UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA

NÚCLEO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO EM GEOGRAFIA

MARIA LUCILENE ALVES DE LIMA

ÁGUAS SUBTERRÂNEAS POTENCIALMENTE IMPACTADAS POR NITRATO (NO_3^-) NA ÁREA URBANA DA CIDADE DE PORTO VELHO: UM ESTUDO DA GEOGRAFIA DA SAÚDE

Porto Velho

2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA

NÚCLEO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO EM GEOGRAFIA

MARIA LUCILENE ALVES DE LIMA

ÁGUAS SUBTERRÂNEAS POTENCIALMENTE IMPACTADAS POR NITRATO (NO_3^-) NA ÁREA URBANA DA CIDADE DE PORTO VELHO: UM ESTUDO DA GEOGRAFIA DA SAÚDE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Rondônia - UNIR, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Paraguassu Chaves

Porto Velho

2008

Catalogação Biblioteca Central / UNIR

L7324a Lima, Maria Lucilene Alves de

Águas Subterrâneas Potencialmente Impactadas por Nitrato (NO_3^-) na Área Urbana da Cidade de Porto Velho: Um Estudo da Geografia da Saúde. / Maria Lucilene Alves de Lima. Orientador Carlos Alberto Paraguassu Chaves. – Porto Velho, 2008.

76f.

Dissertação apresentada à Fundação Universidade Federal de Rondônia para obtenção do título de Mestre em Geografia

1.Hidrogeologia - Rondônia I. Título

CDU: 556.3 (811.1)

MARIA LUCILENE ALVES DE LIMA

ÁGUAS SUBTERRÂNEAS POTENCIALMENTE IMPACTADAS POR NITRATO (NO_3^-) NA ÁREA URBANA DA CIDADE DE PORTO VELHO: UM ESTUDO DA GEOGRAFIA DA SAÚDE

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Carlos Alberto Paraguassu Chaves _____

Presidente da Banca

Prof. Dr. Vanderlei Maniesi _____

Examinador Interno

Prof. Dr. Samuel do Carmo Lima _____

Examinador Externo

Porto Velho

2008

Dedico este trabalho aos meus pais Francisco Ferreira de Lima e Eulina Alves Cabral e ao meu filho João Gabriel, em agradecimento ao amor e confiança que sempre depositaram em mim.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Paraguassu Chaves, pela orientação, por sua constante disponibilidade e principalmente pela compreensão e paciência durante este período;

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Geografia/UNIR, em especial ao Coordenador Prof. Dr. Josué da Costa Silva pela sua cordial dedicação e respeito;

Ao Serviço Geológico do Brasil - Departamento de hidrogeologia/Residência Porto Velho, na pessoa do Geólogo Ms. Homero Reis de Melo Júnior, pela ajuda técnica em hidrogeologia, nos trabalhos de campo, bibliográfico e materiais disponibilizados. A bibliotecária Terezinha de Jesus Fôro e aos estagiários Lidiane e Rafael, aos quais desejo manifestar minha sincera gratidão;

A SEDAM, Laboratório de Análises Ambiental, Biólogo Herbert, Técnico de Laboratório Sr. Lindoval e a Engenheira Química Ester, pelo suporte nos trabalhos de campo nas coletas de água e nas análises químicas.

Ao Prof. Dr. Flávio Batista Simão, pela ajuda nos trabalhos geoestatísticos; pelos laços de amizade construída; pela dedicação dispensada, abnegando-se de horas incontáveis de convívio familiar, dedicando-se a auxiliar-me neste trabalho, sem a qual este não teria êxito.

À Profª. Drª Maria Madalena Ferreira, a quem admiro, e que me incentivou na conclusão deste trabalho, e pelas sugestões que enriqueceram este estudo;

Ao Geógrafo Charles Barata pelos trabalhos cartográficos;

Aos amigos do mestrado (Avacir, Adnilson, Rosa, Jânia, Tereza, Antônia, Ricardo, Selma, Telma, Robson, Wendell, Madalena Cavalcanti, Leonilda, Gustavo, Sthefanie, Jeanne, Deyvisson, Marlene, Irmgard, Cristiane, Maranei, Grasiela, Joezer, Sandra, Ózeias, Galvão e Antônio Gomes), á minha amiga Célia e meus familiares que muito contribuíram para a realização deste;

Em especial aos moradores da Zona 3, que cederam seus poços e acreditaram na realização desta pesquisa;

E, sobretudo, a Deus, pelo precioso dom da vida.

RESUMO

Este estudo foi realizado na Zona 3 da área urbana da cidade de Porto Velho (RO). Seu objetivo foi avaliar a qualidade das águas subterrâneas potencialmente impactadas por nitrato (NO_3^-). É um estudo descritivo com amostragem aleatória seguido de análise geoestatística. Para obtenção dos resultados, cadastrou-se noventa poços rasos e coletou-se a mesma quantidade de água para realização de análises químicas que determinou o teor de nitrogênio (N) na forma de nitrato (NO_3^-) presente nas águas. A Zona 3, sul, da cidade de Porto Velho é constituída por treze bairros, destes apenas três possuem parcialmente rede de água tratada e com sistema de abastecimento intermitente. 100% da Zona não dispõem de rede coletora de esgotos, o que leva a população local a construir poços rasos e fossas negras nas imediações de seus terrenos para suprir suas necessidades diárias com água e disposição dos efluentes domésticos. Para melhor entender o comportamento da pluma de contaminação no Aqüífero Livre onde está situada a Zona 3, optou-se pelo método da Krigagem Indicativa, devido o comportamento da variável nitrato apresentar distribuição espacial correlacionada. Os dados foram submetidos à análise variográfica e obteve-se a estimativa e a tendência de contaminação em um dado local não amostrado, originando-se então, dois variogramas: o primeiro foi para os valores até 3 mg/L de NO_3^-, onde esses valores foram ajustados para o nível de corte um (1), e os valores acima deste limite, ou seja, de 3 mg/L foram ajustados para o nível de corte zero (0). Resultou nos seguintes parâmetros: Efeito Pepita (Co) = 0,036, Patamar = 0,043 e o Alcance (a) = 1450, dando origem ao mapa de iso-probabilidade de risco de contaminação por nitrato (NO_3^-) até 3 mg/L. O segundo variograma foi para os valores acima de 10 mg/L de nitrato (NO_3^-), estes foram ajustados para o nível de corte zero (0), e os valores abaixo deste limite foram ajustados para o nível de corte um (1). Os parâmetros encontrados foram: Efeito pepita (Co) = 0,015; Patamar = 0,266 e o Alcance = 2000, dando origem ao mapa de iso-probabilidade de risco de contaminação por nitrato > que 10 mg/L. Esta pesquisa constatou o comprometimento da potabilidade em trinta dos noventa poços selecionados, ou seja, em 33% dos poços rasos analisados foram detectados teores de NO_3^- > ou muito próximo de 10 mg/L, que é o valor máximo permitido no Brasil, de acordo com a Portaria nº. 518 de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde, em águas para o consumo humano. Enquanto que, em 66% das amostras foram identificados teores > que 3 mg/L, segundo Bouchard *et al*. (1992, p. 87); Campos (2003, p. 2); Foster & Hirata (1993, p. 17) indica alteração química da água pelas atividades antropogênicas. O nitrato é importante traçador químico na qualidade da água, além de causar doenças pela presença dos vírus, bactérias e parasitas também é um agente potencialmente cancerígeno. A escolha pelo método da Krigagem Indicativa delimitou duas áreas anômalas com maior e menor contaminação dentro da Zona 3. Parte-se do princípio que o uso e a ocupação inadequada do solo, especificamente a ineficiência de saneamento básico local, estejam contribuindo para a contaminação das águas subterrâneas na cidade de Porto Velho.

Palavras Chave: Água Subterrânea. Nitrato. Krigagem Indicativa.

ABSTRACT

This study was carried out in the Area 3 of Porto Velho city (RO) urban area. Its objective was to evaluate the quality of the groundwater potentially impacted by nitrate (NO^-_3). It is a descriptive study with random sampling followed by geostatistics analysis. In order to obtain the results, it has been registered ninety shallow wells and the same amount of water samples have been collected to carry out the chemical analyses which have determined the tenor of nitrogen (N) in nitrate form (NO^-_3) in the waters. The Area 3, south, of Porto Velho, is composed by thirteen neighborhoods, of those only 3 possess a partially treated water system and with an intermittent supplying system. A hundred percent (100%) of the Area does not have a collecting sewerage system, what makes the local population to build shallow wells and black sewages around their lands to supply their daily needs with water and disposition of the domestic effluent. In order to understand the behavior of the contamination plume in the free groundwater where the Area 3 is placed, the Indicative Kriging method was used, due to the variable nitrate behavior present correlated space distribution. The data were submitted to the variographic analysis and the estimate and the contamination tendency in a certain local not shown were obtained, then resulting, two variograms: the first was regarding the values until 3 mg/L of NO^-_3, where those values were adjusted for the level of one cut (1), and the values over this limit, in other words, of 3 mg/L, were adjusted for the cut level zero (0). It was obtained the following parameters: Effect Nugget (Co) = 0,036, Landing = 0,043 and the Reach (a) = 1450, creating the map of iso-probability of contamination risk by nitrate (NO^-_3) until 3 mg/L. The second variogram was to the values above 10 mg/L of nitrate (NO^-_3), these were adjusted for the level of zero cut (0), and the values below this limit were adjusted for the cut level one (1). The parameters found were: Effect nugget (Co) = 0,015; Landing = 0,266 and the Reach = 2000, creating the map of iso-probability of contamination risk by nitrate > than 10 mg/L. This research have confirmed the potability compromising in thirty out of the ninety selected wells, in other words it was detected tenors of NO^-_3 > in 33% of the analyzed shallow wells or very close to 10 mg/L, which is the maximum value allowed in Brazil, according to the Regulation no. 518 of March 25th, 2004 of the Health Ministry about waters for human consumption. While, in 66% of the samples was identified tenors > than 3 mg/L, which according to Bouchard *et al*. (1992, p.87); Campos (2003; p.2); Foster & Hirata (1993, p.17) represents an indicative of water chemical alteration by the anthropogenic activities. The nitrate (NO^-_3) is an important chemical tracer of the water quality. Besides causing diseases because of virus presence, bacteria and parasites it is also a potentially cancerous agent. The choice for the Indicative Kriging method has delimited two anomalous areas with more and less contamination in the Area 3. It was concluded that the use and the inadequate soil occupation, specifically the local basic sanitation inefficiency are contributing to the groundwater contamination of the Area 3 in Porto Velho.

