantem não só a proteção dos aquíferos, mas também a segurança do usuário que consome água subterrânea.

No entanto o que vem ocorrendo é a perda da qualidade da água subterrânea, uma vez que o crescimento da sua utilização foi acompanhado pela proliferação de poços construídos sem critérios técnicos adequados (ANA, 2007). De modo que a utilização de águas do lençol freático no abastecimento individual da população através de poços rasos, é uma situação que oferece grande risco a saúde pública pois diversos trabalhos apontam a contaminação dos mesmos em diversas localidades.

No município de Macapá (AP), Grot et al. (2018), avaliaram a qualidade da água subterrânea usada para consumo humano, e confirmaram que o uso de fossas rudimentares associadas aos poços amazonas se tornaram um potencializador de contaminação por microrganismos patogênico no lençol freático.

Franco et al. (2018), avaliaram o uso do solo e a qualidade da água subterrânea no Acre, os autores associaram a contaminação a fatores como ocupação desenfreada, falta de saneamento básico, e limpeza dos locais onde se localiza os poços.

Já no estudo desenvolvido por CAPP et al. (2012), onde analisou-se a qualidade da água e os fatores de contaminação dos poços rasos na área urbana de Anastácio (MS), os autores observaram que todos os setores da cidade apresentaram poços contaminados por coliformes e relacionou essa contaminação a fatores higiênico-sanitários referentes à construção e manutenção dos poços podendo estes ser determinantes para qualidade das águas.

Segundo Boldrin & Cutrim (2014), que avaliaram os impactos nas águas subterrâneas em Sinop (MT) através de uma adaptação da Matriz de Leopold, observaram que a qualidade das águas subterrâneas tem alto risco de contaminação microbiológica. Os autores apontaram que as principais fontes de contaminação são os poços cacimbas (poços rasos), cemitérios, comércio de combustíveis, culturas agrícolas, fossas negras e o lixo da cidade.

Ji-Paraná não se difere das localidades citadas. Estudos sobre a água subterrânea foram desenvolvidos por diversos autores, apontando o comprometimento da qualidade da água subterrânea devido à falta de saneamento básico e as estruturas inadequadas nas construções

das soluções alternativas ao abastecimento de água através dos poços e ao esgotamento sanitário pelas fossas.

Ramos (2017), estudou os Distritos de Nova Londrina e Nova Colina. Ferreira (2013), estudou poços e nascentes localizados na área rural do município. Cremonese (2014) e Martins (2011) avaliaram poços localizados próximos as áreas de deposição de resíduos sólidos do município de Ji-Paraná. Helbel (2011) avaliou a qualidade das águas subterrâneas no perímetro urbano de Ji-Paraná. Todos os estudos citados relacionaram a contaminação da água dos poços à falta de rede de esgoto e as características construtivas dos poços em estudo.

No estudo desenvolvido no bairro Nova Brasília em Ji-Paraná por Silva (2008), foi concluído que o processo de contaminação na área é favorecido pela má construção e instalação de poços, além do substrato arenoso altamente permeável e pouca profundidade do lençol freático. O autor ainda ressalta que surtos epidemiológicos podem ocorrer na região devido a contaminação da água.

A utilização da água subterrânea no abastecimento de água para o consumo humano no município tem despertado preocupação, considerando-se a influência de fatores socioeconômicos domiciliares e fatores sanitários, pois é uma cidade desprovida de rede de captação de esgoto sanitário, prevalecendo a utilização de fossas negras como alternativa para disposição do esgoto doméstico, visto que cerca 4% da população tem seu esgoto coletado mas não recebe tratamento, 18% utilizam soluções individuais e cerca de 77% da população não é atendida por esse serviço (BRASIL, 2018).

Quanto ao abastecimento doméstico de água este é realizado pela companhia de Água e Esgoto de Rondônia– CAERD, em julho de 2020 contava com cerca de 25.488 ligações ativas, sendo 24.298 ligações residenciais, no entanto o segundo distrito enfrenta sérios problemas na regularidade do abastecimento, moradores dos bairros JK, Nossa Senhora de Fátima, Primavera e Nova Brasília são os mais afetados (ALE RO, 2020).



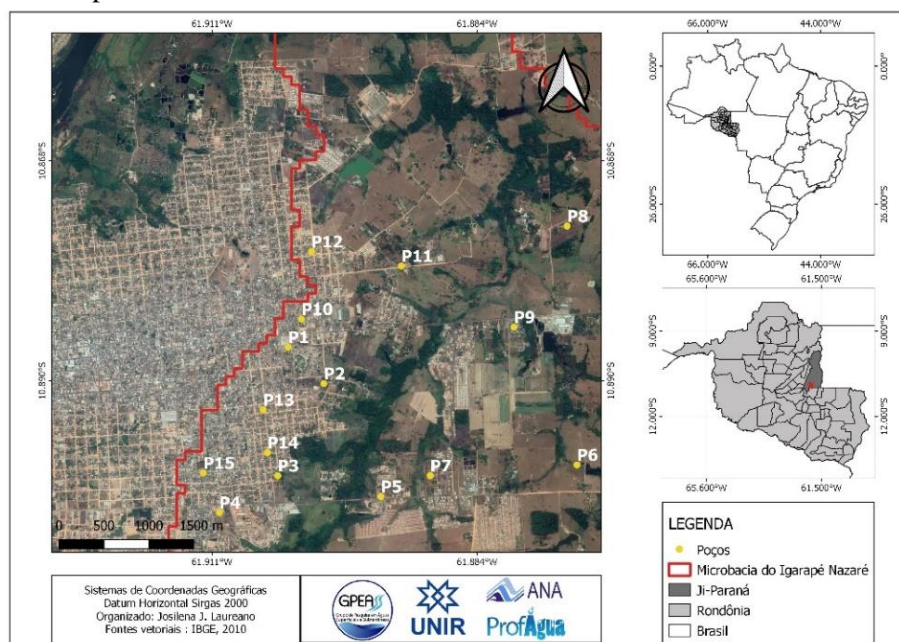
Diante do exposto os objetivo desse capítulo foi levantar as condições socioambientais existentes na área, assim como as características construtivas, as práticas e medidas para o abastecimento de água e disposição do esgotamento sanitário.

### 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

A cidade de Ji-Paraná está localizada na porção centro-leste do Estado de Rondônia, no sudoeste da Amazônia Legal Brasileira, possui 116.610 habitantes, e área territorial de 6.896,649 km<sup>2</sup> (IBGE, 2010). Seus principal rio é o Machado (Ji-Paraná) que atravessa toda sua área, de sul para norte dividindo a cidade, em dois setores urbanos (PESACRE, 2007).

Para garantir uma amostragem homogênea e representativa, foram selecionadas, de maneira aleatória, 15 residências (figura 3.1) que utilizam poços para captação de água destinada ao consumo humano na área da microbacia do igarapé Nazaré localizada no segundo distrito da cidade, e cujos responsáveis aceitaram participar da pesquisa mediante assinatura do termo de livre consentimento e esclarecimento, ressalta-se que a presente pesquisa foi autorizada pelo comitê de ética em pesquisa (Parecer n° 3.941.852).

Figura 3.1 - Localização da microbacia do igarapé Nazaré em Ji-Paraná (Rondônia), evidenciando a distribuição dos 15 pontos de coleta.



Fonte: A autora.

Para uma melhor compreensão da população participante da pesquisa foi aplicado um questionário a fim de levantar as condições socioambientais existentes na área conforme anexo A.

Foram realizadas 4 coletas que ocorreram no ano de 2019 com o objetivo de amostrar os períodos sazonais, os meses amostrados foram março como representativo do período de águas altas (AA), junho período de transição entre águas altas para águas baixas (AA/AB), mês de setembro representando o período de águas baixas (AB) e dezembro mês de transição entre o período de águas baixas para águas altas (AB/AA).

No momento da coleta foram demarcadas as coordenadas geográficas dos poços utilizando GPS (Garmin Etrex Vista H 2,8”), bem como obtidas as cotas do poços e da fossas. Com uso de uma trena, foram determinadas as distâncias entre poços e fossas das residências avaliadas, e o nível de água dos poços.

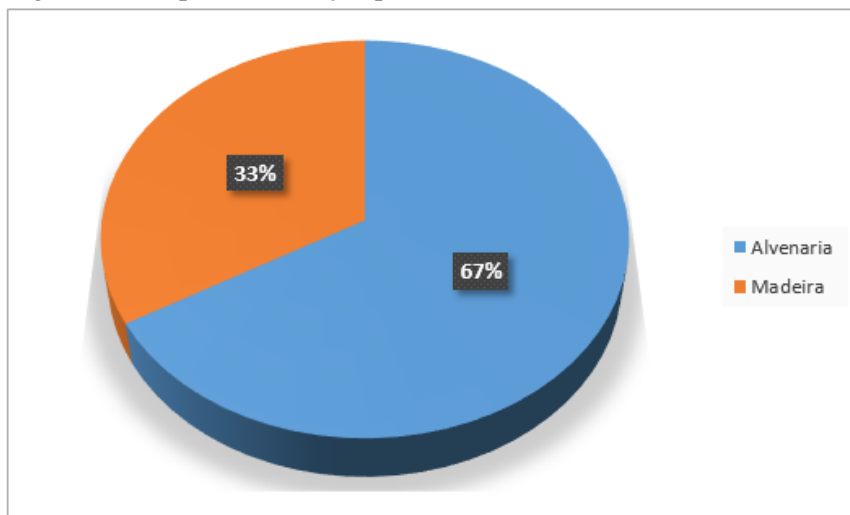
Paralelamente a estas medidas, foram observadas as características construtivas dos poços, como a presença e condições dos revestimentos e das tampas. As informações foram organizadas em uma ficha de campo conforme anexo B.

### **3.3 RESULTADO E DISCUSÃO**

#### **3.3.1 Questionário socioambiental**

Das 15 residências que fizeram parte da pesquisa, 33,4% são construções de madeira, o equivalente a 5 casas. Cerca de 66,6% são construções em alvenaria, conforme pode ser observado na figura 3.2.

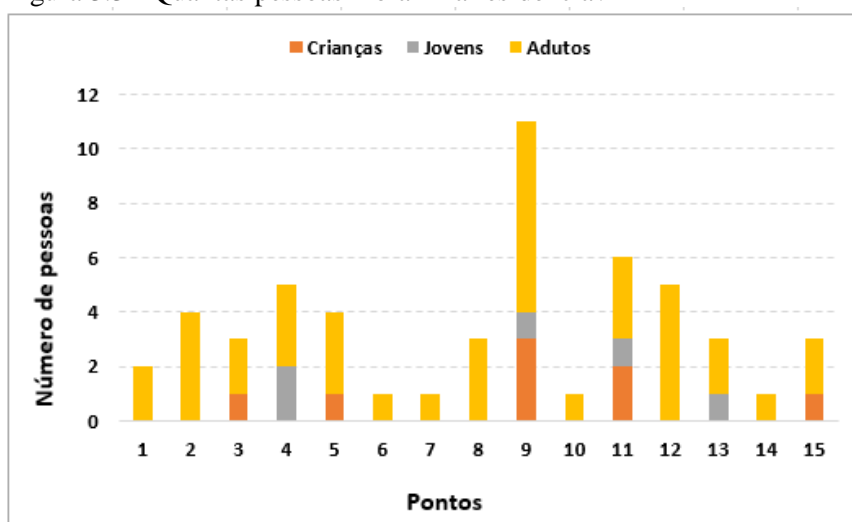
Figura 3.2 - Tipo de instalação predial.



Fonte: A autora.

Ao todo, 53 pessoas residem nas 15 casas avaliadas, destas 5 pessoas (9,4%) eram jovens morando em 4 residências, 8 são crianças o equivalente a 15% distribuídas em 5 residências, em 8 residências foram observados a presença só de adultos. Em quatro residências mora apenas uma pessoa, e na residência 9 moram 11 pessoas (figura 3.3).

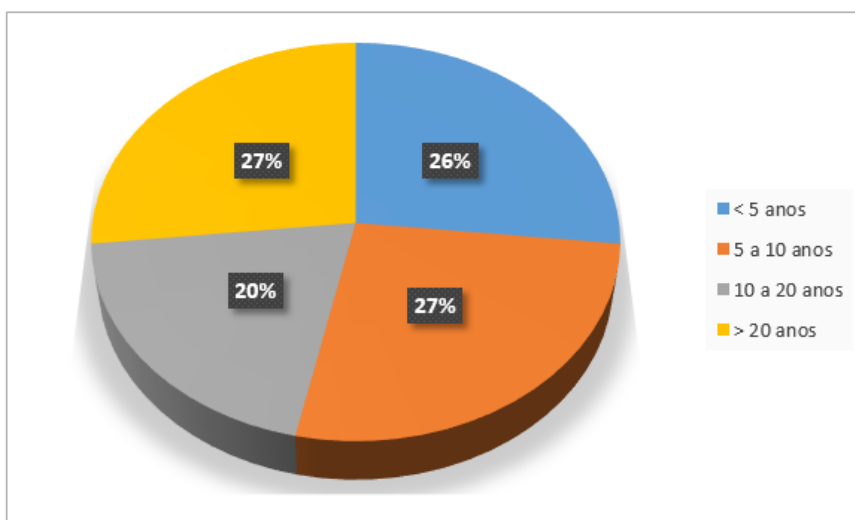
Figura 3.3 - Quantas pessoas moram na residência?



Fonte: A autora.

Das pessoas que participaram da pesquisa, 4 (26,6%) disseram residir no local a menos de 5 anos, outras 4 entre o período de 5 a 10 anos, e três pessoas (20%) revelaram viver no local por um período de 10 a 20 anos, outras 4 residem no local a mais de 20 anos (figura 3.4).

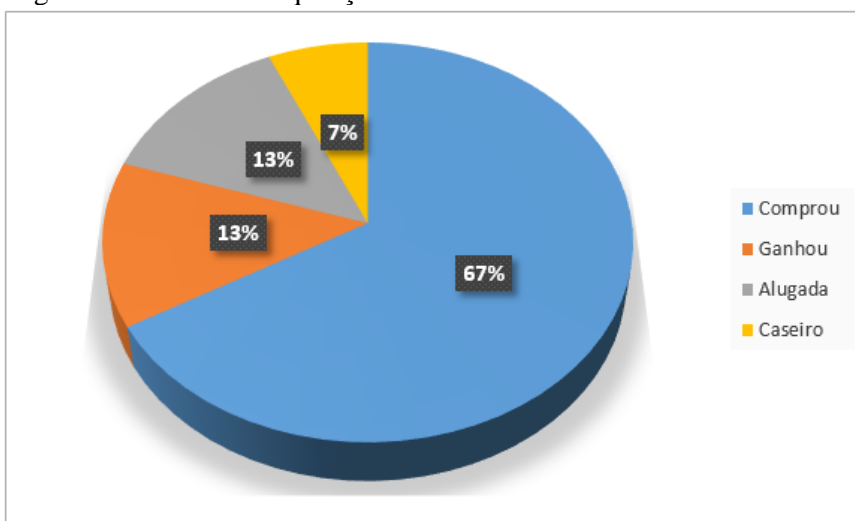
Figura 3.4- Tempo que reside no local.



Fonte: A autora.

Como pode ser observado na figura 3.5 com relação a forma de aquisição do terreno, 67% dos entrevistados (10 pessoas) adquiriram o imóvel através de compra, 2 (13%) moram no imóvel alugado, 2 informaram ter ganhado o terreno, e 1 participante reside como caseiro em uma das residências.

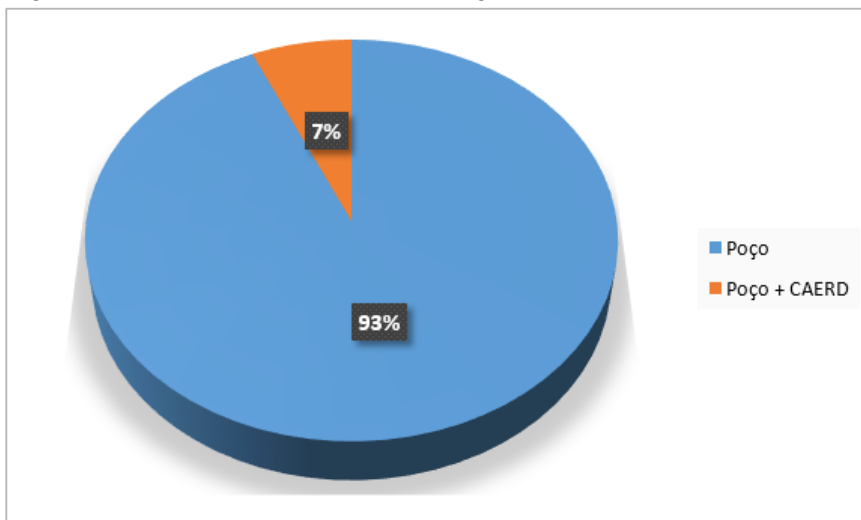
Figura 3.5 - Forma de aquisição do terreno.



Fonte: A autora.

Quanto a forma de abastecimento de água nas residências avaliadas (figura 3.6), em 100% dos casos o mesmo ocorre através dos poços, em uma residência além do poço é utilizado o abastecimento pela Companhia de Águas e Esgotos do Estado de Rondônia-CAERD.

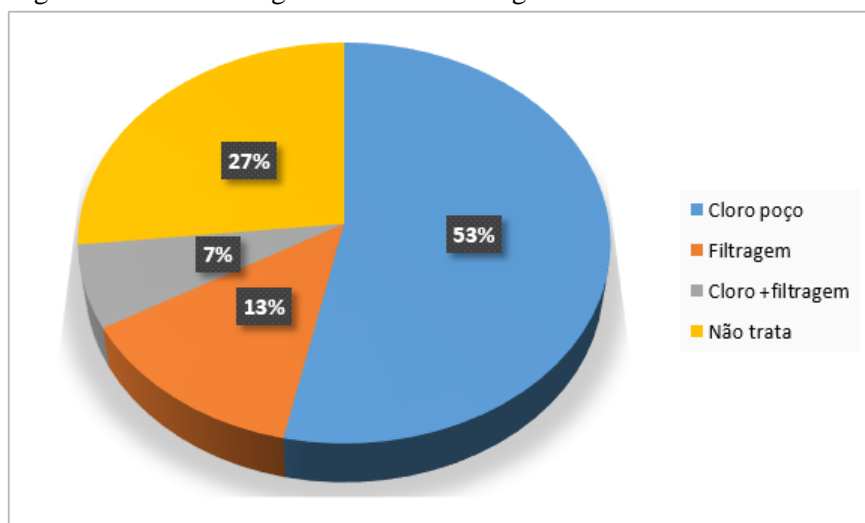
Figura 3.6- Fonte de abastecimento de água.



Fonte: A autora.

Quando questionado se era realizado algum tipo de tratamento da água antes do consumo, 8 participantes (53%) declararam realizar a cloração da água diretamente no poço, 2 (13%) fazem apenas a filtragem da água, 1 (7%) realiza a cloração e a filtragem da água, e 4 (27%) participantes não realizam nenhum tipo de tratamento antes do consumo (figura 3.7).

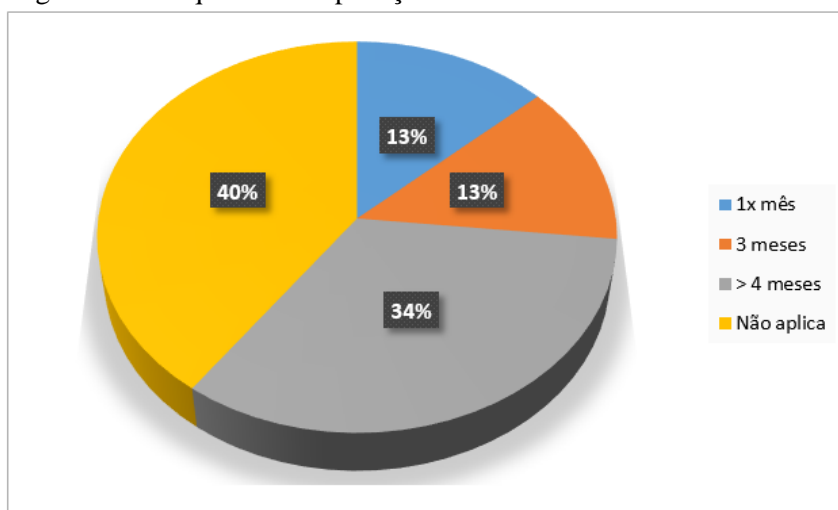
Figura 3.7 - Realiza algum tratamento da água.



Fonte: A autora.

Conforme pode ser observado na figura 3.8, os que declararam realizar a cloração da água alegaram fazê-la diretamente no poço, e em períodos irregulares, 2 pessoas (13%) realizam a cloração 1 vez ao mês, 13% a cada 3 meses, 5 pessoas (34%) a cada 4 meses.

Figura 3.8- Frequência da aplicação do cloro.



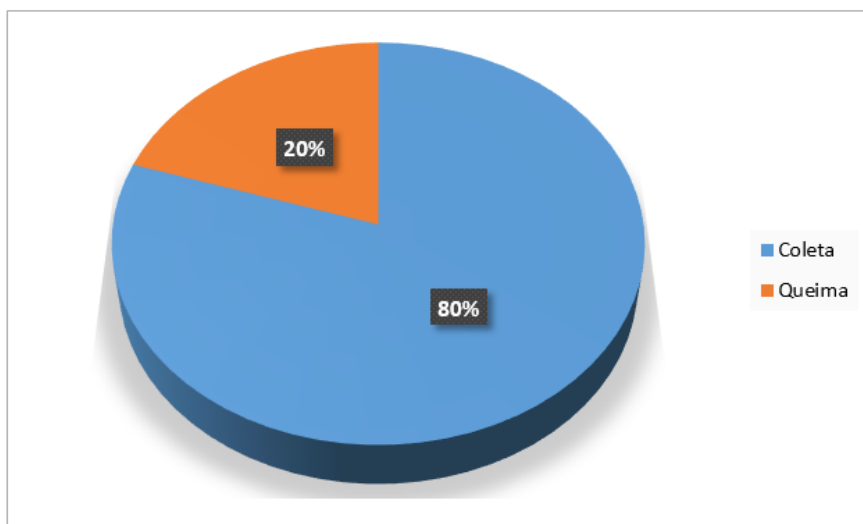
Fonte: A autora.

Ramos (2017) encontrou que cerca de 25% das residências avaliadas em Nova Londrina e 66,7% em Nova Colina aplicam o hipoclorito diretamente no poço. A utilização do hipoclorito também foi relatada nos estudos realizados por Ferreira (2013) e por Lauthartte (2013).

No entanto a aplicação de hipoclorito não é eficaz quando realizada diretamente no poço, devido ao fluxo não é possível estabelecer o volume correto da substância a ser aplicada, assim como pela sua característica volátil (BRASIL, 2014).

Das 15 residências avaliadas em 12 (80%), foi declarado que a coleta do resíduo sólidos é realizada pela prefeitura. Em três residências (20%) o destino final é a queima desse material (figura 3.9). Vale ressaltar que essas residências que realizam a queima desse material estão localizadas em chácaras fora da área urbana, onde não há o serviço de coleta pela prefeitura.

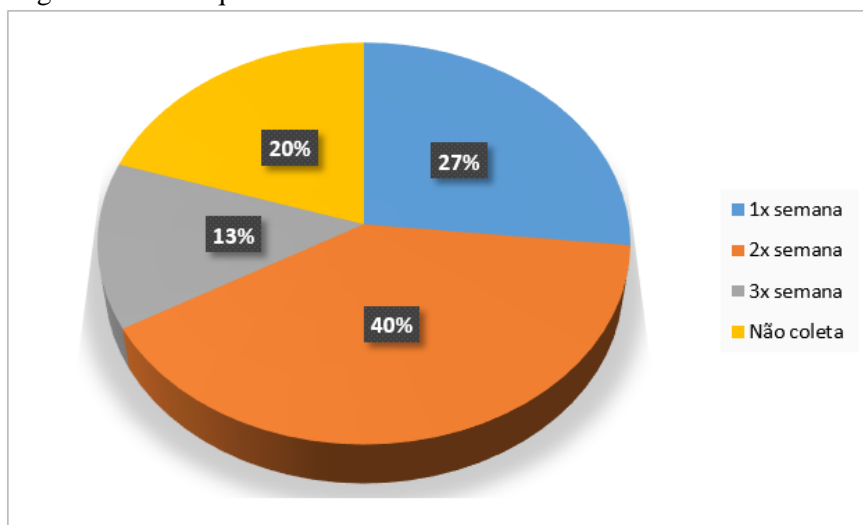
Figura 3.9 - Destino final dos resíduos sólidos.



