



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
NÚCLEO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

KATARINA REMPEL

**DINÂMICA DA CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA ÁREA URBANA DE
PORTO VELHO/RO NO ANO DA CHEIA HISTÓRICA DO RIO MADEIRA (2014)**

PORTO VELHO

2021

KATARINA REMPEL

**DINÂMICA DA CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA ÁREA
URBANA DE PORTO VELHO/RO NO ANO DA CHEIA HISTÓRICA DO RIO
MADEIRA (2014)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia (PPGG) da Universidade Federal de Rondônia (UNIR), como requisito para obtenção do título de Mestra em Geografia.

Área de Concentração: Paisagem e Território na Pan-Amazônia

Linha de Pesquisa: Paisagem, Processos do Meio Físico e Gestão Ambiental (PMG)

Orientador: Prof. Eliomar Pereira da Silva Filho

PORTO VELHO

2021

KATARINA REMPEL

**DINÂMICA DA CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA ÁREA
URBANA DE PORTO VELHO/RO NO ANO DA CHEIA HISTÓRICA DO RIO
MADEIRA (2014)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia (PPGG) da Universidade Federal de Rondônia (UNIR), como requisito para obtenção do título de Mestra em Geografia.

Área de Concentração: Paisagem e Território na Pan-Amazônia

Linha de Pesquisa: Paisagem, Processos do Meio Físico e Gestão Ambiental (PMG)

Prof. Titular Eliomar Pereira Da Silva Filho

Profa. Dra. Siane Cristhina Pedroso Guimarães (Examinadora interna)

Prof. Dr. Wanderley Rodrigues Bastos (Examinador externo)

PORTO VELHO

2021

*À minha família: Alexandre (marido), Rafael (filho)
e a meus pais Jerônimo e Iolanda (in memoriam).*

AGRADECIMENTOS

À Deus em primeiro lugar, pelo dom da vida, pela saúde, bençãos... sou grata;

À minha família: Alexandre (marido), que sem pestanejar revisou meu trabalho incessantemente, Rafael (filho), Jerônimo (pai), Iolanda (mãe), todos são meu porto seguro, pois confiaram, acreditaram e me ajudaram em todos os momentos;

À Unir e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, pela oportunidade que me proporcionou um aumento gigantesco no conhecimento acadêmico e científico;

Ao meu Orientador Professor Eliomar que me ensinou não apenas academicamente, mas também humanamente e emocionalmente em momentos difíceis;

À CPRM, pela liberação e autorização, para realizar este trabalho;

Aos amigos de trabalho da CPRM, nas pessoas de: Alisson, Thiago, José Antônio, Joab, Luiz Antônio, Joana e Fernanda;

À equipe do LABCART, pela ajuda e companheirismo necessários para o amadurecimento e evolução no meio acadêmico, nas pessoas de Laís, companheira e incentivadora na maioria dos momentos de dedicação na escrita, desenvolvimento do trabalho e na vida pessoal, Laura, amiga sempre disposta a ajudar incansavelmente, Isabel, Salem, Denis, Giovanni e todos os demais.

Aos professores do PPGG pela ajuda nas horas difíceis;

À todos que direta ou indiretamente ajudaram no desenvolvimento deste trabalho.

“Aquele que se empenha a resolver as dificuldades resolve-as antes que elas surjam.”

A Arte da Guerra, Sun Tzu.

RESUMO

As águas subterrâneas representam mais de 95% da água doce no planeta, consideradas um recurso estratégico, porém são explotadas sem qualquer tipo de controle ou monitoramento no Brasil. No município de Porto Velho, estado de Rondônia, onde o saneamento básico está muito aquém de uma capital, as águas subterrâneas são explotadas para a compensação da ausência de rede de abastecimento ou o não suprimento da mesma. O acesso a este bem ocorre, principalmente, através de poços e este item essencial para a vida está sujeito à influência da contaminação do despejo dos esgotamentos em fossas sem proteções ou por águas superficiais contaminadas que recebem estes resíduos, como no ano de 2014 em que a capital de Rondônia sofreu com a cheia histórica do Rio Madeira. Assim sendo, o objetivo deste trabalho consiste em analisar a dinâmica da contaminação de componentes que indicam ação antrópica por falta de esgotamento sanitário, da água subterrânea e a influência dessa enchente sem precedentes, através de amostras coletadas em poços do Projeto Índice de Qualidade das Águas Subterrâneas de Porto Velho da CPRM. Para tanto, 580 amostras de água foram coletadas de poços na área urbana do município de Porto Velho, em dois períodos climáticos diferentes (final do período chuvoso e final do período seco) nos anos de 2012, 2013 e no ano da cheia histórica do Rio Madeira, 2014. A partir do georreferenciamento das amostras e da interpolação dos resultados de Nitrato e Amônia observou-se que a recarga adicional recebida pela cheia afetou não apenas o fluxo dos contaminantes próximo às áreas, como também às regiões mais afetadas da cidade, como a Zona Leste, por exemplo. A tendência do sistema mostra que no final da época chuvosa as concentrações de Nitrato são maiores em seus níveis máximos, pois, apesar da alta pluviometria, todo o sistema aquífero ainda não recebeu a água da chuva em sua totalidade, sendo a infiltração um processo lento, principalmente nesta área de estudo onde as camadas mais superficiais correspondem a uma porção argilosa mais espessa no topo. No período de estiagem o nível máximo de concentração é menor, pois toda a água da chuva chegou ao sistema. No ano da cheia histórica percebe-se que o fluxo do contaminante é predominante em direção ao rio, já na bacia do igarapé Tancredo Neves houve uma diminuição considerável do contaminante em relação aos outros anos. Este padrão segue em anos mais recentes como mostram trabalhos de 2019 e 2020. Desse modo, conclui-se que não é recomendada para consumo água subterrânea sem o devido estudo ou tratamento para a eliminação da contaminação destes resíduos dos esgotamentos sanitários; e, como a prefeitura de Porto Velho está revisando o Plano Diretor, a questão do saneamento é relevante, então se espera que este trabalho possa auxiliar o Poder Público na melhoria da qualidade de vida dos portovelhenses.

Palavras-chave: Águas subterrâneas. Cheia histórica do Rio Madeira. Contaminantes nitrogenados.

ABSTRACT

Underground water represents more than 95% of the planet's fresh water, considered a strategic resource, although it is exploited without any type of control or monitoring in Brazil. In the city of Porto Velho, Rondônia State, where sewerage falls far short for a capital, groundwater is exploited to compensate the absence of a freshwater supply network or the non-supply of it. Access to this asset occurs mainly with wells. This item, which is essential for life, is subject to the influence of contamination from sewage dumping in bare cesspool or by contaminated surface water that receives this waste, as in 2014 when Rondônia's capital suffered from the historic flood of the Madeira River. Therefore, the objective of this study is to analyze the contamination dynamics of components that indicate man-made action due to lack of sewerage, groundwater and the influence of this unprecedented flood through samples collected in freshwater wells of the Porto Velho's Underground Water Quality Index Project from CPRM. For this purpose, 580 water samples were collected from freshwater wells in the urban area of Porto Velho in two different climatic periods (by the end of the rainy season and the end of the dry season) in 2012, 2013 and 2014, year of the historic flood of the Madeira River. From the samples georeferencing and the interpolation of nitrate and ammonia results, it was observed that the additional recharge received by the flood affected not only contaminants flow close to the areas, but also to the most affected regions of the city, as the East Zone, for example. The system trend shows that at the end of the rainy season, nitrate concentrations are higher at their maximum levels, considering that, despite the high levels of rainfall, the entire aquifer system has not yet received rainwater in its entirety, as infiltration is a slow process, mainly in this study area where the most superficial layers correspond to a thicker clayey top portion. In the dry season the maximum level of concentration is lower, since all rainwater has reached the system. In the historical flood year it was noticed that the contaminant flow happened predominantly towards the river, on the other hand, in the basin of the Tancredo Neves creek there was a considerable contaminant decrease relative to other years. This pattern kept happening in more recent years as shown in works from 2019 and 2020. In conclusion, consumption of underground water without proper analysis or treatment to eliminate contamination of these sewerage wastes is not recommended. As Porto Velho city government is revising the city's master plan the topic of sanitation is relevant. The author hopes that this study can assist the public authorities in improving the quality of life of the people from Porto Velho.

Keywords: Madeira River historical flood. Nitrogen pollutants. Underground water.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição da água no planeta	22
Figura 2 – Ciclo Hidrológico	23
Figura 3 – Representação esquemática dos maiores processos hidroquímicos que ocorrem nas áreas de recarga de aquíferos porosos	26
Figura 4 – Ciclo Global do Nitrogênio	28
Figura 5 – Fontes e caminhos de nitrogênio em ambiente de subsuperfície	29
Figura 6 – Entradas e transformações de nitrogênio em sistemas de aquíferos	30
Figura 7 – Localização da área de estudo.....	33
Figura 8 – Locais de coletas de água em poços nos anos de 2012, 2013 e 2014	34
Figura 9 – Sub-bacias na área urbana de Porto Velho/RO	36
Figura 10 – Mapa de geomorfologia da área urbana de Porto Velho/RO.....	37
Figura 11 – Mapa de solos da área urbana de Porto Velho/RO	37
Figura 12 – Mapa de espessura total de areia com a localização da seção esquemática A-A'	40
Figura 13 – Seção esquemática A – A' ao longo do possível paleocanal demonstrando a continuidade das camadas arenosas.....	40
Figura 14 – Modelo conceitual hidrogeológico da área urbana de Porto Velho	42
Figura 15 – Distribuição da população de Porto Velho na área urbana da cidade.....	44
Figura 16 – Distribuição de renda da população de Porto Velho na área urbana da cidade	45
Figura 17 – Rede de Esgoto na área de estudo, em destaque (vermelho) o sistema de coleta de esgoto	48
Figura 18 – Exemplificação de infiltração de contaminantes, oriundos do sistema séptico idêntico ao utilizado pela população em Porto Velho/RO	49
Figura 19 – Inundação margens esquerda e direita do Rio Madeira, polígono de abrangência de inundação delimitado em vermelho	53
Figura 20 – Rio Madeira em Porto Velho durante a cheia histórica no ano de 2014	54
Figura 21 – Pontos de Amostragem de uma área de estudos	58
Figura 22 – Exemplos de polígonos Thiessen (A), triangulação Delaunay (B) e malha regular de 10x7 (C) construída sobre os 28 pontos amostrais de distribuição radial	60
Figura 23 – Exemplo da metodologia aplicada no interpolador Natural Neighbor	61
Figura 24 – Ferramenta usada para a interpolação dos resultados das amostras coletadas em campo.....	62

Figura 25 – Representação em mapa das interpolações das medidas de pH referente as amostras coletadas no ano de 2014 nos períodos chuvoso e de seca (A e B respectivamente)	67
Figura 26 – Mapa da interpolação das medidas de condutividade elétrica referente as amostras coletadas no ano de 2014 nos períodos chuvoso e de seca (A e B respectivamente). 68	
Figura 27 – Representação em mapa da interpolação das concentrações de amônia referente as amostras coletadas no ano de 2014 nos períodos chuvoso e de seca (A e B respectivamente)	70
Figura 28 – Interpolação das concentrações de Nitrato referente as amostras coletadas no ano de 2014 nos períodos chuvoso e de seca (A e B respectivamente)	71
Figura 29 – Interpolação das concentrações de Nitrato no ano de 2012 nos períodos chuvoso (A) e de seca (B)	78
Figura 30 – Interpolação das concentrações de Nitrato no ano de 2013 nos períodos, chuvoso (A) e de seca (B)	79
Figura 31 – Modelo Digital de Terreno (MDT) da área urbana de Porto Velho, com destaque para a área de recarga no bairro Agenor de Carvalho	80
Figura 32 – Exemplos de poços na área em estudo: (A) Poços que apresentam construções precárias e totalmente desprotegidos; (B e C) ao lado de compostos de óleos e graxas	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Período de renovação da água em diferentes reservatórios na Terra.....	24
Tabela 2 – Valores máximos permitidos para os principais parâmetros analisados para potabilidade da água.....	31
Tabela 3 – Valores e referências dos parâmetros pesquisados em poços no final do período chuvoso.....	65
Tabela 4 – Resumo dos parâmetros pesquisados em poços no final do período de estiagem .	65
Tabela 5 – Valores e referências dos parâmetros pesquisados em amostras no período chuvoso de 2012	74
Tabela 6 – Valores estatísticos dos parâmetros pesquisados em poços amazonas (2012-2)....	75
Tabela 7 – Valores e referências dos parâmetros das amostras coletadas em poços (2013-1)	76
Tabela 8 – Valores e referências dos parâmetros pesquisados em poços (2013-2)	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Composição de cátions e ânions da água subterrânea	25
Quadro 2 – Ranking das piores cidades com índice de atendimento total de água (referente a 2018)	47
Quadro 3 – Ranking das piores cidades com índice atendimento total de esgotamento sanitário em 2018	48

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Gráfico de pluviosidade mostrando a variação das chuvas e da temperatura em Porto Velho/RO entre os anos de 1991 a 2021	34
Gráfico 2 – Evolução Populacional do Município de Porto Velho/RO.....	43
Gráfico 3 – Notificações de casos de Leptospirose em Porto Velho em 2014.....	55
Gráfico 4 – Distribuição dos valores de Nitrato (2014_1)	64
Gráfico 5 – Distribuição dos valores de Nitrato (2014_2)	65
Gráfico 6 – Distribuição dos valores de Nitrato (2012_1)	73
Gráfico 7 – Distribuição dos valores de Nitrato (2012_2)	74
Gráfico 8 – Distribuição dos valores de Nitrato (2013_1)	75
Gráfico 9 – Distribuição dos valores de Nitrato (2013_2)	76

LISTAS DE SIGLAS E ABREVIACÕES

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

C.E. – Condutividade elétrica

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/ Serviço Geológico do Brasil

DDA – Doenças Diarreicas Agudas

EFMM – Estrada de Ferro Madeira Mamoré

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IQAS – Índice de Qualidade das Águas Subterrâneas

MCL – Nível Máximo de Contaminantes

mg/L – Miligrama por litro

OMS – Organização Mundial de Saúde

PAC – Plano de Aceleração do Crescimento

pH – Potencial hidrogeniônico

SEMUSA – Secretaria Municipal de Saúde de Porto Velho

SNIS – Sistema Nacional De Informações Sobre Saneamento

µS/cm – Micro Siemens por centímetro

VMP – Valor Máximo Permissível

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVO	20
2.1	GERAL	20
2.2	ESPECÍFICOS	20
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
3.1	O CICLO HIDROLÓGICO	22
3.2	INFILTRAÇÃO E RECARGA DE AQUÍFEROS	23
3.3	MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL	24
3.4	CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	25
3.5	CONTAMINAÇÃO POR COMPOSTOS DE NITROGÊNIO	26
3.6	RISCOS DA CONTAMINAÇÃO POR COMPOSTOS DE NITROGÊNIO PARA A SAÚDE E LEGISLAÇÕES	30
4	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	32
4.1	LOCALIZAÇÃO	32
4.2	CLIMA	34
4.3	SUB-BACIAS URBANAS	35
4.4	GEOMORFOLOGIA	35
4.5	SOLOS	36
4.5.1	<i>Latossolos</i>	37
4.6	GEOLOGIA	38
4.6.1	<i>Cobertura cenozoica</i>	38
4.6.2	<i>Cobertura sedimentar indiferenciada</i>	38
4.6.3	<i>Depósitos aluvionares</i>	39
4.7	CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO E HIDROQUÍMICO	39
4.8	FLUXO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E MODELO CONCEITUAL HIDROGEOLÓGICO	41
4.9	CARACTERIZAÇÃO POPULACIONAL DO MUNICÍPIO DE PORTO VELHO	42
4.9.1	<i>Abastecimento de água e esgotamento sanitário</i>	45
4.9.2	<i>Estudos existentes sobre a contaminação das águas subterrâneas em Porto Velho</i>	50
4.10	A CHEIA HISTÓRICA	52
4.10.1	<i>Aumento de doenças de veiculação hídrica</i>	54
5	METODOLOGIA	57
5.1	INTERPOLAÇÃO DOS DADOS (GEOESTATÍSTICA)	57
5.2	MAPAS	62
5.3	INTERPOLAÇÃO DOS CONTAMINANTES	63
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	64
6.1	RESULTADOS SOBRE A COLETA DO CICLO DE CHEIA DO ANO DE 2014 (2014-1) E DE SECA (2014-2)	64
6.2	RESULTADOS SOBRE A COLETA NO ANO DE 2012 e 2013 (2012-1 e 2012-2)	73
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
	REFERÊNCIAS	85

ANEXOS.....	93
ANEXO A – RESULTADO DAS AMOSTRAS COLETADAS NO FINAL DO PERÍODO DE ALTA PLUVIOMETRIA DE 2012	94
ANEXO B – RESULTADO DAS AMOSTRAS COLETADAS NO FINAL DO PERÍODO DE BAIXA PLUVIOMETRIA DE 2012	97
ANEXO C – RESULTADOS DAS ANÁLISES DAS AMOSTRADAS COLETADAS NO PERÍODO DE ALTA PLUVIOMETRIA DE 2013.....	100
ANEXO D – RESULTADO DAS AMOSTRAS COLETADAS NO FINAL DO PERÍODO DE BAIXA PLUVIOMETRIA DE 2013.	103
ANEXO E – RESULTADO DAS AMOSTRAS COLETADAS NO FINAL DO PERÍODO DE ALTA PLUVIOMETRIA DE 2014	107
ANEXO F – RESULTADO DAS AMOSTRAS COLETADAS NO FINAL DO PERÍODO DE BAIXA PLUVIOMETRIA DE 2014	109

1 INTRODUÇÃO

Cerca de 97,5% de toda a água doce do mundo, disponível para a humanidade, está confinada nos aquíferos (UNESCO, 1998). A gestão deste recurso estratégico está relacionada ao saneamento básico, que inclui, principalmente, o abastecimento de água tratada e o tratamento dos resíduos líquidos (esgotamentos), para a população urbana.

Sempre foi considerado um luxo, no Brasil, tratar esgotos. Entretanto, a Organização Mundial de Saúde (OMS), verifica que o investimento de cada um dólar em saneamento básico, significa uma redução de quatro a cinco dólares nas despesas hospitalares (REBOUÇAS, 2003). Nos últimos anos, discursos sobre as questões ambientais colocam no centro do debate, o problema do saneamento em grandes cidades e suas consequências, principalmente, com relação aos perigos para a saúde pública. O saneamento básico é fundamental para um meio ambiente social e ecologicamente equilibrado (SOUZA, 2002).

O Marco do Saneamento modifica uma série de aspectos que regulam a área, estabelecendo novas metas para universalização do acesso aos serviços do setor no Brasil: 90% da população com acesso à coleta de esgoto (hoje esse índice é de 53%) e 99% da população com acesso à água tratada (atualmente esse índice alcança 83%), ambas devem ser alcançadas até 2034 (BRASIL, 2016).

A área urbana da cidade de Porto Velho, que foi alvo dos estudos deste trabalho, vem buscando uma revisão de seu Plano Diretor, elaborado em 2007, no qual saneamento básico é um dos principais itens presente nas discussões, sendo que o déficit em relação ao esgotamento sanitário e à rede de água tratada na área urbana de Porto Velho afetam toda a população da capital de rondoniense. Porto Velho teve um crescimento demográfico elevado, que quase dobrou nos últimos 20 anos, porém a infraestrutura não acompanhou esta duplicação, problema recorrente em quase todas as grandes cidades brasileiras (PORTO VELHO, 2008; 2018).

Os dados disponíveis da área de estudos apontam para um grande potencial de produção das águas subterrâneas, contudo, o risco de contaminação é extremamente danoso a população, já que a parte da área urbana que possui apenas a coleta de esgotamento sanitário é ínfima (3%), e o abastecimento de água tratada pela companhia responsável, alcança menos de 35% da cidade (PORTO VELHO, 2008; 2018).

No Brasil, como a captação da água subterrânea é uma obra relativamente de baixo custo, o investimento necessário é, em geral, realizado pelo próprio usuário (REBOUÇAS, 2003).

Porém, este mesmo usuário não possui instrução suficiente para se atentar ao fato de que esta água está sofrendo influência de fontes potencialmente poluidoras próximas, que contaminam todo o recurso hídrico subterrâneo. Estas contaminações antrópicas, advindas da falta de esgotamento sanitário, aumentam as concentrações de íons a base de Nitrato, e estes em níveis elevados são prejudiciais à saúde e requer atenção das autoridades em saúde pública e dos órgãos fiscalizadores.

Para uma melhor gestão do recurso hídrico subterrâneo, as análises espaciais têm se apresentado como uma ferramenta fundamental, auxiliando na pesquisa regionalizada dos parâmetros bio-físico-químicos do ambiente, que podem ser utilizados e ampliados pelas entidades públicas e privadas voltadas à investigação e controle dos parâmetros hídricos necessários à potabilidade, ultrapassando os meros diagnósticos pontuais (CPRM, 2015).

Este estudo realizou uma análise comparativa da contaminação da água subterrânea na área urbana de Porto Velho, no ano da cheia histórica (2014), com os dois anos anteriores ao evento marcante. Pode-se concluir que a recarga adicional no aquífero, provocada pela cheia, impactou não apenas as regiões mais próximas do alcance da cota máxima, mas também regiões mais afastadas, como a zona leste da cidade.

O presente trabalho está estruturado em sete capítulos, além deste primeiro introdutório, o segundo, descreve os objetivos, para melhor entender a influência da cheia histórica do Rio Madeira na dinâmica da contaminação da água subterrânea, na área urbana de Porto Velho, principalmente em comparação com os dois anos anteriores à enchente, de acordo com os dados das análises do Projeto Índice da Qualidade das Águas Subterrâneas em Porto Velho, da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), mais conhecido por Serviço Geológico do Brasil.

No terceiro capítulo é apresentada a fundamentação teórico-metodológica que aborda conceitos que permitem um melhor entendimento sobre todos os aspectos abordados na dissertação, destacando o ciclo hidrológico, propriedades dos aquíferos, como funciona toda a dinâmica da água subterrânea, como se dá a contaminação deste recurso e os impactos na saúde.

O quarto traz uma contextualização da área de estudo, nos aspectos físicos e sócio-espacial e sua contribuição para o cenário urbano atual, destacando os bairros mais populosos e a distribuição de renda conforme o Planos Diretor Participativo que está passando por um processo de revisão, buscando diálogo com a sociedade.

No quinto é descrita toda a metodologia e procedimentos metodológicos realizados neste trabalho, onde são apontados os métodos geoestatísticos utilizados na base de dados

georrefenciadas dos poços, onde foram realizadas as coletas de água e elaboração dos mapas dos contaminantes nitrogenados por meio do programa utilizado.

O sexto apresenta os mapas dos principais contaminantes encontrados nos bairros da área de estudo, mostrando como estes se encontravam no ano da cheia histórica e nos dois anos anteriores, neste capítulo também são apresentadas algumas análises.

No sétimo estão as considerações finais, que descrevem a dinâmica da contaminação do aquífero da área urbana de Porto Velho em relação ao meio físico e social o que requer atenção nas considerações do planejamento urbano dos órgãos de gerenciamento público de infraestrutura.

Por fim, no oitavo e último capítulo é apresentada toda a bibliografia utilizada para a elaboração deste trabalho.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

O objetivo geral dessa pesquisa foi determinar a dinâmica espacial das contaminações na água subterrânea (aquífero freático/aquífero livre) de Porto Velho e analisar a influência da cheia histórica nessa dinâmica no ano do ocorrido em comparação aos dois anos anteriores.

2.2 ESPECÍFICOS

Dentre os objetivos específicos dessa pesquisa, tem-se os seguintes tópicos:

- Determinar a dinâmica espacial das concentrações de contaminantes na água subterrânea com a recarga adicional de água que o aquífero da área urbana de Porto Velho/RO recebeu no ano da cheia histórica do Rio Madeira;
- Mostrar, por meio de mapas temáticos, as áreas mais impactadas para uma melhor gestão para implantação de esgotamento sanitário e abastecimento de água;
- Subsidiar os órgãos públicos, por meio dos dados obtidos, ao reconhecimento das áreas prioritárias para o controle e avaliação dos possíveis impactos no aquífero superficial a partir da concentração de contaminantes nitrogenados, como Nitrato e Amônia, na área urbana da capital rondoniense.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Paz (2004), cerca de 97,5% do volume total de água na Terra estão nos oceanos (água salgada), sendo apenas 2,5% do total da água constituindo o que é considerado como água doce. Por sua vez, a água doce é encontrada principalmente sob a forma de geleiras, que representam 68,7% do total de água doce. Considerando que esse percentual contido em rios e lagos constituem as formas mais acessíveis ao uso humano e de ecossistemas, tem-se um percentual muito pequeno de água disponível – em torno de 0,27% da água doce o que corresponde a 0,007% do volume total de água.

Ainda segundo Paz (2004), considera-se que na atualidade a quantia total de água na Terra está em cerca de 1.3 milhões de km³ e esta quantidade não variou muito nos últimos 500 milhões de anos. Porém o acessível pode ser considerado ínfimo. Na Figura 1 é apresentada a distribuição da água na Terra.

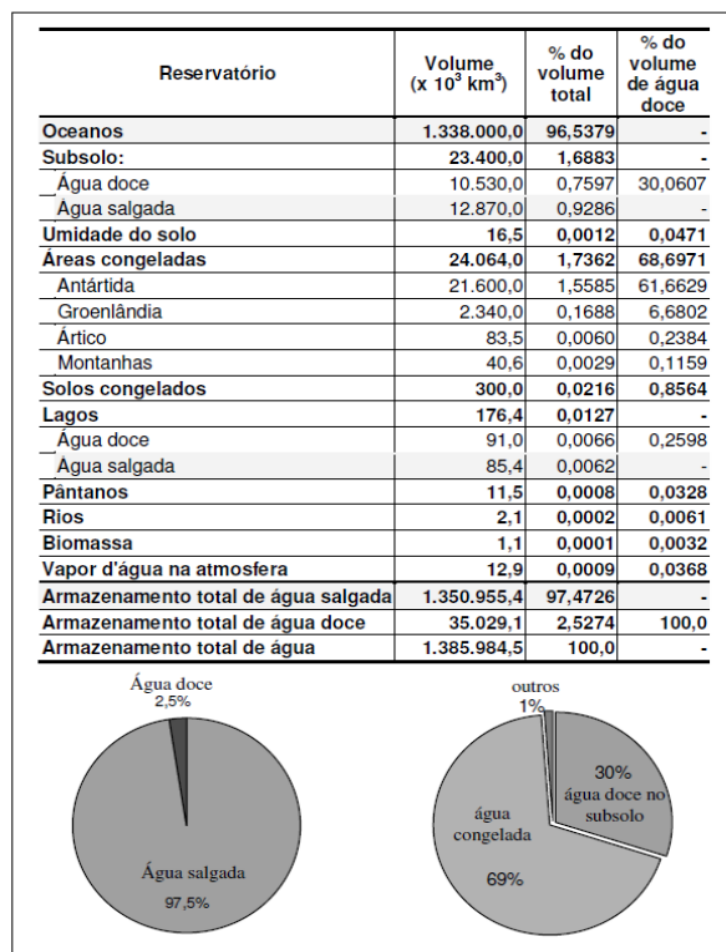


Figura 1 – Distribuição da água no planeta. Fonte: Paz (2004).

3.1 O CICLO HIDROLÓGICO

Denomina-se ciclo hidrológico (Figura 2) o processo natural de evaporação, condensação, precipitação, detenção e escoamento superficial, infiltração, percolação da água no solo e nos aquíferos, escoamentos fluviais e interações entre esses componentes (RIGHETTO, 1998).



Figura 2 – Ciclo Hidrológico. Fonte: USGS (1998).

A água evapora dos oceanos, rios, lagos e plantas para a atmosfera através da radiação. Após sua condensação e precipitação, uma parte escoar na superfície da Terra e a outra infiltra na zona vadosa ou zona não saturada do substrato. Na zona vadosa, a água é absorvida pela vegetação e retorna à atmosfera por evapotranspiração. Outra parcela percola até as porções mais profundas em direção aos aquíferos atingindo os rios, lagos e oceanos, continuando o ciclo hidrológico (HISCOCK, 2005).