Key words: Groundwater. Nitrate. Indicative Kriging.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo apresentando a Zona 3 na cidade de Porto Velho. 9

Figura 2: Variação de domicílios particulares permanentes distribuídos por Zonas na cidade de Porto Velho..... 10

Figura 3: Espacialização da população residente na Zona 3 da cidade de Porto Velho..... 11

Figura 4: Foto de valões na Zona 3 (Sul) com proliferação de agentes patogênicos devido ao excesso de nutrientes. (Foto: jun./07 – Autora)..... 32

Figura 5: Poço raso nº. 82, situado na Rua Horós, onde se percebe as precárias condições de proteção (Foto: jun./07 - Autora)..... 14

Figura 6: Poço nº. 54 situado no Beco Fernando de Noronha, onde se percebe as precárias condições de higiene local, com a vala escoando a céu aberto e o poço localizado a jusante do fluxo subterrâneo (Foto: jun./07- Autora)..... 14

Figura 7: Tipo de aqüíferos quanto à pressão (BORGHETTI *et al*. 2004)..... 16

Figura 8: Ciclo parcial do nitrogênio. Adaptado de Freezer & Cherry (1979, p. 424)..... 20

Figura 9: Poço raso nº. 85, situado na Rua do Berimbau, destaque por apresentar revestimento e tampa de concreto. Um dos poços selecionados para a investigação (Foto: jun. /07 - Autora)..... 28

Figura 10: Localização de pontos amostrais..... 39

Figura 11: Semivariograma Experimental. Adaptado de Landim (apud AZEVEDO & VENEZIANI, 2005, p. 12)..... 41

Figura 12: Espacialização dos poços pesquisados na Zona 3 da cidade de Porto Velho..... 54

Figura 13: Histograma de teores de nitrato (NO_3^-) nas águas subterrâneas da Zona 3..... 55

Figura 14: Concentração média de nitrato (NO_3^-) mg/L na área de estudo..... 56

Figura 15: Variograma experimental, ajustado para o nível de corte 3 mg/L de (NO_3^-)..... 57

Figura 16: Variograma experimental, ajustado para o nível de corte 10 mg/L de (NO_3^-)..... 58

Figura 17: Mapa de iso-probabilidade de risco de contaminação por nitrato (NO_3^-) até 3 mg/L..... 60

Figura 18: Mapa de iso-probabilidade de risco de contaminação por nitrato (NO_3^-) maior que 10 mg/L..... 63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Atividades antrópicas como fontes de contaminação no aqüífero..... 17

Tabela 2: Dados cadastrais dos poços e teor de nitrato (NO_3^-) no bairro Caladinho..... 46

Tabela 3: Dados cadastrais dos poços e teor de nitrato (NO_3^-) no bairro Eletronorte..... 47

Tabela 4: Dados cadastrais dos poços e teor de nitrato (NO_3^-) no bairro Castanheira..... 48

Tabela 5: Dados cadastrais dos poços e teor de nitrato (NO_3^-) no bairro Cohab Floresta..... 49

Tabela 6: Dados cadastrais dos poços e teor de nitrato (NO_3^-) no bairro Nova Floresta..... 50

Tabela 7: Dados cadastrais dos poços e teor de nitrato (NO_3^-) no bairro Conceição..... 50

Tabela 8: Dados cadastrais dos poços e teor de nitrato (NO_3^-) no bairro Floresta..... 51

Tabela 9: Dados cadastrais dos poços e teor de nitrato (NO_3^-) no bairro Cidade Nova..... 51

Tabela 10: Dados cadastrais dos poços e teor de nitrato (NO_3^-) no bairro Cidade do Lobo..... 52

Tabela 11: Dados cadastrais dos poços e teor de nitrato (NO_3^-) no bairro Eldorado..... .. 52

Tabela 12: Dados cadastrais dos poços e teor de nitrato (NO_3^-) no bairro Novo Horizonte..... 53

Tabela 13: Dados cadastrais dos poços e teor de nitrato (NO_3^-) no bairro Areia Branca..... 53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABAS Associação Brasileira de Águas Subterrâneas

CAERD Companhia de Águas e Esgotos de Rondônia

CETESB Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental

CO_2 Gás Carbônico

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPA Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

Fe Ferro

FUNASA Fundação Nacional de Saúde

GPS Sistema de Posicionamento Global

$H_2N_2O_2$ Hiponitrito

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDE Índice de Dependência Espacial

Kg quilograma

m Metro

m^2 Metro quadrado

mm Milímetro

mg/L Miligrama por Litro

ml Mililitro

mg Miligrama

MS Ministério da Saúde

NH_3 Amônia

NH_4^+ Amônio

N Nitrogênio

N_2 Nitrogênio Molecular

NO_3^- Nitrato

NO Óxido Nítrico

N_2O Óxido de nitrogênio ou Nitroso

NO_2^- Nitrito

NHO_3 Acido Nítrico

nm Nanômetro

OMS Organização Mundial de Saúde

OPAS Organização Panamericana de Saúde

pH Potencial Hidrogeniônico

SEDAM Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental

UTM Universal Transversa de Mercator

UNESCO Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO..... 1

2 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO..... 7

2.1 Histórico do Município..... 7
2.1.1 Características do Meio Físico..... 12
2.2 Saneamento Básico Local 12

3 REVISÃO DA LITERATURA..... 15

3.1 Águas Subterrâneas..... 15
3.2 Influência Antrópica nas Águas Subterrâneas..... 17
3.3 O Ciclo do Nitrogênio..... 18
3.3.1 Amonificação..... 19
3.3.2 Nitrificação..... 19
3.3.3 Desnitrificação..... 20
3.4 Nitrato..... 21
3.5 Legislação da Qualidade da Água de Consumo no Brasil..... 21
3.6 Estudos Sobre o Nitrato Usando o Método da Krigagem..... 22
3.7 Geografia da Saúde..... 24

4 MATERIAIS E MÉTODOS..... 28

4.1 Tipo de Estudo..... 28
4.2 Procedimentos de Campo e Laboratório..... 28
4.3 O Método Geoestatístico..... 32
4.3.1 Geoestatística..... 32
4.3.2 Variáveis Regionalizadas..... 32
4.3.3 Objetivos da Geoestatística..... 33
4.3.4 Objetivos das Funções Aleatórias..... 33
4.3.4.1 Função Aleatória Estacionária..... 34
4.3.4.2 Estacionaridade de Segunda Ordem..... 35
4.3.4.3 Estacionaridade Intrínseca..... 38
4.3.5 Componentes Elementares para o Estudo Geoestatístico. 38
4.3.5.1 Extração de Dados..... 38
4.3.5.2 Modelagem e Análise de Continuidade Espacial 39
4.3.5.3 Validação do Modelo..... 42
4.3.6 Krigagem..... 42
4.3.6.1 Krigagem Ordinária..... 43
4.3.6.2 Estimativa da Distribuição de Probabilidade através da Krigagem Indicativa..... 43

5 RESULTADOS 46

5.1 Apresentação dos Resultados..... 46
5.2 Localização dos Poços..... 53
5.3 Análise Geoestatística..... 55
5.4 Krigagem Indicativa..... 56
5.5 Análise dos Semivariogramas..... 56

6 DISCUSSÃO..... 59

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... 65

REFERÊNCIAS..... 68

ANEXOS

Anexo A: Ficha Individual de Amostragem de Água..... 73
Anexo B: Boletim de Resultados de Análises..... 75

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, fala-se muito das atividades humanas causadoras de poluição ambiental nas áreas urbanas das cidades, principalmente, quando estas atividades se tornam uma ameaça de degradação dos recursos hídricos subterrâneos. Na cidade de Porto Velho, é comum a prática da explotação das águas subterrâneas, especialmente nos bairros periféricos, onde os serviços de saneamento básico são insuficientes.

Diante da acuidade que a água representa para o ecossistema, buscou-se estudar a qualidade das águas subterrâneas consumida pela população de Porto Velho.

Para Silva Filho (1993, p. 476), água subterrânea é definida como:

> Toda a água que corre no subsolo, nos poros, fissuras, fraturas e outros espaços vazios de dimensões milimétricas das rochas. A maior parte das águas subterrâneas origina-se de água da chuva, a qual se infiltra através da zona insaturada [...]. Durante este processo, a composição da água é constantemente modificada pelas interações com os constituintes minerais do solo e das rochas, que podem ser influenciados por três fatores: deposição atmosférica, processos químicos de dissolução e/ou hidrólise no aqüífero e mistura com esgoto e/ou águas salinas por intrusão.

As alterações nas propriedades físico-químicas das águas dos aqüíferos resultam das condições físicas do ambiente e das atividades antropogênicas sobre ele, refletindo, muitas vezes, na qualidade das águas.

A água subterrânea é utilizada, constantemente, para o abastecimento humano em quase todas as partes do mundo (FEITOSA & FILHO, 2000, p.7).

Segundo estimativas da UNESCO (apud FEITOSA & FILHO, 2000, p. 6), no período de 1970 a 1995, foram perfurados cerca de trezentos milhões de poços para o abastecimento de 50% da população mundial. Tal fato evidencia a importância das águas subterrâneas no suprimento diário das populações mundiais.

Hirata *et al.* (1997, p. 1) avaliaram que a utilização das águas subterrâneas no Brasil aumentaria em decorrência da concentração demográfica e da expansão econômica, devido às suas vantagens qualitativas sobre as águas superficiais. A lógica desta demanda influenciou diretamente na sua qualidade e, conseqüentemente, na saúde das populações, uma vez que estes mananciais se encontram degradados.

Atualmente, no Brasil, o aqüífero subterrâneo abastece 6.976.877 domicílios (16% do total) e, destes, 68,78% estão localizados na área rural, abrangendo 11,94% de toda a população nacional (IBGE, 2004). Percebe-se que as afirmações de Hirata *et al*. (1997, p. 1) procederam-se em um curto espaço de tempo, uma década.

No Estado de Rondônia, as águas subterrâneas também representam um importante recurso no abastecimento humano. Do total da água que a Companhia de Águas e Esgotos de

Rondônia (CAERD) produz, 35% é originada do manancial subterrâneo (CAERD, 2006, p.18). A elevada preferência por esta forma de captação ocorre em virtude da acessibilidade, da água subterrânea, dentro da área urbana, onde estão localizados os bairros mais afastados das Estações de Tratamento de Água (ETA) e dos reservatórios de água I, II e III administrados pela concessionária dos serviços de saneamento básico.

A distribuição de água tratada abrange 67% da população residente na área urbana de Porto Velho (CAERD, 2006, p.18), porém as áreas periféricas da cidade, representando aproximadamente 33%, são abastecidas por fontes alternativas. Em maior destaque estão as águas subterrâneas obtidas de poços escavados pelos próprios moradores.

A água subterrânea, por se tratar de uma alternativa de baixo custo, é acessível a todos, especialmente à população de baixa renda, tanto na complementação diária como na substituição total da água fornecida pelo serviço público (CAMPOS, 2003, p. 133).

Outro aspecto que se pontua pela ineficiência de serviços de saneamento básico em Porto Velho, é a falta de esgotamento sanitário na área urbana. A ineficiência desses serviços obriga a população local, construir fossas negras e sépticas para deposição de efluentes dentro das imediações de seus terrenos (MELO JUNIOR *et al.*, 2006, p. 2), que, na prática, contamina as águas subterrâneas. Possibilitando conseqüências drásticas e influência negativa na vida das pessoas.

Nesta perspectiva, objetivou-se avaliar a qualidade das águas subterrâneas potencialmente impactadas por nitrato (NO_3^-) na Zona 3 da cidade de Porto Velho - Rondônia, sob a ótica da Geografia da Saúde. Como objetivos específicos, foram definidos os seguintes: cadastrar poços rasos na área de estudo para realização da análise química do nitrato (NO_3^-); mapear as áreas de isoconcentrações de nitrato (NO_3^-) no Aqüífero Livre da Zona 3; identificar áreas de isoprobabilidade de contaminação por nitrato (NO_3^-); e, avaliar a qualidade das águas subterrâneas na Zona estudada.

Este estudo originou-se de uma realidade local semelhante os demais Estados brasileiros. Segundo dados do IBGE (2004), 41% da população brasileira, aproximadamente 69 milhões de pessoas, utilizam fossas rudimentares ou não possuem qualquer sistema de saneamento e somente 32% estão conectadas devidamente à rede de esgotos. Este procedimento se manifesta na deposição inadequada dos efluentes, os quais, muitas vezes, diretamente no aqüífero.

Na região norte do Brasil, a situação é ainda mais grave. Somente 6% dos municípios possuem rede coletora de esgotos sanitários e 54,6% possuem rede de distribuição de água tratada (IBGE, 2004). Em Porto Velho, a rede coletora de esgoto sanitário é quase inexistente, totalizando 3% da área total da cidade (CAERD, 2006, p. 18). Este percentual baixo de resíduos coletados é lançado *in natura* no leito do rio Madeira, principal bacia hidrográfica do Estado.