Fonte: A autora.

Com relação a frequência da coleta dos resíduos (figura 3.10), 3 residências (20%) não são assistidas com o serviço de coleta. Nas demais residências o material é recolhido de 1 a 3 vezes por semana, em duas residências (13%) a coleta ocorre 3 vezes na semana, em 4 (27%) ocorre 1 vez na semana, e em 6 residências (40%) amostradas o resíduo é coletado duas vezes na semana.

Figura 3.10 - Frequência de coleta dos resíduos sólidos.

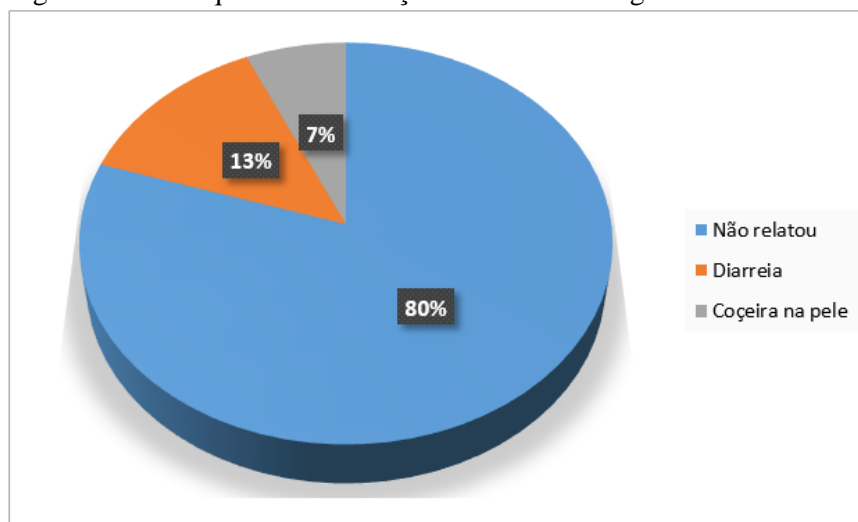


Fonte: A autora.

Foram relatados casos de doenças relacionadas à utilização da água em três residências, como pode ser observado na figura 3.11. Dois relatos de ocorrência de diarreia frequente, e em uma

das residências foi relatado casos de coceira na pele. Em 80% das residências não foram relatados casos.

Figura 3.11 - Frequência de doenças relacionadas a água.



Fonte: A autora.

Segundo Ramos (2017) 5 % dos entrevistados em Nova Londrina e 20% em Nova Colina disseram sofrer com diarreias, vômitos, gastrite e dores de cabeça, e cerca de 33% em Nova Londrina relataram sofrer com dores de estômago frequente.

Com relação ao esgotamento sanitário, a área em estudo não é assistida com serviço de rede de coleta e tratamento de esgoto, assim, em 100% das residências a população utiliza como alternativa para a destinação final do esgoto doméstico as fossas negras.

A predominância na utilização desse tipo de alternativa para disposição dos esgotos domésticos no município de Ji-Paraná é comum e também foi relatada por Ramos (2017), Ferreira (2013), Cremonese (2014) e por Silva (2008).

### 3.3.2 Aspectos Hidrossanitários

Dos 15 poços avaliados, dois poços (13%) são poços do tipo tubulares apresentando maior profundidade, em torno de 50 m, correspondente aos poços 5 e 15. Os demais poços são do tipo amazonas, apresentando pouca profundidade, variando de 4 metros no poço 3 à 19,7 metros no poço 10 (tabela 3.1).



Tabela 3.1- Profundidade total dos poços e profundidade de superfície da água.

Poços	Profundidade Dos poços (m)	Profundidade da superfície da água (m)			
		AA	AA/AB	AB	AB/AA
1	11,40	7,68	8,5	9,9	10,23
2	8,83	5,2	3,50	7,24	7,28
3	4	2,48	2,1	3,1	2,85
4	12,24	8,95	8,74	11	11,05
5	50	Tubular	Tubular	Tubular	Tubular
6	4,98	3,3	4,3	4,23	3,26
7	6,31	2,63	5,5	5,35	3,78
8	11,90	6,6	8,67	10,8	10,36
9	4,5	2,2	3,7	4,1	3,13
10	19,70	13,4	16,3	Não mediu	Não mediu
11	12,22	5,9	Lacrado	Lacrado	Lacrado
12	14,64	8,36	9,84	12,6	13,5
13	+16	Não mediu	Não mediu	Não mediu	Não mediu
14	7,72	4,72	6	6,8	6,35
15	>50	Tubular	Tubular	Tubular	Tubular

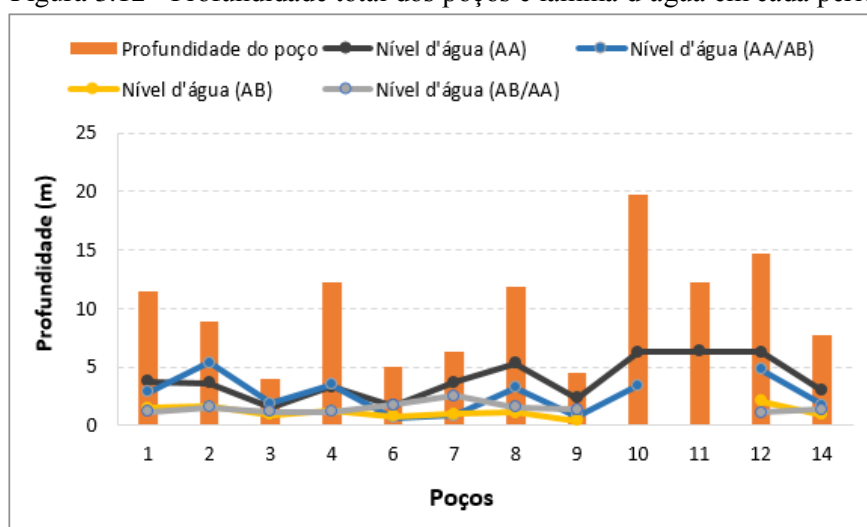
Fonte: A autora.

Conforme pode ser observado na tabela 3.1, em 33% dos poços avaliados não foi possível medir a profundidade de superfície da água. Nos poços 5 e 15 não foi possível medir a profundidade de superfície por serem poços tubulares profundos, no poço 13 não foi possível a identificação da superfície da água devido a profundidade e a localização do mesmo, nos poços 11 e 10 também não foi possível a medição a partir da segunda coleta.

Em seis poços (40%) foi observado um aumento na profundidade da superfície da água nos períodos amostrados, indicando a redução da lâmina d'água ao longo do ano de estudo nos poços 1, 2, 4, 8, 12, 14. Em quatro poços, cerca de 27% a superfície d'água variou entre os meses analisados.

Para obtenção da lâmina d'água existente no poço foi subtraído da profundidade total o valor identificado da superfície da água. Na figura 3.12, pode ser observado a profundidade total em cada poço e a lâmina d'água existente por período, esse valor é inversamente proporcional ao da superfície, ou seja, quanto maior a profundidade de superfície menor a lâmina d'água.

Figura 3.12 - Profundidade total dos poços e lâmina d'água em cada período.



Fonte: A autora.

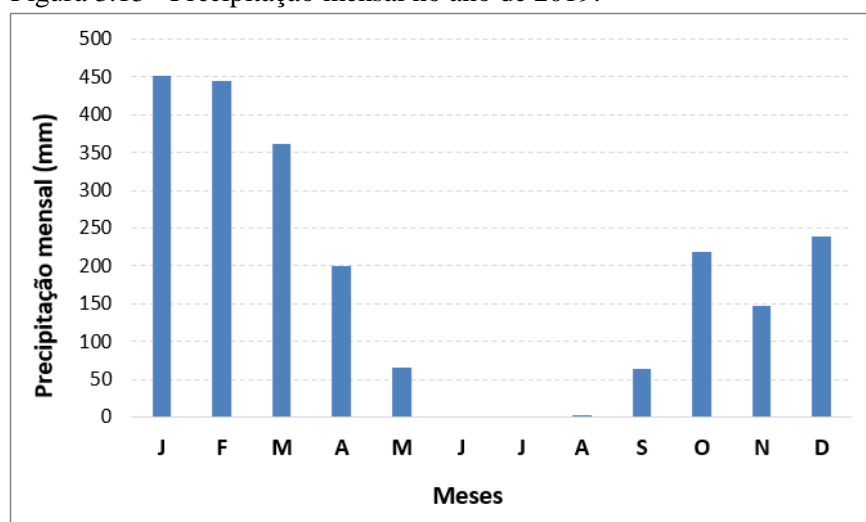
Os maiores valores da lâmina d'água ocorreram no período de águas altas (março) nos poços 1, 6, 7, 8, 9, 10, 12 e 14, o equivalente a 53% dos poços (figura 3.12). Em 20 % dos poços o maior volume de água ocorreu no período de transição entre águas altas para águas baixas mês de junho esse foi o caso dos poços 2, 3, 4.

Corroborando com o presente estudo, Cremonese encontrou no período seco menores lâminas de água nos poços, variaram de 0,39 a 2,89m, e média de 1,48m. Martins (2011), encontrou valores variando de 0,40 a 2,74m e média de 1,41m. Segundo Cremonese esse rebaixamento ocorreu devido aos menores índices de precipitação, e o abaixando do nível do lençol freático.

Na figura 3.13 pode-se verificar as chuvas mensais ocorridas na região no ano em estudo. Como pode ser observado, o período de maior precipitação mensal no ano de 2019 ocorreu de janeiro a março, e em fevereiro a precipitação mensal chegou a 445 mm. Tal fato, explicaria o maior volume de água nos poços na coleta do mês de março, uma vez que os poços em estudos são poços rasos, isso demonstra que o nível de água no lençol freático pode estar relacionado à precipitação na região no período.

Nos meses amostrados ocorreram precipitações mensais de 360,6 mm no mês de março (AA), no mês de junho (AA/AB) não ocorreu precipitação, 63 mm no mês de setembro (AB) e no mês de dezembro 238,2 mm.

Figura 3.13 - Precipitação mensal no ano de 2019.



Fonte dos dados: Agência Nacional de Águas-ANA, estação 15560000.

Na tabela 3.2 pode-se observar as características construtivas dos poços em estudo.

Tabela 3.2 - Características dos poços amostrados.

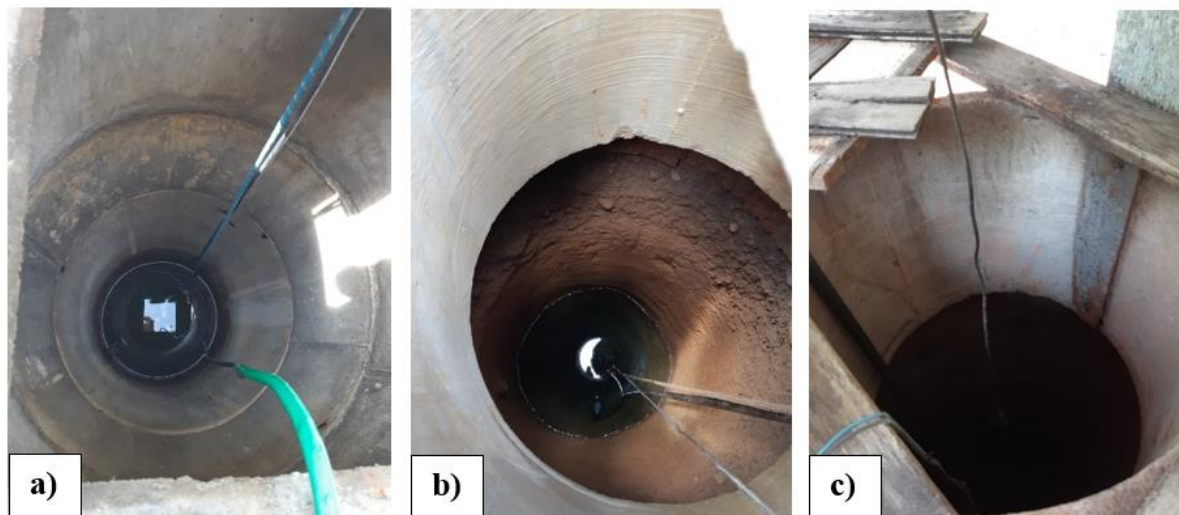
Poços	Tipo de revestimento	Tipo da Tampa	Condições da tampa	Distância Poço-fossa	Cota poço	Cota fossa
1	Manilha	Alvenaria	Más	16,5	177	185
2	Não revestido	Madeira	Más	29,1	180	173
3	Manilha	Alvenaria	Boas	14,74	165	177
4	Manilha	Alvenaria	Más	69	174	175
5	Tubular	Lacrado	Lacrado	24,5	168	170
6	Não revestido	Alvenaria	Boas	50,2	160	164
7	Manilha parcial	Alvenaria	Más	13,11	159	164
8	Alvenaria	Madeira	Más	100,6	166	175
9	Alvenaria	Alvenaria	Boas	15,4	165	159
10	Não revestido	Alvenaria	Boas	26,30	181	181
11	Não revestido	Alvenaria	Más	28,40	180	183
12	Manilha	Alvenaria	Boas	19	182	193
13	Alvenaria	Alvenaria	Más	20,4	185	189
14	Não revestido	Alvenaria	Boas	20	175	180
15	Tubular	Lacrado	Lacrado	13,20	183	184

Fonte: A autora.

Quanto ao tipo de revestimento interno utilizado nos poços, como pode ser observado na tabela 2, 5 poços (33%) não possuíam nenhum tipo de revestimento, sendo eles os poços 2, 6, 10, 11,

14. Cinco poços eram revestidos por manilhas (1, 3, 4, 7, 12), sendo o poço 7 parcialmente revestido e os demais totalmente. Três poços (20%) utilizavam como material de revestimento interno construção em alvenaria (8, 9, 13) (figura 3.14).

Figura 3.14 - Condições de revestimento dos poços a) poço 3, b) poço 6, c) poço 8.

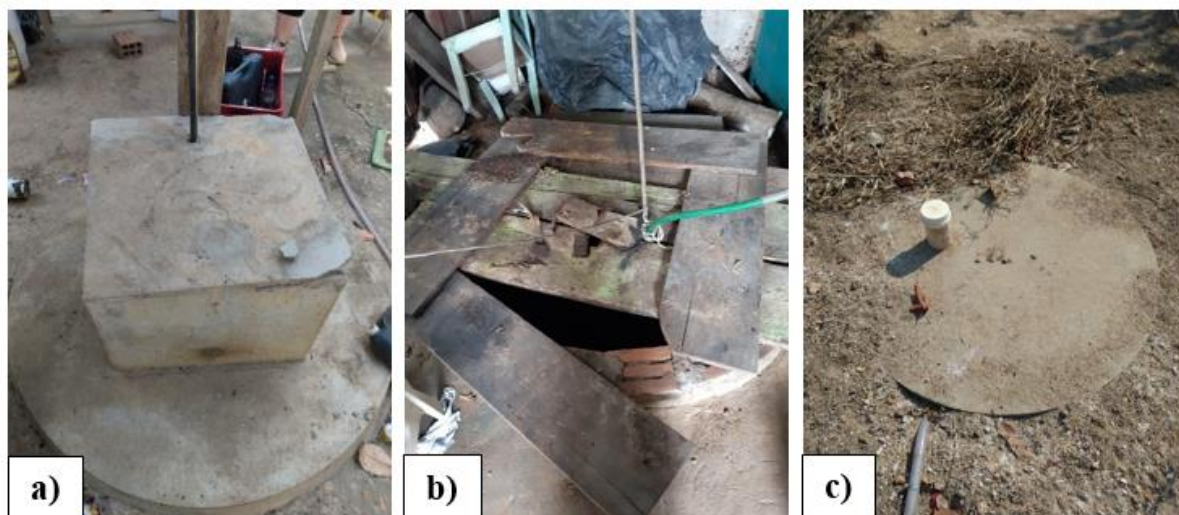


Fonte: A autora.

Segundo Cremonese (2013) os poços amostrados em seu estudo são perfurados com manilha e alguns sem revestimento, o que favorece a contaminação da água subterrânea. Já no estudo desenvolvido por Silva (2008) a maioria dos poços amostrados são revestidos por manilha para evitar desabamento devido as características arenosa do solo.

Com relação às tampas dos poços avaliados, 11 poços, ou seja 73,3% possuíam tampas de alvenaria (poços 1, 3, 4, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14). Entre estes, os poços 1, 4, 7, 11 e 13, as tampas encontravam-se em más condições, apresentando rachaduras, orifícios e em alguns casos a tampa encontrava-se muito próxima à superfície do terreno (poços 4, 11, 13). Os poços 2 e 8 apresentavam tampas construídas em madeira e em más condições de uso conforme pode ser observado na figura 3.15 b.

Figura 3.15 - Condições das tampas dos poços a) poço 10, b) poço 2, c) poço 11.



Fonte: A autora.

Em todas as residências avaliadas a forma de retirada da água do poço era realizada através de bombas, a água então era armazenada em caixas d'água e então distribuída para as dependências da residência através de tubulação.

Com relação a distância entre poços e fossas, 20% das residências avaliadas encontram-se em desconformidade. Os poços 3, 7 e 15 apresentam distância em relação a localização da fossa de 14,74 m, 13,1 m e 13,2 m respectivamente, valores inferiores à distância recomendada de 15 m pela NBR 7.229/93, que trata de projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos.

No distrito de Nova Colina Ramos (2013) encontrou 53,3% dos poços próximo das fossas, Cremonese encontrou mais de 50% dos poços com distancia inferior a 15 metros. Lauthartte et al. (2016) observou que as fossas utilizadas pelos moradores são mal construídas e próximas do poço.

De acordo com Silva (2008) não se pode estabelecer na zona urbana do município de Ji-Paraná uma distância segura entre poço e fossa, visto que a maioria dos terrenos do município tem medidas reduzidas, geralmente de 10x30m, frente e lateral, respectivamente.

No presente estudo os pontos 2 e 9 o poço encontra-se em cota superior a cota da fossa, no ponto 10 poço e fossa encontra-se localizados na mesma cota. Nos demais pontos analisados

(80%), a fossa encontra-se em cota superior a cota do poço. Tal situação favorece o fluxo do efluente doméstico para o interior do poço, agindo em alguns casos como possível foco de contaminação das águas subterrâneas, uma vez que as fossas negras mencionadas na presente pesquisa tratam-se de uma perfuração no solo para disposição dos dejetos humanos, sem que haja a impermeabilização do fundo e das laterais, o que facilita a infiltração das águas residuárias ali depositadas.

Segundo Silva (2008) os produtos orgânicos e inorgânicos lançados em sistemas rudimentares, chegam em muitos casos, com relativa facilidade ao lençol freático, introduzindo na água subterrânea substâncias tóxicas e aumentando as concentrações de íons, e de microrganismos que podem ser patogênicos.

Alguns cuidados são recomendados para evitar a contaminação, tais como a parede do poço revestida (alvenaria/concreto), devendo ser construída há alguns centímetros acima do solo, e uma laje de concreto deve ser construída ao redor do poço (IRITANI & EZAKI, 2012), evitando assim a infiltração de contaminantes da água subterrânea.

Levantar os aspectos socioambientais, bem como as características dos poços, é de extrema relevância, visto que tais aspectos podem explicar a contaminação da água dos poços. Pesquisas sobre a temática indicaram que aspectos construtivos são um dos principais fatores que contribuem na contaminação da água subterrânea. Os padrões inadequados de construção dos poços podem refletir na qualidade da água, agindo como facilitador para a contaminação (FRANCO et al., 2018; GROTT et al., 2018; MESQUITA et al., 2014, CREMONESE, 2014).

### **3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Em todas as casas avaliadas o abastecimento de água ocorre através dos poços, a retirada da água do poço se dá através de bombeamento para a caixa d'água. Grande parte da população realiza o tratamento da água através da cloração, no entanto, essa é realizada diretamente no poço e com frequência irregular.

Foram relatados casos de doenças relacionadas ao consumo da água em 20% das residências.

De modo geral a área em estudo é atendida pelo serviço de coleta de resíduos sólidos que é realizado regularmente, exceto nas chácaras fora da área urbana onde o material é queimado.

Os poços analisados na presente pesquisa apresentaram desconformidades com relação a fatores de construção e proteção conforme descrito por Iritani & Ezaki (2012) e pela NBR 7.229/93, o que os tornam vulneráveis a contaminação e pode vir a comprometer a qualidade de suas águas.

Observou-se a predominância de fossas negras, com localização inadequada nos terrenos, uma vez que são próximas dos poços e em cota que favorece o fluxo do efluente ali depositado em direção às águas dos poços, essa situação se torna preocupante uma vez que o nível do lençol freático é demasiadamente raso, tornando a área urbana um local suscetível a contaminação das águas subterrâneas que abastecem os poços rasos utilizados pela população.

Características de construção e manutenção dos poços podem ser determinantes para assegurar a qualidade das águas subterrâneas, uma vez que o consumo da mesma ocorre sem tratamento adequado, gerando risco de contaminação para a população local.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS-ANA. *Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil*. Caderno de Recursos Hídricos n 5°. Brasília-DF, 2007. 126p.
- ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE RONDÔNIA-ALE RO. Deputado Jhony Paixão cobra providências para a falta de água em bairros de Ji-Paraná. Disponível em: < <https://www.al.ro.leg.br/institucional/noticias/deputado-jhony-paixao-cobra-providencias-para-a-falta-de-agua-em-bairros-de-ji-parana>> Acesso em 16 de novembro de 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. (1993). *NBR 7.229*. Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2018*. Brasília: SNS/MDR, 2019. 180 p.: il.
- BRASIL. *Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS*. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde - Funasa. Brasília: Funasa, 2014.
- BOLDRIN, M. T. N.; CUTRIM, A. O. Avaliação de impactos potenciais nas águas subterrâneas urbanas de Sinop (MT) usando a matriz de Leopold. *Revista de Geociências*, UNESP, v.33, n. 1, p.89-105, 2014.
- COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DE RONDÔNIA-CAERD. *Número de ligações ativas no município de Ji-Paraná*. Documento de circulação interna-Ofício, 2020.
- CAPP, N.; AYACH, L. R.; SANTOS, T. M. B.; GUIMARÃES, S. T. L. Qualidade da água e fatores de contaminação de poços rasos na área urbana de Anastácio (MS). *Revista de Geografia Ensino & Pesquisa*, vol. 16, n. 3, 2012.
- CREMONESE, E. R. *Avaliação da qualidade da água de poços localizados próximos as áreas de deposição de resíduos sólidos do município de Ji-Paraná (RO)*. Ji-Paraná-RO. UNIR 2014. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental). Departamento de Engenharia Ambiental. Fundação Universidade Federal de Rondônia. 2014, 73p.
- FERREIRA, R. F. *Avaliação da qualidade da água utilizada por produtores de polpa de fruta na região central de Rondônia. Ji-Paraná-RO*, UNIR, 2013. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia, 2013.
- FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. *Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais*. Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento/ Banco Mundial, 2006. 114p.



FRANCO, A.O.; ARCOS, F.O.; PEREIRA, J.S. Uso do solo e a qualidade da água subterrânea: estudo de caso do aquífero Rio Branco, Acre, Brasil. *Águas Subterrâneas*, Seção Estudos de Caso e Notas Técnicas, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v32i3.29178>.

GROTT, S.L., FAÇANHA, E.B. ; FURTADO, R.N. ; CUNHA, H.F.A.; CUNHA, A.C. Variação espaço-sazonal de parâmetros da qualidade da água subterrânea usada em consumo humano em Macapá, Amapá, Brasil. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 23, n.4, p. 645-654, 2018. DOI: 10.1590/S1413-41522018162018.