As principais variáveis do ciclo hidrológico são: evaporação e evapotranspiração; precipitação; escoamento superficial; retenção superficial e infiltração (HISCOCK, 2005). Embora o ciclo hidrológico possa parecer um ciclo contínuo, com a água se movendo de uma forma permanente e com uma taxa constante, na realidade é bastante diferente (Tabela 1), pois o movimento que a água faz em cada uma das fases do ciclo tem velocidade diferente, variando tanto no espaço como no tempo.

Tabela 1 – Período de renovação da água em diferentes reservatórios na Terra.

Reservatórios	Período médio de renovação
Oceanos	2.500 anos
Águas subterrâneas	1.400 anos
Umidade do solo	1 ano
Áreas permanentemente congeladas	9.700 anos
Geleiras em montanhas	1.600 anos
Solos congelados	10.000 anos
Lagos	17 anos
Pântanos	5 anos
Rios	16 dias
Biomassa	algumas horas
Vapor d'água na atmosfera	8 dias

Fonte: Paz (2004, p. 09).

3.2 INFILTRAÇÃO E RECARGA DE AQUÍFEROS

A água que infiltra além da zona não-saturada e atinge a zona saturada, entra na circulação subterrânea e contribui para um aumento da água armazenada (recarga dos aquíferos). O topo da zona saturada corresponde ao nível freático. No entanto, a água subterrânea pode ressurgir à superfície (através de nascentes) e alimentar as linhas de água ou ser descarregada diretamente no oceano (FETTER, 2001).

Fetter (2001) diz que certos materiais de menor permeabilidade podem dificultar a passagem da água até o aquífero, como ocorre em delgadas camadas de argila e/ou silte, por exemplo, denominados aquitardos. Nesse caso, os aquíferos são denominados semiconfinados, pois são abastecidos indiretamente pelo aquitardo. Os aquíferos livres são recarregados diretamente pela água da chuva e os confinados pelas áreas permeáveis aflorantes.

A recarga, influenciada pela condutividade hidráulica do material que a compõe, depende da permeabilidade e grau de saturação dos sedimentos e das rochas. A condutividade hidráulica se torna maior quanto maior for o volume de água nos interstícios do substrato, porém, menor será o potencial de umidade (FETTER, 2001). O tempo de inserção da água meteórica no substrato não está relacionado apenas com o grau de saturação em água da zona vadosa, mas com sua espessura. Outros fatores que contribuem para a infiltração da água no substrato, de acordo com Fetter (2001), estão relacionados à superfície do terreno, visto que as superfícies mais planas favorecem a recarga e são reconhecidas em mapas de fluxo subterrâneo pelo sentido de fluxo divergente.

A vegetação representa, igualmente, outra condicionante importante para a manutenção dos aquíferos, pois é responsável por facilitar a percolação da água por meio da desagregação do substrato. Ademais, conforme Vaitsman e Vaitsman (2005), ela contribui para o processo de formação de chuvas e é capaz de reter sais minerais que possam vir a comprometer a qualidade da água.

3.3 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL

A origem natural dos elementos na água subterrânea pode estar ligada à lixiviação de minerais ricos em elementos que são facilmente dissolvidos (FEITOSA *et al.*, 2008). Nesse contexto, Hiscock (2005) menciona que os principais íons que compõem as águas subterrâneas são o sódio (Na^+), o cálcio (Ca^{2+}), o magnésio (Mg^{2+}), o cloro (Cl^-), o bicarbonato (HCO_3^{2-}) e o sulfato (SO_4^{2-}), perfazendo até 90% dos sólidos totais dissolvidos (Quadro 1).

Classificar a água como potável, independentemente de sua origem (subterrânea, superficial, pluvial.) torna-se importante para determinar sua composição e assim inferir sua origem natural ou antrópica, além de indicar a classe para seu uso — Resolução CONAMA nº 396 (BRASIL, 2008) e Portaria nº 518 (BRASIL, 2004) consolidadas.

Quadro 1 – Composição de cátions e ânions da água subterrânea

COMPOSIÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	
Íons principais > 5 mg.L ⁻¹)	Bicarbonato, cloreto, sulfato, sódio, cálcio, magnésio
Íons menos comuns (0,01 – 10,0 mg.L ⁻¹)	Nitrato, carbonato, fluoreto, fosfato, potássio, estrôncio, ferro, boro
Constituintes traços <0,1 mg.L ⁻¹	Alumínio, arsênio, bário, brometo, cádmio, cézio, crômio, cobalto, ouro, iodeto, chumbo, lítio, magnésio, níquel, rádio, selênio, sílica, prata, tório, estanho, titânio, urânio, vanádio e zinco

Fonte: Freeze e Cherry (2017).

3.4 CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Para Freeze e Cherry (2017), quando a poluição do subsolo é identificada, é tarde demais para aplicar medidas corretivas eficientes. Do ponto de vista da qualidade da água, a degradação da água subterrânea muitas vezes requer longos períodos de tempo antes que a verdadeira extensão do problema seja detectável. Muitas vezes, longos períodos de fluxo de águas subterrâneas são necessários para que os poluentes sejam eliminados de aquíferos contaminados. A poluição das águas subterrâneas geralmente resulta em aquíferos ou partes de aquíferos degradados para além da reparação.

Enquanto o problema de obtenção de uma qualidade aceitável das águas superficiais foca principalmente na diminuição das emissões conhecidas de poluentes para estes sistemas, o problema enfrentado na proteção dos recursos hídricos subterrâneos consiste em identificar as áreas e mecanismos de processos hidroquímicos (Figura 3), pelos quais os poluentes podem entrar nos sistemas de fluxo de águas subterrâneas e desenvolver previsões confiáveis do transporte de contaminantes dentro dos sistemas de fluxo. Isso é necessário como uma base para se minimizar o impacto das atividades industriais, agrícolas ou urbanas, existentes ou propostas, sobre a qualidade das águas subterrâneas (FREEZE; CHERRY, 2017).

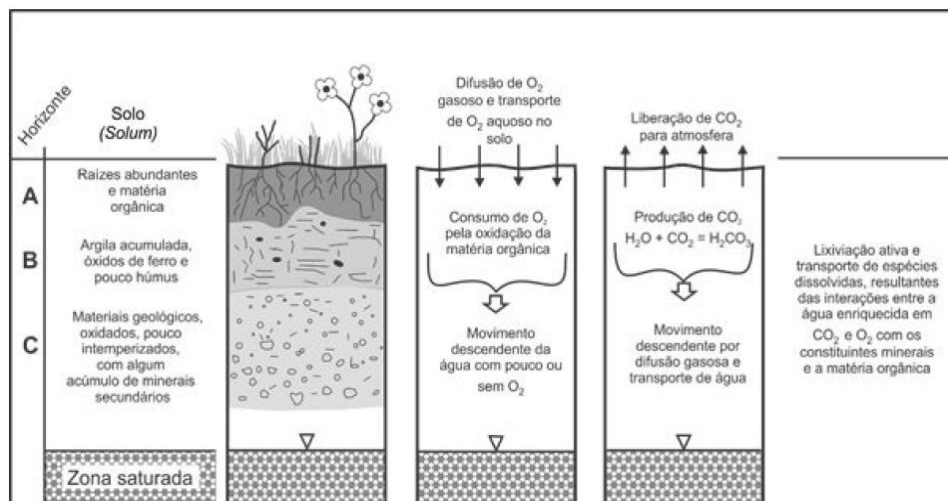


Figura 3 – Representação esquemática dos maiores processos hidroquímicos que ocorrem nas áreas de recarga de aquíferos porosos. Fonte: Freeze e Cherry (2017).

O comportamento de solutos não reativos e de solutos que sofrem reações durante a migração subterrânea ajudam a entender melhor os fatores físicos e químicos que influenciam na migração subterrânea de contaminantes. Os solutos introduzidos no ambiente hidrológico, como resultado de atividades humanas, são referidos como contaminantes,

independentemente de as concentrações atingirem ou não níveis que causem degradação significativa da qualidade da água. O termo poluição é reservado para situações em que as concentrações de contaminantes atingem níveis que são considerados questionáveis (FREEZE; CHERRY, 2017).

Os mecanismos de transporte relacionados com a atenuação de contaminantes dissolvidos na água subterrânea incluem: advecção, difusão, dispersão e sorção. A advecção é o movimento dos contaminantes conforme o fluxo da água subterrânea. Difusão é o processo de transporte de massa no qual o soluto se move de áreas de alta concentração para áreas de baixa concentração. Dispersão é um processo de mistura causado por variações na velocidade no meio poroso. A sorção é o particionamento de contaminantes orgânicos da fase solúvel para a matriz do solo. Esses processos de transporte são considerados não destrutivos, ou seja, não ocorre a degradação dos contaminantes (FREEZE; CHERRY, 2017).

3.5 CONTAMINAÇÃO POR COMPOSTOS DE NITROGÊNIO

Para Garcia, Cardoso e Santos (2013) o nitrogênio é um elemento essencial para formação dos organismos vivos, ele é componente do RNA, DNA e proteínas. Desta forma a disponibilidade de nitrogênio em forma assimilável é fundamental para a continuidade da vida no planeta. Para o homem a única forma de obter nitrogênio é através de alimentos. O nitrogênio disponível biologicamente é aquele que está ligado a carbono, oxigênio ou hidrogênio e é conhecido como nitrogênio reativo.

O nitrogênio não se combina facilmente com outros elementos químicos. Embora o nitrogênio gasoso (N_2) seja constituinte majoritário na atmosfera (cerca de 78%) e esta seja sua principal fonte no ambiente, o metabolismo dos vegetais não é capaz de romper a ligação tripla entre os átomos desta molécula. Para assimilação deste nutriente, os vegetais se beneficiam de uma série de reações de oxirredução mediadas por microrganismos que constituem o ciclo biogeoquímico do nitrogênio (Figura 4), no qual ocorre conversão cíclica entre nitrogênio gasoso e compostos reativos de nitrogênio por meio de três etapas: fixação, nitrificação e desnitrificação (GARCIA; CARDOSO; SANTOS, 2013).

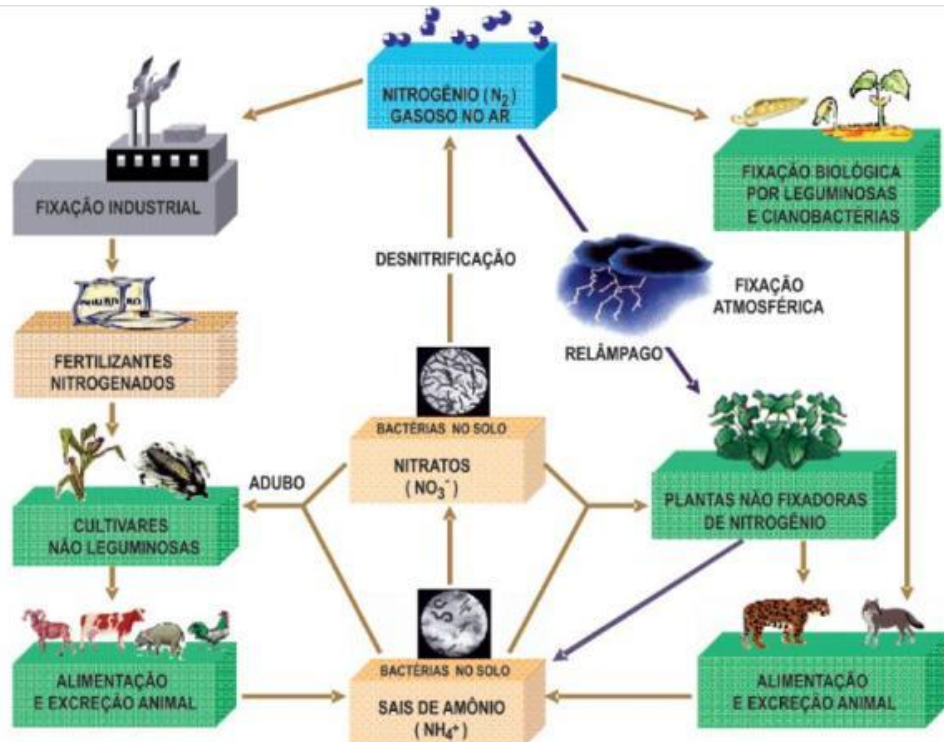


Figura 4 – Ciclo Global do Nitrogênio. Fonte: Martins *et al.* (2003).

A fixação é a etapa de conversão de nitrogênio gasoso atmosférico ao íon amônio (NH_4^+), a nitrificação é a conversão do íon amônio produzido pela reação de fixação ao íon nitrato (NO_3^-) e na desnitrificação o nitrogênio oxidado como nitrato (ou nitrito, NO_2^-) é convertido novamente a nitrogênio gasoso e emitido para a atmosfera. Segundo Martins *et al.* (2003) o uso de fertilizantes inorgânicos e a produção de excremento, aceleram a emissão de compostos nitrogenados no solo.

A amonificação e a nitrificação são processos que ocorrem normalmente acima do nível d'água, em geral na zona de solo, onde a matéria orgânica e o oxigênio são abundantes. Assim, esses processos são representados (Figura 5) como geradores de Nitrato (NO_3^-), fora dos limites do sistema de fluxo de água subterrânea (FREEZE; CHERRY, 2017).

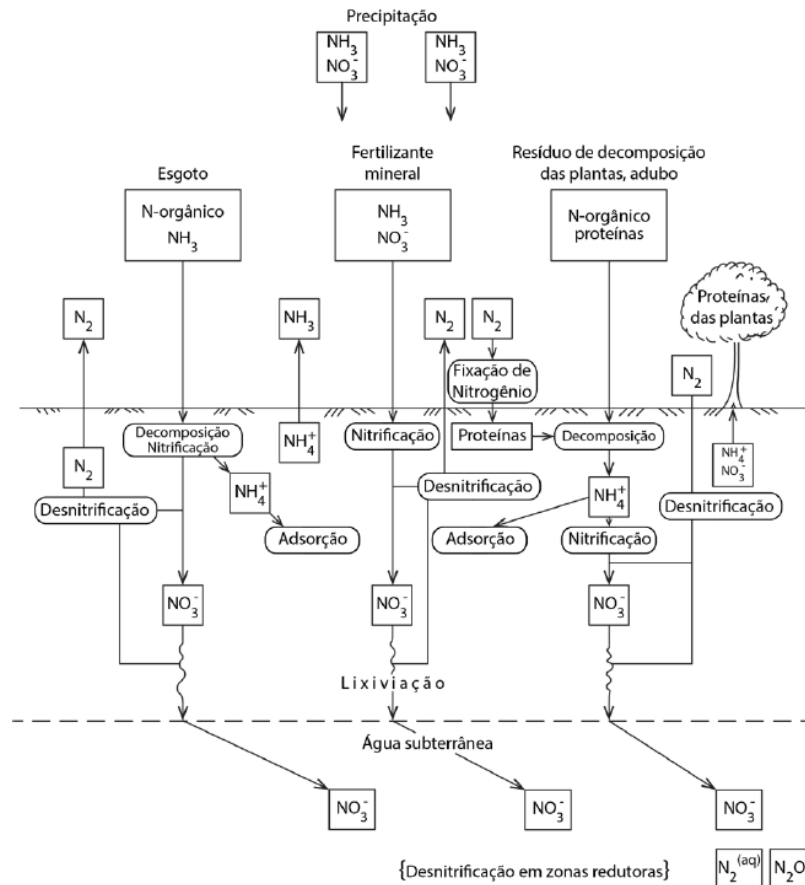


Figura 5 – Fontes e caminhos de nitrogênio em ambiente de subsuperfície. Fonte: Freeze e Cherry (2017).

3.5.1 Amônia e Nitrato

A amônia ou o nitrogênio amoniacal (NH_3), segundo DellaJustina (2000), é encontrada em águas superficiais ou subterrâneas, como resultado da decomposição da matéria orgânica. Quando plantas e animais morrem, a matéria orgânica dos mesmos é consumida por bactérias que a transforma em amônia, dissolvida em águas na forma de NH_3 e NH_4^+ :



A poluição doméstica, industrial e agrícola também são importantes fontes de contaminação por amônia nos sistemas aquáticos. Segundo Benn e Auliffe (1981), a maior parte do conteúdo de nitrogênio dos esgotos provém da urina, sob a forma de uréia.

O nitrato (NO_3^-) como nitrogênio é a principal forma do íon encontrada nas águas, sendo o último estágio da oxidação do nitrogênio, que tem origem orgânica ou inorgânica e sofreu várias transformações até chegar ao nitrato (SILVA; BROTTTO, 2014). Ocorre

naturalmente em águas subterrâneas, mas a sua presença em concentrações elevadas é geralmente resultante da atividade antrópica, dentre elas se destacam principalmente a aplicação de fertilizantes orgânicos e inorgânicos e o uso de sistemas de esgotamento sanitário *in situ*. As substâncias nitrogenadas dos fertilizantes e dos resíduos orgânicos são transformadas e oxidadas por reações químicas e biológicas e o resultado é a presença de nitrato no solo. Sendo o nitrato extremamente solúvel em água, move-se com facilidade e contamina a água subterrânea (BARBOSA, 2005).

Segundo Freeze e Cherry (2017), em geral, o nitrato encontrado em água subterrânea é proveniente de fontes localizadas nos horizontes dos solos ou em horizontes subsuperficiais rasos, onde resíduos ricos em nitrogênio encontram-se enterrados (Figura 6). Em algumas situações em que o nitrato se infiltra no sistema de águas subterrâneas, o mesmo decorre de resíduos ou fertilizantes aplicados na superfície do solo. Estes são designados como fontes diretas de nitrato. Em outros casos, o NO_3^- origina-se por conversão de nitrogênio orgânico, que ocorre naturalmente, ou é introduzido no horizonte do solo por atividades antrópicas. Concentrações de NO_3^- na faixa comumente reportada para águas subterrâneas não são limitadas por restrições de solubilidade. Em virtude disso e por sua forma aniônica, o NO_3^- é muito móvel em água subterrânea. Nos ambientes fortemente oxidantes, o NO_3^- é a forma estável de nitrogênio dissolvido. Este se move com a água subterrânea sem transformação e com pouco ou nenhum retardamento. As águas subterrâneas muito rasas em sedimentos altamente permeáveis ou em rochas fraturadas, normalmente contêm valores elevados de O_2 . É nesses ambientes do substrato que o NO_3^- comumente migra por grandes distâncias a partir das áreas fontes de contaminação.

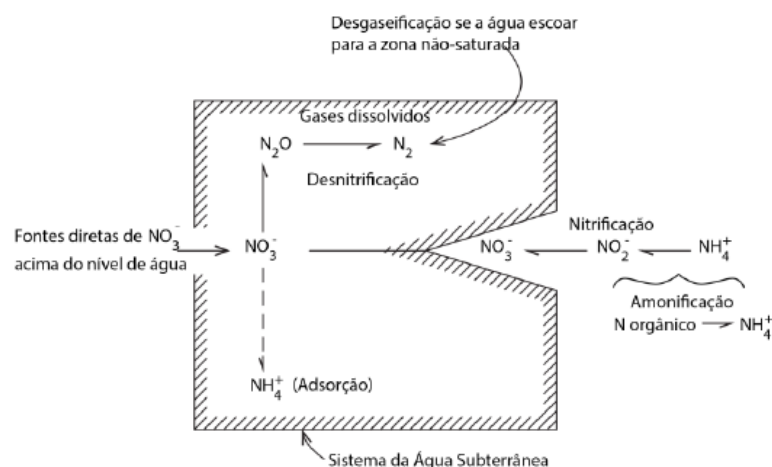


Figura 6 – Entradas e transformações de nitrogênio em sistemas de aquíferos. Fonte: Freeze e Cherry (2017).

3.6 RISCOS DA CONTAMINAÇÃO POR COMPOSTOS DE NITROGÊNIO PARA A SAÚDE E LEGISLAÇÕES

O nitrato em concentrações elevadas está associado à meta-hemoglobinemia, doença que dificulta o transporte de oxigênio na corrente sanguínea de bebês. As bactérias reduzem parte do íon nitrato em íon nitrito, este combina e oxida os íons de ferro na hemoglobina no sangue de Fe^{2+} a Fe^{3+} , evitando a absorção e a transferência de oxigênio para as células. Em adultos, a atividade metabólica interna impede a conversão do nitrato em nitrito, que é o agente responsável por essa enfermidade (BRASIL, 2006). A hemoglobina contendo Fe^{3+} é designada como meta-hemoglobina, o bebê torna-se azul e sofre interrupções na sua respiração. Nos adultos, em geral, a hemoglobina oxidada é praticamente reduzida novamente a sua forma de transporte de oxigênio, e o nitrito é novamente oxidado para nitrato, de forma rápida; porém, em bebês, esse processo é lento. Outro fator para que auxilia os adultos é que o nitrato é principalmente absorvido no trato digestivo, antes da redução para nitrito ocorrer.

No Brasil, a Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), consolidada pela Portaria nº 5, de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017), estabeleceu o limite de nível máximo de contaminante (MCL) de 10 mg/L de nitrato como nitrogênio como o valor máximo permissível (VMP) como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Valores máximos permitidos para os principais parâmetros analisados para potabilidade da água

PARÂMETROS	CONAMA (VMP)
CE (μ S/cm)	10 - 100
pH	6 - 9,5
Fluoreto (mg/L)	1,5
Nitrato (mg/L)	10
Amônia (mg/L)	1,5
Cloreto (mg/L)	250
Dureza (mg/L)	500
Ferro (mg/L)	0,3
Manganês (mg/L)	0,1
Sulfato (mg/L)	250
Turbidez (uT)	5
SDT (mg/L)	1000

Notas: C.E = condutividade elétrica; pH = potencial hidrogeniônico; SDT = sólidos totais dissolvidos.
Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Na década de 80, o limite aceitável como índice de pureza sanitária em água de abastecimento estava entre 0,05 a 0,10 mg/L de NH_3 para a Resolução CONAMA n° 20, de 18 de julho de 1986, o teor máximo de amônia não ionizável era de 0,02 mg L, atual este limite está em torno de 1,5 mg/L (CONAMA, 1986).

Na maioria dos países desenvolvidos também foi estabelecido o limite máximo de 10 mg/L de nitrato como nitrogênio, para evitar a síndrome do bebê azul. Existe a possibilidade de o excesso de nitrato em água potável aumentar a incidência de câncer de estômago em humanos, uma vez que parte dele se transforma no estômago a íon nitrito. O problema é que os nitritos podem reagir com aminas e produzir N-nitrosaminas (NDMA), compostos cancerígenos (SILVA; BROTTTO, 2014).

Para Alaburda e Nishihara (1998, p. 164), a divulgação de estudos epidemiológicos com respeito a metemoglobinemia, devido à ingestão de teores elevados de nitrato, são praticamente inexistentes devido a falta de notificação nas Américas: “[...] dada a pouca informação sobre casos de metemoglobinemia nas Américas, cabe indagar se, isto é, devido à baixa incidência da doença ou à falta de notificação”.

Portanto, pode-se perceber que as notificações representam uma parte bem menor do que a realidade que se apresenta no cenário atual do sistema precário de saneamento básico.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo está localizada na área urbana da cidade de Porto Velho, capital do Estado de Rondônia. O principal acesso é terrestre pela BR-364, que liga todo o estado de Rondônia, chegando à capital do Mato Grosso ou tendo acesso pelo Norte do Estado utilizando a BR-319 que vem de Rio Branco, capital do Estado do Acre.

Abrangendo uma extensão de aproximadamente 117 km² a área urbana da cidade de Porto Velho tem seus limites entre as coordenadas geográficas 8°48'46,7" S e 8°41'59,45" S de latitude ao sul e 63°56'24,5" W e 63°46'55,3" W de longitude oeste (Figura 7).

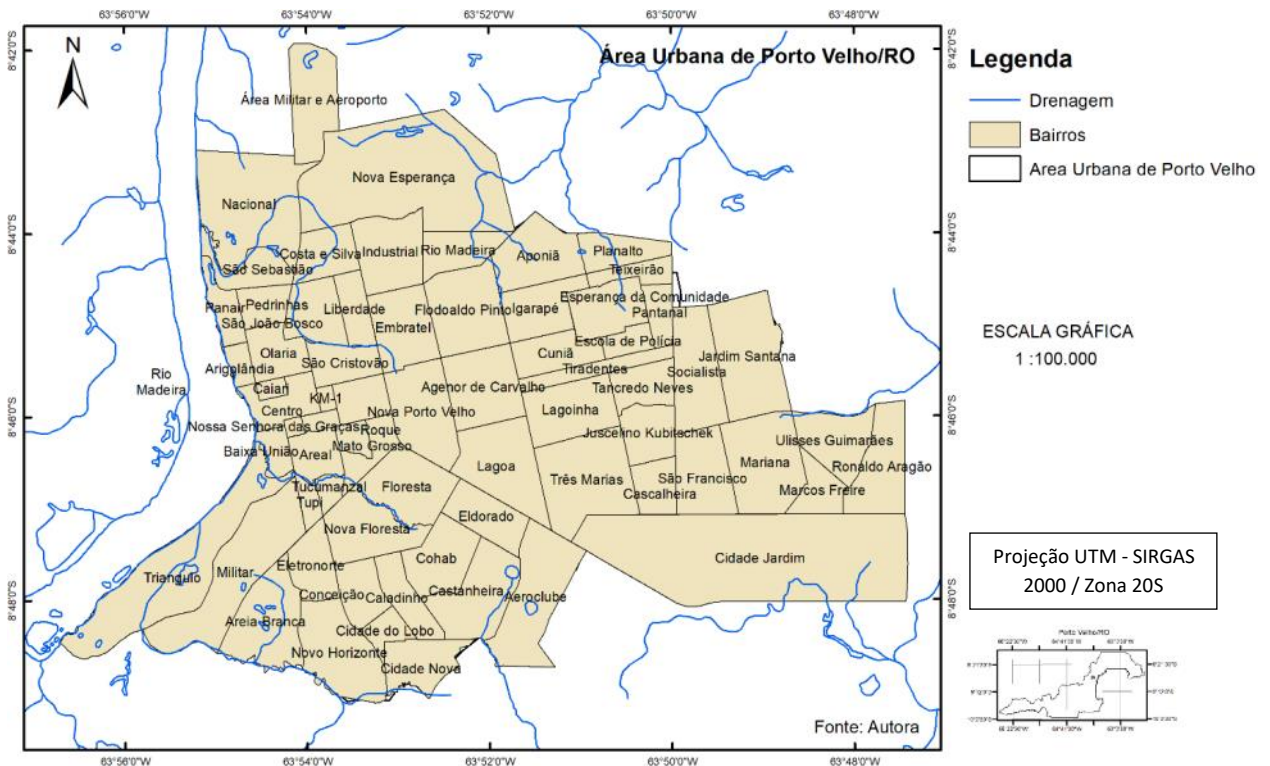


Figura 7 – Localização da área de estudo. Fonte: Autora.

Nos meses de maio e outubro (final dos períodos de alta pluviosidade e de baixa pluviosidade respectivamente) de 2012, 2013 e 2014, foram coletadas amostras de água em poços amazonas e tubulares na área urbana, os locais de coletas estão apresentados na Figura 8.