De modo geral, a água subterrânea não contribui apenas para o abastecimento dos bairros periféricos desprovidos de água tratada, mas abrange um universo muito maior. Na cidade de Porto Velho, conforme dados da CAERD, no primeiro trimestre do ano de 2006, do total de domicílios que eram abastecidos com água tratada, 46% encontravam-se desligados da rede geral de distribuição, em especial os grandes consumidores (apartamentos, vilas, padarias, restaurantes e hotéis), que, pela média mensal do consumo, abastecem grande quantidade de pessoas.

Esses desligamentos da rede geral foram efetuados a pedido do consumidor ou pela concessionária prestadora do serviço, devido à falta de pagamento da fatura mensal. Salienta-se, que cerca de 70% destes domicílios eram abastecidos com água de poços e 30% conectados clandestinamente à rede geral de água. Percebe-se, então, que a água subterrânea é constantemente utilizada pela população de Porto Velho, tanto nos locais que dispõem de redes de água tratada como nos locais desprovidos deste serviço.

Na visão de Campos (2003, p. 133), o potencial hídrico subterrâneo na Amazônia ainda é pouco conhecido e tem importante contribuição no abastecimento humano, embora sua utilização seja feita de forma não planejada e sem conhecimento adequado das suas potencialidades e qualidades.

Em Porto Velho, parte integrante da região Amazônica, estudos sobre agentes causadores de contaminação nas águas subterrâneas vêm ocorrendo de forma lenta. Neste estudo foi construído um banco de dados com informações a esse respeito.

Para Alaburda & Nishihara (1998, p. 161):

> Praticamente todas as atividades humanas apresentam algum risco de poluição ambiental, muitas vezes, transformam-se em fontes de contaminação das águas subterrâneas. Dentre as substâncias que podem constituir risco para a saúde humana, incluem-se os compostos de nitrogênio nos seus diferentes estados de oxidação: nitrogênio amoniacal e albuminóide, nitrito e nitrato.

O abastecimento de água, seja ele público ou particular, pode ter a sua qualidade comprometida pela falta de esgoto sanitário nas áreas urbanas, onde estão presentes diferentes substâncias, sejam elas de origem natural ou antropogênica. Sendo assim, este estudo enfocou o agente químico nitrato, originado do nitrogênio nas águas subterrâneas da Zona 3 (sul) da cidade de Porto Velho.

Segundo Freeze & Cherry (1979, p. 424):

> O nitrato ocorre naturalmente em águas subterrâneas, mas a sua presença em concentrações elevadas é resultante de atividades humanas, principalmente ao uso de sistemas de saneamento *in situ* as substâncias nitrogenadas dos resíduos orgânicos são oxidadas por reações químicas e biológicas e o resultado é a presença de nitrato no solo.

O nitrato é extremamente solúvel na água e pode se mover facilmente, contaminando o aqüífero a longa distância, devido a sua persistência e mobilidade (FREEZE & CHERRY, 1979,

p. 424). Uma vez presente no solo, ou diretamente na água, tem muita facilidade de contaminar as águas subterrâneas.

Está regulamentado na Legislação Federal, Portaria nº. 518/2004 do Ministério da Saúde e da Organização Mundial de Saúde (OMS), que dispõe sobre o sistema de abastecimento de água, público ou individual, que a água contendo concentrações superiores a 10 mg/L de nitrogênio (N), na forma de nitrato (NO_3^-), é imprópria para o consumo humano.

No que concerne à saúde humana, Petta *et al*., (2006, p. 192) afirma que:

> A água conduz muitos constituintes químicos que são facilmente absorvidos pelas células. Alguns desses constituintes são benéficos e essenciais à vida outros propiciam toxidade, dependendo das concentrações na água, porém o íon nitrato, embora seja pouco tóxico, representa uma fonte de periculosidade à saúde humana, [...] a intoxicação acontece por ingestão de água com este constituinte durante longo tempo.

Pesquisas relacionadas ao consumo de água com presença de nitrato se intensificaram em todas as partes do mundo, a partir da década de 70 do século passado. Packham (apud SILVA & ARAÚJO, 2003, p. 1027) relata que, aproximadamente mais de 2.000 casos de metahemoglobinemia, com casos fatais em torno de 8%, foram descritos na literatura até 1970 e, cita ainda, a existência de diversos estudos relacionando níveis elevados de nitrato em água de poços com incidência de câncer gástrico.

Shuval & Gruener (1972, p. 1045) analisaram amostras de sangue de 2.473 crianças residentes em áreas cujas águas obtinham elevados teores de nitrato (50 - 90 mg/L) e não encontraram diferença em relação àquelas de regiões com águas com baixo nível de nitrato (5 mg/L). A explicação sugerida pelos autores foi que apenas 6% das crianças consumiam apreciável quantidade de água, usada no preparo do leite em pó. As restantes eram alimentadas pelas mães ou consumiam leite de vaca. Em paralelo, 87% das crianças eram administrados alimentos ricos em vitamina C, que atuam como redutores da metahemoglobina.

A primeira pesquisa de maior impacto no Brasil sobre contaminação em crianças por consumo de água com nitrato foi elaborada por Fernícola & Azevedo (1981, p. 243). No Estado de São Paulo, verificaram os níveis de metahemoglobina em cento e dezesseis crianças e constataram que as consumidoras de água com teores de nitrato superiores a 10 mg/L apresentaram alterações na metahemoglobina.

Para Fernícola & Azevedo (1981, p. 243) a função biológica da hemoglobina é o transporte do oxigênio aos tecidos. Na sua molécula existem quatro átomos de ferro no estado de oxidação 2+. Sua forma oxidada (Fe 3+) é a metahemoglobina, um pigmento de cor marron-esverdeada que não transporta oxigênio. Portanto, a presença de metahemoglobina em quantidades elevadas é incompatível com a vida. Os eritrócitos contêm normalmente pequenas quantidades de metahemoglobina resultantes da oxidação espontânea. Desta forma, eles dispõem

de dois sistemas enzimáticos que reduzem a metahemoglobina à hemoglobina: diaforase I e II. As crianças são mais susceptíveis que os adultos à formação de metahemoglobina, devido a fatores como: (a) sua ingestão total de líquidos por Kg de peso corporal é cerca de três vezes maior que a do adulto; (b) a secreção gástrica ácida é incompleta e faz com que o pH estomacal fique entre 5 e 7, o que permite a adaptação de bactérias redutoras de NO_3^- à parte alta do trato gastrintestinal e o NO_2^- resultante é absorvido; (c) a hemoglobina fetal (hemoglobina F) é mais facilmente convertida à metahemoglobina do que a adulta (hemoglobina A) e as crianças têm consideráveis quantidades da hemoglobina F; e, por deficiência de algumas enzimas, têm maiores dificuldades para reduzir a metahemoglobina.

Segundo Bouchard *et al*. (1992, p. 85), estudos realizados na Austrália e Canadá, mostraram um aumento significante de malformação congênita associada à ingestão de água com concentrações elevadas de nitrato. Há um forte indício de que este composto consumido por longo tempo esteja contribuindo para o aparecimento de malformações.

Preocupados com os riscos que as populações, principalmente as crianças e idosos, poderiam estar expostas, Alaburda & Nishihara (1998, p. 163) investigaram os compostos do nitrogênio em seiscentos e sete amostras de água de poços na região metropolitana de São Paulo. Detectaram em 15% das amostras de água pelo menos uma forma de nitrogênio acima do limite máximo permissível para água de consumo.

Foi constatado um aumento de casos de linfoma do tipo não-Hodgkin em pessoas que consomem água com níveis elevados de nitrato em algumas comunidades do Nebraska (BAIRD, 2002, p. 461). Investigações epidemiológicas vêm ocorrendo neste sentido, porém não se pode estabelecer uma relação positiva estatisticamente entre os níveis de nitrato nas águas e a incidência de câncer.

O que se pretende nesta pesquisa não é causar pânico na população que utiliza a água subterrânea como suprimento diário, e sim despertar a atenção, para que o estudo da degradação ambiental não seja realizado apenas sob o ponto de vista físico, e sim que possa ser entendido de forma interada e holística, levando em conta as relações existentes entre a degradação e a qualidade de vida da população causadora da mesma.

Na concepção de Guerra & Cunha (1996, p. 337), ao mesmo tempo em que essas populações sofrem os efeitos adversos da degradação, também procuram reconstituir as áreas degradadas. No entanto, este estudo da investigação do nitrato nas águas subterrâneas vem reforçar esta concepção: dependendo da forma que o Homem se relaciona com o meio, ele contribui ou não para sua degradação.

Na reflexão de Moraes (1997, p. 86), o ambiente não se homogeneíza num só alvo de ações; antes, se difunde como faceta inerente a todo ato de produzir espaço. Neste prisma,

natureza e espaço não intercambiam somente em um pleito de cumplicidade. O espaço natural não existe somente para ser explorado. Bem mais que isso, para Santos (1999, p. 53), o homem e a natureza convivem na condição de sinônimos.

Portanto, fenômenos como a fome, a sede e as epidemias constituem injunções focadas no que habita seu cerne que são as relações mantidas entre o homem e o meio natural. Santos (1997, p. 43) denominou natureza hostil quando a natureza deixa de ser amiga do homem, através de seus efeitos catastróficos, com agravos a saúde física e mental das populações. Percebe-se que esta interação homem-meio sem planejamento origina uma situação de conflito, principalmente sobre os recursos hídricos, pela importância que tem a água na saúde humana.

Para a investigação do nitrato no Aqüífero Livre da Zona 3 de Porto Velho foram cadastrados noventa poços rasos seguidos de análises químicas das águas para medição do teor de nitrato em espectrofotometria e, através do método da Krigagem[1], definiram-se áreas anômalas e a potabilidade da mesma. A escolha pelo nitrato levou em conta a relativa facilidade do método, o baixo custo financeiro para a realização das análises e, principalmente, pela habilidade deste constituinte demonstrar as nefastas influências da contaminação do aqüífero e causar doenças nas populações consumidoras de água contaminada.

[1] Krigagem é um processo de estimativa de valores de variáveis distribuídas no espaço e/ou no tempo a partir de valores adjacentes enquanto considerados como interdependentes pelo semivariograma (LANDIM, 2003, p.184).

2 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 Histórico do Município

O município de Porto Velho está localizado na região noroeste do Estado de Rondônia. Foi influenciado, principalmente, pela a construção da Ferrovia Madeira-Mamoré (1907-1912), e teve sua ocupação iniciada em uma pequena porção da margem direita do rio Madeira (SILVA, 1991).

Observam-se três principais períodos de ocupação e povoamento no território, os quais refletem, atualmente, sua configuração territorial.

O primeiro período foi o povoamento pela economia da borracha, durante a Segunda Guerra Mundial, motivado pela demanda das Forças Aliadas e coincide com a criação, pelo presidente Getúlio Vargas, de uma nova unidade político administrativa, ou seja, os Territórios Federais. O segundo período de ocupação teve início com a criação do Território Federal do Guaporé, quando uma nova leva de imigrantes, em grande parte nordestinos, chegaram através do rio Madeira.

Para conter o êxodo da população, principalmente rural, resultante da decadência da borracha, o governo do território do Guaporé, começou a desenvolver as primeiras experiências de colonização do futuro Estado de Rondônia.

O impacto da mineração e a diminuição do preço internacional da borracha foram decisivos na decadência da exploração da borracha.

O terceiro e último período de colonização se expandiu com o advento da colonização agrícola técnico-territorial. Tendo iniciado na década de 1960, desenvolveu-se no final dos anos 70 e abriu nova fronteira agrícola no então Território Federal de Rondônia.