GRUPO DE PESQUISA E EXTENSÃO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS DO ACRE-PESACRE. *Plano territorial de desenvolvimento rural sustentado*. Secretaria de Desenvolvimento Territorial- Ministério do Desenvolvimento Agrário. Território central-Estado de Rondônia, 2007.

HELBEL, A. F. *Análise da qualidade das águas subterrâneas no perímetro urbano de Ji-Paraná / RO – Brasil*. Ji-Paraná: UNIR, 2011. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (2010). *Cidades*. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/painel/historico.phpmédici?codmun=110025>>. Acesso em: 30 de janeiro de 2020.

IRITANI, M.A.; EZAKI, S. *Águas Subterrâneas do estado de São Paulo*. Cadernos de educação ambiental. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente-SMA, 2012, 104p.

LAUTHARTTE, L.C.; HOLANDA, I.B.B.; LUZ, C.C.; MUSSY, M.H.; PANSINI, S.; MANZATTO, A.G.; YAMASHITA, M.; BASTOS, W.R. Avaliação da qualidade da água subterrânea para consumo humano: estudo de caso no Distrito de Jaci-Paraná, Porto Velho–RO. *Revista de Águas Subterrâneas*, v. 30, n. 2, p. 246-260, 2016. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v30i2.28547>.

LAUTHARTTE, L. C. *Avaliação da qualidade de água subterrânea no Distrito de Jaci-Paraná, Município de Porto Velho-RO*. Porto Velho: UNIR, 2013. Dissertação (Pós-Graduação em desenvolvimento Regional e Meio Ambiente). Universidade Federal de Rondônia, 2013.

MARTINS, I. A. V. *Avaliação da qualidade da água subterrânea em área de influência do lixão inativo no bairro Boa Esperança (Ji-Paraná/RO)*. Ji-Paraná: UNIR, 2011. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia, 2011.

MESQUITA, K.F.C.; SANTOS, M.L.S.; PEREIRA, J.A.R.; FIGUEIREDO, B.L. Avaliação da qualidade microbiológica da água consumida pela população da região amazônica um estudo de casos na ilha de Mosqueiro PA. *Revista Scientia Amazonia*, v. 3, n.3, p. 27-31, 2014.

RAMOS, C. F. *Estudo da direção de fluxo e das variáveis físicas, químicas e microbiológicas da água subterrânea dos distritos de Nova Londrina e Nova Colina (Ji-Paraná/RO)*: UNIR, 2017. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia, 2017.

SILVA, A. G. *Estudo da contaminação do lençol freático através da integração de técnicas geofísicas e geoquímicas em Ji-Paraná- RO*. Rio Claro: UEP, 2008. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2008.

TRATA BRASIL. *Saúde e saneamento básico nos 15 maiores municípios do Estado de Rondônia*. Reinfra Consultoria. p. 165, 2016.

ZOBY, J.L.G. *Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil*. In. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Natal-Rio Grande do Norte. *Anais* 2008.

## **4 CAPÍTULO II - QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA**

### **4.1 INTRODUÇÃO**

A água é o único líquido inorgânico encontrado na natureza, sendo também o único composto químico que ocorre no meio ambiente nos três estados físicos (sólido, líquido e gasoso). A água pura é incolor, inodora, insípida e transparente, entretanto como é um ótimo solvente e uma substância quimicamente muito ativa, é capaz de incorporar grandes quantidades de substâncias ao entrar em contato com os minerais constituintes dos solos e rochas, nos quais circula (SANTOS, 2008).

Várias características físicas, químicas e biológicas podem ser consideradas importantes no meio aquático. A condição do meio ambiente aquático é identificada por essas características, denominadas muitas vezes de parâmetros ambientais ou de qualidade de água (BENETTI & BIDONE, 2015).

De maneira geral a qualidade da água é resultante de fenômenos naturais e da ação antrópica, pode-se dizer que é função das condições naturais e do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica (SPERLING, 2014).

A contaminação das águas subterrâneas é fonte importantíssima de deterioração dos recursos hídricos e das reservas disponíveis. Há diversas fontes de contaminação com efeitos diversificados na qualidade das águas e repercussão na saúde humana (TUNDISI & TUNDISI, 2011). Entre elas pode-se citar os tanques de armazenamento subterrâneos, lagoa de recepção de água de esgoto, sistema séptico, derramamento de resíduo químico, chuvas poluídas, pesticidas e fertilizantes, depósitos de lixo e mineração (FITTS, 2015).

Os tipos de substâncias químicas e de elementos que contaminam os aquíferos são: nitratos, cloro, materiais radioativos, substâncias orgânicas, metais pesados e hidrocarbonetos (TUNDISI & TUNDISI, 2011).

O estudo da qualidade da água é fundamental, tanto para se caracterizar as consequências de uma determinada atividade poluidora, quanto para se estabelecer os meios para que se satisfaça determinado uso da água (SPERLING, 2014).

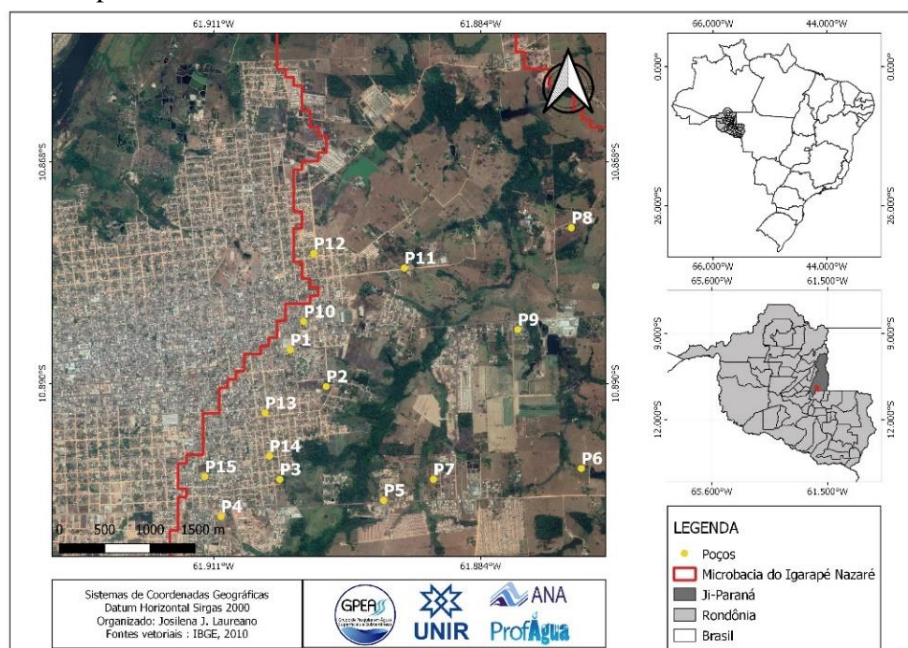
Diante do exposto o objetivo desse capítulo foi avaliar a qualidade da água subterrânea, e comparar os resultados obtidos com a Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde, que estabelece padrões de potabilidade da água para consumo humano, e a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA nº 396 de 2008 que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1 Amostragem

Para garantir uma amostragem homogênea e representativa, foram selecionadas, de maneira aleatória, 15 residências que utilizam poços para captação de água destinada ao consumo humano na área da microbacia do igarapé Nazaré em Ji-Paraná (figura 4.1), e cujos responsáveis aceitaram participar da pesquisa mediante assinatura do termo de livre consentimento. Ressalta-se que previamente o projeto foi submetido ao comitê de ética da UNIR onde foi aprovado (Parecer nº 3.941.852).

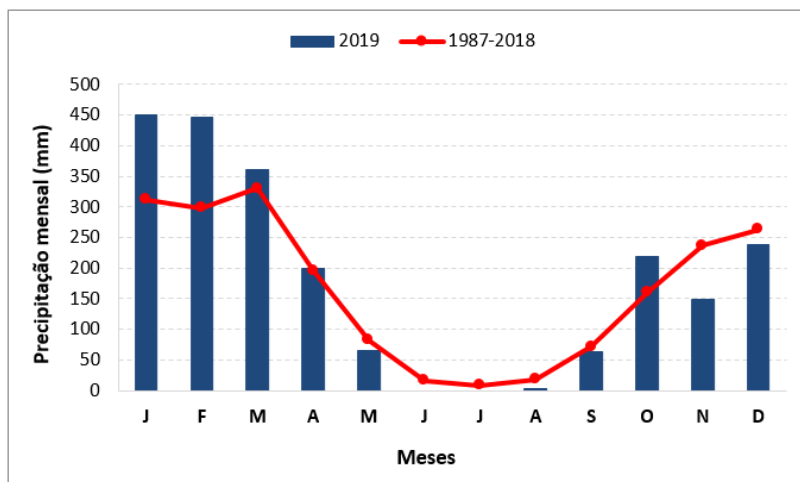
Figura 4.1 - Localização da microbacia do igarapé Nazaré em Ji-Paraná (Rondônia), evidenciando a distribuição dos 15 pontos de coleta.



Fonte: A autora.

Dados de séries temporais de precipitação mensal disponível no sítio da Agência Nacional de Águas, apresentados na Figura 4.2, demonstraram que na região, os meses com maiores precipitações mensais, entre os anos de 1987 a 2018, ocorreram entre dezembro a março, e os meses com menores precipitações foram entre junho a agosto.

Figura 4.2 - Série temporal da precipitação média mensal na região do período de 1987 a 2018, e no ano de 2019.



Fonte: Agência Nacional de Águas-ANA (série histórica 1987-2018, estação 01061003, ano de 2019, estação 15560000).

Devido à falta de dados de precipitação recentes do município de Ji-Paraná foi utilizada a série histórica dos anos de 1987 a 2018 da estação 01061003 localizada no distrito de Rondominas no município de Ouro Preto do Oeste. Os dados referentes ao ano de 2019 foi obtido da estação 15560000 localizada no município de Ji-Paraná. Como pode ser observado na área de estudo (figura 4.2), no ano de 2019 os meses de maior volume de precipitação ocorreram em janeiro (450,8) mm e fevereiro (445,6) mm). As menores precipitações mensais ocorreram nos meses de junho e julho (0 mm).

No intuito de representar os períodos sazonais da região foram realizadas 4 coletas que ocorreram no ano de 2019 conforme tabela 4.1.

Tabela 4.1-Períodos amostrais na microbacia do Igarapé Nazaré em Ji-Paraná.

Mês de coleta	Período	Sigla
Março	Águas altas	AA
Junho	Transição de Águas altas para águas baixas	AA/AB
Setembro	Águas Baixas	AB
Dezembro	Transição de Águas baixas para águas altas	AB/AA

Fonte: A autora.

A coleta da água ocorreu utilizando um coletor adaptado para água subterrânea, a água foi coletada diretamente no poço (CETESB, 2011), e todas as análises foram realizadas no Laboratório de Limnologia e Microbiologia-LABLIM, na Universidade Federal de Rondônia-UNIR (campus de Ji-Paraná).

O município de Ji-Paraná é abastecido por água superficial captada do rio Urupá. Segundo o histórico de ligações ativas da Companhia de Águas e Esgoto de Rondônia-CAERD, em 30 de julho de 2020 havia registro de ligações de cerca de 24.298 residências, 966 comerciais, 66 industriais e 158 públicas, perfazendo um total de 25.488 ligações ativas (CAERD, 2020).

#### **4.2.2 Análise Microbiológica**

As amostras de água destinadas a análise microbiológica foram coletadas em garrafas de água mineral de 500mL, lacradas e abertas no momento da coleta, quando a água mineral foi descartada e a garrafa “rinsada” com a água do ponto de coleta. Após, as mesmas foram identificadas e acondicionadas em caixas isotérmicas refrigeradas até o momento da análise, que foi realizada em menos de 24 horas no Laboratório de Limnologia e Microbiologia-LABLIM.

As análises de coliformes totais e *Escherichia coli* foram realizadas conforme o método de membrana filtrante em meio cromogênico, conforme descritos em *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1995).

O método consiste em filtrar em membrana de éster de celulose de 0,45µm de porosidade, 100mL da amostra com auxílio de uma bomba a vácuo e sistema kitassato.

Em seguida as membranas foram dispostas em placas *Petri* com meio de cultura *chromocult coliform agar*. As amostras foram incubadas em estufa bacteriológica por 24 horas a uma temperatura de 35±2°C. Posteriormente, observou-se a presença de coliformes totais (colônias rosa/lilás) e *E. coli* (colônias violetas/pretas), sendo que o número de coliformes totais é igual

a soma dos coliformes totais e *E. coli*. Após a contagem do número de colônias formadas, os resultados foram expressos em unidades formadoras de colônia por 100mL (UFC/100mL).

#### **4.2.3 Análises Físico-químicas**

As variáveis físico-químicas condutividade elétrica, temperatura e o potencial hidrogênioônico (pH) foram determinadas *in loco* por meio de sonda multiparâmetros (AKSO/AK88) (CETESB, 2011). As análises de turbidez foram realizadas com auxílio de turbidímetro portátil (HACH, modelo 2100 P).

O oxigênio dissolvido foi determinado pelo método titulométrico (Winkler, 1969 descrito em APHA, 1995). A alcalinidade total foi obtida por titulação potenciométrica com solução de ácido sulfúrico (0,01 N) (APHA,1995). A análise de sólidos totais dissolvidos foi realizada utilizando-se sonda multiparâmetros de bancada (Hanna, modelo HI 3512) (CETESB, 2011).

As análises dos nutrientes nitrato, nitrito, amônia, fósforo dissolvido e fósforo total foram realizadas por métodos espectrofotométricos descritos em *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1995). Para as análises dos nutrientes dissolvidos (nitrato, nitrito, amônia e fósforo dissolvido), utilizou-se amostras previamente filtradas em membranas de acetato de celulose com 0,45µm de abertura de poro. Para a análise de fósforo total, utilizou-se amostra de água bruta.

#### **4.2.4 Análise das Componentes Principais**

A fim de verificar a formação de padrões temporais dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, e as características dos poços, aplicou-se aos dados a Análise das Componentes Principais (ACP), via matriz de correlação.

A ACP é uma técnica de estatística multivariada que consiste em transformar um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de variáveis de mesma dimensão denominadas de componentes principais, com o propósito de reter o máximo de informação contida nos dados com a menor perda possível da informação (VARELLA, 2008).

## 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.3.1 Avaliação Microbiológica

Os microrganismos patogênicos são introduzidos na água juntamente com material fecal dos esgotos podendo ser de vários tipos (bactérias, vírus, protozoários). Não são residentes naturais do meio aquático tendo sobrevivência limitada na água, podendo alcançar o ser humano através da ingestão ou contato com água contaminada causando doenças de veiculação hídrica (BRAGA et al., 2005).

A identificação e quantificação de agentes patogênicos na águas apresentam limitações, contudo faz-se o estudo dos organismos indicadores de contaminação fecal, que não são predominantemente patogênicos, mas dão indicação de quando uma água apresenta contaminação, e sua potencialidade em transmitir doenças (HELLER & PÁDUA, 2010).

Tais bactérias são utilizadas por diversos motivos, entre eles o fato de existirem em grande número na matéria fecal, não existindo em nenhum outro tipo de matéria ( $10^9$  a  $10^{12}$  células por dia). Algumas bactérias como por ex. a *E. coli* não se reproduzem na água ou solo sendo exclusivo no interior do intestino, apresentam um grau de resistência no meio superior à maioria das bactérias patogênicas intestinais. Os mecanismos de remoção dos coliformes em água são os mesmos utilizados para remoção das bactérias patogênicas, e sua caracterização e quantificação são feitas por métodos relativamente mais simples (BRAGA et al., 2005; SPERLING, 2014).

Os coliformes totais (CT) são os principais indicadores de contaminação utilizados é um grande grupo de bactérias que tem sido isolada de amostras de água e solo poluídos e não poluídos, bem como de fezes de seres humanos e animais de sangue quente, são organismos de vida livre e não intestinal, podendo ser entendidos como coliformes “ambientais” (SPERLING, 2014).

A principal bactéria do grupo de coliformes termotolerantes é a *Escherichia coli* (*E. coli*), essa bactéria é encontrada em fezes humanas e de animais de sangue quente, é a única que dá garantia de contaminação exclusivamente fecal, no entanto não garante que a contaminação seja de origem humana (SPERLING, 2014).



No presente estudo foram avaliados a presença de coliformes totais (CT) e *Escherichia coli* (*E. coli*). Os resultados dos CT encontram-se na tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Resultado de coliformes totais e os valor recomendado pelas legislações.

Poços	AA	AA/AB	AB	AB/AA
	CT UFC/100mL	CT UFC/100mL	CT UFC/100mL	CT UFC/100mL
1	38.000	3.300	14.000	22.000
2	5.000	5.500	7.700	18.000
3	5.000	700	6.500	26.000
4	8.059	1.900	12.300	8.000
5	45	500	521	5.000
6	159	13	800	6.000
7	4.000	200	5.100	34.000
8	10.021	8.900	4.100	9.000
9	1.430	7.400	18.500	118.000
10	18.013	500	350	18.000
11	1.001	200	220	34.000
12	2.001	40	225	7.000
13	2.356	2.100	1.509	16.000
14	36.000	1.100	820	3.053
15	Ausente	3	Ausente	*
<b>Portaria PRC MS nº 5/2017</b>	Ausente/100mL			
<b>Resolução CONAMA nº 396/2008</b>	Ausente/100mL			

(\*) = residência encontrava-se fechada. Fonte: A autora.

Foi observada a ausência desse grupo bacteriano apenas no poço 15 nos períodos de águas altas e águas baixas.

Com relação aos resultados obtidos para o período de AA o máximo valor foi 38.000 UFC/100ml no poço 1, no período de AB todos os poços apresentaram contaminação variando entre de 3 UFC/100ml (poço 15) e 8.900 UFC/100ml (poço 8). No período de AB o máximo valor de coliformes totais ocorreu no poço 9 (18.500 UFC/100ml). No período de AB/AA novamente o poço 9 apresentou valor máximo de densidade de colônias de coliformes totais (118.000UFC/100 ml).

Os altos valores encontrados nos poços 1 e 9 podem ser explicados quando observados as características construtivas dos mesmos como, o poço 1, como pode ser observado na tabela 4.1 a tampa encontra-se em condições inadequadas, a fossa está localizada em cota superior a

cota do poço, e no terreno foi observado a presença de animais domésticos e acúmulo de matéria orgânica. O poço 9 apresenta pouca profundidade (4,5 m) e está localizado nas proximidades de um igarapé que recebe grande quantidade de despejos de efluentes diversos.

A profundidade é uma característica que pode estar relacionada à qualidade da água, uma vez que pode reduzir a possibilidade de contaminação por substâncias que possuem baixa mobilidade no solo (CAPP et al., 2012).

Nos poços 8, 10, 13 e 14 houve uma variação da densidade de coliformes totais entre os períodos analisados, onde os meses de ocorrência de chuvas (março e dezembro) apresentaram valores elevados em relação aos encontrados no período com menor frequência delas (junho e setembro). Esse resultado pode ser explicado pela redução das chuvas na região, diminuindo assim a influência da água infiltrada no solo.

O aumento significativo da densidade de coliformes totais nos meses chuvosos, ocorre devido ao carreamento da água da superfície para dentro dos poços, muitas vezes indevidamente vedados (FRANCO et al., 2018; GROTT et al., 2018; MESQUITA et al., 2014; SILVA et al., 2009).

No mês de março os poços 3, 6 e 15, apresentaram ausência de *Escherichia coli* (*E. coli*), o máximo valor do período analisado ocorreu no poço 14 (17.000 UFC/100ml). Em junho foi observada ausência da bactéria nos poços 1, 7 e 11, e a densidade máxima encontrada foi de 1.700 UFC/100 mL no poço 8 (tabela 4.3). No mês de setembro o máximo valor encontrado foi observado no poço 7 (2.600 UFC/100 mL), o único poço com ausência de *E. coli* foi o poço 15. Em dezembro todos os poços analisados apresentaram contaminação e a máxima densidade encontrada foi observada no poço 9 com 24.000 UFC/100 mL.

Semelhante ao que ocorreu para as análises de coliformes totais, os poços 13 e 14 novamente apresentaram uma variação da densidade de *E. coli*, refletindo a variação sazonal, apresentando aumento e redução da densidade conforme ocorrem as chuvas da região.

Tabela 4.3 - Resultado de *Escherichia coli* (*E. coli*) e os valor recomendado pelas legislações.

Poços	AA	AA/AB	AB	AB/AA
	<i>E. Coli</i> UFC/100mL	<i>E. Coli</i> UFC/100mL	<i>E. Coli</i> UFC/100mL	<i>E. Coli</i> UFC/100mL
1	2.000	Ausente	1.100	2.000
2	1.000	100	1.000	1.000
3	Ausente	700	500	8.000
4	59	100	300	1.000
5	4	100	21	2.000
6	Ausente	1	600	2.000
7	1.000	Ausente	2.600	20.000
8	21	1.700	900	2.000
9	1.000	300	700	24.000
10	13	100	50	3.000
11	1	Ausente	20	6.000
12	1	5	25	2.000
13	2.000	1.100	9	4.000
14	17.000	400	20	53
15	Ausente	1	Ausente	*
<b>Portaria PRC MS n° 5/2017</b>	Ausente/100mL			
<b>Resolução CONAMA n° 396/2008</b>	Ausente/100mL			

(\*) = residência encontrava-se fechada. Fonte: A autora.

Na pesquisa realizada por Meschede et al. (2018) foi encontrada presença de *E. coli* em 47% das amostras de água de escolas no município de Santarém no Pará. Lauthartte et al. (2016) detectaram contaminação da água por *E. coli* em 100% nos poços de 82 residências no Distrito de Jaci-Paraná, em Rondônia.

Ramos et al. (2017) no distrito de Nova Colina em Ji-Paraná encontraram contaminação em 100% dos poços avaliados, e os valores máximos de CT 58.000 UFC/100 mL e *E. coli* de 38.000 UFC/100 mL associando a contaminação ao nível freático raso e a falta de saneamento. Oliveira et al. (2015), encontraram no município de Vilhena, Rondônia, contaminação por coliformes em ambos os períodos estudados, e *E. coli* em 66% dos poços estudados, assim como no presente estudo os poços que apresentaram maior contaminação foram os do tipo amazonas.

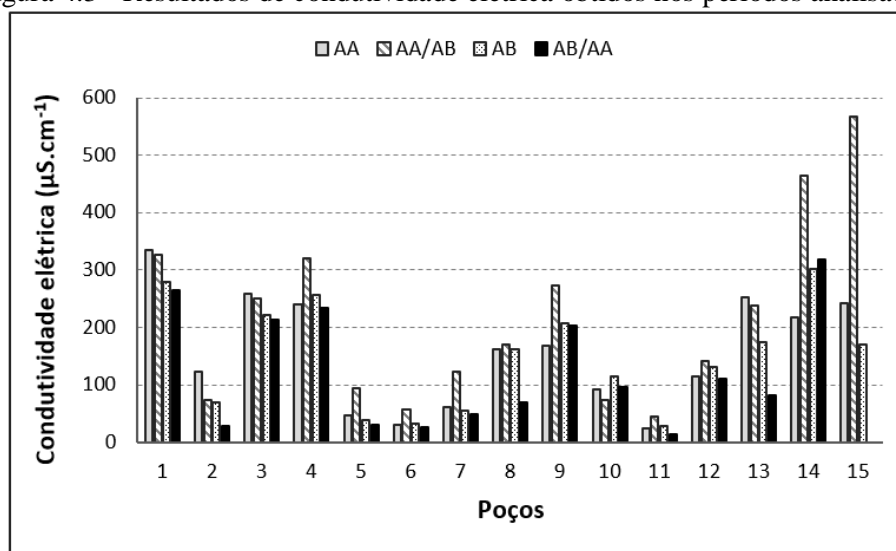
### 4.3.2 Avaliação Físico-química

#### 4.3.2.1 Condutividade elétrica

Condutividade Elétrica é a medida da facilidade de uma água conduzir a corrente elétrica e está diretamente ligada a presença de substâncias dissolvidas sob a forma de íons (ânions e cátions) (SANTOS, 2008). A sua determinação permite estimar a quantidade de sólidos totais dissolvidos presentes na água (HELLER & PÁDUA, 2010).