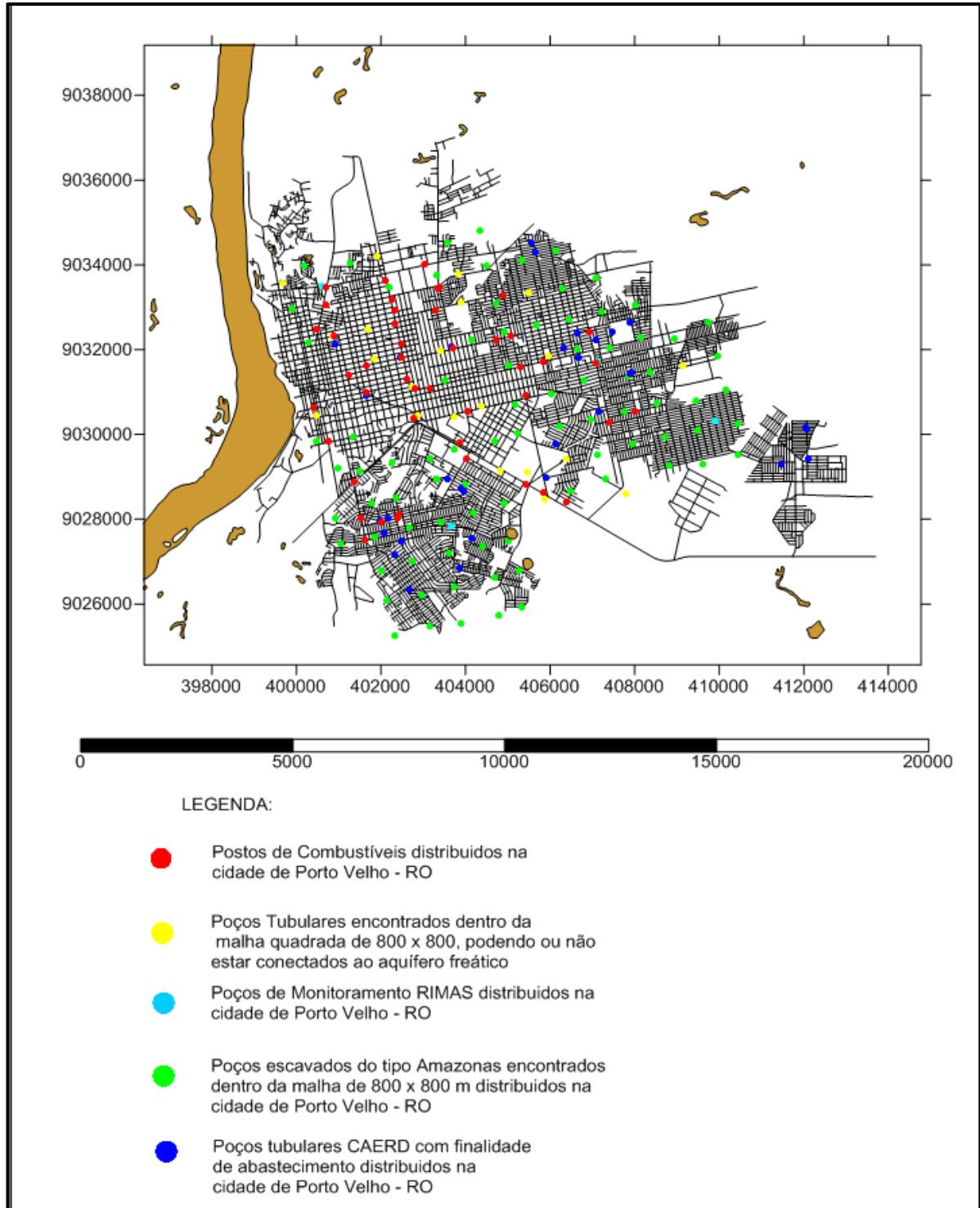


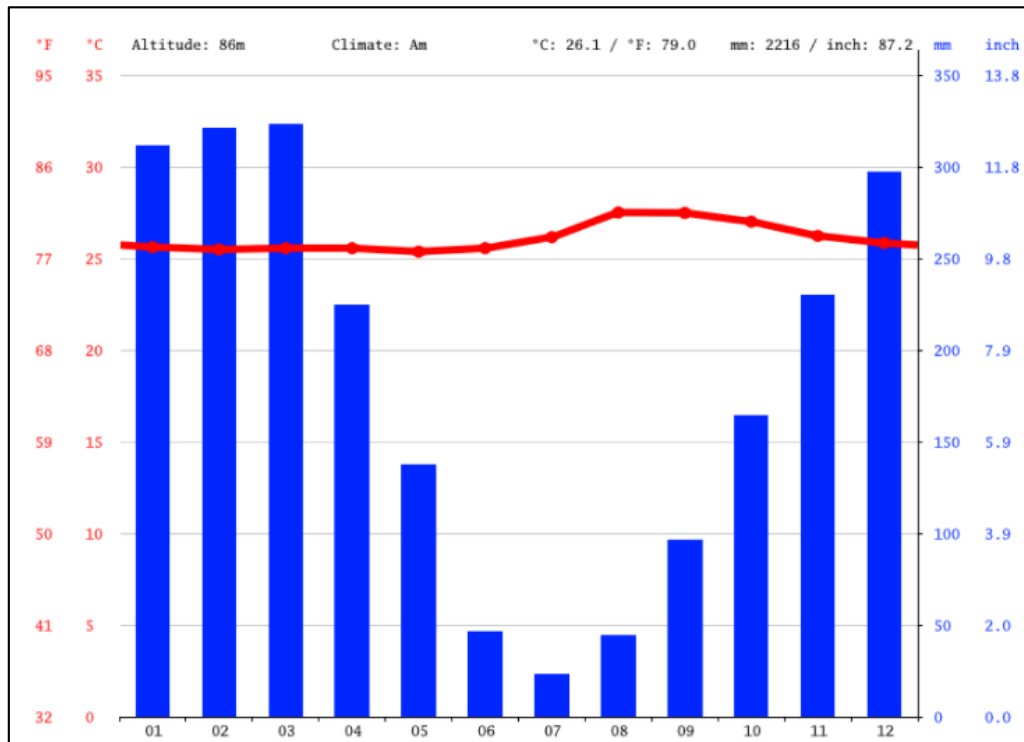
Figura 8 – Locais de coletas de água em poços nos anos de 2012, 2013 e 2014.
Fonte: CPRM (2015).

4.2 CLIMA

O estado de Rondônia possui um Clima Tropical Chuvoso, com média climatológica da temperatura do ar, durante o mês mais frio, superior a 18°C (megatérmico), e um período seco bem definido durante a estação de inverno, quando ocorre na região um moderado déficit hídrico com índices pluviométricos inferiores a 50 mm/mês (RONDÔNIA, 2002).

As principais características do regime pluviométrico do município são a sua sazonalidade bem definida em um período chuvoso que se estende de novembro a abril, com precipitação mensal oscilando entre 228,9 mm a 329,6 mm, e um período de estiagem de junho a setembro com precipitação mensal oscilando entre 38,7 mm a 107,7 mm, sendo os meses de maio e outubro considerados meses de transição de um regime para outro. O gráfico 2 apresenta o regime pluviométrico médio mensal no período de 2005 a 2012, segundo medidas hidrométricas da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

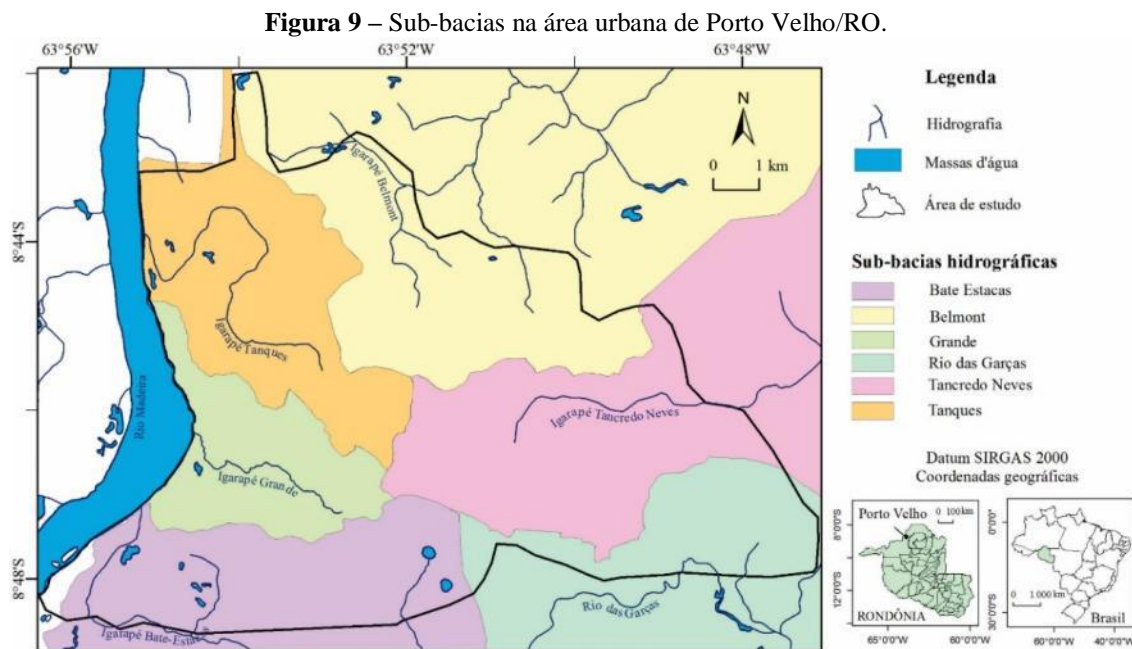
Gráfico 1 – Gráfico de pluviosidade mostrando a variação das chuvas e da temperatura em Porto Velho/RO entre os anos de 1991 a 2021.



Fonte: CLIMATE-DATA (2021).

4.3 SUB-BACIAS URBANAS

A área urbana da cidade de Porto Velho abrange seis sub-bacias: Bate Estacas, Belmont, Grande, Rio das Garças, Tancredo Neves e Tanques, conforme ilustrado na Figura 9 (SIPAM, 2014), onde estão inseridos os igarapés Bate Estacas, Belmont, Grande e Tanques, que desaguam diretamente no Rio Madeira, e o igarapé Tancredo Neves o rio das Garças, que deságuam no rio Candeias do Jamari, afluente do Rio Madeira.



4.4 GEOMORFOLOGIA

Os processos da evolução da paisagem da cidade de Porto Velho resultaram em uma geomorfologia com formas do Planalto Rebaixado da Amazônia, constituindo o relevo plano a suavemente ondulado, muito pouco dissecado (MELO; COSTA; NATALI FILHO, 1978).

Segundo Alves (2016), localmente, pode exibir porções do terreno com grau de dissecação mais acentuado. As unidades de agradação da área urbana de Porto Velho são constituídas por Planícies Aluvionares enquanto que as unidades de degradação são representadas pelas Superfícies de Aplainamento (Figura 10).

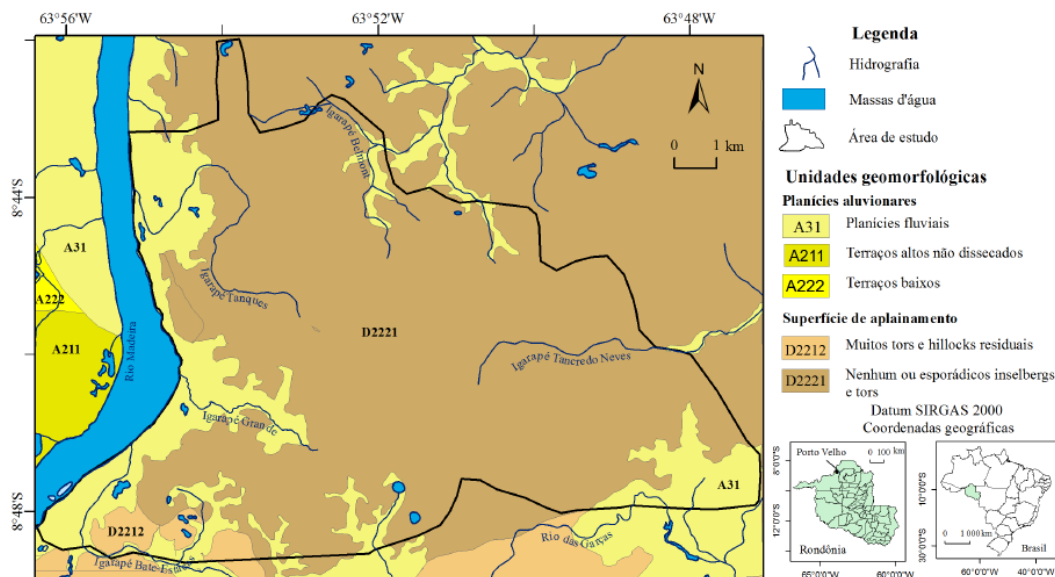


Figura 10 – Mapa de geomorfologia da área urbana de Porto Velho/RO. Fonte: Alves (2016).

Planícies Aluvionares referem-se às planícies fluviais e estão distribuídas junto às margens dos Rios Madeira e Garças, bem como aos igarapés Grande, Tanques, Belmont, Tancredo Neves e Bate Estacas. São porções do terreno que apresentam declividade inferior a 1%, com larguras inferiores a 5 km, referindo-se a planícies inundáveis sazonais. Correspondem à unidade geológica depósitos aluvionares e com ocorrência da classe de solo Glei (ALVES, 2016).

Segundo Lisboa *et al.* (2004), a geomorfologia é fator primordial no modo de ocorrência geológico das águas subterrâneas. Influi na distribuição das áreas de recarga e na circulação e descarga dos aquíferos.

4.5 SOLOS

No município de Porto Velho encontram-se inúmeras classes de associações de solos; as observações com dados analíticos disponíveis associam-se aos levantamentos de solos desenvolvidos no estado em diferentes escalas ao longo das últimas três décadas (SILVA FILHO, 2009).

Com base nas informações existentes nos trabalhos de Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1983a; 1983b) e Silva Filho (2009), tem-se que regionalmente os solos com maior área de ocupação com diversas associações são os Latossolos (Figura 11) e por consequente as Lateritas/Lateritos.

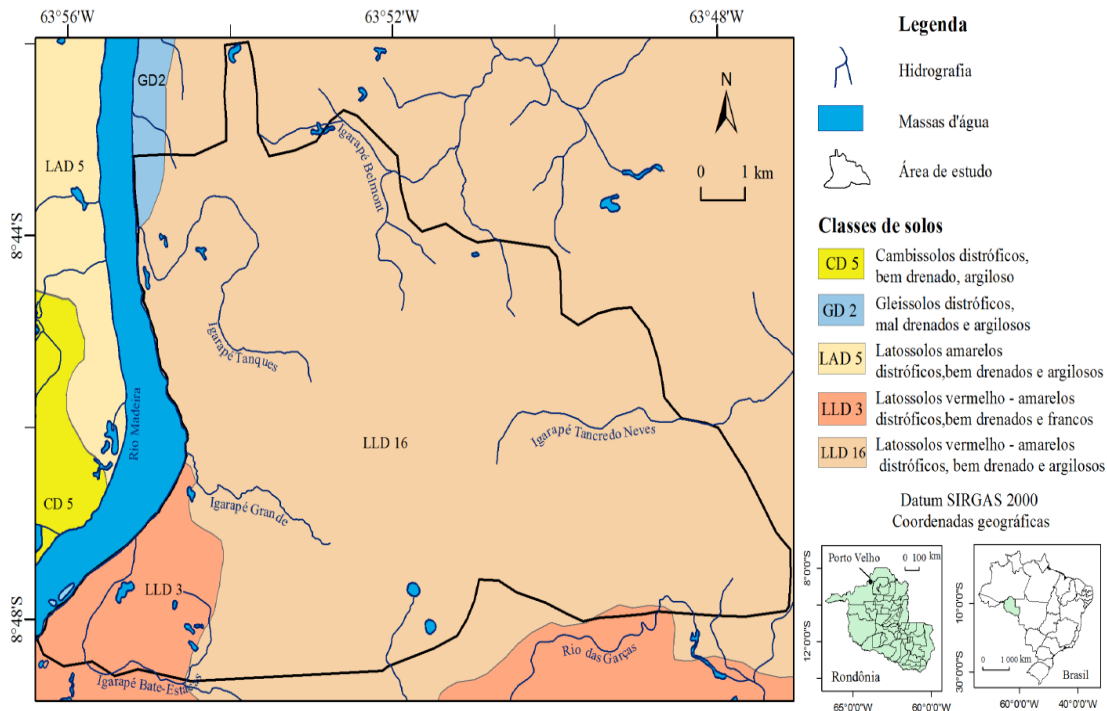


Figura 31 – Mapa de solos da área urbana de Porto Velho/RO. Fonte: Alves (2016, p. 28).

4.5.1 Latossolos

Os Latossolos apresentam um horizonte B ôxico e/ou kândico. Geralmente, são solos bastante intemperizados, apresentando, como principais minerais os derivados da argila, caulinita e gibbisita, minerais amorfos e sesquióxidos de ferro e alumínio. Em razão da forte lixiviação sua capacidade de troca catiônica é baixa, assim como a quantidade de cálcio, magnésio, potássio e sódio adsorvidos (HERRERA, 2016).

Na região da área urbana de Porto Velho predominantemente encontramos os Latossolos (70%), entre os quais se destaca o Latossolo Amarelo, com textura argilosa, e média a baixa fertilidade natural (caráter álico) com alta saturação de alumínio (acima de 50%). Os Latossolos são evoluídos, com atuação expressiva de lateritização, intensa intemperização de minerais primários, com concentração de óxidos, hidróxidos de ferro e alumínio apresentam condições de oxigenação deficientes (HERRERA, 2016).

4.6 GEOLOGIA

O substrato proterozoico sobre o qual se desenvolveram os depósitos sedimentares mais recentes (arcabouço do sistema aquífero da área urbana de Porto Velho), está representado por granitoides pertencentes à Suíte Intrusiva Serra da Providência, com idade de 1,55 bilhões de anos (BETTENCOURT *et al.*, 1999) e pela Suíte Intrusiva Santo Antônio, com idade de 1,3 bilhões de anos (RIZZOTTO *et al.*, 2005).

4.6.1 Cobertura cenozoica

- Materiais lateríticos: Segundo Herrera (2016), a classificação dos perfis lateríticos em grande parte do Noroeste de Rondônia se apresentam como ferruginosos e imaturos de acordo com o grau de evolução. A integração das bases multi-fonte evidenciou a associação entre crostas lateríticas e as feições de topo plano (platôs), demonstrando controle topográfico.
- Sedimentos: O registro sedimentar da área urbana de Porto Velho refere-se ao reflexo das variações da dinâmica de seu sistema fluvial no Cenozoico, dando origem às unidades geológicas constituídas por sedimentos plio-pleistocênicos de difícil individualização (QUADROS; RIZZOTTO, 2007), denominada de Cobertura sedimentar indiferenciada, além de Depósitos aluvionares atuais e subatuais (SCANDOLARA, 1999).

4.6.2 Cobertura sedimentar indiferenciada

A cobertura sedimentar indiferenciada é a unidade que predomina na área de estudo e foi primeiramente descrita por Scandolaro (1999) como sedimentos que ocorrem na margem direita do Rio Madeira, com grãos desde a fração cascalho até argila, relacionados a ambientes aluviais, canais fluviais, planícies de inundação e lacustres. Quadros e Rizzotto (2007) afirmaram que a unidade possui espessura inferior a 40 metros, desprovida de fósseis, e seus sedimentos foram datados do Plio-Pleistoceno. Oliveira (2013) mencionou que esta unidade é caracterizada por uma superfície aplainada e possui um alto grau de ferruginização. Adamy e Romanini (1990) descreveram sedimentos desta unidade designando-a como Formação Jaci-Paraná. No entanto, para Quadros e Rizzotto (2007), a Formação Jaci-Paraná

restringe-se à margem esquerda do Rio Madeira, limitada pela foz do rio São Lourenço e pela serra Três Irmãos, nas duas margens do Rio Jaci-Paraná e à jusante da cachoeira de Jirau.

4.6.3 *Depósitos aluvionares*

Os depósitos aluvionares compreendem os sedimentos inconsolidados nos leitos e margens dos canais fluviais atuais, caracterizados notadamente na calha do Rio Madeira, além de depósitos de menor envergadura nos seus afluentes. No Rio Madeira, são destacados por estarem associados à formação de ilhas e barras arenosas em locais favoráveis à sua deposição. Em canais, são compostos por areias grossas e cascalhos de granulometria variável. Considerando a sazonalidade das estações, verifica-se que no período das cheias ocorre extensa sedimentação nas planícies de inundação, constituídas por siltes e argilas, além das areias silto-argilosas nos diques marginais (QUADROS; RIZZOTTO, 2007).

4.7 CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO E HIDROQUÍMICO

A área urbana da cidade de Porto Velho possui aquíferos freáticos porosos e no sistema de aquíferos intergranulares possui descontínuos livres a semiconfinados (MORAIS, 1998). Segundo o autor, a categoria porosa refere-se às características primárias da rocha, ou seja, a porosidade é a que está diretamente ligada ao armazenamento e percolação da água.

Com relação aos aquíferos intergranulares descontínuos, livres a semiconfinados, estes são constituídos por sedimentos terciários e quaternários, aluvionares e coluvionares, de origem fluvial e lacustre. Os sedimentos são mal selecionados, com granulometria desde cascalho até argila, inconsolidados a semiconsolidados. Podem ocorrer camadas argilosas ou silto-argilosas com baixa permeabilidade, conferindo-lhes um caráter de semiconfinamento (ALVES, 2016).

Campos e Morais (1999) elaboraram a avaliação preliminar sobre o potencial hidrogeológico da cidade de Porto Velho com base em 8 poços tubulares e definiu que a vazão específica varia de 0,11 a 5,3 m³/h/m, e a transmissividade varia de 0,59 a 143m²/dia, além de verificar que o aquífero é heterogêneo e composto por uma camada de 50 metros de sedimentos.

Campos e Morais (1999) também caracterizaram a morfologia do aquífero com base em 51 poços tubulares e concluíram que a mesma é constituída por uma camada de areia

média a grossa, com espessura de 12 a 32 metros, largura de 1.500 a 2.500 metros e comprimento de 9.000 metros com direção NW-SE, associada a um paleocanal (Figura 12).

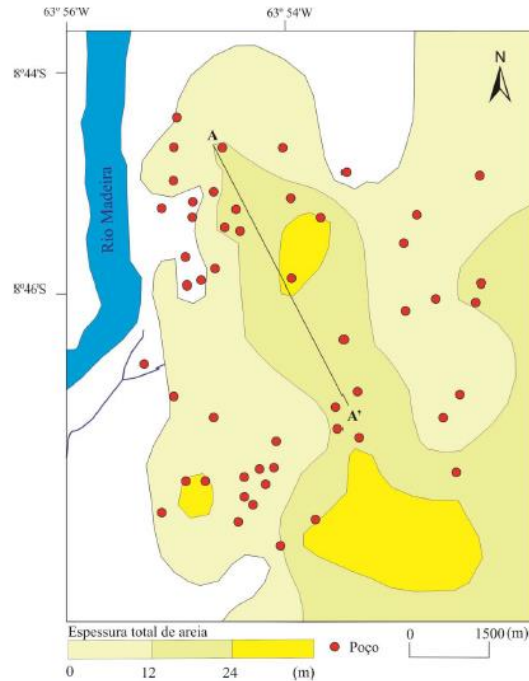


Figura 42 – Espessura total de areia com a localização da seção esquemática A-A'. Fonte: Alves (2016).

O aquífero possui lentes de laterita e uma camada de argila no topo (Figura 13) sugerindo o aquífero tipo confinado, e que os locais onde o aquífero aflora seria sua área de recarga (ALVES, 2016).

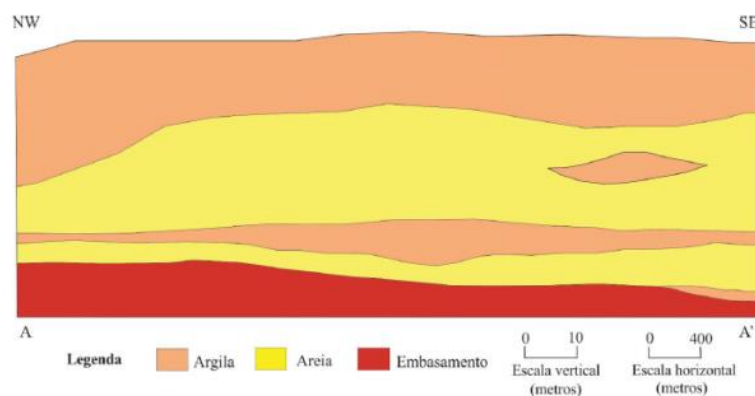


Figura 53 – Seção esquemática A – A' ao longo do possível paleocanal demonstrando a continuidade das camadas arenosas. Fonte: Alves (2016).

Os aquíferos em sedimentos inconsolidados descrevem uma superfície mais aplainada e são gerados por processos coluvionares e aluvionares, de origem fluvial e lacustre, compostos por um material mais grosso na base e mais fino no topo, o que o caracteriza como

heterogêneo. São considerados ótimos para locação de poços, pois não requerem a perfuração profunda, posto que o nível de água se encontra, geralmente, raso. Esta categoria de aquífero possui uma boa facilidade de recarga devido a sua própria composição, à baixa declividade, além de ser abastecido pela água da chuva, por lagos e rios, quando o nível estático é profundo (FEITOSA *et al.*, 2008).

4.8 FLUXO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E MODELO CONCEITUAL HIDROGEOLÓGICO

Segundo Alves (2016), o nível potenciométrico da água subterrânea em Porto Velho acompanha a topografia visto que os níveis elevados estão localizados nos altos topográficos formados próximos às áreas onde o perfil laterítico está mais superficial, e os níveis baixos estão localizados nos baixos topográficos, próximos das drenagens.

Com relação aos locais de recargas, os mesmos foram definidos por Alves (2016), a partir das linhas de fluxo subterrâneo divergentes e localizam-se na porção central, no subdomínio hidrogeológico laterítico, onde os níveis potenciométricos e as cotas são relativamente elevadas. Entretanto, porções do terreno com cotas intermediárias do subdomínio sedimentar podem representar locais de recargas por serem constituídos de material permeável. Esses locais são responsáveis pelo abastecimento dos aquíferos livres e semiconfinados do domínio poroso e sua possível fonte de recarga direta pode estar relacionada às águas pluviais. Porções desse domínio hidrogeológico poroso que apresentam declividades mais acentuadas e próximas às drenagens são desfavoráveis à recarga do aquífero e possivelmente indicam locais de descargas (Figura 14).

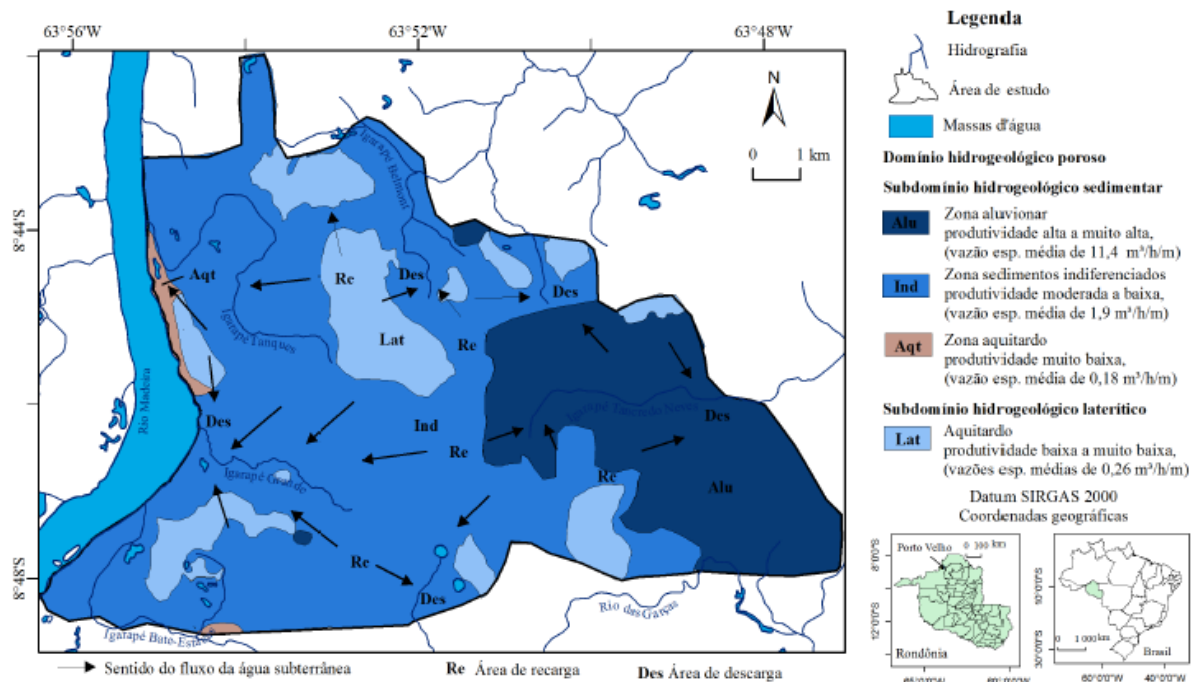
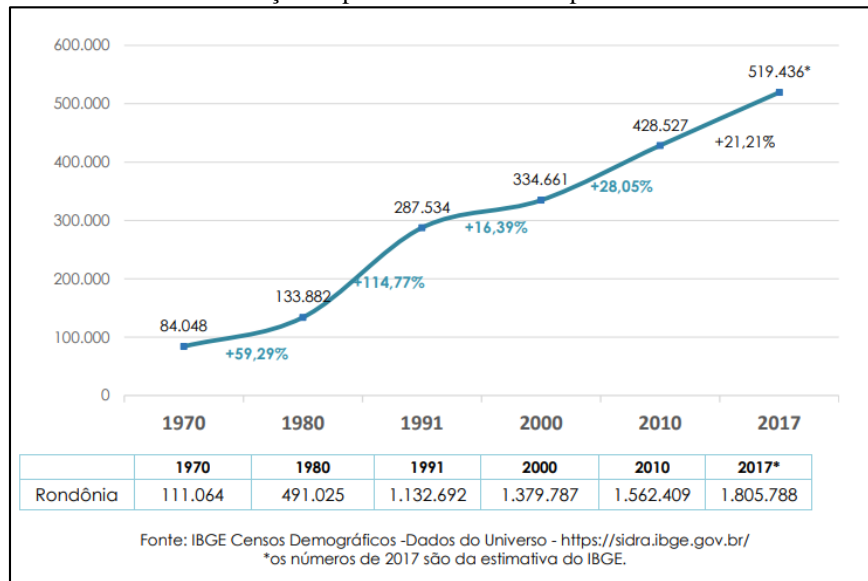


Figura 64 – Modelo conceitual hidrogeológico da área urbana de Porto Velho. Fonte: Alves (2016).