Desenvolveu-se com a abertura da Rodovia BR-364 e com a riqueza produzida pela exploração da cassiterita (minério do estanho) e de ouro no rio Madeira. Dados do IBGE registram que nos anos 60, a imigração contribuiu com cerca de vinte e três mil pessoas, das quais doze mil e oitocentos procediam da própria Amazônia e os demais da região nordeste do Brasil. (PARAGUASSU-CHAVES, 2001, p. 107).

Um dos motivos da grande migração populacional, deslocada para Rondônia, teve como meio ocupar e desenvolver a região, segundo os princípios da segurança nacional vigentes. Também contribuiu para aliviar as tensões fundiárias, principalmente nos Estados do Sul, por meio de transferência de grandes contingentes populacionais para o novo “Eldorado”.

O efeito imediato foi a rápida e desordenada formação de aglomerados urbanos e a ocupação efetiva do Estado. Quase um milhão de pessoas migrou para Rondônia. Porto Velho evoluiu, rapidamente, de noventa mil para trezentos mil habitantes.

Esta migração intensa provocou um explosivo crescimento da cidade, particularmente na década de 80. Hoje, a urbe demonstra as implicações decorrentes desse crescimento desordenado. Os bairros periféricos são uns aglomerados de casebres de madeira, sem ordenação ou infra-estrutura, capaz de oferecer qualidade digna de moradia aos habitantes. Em grande parte resultam de invasões de terras ainda ocupadas, por parte de uma população sem teto, que chegou a Porto Velho num ritmo não acompanhado pelas instituições públicas.

Como exemplos, citam os nomes de alguns bairros que expressam bem as condições de sua criação: Eletronorte, Novo Horizonte, Jardim Bela Vista, Nova Floresta, Eldorado, Esperança da Comunidade, Cidade do Lobo, Caladinho, Cidade Nova, Pantanal, Tancredo Neves e Socialista.

Apenas o centro da cidade apresenta uma herança dos desbravadores e possui características de urbanização definidas. Os bairros que se interpõe entre o centro e as periferias mostram bem a realidade do local. Ruas ainda por asfaltar e sem calçadas, rede de distribuição de água tratada incompletas, esgotos inexistente e casebres de madeira ao lado de suntuosas residências.

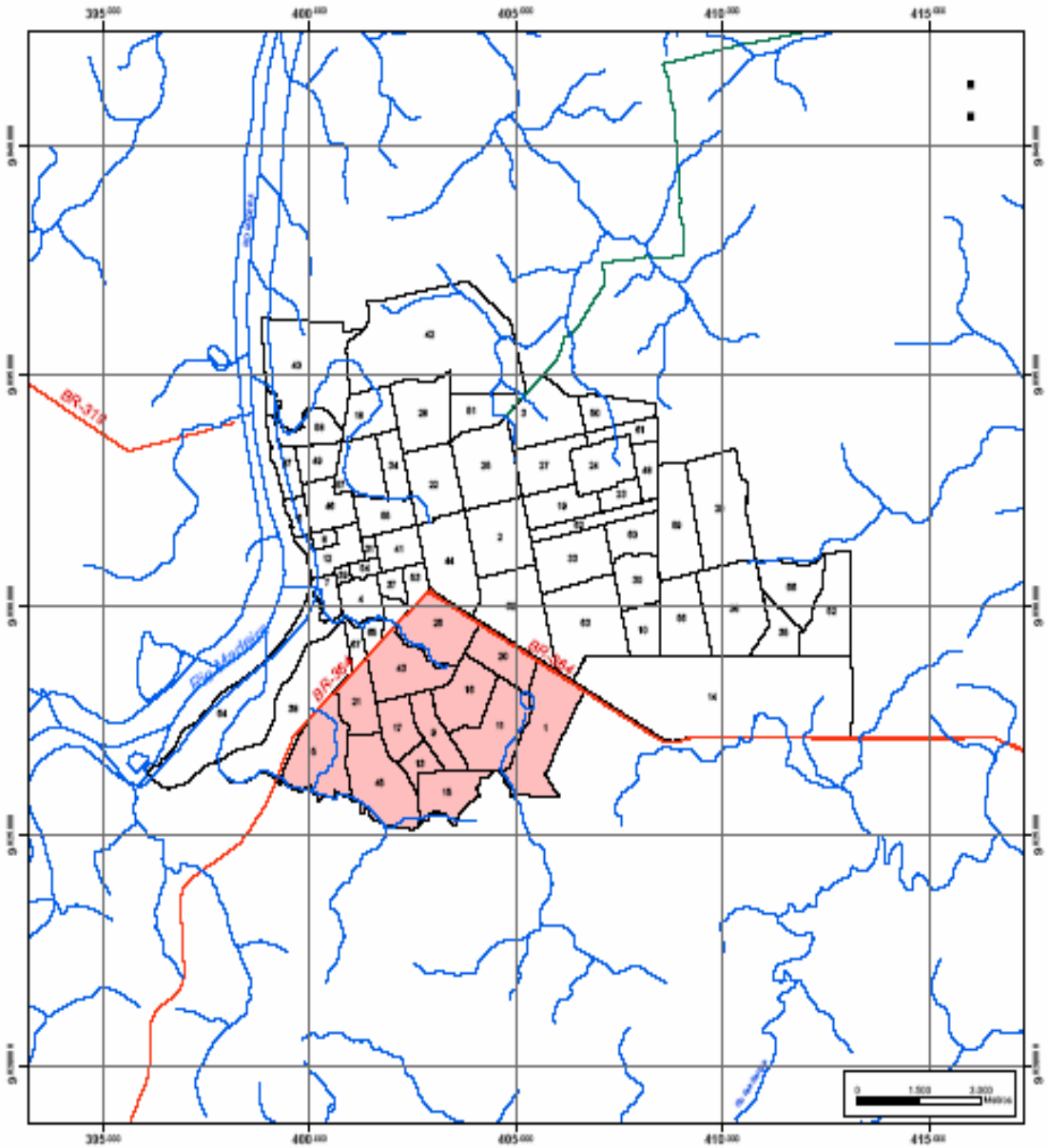
A redução na taxa de crescimento demográfico da década atual tem permitido que os moradores e os órgãos públicos implementem melhorias que já são visíveis, principalmente, nas políticas urbanas de infra-estrutura da cidade de Porto Velho (MENEZES, 1990).

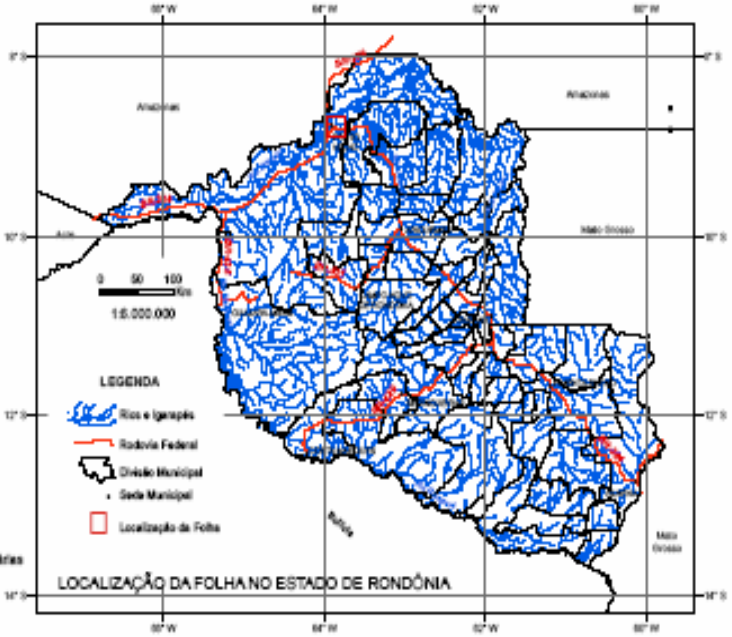
A área urbana da cidade é dividida em quatro Zonas administrativas: Zona 1, parte Oeste da cidade; Zona 2, parte Norte da cidade; Zona 3, parte Sul da cidade; e, Zona 4, parte Leste da cidade**,** conforme classificação do IBGE (2000).

Este estudo foi desenvolvido na Zona 3, abrangendo toda a parte Sul da cidade. Esta, encontra-se entre as latitudes Sul, 8º 46’30” e 8º 49’00” e longitude Oeste 63º 54’25” e 63º 51’35”, compreendendo uma área urbana de 19,44 Km².

Sua principal via de acesso é através da rodovia BR-364. Ao norte, limita-se com a BR 364; ao sul e leste, limita-se com a área urbana; e, a oeste, limita-se com a área do 5º BEC.

Na Figura 1, encontra-se a localização da cidade de Porto Velho em destaque a Zona 3, local do estudo. A área é constituída por treze bairros denominados de: Nova Floresta, Floresta, Eldorado, Aeroclube, Cohab Floresta, Castanheira, Caladinho, Novo Horizonte, Conceição, Cidade do Lobo, Cidade Nova, Eletronorte e Areia Branca.



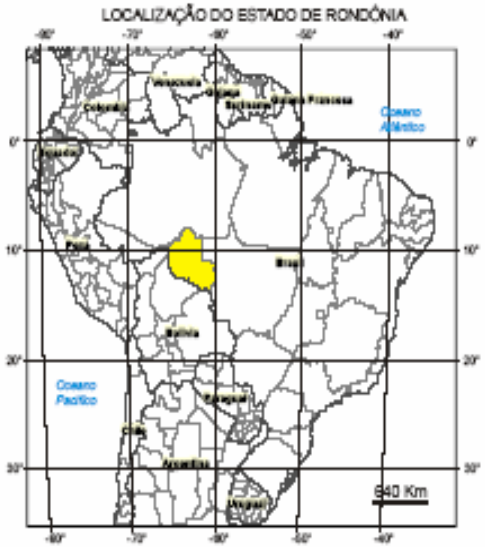


LEGENDA

- Rios e Igarapés
- Rodovia Federal
- Estradas Secundárias
- Área de Estudo

BAIRROS

1	Aeroclube	35	Marcos Freire
2	Ag de Carvalho	36	Mariana
3	Aponiã	37	Mato Grosso
4	Areal	38	Militar
5	Areia Branca	39	Mocambo
6	Arigolândia	40	Nacional
7	Baixa do Linão	41	Nossa Senh. Das Graças
8	Caiari	42	Nova Esperança
9	Caladinho	43	Nova Floresta
10	Caladinho	44	Nova Porto velho
11	Castanheira	45	Novo Horizonte
12	Centro	46	Olaria
13	Cidade do Lobo	47	Pensir
14	Cidade Jardim	48	Pentaval
15	Cidade Nova	49	Pedrinhas
16	Cohab Floresta	50	Planalto
17	Conceição	51	Rio Madeira
18	Costa e Silva	52	Rosalito Angelo
19	Cuniã	53	Roque
20	Igarapé	54	Santo Antônio
21	Igarapé	55	São Cristóvão
22	Embratel	56	São Francisco
23	Escola de Polícia	57	São João Bosco
24	Esp. de comunidade	58	São Sebastião
25	Flodoaldo Pontes Pinto	59	Socialista
26	Floresta	60	Tancredo Neves
27	Igarapé	61	Teixeirão
28	Industrial	62	Triadelfia
29	Jardim Santana	63	Três Marias
30	Juscelino Kubitschek	64	Triângulo
31	Kiri	65	Tucumanzal
32	Lagos	66	Ulysses Guimarães
33	Lagoinha	67	Vila Tupy
34	Liberdade		



Fonte: Base Cartográfica elaborada a partir da folha PORTO VELHO, S.C.20-V-B-V, MI. 1302, DSG 1980. Todos os dados e montagem temática foram georreferenciados no Software Global Mapper 8.0, SPRING 4.3 (INPE) e Mapinfo 3.6 (Mapinfo).