As águas doces apresentam variação da condutividade entre 10 a 100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (microSiemens) (BRASIL, 2006). Os resultados de condutividade elétrica da presente pesquisa encontram-se na figura 4.3 e 4.4.

Figura 4.3 - Resultados de condutividade elétrica obtidos nos períodos analisados.



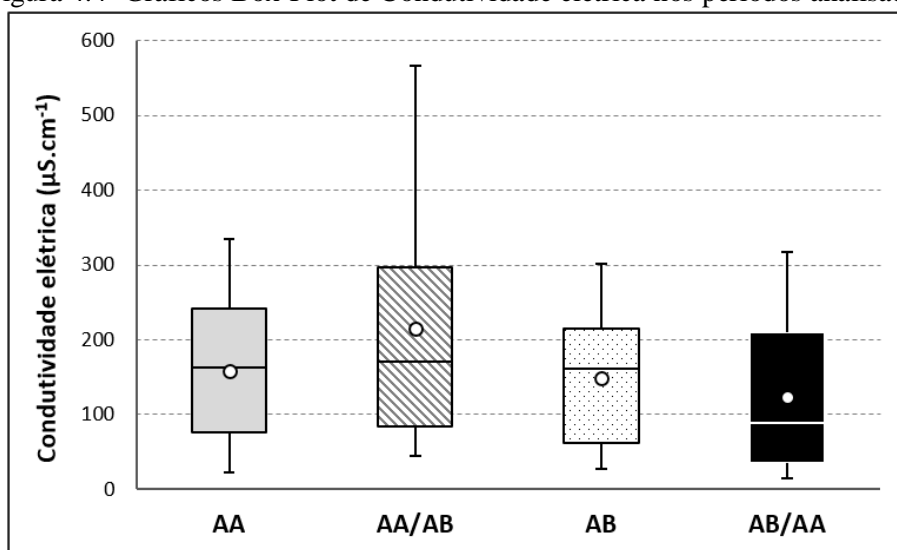
Fonte: A autora.

Foram encontrados valores variando de 23,1  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (poço 11) a 335,4  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (poço 1), e média de 157,5  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  no mês de março. Em junho a variação foi de 44,5  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (poço 11) a 567  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (poço 15) com média de 214,61  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Em setembro a condutividade variou de 28  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (poço 11) a 302  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (poço 14) e média de 149,4  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Em dezembro a variação foi de 14,6  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (poço 11) a 318  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (poço 14), com média de 124,2  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

As legislações não estabelecem valor máximo para CE, no entanto valores iguais ou maiores que  $1.000\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  indicam que as águas estão salobras ou podem estar poluídas (BRASIL, 2014).

O mês de setembro (figura 4.5) foi o que apresentou menor variabilidade dos valores encontrados, e no mês de junho foi observada maior variabilidade e 75 % dos dados encontram-se abaixo de  $300\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Já para os meses de março, setembro e dezembro a condutividade elétrica esteve abaixo de  $350\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  em todos os pontos.

Figura 4.4- Gráficos Box-Plot de Condutividade elétrica nos períodos analisados.



Fonte: A autora.

Franco et al. (2018) em pesquisa realizada no Acre encontraram valores acima de  $100\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  em mais de 50% dos poços avaliados, demonstrando ação antrópica na alteração da qualidade ambiental local. Bahia et al. (2011) no Pará, encontraram valores médios para o período chuvoso de  $94,27\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  e de  $74,8\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  para período de estiagem. Lauthartte et al. (2016) em Jaci-Paraná observaram valores entre  $14,70\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  a  $1.084\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

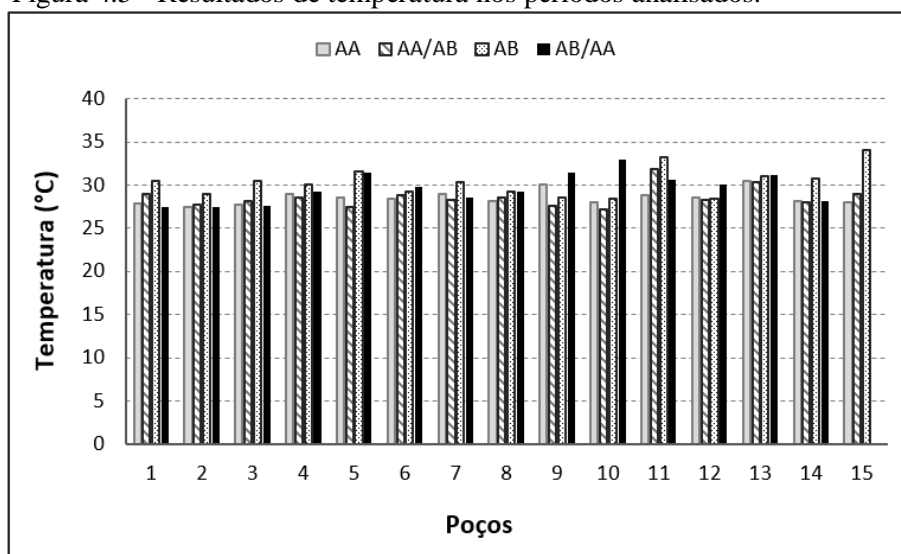
#### 4.3.2.2 Temperatura

A temperatura da água expressa a medição da intensidade de calor. Sua alteração pode ocorrer por fontes naturais como a transferência de calor por radiação (energia solar), condução e

convecção (atmosfera e solo), ou por origem antropogênica através de despejos industriais e águas de resfriamento de máquinas (SPERLING, 2014).

A temperatura também exerce influência direta na velocidade das reações químicas, nas atividades metabólicas dos organismos e na solubilidade dos gases (HELLER & PÁDUA, 2010). A velocidade de reação química duplica para cada 10 °C de aumento da temperatura, acelerando as reações que se relacionam com a atividade microbiana (reações bioquímicas). O seu efeito não pode ser considerado isoladamente de outros fatores ambientais (BENETTI & BIDONE, 2015).

Figura 4.5 - Resultados de temperatura nos períodos analisados.

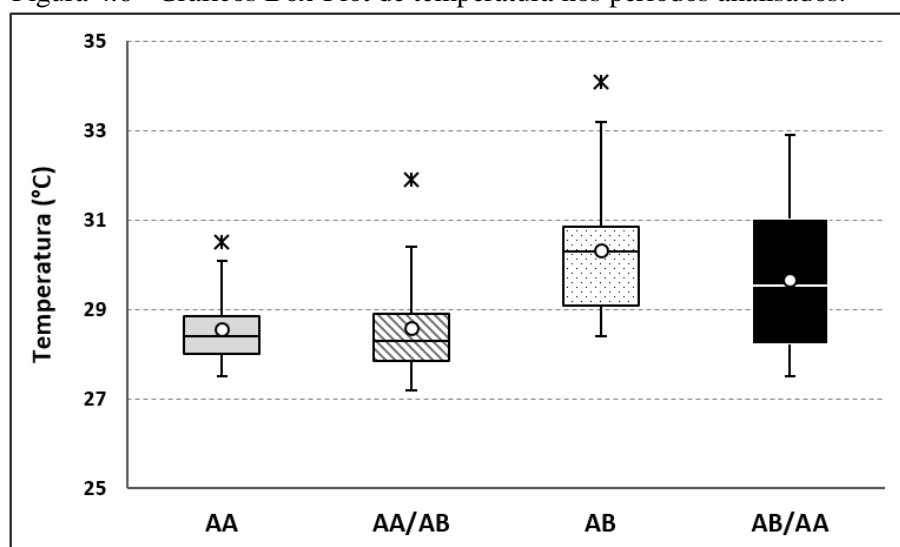


Fonte: A autora.

A temperatura (figura 4.5) apresentou variação entre 27,5 à 30,5 °C em março, de 27,2 à 31,9 °C junho, 28,4 à 34,1 °C em setembro, e de 27,5 à 32,9 °C em dezembro. O valor médio encontrado por período foi de 28,5, 28,5, 30,3 e 32,9 °C, respectivamente, a legislação não estabelece limite para a temperatura das águas para consumo humano.

Os valores discrepantes do conjunto de dados (outliers) foram de 30,5 °C em março no poço 13, de 31,9 °C (poço 11) em junho, e de 34,1°C no poço 15 em setembro (figura 4.6), esse valor elevado em relação aos demais no poço 15 se deve ao fato da coleta ter sido realizada na torneira (após alguns minutos ligada para liberar a água estagnada na tubulação), uma vez que não foi possível a coleta na tubulação que está conectada ao poço.

Figura 4.6 - Gráficos Box-Plot de temperatura nos períodos analisados.



Fonte: A autora.

A maior amplitude dos dados ocorreu no mês de dezembro, e 25% dos poços apresentaram valores acima de 31 °C. Os maiores valores, como era esperado foram encontrados no mês de setembro, representativo do período de estiagem na região, e os menores valores ocorreram no mês de março, característico de período chuvoso.

Segundo Santos (2008), a amplitude térmica anual das águas subterrâneas em geral é baixa (de 1 a 2 °C) e independe da temperatura atmosférica, mas nos casos dos aquíferos freáticos pouco profundos, a temperatura é pouco superior à da superfície, fato que pode ser observado nos dados aqui apresentados.

#### 4.3.2.3 Potencial hidrogênio (pH)

O potencial hidrogênio é a concentração de íons hidrogênio (H<sup>+</sup>) e indica as condições de acidez, neutralidade e alcalinidade da água podendo variar de 0 a 14, pH=7 é neutro, pH<7 indica acidez, e maiores indicam alcalinidade (SPERLING, 2014).

O pH é o logaritmo negativo da concentração de íons hidrogênio expressa em moles por litro (BENETTI & BIDONE, 2015):

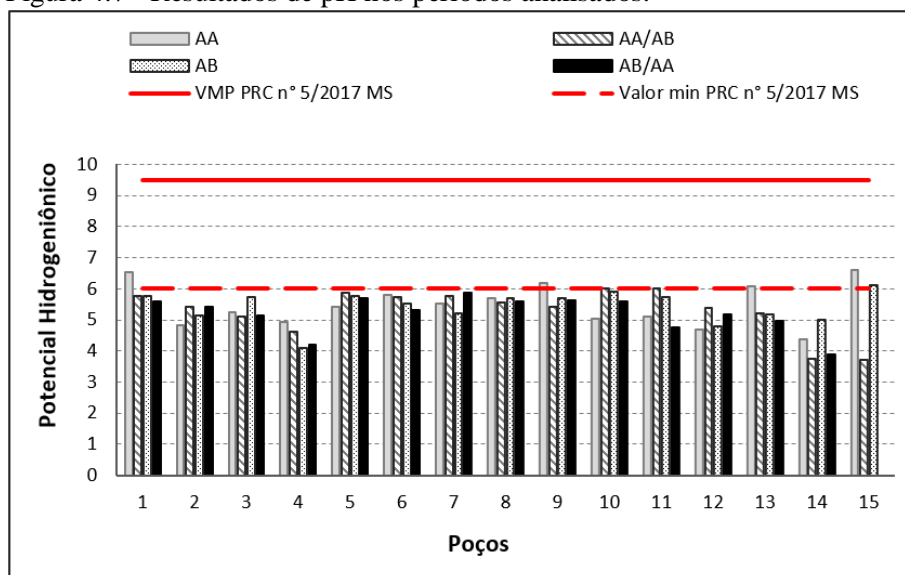
$$pH = \log \frac{1}{[H^+]}$$

Podendo ser originado da dissociação do ácido carbônico (gera valores baixos de pH), e de reações de íons carbonato e bicarbonato que elevam os valores de pH (ESTEVES, 2011).

Esse parâmetro é importante por afetar muitas reações químicas no meio (BRAGA et al., 2005). Pode ser influenciado por características dos solos, dissolução de rochas e fotossíntese, assim como por ações antrópicas como despejo doméstico e industrial, não apresenta implicações para saúde pública a menos que esteja com valores extremamente baixos, ou elevados podendo causar irritações nos olhos e pele (SPERLING, 2014).

Os resultados encontrados (figura 4.7) para o mês de março apontaram que 26,6% dos poços encontram-se dentro do intervalo de 6 a 9,5 valor máximo permitido (VMP) estabelecido pela Portaria de consolidação nº 5 de 2017, registrados nos poços 1, 9, 13, 15. No mês de junho esse percentual diminuiu para 13,3%, estando em conformidade apenas os poços 10 e 11. Em setembro apenas o poço 15 apresentou conformidade, com de pH de 6,13. No mês de dezembro, 100% dos poços estiveram abaixo do limite permitido pela legislação. Os valores médios encontrados foram 5,4 em março, 5,2 em junho, 5,4 setembro e 5,16 em dezembro. Para a obtenção dos valores médios o pH foi convertido para valores logaritmos.

Figura 4.7 - Resultados de pH nos períodos analisados.

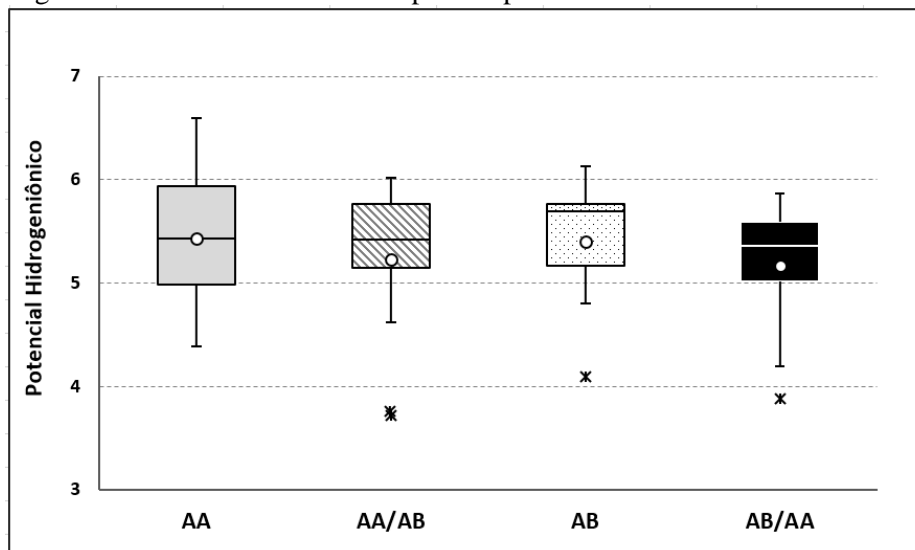


Fonte: A autora.



Entre os meses avaliados, como pode ser observado na figura 4.8, o que apresentou maior variabilidade dos dados foi o mês de março. No mês de junho os poços 14 e 15 apresentaram dados discrepantes dos valores encontrados para o período, com valores de pH de 3,7 e 3,7 respectivamente. No mês de setembro o valor de 4,9 no poço 4 e em dezembro de 3,8 no poço 14 também são outliers.

Figura 4.8 - Gráficos Box-Plot de pH nos períodos analisados.



Fonte: A autora.

Segundo Santos (2008), a maioria das águas subterrâneas tem pH entre 5,5 e 8,5, mas em casos excepcionais, pode variar entre 3 e 11.

Diversos estudos apontaram valores baixos de pH para água subterrânea no Estado de Rondônia. Oliveira et al. (2015) no município de Vilhena registraram valores de pH entre 4,14 e 4,94 no mês de agosto (período de estiagem) e entre 4,72 e 6,30 na estação chuvosa (dezembro). Lauthartte et al. (2016) em Jaci-Paraná observaram valores relativamente baixos, variando entre 2,61 à 5,21. Silva et al. (2009) observaram pH médio de 4,30 no município de Ji-Paraná. Leite et al. (2011) encontraram valores médios de pH de 5,4 em poços rurais em Ji-Paraná, com mediana na estação chuvosa de 5,3, menor que na estação seca (5,7).

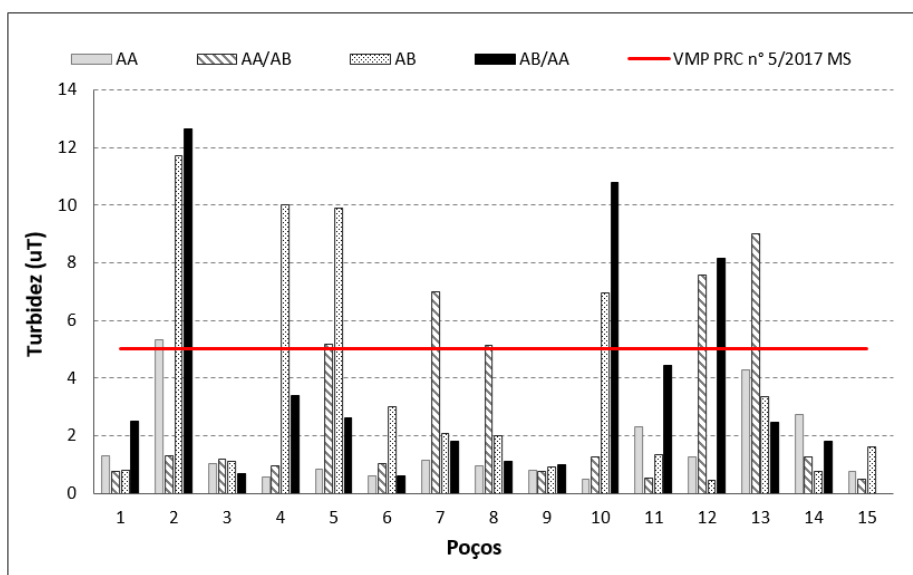
Segundo Bahia (2011) baixos valores de pH são característicos de climas tropicais com abundantes precipitações, que atingem facilmente o lençol freático, e com a decomposição da matéria orgânica ocorre o aumento de substâncias ácidas e a redução do pH.

#### 4.3.2.4 Turbidez

A turbidez da água é a medida de sua capacidade em dispersar a radiação, devido a partículas suspensas (argila, silte, areia, rochas), sendo o material em suspensão responsável pela cor aparente da água (ESTEVEZ, 2011; SANTOS, 2008).

Pode não acarretar inconvenientes sanitários diretos, mas é esteticamente desagradável na água potável, no entanto, os sólidos em suspensão podem servir de escudo para microrganismos patogênicos, reduzindo a ação dos desinfetantes. A turbidez também pode ocorrer por origem antropogênica como por despejos industriais, microrganismos e erosão. A turbidez pode ser expressa por meio de unidades de turbidez (uT) (SPERLING, 2014). Os resultados encontrados para as análises de turbidez encontram-se na figura 4.9 e 4.10.

Figura 4.9 - Resultados de turbidez nos períodos analisados.

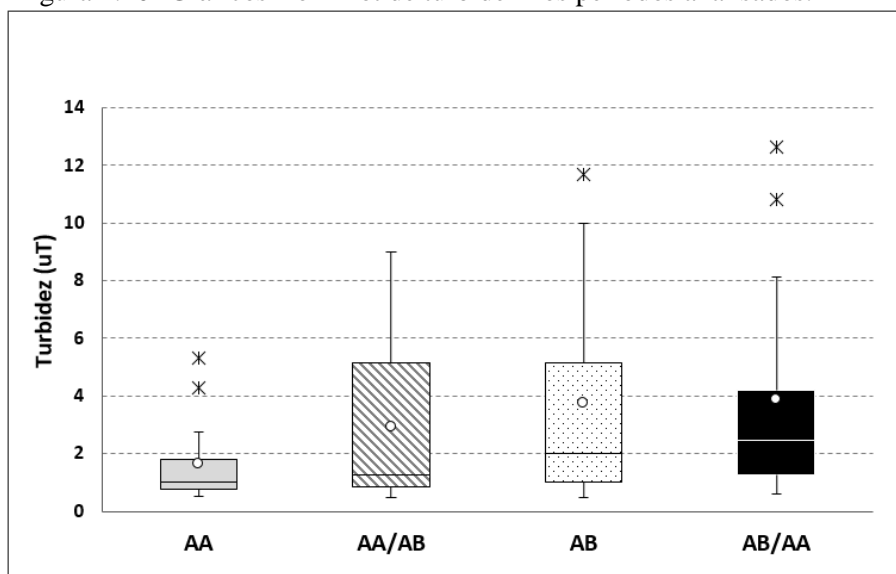


Fonte: A autora.

No mês de março a turbidez variou entre 0,51 à 5,32 uT, apenas o poço 2 esteve acima do limite de 5 uT permitido pela legislação. No mês de junho a turbidez variou de 0,49 à 9 uT e 33,3% dos poços equivalente à 5 poços (5, 7, 8, 12, 13) estiveram acima do VMP, no mês setembro o valor mínimo encontrado foi de 0,47 uT e o valor máximo 11,7 uT, e 4 poços (26,6%) estiveram em desacordo (poço 2, 4, 5, 10). No mês de dezembro os poços 2, 10, 12 (20%) estiveram acima do valor estabelecido, os resultados variaram de 0,6 a 12,65 uT.

Como pode ser observado na figura 4.10 o mês com a menor variação dos dados foi o mês de março, o mês de setembro foi o que apresentou maior variabilidade. No mês de março ocorreram dois valores *outliers* nos poços 2 e 13, apresentando valores de 5,32 e 4,27 uT respectivamente. No mês de setembro o poço 2 novamente apresentou valores discrepantes em relação aos demais (11,7 uT). No mês de dezembro além do poço 2 com valor de 12,65 uT o poço 10 apresentou valor de 10,8 uT.

Figura 4.10- Gráficos Box-Plot de turbidez nos períodos analisados.



Fonte: A autora.

Entre os poços que apresentaram valores de turbidez acima do VMP podemos destacar as características de construção de alguns poços. O poço 2, por exemplo, que além da pouca profundidade, não possui revestimento, e a tampa se apresenta em más condições de uso, e o poço 13 que apesar de ser totalmente revestido possui a tampa muito próxima ao nível do terreno.

Assim como na presente pesquisa, Grott et al. (2018) também encontrou maiores valores de turbidez no período seco, em seu estudo 9,61% das amostras estiveram em desacordo no período seco e 5,76% no período úmido.

#### 4.3.2.5 Oxigênio dissolvido

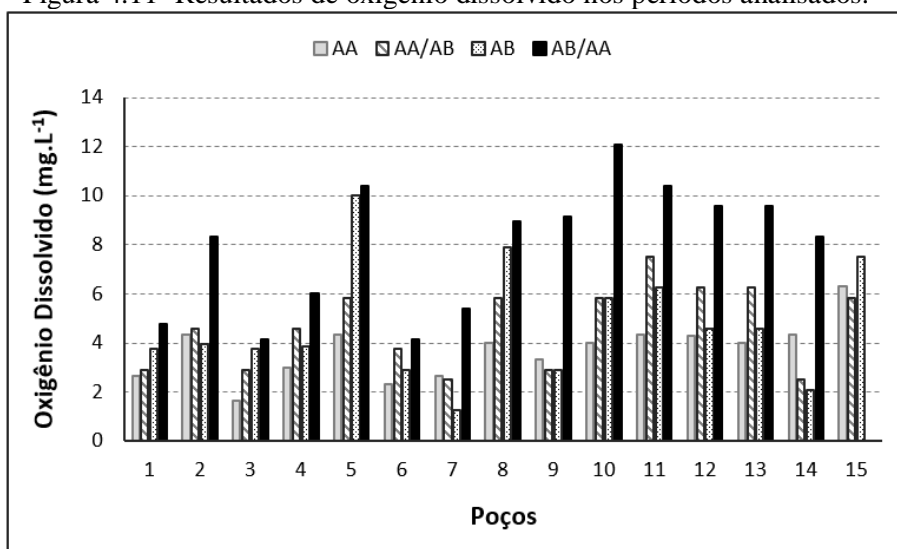
Dentre os gases dissolvidos na água, o oxigênio é um dos mais importantes na dinâmica e caracterização de ecossistemas aquáticos. Sua solubilidade em água depende da pressão e temperatura, com a elevação da temperatura e diminuição da pressão ocorre a redução da solubilidade do oxigênio (ESTEVES, 2011).