4.9 CARACTERIZAÇÃO POPULACIONAL DO MUNICÍPIO DE PORTO VELHO

Segundo dados do Plano Diretor Municipal Participativo de 2018, a evolução populacional de Porto Velho indica o ápice da taxa de crescimento entre as décadas de 1980 e 1990, quando a população porto-velhense mais que duplicou (PORTO VELHO, 2018). Este crescimento acompanhou a dinâmica estadual - período em que Rondônia triplicou sua população. Nesse contexto, Porto Velho concentra a presença do setor público no estado que atrai novos moradores em busca de ocupar postos de trabalho. Paralelamente, o garimpo no Rio Madeira também fomenta fluxos migratórios na região. As altas taxas de crescimento populacional teriam forte redução nos anos 1990, retomando curva ascendente na década de 2000, já sob a influência da perspectiva de implantação das usinas hidrelétricas, cujas obras tiveram início em 2008, embora e parte significativa da população que chegou ao Município no período de construção das usinas não tenha permanecido, a população de Porto Velho aumentou consideravelmente, confirmando as estimativas no Censo de 2020 (Gráfico 1).

Gráfico 2 – Evolução Populacional do Município de Porto Velho/RO

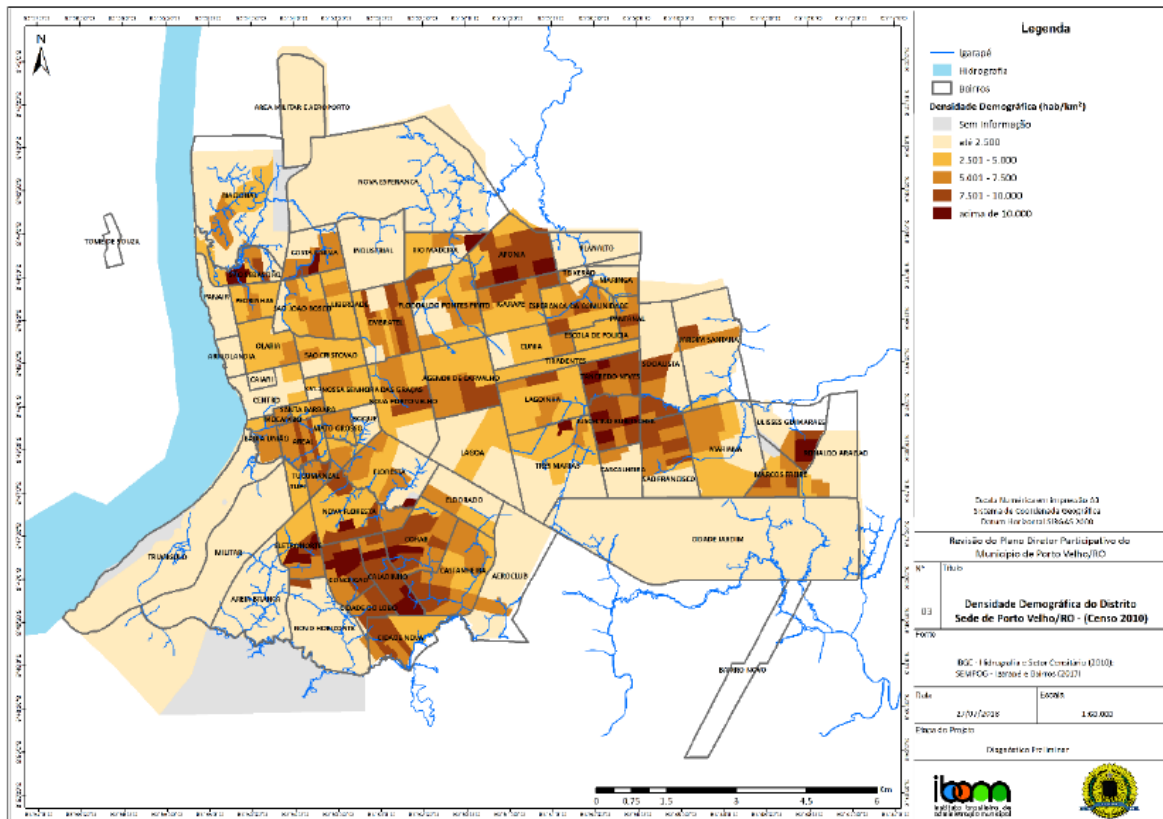
Fonte: IBGE (2010).

Porto Velho evoluiu, rapidamente, de noventa mil para mais de trezentos mil habitantes em 15 anos e desses trezentos para mais de quatrocentos mil nos últimos 10 anos, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010). Esta migração intensa provocou um explosivo crescimento da cidade, particularmente na década de 80. Hoje, a urbe demonstra as implicações decorrentes desse crescimento desordenado: bairros periféricos sem ordenação ou infraestrutura, capaz de oferecer qualidade digna de moradia aos habitantes, num ritmo não acompanhado pelas instituições públicas (SINJUR, 2012).

A área urbana de Porto Velho, assim como a grande maioria das grandes cidades, tem um processo de ocupação extensivo e com uma estrutura espacial marcada por fortes contrastes sociais:

[...] dentre as mudanças significativas na cidade de Porto Velho, destaca-se o início da verticalização urbana, por meio de condomínios horizontais e verticais, o que indica processos de fragmentação do tecido urbano, sendo formas-conteúdo típicas de cidades e metrópoles regional e nacional (COSTA SILVA; CONCEIÇÃO, 2016, p. 230).

Assim, nas zonas norte e central da cidade residem as classes sociais de renda mais elevada (Figura 15), enquanto nas zonas leste e sul, embora se verifique a existência de alguns bairros de classe média, predominam os bairros populares e grandes concentrações de moradias mais simples e sem estruturas.



Legenda

- Igarapé
- Hidrografia
- Bairros
- Densidade Demográfica (hab/km²)**
- Sem Informação
- até 2.500
- 2.501 - 5.000
- 5.001 - 7.500
- 7.501 - 10.000
- acima de 10.000

Figura 15 – Distribuição da população de Porto Velho na área urbana da cidade. Fonte: Adaptado de Porto Velho (2008).

Segundo Lima (2008, p. 67), a baixa renda é um fator preponderante na contribuição da contaminação da água subterrânea em Porto Velho: “[...] fatores como a falta de informação e condições socioeconômicas dos moradores, levam os mesmos a praticarem atos [...] que levam à degradação da água subterrânea [...] uma realidade local e atual [...]”.

Na Figura 16 é possível observar a distribuição da população de Porto Velho na área urbana da cidade, segundo dados do Plano Diretor Municipal de 2008 (PORTO VELHO, 2008).

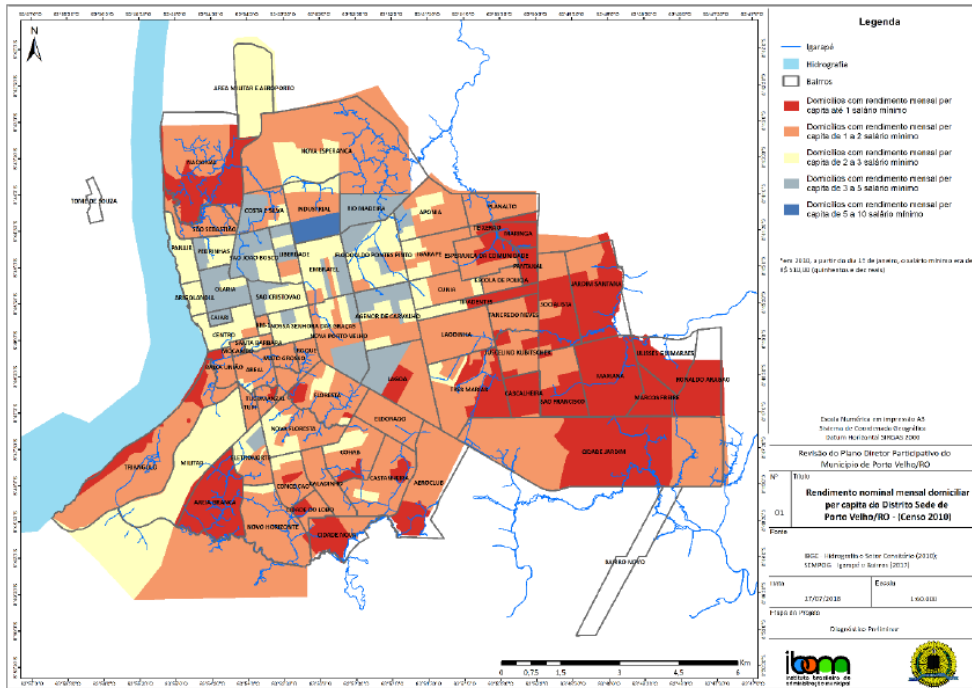
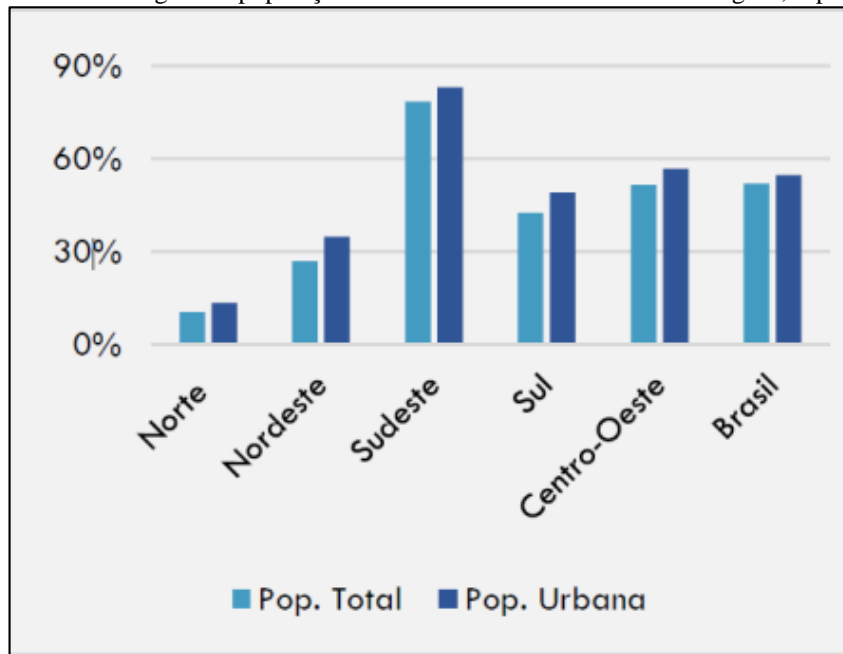


Figura 16 – Distribuição de renda da população de Porto Velho na área urbana da cidade. Fonte: Adaptado de Porto Velho (2008).

4.9.1 Abastecimento de água e esgotamento sanitário

A falta de investimentos em saneamento é uma realidade brasileira. No que tange ao esgotamento sanitário, apenas metade da população brasileira tem acesso a coleta de esgoto, com déficits superiores a 80% na região Norte (Gráfico 2).

Gráfico 3 – Porcentagem da população brasileira com acesso a coleta de esgoto, separado por região.



Fonte: Brasil (2016).

Segunda Bahia (1997), na capital do estado de Rondônia, apenas 48% da população possuía abastecimento com água tratada enquanto que 52% fazia a utilização de água de poço tanto para o consumo humano como para o uso doméstico, e até mesmo esses 48% utilizam, além da água advinda do abastecimento da companhia de fornecimento de água, fontes alternativas:

Devido à intermitência e aos constantes racionamentos, é que parte da população da área abastecida com água tratada, tem preterido os serviços e recorre constantemente às águas subterrâneas, perfurando ou escavando poços sem qualquer subsídio técnico quanto às características geológicas e hidrogeológicas dos aquíferos (BAHIA, 1997, p. 05).

Dados um pouco mais recentes mostram que esse quadro piorou. Mais de uma década depois, apenas 38,5 % dos domicílios contavam com abastecimento de água por rede geral da companhia de abastecimento (IBGE, 2008). Pode-se perceber que apesar do aumento da população, o serviço público de abastecimento de água não aumentou muito sua rede de distribuição fazendo Porto Velho ter um dos menores índices entre as cidades brasileiras com mais de 100 mil habitantes, de acordo com o *Ranking* de Saneamento do Instituto Trata Brasil, que utiliza os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). A capital de Rondônia tem apenas 35,26% da população abastecida pela rede de água tratada (Quadro 2).

Quadro 2 – *Ranking* das piores cidades com índice de atendimento total de água (referente a 2018).

Colocação	Município	UF	IN055 (%)
96	Rio Branco	AC	52,66
97	Santarém	AC	51,29
98	Macapá	PA	39,00
99	Porto Velho	RO	35,26
100	Ananindeua	PA	32,63

Fonte: Instituto Trata Brasil (2020).

No quesito esgotamento sanitário Porto Velho também ocupa umas das últimas posições, apresentando apenas 4,76% da população com acesso ao esgotamento sanitário (Quadro 3).

A água subterrânea, por se tratar de uma alternativa de baixo custo, e acessível a todos, especialmente a população de baixa renda, é comumente usada pela população da região amazônica tanto na complementação diária como na substituição total da água fornecida pelos serviços de abastecimento (CAMPOS, 2003).

Quadro 3 – *Ranking* das piores cidades com índice atendimento total de esgotamento sanitário em 2018.

Colocação	Município	UF	IN056 (%)
95	Belém	PA	13,56
96	Manaus	AM	12,43
97	Macapá	AP	11,13
98	Porto Velho	RO	4,76
99	Santarém	PA	4,19
100	Ananindeua	PA	2,05

Fonte: Instituto Trata Brasil (2020).

Neste contexto, a presente pesquisa objetiva determinar a dinâmica espacial das concentrações de Nitrato na água subterrânea de Porto Velho no ano da cheia histórica e realizar um comparativo entre os dois anos anteriores ao evento. O Nitrato é um dos componentes que indicam a contaminação por resíduos líquidos, geralmente advindo de fossas sépticas ou vazamentos de redes de esgotos.

A rede de esgoto atende uma área muito ínfima da área urbana do município (Figura 17) e a utilização de fossas é predominante em toda a área urbana. Não existe qualquer tipo de tratamento de esgoto e a ínfima parcela da população que dispõe de rede coletora tem seus efluentes lançados diretamente no Rio Madeira, levando em consideração o paradigma da diluição, onde existe a crença de que rio irá diluir qualquer substância que receba.

Dados do IBGE (2008) indicam que 47% dos domicílios no município utilizavam fossas sépticas, 20% fossas rudimentares e 5% lançavam seus dejetos em valas, rios e outros escoadouros.



Figura 17 – Rede de Esgoto na área de estudo, em destaque (vermelho) o sistema de coleta de esgoto. Fonte: Porto Velho (2018).

Esta ínfima região em que está presente a rede coletora de esgoto (apenas coleta) data da época da construção da Estrada de Ferro Madeira Mamoré (EFMM). Nesta localidade, residiam os trabalhadores que possuíam uma classe social mais elevada:

[...] entre a maioria dos historiadores regionais, pareceu ser consenso, de que quando ao término de sua obra em 1912, ao redor da ferrovia a existência do pequeno povoado, foi reforçado pelos trabalhadores que ali estavam e acabaram por se instalar no espaço dos galpões da mesma, que à época somavam em torno de mil habitantes. Nesse período, um pequeno contingente, de acordo com sua condição social, tinha uma forma de habitação muito distinta, estando separado segundo sua classe social por uma linha fronteira, onde hoje é a Av. Presidente Dutra (COSTA SILVA, 2016, p. 03).

O restante da cidade não possui nenhum tipo de coleta do esgotamento sanitário. Segundo Bahia (1997) as características geológicas e pedológicas locais (substrato sedimentar), favorecem processos de infiltração das águas e de cargas contaminantes, oriundas do sistema séptico utilizado pela população local:

Devido à ausência da rede de esgotos, os domicílios fazem uso de fossas “negras”, que é a principal alternativa para as residências no perímetro urbano e rural. Esta é uma característica negativa para as condições de qualidade hídrica em ambientes que o abastecimento é incipiente ou insuficiente, determinando o uso de poços como uma alternativa inevitável para a população (BAHIA, 1997, p. 76).

No cenário atual, a situação observada na Figura 18, retrata o modo de organização dos moradores. Tornou-se natural a combinação de poço e fossa, não se percebendo em escala maior a gravidade da situação. Em todos os bairros, a situação é semelhante, inclusive, nos locais onde existe rede de distribuição de água tratada.



Figura 18 – Exemplificação de infiltração de contaminantes, oriundos do sistema séptico idêntico ao utilizado pela população em Porto Velho/RO. Fonte: Adaptado de Oliveira (2016).

Como a água apresenta característica límpida, mesmo com a presença de contaminantes, a população julga ser de boa qualidade. Sem alternativas viáveis, a construção de poços rasos dentro das imediações de seus terrenos é a saída encontrada.

Uma ação da gestão pública apareceu em 2001 com a Lei Municipal nº 138 de 28/12/2001 que institui o Código Municipal de Meio Ambiente e dá outras providências em seu artigo 171, obriga condomínios e lotes que aglomeram casa a ter seus próprios sistemas de tratamento de esgotos:

No caso de loteamento, condomínio, conjunto residencial, parcelamento do solo ou qualquer outra forma de incentivo à aglomeração de casas ou estabelecimentos, onde não houver sistema público de esgotamento sanitário, caberá ao responsável pelo empreendimento prover toda a infraestrutura necessária, incluindo o tratamento dos esgotos (PORTO VELHO, 2001).

Atualizada pela Lei Municipal nº 695, de 24/11//2017: “Altera o art. 173 da Lei Complementar nº 138 de 21 de dezembro de 2001 e Institui obrigações para lançamento de efluentes nas praias ou na rede de águas pluviais e dá outras providências”. E ainda reforça o fato de que o lançamento dos efluentes do tratamento do esgotamento sanitário tem de ser na forma adequada, no Art. 173: “É Proibido o lançamento de esgoto sem prévio tratamento na rede de águas pluviais”. E deu o prazo de um ano para a adequação, Art. 2º: “As edificações comerciais, industriais e condomínios residenciais, já instalados que necessitem de um sistema de tratamento de esgoto como forma de destinação final de seus efluentes, deverão adequar-se a esta legislação no prazo de um (1) ano” (PORTO VELHO, 2017).

4.9.2 Estudos existentes sobre a contaminação das águas subterrâneas em Porto Velho

Segundo Bahia (1997), já havia evidências nas águas subterrâneas de Porto Velho, naquela época, altos teores de nitrato, mostrando contaminações por fossas. A contaminação bacteriológica também evidenciou desde 1997 a utilização inadequada de despejos sanitários, dejetos de animais doméstico e de criação e poços situados muito próximos a fontes de poluição.

Esse cenário não mudou nos anos seguintes:

As águas do lençol freático dos poços amazonas da cidade de Porto Velho encontram-se com altos índices de contaminação bacteriológica indicando a presença de coliformes fecais e de coliformes totais, ou seja, impróprias para o consumo humano e em alguns casos até para uso no lazer [...]. A contribuição para os níveis bacteriológicos elevados está diretamente ligada às fossas e sumidouros, sem critérios de segurança, com contribuições fluviais de lançamentos de resíduos domésticos e sólidos nas proximidades dos poços ou dentro de igarapés e córregos. Os níveis

microbiológicos encontrados nesse estudo nas águas dos poços, em sua maioria acima dos limites permissíveis recomendados pelo Ministério da Saúde [...] (RODRIGUES, 2008, p. 79).

As águas subterrâneas do aquífero dos Sedimentos Inconsolidados, coletadas [...] estão parcialmente contaminadas por nitrato, sendo a sua fonte antrópica e multi-pontual oriunda do sistema de saneamento in situ, do tipo fossa séptica e valas negras [...]. Assim sendo, não é recomendável a utilização da água, para consumo direto, sem tratamento. O alto grau de contaminação identificado neste estudo aponta que a contaminação é antiga no aquífero [...] (LIMA, 2008, p. 67).

Com a falta de saneamento básico da cidade, tem-se a preocupação da contaminação do lençol freático da região, visto que as então “fossas sépticas” são construídas, muitas vezes de maneira errônea, próximas aos poços [...]. O estudo mostra que a qualidade da água subterrânea na zona urbana do Município de Porto Velho está insatisfatória (BARBOSA; PEIXINHO; NÓBREGA II, 2012, p. 04).

De acordo com Vieira *et al.* (2018, p. 06) a situação não se restringe apenas à capital, mas em todo o estado, de acordo seu levantamento bibliográfico:

Com relação às águas subterrâneas de Rondônia [...] dos dados de parâmetros bacteriológicos estudados, alguns aspectos de padrões químicos estiveram fora dos percentuais aceitáveis, indicando, circunstancialmente, água para o consumo humano de qualidade imprópria.

Com a criação do Plano de Aceleração do Crescimento (PAC) pelo governo Federal em 2007 (BRASIL, 2018), o esgotamento sanitário parecia ser uma realidade que alcançaria Porto Velho, porém de acordo com Rodrigues (2008, p. 33) os critérios para os investimentos não levavam em consideração as contaminações das águas subterrâneas:

As áreas determinadas pelo PAC no projeto da Prefeitura Municipal de Porto Velho, não utilizam como parâmetros a condição da água subterrânea ou seus possíveis causadores de contaminação, descartando a sua conjuntura atual de utilização por grande parte da população, seja para finalidades de uso doméstico ou para o consumo humano.

Porém, estas obras não chegaram a ser executadas em Porto Velho, deixando o município com índices de saneamento muito aquém do que deveriam para uma capital, conforme mostrado anteriormente (Quadros 2 e 3).

Estudos mais recentes, mostram que a contaminação ainda está presente na área de estudos:

[...] os resultados de nitrato e amônio apresentaram maior concentração, sendo 73% das amostras coletadas com valor referência acima do estabelecido e que também o mesmo permitido pela Portaria nº 5/2017 e CONAMA 396/2008. Isso indica uma contaminação por esgotos domésticos que podem vir das fossas rudimentares da própria residência ou dos vizinhos, já que nos pontos coletados não havia rede de água ou esgoto (RIBEIRO, 2019, p. 106)

[...] a alta densidade dos contaminantes microbiológicos e valores dos íons, principalmente o nitrato, refletem a grande carga poluidora provinda principalmente das fossas construídas sem criticidade e ausência de tratamento de esgoto (BAÍA, 2020, p. 65).

O que mostra que compostos inorgânicos estão presentes na água subterrânea da área urbana de Porto Velho na atualidade, evidenciando que a contaminação continua devido à ausência do esgotamento sanitário.

4.10 A CHEIA HISTÓRICA

O início do ano de 2014 foi crítico para o município de Porto Velho. Apesar dos índices de precipitações locais não terem ultrapassado a média, devido a chuvas anômalas que ocorreram em território boliviano, local onde se localiza as cabeceiras do Rio Madeira. O Rio Madeira também recebeu um grande aporte de água de seus afluentes, provocando inundações de proporções tais nunca antes registradas. Estas inundações atingiram grande parte do centro comercial urbano (SILVA; MENDONÇA, 2014).

Em 2014, a CPRM realizou o mapeamento da mancha de inundação urbana. Com a finalidade de mapear a mancha de maior cota atingida, foram mapeadas sistematicamente estas áreas em todo aumento de 0,5 m de cota do rio. Na Figura 19 é apresentado a área inundada referente à cota 19,50 (cota máxima atingida 19,73).

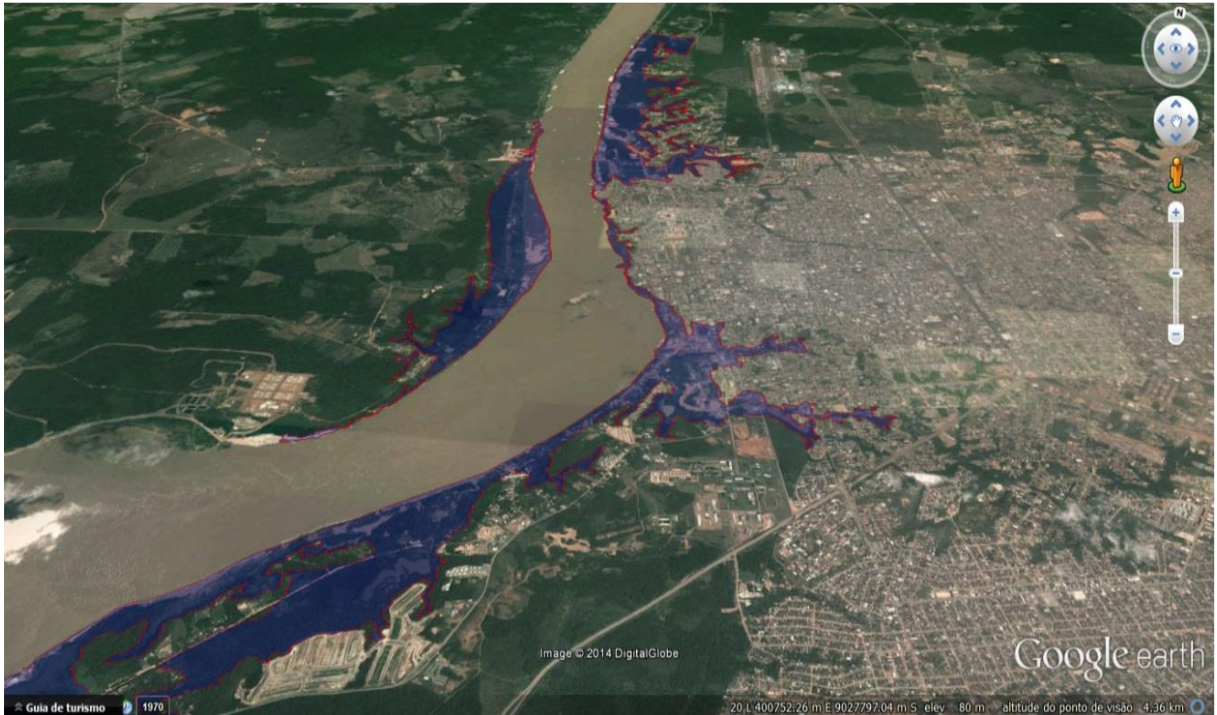


Figura 19 – Inundação margens esquerda e direita do Rio Madeira, polígono de abrangência de inundação delimitado em vermelho. Fonte: Silva e Mendonça (2014).