Figura 1 - Localização da área de estudo apresentando a Zona 3 na cidade de Porto Velho.

A Zona 3 foi a escolhida para o estudo devido aos menores índices de distribuição de água tratada e inexistência de rede coletora de esgotos.

A Figura 2 demonstra que a Zona 3 possui 19.033 domicílios particulares permanentes, onde vivem aproximadamente 77.155 habitantes (IBGE, 2000), distribuídos em treze bairros, conforme expressa a Figura 3.

Os bairros mais populosos dentro da Zona 3 são, Castanheira, Nova Floresta e Caladinho e os menos populosos são os bairros Conceição, Areia Branca, Novo Horizonte e Aeroclube.

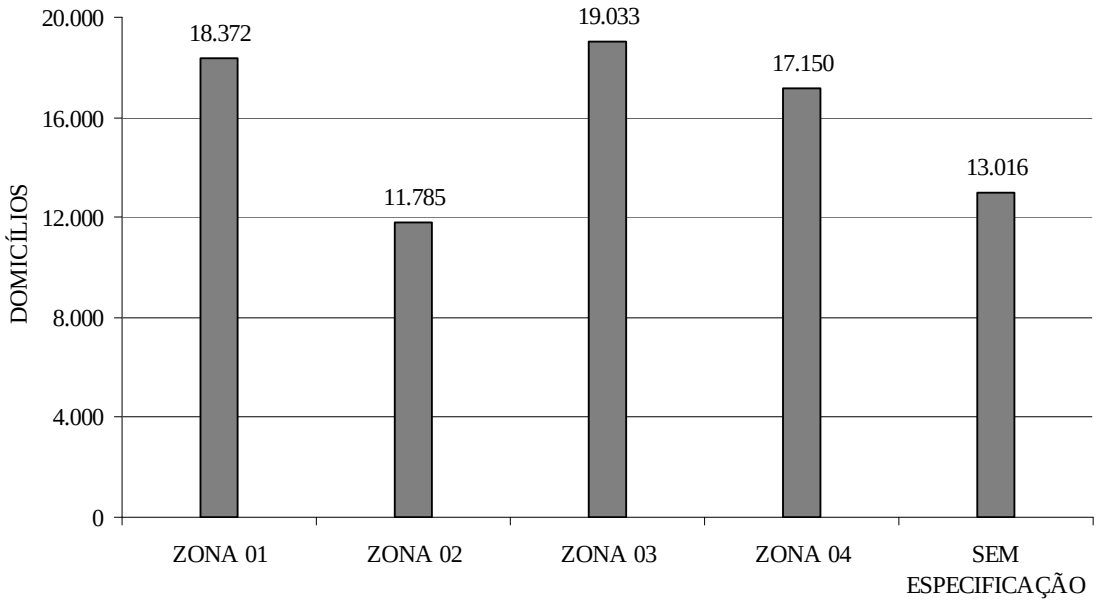
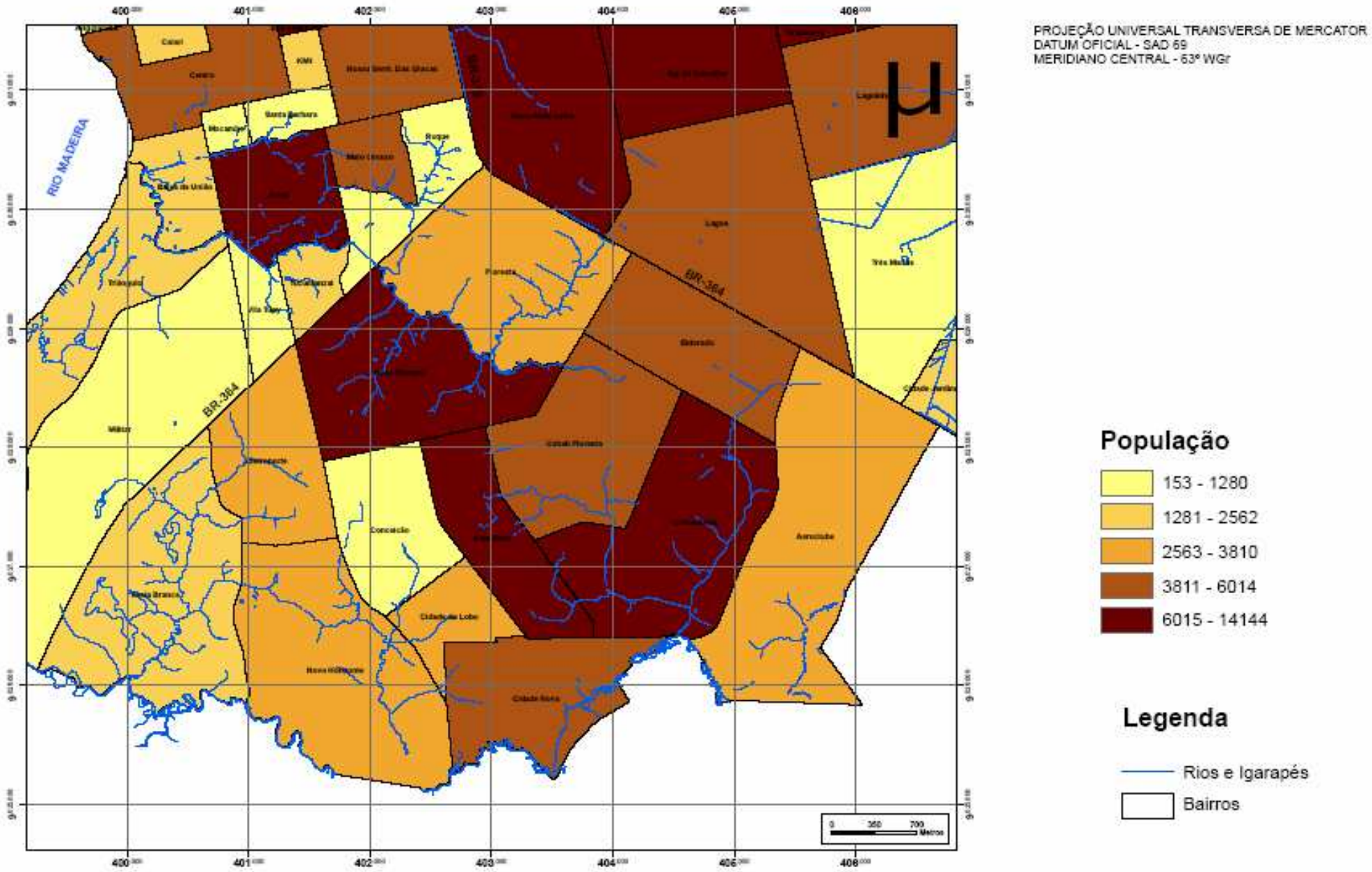


Figura 2: Variação de domicílios particulares permanentes distribuídos por Zonas na cidade de Porto Velho. Fonte: Gráfico construído com base nos dados da tabela 3.3.6.1 do Censo Demográfico do IBGE de 2000. Adaptado pela Autora.

Nas Zonas 1 e 2, estão a área central e a parte Norte da cidade, respectivamente. Essas Zonas são abastecidas com água tratada. Na Zona 4, existem alguns setores e quadras que não estão sendo abastecidos, mas, em geral, a população é atendida. Na Zona 3, somente cerca de 20% da área é atendida com rede de distribuição de água tratada.

Conforme expresso na Figura 3, a maior porção da população da cidade de Porto Velho está condicionada ao uso da água subterrânea oriunda de poço para consumo diário e à prática do saneamento *in situ*, causados pela inexistência de rede coletora de esgoto e insuficiência na distribuição de água tratada pelo serviço público no local.

Figura 3: Espacialização da população residente na Zona 3 da Cidade de Porto Velho



Fonte: IBGE, 2000.

2.1.1 Características do Meio Físico

Na geologia local predomina a Formação Jaciparaná, de idade pleistocênica colúvio-aluvionar, além de lateritos imaturos. A Formação Jaciparaná é o principal aqüífero fornecedor de água subterrânea para a população local; seus sedimentos possuem espessuras da ordem de 50 metros, podendo chegar a mais de 80 metros, localmente (ADAMY & ROMANINI, 1990, 44).

Segundo Morais (1998, p. 7):

> [...] estes pacotes sedimentares são bastante heterogêneos e os principais aqüíferos são constituídos por lentes arenosas que podem chegar a mais de 10 metros de espessura, mas geralmente encontram-se em torno de 5 metros. Isso ocorre devido à ocorrência de camadas argilosas nos primeiros metros do perfil desta unidade. Os aqüíferos são, geralmente, do tipo confinado a semiconfinado. As lentes arenosas possuem granulometria variando de fina a muito grossa chegando a conglomerado.

Nestas condições, a geologia local possibilita a construção de poços rasos, a baixo custo. Todos os poços cadastrados para o referido estudo são do tipo raso, também conhecido no local por cacimbas, com no máximo 12 metros de profundidade. Muitos moradores não constroem qualquer tipo de cobertura nos poços para evitar a entrada de agentes contaminantes. Para vedar a boca do poço utilizam com freqüências tábuas ou pedaços de madeiras. Em alguns domicílios há pequenas construções de alvenaria sobre ou próximo ao poço, como forma de proteger a bomba elétrica das variações climáticas ou da ação de vândalos (furtos).

A água captada além do abastecimento doméstico é também utilizada na irrigação de pequenas hortas particulares e para a dessedentação de animais domésticos (cachorro, gato e galinhas), na área em estudo.

O clima na cidade de Porto Velho, corresponde ao tipo quente e úmido, com extremos índices pluviométricos registrados entre 1600 mm e 2300 mm/ano. A temperatura média anual gira em torno de 26ºC e a umidade relativa média anual chegam a 85% (FERNANDES & GUIMARÃES, 2003, p. 35).

Conforme Morais (1998, p. 7), em Porto Velho, encontram-se Latossolos, Podzólicos, Concrecionários e solos Glei. Os latossolos, amplamente dominantes na área abrangida, são comumente bastante intemperizados. Possui uma boa drenagem, favorecendo o desenvolvimento dos sistemas radiculares. Porém, são ao mesmo tempo, resistentes à erosão.

2.2 Saneamento Básico Local

O abastecimento de água é feito para 20% dos domicílios através de rede geral de distribuição, em quadras alternadas e com abastecimento intermitente (CAERD, 2006) e, os 80% restantes, são abastecidos por poços construídos pelos próprios moradores. Na Zona 3, não possui rede coletora de esgotos. Estes são lançados diretamente no solo, em valas negras e em córregos que cortam a região. As características geológicas locais (material arenoso) favorecem

processos de infiltração das águas e de cargas contaminantes, oriundas do sistema séptico utilizado pela população local (Figura 4).

Figura 4: Foto de valões na Zona 3 (Sul) com proliferação de agentes patogênicos devido ao excesso de nutrientes. (Foto: jun./07 - Autora).

Os serviços de infra-estrutura oferecidos a esta Zona são incapazes de atender, a contento, sua população. Existe, nesta área, lançamento de efluente do segundo maior hospital público da cidade, além das fossas negras e sépticas, como possíveis fontes de compostos nitrogenados nas águas subterrâneas.

O esgoto do hospital localiza-se na porção norte da Zona 3, no bairro Nova Floresta, podendo fornecer vários tipos de compostos físicos, químicos e biológicos, cujas cargas podem atingir o aqüífero livre. Outra prática observada em alguns domicílios utilizados como amostra nesta pesquisa, onde é disponibilizada rede de água tratada, estes se encontravam factíveis, ou seja, desligados da rede geral de abastecimento público. Vários são os fatores que levam os moradores a optarem por usar a água do poço: a situação socioeconômica, a constante falta d'água devido ao abastecimento intermitente e o conhecimento técnico. Como a água apresenta

característica límpida, julgam ser de boa qualidade. Sem alternativa, a população local constrói poços rasos dentro das imediações de seus terrenos.