O oxigênio dissolvido (OD) pode ter origem natural através da dissolução do oxigênio atmosférico na água, produção por organismos fotossintéticos e antropogênica por introdução de aeração artificial, produção por organismos fotossintéticos em corpos d'água eutrofizados (SPERLING, 2014). As perdas de oxigênio dissolvido se dão pela respiração de plantas e animais aquáticos e através de atividade bacteriana na decomposição de matéria orgânica e oxidação química (TUNDISI & TUNDISI, 2008).

O oxigênio dissolvido é essencial para os organismos aeróbios, e sua redução pode levar a morte de seres aquáticos, o seu consumo total pelas bactérias na estabilização da matéria orgânica leva as condições anaeróbias o que pode gerar maus odores, assim como pode indicar poluição por despejos orgânicos (SPERLING, 2014).

Os resultados encontrados para a concentração de OD na água subterrânea encontram-se na figura 4.11 e 4.12.

Figura 4.11- Resultados de oxigênio dissolvido nos períodos analisados.



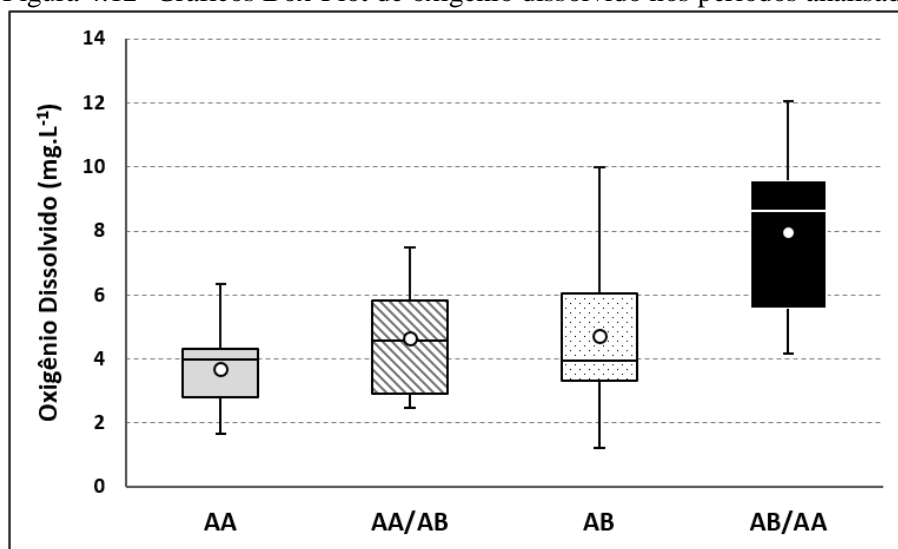
Fonte: A autora.

Os valores máximos de oxigênio encontrados na presente pesquisa foram  $6,3 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $7,5 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $10 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $12,07 \text{ mg.L}^{-1}$  para os meses de março, junho, setembro e dezembro respectivamente. As médias por período foram de  $3,7 \text{ mg.L}^{-1}$  (março),  $4,6 \text{ mg.L}^{-1}$  (junho),  $4,7 \text{ mg.L}^{-1}$  (setembro), e  $7,95 \text{ mg.L}^{-1}$  em dezembro, a Portaria do MS e a CONAMA não estabelece limite de valores para o OD.

Os altos valores encontrados nos poços 5, 11 e 15 ocorreram devido os poços serem lacrados e a coleta ter sido feita diretamente na torneira, causando uma maior aeração da amostra. No poço 10 no mês de dezembro também não foi possível a coleta direto no poço, elevando o resultado do OD.

Segundo Santos (2008) o OD apresenta baixas concentrações na água subterrânea, com concentrações entre 0 e  $5 \text{ mg.L}^{-1}$ , pois a maior parte do oxigênio dissolvido na água, que infiltra no solo, é consumida na oxidação da matéria orgânica, durante a trajetória da água subterrânea na zona de aeração.

Figura 4.12- Gráficos Box-Plot de oxigênio dissolvido nos períodos analisados.



Fonte: A autora.

O mês que apresentou menor variabilidade dos dados foi mês de março (figura 4.12) e 50 % das amostras apresentaram valores abaixo que  $4 \text{ mg.L}^{-1}$ . O mês de setembro foi o que apresentou maior variabilidade com 50% entre 4 e  $10 \text{ mg.L}^{-1}$ .

#### 4.3.2.6 Alcalinidade total

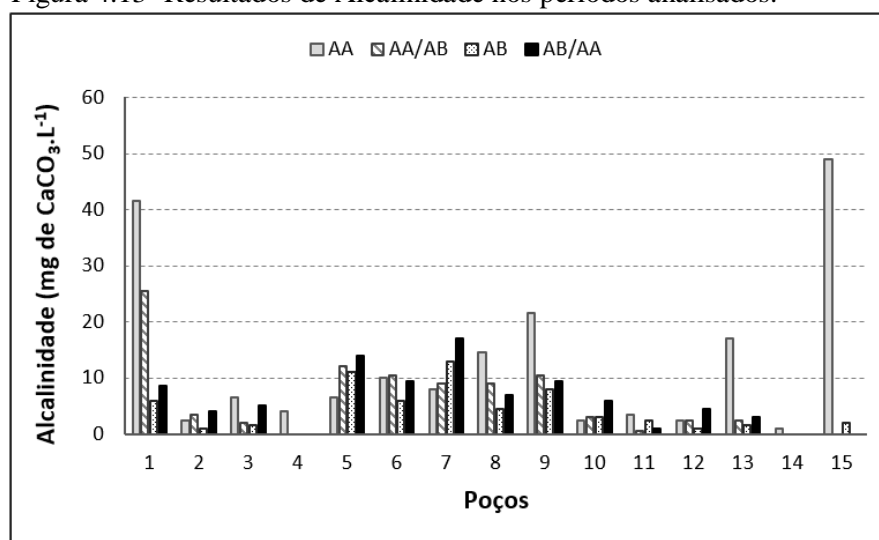
A alcalinidade é definida como a capacidade de uma água neutralizar ácidos (capacidade tampão), sendo uma consequência direta da presença e/ou ausência de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos (SANTOS, 2008).

A alcalinidade, o pH e o teor de gás carbônico estão inter-relacionados sendo que  $\text{pH} > 9,4$  a alcalinidade se deve a hidróxidos e carbonatos, pH entre 8,3 e 9,4 estarão presente os carbonatos e bicarbonatos, e entre 4,4 e 8,3 há presença apenas de bicarbonatos (SPERLING, 2014). Somente dois tipos de alcalinidade podem estar presentes simultaneamente em uma amostra de água, posto que haveria uma reação em hidróxidos e bicarbonatos, reduzindo estes à forma de carbonatos (SANTOS, 2008).

Pode ocorrer por origem natural pela dissolução de rochas e reação do  $\text{CO}_2$  com a água, ou por origem antrópica através de despejos industriais. Não tem importância sanitária para água potável, mas em elevadas concentrações podem gerar gosto amargo a água (SPERLING, 2014).

Os valores encontrados para alcalinidade da água subterrânea na microbacia do igarapé Nazaré encontra-se nas figuras 4.13 e 4.14.

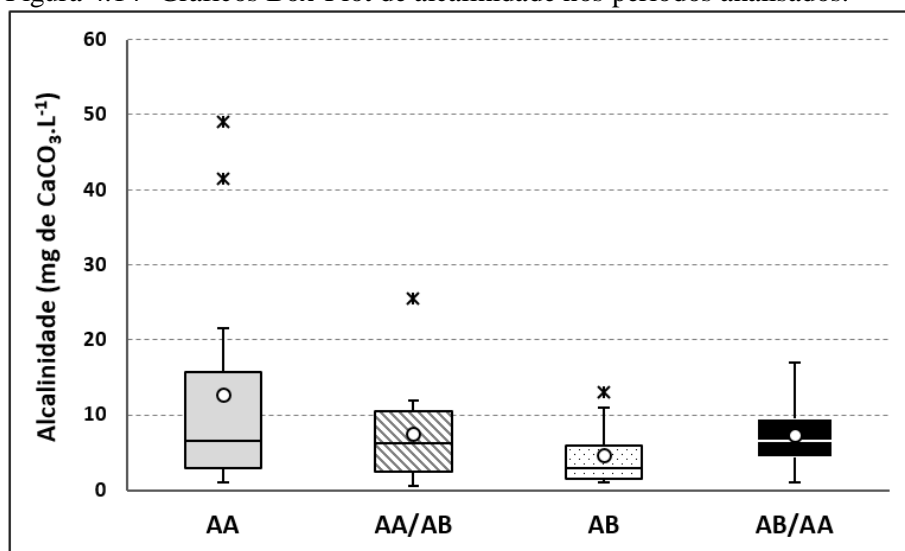
Figura 4.13- Resultados de Alcalinidade nos períodos analisados.



Fonte: A autora.

Os valores máximos de alcalinidade ocorreram no poço 15 no mês de março com 49 mg de  $\text{CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$ , no poço 1 no mês de junho (25,5 mg de  $\text{CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$ ) e no poço 8 nos meses de setembro e dezembro com valores de 13 mg de  $\text{CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$  e 17 mg de  $\text{CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$ , respectivamente. A Portaria do MS nº 5/2017 e a CONAMA 396/08 não estabelece limite de valores para valores de alcalinidade.

Figura 4.14- Gráficos Box-Plot de alcalinidade nos períodos analisados.



Fonte: A autora.

Conforme pode ser observado na figura 4.14 o mês que apresentou menor variabilidade dos dados foi o mês de setembro, apresentando valor no poço 8 de 13 mg de  $\text{CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$ . O mês de março apresentou maior variabilidade dos dados e dois poços apresentaram valores anormais aos encontrados nos demais poços no período, 41,5 mg de  $\text{CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$  (poço 1) e 49 mg de  $\text{CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$  (poço 15).

#### 4.3.2.7 Sólidos totais dissolvidos

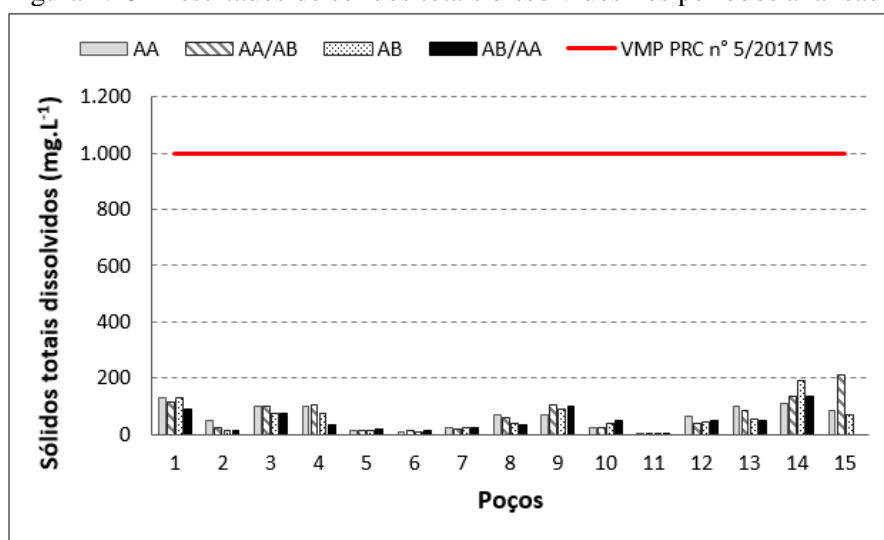
Os Sólidos Totais Dissolvidos é o peso total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume. Representa a concentração de todo o material dissolvido na água, seja ou não volátil. O valor de STD nas águas doces varia de 50 a 1.500  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  (SANTOS, 2008).

Todos os contaminantes da água, exceto os gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos. Portanto, a presença de sólidos na água pode estar associada a características físicas, químicas ou biológicas (SPERLING, 2014).

O padrão de potabilidade refere-se aos sólidos totais dissolvidos com um limite máximo de  $1.000\text{mg.L}^{-1}$ , já que este reflete a influência de lançamentos de esgotos e afeta a qualidade organoléptica da água (BRASIL, 2014).

Os resultados encontram-se nas figuras 4.15 e 4.16, como pode ser observado, todos os poços apresentaram valores dentro do limite estabelecido.

Figura 4.15- Resultados de sólidos totais dissolvidos nos períodos analisados.

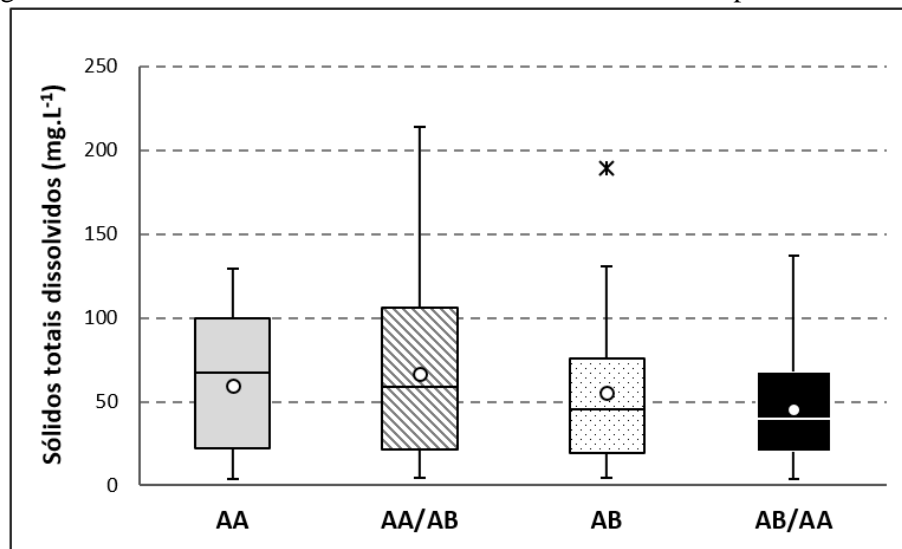


Fonte: A autora.

Os STD apresentaram valores máximos de  $129,6\text{mg.L}^{-1}$  (março),  $214\text{mg.L}^{-1}$  (junho),  $189,7\text{mg.L}^{-1}$  (setembro),  $136,9\text{mg.L}^{-1}$  (dezembro). O período com a menor variabilidade dos dados foi nas AA, e o de maior variabilidade foi o de transição entre AA/AB.



Figura 4.16- Gráficos Box-Plot de sólidos totais dissolvidos nos períodos analisados.



Fonte: A autora.

#### 4.3.2.8 Nutrientes

Entre os nutrientes avaliados na presente pesquisa a tabela 4.4 apresenta o resumo dos resultados do fósforo total e dissolvido, amônia e nitrito.

O fósforo é o principal fator limitante de produtividade, assim como, é o principal responsável pela eutrofização artificial dos ecossistemas aquáticos (TUNDISI & TUNDISI, 2008). Pode estar presente nas águas pela dissolução de compostos do solo e rochas, decomposição da matéria orgânica e o fósforo de composição celular de microrganismos, e através de despejos domésticos, industriais, detergentes, excrementos de animais, fertilizantes e pesticidas (SPERLING, 2014).

Com relação ao fósforo total o máximo valor ocorreu no período de transição entre AB/AA com  $395 \mu\text{g.L}^{-1}$ , e valor médio no período foi de  $56,1 \mu\text{g.L}^{-1}$ . Já o fósforo dissolvido apresentou maior valor ( $49,8 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) nas AB, e como pode ser observado mais de 60% dos poços apresentaram valores abaixo do limite de detecção do método para os períodos de AA e AB, e 40% para os períodos de transição AA/AB e AB/AA.

Tabela 4.4 - Resultados dos nutrientes fósforo total, fósforo dissolvido, amônia, nitrito para os períodos avaliados.

Parâmetro	Valor	AA	AA/AB	AB	AB/AA
PT (ug.L <sup>-1</sup> )	Min	6,29	5,57	5,5	7,7
	Médio	25,3	18,7	20,1	56,1
	Max	61,8	42	54,3	395
	<5ug.L <sup>-1</sup> LD	0%	0%	0%	0%
VMP PRC n°5/2017		Não estabelecido			
VMP CONAMA 396/2008		Não estabelecido			
PD (ug.L <sup>-1</sup> )	Min	9,85	5,57	7,7	7
	Médio	7,6	6,69	5,8	11,2
	Max	32	30,5	49,8	45,5
	<5ug.L <sup>-1</sup> LD	60%	40%	66%	40%
VMP PRC n°5/2017		Não estabelecido			
VMP CONAMA 396/2008		Não estabelecido			
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (ug.L <sup>-1</sup> )	Min	10,3	10,3	5,89	9,22
	Médio	10,39	14,67	15,39	28,7
	Max	100,67	145,1	122,8	67
	<5ug.L <sup>-1</sup> LD	66%	60%	66%	0%
VMP PRC n°5/2017		1,5 mg/L <sup>-1</sup>			
VMP CONAMA 396/2008		Não estabelecido			
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (µg.L <sup>-1</sup> )	Min	7,3	5,6	7,8	7,9
	Médio	34	1,43	1,42	1,42
	Max	397	9,6	13,6	11,9
	<5ug.L <sup>-1</sup> LD	53%	80%	86%	80%
VMP PRC n°5/2017		1 mg.L <sup>-1</sup>			
VMP CONAMA 396/2008		1 mg.L <sup>-1</sup>			

Fonte: A autora.

As legislações aqui apresentadas não estabelecem limite de concentração de fósforo na água de consumo humano. Em águas naturais não poluídas as concentrações de fósforo situam-se na faixa de 0,01 mg.L<sup>-1</sup> a 0,05 mg.L<sup>-1</sup> (BRASIL, 2014).

O nitrogênio está presente na biosfera de várias formas: nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), amônia (NH<sub>3</sub>), íon amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), nitrogênio molecular (N<sub>2</sub>). Dentre as diversas frações, o íon amônio e o nitrito são de grande importância nos ecossistemas aquáticos, sendo as principais fontes de nitrogênios para os produtores primários (ESTEVES, 2011).

Na decomposição da matéria orgânica, há formação de amônia (NH<sub>3</sub>), este através dos processos de nitrificação é transformado em NO<sub>2</sub><sup>-</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup> em condições aeróbicas a partir de atividades bacterianas, e a desnitrificação ocorre em condições próximas à anaerobiose, onde NO<sub>3</sub><sup>-</sup> é reduzido a NO<sub>2</sub><sup>-</sup> e a N<sub>2</sub> (TUNDISI & TUNDISI, 2008). As bactérias *Nitrosospiras* e

*Nitrosomonas* são as responsáveis pela oxidação da amônia a nitrito, a oxidação de nitrito a nitrato é realizada, pelo gênero *Nitrobacter* (ROLAND et al., 2005).

Com relação aos valores de amônia nos períodos de AA, AA/AB e de AB foram observados que mais de 60% dos poços avaliados estiveram abaixo do limite de detecção ( $<5 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) do método utilizado, e o valor máximo encontrado foi de  $145,1 \mu\text{g.L}^{-1}$  no período de transição entre AA/AB.

A Portaria do MS nº5/2017 estabelece um limite de  $1,5 \text{mg.L}^{-1}$  de amônia na água de consumo humano, o valor máximo encontrado nesta pesquisa ( $0,145 \text{mg.L}^{-1}$ ) está cerca de 10x abaixo do limite estabelecido.

Os valores encontrados para o nitrito (tabela 4.4) revelaram que o máximo valor ocorreu no período de AA  $397 \mu\text{g.L}^{-1}$ , no período de AA, 53% dos poços apresentaram concentrações abaixo do limite de detecção, nos demais períodos esse percentual foi superior à 80%. O valor máximo permitido em ambas as legislações é de  $1 \text{mg.L}^{-1}$ , portanto em todos os poços o nitrito esteve abaixo do valor estabelecido para o consumo humano.

O nitrito é encontrado em concentrações reduzidas ( $0,001 \text{mg.L}^{-1}$ ), indicando poluição recente (HELLER & PÁDUA, 2010). Porém em altas concentrações é extremamente tóxico a alguns organismos aquáticos e até ao homem (ESTEVES, 2011).

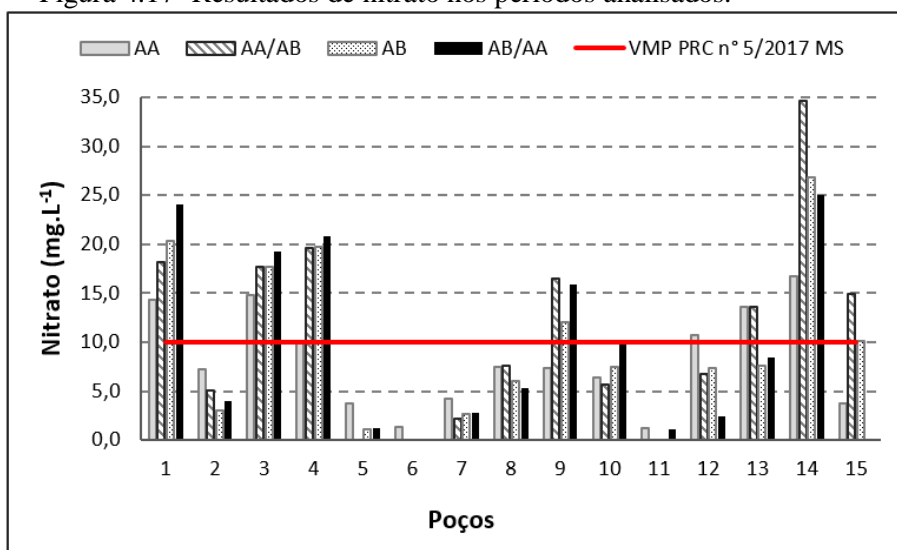
Segundo Sperling (2014) a determinação da forma predominante do nitrogênio pode indicar o estágio de poluição, sendo que poluição recente está associada ao nitrogênio na forma orgânica ou de amônia, enquanto que a poluição mais remota está associada ao nitrogênio na forma de nitrato.

O nitrato é um componente de origem antrópica, relacionadas as atividades agrícolas e aos problemas relativos ao saneamento básico (vazamento das redes de esgoto) e manejo de resíduos sólidos em áreas urbanas e rurais (QUAGGIO et al., 2018). Sendo utilizado mundialmente, como indicador de contaminação devido sua alta mobilidade, podendo atingir extensas áreas, comprometendo a qualidade da água subterrânea (VANIER et al., 2010).

Podendo provocar a indução a metemoglobinemia, e a formação potencial de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogênicas (ALABURDA & NISHIHARA, 1998).

O valor máximo permitido estabelecido pela Portaria de consolidação nº 5/2017 e pela CONAMA 396/2008 para a presença de nitrato na água de consumo humano é de 10 mg.L<sup>-1</sup>. Como pode ser observado na figura 4.17 em todos os períodos avaliados foram encontrados valores de nitrato acima do permitido pela legislação. No período de AA e AB, 40% dos poços estiveram em desconformidade, já nos períodos de transição de AA/AB e de AB/AA cerca de 46% e 33% dos poços estiveram em desconformidade, respectivamente.

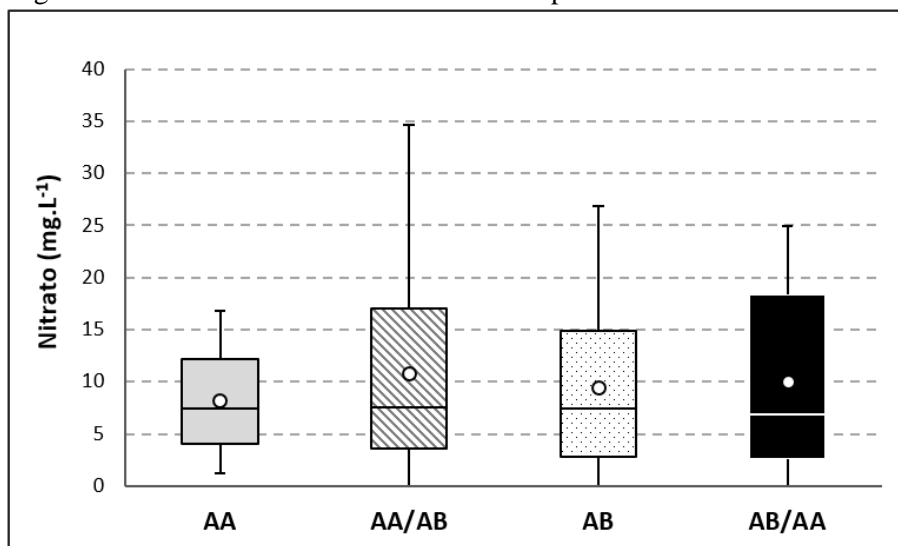
Figura 4.17- Resultados de nitrato nos períodos analisados.