As fossas encontram-se, quase sempre, instaladas de forma inadequada, em posição incorreta no terreno ou muito próximo aos poços. Em episódios de cheia, o avanço dos rios sobre essas áreas causa o transbordamento (vazamento) das estruturas, o que promove contaminação das águas fluvial e subterrânea. O uso de poços para obtenção de água fica comprometido (BAHIA, 1997).

Durante a cheia de 2014 centenas de poços ficaram submersos (Figura 20) e tiveram que ser interditados (lacrados) pelas autoridades em Porto Velho. O uso de carros-pipa se fez necessário para evitar o desabastecimento de água à população (FRANCA, 2015).



Figura 20 – Rio Madeira em Porto Velho durante a cheia histórica no ano de 2014. Fonte: CPRM (2015).

Rodrigues (2008) realizou ampla avaliação da qualidade das águas subterrâneas em Porto Velho e concluiu que os poços amazonas encontram-se com altos índices de contaminação bacteriológica, com a presença de coliformes fecais e totais, tornando-se impróprios para o consumo humano e em alguns casos até mesmo para uso no lazer. Somado a isso a capital de Rondônia se colocou na 100ª posição no *ranking* anual do Instituto Trata Brasil (2020), sendo assim classificada como a pior capital brasileira no que se refere ao saneamento básico.

O Plano Diretor do município de Porto Velho em sua revisão de 2018, cita a importância de investimentos públicos em saneamento básico após a cheia histórica do Rio Madeira (PORTO VELHO, 2018).

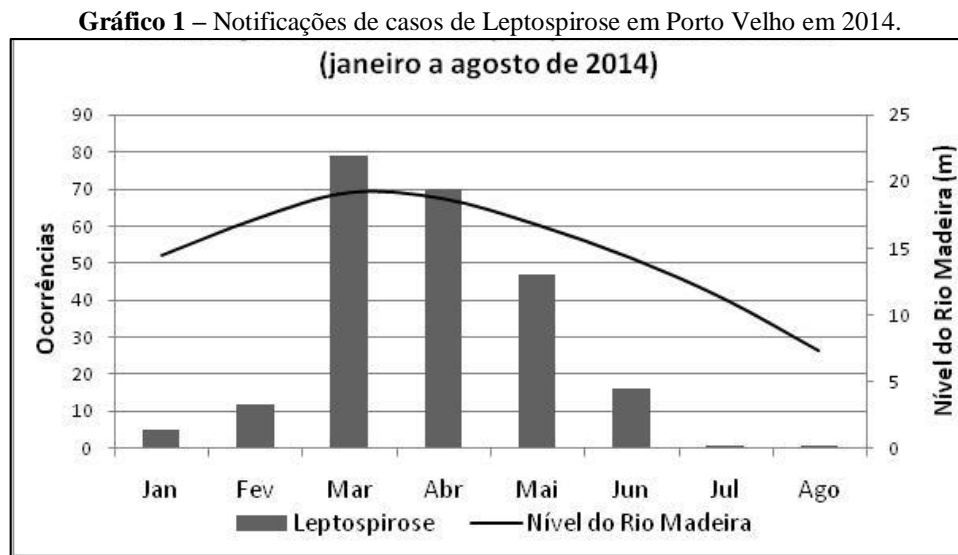
4.10.1. Aumento de doenças de veiculação hídrica

A compreensão de uma doença requer estudo do homem em seu meio, isto é, do homem em seu ambiente físico, biológico e socioeconômico (LACAZ, 1972). O espaço geográfico é, desse modo, cenário no qual ocorrem as interações entre o homem e as doenças, onde emergem os riscos e vulnerabilidades. Portanto, uma análise sobre riscos à saúde em uma região não deve prescindir de uma breve análise sobre as condições socioambientais vigentes.

Em Porto Velho, durante o evento de 2014, o contato direto da população com a água proveniente das inundações de rios e seus afluentes (igarapés) aumentou o risco a doenças como leptospirose e diarreias. “Número de casos de leptospirose aumenta em Rondônia, diz AGEVISA. No primeiro semestre deste ano, 134 pessoas já foram infectadas. Cheia histórica do Rio Madeira contribui para maior número de casos” (G1 RO, 2014).

Tassinari *et al.* (2004) destacam que a doença se caracteriza pelo aparecimento de surtos nas épocas de maior precipitação pluviométrica, quando há ocorrência de enchentes e inundações. Contudo, há situações em que a transmissão ocorre após esses eventos, por meio do contato do indivíduo com o solo úmido (lamaçal), onde as bactérias apresentam sobrevida longa. No município de Porto Velho, nos meses de março, abril e maio do ano de 2014, foram notificados, respectivamente, 79, 70 e 47 casos da doença, conforme dados da Secretaria Municipal de Saúde de Porto Velho (SEMUSA) (RONDÔNIA, 2014). Esses valores são expressivamente maiores em relação ao total de casos confirmados em anos como 2010 (08

casos), 2011 (19 casos) ou 2012 (9 casos). Além disso, foram registrados 04 óbitos pela doença em 2014. Esse período coincide com o momento mais crítico das inundações, quando o nível dos rios estava mais elevado (Gráfico 3).



Fonte: Rondônia (2014, p. 03).

Segundo dados da SEMUSA (RONDÔNIA 2014), em Porto Velho, durante a cheia histórica, também foi registrado um número significativo de ocorrências de Doenças Diarreicas Agudas (DDA). A DDA é uma síndrome causada pela ingestão de água ou alimentos contaminados por diferentes agentes etiológicos (bactérias, vírus e parasitas). Sua manifestação se dá por meio do aumento do número de evacuações, com fezes aquosas ou de pouca consistência, que podem ser acompanhadas por náuseas, vômitos, febre e dor abdominal.

Façanha e Pinheiro (2005) consideram que a ocorrência da doença está associada ao consumo de água contaminada por bactérias e outros agentes etiológicos após picos de pluviosidade e inundações. O uso de água não tratada (de poços, por exemplo), que sofreu contato com excreções humanas e animais, aumenta a frequência de diarreias no período chuvoso. Investimentos em saneamento e a melhoria da qualidade e do acesso à água são fatores essenciais na promoção da saúde e redução da incidência e prevalência de diversas doenças, em especial da mortalidade infantil (QUEIROZ; HELLER; SILVA, 2009).

A ocorrência da DDA associa-se a um conjunto de fatores socioeconômicos, culturais, nutricionais e ambientais, representando importante indicador epidemiológico para estudiosos e autoridades sanitárias em todo o mundo (MORAES, 1997). No Brasil, a incidência de

mortalidade por diarreia reduziu consideravelmente na segunda metade do século XX (BUSATO *et al.*, 2013). Segundo estes autores, tal fato pode ser atribuído à implantação de políticas de saneamento básico a partir dos anos 1970.

5 METODOLOGIA

Durante os anos de 2012, 2013 e 2014 no final dos períodos de alta e de baixa pluviosidade a CPRM desenvolveu um projeto denominado *Índice de Qualidade das Águas Subterrâneas* (IQAS) onde foram coletadas amostras de água subterrâneas em poços na área urbana da cidade de Porto Velho. Os dados deste projeto estão disponíveis gratuitamente no *site* da CPRM em seu repositório denominado RIGEO.

Os dados são quantitativos e os parâmetros escolhidos para o ano de 2014 foram: pH, condutividade elétrica, amônia e nitrato, sendo este último comparado com os anos de 2012 e 2013.

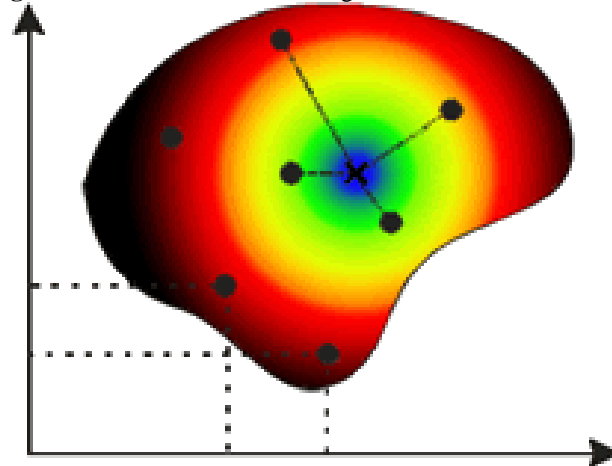
Os dados analisados foram organizados em planilhas eletrônicas (Microsoft Office Excel) com posterior descrição estatística e estudo da correlação espacial a partir da aplicação do método geoestatístico interpolador *Natural Neighbor*.

5.1 INTERPOLAÇÃO DOS DADOS (GEOESTATÍSTICA)

Segundo a definição clássica de T. N. Thiele: a interpolação é a arte de ler entre os valores de uma tabela (SADOSKY, 1980). Stark (1979) esclarece que interpolação é o processo matemático de se achar valores intermediários entre os valores discretos de uma função. O resultado do processo de interpolação espacial pode ser representado através de isolinhas, que são linhas de mesmo valor numérico (WATSON, 1992). Davis (1986) explica que o termo “linhas de contorno” é usado como sinônimo de isolinhas, significa na verdade “isolinhas de mesma altitude”, ou seja, isolinhas que representam especificamente a superfície terrestre ou o topo de formações geológicas de subsuperfície, e não a representação de qualquer outra variável ou fenômeno. Mapas de isolinhas são diagramas tridimensionais representados em duas dimensões. Estes diagramas possuem três eixos onde o eixo X representa as coordenadas Leste-Oeste (longitude); o eixo Y representa as coordenadas Norte-Sul (latitude); e o eixo Z é a variável dependente, apresentada como uma dimensão vertical, podendo representar, espessura, porosidade ou qualquer outra grandeza ou propriedade quantitativa (DAVIS, 1986).

Interpolar é predizer (ou estimar) o valor da variável em estudo num ponto não amostrado (Figura 21), o ponto que se pretende predizer o valor (SOARES, 2006).

Figura 217 – Pontos de Amostragem de uma área de estudos.



Fonte: Soares (2006).

A classificação dos métodos de interpolação encontrados na literatura fornece uma classificação sob diferentes interpoladores, geralmente são distinguidos em (1) globais ou locais; (2) exatos ou suavizantes; e (3) determinísticos ou estocásticos:

- **Determinístico ou probabilístico:** são baseados diretamente nos valores medidos na vizinhança e/ou fórmulas matemáticas aplicadas a estes mesmos valores. Os métodos geoestatísticos são modelos estatísticos probabilísticos que incluem autocorrelação, a qual expressa a intensidade de similaridade entre as amostras medidas em relação a distância e direção;
- **Locais ou Globais:** determinam uma função que é aplicada em toda a região a interpolar; uma alteração num valor de entrada afeta o mapa inteiro. Os interpoladores locais aplicam algoritmos repetidamente a subconjuntos do conjunto total de pontos; uma alteração num valor de entrada afeta apenas o resultado de um subconjunto.
- **Transição gradual ou abrupta:** produzem superfícies que variam de forma gradual ou abrupta;
- **Exatos ou aproximados:** respeitam os valores da amostra sobre a qual o modelo é baseado, portanto a superfície passa através da amostra sobre a qual o modelo é baseado, portanto, a superfície passa através de todos os pontos da amostra. Os interpoladores aproximados baseiam-se no fato de que, em muitas amostras, existem

tendências globais, com variações suaves, e simultaneamente flutuações locais, que variam rapidamente.

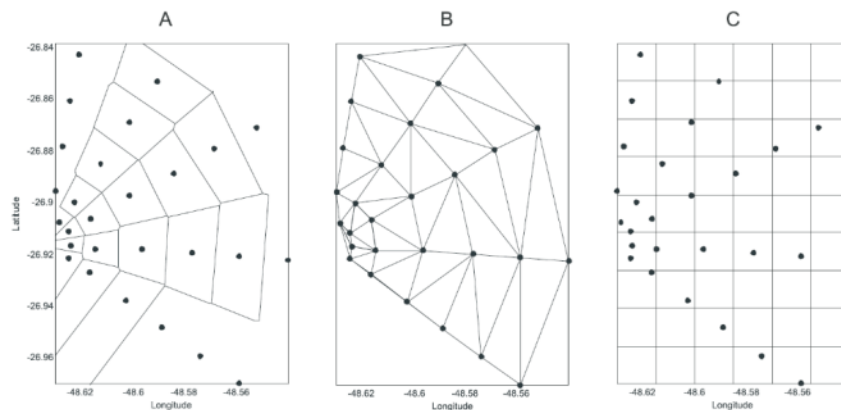
Segundo Mazzini e Schettini (2009), as classificações quanto aos métodos serem locais ou globais e exatos ou suavizantes são um tanto subjetivas em termos práticos, pois a grande maioria dos programas de computadores mais sofisticados que realizam interpolações utilizadas por Landim (1998), possuem parâmetros que quando alterados para o mesmo tipo de técnica, podem modificar sua classificação, tais como parâmetros de suavização, número de dados observados a serem utilizados no raio de busca, entre outros parâmetros. Um princípio básico, compartilhado por todos os métodos de interpolação, é de que pontos mais próximos tendem a ter características mais semelhantes do que pontos mais distantes.

Para interpolar dados espaciais é necessário a construção de uma malha envolvendo todo o domínio dos pontos amostrais. Segundo Carmo (2001), há diversos métodos de gradeamento, sendo capazes de gerar grades regulares e irregulares. As grades irregulares mais utilizadas são polígonos Thiessen, também conhecidos como diagramas Voronoi ou Dirichlet, e triângulos Delaunay.

Polígonos Thiessen dividem a região em áreas ao redor dos pontos amostrais, tal que qualquer ponto de uma dada área estará mais próximo do seu ponto amostral do que de ponto amostral vizinho. Triângulos Delaunay formam uma rede de triângulos interligados, onde os vértices são os pontos amostrais. Os triângulos são criados de maneira que sejam os mais próximos possíveis a equiláteros, e para um conjunto de dados só há uma triangulação otimizada possível. As malhas regulares possuem formato quadrangular, formada por linhas paralelas e ortogonais, e os pontos de intersecção entre linhas são definidos como nós (DAVIS, 1986).

Segundo Watson (1992), muitos métodos que funcionam bem para dados distribuídos regularmente, não funcionam para dados com distribuição irregular. Assim, foram criados métodos que convertem dados espaciais coletados em malha irregular para malha regular, estimando através de interpolação os valores nos nós da malha. Malhas geradas para polígonos Thiessen, triângulos Delaunay e malha regular podem ser usadas em casos de pontos amostrais distribuídos de forma irregular (Figura 22).

Figura 228 – Exemplos de polígonos Thiessen (A), triangulação Delaunay (B) e malha regular de 10x7 (C) construída sobre os 28 pontos amostrais de distribuição radial.



Fonte: Mazzini e Schettini (2009, p. 55).

Hartkamp *et al.* (1999), apresentam que quando os dados são abundantes e regularmente distribuídos, as metodologias de interpolação geram resultados similares. Por outro lado, quando os dados são escassos, há uma grande variação dos resultados gerados. Portanto, a questão de qual o melhor método a ser aplicado sobre um determinado conjunto de dados amostrais torna-se pertinente. Não existe teoria estatística capaz de predizer qual técnica é superior (DAVIS, 1986).

Isaaks e Srivastava (1989), afirmam que não há uma resposta simples para a escolha de um interpolador espacial apropriado ou superior, e colocam ainda que isto depende de inúmeras variáveis, como por exemplo a configuração espacial dos dados e o parâmetro a ser estudado. Childs (2004) afirma que cada método de interpolação pode ser útil para uma utilização específica, que depende principalmente do fenômeno estudado e da distribuição espacial dos pontos amostrais. Há poucas referências a estudos comparativos entre metodologias de interpolação espacial. Mello *et al.* (2003) e Torres *et al.* (2001) colocam que autores já fizeram abordagens gerais dos métodos de interpolação em diversas áreas de pesquisa como ciência do solo, ecologia, meteorologia, hidrologia, engenharia florestal, e, no entanto, não foi estabelecido qual ou quais métodos apresentaram maior precisão.

A função interpolante que utiliza todas essas características é a Vizinho Natural, também conhecida como *Natural Neighbor*, este método interpolador não extrapola valores, resolvendo a interpolação somente para o interior do domínio dos dados. Esta técnica utiliza polígonos Thiessen para avaliação de pesos para os pontos. Este método faz a interpolação

através da média ponderada dos pontos vizinhos, onde os pesos são proporcionais às áreas proporcionais. Fórmula:

$$Z_i = \frac{\sum_{j=1}^n W_{ij} Z_{ij}}{\sum_{j=1}^n W_{ij}}$$

Onde:

Z_i é o valor de um ponto i qualquer a ser calculado;

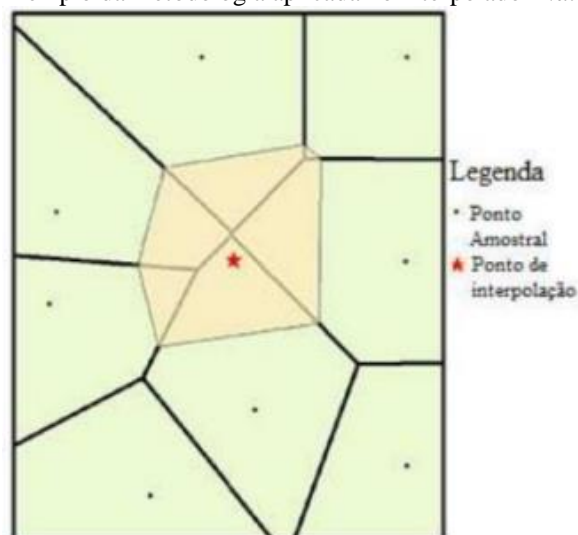
Z_{ij} é a altitude de uma amostra j vizinha do ponto i da malha

W_{ij} é o peso ou fator de ponderação

Sendo assim, apenas os efeitos locais influenciam a análise do ponto e não são realizadas inferências estatísticas sobre a variabilidade espacial do fenômeno e, portanto, sua interpolação é feita somente para o interior do domínio de dados (NASCIMENTO, 2017).

Em seus algoritmos o interpolador utiliza-se de pesos obtidos através das áreas proporcionais dos polígonos de Voroni (Thiessen) vizinhos ao ponto não amostrado (Figura 23).

Figura 239 – Exemplo da metodologia aplicada no interpolador *Natural Neighbor*.



Fonte: Nascimento (2017, p. 27).

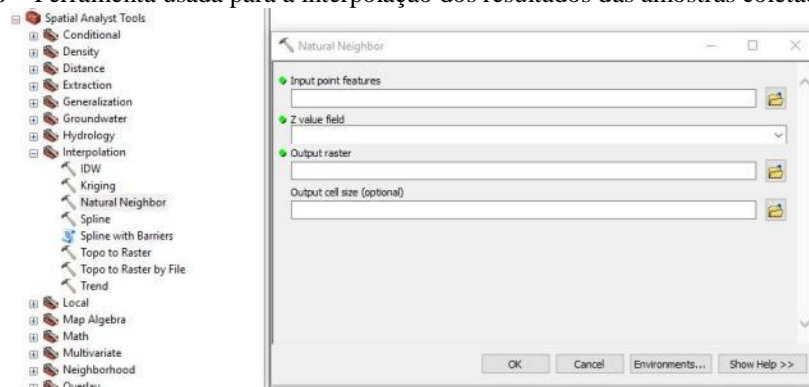
5.2 MAPAS

Os mapas utilizados nesse trabalho foram confeccionados utilizando a ajuda apropriada de 02 softwares, sendo eles: *ArcGis Versão 10.6* da empresa ESRI.

Para a confecção dos mapas foi utilizado o datum WGS-84; projeção UTM e estimadores por *Natural Neighbor*. Todos os resultados das análises das amostras coletadas estão disponíveis em forma de tabelas nos anexos. Foi feita a interpolação mostrando a espacialidade da variação da presença de substâncias consideradas como contaminantes e que podem ser relacionadas com a contaminação de ações antrópicas como fossas e ausência de saneamento básico.

O método estatístico utilizado para os interpoladores espaciais aplicados foi o Vizinho Natural, também conhecido como *Natural Neighbor*, que utiliza técnicas de média ponderada. Através do programa ArcGIS em sua versão 10.6 inseriu-se os dados das amostras coletadas e utilizando a ferramenta *Spatial Analyst Tools / Interpolation*, escolheu-se o método *Natural Neighbor* conforme a Figura 24.

Figura 2410 – Ferramenta usada para a interpolação dos resultados das amostras coletadas em campo.



Fonte: Elaborada pela autora (2021) a partir de ESRI (2004).

Dentro deste contexto, esta ferramenta auxilia em uma melhor visualização da distribuição de uma pluma de contaminantes, permitindo a avaliação da melhor maneira de representar espacialmente a dispersão hidrodinâmicas de uma pluma contaminante.

5.3 INTERPOLAÇÃO DOS CONTAMINANTES

Os contaminantes analisado representam as formas de compostos nitrogenados no início (amônia) e no final do ciclo do nitrogênio (nitrato) e indicam contaminações antrópicas por esgotamentos sanitários inadequados (pH e condutividade elétrica).

Os mapas mostram interpolações realizadas através do Software ArcGis (versão 10.6) com o método *Natural Neighbor* referente as amostras da coletadas no fim dos períodos chuvoso e de estiagem dos anos de 2012, 2013 e 2014 após a cheia histórica do Rio Madeira.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

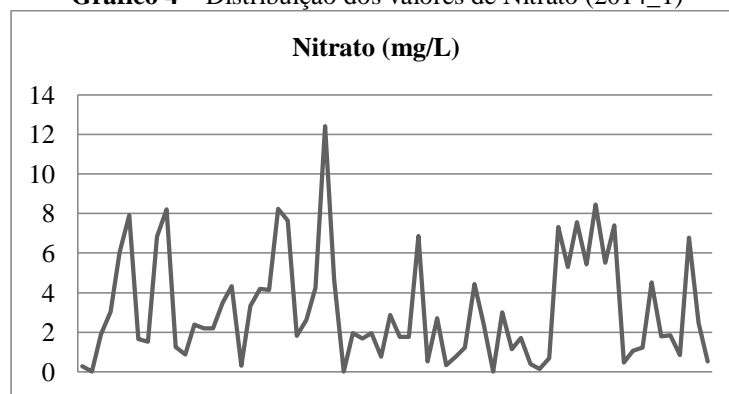
Nesse capítulo são apresentados os resultados do tratamento dos dados de água subterrânea realizada no ano de 2014, analisando o ambiente aquático subterrâneo com toda a recarga adicional da cheia histórica e o comportamento dos contaminantes nitrogenados: nitrato e amônia, neste sistema aquífero. A análise da interpolação do nitrato nas amostras dos anos de 2012 e 2013 são a título de comparação com as do ano de 2014.

Os dados foram agrupados e tratados, sendo referenciados como: ANO-1 referente aos dados das coletas do final do período chuvoso daquele ano e ANO-2 referente aos dados das coletas do final de estiagem daquele ano.

6.1 RESULTADOS SOBRE A COLETA DO CICLO DE CHEIA DO ANO DE 2014 (2014-1) E DE SECA (2014-2)

No final do período de alta pluviometria e com a possibilidade para acesso aos poços cobertos pela cheia histórica do Rio Madeira de 2014, foram coletadas 69 amostras de águas de poços, sendo que 18 apresentaram teor de nitrato acima do valor máximo permitido para consumo humano que é de 10 mg/l (BRASIL, 2017). As amostras com os maiores valores estão localizadas nos bairros Rio Madeira, Flodoaldo Pontes Pinto, Agenor de Carvalho, Eldorado e Novo Horizonte, sendo os maiores teores (acima de 10 mg/L) estão nos bairros Rio Madeira e Flodoaldo Pontes Pinto (Gráfico 4). Um total 36 amostras do final do período de alta pluviosidade e 44 amostras do final do período de águas altas apresentaram pH abaixo do estabelecido pela legislação (6,0 – 9,0) para o consumo humano.

Gráfico 4 – Distribuição dos valores de Nitrato (2014_1)



Fonte: Autora (2021).

A Tabela 3 apresenta alguns valores de parâmetros que representam contaminações de esgotamentos sanitários e fossas sépticas sem proteções adequadas (fossas negras). A tabela completa com todos os parâmetros analisados das amostras pode ser visualizada nos Anexos.

Tabela 3 – Valores e referências dos parâmetros pesquisados em poços no final do período chuvoso

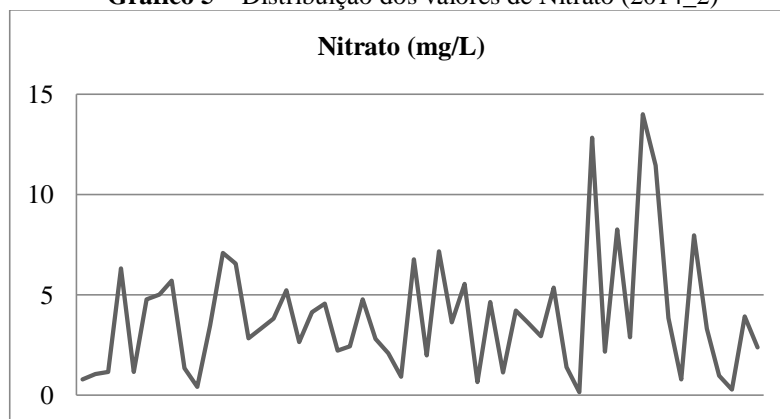
Parâmetros	Valores				Referência CONAMA VMP
	Mínimo	Média	Máximo	Mediana	
C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	8	70,3	197,8	58,1	10-100
Amônia (mg/l)	0,01	1,15	10,65	0,3	1,5
Nitrato (mg/l)	0,28	3,93	12,4	3,32	10

Notas: C.E = condutividade elétrica; pH = potencial hidrogeniônico.

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Foram coletadas 60 amostras em poços na área de estudo no final do período de seca do ano de 2014, destes apenas 3 apresentaram teores de Nitrato acima dos 10 mg/L que é o valor máximo permitido (BRASIL, 2017), destes 3 poços, 2 estão localizados no bairro Agenor de Carvalho e um no bairro Nacional (Gráfico 5). Os valores da mínima, máxima, média e mediana dos parâmetros analisados está disposta na tabela 4 e a tabela completa está inserida em Anexos.

Gráfico 5 – Distribuição dos valores de Nitrato (2014_2)



Fonte: Autora (2021).

Tabela 4 – Resumo dos parâmetros pesquisados em poços no final do período de estiagem

Parâmetros	Valores				Referência CONAMA VMP
	Mínimo	Média	Máximo	Mediana	
C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	5,3	61,13	181,5	49	10-100
Amônia (mg/l)	0	0,36	2,68	0,21	1,5
Nitrato (mg/l)	0,01	3,12	14	2,74	10

Notas: C.E = condutividade elétrica.

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

As figuras 25A e 25B mostram as interpolações dos valores de pH, e as figuras 26A e 26B condutividade elétrica das amostras coletadas após o período chuvoso (A) e de estiagem (B) do ano de 2014, ou seja, ano da cheia histórica do Rio Madeira. É mostrado o nível do Rio Madeira em sua máxima altura (o ponto mais alto alcançado pelo rio – cota 19,74m).