Muitos poços rasos apresentam construções bastante precárias, inadequadas, sem condições de proteção, podendo servir de caminho ou facilitar o aporte de contaminantes ao aqüífero. Na área em estudo alguns poços se apresentam com cobertura feita em tábuas (pedaços de madeira), outros totalmente desprotegidos e, ainda outros, ao lado de fossas.

Figura 5: Poço raso nº. 82, situado na Rua Horós, onde se percebe as precárias condições de proteção (Foto: jun./07- Autora).

Figura 6: Poço raso nº. 54 situado no Beco Fernando de Noronha, onde se percebe as precárias condições de higiene local, com a vala escoando a céu aberto e o poço localizado a jusante do fluxo subterrâneo (Foto: jun./07- Autora).

No cenário atual da Zona 3, a situação observada nas Figuras 5 e 6, retratam o modo de organização dos moradores, tornou-se natural a combinação de poço e fossa, não se percebem em escala menor ou maior a gravidade da situação. Em todos os bairros, a situação é semelhante, inclusive, nos locais onde passam rede de distribuição de água tratada.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Águas Subterrâneas

A seguir, encontram-se as considerações de alguns autores, para melhor compreensão dos termos utilizados no texto, tais como: água subterrânea, aqüífero livre e aqüífero confinado. Um dos conceitos comumente aplicados ao termo água subterrânea é o descrito por Amaral & Leinz (2003, p. 77):

> Água subterrânea é formada por parte da água da precipitação atmosférica que se infiltra no solo formando a zona saturada e a zona insaturada. Essas duas camadas de água encontram-se separadas pelo lençol freático, cuja profundidade varia com as mudanças climáticas, a topografia da região e com a permeabilidade das rochas. A zona inferior é denominada zona de saturação porque todos os poros e interstícios da rocha se encontram saturados de água.

Estudos demonstram que, desde a antiguidade, a água subterrânea é aproveitada pelo homem. No entanto, a compreensão de sua ocorrência e de seu movimento só foi estabelecida completamente durante o séc. XVIII. Segundo Guiguer (2000, p. 8) a água subterrânea:

> Se encontra nos espaços vazios do solo, estes por suas vez são constituídos por uma variedade de sólidos e por diferentes concentrações de água e ar (ou vapor). Os sólidos do solo são formados por proporções variáveis de minerais inorgânicos e materiais orgânicos húmicos. O termo água do solo se refere à água que se encontra em espaços sólidos do solo ou entre eles.

Para Borghetti *et al*. (2004, p. 6) a água subterrânea deve ser compreendida como:

> Toda a água que ocorre abaixo da superfície da terra, preenchendo os poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares, ou as fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas, e que sendo submetida a duas forças (de adesão e de gravidade) desempenha um papel essencial na manutenção na umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos. As águas subterrâneas cumprem uma fase do ciclo hidrológico, uma vez que constituem uma parcela da água precipitada.

De forma geral as águas subterrâneas estão contidas nos solos e formações geológicas permeáveis denominadas aqüíferos. Este pode ser classificado de acordo com a pressão das águas nas suas superfícies limítrofes e também em função da capacidade de transmissão de água das respectivas camadas limítrofes: camada confinante superior e inferior (FEITOSA & FILHO, 2000, p. 23).

Aqüífero também é caracterizado como sendo, somente, o material geológico capaz de servir de depositório e transmissor de água nele armazenada. Assim, uma litologia só será aqüífera se, além de ter seus poros saturados (cheios) de água, permitir a fácil transmissão da água armazenada, ou seja, quando a quantidade é significativa a ponto de permitir a sua extração econômica.

Em Porto Velho, o Aqüífero Livre Jaciparaná, possui os poros saturados (cheios de água), permitindo a fácil explotação.

Segundo Rebouças *et al*. (1999, p. 72), um aqüífero pode ter extensão de poucos quilômetros quadrados a milhares de quilômetros quadrados ou pode também apresentar espessuras de poucos metros a centenas de metros (etimologicamente aqüífero significa: aqui = água; fero = transfere; ou do grego, suporte de água).

Ainda para melhor compreensão dos conceitos sobre a água subterrânea, o aqüífero livre ou freático:

> [...] é constituído por uma formação geológica permeável e superficial, totalmente aflorante em toda a sua extensão e limitado na base por uma camada impermeável. A superfície superior da zona saturada está em equilíbrio com a pressão atmosférica, com a qual se comunica livremente. Os aqüíferos livres têm a chamada recarga direta. O nível da água varia segundo a quantidade da chuva e são parcialmente saturados de água. (BORGHETTI *et al*., 2004, p. 10).

Porém, elucida-se o entendimento de que os aqüíferos livres são os mais comuns e mais explorados pela população. Nestes ambientes os riscos de contaminação são maiores quando comparados aos aqüíferos confinados, onde sua formação geológica é permeável e completamente saturada de água.

Segundo Amaral & Leinz (2003, p. 79), o aqüífero confinado é limitado, no topo e na base, por camadas relativamente impermeáveis, caso uma das superfícies de confinamento do aqüífero seja semipermeável, este é considerado um aqüífero semiconfinado, permitindo fluxos de entrada e saída de água por drenagem ascendente e descendente (Figura 7).

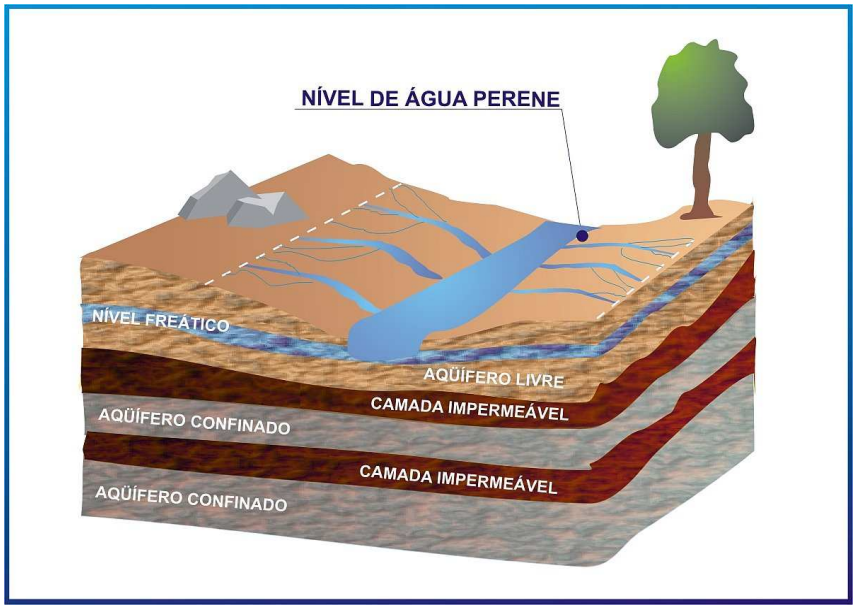


Figura 7: Tipo de aqüíferos quanto à pressão (BORGHETTI *et al*. 2004).

A camada do aqüífero livre ou freático é, portanto, a mais vulnerável, assim sendo, a gestão e planejamento das atividades sobre o aqüífero torna-se tarefa imprescindível, principalmente nas áreas urbanas, para minimizar os impactos sobre as águas subterrâneas.

3.2 Influência Antrópica nas Águas Subterrâneas

Atualmente, a poluição e a contaminação das águas subterrâneas são, tecnicamente, fáceis de serem detectadas. Acontece que, na maioria das vezes, a contaminação só é descoberta no momento em que substâncias nocivas aparecem nos reservatórios de água potável, quando a poluição já se espalhou sobre uma grande área.

As principais atividades antropogênicas, especialmente as de origens industriais, tornaram-se as fontes mais preocupantes de poluição das águas subterrâneas.

O esgoto é outra fonte importante de poluição das águas subterrâneas. Diariamente, cerca de dez bilhões de litros são lançados nos rios, lagos e no solo (HIRATA *et al.* 1997, p. 32). Ainda de acordo com estes autores, dependendo da extensão e localização dessas fontes, estas podem ser: pontuais, quando são de pequena escala e facilmente identificáveis, ou dispersas/difusas, quando são formadas por diversas fontes menores caoticamente distribuídas. A tabela 1 relaciona as principais fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas.

Tabela 1 - Atividades antrópicas como fontes de contaminação no aqüífero

Atividades	Fonte de Contaminação	Classificação
Urbana	Vazamento de tubulações de esgoto	Dispersa
	Lixiviação de aterros sanitários e lixões	Pontual
	Tanque de combustíveis enterrados	Pontual
	Drenos de rodovias	Pontual
	Inexistência de rede coletora de esgoto (saneamento *in situ*)	Dispersa
Industrial	Efluentes industriais não tratados	Pontual
	Derramamentos acidentais	Pontual
	Resíduos sólidos inadequadamente dispostos	Pontual
	Materiais em suspensão	Dispersa
	Vazamento de tubulações e tanques	Dispersa
Agrícola	Uso indiscriminado de defensivos agrícolas	Dispersa
	Irrigação utilizando águas residuais	Dispersa
	Lodos / resíduos	Pontual
	Benefícios agrícolas:	
	- Lagoas de efluentes	Pontual
	- Lançamento em superfície	Dispersa
Mineração	Desmonte hidráulico	Dispersa
	Descarga de água de drenagem	Dispersa
	Benefícios minerais:	
	- Lagoas de decantação / estabilização	Pontual
	-Lixiviação / solubilização de resíduos sólidos	Dispersa

Fonte: Hirata *et al*. (1997, p. 15).

Conforme esta classificação, o saneamento *in situ* é uma fonte dispersa de contaminação no aqüífero, que, uma vez lançado, contamina uma vasta área. Ou seja, de todas as atividades urbanas, os vazamentos de tubulações de esgotos e inexistência de rede coletora de esgoto são as fontes mais críticas, entre as atividades exercidas.

Segundo Finotti *et al.* (2001, p. 30), as reservas de água subterrâneas brasileiras já se encontram seriamente comprometidas. Através de estudos realizados em todas as partes do Brasil, percebe-se o significativo grau de contaminação encontrado nas águas subterrâneas, seja ela de origem urbana, industrial ou agrícola.

Na Zona 3 de Porto Velho, não existem cemitérios ou aterros sanitários; a maior preocupação são as fossas negras disseminadas de forma aleatória por toda a área. De acordo com Marquezam (2000, p. 32), quando identificada a degradação dos mananciais subterrâneos, ou parte deles, freqüentemente, já se encontram em tal estado de impactação que medidas reparadoras são ineficientes para depurá-los.

Na reflexão de Santos (1997, p. 44), este espaço transformado pelo homem deixa entrever, claramente, que se atingiu uma situação-limite, na qual o processo destrutivo da espécie humana pode tornar-se irreversível. Mesmo com a disposição de meios técnicos e científicos, o problema, muitas vezes, se apresenta com difícil solução.

Às águas que já se encontram contaminadas, implicam, sobretudo, identificar os constituintes presentes e a gravidade da contaminação para identificar as opções de medidas reparadoras, para que não haja perigo para a saúde humana e a biota local.

Conforme Arenzon (2004, p. 2):

> O princípio norteador é avaliar se determinado local está impactado ou não e se requer medidas reparadoras. Afinal, o que pode ser considerado um ambiente impactado? Um local contaminado pode ser qualquer ambiente onde a introdução de algum elemento ultrapasse a concentração original deste no ambiente. O desafio torna-se determinar qual a concentração original, o *background*.