Fonte: A autora.

O nitrato no período das águas altas apresentou valor máximo de 16,76 mg.L<sup>-1</sup> (figura 4.18) e média de 8,21 mg.L<sup>-1</sup>. No período de transição entre águas altas para águas baixas a maior concentração foi igual à 34,64 mg.L<sup>-1</sup> e média de 10,82 mg.L<sup>-1</sup>, três poços apresentaram valores abaixo do limite de detecção do método que é 1 mg.L<sup>-1</sup> nesse período. No período de águas baixas 2 poços apresentaram valores abaixo do limite de detecção, o valor máximo foi de 26,8 mg.L<sup>-1</sup> e média de 9,46 mg.L<sup>-1</sup>. No período de transição AB/AA 24,9 mg.L<sup>-1</sup> o valor médio foi de 10 mg.L<sup>-1</sup>.

Figura 4.18- Gráficos Box-Plot de nitrato nos períodos analisados.



Fonte: A autora.

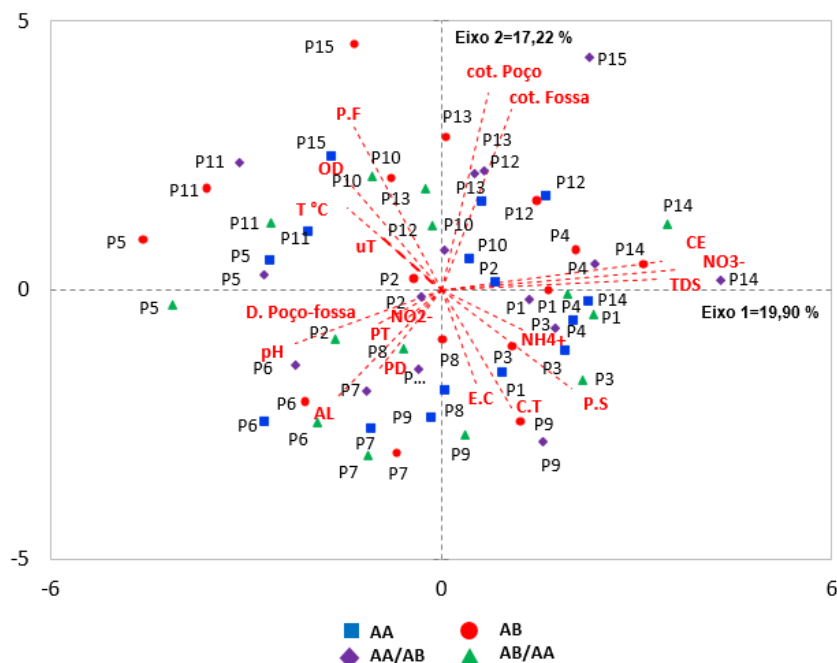
Silva et al. (2009), em Ji-Paraná, encontraram 78% dos poços amazonas em desconformidade, com a maior concentração de  $239 \text{ mg.L}^{-1}$ . Nunes et al. (2012), encontraram valores máximos de nitrato de  $26,2 \text{ mg.L}^{-1}$ . Leite et al, em poços rurais em Ji-Paraná encontrou valor de  $11,5 \text{ mg.L}^{-1}$ , assim como no presente estudo ocorreu a predominância do nitrato, enquanto o amônio foi encontrado em concentrações pequenas. Os autores associaram a contaminação a utilização de sistemas rudimentares para disposição do esgoto, poços com instalações inadequadas, influência de áreas de pastagens e ao cultivo de hortaliças.

### 4.3.3 Análise da Componentes Principais (ACP)

A matriz para a realização da ACP foi constituída por valores dos parâmetros físico-químicos e microbiológico nos períodos sazonais em estudo, bem como das características dos poços.

Na figura 4.19 é apresentado a projeção dos dados da análise de componentes principais para as variáveis e os períodos aqui observados.

Figura 4.19- Projeção dos dados da Análise das Componentes Principais (ACP) da microbacia do Igarapé Nazaré nos períodos analisados.



Fonte: A autora.

As proximidades entre os poços nos diferentes períodos amostrados demonstram que eles apresentaram características similares ao longo do ano, não apresentando influência das variações sazonais.

Como pode ser observado na figura 4.19 e na tabela 4.5, o total da variância explicada foi de 37,12%, sendo que o eixo 1 explicou 19,9% da variância dos dados, e o eixo 2 explicou 17,2%.

Tabela 4.5 - Correlação das variáveis em estudo, nos eixos 1 e 2 resultantes da Análise das Componentes Principais (ACP).

Variáveis	Abreviatura	Coeficiente de correlação	
		Eixo 1	Eixo 2
Coliformes totais	CT	0,267	-0,504
<i>Escherichia coli</i>	EC	0,133	-0,396
Temperatura	T°	-0,359	0,351
pH	pH	-0,557	-0,226
Condutividade elétrica	CE	<b>0,841</b>	0,123
Turbidez	uT	-0,221	0,221
Sólidos Totais Dissolvidos	STD	<b>0,828</b>	0,045
Oxigênio Dissolvido	OD	-0,364	<b>0,474</b>
Alcalinidade	AL	-0,405	-0,472
Fosforo total	PT	-0,253	-0,151
Fosforo dissolvido	PD	-0,239	-0,337
Amônia	NH4+	0,310	-0,171
Nitrito	NO2-	-0,002	-0,001

<b>Nitrato</b>	NO3-	<b>0,905</b>	0,086
<b>Cota do poço</b>	CP	0,178	<b>0,846</b>
<b>Cota da fossa</b>	CF	0,266	<b>0,775</b>
<b>Profundidade de fundo</b>	PF	-0,332	<b>0,701</b>
<b>Profundidade de superfície</b>	PS	<b>0,498</b>	-0,419
<b>Distância entre poço e fossa</b>	D. poço-fossa	-0,139	-0,127
<b>Variância explicada</b>		19,90%	17,22%
<b>Total da variância explicada</b>			37,12%

Fonte: A autora.

As variáveis mais representativas para a formação do eixo 1 foram nitrato (0,905) a CE (0,841), STD (0,828) e profundidade de superfície (0,498), fortemente relacionadas, indicando que os mesmos são os mais significativos na caracterização da qualidade da água em estudo. Já o eixo 2 foi formado pelas variáveis cota do poço (0,846), cota da fossa (0,775), profundidade de fundo (0,701) e oxigênio dissolvido (0,474). Evidenciando alta correlação entre características como, profundidade e cota da fossa e do poço na influência dos valores OD, temperatura e turbidez da água analisada.

A análise de componentes principais indicou também uma correlação inversa entre os parâmetros microbiológicos e a profundidade do poço, evidenciando assim que essa característica pode atuar como fator de redução da contaminação.

#### **4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os resultados apontaram que as águas subterrâneas da microbacia do Igarapé Nazaré apresentam-se em condições precárias para o consumo humano, pois constatou-se a presença de bactérias do grupo coliformes totais e *E. coli* em todos os poços avaliados em algum dos períodos avaliados. Sendo assim a água encontra-se em desacordo com a Portaria de Consolidação nº 5/2017/MS e com a Resolução CONAMA nº 396/08 uma vez que se é requerido a ausência de ambos os grupos na água destinada ao consumo humano, podendo oferecer riscos à saúde humana uma vez que são consumidas sem tratamento adequado.

Constatou-se também que a contaminação pode estar ocorrendo devido à baixa profundidade apresentada pelos poços, visto que poços profundos apresentaram menos densidade de bactérias que os poços rasos. A presença de sistemas alternativos e rudimentares para disposição do esgoto doméstico atua como foco de contaminação assim como as características precárias de

construções e vedação dos poços atuam como um potencializador da contaminação da água subterrânea.

Os valores encontrados para os parâmetros pH, turbidez e nitrato estiveram fora dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 5/2017/MS.

A presença do nitrato acima dos valores de concentrações permitidas pelas legislações pertinentes reforça a possibilidade da contaminação ter origem nas fossas rudimentares utilizadas para suprir a falta de saneamento adequado.

De modo geral o uso da ACP demonstrou correlações entre as variáveis e as características em estudo, no entanto não foram observadas variações significativas entre os períodos sazonais em estudo.

Conclui-se que a água encontra-se fora dos padrões de potabilidade, e imprópria para o consumo humano sem que haja tratamento prévio adequado, apresentando potencial risco a saúde humana.

Considerando que o enquadramento é o estabelecimento de metas e objetivos de qualidade da água a ser alcançado ou mantido de acordo com os usos que se faz da mesma, conforme a legislação essas águas se enquadra como sendo de classe I, uma vez que são utilizadas para o abastecimento humano sendo consumidas sem tratamento.

No entanto conforme pode ser observado, os parametros aqui avaliados apresentaram-se em desconformidade com a referida classe, fazendo-se necessario a intervenção do uso da mesma para fins de consumo humano, assim como ações do poder publico que visem a melhoria da sua qualidade.



## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS-ANA. HIDROWEB. Séries Históricas de Estações. Disponível em <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>> Acesso em: 30 de janeiro de 2020.

ALABURDA, J.; NISHIHARA, L. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. *Revista de Saúde Pública*. v. 32, n.º2. p.160-165. 1998.

APHA, AWWA, WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Edition 19<sup>a</sup>. Washington, 1995.

BAHIA, V. E.; FENZL, N.; LEAL, L. R. B.; MORALES, G. P.; LUIZ, J. G. Caracterização hidrogeoquímica das águas subterrâneas na área de abrangência do reservatório de abastecimento público do Utinga-Belém (PA). *Rev. Águas Subterrâneas*, v.25, n.1, p. 43-56, 2011.

BENETTI, A., BIDONE, F. O meio ambiente e os recursos hídricos. In: TUCCI, C, E. M.; SILVEIRA, A. L. L. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 4 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. 2015. p.943.

BRAGA, B; HESPANHOL, I; CONEJO, J. G. L; MIERZWA, J. C; BARROS, M. T. L; SPENCER, M; PORTO, M; NUCCI, N; JULIANO, N; EIGER, S. *Introdução a Engenharia Ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável*. 2º Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 318p.

BRASIL. *Vigilância e controle da qualidade de água para consumo humano*. Ministério da Saúde (MS). Brasília: MS, 2006. 212p.

BRASIL. Portaria de consolidação nº 5, de 3 de outubro de 2017 (anexo XX). Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Ministério da Saúde (MS). *Diário Oficial da União*, 03 outubro de 2017.

BRASIL. Resolução nº 396 de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). *Diário Oficial da União*, n. 66, 7 abr, 2008, 66p.

BRASIL. *Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS*. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde - Funasa. Brasília: Funasa, 2014.

CAPP, N.; AYACH, L. R.; SANTOS, T. M. B.; GUIMARÃES, S. T. L. Qualidade da água e fatores de contaminação de poços rasos na área urbana de Anastácio (MS). *Revista de Geografia Ensino & Pesquisa*, vol. 16, n. 3, 2012.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DE RONDÔNIA-CAERD. *Número de ligações ativas no município de Ji-Paraná*. Documento de circulação interna-Ofício, 2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO-CETESB. *Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos*. Organizadores: Carlos Jesus Brandão, et al. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.

ESTEVEZ, F.A. *Fundamentos de Limnologia*. 3º ed., Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

FITTS, C. R. *Águas subterrâneas*. Tradução Daniel Vieira. 2. Ed. Elsevier, Rio de Janeiro, 2015. ISBN 978-85-352-7744-9. p.577.

FRANCO, A.O.; ARCOS, F.O.; PEREIRA, J.S. Uso do solo e a qualidade da água subterrânea: estudo de caso do aquífero Rio Branco, Acre, Brasil. *Águas Subterrâneas*, Seção Estudos de Caso e Notas Técnicas, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v32i3.29178>.

GROTT, S.L., FAÇANHA, E.B. ; FURTADO, R.N. ; CUNHA, H.F.A.; CUNHA, A.C. Variação espaço-sazonal de parâmetros da qualidade da água subterrânea usada em consumo humano em Macapá, Amapá, Brasil. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 23, n.4, p. 645-654, 2018. DOI: 10.1590/S1413-41522018162018.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. *Abastecimento de água para consumo*. 3 Edição. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

LAUTHARTTE, L.C.; HOLANDA, I.B.B.; LUZ, C.C.; MUSSY, M.H.; PANSINI, S.; MANZATTO, A.G.; YAMASHITA, M.; BASTOS, W.R. Avaliação da qualidade da água subterrânea para consumo humano: estudo de caso no Distrito de Jaci-Paraná, Porto Velho–RO. *Revista de Águas Subterrâneas*, v. 30, n. 2, p. 246-260, 2016. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v30i2.28547>.

LEITE, N. K., KRUSCHE, A. V., CABIANCHI, G. M., BALLESTER, M. V. R., VICTORIA, R. L., MARCHETTO, M., & SANTOS, J. G. D. (2011). Groundwater quality comparison between rural farms and riparian wells in the western Amazon, Brazil. *Rev Química Nova*, 34(1), 11-15.

MESCHEDÉ, M.S.C.; FIGUEIREDO, B.R.; ALVES, R.I.S.; SEGURA-MUÑOZ, S.I. Drinking water quality in schools of the Santarém region, Amazon, Brazil, and health implications for school children. *Revista Ambiente & Água*, v. 13, n. 6, 2018. DOI: 10.4136/ambi-agua. 2218

MESQUITA, K.F.C.; SANTOS, M.L.S.; PEREIRA, J.A.R.; FIGUEIREDO, B.L. Avaliação da qualidade microbiológica da água consumida pela população da região amazônica um estudo de casos na ilha de Mosqueiro PA. *Revista Scientia Amazonia*, v. 3, n.3, p. 27-31, 2014.

NUNES, M.L.A.; GOMES, J.B.; WEBLER, A.D.; ANDRADE, L.R.; MARCHETTO, M. Comprometimento da qualidade da água subterrânea por nitratos. *Revista Nucleus* v.9 n°1. p.63-72. 2012.

OLIVEIRA, G.A.; NASCIMENTO, E.L.; ROSA, A.L.D.; LAUTHERTTE, L.C.; BASTOS, W.R.; BARROS, C.G.D.; CREMONESE, E.R.; BENTO, A.Q.; MALM, O.; GEORGIN, J.; CORTI, A.M. Avaliação da qualidade da água subterrânea: Estudo de caso de Vilhena – RO. *Revista Brasileira das Águas Subterrâneas*, v. 29, n.2, p. 213-223, 2015. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v29i2.28399>.

QUAGGIO, C. S.; GASTMANS, D.; KIRCHHEIM, R.; BATISTA, L. V. Variações na composição das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral em território brasileiro e sua relação com anomalias hidrogeoquímicas. *Revista Águas Subterrâneas*, v. 32, n. 3, p. 283-294, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v32i3.29085>

RAMOS, C. F.; NASCIMENTO, E. L.; LAUREANO, J. J.; OLIVEIRA, L. E.; PAVANELLO, L. F. S.; MENDONÇA, A. P. Avaliação da qualidade da água subterrânea para consumo humano no Distrito de Nova Colina, Ji-Paraná –RO. *South American Journal of Basic Education, Technical and Technological*, v. 4, p. 190-198, 2017.

ROLAND, F.; CESAR, D.; MARINHO, M. *Lições de Limnologia*. São Paulo-SP. editora Rima. 2005, 532p.

SANTOS, A. C. Qualidade das águas subterrâneas. In: FERNANDO A. C. FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. 3° ed. revisada e ampliada. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. p.812.

SILVA, A.C.; DOURADO, J.C.; KRUSCHE, A.V.; GOMES, B.M. Impacto físico-químico da deposição de esgotos em fossas sobre as águas de aquífero freático em Ji-Paraná – RO. *Revista de Estudos Ambientais*, v. 11, n.2, p. 101-112, 2009.

SPERLING, Marcos Von. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Belo Horizonte - MG: UFMG, 2014.

TUNDISI, J.G; TUNDISI, T.M. *Recursos Hídricos no Século XXI*. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

TUNDISI, J.G; TUNDISI, T.M. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos. 2008.

VANIER, C.; IRITANI, M.A.; VIOTTI, M.; ODA, G.H.; FERREIRA, L.M.R. Nitrato nas águas subterrâneas do sistema aquífero Bauru, área urbana do município de Marília (SP). *Revista do Instituto Geológico*, São Paulo. v.31, n°1/2, p.1-21. 2010.

VARELLA, C.A.A. *Análise de Componentes Principais*. Análise Multivariada Aplicada as ciências Agrárias. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro-UFRRJ. 2008, 12p.

## **5 CAPÍTULO III - VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO E TENDÊNCIA DE DIREÇÃO DO FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA**

### **5.1 INTRODUÇÃO**

Com o crescimento populacional e a ocupação das áreas urbanas é crescente também a utilização das águas subterrâneas, recurso cada vez mais indispensável no abastecimento público e industrial. Entretanto o seu uso descontrolado e as inadequadas formas de uso e ocupação do solo, podem comprometer a qualidade e a quantidade desse recurso (BARBOSA et al, 2011). Essa situação tem se tornado preocupante na gestão dos recursos hídricos, visto que estes são considerados reservatórios estratégicos para a humanidade (SILVA et al., 2017).

Entre as principais fontes potenciais de poluição para as águas subterrâneas destacam-se: atividade industrial, área de destinação final de resíduos, postos com estocagem de combustível subterrâneos e área urbana sem rede de coleta de esgoto (HIRATA & FERREIRA, 2001). E os cemitérios, principalmente quando não contam com estudos sobre a geologia, hidrologia e saneamento (SILVA et al., 2017).

Neste sentido, medidas de planejamento ambiental, como a avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos, são imprescindíveis no processo de ordenamento do uso e da ocupação do solo (MOURA et al., 2016). Tem-se notado cada vez mais o uso e desenvolvimento de técnicas de mapeamento de vulnerabilidade à poluição de aquíferos, como uma ferramenta para a sua proteção. A cartografia de vulnerabilidade tem servido à racionalização de ações de proteção de aquíferos, na medida em que tenta compatibilizar as atividades antrópicas e a capacidade do terreno em suportá-las, sem prejuízos a qualidade das águas subterrâneas (HIRATA, 2001).

A vulnerabilidade intrínseca de um aquífero é decorrente das propriedades físico-químicas inerentes do meio aquífero que expressa a susceptibilidade hidrogeológica da água ser afetada por contaminantes (MAIA & CRUZ, 2011). Está relacionada, portanto, à acessibilidade de contaminantes à zona saturada e à capacidade de atenuação dos estratos de cobertura da zona saturada, resultante da retenção fisioquímica ou da reação dos contaminantes com o meio (FOSTER et al., 2006).

Existem vários métodos desenvolvidos para avaliar a vulnerabilidade de aquíferos. Segundo Masetti (2009), eles podem ser divididos em 3 categorias principais: métodos baseados em processos (simulação matemática) os quais são modelos numéricos que simulam o transporte do contaminante em uma determinada área e normalmente requerem grande quantidade de dados; os métodos estatísticos que utilizam dados observados e também requerem grandes quantidades de dados para uma adequada análise estatística e por fim, os métodos de índices que combinam vários atributos físicos, cada qual com um determinado peso na vulnerabilidade do aquífero, de acordo com a opinião de especialistas.

Tendo em vista objetivos práticos, a utilização de um método mais genérico e menos detalhado é importante, por produzir apenas um mapa integrado da vulnerabilidade (FOSTER et al., 2006). Nesse sentido o índice de vulnerabilidade GOD (Foster et al., 2006) avalia a vulnerabilidade dos aquíferos considerando os parâmetros: grau de confinamento da água subterrânea (**G**), litologia e consolidação da zona vadosa (**O**) e profundidade do nível estático (**D**). Os parâmetros possuem o mesmo peso e apresentam valores que variam de 0 a 1. O índice de vulnerabilidade é obtido pelo produto dos valores estabelecidos para cada parâmetro, e classificam o aquífero desde a vulnerabilidade insignificante até a extrema.

Segundo Foster et al. (2006) o método GOD foi amplamente testado na América Latina e no Caribe durante a década de 1990, e graças a sua simplicidade conceitual e de aplicação é amplamente utilizado apresentando bons resultados. Hirata & Ferreira (2001), utilizaram para análise da vulnerabilidade natural da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, considerando-o como uma importante ferramenta para a preservação da qualidade das águas, e orientando as áreas adequadas para a instalação e desenvolvimento de atividades potencialmente poluidoras. Cardoso et al. (2018) estudaram a vulnerabilidade da água subterrânea na Ilha Cotijuba (PA), Moura et al. (2016) aplicaram o método GOD no Estado do Ceará. No estado de Rondônia o método foi aplicado no município de Vilhena por Barros (2014) e no município de Porto Velho por Oliveira et al. (2016).

O método é economicamente viável, principalmente para regiões carentes de dados em escala de detalhe que permitam uma caracterização meticulosa, apresentando maior eficiência quando associados às análises de qualidade da água (CARDOSO et al., 2018). Além disso, o

zoneamento da vulnerabilidade deve ser utilizado para a análise integrada considerando-se os tipos de fontes potenciais de contaminação, visto que auxilia na tomada de decisão dos órgãos gestores da qualidade ambiental (BARBOSA et al., 2011).

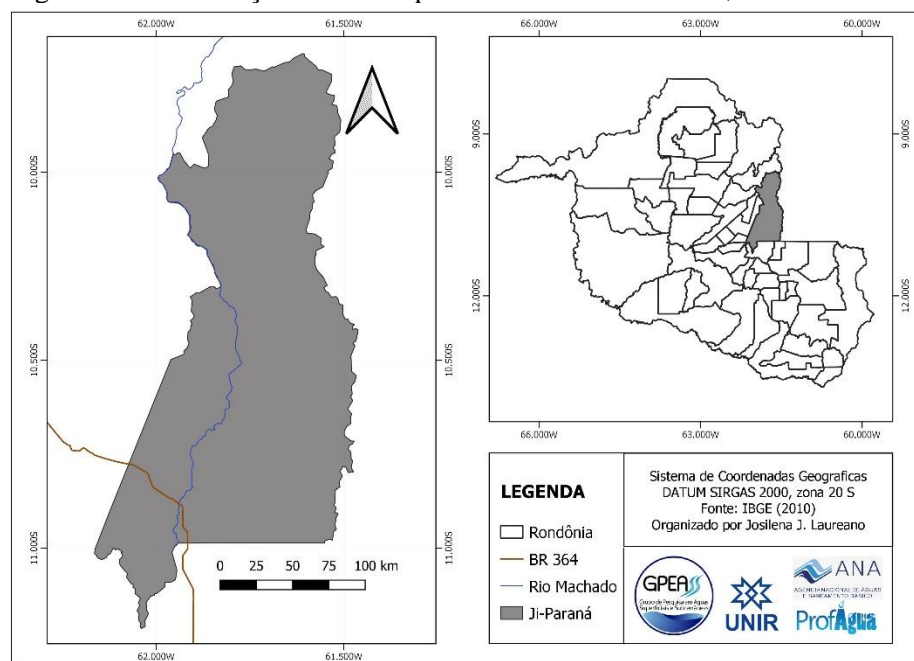
Diante do exposto o objetivo desse capítulo foi verificar o grau de vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero por meio do método GOD, e elaborar o mapa potenciométrico, caracterizar a tendência de direção do fluxo subterrâneo, assim como identificar possíveis fontes de contaminação para a água subterrânea.

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.2.1 Área de estudo

O município de Ji-Paraná está localizado na porção centro-leste do Estado de Rondônia (figura 5.1), no sudoeste da Amazônia Legal Brasileira, possui 116.610 habitantes (IBGE, 2010). O município possui área territorial de 6.896,649 km<sup>2</sup> e encontra-se entre os paralelos 8°22' e 11°11' de latitude sul e entre meridianos 61°30' e 62°22' de longitude oeste, estando a uma altitude 170 metros e, distante aproximadamente 373 km de Porto Velho, capital do Estado.

Figura 5.1- Localização do município de Ji-Paraná Rondônia, Brasil.