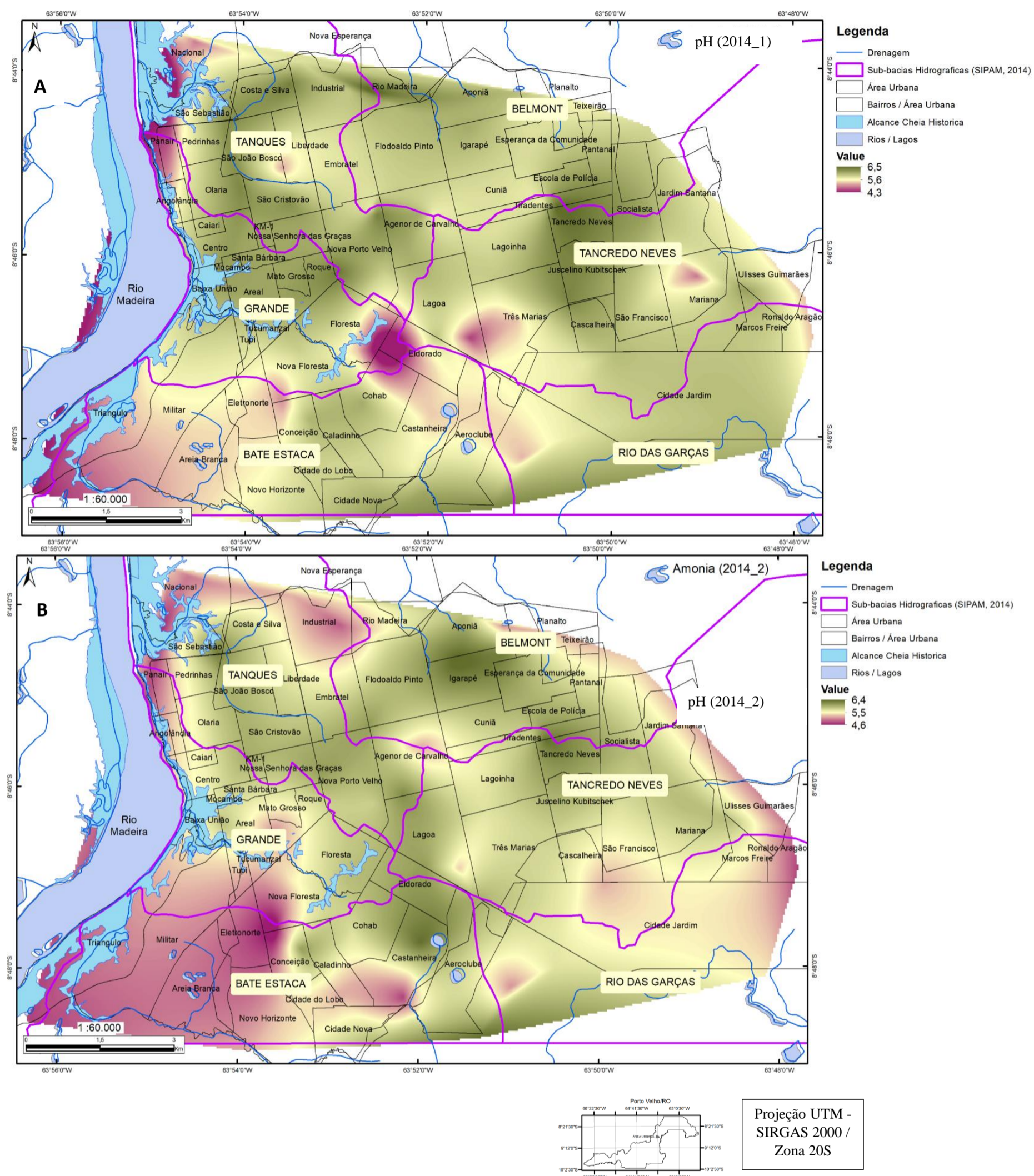


Figura 25 – Representação em mapa das interpolações das medidas de pH referente as amostras coletadas no ano de 2014 nos períodos chuvoso e de seca (A e B respectivamente). Fonte: Autora (2021).

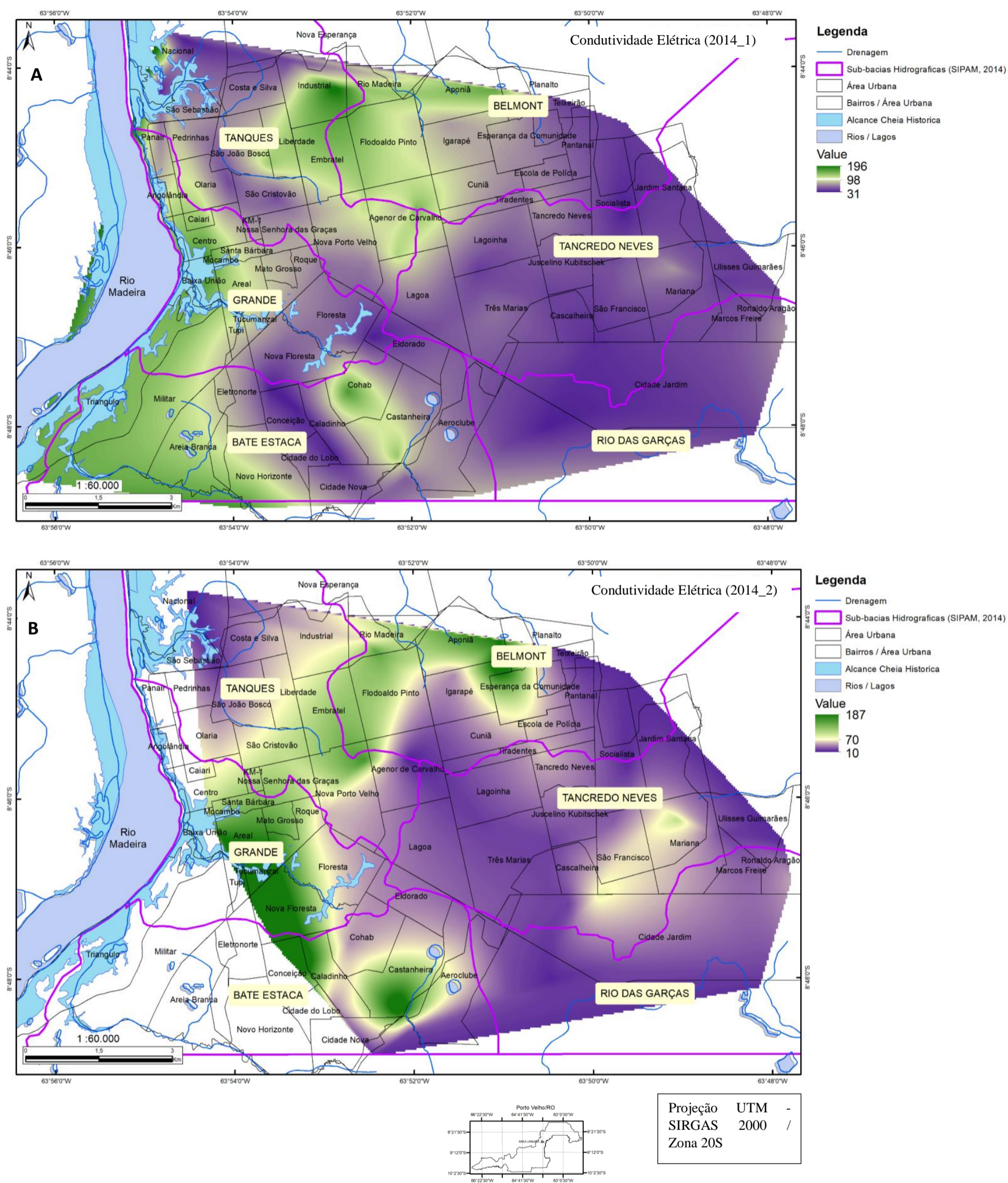


Figura 26 – Mapa da interpolação das medidas de condutividade elétrica referente as amostras coletadas no ano de 2014 nos períodos chuvoso e de seca (A e B respectivamente). Fonte: Autora (2021).

É possível observar que as áreas onde o pH está fora da faixa indicada ideal para consumo humano segundo Brasil (2017) no final do período de alta pluviosidade (2014_1) estão localizadas próximas a região da divisão entre as sub-bacias do Igarapé Grande, Igarapé Bate Estaca e Igarapé Tancredo Neves, além da região Noroeste da bacia do Igarapé Tanques, justamente onde a cheia histórica alcançou níveis mais altos.

Já no final do período de baixa pluviosidade (2014_2) os níveis mais baixos de medidas do pH estão localizados na divisa entre as sub-bacia do Igarapé Grande e Igarapé Bate Estaca.

Com relação ao parâmetro condutividade elétrica valores acima de 100 (S/cm) indicam contaminações do lençol freático. É possível identificar regiões que apresentaram valores alarmantes no final do período de alta pluviosidade como os bairros Industrial, Liberdade e Embratel. Já no final do período de baixa pluviosidade os bairros Nova Floresta e Castanheiras apresentam os maiores valores.

Em ambos os períodos é possível identificar regiões que apresentam possíveis contaminações no sistema aquífero, pois apresentaram em ambos os períodos valores acima de 100 (S/cm), como a região que vai do bairro Aponiã até o bairro Areal e a região dos bairros Cohab e Castanheiras.

Todo este cenário mostra a importância intrínseca do esgotamento sanitário para amenizar o impacto da contaminação oriunda de sistemas rústicos (fossas negras) presentes em toda a área de estudo e que dispersam resíduos in natura diretamente nas águas subterrâneas afetando o subsolo além do sistema aquífero mais raso.

As figuras 27 A e B mostram as interpolações das concentrações de Amônia referente as amostras coletadas após o período chuvoso e de estiagem, respectivamente, do ano de 2014, ou seja, logo após o rebaixamento do nível do Rio Madeira e seis meses após. É mostrado o nível do Rio Madeira em sua máxima altura (o ponto mais alto alcançado pelo rio – cota 19,74m).

As figuras 28 A e B mostram as interpolações das concentrações de Nitrato, referente as amostras da coletadas após o período chuvoso e de estiagem, respectivamente, do ano de 2014, ou seja, logo após o rebaixamento do nível do Rio Madeira e seis meses após. Para uma melhor visualização é mostrado o alcance máximo do nível da cheia histórica em sua máxima altura (o ponto mais alto alcançado pelo rio – cota 19,74m).

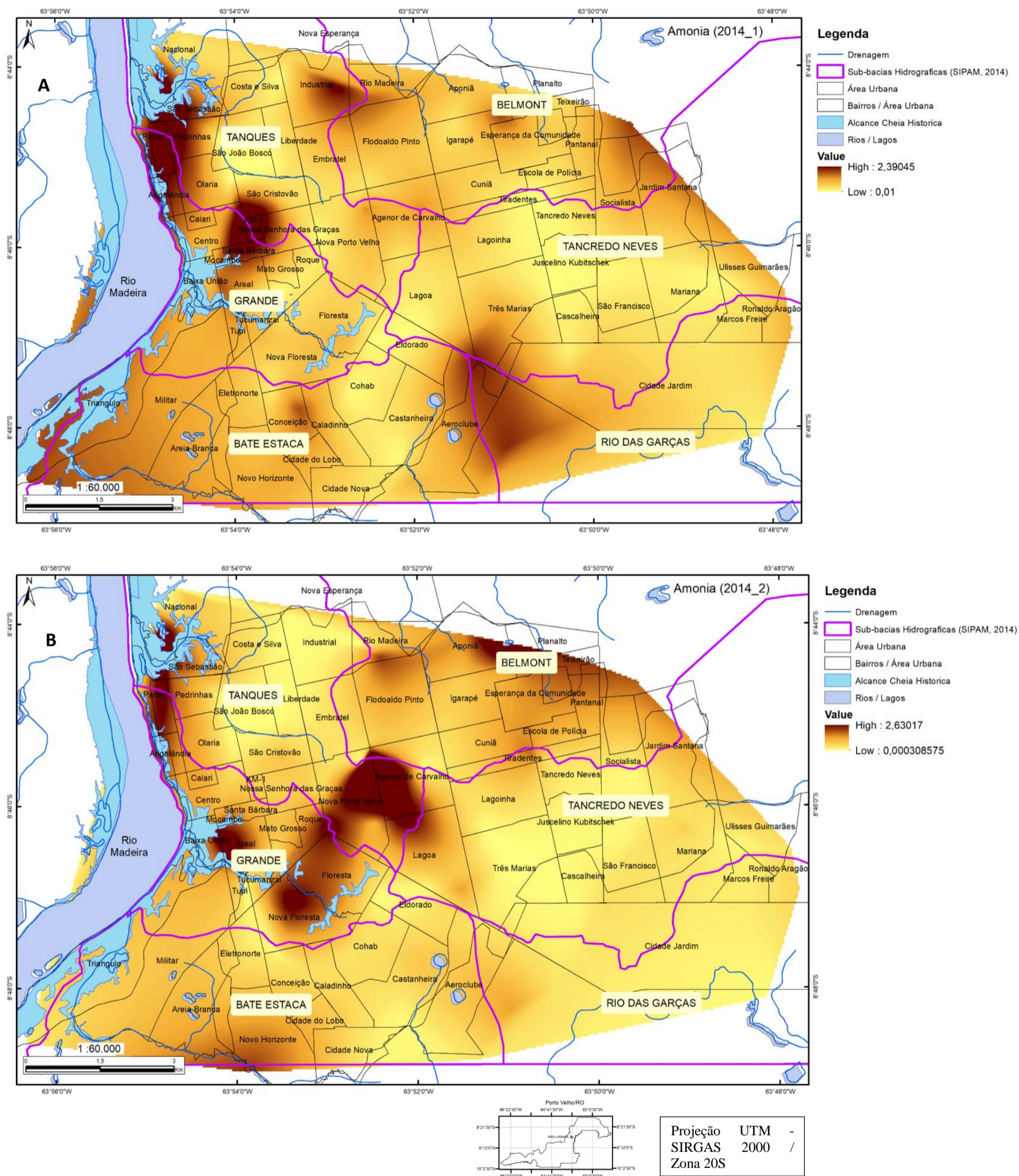


Figura 27 – Representação em mapa da interpolação das concentrações de amônia referente as amostras coletadas no ano de 2014 nos períodos chuvoso e de seca (A e B respectivamente). Fonte: Autora (2021).

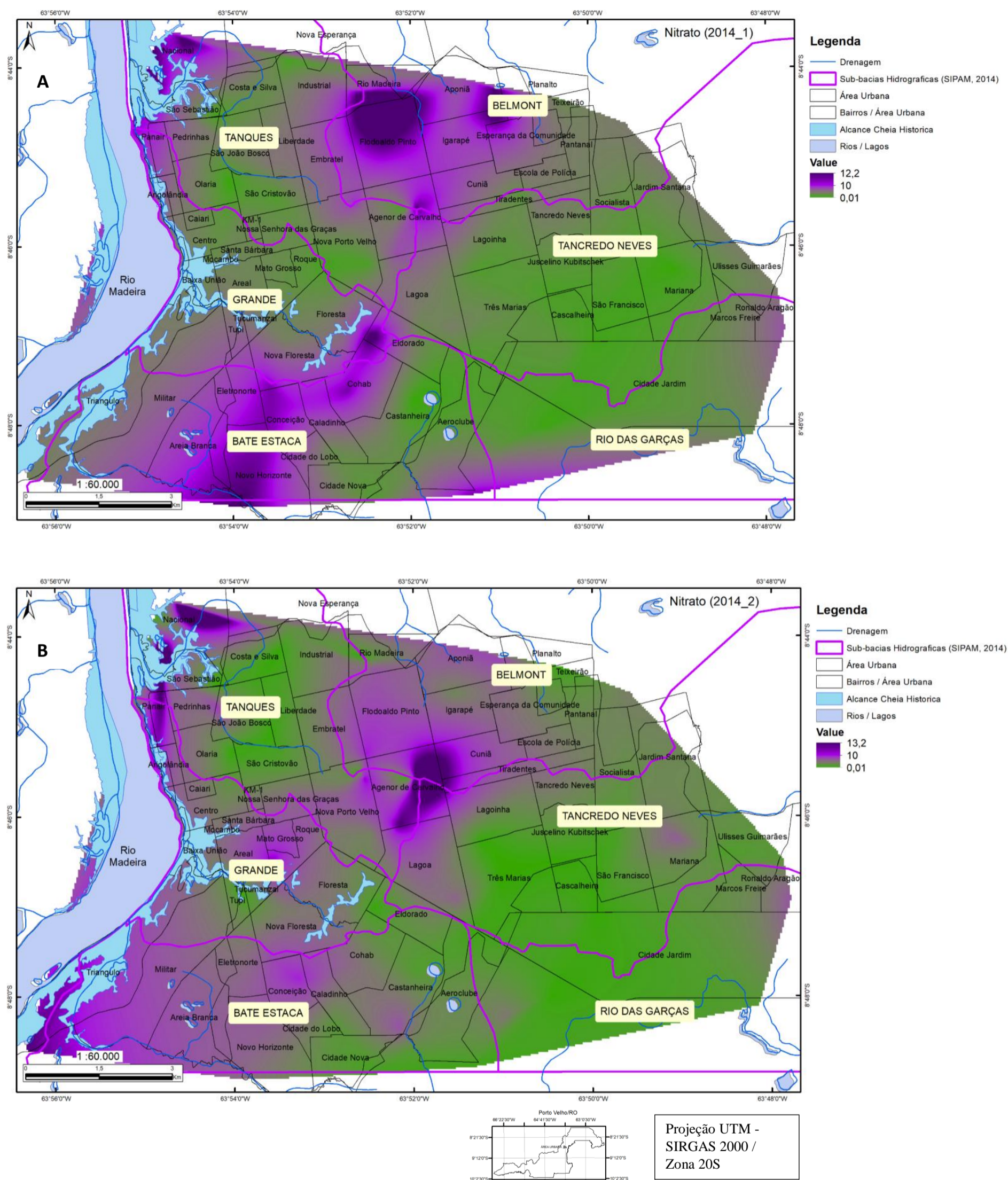


Figura 28 – Interpolação das concentrações de Nitrato referente as amostras coletadas no ano de 2014 nos períodos chuvoso e de seca (A e B respectivamente).Fonte: Autora (2021).

No ano da cheia histórica percebe-se que próximo ao Rio Madeira o fluxo do Nitrato é predominante em direção ao rio. Já na bacia do igarapé Tancredo Neves houve uma diminuição considerável do contaminante em relação aos anos anteriores. Este padrão segue em anos mais recentes como mostram os trabalhos de Ribeiro (2019) e Baía (2020). Isso pode significar que a grande recarga adicional de água advinda da cheia histórica no sistema aquífero, chegou até a Zona Leste da área urbana de Porto Velho.

Os valores de Nitrato acima de 10 mg/L e de Amônia de 1,5 mg/L além de estarem fora do indicado pelo Ministério da Saúde para consumo (BRASIL, 2017) ainda indicam contaminação por esgotamentos sanitários rústicos (fossas negras) no sistema aquífero mais raso.

Como a Amônia representa o primeiro estágio da oxidação do Nitrogênio nas águas subterrâneas (FREENZE; CHERRY, 2017), mostrando contaminações recentes e focos de contaminações no final do período de alta pluviosidade, as regiões principais como fontes de contaminantes nitrogenados são os bairros: Industrial, divisão dos bairros Nossa Senhora das Graças, Santa Bárbara e Centro e divisão dos bairros Panair, Pedrinhas e São Sebastião. Já no final do período de baixa pluviosidade as regiões com grande potencial são dos bairros: Nova Porto Velho, Agenor de Carvalho, Trevo do Roque, Nova Floresta, Areal e a divisa entre os bairros Aponiã e Planalto.

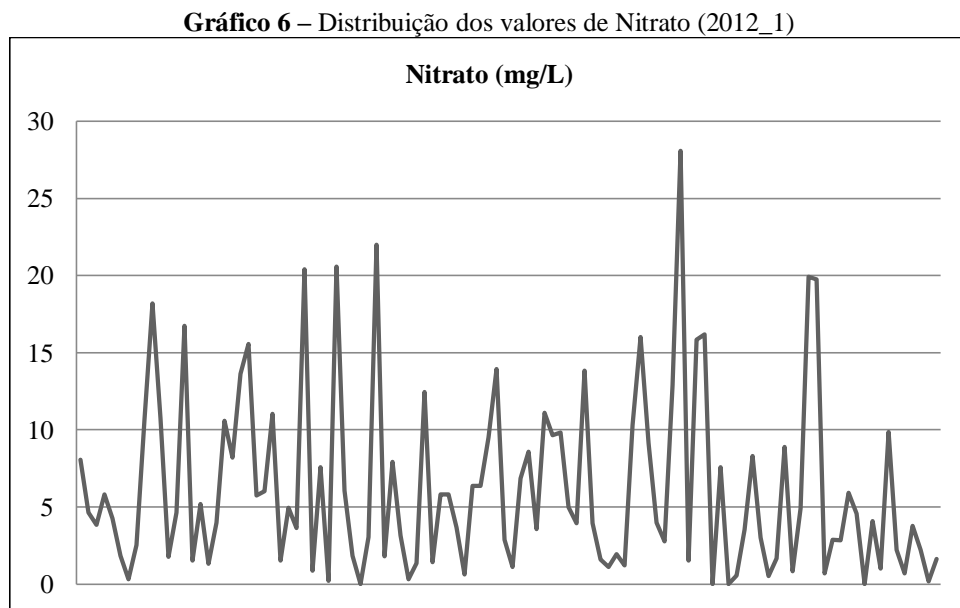
Em relação ao Nitrato, é possível associar contaminações antigas, pois representa o estágio final da oxidação do Nitrogênio. No final do período de alta pluviosidade as regiões que apresentaram valores acima do indicado de Nitrato para consumo humano (10 mg/L) (BRASIL, 2017) são os bairros: Rio Madeira, Flodoaldo pontes Pinto, Eldorado, Cohab, Conceição, Novo Horizonte e Nacional. Já no final do período de baixa pluviosidade são os bairros: Agenor de Carvalho, Cuniã, Panair e Nacional. O Nitrato está relacionado à diversos problemas de saúde, como metahemoglobina e câncer gástrico (SILVA; BROTTTO, 2014).

Este cenário se faz presente na realidade da cidade a muito tempo, pois esta contaminação antrópica advinda da falta de saneamento é antiga no aquífero, já que o Nitrato é formado na última etapa da nitrificação no ciclo do nitrogênio em águas subterrâneas, e possui uma mobilidade grande. Neste caso, o aquífero continua contaminado na atualidade por compostos do nitrogenados em fases iniciais (amônia, amônio ou nitrito), como mostram estudos mais recentes (BAÍA, 2020; RIBEIRO, 2019), resultado do fato da ausência do esgotamento sanitário.

6.2 RESULTADOS SOBRE A COLETA NO ANO DE 2012 e 2013 (2012-1 e 2012-2)

Nesse capítulo serão apresentados, os dados e interpolações do parâmetro Nitrato (mg/L), das amostras referentes às coletas dos anos de 2012 e 2013. Estes dados também se referem às coletas realizadas nos finais dos períodos chuvoso e de seca de cada um destes dois anos.

Dos 142 poços coletados no período chuvoso de 2012, 21 apresentaram teor de nitrato acima do valor máximo permitido para consumo humano que é de 10 mg/l (BRASIL, 2017), estes poços estão nos bairros Nova Floresta, Caladinho, Conceição, Mato Grosso, Areal, Embratel, Flodoaldo Pontes Pinto, Tancredo Neves e Aponiã, sendo que as maiores concentrações (que passam dos 40 mg/L) estão nos bairros Nova Floresta e Caladinho (Gráfico 6).



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Na Tabela 5 estão alguns valores mínimos, máximos e de média e mediana dos parâmetros que indicam contaminação da água subterrânea por esgotos e fossas sépticas mal construídas. O quadro completo com todos os dados dos parâmetros analisados nas amostras se encontra nos Anexos.

Tabela 5 – Valores e referências dos parâmetros pesquisado em amostras no período chuvoso de 2012

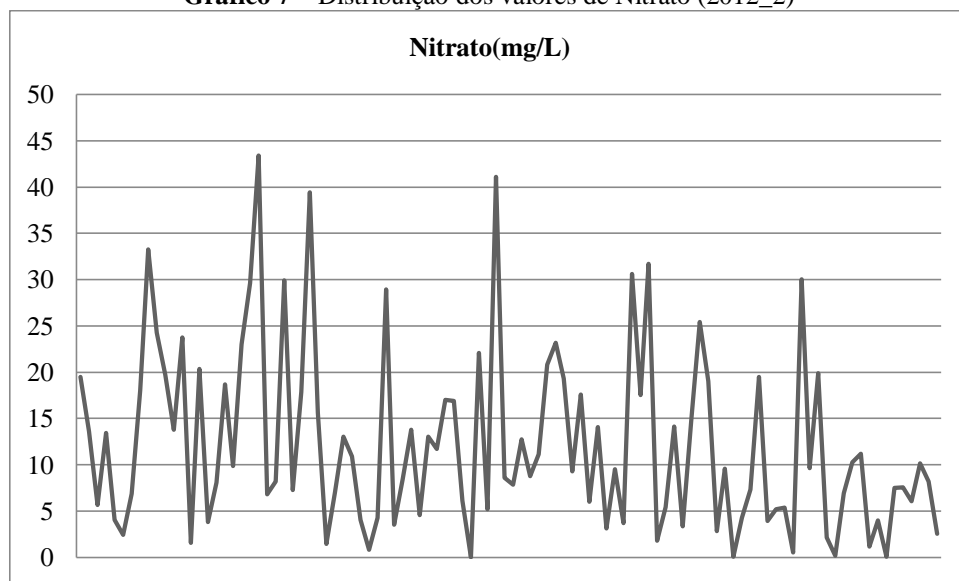
Parâmetros	Valores				Referência CONAMA VMP
	Mínimo	Média	Máximo	Mediana	
CE (S/cm)	19	134,26	379	129,5	10 - 100
Nitrato (mg/l)	0	6,72	50,34	4,98	10
Amônia (mg/l)	0	0,14	3,01	0	1,5

Notas: C.E = condutividade elétrica, pH = potencial hidrogeniônico.

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Perceptível o fato de que a grande maioria dos poços indicam contaminação, uma vez que a mediana das medidas de condutividade elétrica está acima do limite entre 10 - 100 (S/cm) indicado pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2017).

No mês de outubro (final do período de estiagem/seca) foram coletadas 102 amostras de águas de poços, deste total, 06 poços mostraram teor de nitrato com valores acima de 10 mg/l (Gráfico 7), que é o limite máximo permitido na água para consumo humano (BRASIL, 2017).

Gráfico 7 – Distribuição dos valores de Nitrato (2012_2)

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Na Tabela 6 estão alguns valores mínimos, máximos e de média e mediana dos parâmetros que indicam contaminação da água subterrânea por esgotos e fossas sépticas mal construídas. A tabela completa com todos os parâmetros analisados nas amostras está nos Anexos.

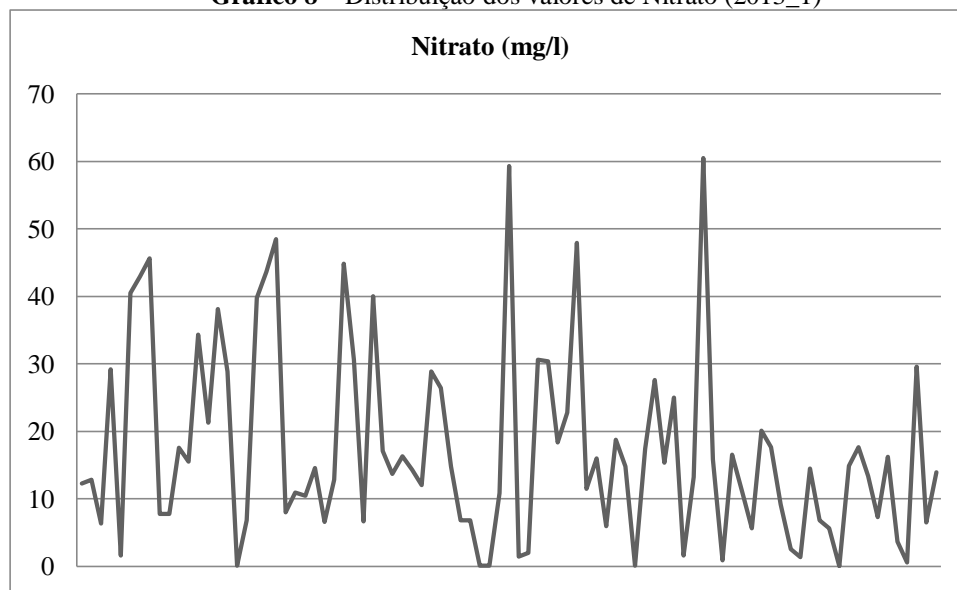
Tabela 6 – Valores estatísticos dos parâmetros pesquisados em poços amazonas em 2012-2

Parâmetros	Valores				Referência CONAMA VMP
	Mínimo	Média	Máximo	Mediana	
CE (S/cm)	13	119,87	160,1	102,5	10-100
Nitrato (mg/l)	0	13,49	43,39	11,415	10
Amônia (mg/l)	0	0,07	1,35	0,01	1,5

Notas: C.E = condutividade elétrica; pH = potencial hidrogeniônico.