Assim sendo, os meios técnicos e científicos disponíveis favorecem o desenvolvimento de estudos voltados para a análise ambiental no sentido geral, garantindo uma melhor interação homem-meio.

3.3 O Ciclo do Nitrogênio

O nitrogênio (N) é um elemento químico ametal de suma importância na composição de inúmeras moléculas orgânicas, como proteínas e ácidos nucléicos, que são essenciais aos seres vivos (ODUM, 1988, p. 112). Desta forma, o nitrogênio atua como um dos principais fatores limitantes à vida, participando de processos primários na dinâmica dos ecossistemas.

A maior parte do nitrogênio encontra-se na atmosfera, que é constituída de aproximadamente 78% de gás nitrogênio molecular (N_2) (ODUM, 1988, p. 112). O nitrogênio é

estável nestas condições e as formas oxidada em nitrato (NO_3^-) ou reduzida em amônia (NH_3) não são produzidas diretamente na atmosfera, mas formadas por meio de descargas elétricas ou pela ação das bactérias fixadoras de nitrogênio:

a) descargas elétricas são tempestades que ocorrem na alta atmosfera onde processos fotoquímicos transformam o nitrogênio atmosférico em compostos oxidados, que são carreados para a superfície terrestre através da precipitação (CHAPELLE, 2000, p. 118).

b) as bactérias fixadoras de nitrogênio podem ser de três tipos: *Rhizobium*, *Azotobacter* e as *Rhodospirillum*, responsáveis pela decomposição da matéria orgânica.

O ciclo do nitrogênio tem início com a sua fixação, constituindo moléculas orgânicas dos consumidores primários, secundários e, assim, sucessivamente entrando na cadeia alimentar. Portanto, o nitrogênio faz parte dos produtos finais de eliminação destes consumidores (fezes) e do protoplasma de organismos (tecidos). A decomposição da matéria orgânica como produto final de nitrato ocorre em várias etapas, descritas a seguir:

3.3.1 Amonificação

Esta é a etapa em que a matéria orgânica, presente nos dejetos de animais e nos tecidos de vegetais e animais mortos é, rapidamente, quebrada em compostos simples por bactérias saprófitas do solo e vários fungos.

Para Braga *et al*. (2002, p.38), o nitrogênio é incorporado em aminoácidos e proteínas utilizadas por esses microorganismos e o excesso é liberado sob a forma de íons amônio (NH_4^+) ou amônia (NH_3), processo denominado amonificação.

Esta é a primeira etapa do ciclo do nitrogênio na decomposição da matéria orgânica. Seguida pela nitrificação, considerada uma das fases mais importante do ciclo.

3.3.2 Nitrificação

Freeze & Cherry (1979, p. 424) definem nitrificação como um processo aeróbio gerador da degradação de substâncias orgânicas nitrogenadas, onde atuam as bactérias dos grupos Nitrosomonas, que oxidam o amônio a nitrito, e Nitrobacter, que oxidam o nitrito a nitrato. Os dois tipos de bactérias são organismos aeróbios.

A nitrificação depende da quantidade de oxigênio disponível e da matéria orgânica no solo, ocorrendo com maior facilidade nas zonas não-saturada e saturada rasa de água, onde tais condições são comumente propicias.

O nitrato é instável em ambientes oxidantes e não é adsorvido pelas partículas sólidas do solo. Assim, pode se mover livremente através do solo até atingir o aqüífero (HOUNSLOW, 1995, p. 78). O processo inverso à nitrificação é denominado desnitrificação.

3.3.3 Desnitrificação

Para Freeze & Cherry (1979, p. 424):

> A desnitrificação ocorre em ambientes pobres em oxigênio, causando o aumento do potencial redutor das águas. O nitrato sob esta condição pode ser reduzido a óxido de nitrogênio (N_2O) ou nitrogênio molecular (N_2). Neste processo as bactérias utilizam o oxigênio contido em compostos nitrogenados para sua respiração, reduzindo então, o nitrato (NO_3^-). O óxido de nitrogênio e o nitrogênio molecular não existem como espécies dissolvidas nas águas subterrâneas, pois eles se perdem na forma de gases. Valores de pH > que 7 favorecem a liberação de nitrogênio molecular (N_2), enquanto valores < de 6 favorecem a liberação de óxido de nitrogênio (N_2O).

Esse processo é a única forma natural em que o nitrato é eliminado das águas subterrâneas.

Segundo Hounslow (1995, p. 79), as bactérias responsáveis pela desnitrificação são as heterotróficas e as anaeróbias facultativas. Elas utilizam o nitrato e o nitrito como aceptores finais de elétrons durante a oxidação da matéria orgânica e por meio deste processo de desnitrificação é realizado o retorno do nitrogênio gasoso à atmosfera, concluindo então, o ciclo do nitrogênio, expresso na Figura 8.

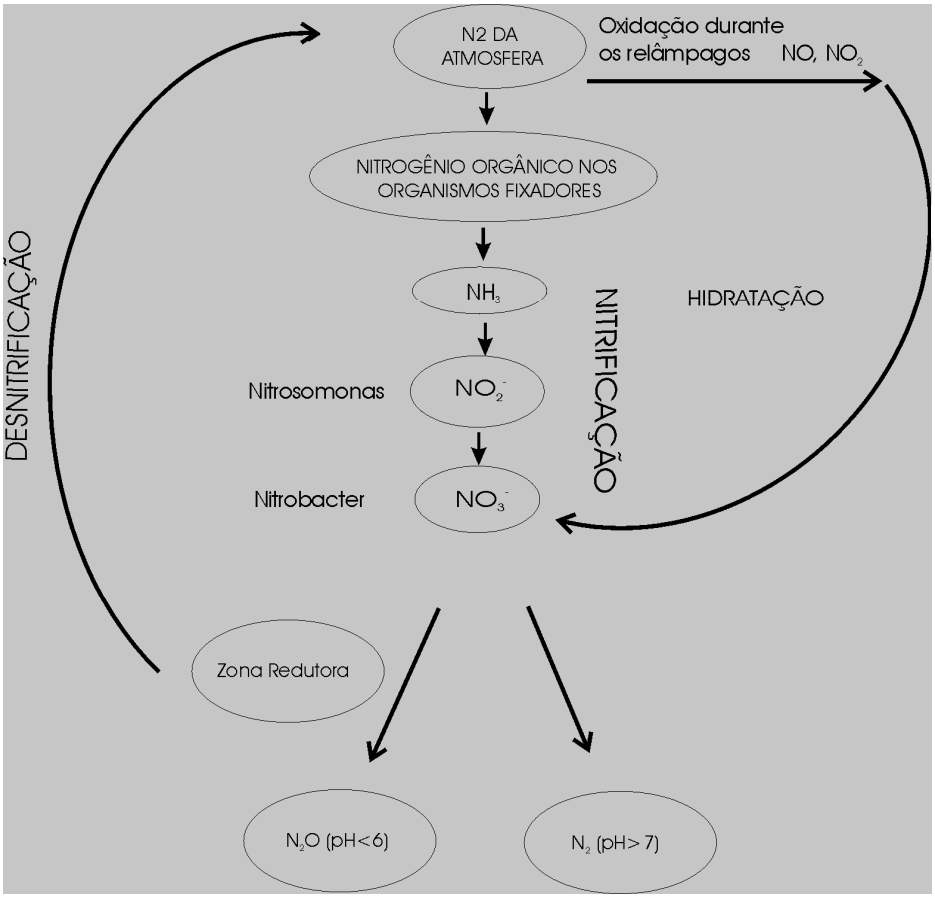


Figura 8: Ciclo parcial do nitrogênio. Adaptado de Freezer & Cherry (1979, p. 424).

3.4 Nitrato

O nitrato (NO_3^-) é um íon incolor, neutro, forte, oxidante e solúvel em água, correspondente à relação final da estabilização biológica da matéria orgânica nitrogenada (FERNANDES, 1982, p. 83).

Maior parte do nitrogênio sob a forma de nitrato é derivada da ação biológica e, normalmente, não existem concentrações elevadas em águas subterrâneas não poluídas (ALABURDA & NISHIHARA, 1998, p. 163). Sua introdução nos corpos hídricos pode ocorrer de fontes naturais ou como conseqüência de atividades antropogênicas.

Observa-se que o nitrato é o contaminante mais comum encontrado nas águas subterrâneas. Conforme Foster & Hirata (1993, p. 25), sua concentração raramente ultrapassa 5 mg/L em águas não poluídas e concentrações acima de 10 mg/L representam forte indicação de contaminação nas águas.

O nitrato é um bom parâmetro para se medir a contaminação da água subterrânea destinadas ao consumo. Em altas concentrações pode trazer graves problemas de intoxicação tanto para o homem como para os animais. Segundo (CORTECCI, 2003, p. 20), quando ingerido, na cavidade bucal são reduzidos a nitrito (NO_2^-) por microorganismos e depois em óxidos nítricos no estômago, formando nitrosaminas, substâncias reconhecidas como agentes cancerígenos potenciais.

Em virtude da periculosidade deste agente químico, a inexistência de planejamento na construção de cada sistema individual de saneamento (poço e fossa), situação comum na Zona 3 da cidade de Porto Velho, permite que ocorra o contato dos efluentes da fossa com a água do poço. Conforme (MELO JÚNIOR *et al*. 2006, p. 3), esta situação compromete seriamente a qualidade da água subterrânea.

3.5 Legislação da Qualidade da Água de Consumo no Brasil

Para melhor compreensão dos padrões de qualidade da água e da situação em que se encontram esses padrões nas águas subterrâneas do Aqüífero Livre Jaciparaná, onde está localizada a Zona 3 da cidade de Porto Velho, vale ressaltar uma breve contextualização sobre a trajetória da legislação que padroniza o agente nitrato na água de consumo humano no Brasil.

A primeira normatização da qualidade da água para consumo humano no Brasil foi a Portaria nº. 56/1977 iniciada na década de 1970, ficando sob a responsabilidade do Ministério da Saúde.

Sua primeira revisão ocorreu no final da década de 80, com a participação da Vigilância Sanitária, dos Laboratórios de Saúde Pública, da comunidade científica e algumas Associações de Classe, que forneceram subsídios à nova Portaria de nº. 36/GM/90. Esta estipulou para o

parâmetro nitrogênio na forma de nitrato, sendo o valor máximo permitido 10 mg/L (NO_3^-) e 45 mg/L na forma oxidada nitrato (BRASIL, 2005).

Após dez anos de sua publicação, foi revisada, originando a Portaria de nº. 1.469/MS/2000, a qual manteve o mesmo padrão para o parâmetro nitrogênio-nitrato. Em março de 2004, a mesma foi revogada e substituída pela Portaria nº. 518/2004/MS, que reproduziu inteiramente o conteúdo da Portaria nº. 1.469 (BRASIL, 2005).

No entanto, o ideal é a ausência total de substâncias nocivas presentes nas águas de consumo. Este padrão estabelecido de 10 mg/L (BRASIL, 2004) é uma situação limite, um alerta de segurança para a saúde das pessoas que estão submetidas a tal situação.

Alguns autores, como Bouchard *et al*. (1992, p.87), Campos (2003, p. 2), Foster & Hirata (1993, p. 17), consideram que concentrações superiores a 3 mg/L de nitrogênio, na forma de nitrato, indica contaminação por atividades antropogênicas.

Na cidade de Porto Velho, a Portaria Federal nº. 518 de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde, é utilizada como referência de potabilidade para água destinada ao consumo humano (CAERD, 2006).

No cerne da sociedade, cabe monitoramento contínuo a fim de identificar em que estágio a Lei está sendo cumprida e se a população de Porto Velho tem o mínimo de conhecimento da mesma.