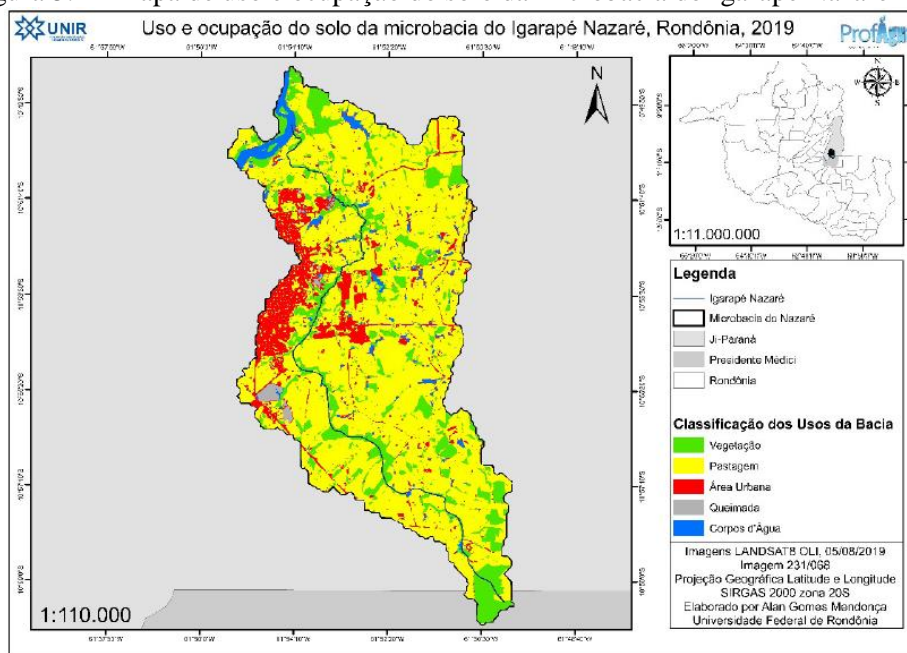
Fonte: A autora.

Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante é do tipo Aw-Clima Tropical Chuvoso, com média anual da temperatura do ar entre 24 a 26 °C, e um período seco bem definido durante a estação de inverno, quando ocorre um moderado déficit hídrico com índices pluviométricos inferiores a 50 mm. A média anual da precipitação pluviométrica varia entre 1.400 a 2.600 mm/ano (SEDAM, 2012).

A área em estudo pertence a bacia Hidrográfica do rio Machado, segundo maior afluente do rio Madeira é o maior rio estadual em extensão, com aproximadamente 1.243 km, desde a nascente no rio Ávila (Vilhena) até sua foz no rio Madeira no distrito de Calama no município de Porto Velho (PESACRE, 2007).

A microbacia do Igarapé Nazaré está localizada em sua grande parte no município de Ji-Paraná possui área de aproximadamente 107 Km<sup>2</sup> (figura 5.2), e as principais atividades econômicas estão associadas à agropecuária, piscicultura e indústrias frigoríficas (MENDONÇA et al., 2020).

Figura 5.2 - Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia do Igarapé Nazaré 2019.



Fonte: Mendonça et al. (2020).

A microbacia é intensamente antropizada, cerca de 73,3 km<sup>2</sup> são ocupados por área de pastagem, 17,4 km<sup>2</sup> vegetação, 11,3 km<sup>2</sup> área urbana, 3,18 km<sup>2</sup> águas, 0,86 km<sup>2</sup> queimadas (figura 5.2).

### 5.2.2 Aquisição de dados

Foi realizado uma pesquisa no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas-SIAGAS do Serviço Geológico do Brasil-CPRM. Onde foram selecionados os poços com informações referentes ao perfil litológico e a profundidade do nível estático. Como há poucos poços com essas informações localizados dentro da microbacia do Igarapé Nazaré foram selecionados todos os poços cadastrados no município.

Foi organizado um banco de dados no programa computacional *Microsoft Excel*, referente aos dados coletados dos poços cadastrados, contendo o número dos poços, as coordenadas geográficas, as cotas altimétricas, a profundidade do poço, o nível estático da água subterrânea e o perfil litológico dos poços.

Foi realizado um levantamento de pontos de potenciais fontes de contaminação da água subterrânea sendo eles: cemitérios, postos de combustíveis, lixões e indústrias. As coordenadas geográficas desses pontos foram obtidas utilizando as imagens do *Google Earth Pro*.

Não foram encontradas informações referentes às cotas altimétricas na região dos poços, no entanto as mesmas foram inferidas através do modelo digital de elevação MDE TOPODATA. Essas imagens foram adquiridas por meio do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil no site do projeto TOPODATA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE, foi realizado o *download* das cenas 11S63ZN e 10S63ZN, referente ao município de Ji-Paraná com resolução de 30 metros, estão disponíveis no sistema de referência ao Datum WGS 84 (INPE, 2020).

Utilizando o software livre Qgis 3.4, as imagens foram unidas através de um mosaico, e posteriormente através da ferramenta *extrair contornos* foram retirados os dados altimétricos dos poços e dos pontos de potencial contaminação.



### 5.2.3 Tendência de direção de fluxo

Foram utilizados as coordenadas geográficas, as cotas altimétricas e o nível estático da água no poço para obtenção da superfície piezométrica (relação entre altimetria do poço e o nível estático da água). A partir do Software *Surfer 13*, utilizando-se o interpolador *krigagem* foram gerados os mapas de tendência da direção de fluxo das águas subterrâneas.

Segundo Landim et al. (2002), a partir das coordenadas do ponto e dos valores assumidos pela variável nesses pontos, pode-se obter um mapa da distribuição espacial da variável, utilizando-se um algoritmo de interpolação. De acordo com o autor interpolar é predizer ou estimar o valor da variável em estudo num ponto não amostrado.

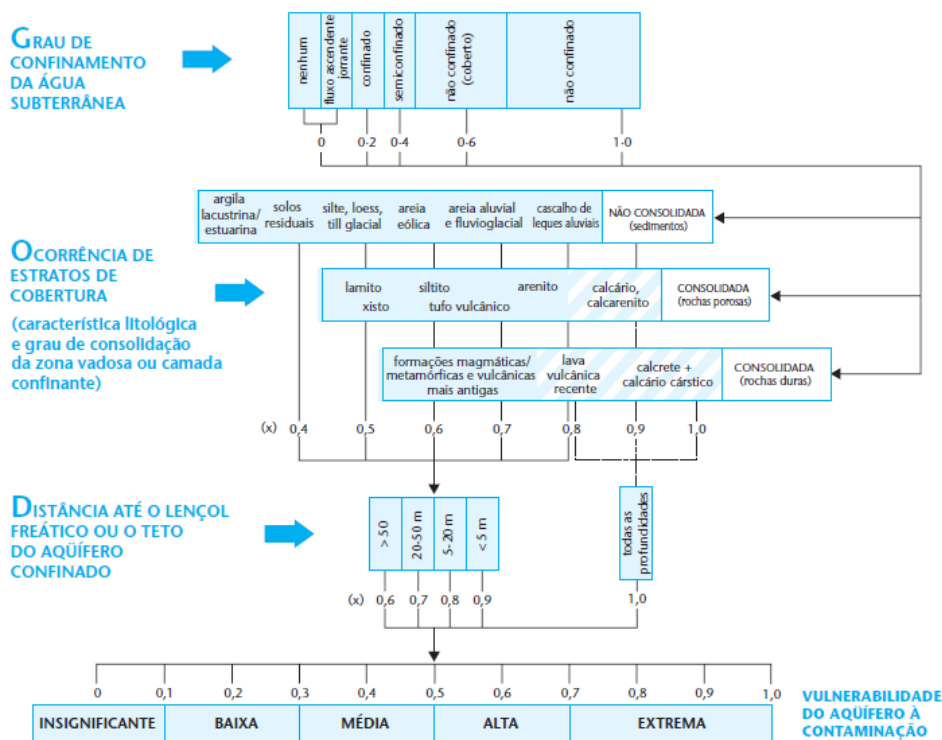
Os métodos mais comuns de interpolação são: Vizinho mais Próximo, Vizinho Natural, Triangulação Linear, Triangulação de Delaunay, Polígonos de Voronoi, Inverso da Potência da Distância, Mínima Curvatura, Regressão Polinomial, Krigagem e Máxima Entropia Bayesiana (LANDIM et al., 2002).

O método de Krigagem é considerado uma boa metodologia de interpolação matemática de valores e é indicada para valores baixos e próximos (LOBLER et al., 2013).

### 5.2.4 Vulnerabilidade natural da água subterrânea

A vulnerabilidade natural da água subterrânea à contaminação foi obtida pela aplicação do método GOD (Foster et al., 2006), o qual é um índice resultante do produto dos valores encontrados em cada um dos parâmetros avaliados pelo método, conforme figura 5.3.

Figura 5.3 - Sistema GOD para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação.



Fonte: FOSTER et al, (2006).

Na metodologia GOD, a primeira etapa é a identificação do Grau de confinamento “G” e leva em consideração o tipo de aquífero, dos poços selecionados apenas 4 poços apresentavam essa informação, os poços sem informações foram classificados a partir da observação do estrato litológico acima do nível freático conforme descrito por Oliveira et al. (2016), sendo atribuído valores entre 0 a 1,0.

A segunda etapa conforme apresentado na figura 2, se refere a Ocorrência de estratos de cobertura “O” especificação dos estratos de cobertura da zona saturada do aquífero em termos de grau de consolidação e tipo de litologia, levando a uma pontuação na escala de 0,4 a 1,0.

O terceiro parâmetro utilizado é a profundidade até o lençol freático “D” com classificação na escala de 0,6 a 1,0.

O índice final integral de vulnerabilidade do aquífero é o produto dos três índices dos parâmetros avaliados com a obtenção da vulnerabilidade em classes que podem variar de insignificante à extrema conforme tabela 5.1, com valores de 0 a 1,0 respectivamente.

Tabela 5.1 - Definição prática das classes de vulnerabilidade do aquífero.

CLASSE DE VULNERABILIDADE	DEFINIÇÃO CORRESPONDENTE
<b>Extrema</b>	Vulnerabilidade à maioria dos contaminantes com impacto rápido em muitos cenários de contaminação.
<b>Alta</b>	Vulnerável a muitos contaminantes (exceto os que são fortemente adsorvidos ou rapidamente transformados) em muitas condições de contaminação.
<b>Moderada</b>	Vulnerável a alguns contaminantes, mas somente quando continuamente lançados ou lixiviados.
<b>Baixa</b>	Vulnerável somente a contaminantes conservadores, a longo prazo, quando contínua e amplamente lançados ou lixiviados.
<b>Insignificante</b>	Presença de camadas confinantes sem fluxo vertical significativo de água subterrânea (percolação).

Fonte: FOSTER et al, (2006).

Utilizando as coordenadas geográficas e do índice de vulnerabilidade natural obtido para cada poço a partir do Software *Surfer 13*, através do interpolador *krigagem* foram gerados os mapas de vulnerabilidade natural das águas subterrâneas.

## 5.3 RESULTADOS E DISCUSÃO

### 5.3.1 Tendência de Direção do Fluxo

Segundo os dados disponibilizados no sítio do SIAGAS (2020), o município de Ji-Paraná possui 88 poços cadastrados no sistema, no entanto apenas 47 poços foram selecionados para a determinação da tendência de direção do fluxo subterrâneo (quadro 5.1), pois os mesmos apresentavam informações referentes ao nível estático da água subterrânea.

Os 47 poços selecionados apresentaram profundidade entre 13,3 m (poço 2) à 132 m (poço 26). Cerca de 76% dos poços apresentaram valores de profundidades maiores que 50 m, e apenas 2 poços (4,25%) foram inferiores a 20 m.

Quadro 5.1-Dados dos 47 poços tubulares cadastrados no SIAGAS no município de Ji-Paraná.

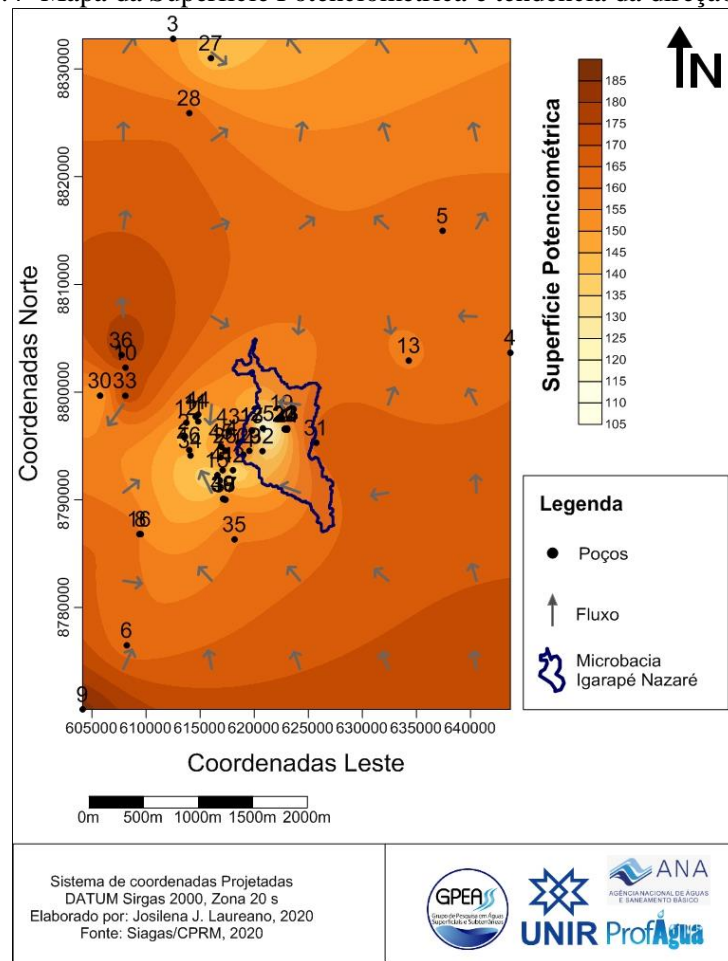
ID	N° poço	Coordenada X	Coordenada Y	Cota	Profundidade	Nível Estático	Superfície potenciométrica
1	1100000234	614820	8797271	141	115	2,49	138,5
2	1100000409	613509	8795831	144	13,3	3,9	140,1
3	1100000631	612500	8832800	165	78	14	151
4	1100001131	643686	8803647	174	74	10	164
5	1100001132	637420	8814975	171	83	8	163
6	1100001139	608216	8776488	177	48	16	161
7	1100001141	616890	8793946	153	58,5	6	147
8	1100001144	609509	8786812	168	41	15	153
9	1100001145	604134	8770544	198	100	10	188
10	1100001146	608097	8802270	180	81	10	170
11	1100001148	614588	8797710	141	50	4	137
12	1100001149	613723	8797154	159	55	7	152
13	1100001581	634287	8802924	168	108	9	159
14	1100001597	618999	8794184	168	102	13,48	154,5
15	1100002558	616593	8792288	150	100	19	131
16	1100002792	609381	8786813	171	35	6	165
17	1100003103	619766	8796424	177	37	16	161
18	1100003104	619796	8796424	177	37	16	161
19	1100003132	622564	8797611	156	100	7	149
20	1100003170	622833	8796566	153	38	8,7	144,3
21	1100003171	622834	8796596	153	54	10,7	142,3
22	1100003172	622833	8796535	150	54	10,7	139,3
23	1100003173	623046	8796626	159	98	10,7	148,3
24	1100003174	623045	8796504	159	90	10,7	148,3
25	1100003362	620799	8796635	165	90	60	105
26	1100003592	617330	8794558	162	132	5,1	156,9
27	1100000627	616000	8831000	162	90	21	141
28	1100000628	614000	8825900	180	80	17	163
29	1100003112	619547	8794550	162	15	13	149
30	1100003133	605749	8799666	159	75	10	149
31	1100003625	625743	8795296	174	50	5,26	168,7
32	1100003626	620761	8794515	153	75	16	137
33	1100003641	608087	8799659	189	60	14	175
34	1100004032	614111	8794109	153	112	10,27	142,7
35	1100004432	618182	8786323	171	30	11,29	159,7
36	1100004436	607734	8803438	189	100	9,14	179,8
37	1100004525	617345	8790012	165	86	9	156
38	1100004526	617193	8790043	162	90	14	148
39	1100004527	617133	8790074	159	90	12	147
40	1100004528	617133	8790104	162	90	9	153
41	1100004570	617081	8792746	168	100	12	156
42	1100004574	618036	8792746	159	40	30	129
43	1100004582	617641	8796339	156	22	3,06	152,9
44	1100004589	614823	8797916	153	94	6,56	146,4
45	1100004602	616968	8794929	159	90	8,31	150,6
46	1100004603	613992	8794632	156	101	7,31	148,6
47	1100004605	618547	8795322	177	70	14,34	162,6

Fonte: A autora.

No quadro 5.1 pode ser observado que as cotas altimétricas variaram de 141 m localizado próximo ao principal curso d'água da cidade o rio Machado onde estão localizados os poços 1 e 11. Foram identificadas cotas de 198 m onde está localizado o poços 9, a altitude média estimada foi de 163,9 m.

A superfície potenciométrica foi obtida a partir da relação entre a cota do poço e o nível estático, os valores obtidos para os poços em análise estão apresentados no quadro 5.1 e espacializados na figura 5.4.

Figura 5.4- Mapa da Superfície Potenciométrica e tendência da direção de fluxo.



Fonte: A autora.

Como pode ser observado na figura 5.4 o valor máximo encontrado foi de 188 m ocorrido no poço 9 m, assim como na variação topográfica, isso coloca esse poço como alto potenciométrico agindo como divisor de águas subterrâneas que convergem o fluxo para a região central do

cartograma. Ocorrem também fluxos secundários na parte superior do cartograma em direção as regiões norte e nordeste.

Os poços 25, 42 e 15 apresentaram os menores valores de superfície potenciométrica 105 m, 129 m e 131 m respectivamente, os mesmos estão localizados próximos aos cursos d'água da área, o que indica que essas áreas podem estar recebendo fluxo dos altos potenciométricos.

O estudo da tendência da direção de fluxo das águas subterrâneas é importante para obter-se a direção da pluma em caso de contaminação, possibilitando planejar e prever ações para minimizar o risco de contaminação, ou ainda evitar a instalação de novos empreendimentos poluidores (LOBLER et al, 2013).

### 5.3.2 Vulnerabilidade Natural à Contaminação

Dos 47 poços selecionados, apenas 25 poços foram utilizados para a avaliação de vulnerabilidade, pois os mesmos apresentavam dados referentes ao perfil litológico nos poços. No quadro 5.2 estão apresentados os poços utilizados, o valor recebido por cada parâmetro avaliado, os índices finais e as classes estabelecidas respectivamente.

Quadro 5.2 - Resultados obtidos da aplicação do sistema GOD aos vinte cinco poços tubulares.

ID	Nº poço	Coordenada X	Coordenada Y	G	O	D	Índice (GxOxD)	Qualificação
1	1100000234	614820	8797271	1	0,5	0,9	0,45	Média
2	1100000409	613509	8795831	1	0,4	0,9	0,36	Média
3	1100000631	612500	8832800	0,2	0,4	0,8	0,064	Insignificante
4	1100001131	643686	8803647	0,2	0,4	0,8	0,064	Insignificante
5	1100001132	637420	8814975	0,2	0,4	0,8	0,064	Insignificante
6	1100001139	608216	8776488	0,2	0,4	0,8	0,064	Insignificante
7	1100001141	616890	8793946	0,2	0,4	0,8	0,064	Insignificante
8	1100001144	609509	8786812	0,2	0,4	0,8	0,064	Insignificante
9	1100001145	604134	8770544	0,2	0,4	0,8	0,064	Insignificante
10	1100001146	608097	8802270	0,2	0,4	0,8	0,064	Insignificante
11	1100001148	614588	8797710	0,2	0,4	0,9	0,072	Insignificante
12	1100001149	613723	8797154	0,2	0,4	0,8	0,064	Insignificante
13	1100001581	634287	8802924	1	0,7	0,8	0,56	Alta
14	1100001597	618999	8794184	0,6	0,4	0,8	0,192	Baixa
15	1100002558	616593	8792288	1	0,8	0,8	0,64	Alta
16	1100002792	609381	8786813	0,2	0,4	0,8	0,064	Insignificante
17	1100003103	619766	8796424	0,2	0,4	0,8	0,064	Insignificante
18	1100003104	619796	8796424	0,2	0,4	0,8	0,064	Insignificante
19	1100003132	622564	8797611	0,6	0,4	0,8	0,192	Baixa
20	1100003170	622833	8796566	0,2	0,5	0,8	0,08	Insignificante

21	1100003171	622834	8796596	0,2	0,4	0,8	0,064	Insignificante
22	1100003172	622833	8796535	0,2	0,5	0,8	0,08	Insignificante
23	1100003173	623046	8796626	0,2	0,8	0,8	0,128	Baixa
24	1100003174	623045	8796504	0,2	0,8	0,8	0,128	Baixa
25	1100003362	620799	8796635	0,2	0,6	0,6	0,072	Insignificante

Fonte: A autora.

O primeiro parâmetro avaliado na metodologia GOD é o grau de confinamento hidráulico do aquífero, conforme informado na ficha técnica, 4 poços apresentavam classificação, sendo 2 poços livres (poços 1 e 2) e 2 poços confinados (poços 10 e 11). Os demais foram classificados utilizando-se as informações litológicas disponíveis nos perfis geológicos penetrados conforme descrito por Oliveira et al. (2016). A partir dessas informações os demais poços foram classificados quanto ao seu confinamento, 17 poços foram identificados como confinados, 2 livres, 2 não confinados mais cobertos.

Os poços considerados como pertencentes ao aquífero confinado apresentaram maior quantidade de argila na sua formação, enquanto que os poços não confinados são compostos por grande quantidade de areia. As argilas apresentam baixa permeabilidade, no entanto podem apresentar até 50% de porosidade, armazena mas não transmite a água, já as areias apresentam em torno de 25% de porosidade mas seu potencial de retenção é em torno de 3% (HEATH, 1983).

O segundo parâmetro é o “O” ocorrência de estratos de cobertura. Foram avaliados os tipos de solos e rochas que compõe os perfis construtivos dos poços, as camadas sedimentares de cobertura eram compostas em 52% de argila, 24% arenitos, 8% siltes, 8% areia, cascalho e solo 4% cada.

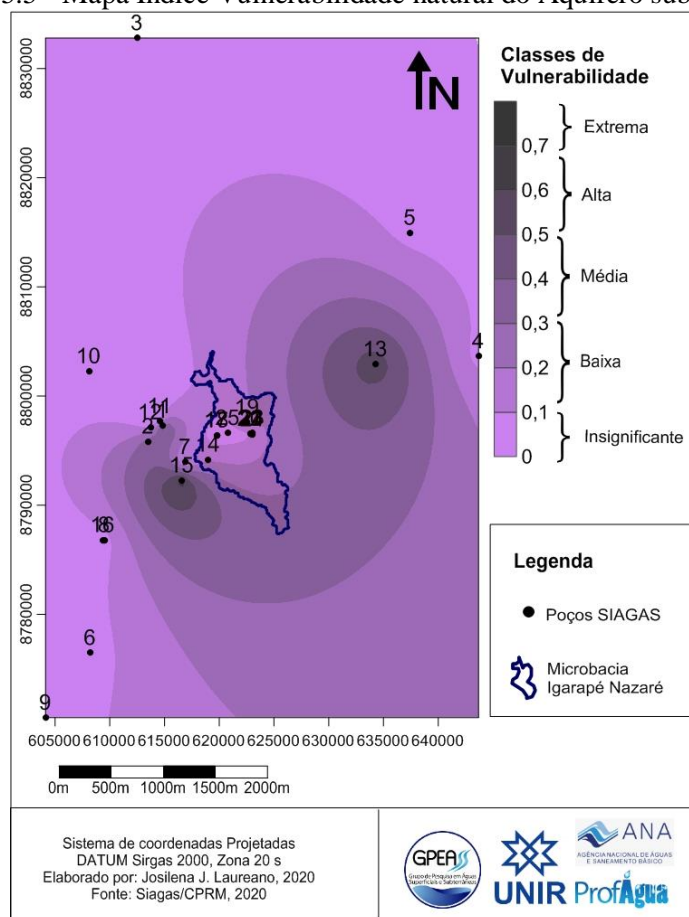
No Estado, os solos predominantes são Argissolos Vermelho-Amarelo (40 %), Latossolos Vermelho-Amarelo (18,4%) e Latossolos Amarelo (17,4%) (SHINZATO et al., 2010). Os poços que apresentaram frações de silte e areia estão localizados no segundo distrito da cidade e foram classificados com vulnerabilidade de média à alta. Em seu trabalho no segundo distrito de Ji-Paraná, Silva (2008) identificou a predominância de solos arenosos e areno-siltosos, que facilita a percolação de contaminantes pois são altamente permeáveis.