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

No final do período de alta pluviometria de 2013 foram coletadas 92 amostras de águas de poços. Destes, 46 apresentaram teor de nitrato acima do valor máximo permitido para consumo humano que é de 10 mg/l (BRASIL, 2017), estes poços estão localizados nos bairros: Agenor de Carvalho, Lagoinha, Juscelino Kubitschek, Três Marias, Socialista, Esperança da Comunidade e Teixeira, sendo que os maiores valores (acima de 40 mg/L) são os bairros Agenor de Carvalho, Lagoinha, Juscelino Kubitschek, Três Marias e Socialista (Gráfico 8).

Gráfico 8 – Distribuição dos valores de Nitrato (2013_1)

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Na Tabela 7 estão alguns valores mínimos, máximos e de média e mediana dos parâmetros que indicam contaminação da água subterrânea por esgotos e fossas sépticas mal construídas. O quadro completo com todos os parâmetros analisados nas amostras em laboratório está nos Anexos.

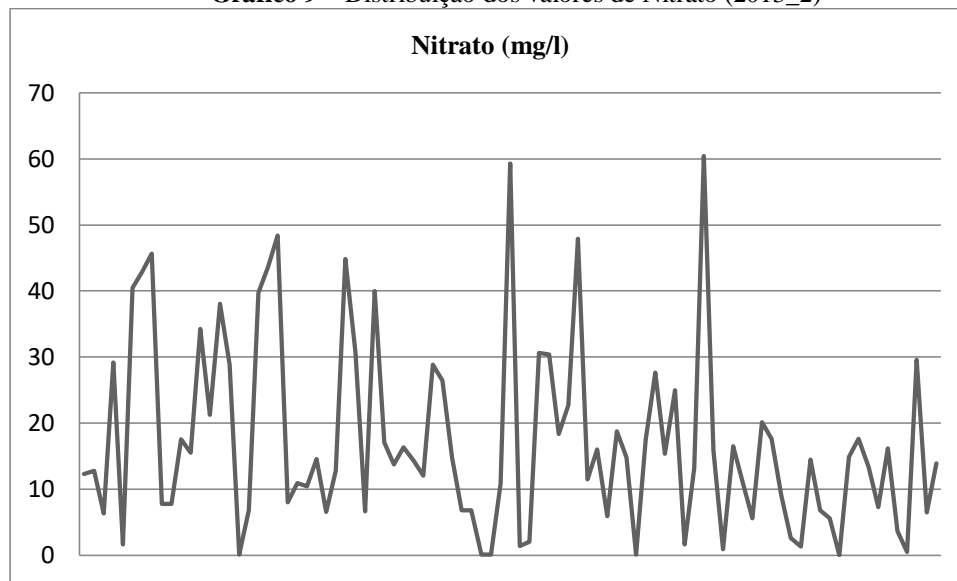
Tabela 7 – Valores e referências dos parâmetros das amostras coletadas em poços (2013-1)

Parâmetros	Valores				Referência CONAMA VMP
	Mínimo	Média	Máximo	Mediana	
C.E. (S/cm)	12	144,33	301	146	10 - 100
Amônia (mg/l)	0	0,06	1,91	00,25	1,5
Nitrato (mg/l)	0	81,57	48,43	34,36	10

Notas: C.E = condutividade elétrica.

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

No final do período de baixa pluviometria de 2013 foram coletadas 115 amostras de águas de poços, 25 apresentaram teor de nitrato acima do valor máximo permitido para consumo humano que é de 10 mg/l (BRASIL, 2017). Os 25 poços com alto teor de Nitrato estão localizados na Zona Leste da área de estudo e no bairro São Sebastião. Os poços com os maiores teores (acima de 20 mg/L) estão nos bairros Pantanal, Esperança da Comunidade e Tancredo Neves (Gráfico 9).

Gráfico 9 – Distribuição dos valores de Nitrato (2013_2)

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Com os resultados das análises das amostras coletadas nesses poços, foi possível identificar que 83 poços apresentaram condutividade elétrica acima do valor máximo permitido que é de 100 S/cm (BRASIL, 2017). Uma breve descrição quantitativa dos parâmetros das amostras coletadas está disposta na tabela 8. A tabela completa com todos os parâmetros analisados nas amostras em laboratório está nos anexos.

Tabela 8 – Valores e referências dos parâmetros pesquisados em poços (2013-2)

Parâmetros	Valores				Referência CONAMA VMP
	Mínimo	Média	Máximo	Mediana	
C.E. (S/cm)	12	133,5	423	124,5	10-100
Amônia (mg/l)	0	0,83	24,14	0	1,5
Nitrato (mg/l)	0	5,06	23,51	3,42	10

Notas: C.E = condutividade elétrica.

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

As figuras 29A, 29B, 30A e 30B mostram as interpolações das concentrações de Nitrato, referente as amostras coletadas após os períodos chuvoso e de estiagem do ano de 2012 e após os períodos chuvoso e de estiagem de 2013, respectivamente.

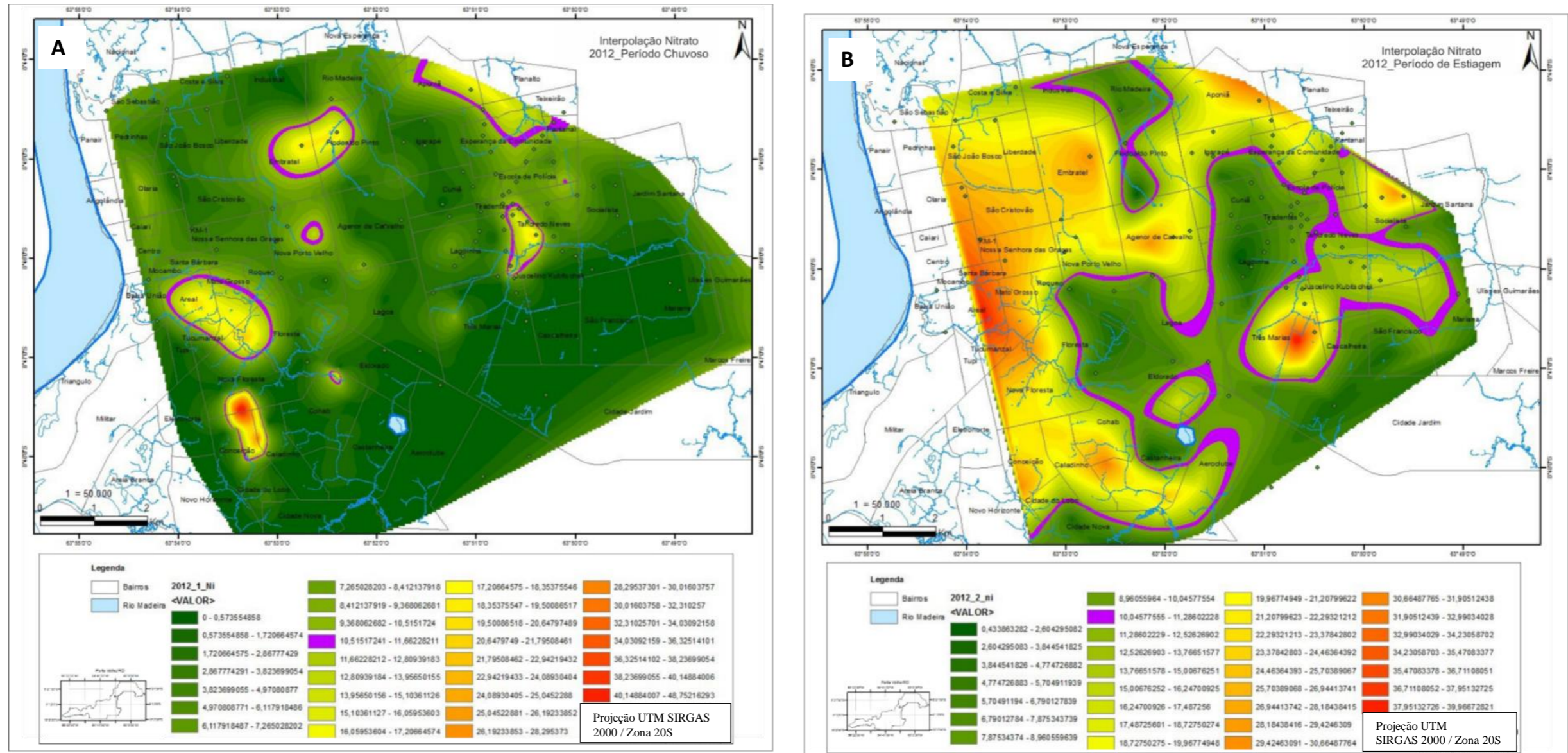


Figura 29 – Interpolação das concentrações de Nitrato no ano de 2012 nos períodos chuvoso (A) e de seca (B). Fonte: Autora (2021).

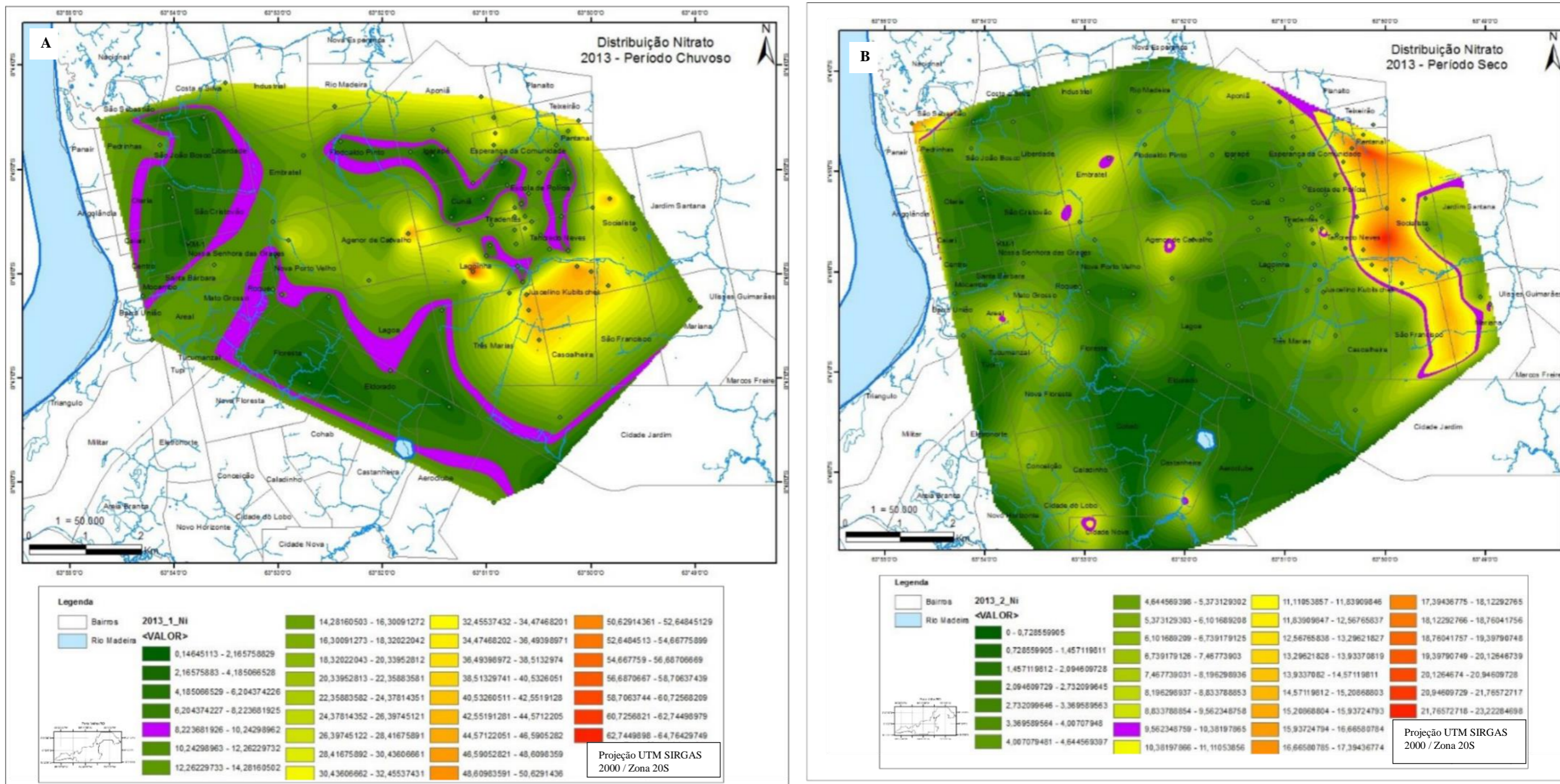


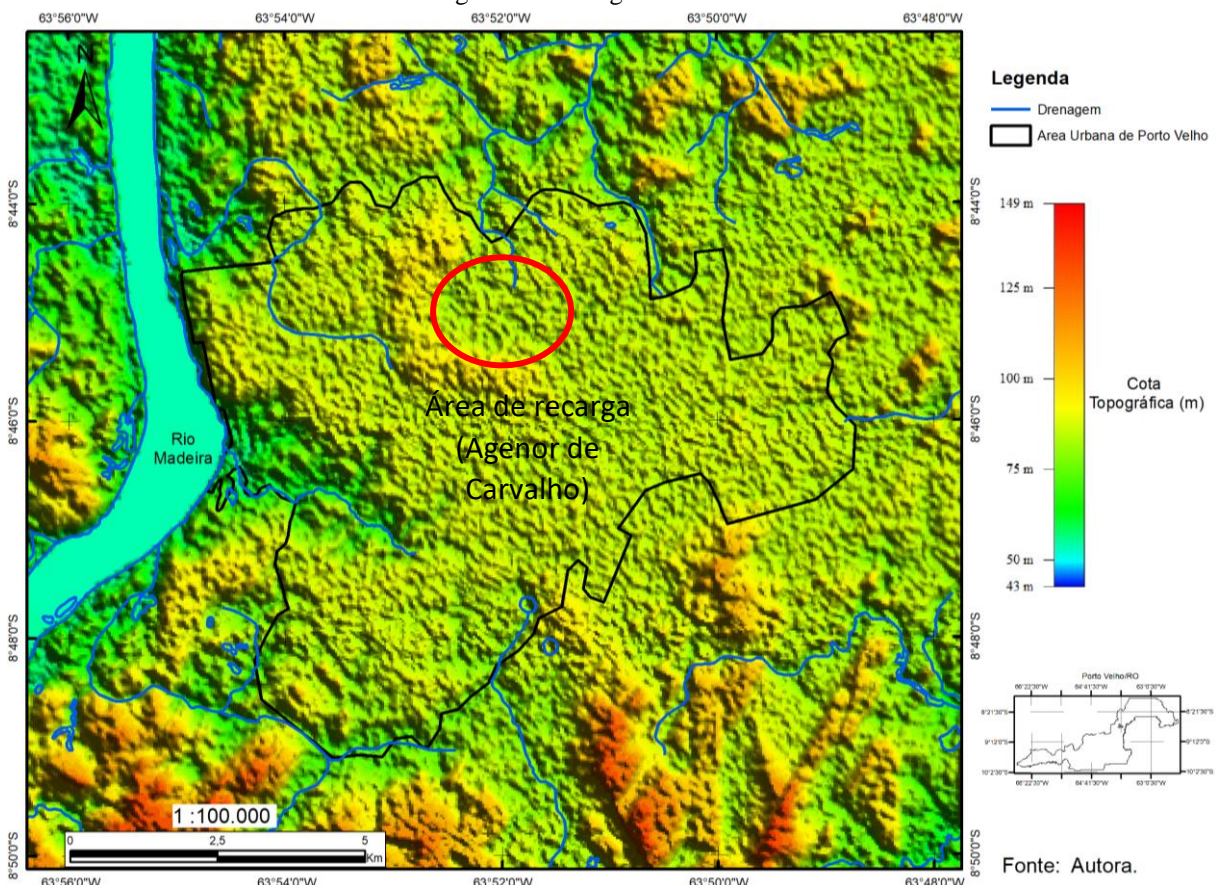
Figura 30 – Interpolação das concentrações de Nitrato no ano de 2013 nos períodos, chuvoso (A) e de seca (B). Fonte: Autora (2021).

Todo o contexto da área de estudo faz com que o fluxo da água subterrânea e consequentemente dos contaminantes, sigam em grande parte a topografia conforme afirmado por Baía (2020) e conforme modelo hidrogeológico conceitual proposto por Alves (2016).

No ano da cheia histórica os níveis de nitrato estavam menores, em comparação com os dois anos anteriores, mostrando que possivelmente com a recarga adicional houve uma maior diluição dos contaminantes em todo o sistema aquífero.

Áreas de recarga do aquífero devem ser prioridade na tomada de decisões na definição de áreas de preservação permanente, uma das áreas de recargas mais afetadas e mais preocupante fica localizada no bairro Agenor de Carvalho (Figura 31) que mostrou altos teores de nitrato em todos os anos, elevando-se ainda mais na época de estiagem e de amônia seguindo o mesmo padrão no ano da cheia histórica (2014).

Figura 31 – Modelo Digital de Terreno (MDT) da área urbana de Porto Velho, com destaque para a área de recarga no bairro Agenor de Carvalho.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

No ano de 2012 o período de seca intensificou a dispersão da contaminação por nitrato em direção ao Rio Madeira e em direção a Zona Sul e para dois bairros da Zona Leste (Três Marias e Socialista).

No ano de 2013 a dispersão aumenta na região oeste da cidade e na região leste há um aumento desta dispersão para as direções norte e sul na bacia do Igarapé Tancredo Neves.

As plumas de contaminação por nitrato mostram áreas com valores extremamente altos (chegando próximo de 64 mg/L) de concentração no bairro Lagoinha no final do período chuvoso do ano de 2013. Já no final do período seco as maiores concentrações que chegaram próximas de 23 mg/L, estão presente nos bairros Tancredo Neves e Pantanal.

Nesses bairros a densidade populacional é alta, originando maiores concentrações de efluentes. Além da influência de bairros vizinhos a estes, onde a concentração populacional também é alta.

Muitos poços apresentam construções bastante precárias, inadequadas, sem condições de proteção, podendo servir de caminho ou facilitar o aporte de contaminantes ao aquífero. Na área em estudo alguns poços se apresentam com cobertura feita em tabuas (pedaços de madeira), outros totalmente desprotegidos (Figura 32 A) e, ainda outros, ao lado de fossas, criações animais e até mesmo ao lado de compostos de óleos e graxas (Figura 32 B e C).

Figura 32 – Exemplos de poços na área em estudo: (A) Poços que apresentam construções precárias e totalmente desprotegidos; (B e C) ao lado de compostos de óleos e graxas.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

É comum a construção indevida de poços, próximos a fossas, ausência de proteção sanitária adequada e ausência de laje de proteção sanitária, solução achada pela população de baixa renda para suprir a inexistência da rede de água grande parte da área urbana da cidade.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram realizadas interpolações de alguns contaminantes de nitrogênio na água subterrânea de Porto Velho nos anos de 2012, 2013 e 2014. Os poços dos quais foram coletadas as amostras extraem água utilizada pelos moradores no consumo diário, que por vezes é a única fonte de água da população.

As plumas de contaminação foram identificadas através do método de interpolação *Natural Neighbor*. Este método ajudou a entender: a dinâmica de parâmetros utilizados para a análise da qualidade da água para consumo e dois contaminantes nitrogenados: Amônia e Nitrato, que no ciclo do Nitrogênio são o primeiro e o último composto, respectivamente, do processo de nitrificação na água subterrânea.

Conclui-se que o fluxo do contaminante segue o fluxo da água subterrânea proposto por Alves (2016), que por sua vez, relacionou os domínios hidrogeológicos às formações geológicas e pedológicas da região.

A tendência do sistema mostra que, no final da época chuvosa as concentrações de nitrato são maiores em seus níveis máximos, pois apesar da alta pluviometria todo o sistema aquífero ainda não recebeu a água da chuva em sua totalidade, sendo a infiltração um processo lento, principalmente nesta área de estudo onde as camadas mais superficiais correspondem a uma porção argilosa mais espessa no topo. No período de estiagem o nível máximo de concentração é menor pois toda a água da chuva chegou ao sistema.

A água subterrânea da área de estudo possui um alto grau de contaminação, não sendo recomendada seu uso para consumo direto, sem nenhum tipo de tratamento. Mesmo em bairros onde a contaminação se mostra em pequena quantidade durante todos os períodos estudados, como Cidade Nova e Aeroblube, deve haver um mínimo de tratamento para o consumo da água provinda do sistema subterrâneo.

Esta contaminação é antiga no aquífero, pois o Nitrato é formado na última etapa do ciclo do nitrogênio em águas subterrâneas, e possui uma mobilidade grande. Neste caso, o aquífero continua contaminado na atualidade por compostos do nitrogenados em fases iniciais (amônia, amônio ou nitrito), como mostram estudos mais recentes, resultado do fato do esgotamento sanitário não ter chegado à área urbana da capital rondoniense. Portanto, recomendam-se tratamentos adequados para o consumo da água subterrânea até a chegada do esgotamento sanitário e principalmente da rede de água tratada nas residências.

As regiões de baixa renda, apesar de não possuírem correlação direta na contaminação da água subterrânea, pois os resultados mostraram que todas as áreas da cidade apresentaram focos de contaminação em determinadas épocas do ano, a falta de instrução / orientações sobre a participação individual, que afeta esta população, influencia diretamente no desenvolvimento coletivo socioambiental da comunidade.

Por muitas vezes é possível presenciar a falta de instrução da população ao afirmar que consome a água in natura provindo dos poços de suas residências pois a mesma se apresenta límpida, incolor e inodora, ignorando o fato de que muitos contaminantes não são perceptíveis em suas simples análises organolépticas.

Esta deficiência pode ter múltiplas origens: omissão dos órgãos gestores, falta de fiscalização ou projetos de conscientização ambiental promovidos pelos agentes governamentais, acerca da construção correta de fossas sépticas (que afeta todo o sistema aquífero) e tratamento da água consumida, que influencia diretamente na saúde da população, principalmente aquelas doenças relacionadas a veiculação hídrica. Cabe ressaltar também que fossas instaladas incorretamente atingem de forma abrangente o sistema aquífero de regiões mais desenvolvidas e com maior infraestrutura.

A cidade de Porto Velho mostra-se muito aquém no quesito esgotamento sanitário, contudo, no Plano Diretor Participativo, essa questão sobre o saneamento básico é tratada como essencial. A prefeitura de Porto Velho está revisando-o novamente e vem buscando diálogo com a sociedade por meio de audiências públicas com o intuito de fortalecer a comunicação entre os órgãos gestores e a comunidade diretamente afetada.

A esfera federal, por meio do Ministério do Desenvolvimento Regional, assim como o governo estadual, através da Comissão Estadual de Recursos Hídricos, também participa da revisão do Plano Diretor Municipal, o que enfatiza a importância da integração de todos para que este cenário se mostre promissor, trazendo mais qualidade de vida a sociedade portovelhense.

REFERÊNCIAS

- ADAMY, A.; ROMANINI, S. J. **Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil. geologia da região Porto Velho-Abunã; Porto Velho (SC.20-V-B-V), Mutum-Paraná (SC.20-V-C-VI), Jaci-Paraná (SC.20-V-D-I), Abunã (SC.20-V-C-V), estados de Rondônia e Amazonas.** Porto Velho/RO: CPRM/ DNPM, 1990.
- ALABURDA, J.; NISHIHARA, L. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. **Revista de Saúde Pública**, [s.l.], v. 32, n. 2, p. 160-165, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-89101998000200009>.
- ALVES, M. H.; **Modelo Conceitual Hidrogeológico do Sistema Aquífero Poroso na Área Urbana e de Expansão de Porto Velho, Rondônia.** 2016. 148f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) - Fundação Universidade Federal de Rondônia. Porto Velho, 2016. Disponível em: <https://www.ri.unir.br/jspui/handle/123456789/1559>. Acesso em: 19 jul. 2021.
- BAHIA, M. A. da S. **Caracterização Biogeoquímica de Águas Subterrâneas Da Zona urbana de Porto Velho.** Belém, 1997. 129f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará. Belém, 1997. Disponível em: http://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/10755/6/Dissertacao_ConstrucaoMapeamentoIndice.pdf. Acesso em: 19 jul. 2021.
- BAÍÁ, C. C. **Qualidade microbiológica e físico-química das águas subterrâneas da cidade de Porto Velho–RO.** 2020. 92f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2020. Disponível em: <https://www.ri.unir.br/jspui/handle/123456789/3047>. Acesso em: 19 jul. 2021.
- BARBOSA, C. F. **Hidrogeoquímica e a contaminação por nitrato em água subterrânea no bairro Piranema, Seropédica – RJ.** 2005. 89f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/286819>. Acesso em: 19 jul. 2021.
- BARBOSA, F. de A. R.; PEIXINHO, F. C.; NÓBREGA II, M. Avaliação da qualidade de água subterrânea na zona urbana do município de Porto Velho. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS*, 17, 2012, Bonito. **Anais...** Bonito/MS, 2012. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27682>. Acesso em: 19 jul. 2021.
- BENN, F. R.; AULIFFE, C. A. M. **Química e poluição.** São Paulo: Editora USP, 1981.
- BETTENCOURT, J. S. *et al.* Mesoproterozoic rapakivi granites of the Rondônia Tin Province, southwestern border of the Amazonian Craton, Brazil-I. Reconnaissance U-Pb geochronology and regional implications. **Precambrian Research**, v. 95, p. 41-67, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(98\)00126-0](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(98)00126-0).
- BRASIL. (Ministério da Saúde). **Portaria nº 518, de 25 de março de 2004.** Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água

para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília/DF, Diário Oficial da União, 2004. Disponível em: http://189.28.128.100/dab/docs/legislacao/portaria518_25_03_04.pdf. Acesso em: 19 jul. 2021.

BRASIL. (Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde). **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2006. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf. Acesso em: 19 jul. 2021

BRASIL. (Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente). **Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasília/DF, Diário Oficial da União, n. 66, Seção 1, páginas 64-68, de 7 de abril de 2008. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2021.

BRASIL. (Ministério da Saúde). **Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília/DF, Diário Oficial da União, 2011. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em: 19 jul. 2021.

BRASIL. (Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental). **Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2016**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2016.

BRASIL. (Ministério da Saúde). **Portaria de Consolidação nº 05, de 28 de setembro de 2017**. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Diário Oficial da União, Brasília/DF, 2017. Disponível em: <https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/29/PRC-5-Portaria-de-Consolida---o-n---5--de-28-de-setembro-de-2017.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2021.

BRASIL. (Ministério do Planejamento). PAC - 7º Balanço - 2015-2018. **Portal PAC**, 2018. Disponível em: <http://www.pac.gov.br/noticia/ecbc5e1e>. Acesso em: 20 jul. 2021.

BUSATO, M. A. *et al.* Distribuição de doenças diarreicas agudas em municípios do Estado de Santa Catarina. **Hygeia: Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, Uberlândia, v. 9, p. 19-25, 2013. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/hygeia/article/view/20951>. Acesso em: 19 jul. 2021.

CAMPOS, J. C. V. A problemática dos recursos hídricos subterrâneos na Amazônia na visão do Serviço Geológico do Brasil-CPRM. 8, 2003. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, 8, 2003. **Anais...** [S.l.], 2003. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23964>. Acesso em: 19 jul. 2021.

CAMPOS, J. C. V.; MORAIS, P. R. C. Morfologia dos aquíferos da área urbana de Porto Velho (RO). *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13, 1999, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte/MG, 1999. [CD-ROM].