Com relação ao nível estático “D” apresentado pelos poços, foram encontrados valores de 2,4 a 60 m, 52% dos poços apresentaram nível estático de até 10 m, 44% entre 10 e 20m e 4% de 60 m. Dessa forma a área apresenta cerca de 96% dos poços com nível de água inferior a 20 m.

A avaliação da distância até o nível freático da água subterrânea possui importância fundamental. Isso porque, pequenas alterações na distância até o nível freático alteram significativamente o índice da vulnerabilidade, sabe-se que os níveis mais rasos permitem que o contaminante alcance rapidamente à zona saturada, devido à menor distância que o contaminante deve percorrer da superfície ao aquífero (BARBOSA et al., 2011).

Por meio do produto dos parâmetros avaliados, foi possível chegar ao índice de vulnerabilidade apresentado no quadro 5.2, e a sua respectiva classificação, o resultado foi espacializados na figura 5.5.

Figura 5.5 - Mapa Índice Vulnerabilidade natural do Aquífero subterrâneo.



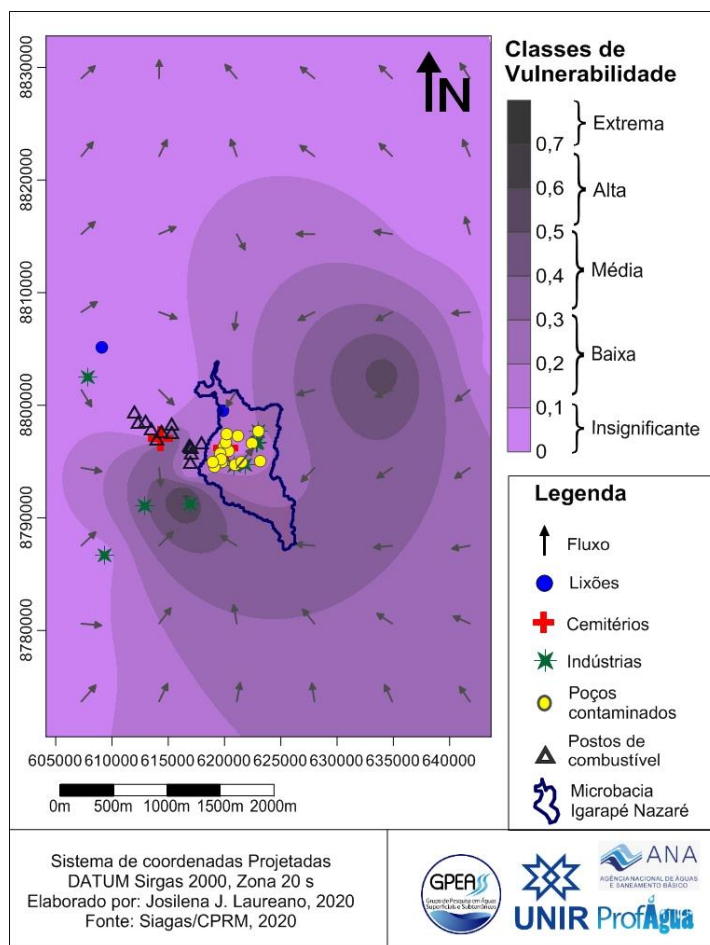
Fonte: A autora.



A análise GOD identificou as seguintes classes de vulnerabilidade: 68% como insignificante, 16% como baixa, 8% como média e 8% como alta vulnerabilidade.

A sobreposição das classes de vulnerabilidade, tendência de direção de fluxo subterrâneo e de possíveis pontos de contaminação para a água subterrânea resultaram no cartograma apresentado na figura 5.6.

Figura 5.6 - Vulnerabilidade natural do aquífero, direção do fluxo subterrâneo e pontos de contaminação.



Fonte: A autora.

Entre as possíveis fontes de contaminação para a água subterrânea na área estudada foram identificados: 2 cemitérios, duas áreas de deposição de resíduos sólidos, que correspondem ao lixão desativado localizado no Bairro Boa esperança (segundo distrito) e a atual área de deposição localizada no Km 11 (primeiro distrito). Quatorze postos de combustíveis e nove

empreendimentos industriais (frigoríficos, laticínios, seboaria, indústria de produção de charque).

Também foram considerados como fontes de contaminação os 15 poços localizados na microbacia do Igarapé Nazaré, esses poços apresentaram contaminação por bactérias (Coliformes totais e *E. coli*) e nitrato. Vale ressaltar que em cada residência analisada foram identificadas fossas negras que também atuam como fonte de contaminação para a água subterrânea, no entanto não foram espacializadas no cartograma devido a sobreposição aos poços presentes na microbacia visto a grande proximidade entre os mesmos.

Como os poços amostrados estão distribuídos tanto na área urbana como na área rural, as alterações na qualidade da água dos poços podem ocorrer por uma junção de fatores, como a proximidade entre poços e fossas, a permeabilidade do solo aos contaminantes e ser também decorrente do uso e cobertura do solo.

Como pode ser observado na figura 5.6, a sobreposição da vulnerabilidade com a tendência de direção de fluxo permite identificar que grande parte da área apresenta vulnerabilidade insignificante (68%). A distribuição dos possíveis pontos de contaminação identificou a localização desses pontos em áreas que apresentam classes de vulnerabilidade de baixa à alta, no entanto a direção de fluxo ocorre em direção ao centro do cartograma originando de áreas com maior vulnerabilidade em direção a áreas de menor vulnerabilidade. As áreas que apresentaram vulnerabilidade insignificante estão localizadas na parte norte do cartograma, e sofrem influências de fluxos secundários originados de áreas que apresentam possíveis pontos de contaminação.

De modo geral é possível um aquífero se configurar uma situação de alta vulnerabilidade, porém sem risco de poluição devido à ausência de carga poluidora ou ao contrário, configurar uma situação de baixa vulnerabilidade com risco elevado pela presença de uma carga poluidora significativa (MAIA et al., 2013).

Porém o nitrato que é o poluente de maior ocorrência nas águas subterrâneas, devido a fontes como uso de fertilizantes, criação de animais, sistema de saneamento *in situ* (VANIER &

HIRATA, 2002). Requer um pouco mais de atenção, de acordo com Auge (2003), a solubilidade, mobilidade e persistência desse contaminante, faz com que algumas variáveis percam consistência em relação à vulnerabilidade.

Portanto ressalta-se a necessidade de maior atenção com as áreas de média e alta vulnerabilidade, uma vez que podem servir de foco de contaminação e dispersão de poluentes de águas do aquífero livre para águas profundas, uma vez que o fluxo ocorre em direção a áreas de baixa vulnerabilidade. Nessas áreas foram identificados os poços classificados como pertencente ao aquífero livre, com nível estático raso e portanto mais acessível à contaminantes diversos.

#### **5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A análise GOD classificou cerca de 68% como vulnerabilidade insignificante, 16% baixa vulnerabilidade, e nas classes média e alta 8% cada.

A sobreposição das classes de vulnerabilidade, tendência de direção de fluxo subterrâneo e de possíveis pontos de contaminação, permite concluir que a localização desses pontos se dá nas áreas que apresentam classes de vulnerabilidade de baixa a alta, no entanto a direção de fluxo se origina de áreas com maior vulnerabilidade em direção a áreas de menor vulnerabilidade.

Ressalta-se a necessidade de maior atenção com as áreas de média e alta vulnerabilidade que apesar de apresentar menor porcentagem de classificação, podem servir de foco de contaminação e dispersão de poluentes de águas do aquífero livre para águas profundas, uma vez que o fluxo ocorre em direção a áreas que apresentam vulnerabilidade insignificante.

Por fim o mapeamento da tendência da direção do fluxo subterrâneo aliado ao mapa de vulnerabilidade natural do aquífero mostrou-se uma importante ferramenta para a proteção das águas subterrâneas e necessária ao ordenamento territorial urbano visto que pode indicar as áreas adequadas a implantação de atividades com potencial poluidor.

A espacialização de possíveis fontes de contaminação das águas subterrâneas já existentes na área propicia identificar a tendência da direção do fluxo subterrâneo em caso de formação de plumas contaminantes.

## **6 CONSIDERAÇÕES GERAIS**

Na área em estudo o abastecimento de água ocorrem através dos poços, grande parte da população realiza o tratamento da água através da cloração, no entanto é realizada diretamente no poço e de forma irregular reduzindo a eficácia do tratamento.

Na falta de rede de coleta e tratamento de esgoto a população utiliza como alternativa a disposição em fossas negras.

Constatou-se a presença de bactérias do grupo coliformes totais e *E. coli* em todos os poços avaliados em algum dos períodos avaliados. Sendo assim a água encontra-se em desacordo com a Portaria de Consolidação nº 5/2017/MS e com a Resolução CONAMA nº 396/08 uma vez que se é requerido a ausência de ambos os grupos na água destinada ao consumo humano, podendo oferecer riscos à saúde humana uma vez que são consumidas sem tratamento adequado.

Os valores encontrados para os parâmetros pH, turbidez e nitrato estiveram fora dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 5/2017/MS.

A presença de sistemas alternativos e rudimentares para disposição do esgoto doméstico atua como foco de contaminação assim como as características precárias de construções e vedação dos poços atuam como um potencializador da contaminação da água subterrânea.

A ACP demonstrou correlações entre as variáveis e as características em estudo, no entanto não foram observadas variações significativas entre os períodos sazonais em estudo.

Conclui-se que a água encontra-se fora dos padrões de potabilidade, e imprópria para o consumo humano sem que haja tratamento prévio adequado, apresentando potencial risco a saúde humana.

O estudo da tendência da direção do fluxo subterrâneo assim como mapa de vulnerabilidade natural do aquífero mostrou-se uma ferramenta acessível, e indispensável ao ordenamento territorial urbano visto que pode indicar as áreas adequadas a implantação de atividades com potencial poluidor.

A identificação e espacialização de possíveis fontes de contaminação das águas subterrâneas já existentes na área permite identificar a tendência da direção do fluxo subterrâneo em caso de formação de plumas contaminantes, possibilitando ações de prevenção e controle da contaminação.

Considerando que o enquadramento é o estabelecimento de metas e objetivos de qualidade da água a ser alcançado ou mantido de acordo com os usos que se faz da mesma, conforme a legislação essas águas se enquadra como sendo de classe I, uma vez que são utilizadas para o abastecimento humano sendo consumidas sem tratamento. No entanto, os parâmetros aqui avaliados apresentaram-se em desconformidade com a referida classe, fazendo-se necessário a intervenção do uso da mesma para fins de consumo humano, assim como ações do poder público que visem a melhoria da sua qualidade.

## **7 RECOMENDAÇÕES**

- Ampliação da rede de abastecimento de água tratada, assim como a regularidade nos serviços de abastecimento a população.
- Implantação do sistema de rede de coleta e tratamento de esgoto, e a eliminação das fossas negras.
- Ações de sensibilização junto a população quanto a importância do correto tratamento da água destinada ao consumo humano, assim como a importância de soluções seguras para a correta coleta, tratamento e destinação final do esgoto sanitário.
- Cobrança para que os responsáveis pelos poços cadastrados no Sistema SIAGAS, realizem e apresentem a avaliação da qualidade da água, uma vez que os mesmos estando registrados no sistema e com autorização para exploração passam a sensação de segurança quanto a sua qualidade, no entanto a mesma é desconhecida.

- Aos gestores públicos e aos órgãos de saúde recomenda-se o monitoramento da qualidade da água utilizada pela população, controle, conservação e medidas de restrição da mesma, quando necessário, em virtude de as águas subterrâneas apresentarem alguns parâmetros com concentrações inadequada para o consumo humano. Destacando-se a presença na água de bactérias do grupo coliformes e do nitrato, considerado uma substância cancerígena. O artigo 4º da Portaria nº 5/MS/2017 ressalta que é dever das Secretarias Estaduais de Saúde o monitoramento da qualidade da água utilizada pela população, mesmo que esta seja adquirida de soluções alternativas como os poços, tendo em vista que a utilização destes é uma característica regional.
- Recomenda-se a continuação dos estudos na temática, e a elaboração do mapa de perigo de contaminação do aquífero, visando a identificação de locais sujeitos a contaminação, assim priorizando medidas preventivas de proteção e controle das águas subterrâneas.

## REFERÊNCIAS

AUGE, M. Vulnerabilidad de acuíferos. *Revista Latino-Americana de Hidrogeología*, n. 4, p.85-103, 2004.

BARBOSA, M. C.; CARVALHO, A. M.; IKEMATSU, P.; FILHO, J. L. A.; CAVANI, A. C. M. Avaliação do perigo de contaminação do Sistema Aquífero Guarani em sua área de afloramento do estado de São Paulo decorrente das atividades agrícolas. *Revista Águas Subterrâneas*, v.25, n.1, p1-14, 2011.

BARROS, C. G. D. *Estimativa da vulnerabilidade natural do aquífero Parecis utilizando o método GOD: Estudo de caso do município de Vilhena-RO. Ji-Paraná-RO*. UNIR 2014. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental). Departamento de Engenharia Ambiental. Fundação Universidade Federal de Rondônia. 2014, 57p.

CARDOSO, R. N. C.; GONÇALVES, E. D. DEUS, J. C. S.; TEIXEIRA, L. C. G. M. Análise da vulnerabilidade e do risco a contaminação de aquíferos semiconfinados na Ilha de Cotijuba/PA. *Revistas Águas Subterrâneas*, v. 32, n. 2, 2018.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v32i2.29153>

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. *Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais*. Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento/ Banco Mundial, 2006. 114p.

GRUPO DE PESQUISA E EXTENSÃO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS DO ACRE-PESACRE. *Plano territorial de desenvolvimento rural sustentado*. Secretaria de Desenvolvimento Territorial- Ministério do Desenvolvimento Agrário. Território central- Estado de Rondônia, 2007.

HEATH, R. C. *Basic ground-water hydrology*. U. S. Geological Survey Water-Supply Paper, 2220, 1983, 84p.

HIRATA, R. C. A. 2001. Oito perguntas e oito tentativas de respostas sobre a Vulnerabilidade à poluição de aquíferos. In: I Seminário-Taller. Protección de Acuíferos Frente a La Contaminación, São Paulo. Disponível em: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ponencias/Hirata.html>.

HIRATA, C.A.R. & FERREIRA, L.M.R. Os Aquíferos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: Disponibilidade Hídrica e Vulnerabilidade à Poluição. *Revista Brasileira de Geociências*, Vol. 31, pp.43-50, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (2010). *Cidades*. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/painel/historico.phpmedici?codmun=110025>>. Acesso em: 30 de janeiro de 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAIS. INPE. *TOPODATA Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil*.

Disponível em < <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>>. Acesso 10 de dezembro de 2020.

LANDIM, P. M. B.; MONTEIRO, R. C. CORSI, A. C. *Introdução à confecção de mapas pelo software SURFER*. UNESP, Campus de Rio Claro. IGCE, Laboratório de Geomatemática , Texto Didático 08, 2002, p. 34.

LOBLER, C.A.; SILVA, J.L.S.; MARTELLI, G.V.; ERTEL, T. Pontos Potenciais de Contaminação e vulnerabilidade Natural das águas Subterrâneas do Município de Restinga Seca-RS. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.06, nº03, p.500-509. 2013.

MAIA, P. H. P.; CRUZ, M. J. M.; RODRIGUES, R. S. Modelagem da vulnerabilidade dos aquíferos no município de Aracatu - sudoeste do estado da Bahia. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*. V. 17, n.1, p. 53-60. 2013.

MAIA, P. H. P.; CRUZ, M. J. M. (2011). Um novo método para avaliar a vulnerabilidade de aquíferos. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, 2011, 15 (2) p.29-40.

MASETTI, M.; STERLACCHINI, S.; BALLABIO, C.; SORICHETTA, A.; POLI, S. Influence of threshold value in the use of statistical methods for groundwater vulnerability assessment. *Science of the Total Environment*, p. 3836-3846, 2009.

MENDONÇA, A. G.; LAUREANO, J. J. COSTA, I. D.; LOPES, D. S.; SOUSA, L. M.; LIMA, T. O.; ROSA, A. L. D.; NASCIMENTO, E, L. Uso e ocupação do solo da microbacia do igarapé Nazaré, Ji-Paraná, Rondônia: Subsídio para o enquadramento. *Revista Gaia Scientia*. ISSN 1981-1268, v. 14 (3): p.189-209, 2020.

DOI.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2020v14n3.52610

MOURA, P.; SABADIA, J. A. B.; CAVALCANTE, I. N. Mapeamento de vulnerabilidade dos aquíferos Dunas, Barreiras e Fissural na porção norte do complexo industrial e portuário do Pecém, estado do Ceará. *São Paulo, UNESP, Geociências*, v. 35, n. 1, p.77-89 , 2016.

OLIVEIRA, G. A.; VIEGA, J.F.V.; ROSA, A.L.D.; PESSOA, J.O.; SILVA, J.L.S. Avaliação da vulnerabilidade intrínseca das águas subterrâneas do município de Porto Velho/RO. *Revista de Engenharia e Tecnologia*. v. 8,nº2, p.187-198. 2016.

SECRETARIA DE ESTADO DE DESENVOLVIMENTO AMBIENTAL-SEDAM. *Boletim climatológico de Rondônia- Ano 2010*. COGEO- SEDAM/ Coordenadoria de Geociências- Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental- Porto Velho. v.12, 2012. 89p.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. CPRM. *Sistema de informações de águas subterrâneas- SIAGAS*.

Disponível em < [http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa\\_complexa.php](http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php)>

Acesso 20 de junho de 2020.



SHINZATO, E.; TEIXEIRA, W. G.; MENDES, A. M. SOLOS. *In: AMILCAR, A. Geodiversidade do estado de Rondônia. Programa geologia do Brasil levantamento da geodiversidade.* - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil-CPRM. Porto Velho:, 2010. 337p.

SILVA, A. G. *Estudo da contaminação do lençol freático através da integração de técnicas geofísicas e geoquímicas em Ji-Paraná- RO.* Rio Claro: UEP, 2008. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2008.

SILVA, M. P.; SILVA, L. R.; LIESENFELD, K. A.; MARTINI, L.; KEMERICH, P. D. C.; FILHO, L. L. V. D.; FERNANDES, G. D. *Vulnerabilidade do Aquífero nas Proximidades do Cemitério Municipal de Caçapava do Sul – Rio Grande do Sul, Brasil.* Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ. Vol. 40 - 1 / 2017 p. 206-216

VARNIER, C.; HIRATA, R. Contaminação da água subterrânea por nitrato no parque ecológico do Tietê-São Paulo, Brasil. *Revista Águas Subterrâneas.* n°16. p.97-104, 2002.



## ANEXO A - QUESTIONÁRIO SÓCIO-AMBIENTAL

**Projeto:** CARACTERIZAÇÃO E VULNERABILIDADE DO MANANCIAL SUBTERRÂNEO: VISANDO A ELABORAÇÃO DE ALTERNATIVA DE ENQUADRAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE JI-PARANÁ, RONDÔNIA.

**Data da coleta:** \_\_\_\_\_

**Nome do responsável:** \_\_\_\_\_ **Idade:** \_\_\_\_\_

**Endereço:** \_\_\_\_\_ **telefone:** \_\_\_\_\_

1) Tipo instalação predial:

( ) residência de alvenaria                      ( ) residência de madeira

( ) comércio tipo: \_\_\_\_\_

Outros: \_\_\_\_\_

2) Quantas pessoas moram na residência?

Crianças (menores de 12 anos): \_\_\_\_\_

Jovens (13 a 17 anos): \_\_\_\_\_

Adultos: \_\_\_\_\_

3) Há quanto tempo reside ( trabalha, caso comércio) nesta área?

( ) menos de 5 anos

( ) de 5 a 10 anos

( ) de 10 a 20 anos

( ) mais de 20 anos

4) Como foi a aquisição do terreno?

comprou  ganhou  grilou

5) Qual é a fonte de água que é utilizada pela família?

poço  CAERD  outra fonte

6) Se for poço, faz algum tipo de tratamento da água antes de consumir?

adição de cloro na caixa d'água  adição de cloro na água

filtragem  ferve a água  não trata

7) Se adiciona cloro, qual a frequência?

1 vez por mês  1 vez a cada 15 dias  1 vez por semana

outros \_\_\_\_\_

8) Qual a destinação final do lixo doméstico da sua residência?

9) Se houver coleta pela prefeitura, qual a frequência?

1x/ semana  2x/semana  3x/ semana  mais 3x por semana

10) Existe rede de esgoto no seu bairro?

sim  não

11) Se não, qual o destino final do esgoto da sua residência?

fossa negra  rio ou outro corpo d'água  outro \_\_\_\_\_

12) Na sua família houve ou há frequência nos casos de doenças como:

diarreia  coceira na pele/alergia após contato com a água

vômito  dor de estômago  câncer  dor de cabeça frequente.

Observações:

---

---

---

---



## ANEXO B - FICHA DE CAMPO

**Projeto:** CARACTERIZAÇÃO E VULNERABILIDADE DO MANANCIAL SUBTERRÂNEO: VISANDO A ELABORAÇÃO DE ALTERNATIVA DE ENQUADRAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE JI-PARANÁ, RONDÔNIA.

Data da coleta: \_\_\_\_\_ responsável pelas anotações: \_\_\_\_\_

Coordenadas: fossa \_\_\_\_\_ poço \_\_\_\_\_

Cota: fossa \_\_\_\_\_ poço \_\_\_\_\_

13) O poço possui revestimento? ( ) sim ( ) não

Se sim: ( ) manilha ( ) alvenaria ( ) outro \_\_\_\_\_

14) O poço possui tampa? ( ) sim ( ) não

Se sim: ( ) tampa de madeira ( ) tampa de alvenaria ( ) outra

15) Condições de manutenção da tampa: ( ) em boas condições ( ) em más condições (tampas quebradas com orifícios, etc)

16) Retirada da água do poço: ( ) manualmente com balde ( ) bombeamento para caixa d'água ( ) outro \_\_\_\_\_

17) Profundidade poço: \_\_\_\_\_ profundidade superfície: \_\_\_\_\_

18) Tipo de esgotamento sanitário utilizado:

( ) fossa negra ( ) fossa séptica ( ) lançamento em corpos d'água ( ) rede de esgoto

19) Distância poço-fossa: \_\_\_\_\_

observações:

\_\_\_\_\_

Variaveis:

1° coleta: OD\_\_\_\_\_ T°\_\_\_\_\_ pH\_\_\_\_\_ CE\_\_\_\_\_ TDS\_\_\_\_\_

2° coleta: OD\_\_\_\_\_ T°\_\_\_\_\_ pH\_\_\_\_\_ CE\_\_\_\_\_ TDS\_\_\_\_\_

3° coleta: OD\_\_\_\_\_ T°\_\_\_\_\_ pH\_\_\_\_\_ CE\_\_\_\_\_ TDS\_\_\_\_\_

4° coleta: OD\_\_\_\_\_ T°\_\_\_\_\_ pH\_\_\_\_\_ CE\_\_\_\_\_ TDS\_\_\_\_\_



ProfÁgua



ProfÁgua - Mestrado Profissional em Rede Nacional em  
Gestão e Regulação de Recursos Hídricos  
[www.profagua.unir.br](http://www.profagua.unir.br)  
Campus Ji-Paraná da Universidade Federal de Rondônia  
Rua Rio Amazonas, 351 - Jardim dos Migrantes, Ji-Paraná -  
RO, 76900-726