CARMO, V. B. do. **Sedimentação e Taxas de Assoreamento no Baixo Estuário do Rio Itajaí-Açu, Através da Análise de Cartas Batimétricas e de Registros Hidrometeorológicos**. 2001. 58f. Monografia de Conclusão de Curso (Geografia) - Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2001.

CHILDS, C. Interpolating surfaces in ArcGIS Spatial Analyst. **ArcUser**, [s.l.], p. 32-35, jul./sep., 2004. Disponível em: <https://community.esri.com/ccqpr47374/attachments/ccqpr47374/arcgis-spatial-analyst-questions/2376/1/interpolating.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2021.

CLIMATE-DATA. Dados Climáticos Para Cidades Mundiais – Porto Velho. **CLIMATE-DATA**, 2021. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/search/?q=porto+velho>. Acesso em: 20 jul. 2021.

CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). **Resolução CONAMA n° 20, de 18 de junho de 1986**. Diário Oficial da União, 30 jul. 1986. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Portaria/1986/res_conama_20_1986_revgd_classificacaoaguas_altrd_res_conama_274_2000_revgd_357_2005.pdf. Acesso em: 19 jul. 2021.

COSTA SILVA, R. G. da. (Org). **Porto Velho: Urbanização e desafios para uma cidade centenária**. Porto Velho: Temática Editora/Edufro, 2016, p. 223-248.

COSTA SILVA, R. G. da; CONCEIÇÃO, F. S. Crescimento populacional e progresso social em Porto Velho. *In*: COSTA SILVA, R. G. da. (Org). **Porto Velho: Urbanização e desafios para uma cidade centenária**. Porto Velho: Temática Editora/Edufro, 2016, p. 223-248.

CPRM (Serviço Geológico do Brasil). **Avaliação da qualidade da água subterrânea no município de Porto Velho/RO – Brasil**. Porto Velho/RO: CPRM, 2015.

DAVIS, J. C. **Statistics and data analysis in geology**. 2 ed. New York: John Wiley and Sons, 1986.

DELLAGIUSTINA, A. **Determinação das concentrações de nitrogênio e fósforo dissolvidos em diferentes locais do Rio Itajaí-Açu**. 2000. 92f. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Química Analítica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/78694>. Acesso em: 19 jul. 2021.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Levantamento de Reconhecimento de Média Intensidade dos Solos e Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras do Estado de Rondônia**. [v. 1]. Rio de Janeiro: EMBRAPA/SNLCS, 1983a.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Indicativo de Atividade Silvo Pastoris para o Estado de Rondônia**. [v. 2]. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CPATU-SNLCS, 1983b.

ESRI (Environmental Systems Research Institute). **ArcGIS 9 – Getting started with ArcGIS**. Redlands: ESRI, 2004.

FAÇANHA, M. C.; PINHEIRO, A. C. Comportamento das doenças diarreicas agudas em serviços de saúde de Fortaleza, Ceará, Brasil, entre 1996 e 2001. **Cadernos de Saúde Pública**, [s.l.], v. 21, n.1, p. 49-54, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2005000100006>.

FEITOSA, F. A. C. *et al.* **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3.ed., Rio de Janeiro/RJ: CPRM, 2008.

FETTER, C. W. **Applied hydrogeology**. 4 ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001.

FRANCA, R. R. da. **Eventos pluviiais extremos na Amazônia meridional: riscos e impactos em Rondônia**. 2015. 186f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/37677>. Acesso em: 19 jul. 2021.

FREEZE, A. R.; CHERRY, J. A. **Águas Subterrâneas**. São Paulo/SP: Groundwater, 2017.

G1 RO. Número de casos de leptospirose aumenta em Rondônia, diz Agevisa, 2014. **Portal G1 RO**, 22 ago. 2014. Disponível em: <http://g1.globo.com/ro/rondonia/noticia/2014/08/numero-de-casos-de-leptospirose-aumenta-em-rondonia-diz-agevisa.html>. Acesso em: 19 jul. 2021.

GARCIA, G.; CARDOSO, A. A.; SANTOS, O. A. M. dos. Da escassez ao estresse do planeta: um século de mudanças no ciclo do nitrogênio. **Química Nova**, v. 36, n. 9, p. 1468-1476, 2013. Disponível em: http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=5675. Acesso em: 19 jul. 2021.

HARTKAMP, A. D. *et al.* **Interpolation Techniques for Climate Variables**. [NRG-GIS Series 99-01]. México/D.F.: CIMMYT, 1999.

HERRERA, I. L. I. E. **Utilização de dados altimétricos, geomorfológicos e gamaespectrométricos para a identificação de crostas lateríticas em uma área da porção norte do Estado de Rondônia**. 2016. 93f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Rondônia, 2016. Disponível em: <https://www.ri.unir.br/jspui/handle/123456789/2039>. Acesso em: 19 jul. 2021.

HISCOCK, K. M. **Hydrogeology, principles and practice**. Oxford: Blackwell Science, 2005.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - 2008**. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão/IBGE/Diretoria de Pesquisas Coordenação de População e Indicadores Sociais, 2008.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro/RJ: IBGE, 2010.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ranking do Saneamento 2020**. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2020. Disponível em: http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/ranking_2020/Relatorio_Ranking_Trata_Brasil_2020_Julho_.pdf. Acesso em: 19 jul. 2021.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **Applied Geostatistics**. New York: Oxford University Press. 1989.

LACAZ, C. S. **Introdução à geografia médica do Brasil**. São Paulo: Editora USP, 1972.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Editora UNESP, 1998.

LIMA, M. L. A. **Águas Subterrâneas Potencialmente Impactadas por Nitrato (NO₃ -) na Área Urbana da Cidade de Porto Velho: Um Estudo da Geografia da Saúde**. 2008. 76f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2008. Disponível em: <https://www.ri.unir.br/jspui/handle/123456789/797>. Acesso em: 19 jul. 2021.

LISBOA, N. A. *et al.* Síntese da Ocorrência Geológica das Águas Subterrâneas do Rio Grande do Sul. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS*, 13, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá, 2004. Disponível em: <http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/23638/15719>. Acesso em: 19 jul. 2021.

MARTINS, C. R. *et al.* Ciclos globais de carbono, nitrogênio e enxofre: a importância na Química da atmosfera. **Cadernos temáticos de química nova na escola**, São Paulo, n. 5, p. 28-41, nov. 2003. Disponível em: <https://ria.ufrn.br/jspui/handle/123456789/1383>. Acesso em: 19 jul. 2021.

MAZZINI, P. L. F.; SCHETTINI, C. A. F. Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase sinóticos. **Braz. J. Aquat. Sci. Technol.**, [s.l.], v. 13, n. 1, p. 53-64, 2009. Disponível em: <https://siaiap32.univali.br/seer/index.php/bjast/article/viewFile/1336/1058>. Acesso em: 19 jul. 2021.

MELLO, C. R. *et al.* Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa. v. 27, n. 5, 925-933, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000500017>.

MELO, D. P.; COSTA, R. C. R.; NATALI FILHO, T. Geomorfologia da Folha SC.20 (Porto Velho). *In: RADAMBRASIL. Levantamento dos Recursos Naturais*. Rio de Janeiro/RJ: DNPM, 1978, p. 187-254.

MORAES, L. R. S. Avaliação do impacto sobre a saúde das ações de saneamento ambiental em áreas pauperizadas de Salvador - Projeto AISAM. In: HELLER, L. *et al.* **Saneamento e saúde em países em desenvolvimento**. Rio de Janeiro: CC&P, 1997, p. 281- 305.

MORAIS, P. R. C. **Mapa hidrogeológico do Estado de Rondônia**: Texto explicativo, escala 1:1.000.000, Programa Recursos Hídricos. Porto Velho/RO: CPRM, 1998.

NASCIMENTO, P. H. O. **Análise e eliminação de ruídos em produto MDE do lidar na interface água/solo**. 2017. 54f. Monografia de Conclusão de Curso (Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura) - Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2017. Disponível em: <https://www.ufpe.br/documents/39451/1217366/Priscilla+Heli%C3%AAAnay+Oliveira+Do+Nascimento.pdf/587dab23-0749-470e-92e2-e40962ad8042>. Acesso em: 19 jul. 2021.

OLIVEIRA, C. E. S. **Projeto materiais de construção civil da Folha de Porto Velho. Informe de recursos minerais**. Porto Velho/RO: CPRM, 2013.

OLIVEIRA, E. **Hidrogeologia Ambiental**: Contaminação de Solo e Águas Subterrâneas. São Paulo, SP: ABAS. 2016.

PAZ, A. R. da. **Hidrologia aplicada**. [Apostila da Disciplina Hidrologia Aplicada], Caxias do Sul: UERGS, 2004.

PORTO VELHO. (Município). **Lei complementar nº 138, de 28 de dezembro de 2001**. Institui o código municipal de meio ambiente e dá outras providências. Porto Velho, RO, 2001. Disponível em: http://www.mp.ro.gov.br/c/document_library/get_file?p_l_id=49484&folderId=163530&name=DLFE-38441.pdf. Acesso em: 19 jul. 2021.

PORTO VELHO. (Município). **Plano Diretor Participativo de Porto Velho**. Porto Velho, RO, 2008. Disponível em: <https://sempog.portovelho.ro.gov.br/arquivos/lista/23982?plano-diretor>. Acesso em: 19 jul. 2021.

PORTO VELHO. (Município). **Lei Complementar nº 695 de 24 de novembro de 2017**. Altera o art. 173 da Lei Complementar nº 138 de 21 de dezembro de 2001 e Institui obrigações para lançamento de efluentes nas praias ou na rede de águas pluviais e dá outras providências. DOM em 24 nov 2017. Porto Velho, RO, 2017. Disponível em: https://www.normasbrasil.com.br/norma/lei-complementar-695-2017-porto-velho_352942.html. Acesso em: 19 jul. 2021.

PORTO VELHO. (Município). **Revisão do Plano Diretor Participativo de Porto Velho**. Porto Velho, RO, 2018. Disponível em: <https://sempog.portovelho.ro.gov.br/arquivos/lista/23982?plano-diretor>. Acesso em: 19 jul. 2021.

QUADROS, M. L. E. S.; RIZZOTTO, G. J. (Orgs.). **Geologia e recursos minerais do estado de Rondônia: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais do estado de Rondônia, escala 1:1.000.000**. Porto Velho/RO: CPRM, 2007.

QUEIROZ, J. T. M.; HELLER, L.; SILVA, S. R. Análise da Correlação de Ocorrência da Doença Diarreica Aguda com a Qualidade da Água para Consumo Humano no Município de Vitória - ES. **Saúde e Sociedade**, [s.l.], v. 18, n. 3, p. 479-489, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-12902009000300012>.

REBOUÇAS, A. da C. Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez. **Bahia – Análise & Dados**, Salvador, v. 13, n. ESPECIAL, p. 341-345, 2003. Disponível em: http://labs.icb.ufmg.br/benthos/index_arquivos/pdfs_pagina/Minicurso/pag_341.pdf. Acesso em: 19 jul. 2021.

RIBEIRO, V. A. **Poluentes orgânicos e inorgânicos nas águas subterrâneas da cidade de Porto Velho-RO**. 2019. 126f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2019. Disponível em: <https://www.ri.unir.br/jspui/handle/123456789/3052>. Acesso em: 19 jul. 2021.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e Recursos Naturais**. São Carlos, SP: EESC/USP, 1998.

RIZZOTTO, G. J. *et al.* Paleoambiente e o registro fossilífero pleistocênico dos sedimentos da Formação Rio Madeira. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 9, 2005, Belém. **Anais...** Belém/PA: SBG-Núcleo Norte, 2005. [1 CD-ROM].

RODRIGUES, E. R. D. **Avaliação Espacial da Qualidade da Água Subterrânea na Área Urbana de Porto Velho – RO – Brasil**. 2008. 73f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) - Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2008.

RONDÔNIA. (Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental). **Atlas Geoambiental de Rondônia**. Porto Velho, RO: SEDAM, 2002.

RONDÔNIA. (Secretaria de Estado da Saúde. Agência Estadual de Vigilância em Saúde). **Boletim Enchentes**. [n. 2]. Porto Velho, RO: SEMUSA, 2014. Disponível em <http://www.agevisa.ro.gov.br/multimidia/arquivos/categorias/boletim-enchentes/>. Acesso em: 19 jul. 2021.

SADOSKY, M. **Cálculo numérico e gráfico**. Rio de Janeiro: Interciência, 1980.

SCANDOLARA, J. E. **Geologia e recursos minerais do estado de Rondônia: texto explicativo e mapa geológico do estado de Rondônia**. Brasília/DF: CPRM, 1999.

SILVA FILHO, E. P. da. **Estudo da degradação dos solos em áreas de pastagens no município de Porto Velho (RO)**. 2009. 159 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2009. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/102893>. Acesso em: 19 jul. 2021.

SILVA, J. A.; MENDONÇA, R.R. **Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes, inundações e movimentos de massa: Jarú, RO**. Jarú, RO: CPRM, 2014.

SILVA, L. C. M; BROTTTO, M. E. Nitrato em água: ocorrência e consequência. **CREASP**, 2014. Disponível em: http://www.creasp.org.br/biblioteca/teses_e_artigos/nitrato-em-agua-ocorrenciae-consequencias/. Acesso em: 19 jul. 2021.

SINJUR (Sindicato dos Trabalhadores do Poder Judiciário no Estado de Rondônia). Porto Velho comemora 98 anos de criação. **Portal SINJUR**, 08 out. 2012. Disponível em: <https://www.sinjur.org.br/98-anos-municipio-de-porto-velho/>. Acesso em: 19 jul. 2021.

SIPAM (Sistema de Proteção Da Amazônia). **Desenvolvimento de metodologia para alerta de cheias e inundações na área urbana de Porto Velho/RO**. Porto Velho/RO: SIPAM/CNPq, 2014.

SOARES, A. **Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente**. 2 ed. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2006.

SOUZA, M. S. Meio Ambiente Urbano e Saneamento Básico. **Mercator**, Fortaleza, v. 1, n. 1, jan. 2002. DOI: <https://doi.org/10.4215/rm.v1i1.194>.

STARK, P. **Introdução aos métodos numéricos**. Rio de Janeiro: Interciência, 1979.

TASSINARI, W. S. *et al.* Distribuição espacial da leptospirose no município do Rio de Janeiro, Brasil, ao longo dos anos de 1996-1999. **Cadernos de Saúde Pública**, [s.l.], v. 20, n. 6, p. 1721-29, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2004000600031>.

TORRES, M. A. A. *et al.* Evaluación de diferentes técnicas de interpolación espacial para la generación de modelos digitales de elevación del terreno agrícola. **Mapping Interactivo**, [s.l.], n. 74, p. 72-92, 2001. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=166353>. Acesso em: 19 jul. 2021.

UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura). **Programa Hidrológico Internacional (PHI) - Recursos d'Água do Mundo**. [S.l.]: UNESCO, 1998.

USGS (United States Geological Survey). **Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices**. [S.l.]: USGS, 1998.

VAITSMAN, D. S.; VAITSMAN, M. S. **Água mineral**. Rio de Janeiro: Interciência, 2005.

VIEIRA, V. B. *et al.* Caracterização das águas subterrâneas no estado de Rondônia. **Rev. Cient. Fac. Educ. e Meio Ambiente**, [s.l.], v. 9, n. 2, p. 760-766, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.31072/ref.v9i2.679>.

WATSON, D. F. **Contoring: A Guide to The Analysis and Display of Spatial Data**. [v. 10]. Oxford: Pergamon Press, 1992.

ANEXOS

ANEXO A – RESULTADO DAS AMOSTRAS COLETADAS NO FINAL DO PERÍODO
DE ALTA PLUVIOMETRIA DE 2012

Identificação	Nitrato (mg/L)
1	8.05
2	4.64
3	3.85
4	5.8
5	4.25
6	1.85
7	0.3
8	2.52
9	10.67
10	18.19
11	10.76
12	1.77
13	4.64
14	16.73
15	1.54
16	5.18
17	1.32
18	3.98
19	10.58
20	8.19
21	13.63
22	15.58
23	5.75
24	6.02
25	11.02
26	1.54
27	4.95
28	3.63
29	20.41
30	0.88
31	7.57
32	0.22
33	20.59
34	6.06
35	1.85
36	0
37	3.05

Identificação	Nitrato (mg/L)
38	22
39	1.81
40	7.92
41	3.14
42	0.3
43	1.37
44	12.44
45	1.41
46	5.8
47	5.8
48	3.67
49	0.61
50	6.37
51	6.37
52	9.52
53	13.94
54	2.87
55	1.1
56	6.86
57	8.59
58	3.58
59	11.11
60	9.65
61	9.82
62	5
63	3.95
64	13.85
65	3.94
66	1.59
67	1.1
68	1.94
69	1.23
70	10.31
71	16
72	9.12
73	3.98
74	2.78
75	12.9
76	28.07
77	1.54
78	15.85

Identificação	Nitrato (mg/L)
79	16.2
80	0
81	7.57
82	0
83	0.57
84	3.54
85	8.32
86	3.01
87	0.53
88	1.68
89	8.9
90	0.84
91	4.91
92	19.92
93	19.74
94	0.7
95	2.87
96	2.83
97	5.93
98	4.56
99	0
100	4.07
101	1.01
102	9.87
103	2.21
104	0.7
105	3.76
106	2.21
107	0.17
108	1.63

ANEXO B – RESULTADO DAS AMOSTRAS COLETADAS NO FINAL DO PERÍODO
DE BAIXA PLUVIOMETRIA DE 2012

Identificação	Nitrato(mg/L)
1	19.48
2	13.59
3	5.66
4	13.41
5	4.07
6	2.43
7	6.86
8	18.06
9	33.29
10	24.26
11	19.7
12	13.77
13	23.73
14	1.54
15	20.36
16	3.8
17	8.1
18	18.68
19	9.87
20	23.02
21	29.66
22	43.39
23	6.81
24	8.19
25	29.93
26	7.26
27	17.88
28	39.42
29	15.63
30	1.46
31	6.99
32	13.01
33	10.9
34	4.02
35	0.84
36	4.29
37	28.95
38	3.54

Identificação	Nitrato(mg/L)
39	8.41
40	13.77
41	4.56
42	13.01
43	11.68
44	17
45	16.87
46	6.11
47	0
48	22.09
49	5.22
50	41.09
51	8.59
52	7.83
53	12.75
54	8.76
55	11.15
56	20.81
57	23.2
58	19.3
59	9.29
60	17.57
61	6.02
62	14.08
63	3.14
64	9.52
65	3.67
66	30.64
67	17.53
68	31.7
69	1.77
70	5.4
71	14.12
72	3.36
73	14.78
74	25.41
75	19.04
76	2.83
77	9.6
78	0.04
79	4.29
80	7.3

Identificação	Nitrato(mg/L)
81	19.48
82	3.94
83	5.22
84	5.35
85	0.53
86	30.02
87	9.65
88	19.92
89	2.12
90	0.17
91	6.95
92	10.27
93	11.2
94	1.15
95	3.98
96	0.08
97	7.52
98	7.57
99	6.06
100	10.18
101	8.19
102	2.56

ANEXO C – RESULTADOS DAS ANÁLISES DAS AMOSTRADAS COLETADAS NO
PERÍODO DE ALTA PLUVIOMETRIA DE 2013

Identificação	Nitrato (mg/l)
1	129,29
2	126,81
3	62,34
4	291,18
5	1,59
6	40,47
7	42,9
8	45,62
9	7,74
10	72,79
11	173,57
12	15,54
13	349,28
14	21,25
15	38,08
16	28,87
17	0
18	61,81
19	396,74
20	43,66
21	487,43
22	72,97
23	10,95
24	10,45
25	144,52
26	6,55
27	120,79
28	44,81
29	30,64
30	6,64
31	40,02
32	176,05
33	130,71

Identificação	Nitrato (mg/l)
34	16,33
35	14,34
36	125,04
37	28,87
38	26,4
39	14,78
40	68
41	6,8
42	0
43	0
44	109,81
45	59,33
46	1,41
47	1,99
48	304,64
49	30,37
50	18,33
51	22,75
52	478,93
53	115,48
54	15,98
55	5,92
56	18,77
57	14,77
58	0
59	17,44
60	27,63
61	15,36
62	25,01
63	1,59
64	136,19
65	60,46
66	15,85
67	0,88
68	16,51
69	67,83
70	64,64

Identificação	Nitrato (mg/l)
71	-
72	10,98
73	5,62
74	20,09
75	17,62
76	9,16
77	2,56
78	1,32
79	14,47
80	6,77
81	5,62
82	0
83	14,87
84	17,66
85	130,36
86	70,31
87	16,2
88	3,63
89	0,53
90	29,54
91	6,5
92	13,9

ANEXO D – RESULTADO DAS AMOSTRAS COLETADAS NO FINAL DO PERÍODO
DE BAIXA PLUVIOMETRIA DE 2013.

Identificação	Nitrato (mg/l)
1	2,87
2	2,32
3	1,74
4	2,38
5	2,49
6	0,33
7	8,81
8	9,67
9	2,49
10	3,95
11	9,99
12	1,31
13	2,99
14	0,07
15	2,33
16	5,57
17	21,74
18	10,93
19	11,65
20	3,42
21	2,74
22	10,14
23	10,62
24	6,42
25	10,17
26	1,01
27	2,6
28	3,64
29	7,92
30	23,51
31	4,56
32	0,45
33	1,38
34	9,06
35	0
36	6,89

Identificação	Nitrato (mg/l)
37	2,91
38	2,28
39	2,03
40	4,77
41	4,64
42	14,57
43	4,42
44	0,17
45	5,79
46	2,61
47	0
48	6,42
49	4,32
50	4,5
51	15,94
52	10,71
53	5,95
54	7,42
55	3,86
56	0
57	0
58	6,89
59	2,7
60	2,5
61	5,22
62	15,01
63	4,42
64	4,43
65	8,31
66	0
67	2,04
68	2,6
69	2,82
70	11,3
71	0
72	10,77
73	
74	1,01
75	3,11
76	0

Identificação	Nitrato (mg/l)
77	0,25
78	3,28
79	0,72
80	1,19
81	18,28
82	2,64
83	8,8
84	5,4
85	4,22
86	4,7
87	10,33
88	6,2
89	4,12
90	0,56
91	1,02
92	10,37
93	3,85
94	2,16
95	1,59
96	4,25
97	2,47
98	3,85
99	1,4
100	0,62
101	3,91
102	3,94
103	0,57
104	2,52
105	3,06
106	0,3
107	4,78
108	0,08
109	1,43
110	1,62
111	4,24
112	0,35
113	0,15
114	0,65

Identificação	Nitrato (mg/l)
115	0,6

ANEXO E – RESULTADO DAS AMOSTRAS COLETADAS NO FINAL DO PERÍODO
DE ALTA PLUVIOMETRIA DE 2014

Identificação	C. E. (μS/cm)	pH	Amônia (mg/L)	Nitrato (mg/L)
1	56,7	0,01	0,4	5,33
2	33,5	1,89	0,55	6,03
3	96,6	3,04	0,65	5,77
4	152,8	7,9	0,65	5,56
5		1,67	0,45	5,71
6		6,84	0,1	5,15
7		8,2	0,01	4,3
8		1,26	0,55	6,07
9	27,1	0,89	0,05	5,88
10	122,9	2,38	1,05	6,06
11	41,2	2,2	0,4	5,76
12	104,6	3,48	0,75	6,34
13	118,9	4,32	0,15	5,68
14	43,9	0,32	0,2	6,41
15	181,5	4,13	1,5	5,8
16	20,9	1,82	0,15	5,47
17	16,9	2,64	1,1	5,7
18	78,6	4,26	1,9	5,33
19	112,8	12,4	0,95	5,91
20	64	4,64	0,15	6
21	23,5	0,01	0,01	6,28
22	80,9	1,96	0,01	5,88
23	158,7	1,68	0,25	6,11
24	61,7	1,96	2,45	6,01
25	25,6	0,76	0,35	6,21
26	119,3	2,88	0,01	5,232
27	150,7	6,86	0,01	6
28	20,4	0,53	0,01	6,3
29	41,9	2,7	0,01	6,21
30	58,1	0,34	0,8	6,23
31	16,5	0,77	0,25	5,8
32	14,5	1,22	0,01	6,1
33	64	4,43	0,6	5,3
34	20,5	2,43	0,55	5,3
35	63,8	0,01	0,1	5,1
36	68,5	3,02	0,01	6,6
37	22	1,16	1,2	5,27
38	45,8	1,72	0,65	5,3

Identificação	C. E. (μS/cm)	pH	Amônia (mg/L)	Nitrato (mg/L)
39	22,2	0,38	0,3	5,65
40		0,14	0,9	5,57
41	33,5	0,7	1,3	5,48
42	Fc	7,31	1,96	4,49
43	53,2	5,3	0,13	5,33
44		8,46	0,19	5,11
45	89,2	5,52	0,35	5,57
46	131,1	7,4	0,75	5,54
47	75	0,48	0,6	5,98
48	44,1	1,08	0,01	5,56
49	19	1,22	0,1	5,62
50	22,7	1,8	0,01	5,83
51	18,8	1,84	0,1	5,93
52	77,6	6,79	0,45	6,28
53	33	2,47	0,45	4,94
54	49	0,54	0,45	5,78

ANEXO F – RESULTADO DAS AMOSTRAS COLETADAS NO FINAL DO PERÍODO
DE BAIXA PLUVIOMETRIA DE 2014

Identificação	C. E. (μS/cm)	pH	Amônia (mg/L)	Nitrato (mg/L)
1	18,8	5,5	0,01	0,97
2	33	5,4	0,42	3,92
3	36,5	6	0,01	0,29
4	58,1	6,3	0,36	0,01
5		5,7	0,11	0,01
6	22	5,2	0,43	2,94
7	68,5	6,4	0,12	3,62
8	63,8	5,9	0,21	4,21
9	19	5,6	0,01	0,8
10	64	6,5	0,22	2,22
11	33,5	6	0,1	0,15
12	49	5,8	0,31	2,4
13	112,8	5,6	0,71	4,56
14	111,5	6,2	1,16	7,96
15	22,7	6,1	0,01	3,12
16	80,9	6,1	0,17	4,78
17	41,9	6	0,01	5,56
18	78,6	5,4	0,62	4,15
19	158,7	5,6	0,38	3,41
20	25,6	5,9	0,29	0,94
21	43,9	5,8	1,02	2,84
22	61,7	6	0,19	2,09
23	44,1	5,8	0,55	3,86
24		5,1	0,28	14
25	31,9	5,4	0,02	2,88
26	53,2	5,1	0,15	2,18
27	Fc	4,8	1,6	12,84
28	181,5	5	0,04	3,32
29	84,9	6,3	0,35	3,83
30	142	5,2	1,47	5,23
31	20,9	5,3	0,75	0,01
32	16,9	5,4	0,6	2,65
33	122,9	5,9	1,42	3,48
34	85,5	5,2	0,14	7,16
35	137,7	4,9	0,08	7,84
36	41,2	5,5	1,04	2,74
37	104,6	6	2,68	7,08
38	131,1	5,3	0,01	11,44

Identificação	C. E. (μS/cm)	pH	Amônia (mg/L)	Nitrato (mg/L)
39	8	5,3	0,14	0,01
40	27,1	5,7	0,02	0,42
41		5,9	0,02	1,35
42	22,2	5,3	0,01	1,4
43	56,7	6,4	0,27	0,8
44	33,5	5,7	0,02	1,06
45	77,6	6,4	0,11	0,26
46		6,1	0,13	6,31
47	152,8	5,3	0,73	3,52
48	5,3	5,3	0,23	1,16
49	121,6	4,9	0,02	4,78
50		4,6	0,02	5,03
51	20,5	5,1	0,13	1,13
52	64	4,9	0,21	4,65
53	14,5	5,9	0,02	0,65
54	16,5	5,7	0,01*	0,01
55	150,7	5,7	0,12	3,65
56	20,4	5,8	0,01	0,01
57	41,7	5,9	0,37	2,95
58	75	5,4	0,45	0,01
59	118,9	6,1	0,18	6,56
60		5,9	0,49	4,94

Notas: C.E = condutividade elétrica; pH = potencial hidrogeniônico.