Mediante esses fatos, torna-se fundamental a realização de pesquisas sobre o comportamento do agente químico nitrato nas águas subterrâneas. Bem como os demais parâmetros citados na Portaria, os quais provocam, de algum modo, danos à saúde. Responsabilizar apenas o órgão público responsável pelas políticas de saneamento básico, a vigilância sanitária e os agentes de promoção e fiscalização da saúde pública não é suficiente.

Pelas experiências ocorridas em Porto Velho, especialmente na Zona 3, uma área de ocupação antiga na cidade e densamente povoada e pelos indicadores de saneamento disponíveis no local, discutidos anteriormente, percebe-se a rara preocupação dos gestores públicos em sanar questões vistas atualmente como primárias.

3.6 Estudos Sobre o Nitrato Usando o Método da Krigagem

Para a obtenção de um diagnóstico mais efetivo sobre o comportamento do contaminante químico nitrato, foi utilizado o método da Krigagem na análise da variabilidade espacial dos indicadores encontrados na área.

O estudo realizado por Godoy *et al.* (2004, p. 209), em Presidente Prudente - São Paulo, através do método da Krigagem, delimitou a pluma de contaminação nas águas subterrâneas. Observaram que concentrações de nitrato acima de 10 mg/L eram encontradas nas áreas mais

antigas da ocupação urbana, que possuíam redes coletoras de esgotos antigas, lixões soterrados, resíduos de antigas serrarias, cemitérios e áreas onde foram usadas fossas por um período superior a dez anos. Percebe-se que o uso e a ocupação do solo sem planejamento adequado do sistema de saneamento inviabilizam o aqüífero livre em um curto tempo.

Arumi *et al*. (2006, p. 386) utilizaram um método mais simples, de ponderação em função inversa da distância, para avaliar o grau da contaminação por nitrato nas águas dos poços da zona rural do Chile. Constataram então, que 14% dos poços apresentaram valores de nitrato maiores que os permitidos pela legislação.

A contaminação foi atribuída aos precários métodos adotados na criação de animais. Para estes autores há uma constante preocupação em estudar a qualidade das águas subterrâneas, uma vez que 76% da população rural do Chile se abastece por esta fonte.

Campos (1999, p. 9) correlacionou os teores de cloreto e nitrato nas águas subterrâneas da área urbana da cidade de Mirante da Serra (RO), utilizando o método da Krigagem, para espacializar a pluma de contaminação.

Este autor observou a correlação entre os teores mais elevados de nitrato e cloreto com as áreas mais densamente povoadas, indicando um possível efeito antrópico na alteração química da água. Conforme Foster & Hirata (1988, p. 32), a lixiviação do nitrato para as águas subterrâneas representa um sério problema de contaminação, especialmente em zonas densamente povoadas.

Corroborando com esta questão, recente pesquisa desenvolvida por Melo Júnior *et al*. (2006, p. 15), utilizando o método da Krigagem, verificou os teores de nitrato no aqüífero livre em um bairro periférico da área urbana da cidade de Porto Velho.

Dos indicadores encontrados, 85% dos poços apresentaram péssimas condições de higiene, 26% apresentaram teores de nitrato acima ou muito próximo do limite de 10 mg/L, ultrapassando os limites máximos permitidos pela Organização Mundial de Saúde, enquanto em 93% dos poços foram identificados teores de nitrato acima de 3 mg/L. Esse percentual indica alteração na qualidade da água por atividades antrópicas. Os autores atribuíram a contaminação à forma dos moradores utilizarem o sistema de saneamento *in situ*.

Oliveira *et al*. (2006, p. 5) investigaram a contaminação das águas subterrâneas provocada por saneamento *in situ* e por fertilizantes agrícolas no município de Soleira (SP), utilizando o método da Krigagem. Cadastraram quarenta e seis poços e, deste total, 100% foram constatados níveis altos de nitrato, chegando a dez vezes mais que o recomendado pela Portaria Federal nº. 518/2004 do Ministério da Saúde.

A investigação foi realizada em área desprovida de saneamento básico, situação semelhante a esta pesquisa.

Varnier & Hirata (2002, p. 98) desenvolveram um estudo detalhado sobre o impacto de fossas sépticas no aqüífero livre do Parque Ecológico – Tietê Engenheiro Goulart (SP), utilizando o método da Krigagem, e definiram um zoneamento das espécies de nitrogênio na pluma de contaminação, com predominância das formas reduzidas (amônia, amônio e nitrito) próximas ao sistema séptico e das formas oxidadas (nitrato) em locais mais distantes.

Ao se constatar que o nitrato se move para área distante da sua origem, percebe-se que este agente tem grande influência na saúde das populações abastecidas com águas subterrâneas sem tratamento adequado.

3.7 Geografia da Saúde

A relação entre espaço e saúde tem sido uma preocupação da medicina ocidental e da saúde pública há mais de dois mil anos. Atribui-se a Hipócrates os primeiros registros sobre a relação entre a doença e o local/ambiente onde ela ocorre. Na sua obra "Ares, Águas e Lugares," além de enfatizar a importância do modo de vida dos indivíduos, o filósofo analisou a influência dos ventos, da água, dos solos e da localização das cidades em relação ao sol, na ocorrência das doenças (COSTA & TEIXEIRA, 1999, p. 273).

Nesta concepção, essas primeiras inferências tornaram-se um marco inicial para o estudo da geografia da saúde, sendo citadas por inúmeros autores até os dias atuais.

No contexto da Geografia da Saúde, Paraguassu-Chaves (2001, p. 36) afirma que estudos voltados à descrição do clima e da hidrografia fundamentam a Geografia médica, definida como o estudo da geografia das doenças. Comenta ainda em síntese os capítulos da obra de Hipócrates:

> [...] nas observações gerais sobre a importância de cultivar-se os conhecimentos dos efeitos que as diversas estações, os ventos, as várias espécies de águas, a situação das cidades, a natureza dos solos e os modos de vida exercem sobre a saúde, bem como a necessidade que tem o médico de familiarizar-se com estes dados; estudar o clima e as doenças prevalentes; o discorrer sobre as várias espécies de água, bem como seus efeitos na constituição do homem; descrever a natureza das estações do ano, assinalando sua influência sobre a saúde [...].

A geografia médica remonta à antiguidade o vínculo com a geografia, mediante o reconhecimento da influência da natureza equilibrada. Sua evolução se vincula ao desenvolvimento do pensamento filosófico, científico e concreto das ciências médicas e geográficas e, principalmente, do equilíbrio ambiental na análise da saúde de determinada população.

Nesse contexto, o espaço geográfico deve ser o cenário a ser considerado, pois o conceito de saúde não está relacionado apenas à ausência de doenças, mas também às condições de vida da população. Considerando o espaço como um misto, um híbrido, um composto de formas e conteúdo, observa-se que nele ocorre uma propagação desigual das técnicas, tais como

implantações de políticas inadequadas, que não atendem as necessidades reais de grupos populacionais.

Os conceitos geográficos propostos por Milton Santos constituem uma das referências mais importantes para as análises da relação entre o espaço e a doença, especialmente as produzidas no Brasil. Santos (1999, p.18) conceituou o espaço como um conjunto indissociável de sistemas de objetos e sistemas de ações, de fixos e fluxos que interagem. Este autor utilizou este conceito nos estudos das doenças endêmicas e epidêmicas, tendo a distribuição espacial das doenças como resultado da organização social do espaço.

É no espaço que esse papel de "nó de problemas", e de "medição generalizada", se manifesta de modo indiscutível (SANTOS, 1999, p. 39). Desenvolvem-se as interações entre os diferentes segmentos das sociedades humanas e destas com a natureza. Para Lemos & Lima, (2002, p. 84), se as interações não forem harmoniosas, podem surgir novas doenças ou ressurgir doenças que haviam sido controladas.

Os conhecimentos da geografia trazem a oportunidade de reflexão sobre a saúde e sua relação com a sociedade e o espaço, tendo em vista, que a localização geográfica da variação dos indicadores de saúde, permite a adequação das características da cobertura da atenção e desenvolvimento das ações de saúde por parte do Estado, de acordo com a realidade local.

Para Rodrigues (2007, p. 35), as pesquisas que relacionam ambiente e saúde através da análise espacial têm se desenvolvido em três vertentes:

> A primeira procura identificar padrões de morbimortalidade em torno de fontes de poluição conhecidas. A segunda tem sido a identificação de padrões de distribuição de doenças e seu relacionamento com fatores de risco ambiental (condições de saneamento, habitação e poluição). E a terceira vertente procura identificar tendências espaços-temporais a partir das trajetórias das doenças, destacando-se as vulnerabilidades ou barreiras ambientais que permitem a difusão desse processo.

Observa-se então, que a utilização da categoria "espaço" não pode limitar-se à mera localização de eventos de saúde, mas deve analisar os inter-relacionamentos de cada elemento constituinte do espaço. A análise da organização do espaço, por ser um processo contínuo, permite uma visão dinâmica do processo saúde-doença. A sua aplicação, nos estudos da área médica, vem se transformando em um instrumento valioso na avaliação do impacto de processos e estruturas sociais na determinação de eventos na saúde.

Considerando o ambiente interno da cidade de Porto Velho marcado por diferenças na oferta de serviços infra-estruturais de saneamento básico (água tratada, esgoto sanitário e coleta de lixo), são extremamente fundamentais estudos sistemáticos da qualidade da água e ampliação da cobertura desses serviços, principalmente nas áreas periféricas da cidade.

Com a realização desses mapeamentos reduz-se a fragilidade do sistema, na implementação das políticas públicas nas cidades.

Como exemplo a esta questão, o médico John Snow, em 1850, mapeou um surto de cólera em Londres. Além de ter abordado uma discussão sobre a forma de organização espacial dentro do ambiente urbano da cidade, deu-se inicio ao estudo da epidemiologia. Essas contribuições foram, e são essenciais na compreensão das vias de transmissão de doenças, consolidando uma nova visão das relações entre os componentes definidores das condições de vida e saúde.

Segundo Iñiguez (1998), dentro do ramo da geografia da saúde, as ligações mais comuns no campo da geografia, que se relacionam com a saúde, são:

a) Como marco de interpretação das desigualdades da distribuição de uma e outra entidade nosológica, em diferentes níveis espaciais e territoriais;

b) Como fonte para localizar e distribuir racionalmente os componentes infra-estruturais e recursos humanos em saúde;

c) Como fonte concreta de aproximação da diferenciação do bem-estar, os condicionantes e qualidade de vida, incorporando os indicadores clássicos, os referentes às enfermidades ou à morte em espaços populacionais, especialmente os urbanos.

Segundo Medronho (1995, p. 42), caracterizam o desenvolvimento atual da geografia da saúde:

a) As análises dos padrões de distribuição espacial e temporal das doenças, usando técnicas e conceitos da geografia quantitativa e geoestatística;

b) Na cartografia das doenças, inclusive o uso de mapas com suporte automatizado, que permita de modo mais rápido e seguro, a utilização de um maior número de dados;

c) Na ecologia das doenças, usando conceitos de análises sistêmica para entender os padrões de causalidade das doenças dentro de diferentes contextos ambientais;

d) Na aplicação de conceitos geográficos no planejamento, para a localização e administração de serviços de saúde.

Através da aplicação dos conceitos da Geografia da Saúde, das técnicas da geografia quantitativa e da geoestatística, estruturou-se um banco de dados, com informações locais inerentes aos pontos amostrais da Zona 3, o qual possibilita um futuro monitoramento e gestão da qualidade da água na cidade de Porto Velho. Possibilita, também, a adequação das políticas públicas dentro da Zona 3, na tentativa de mitigação de condicionantes e determinantes geradores de agravos à saúde.

O conceito de promoção de Saúde proposto pela Organização Mundial de Saúde (OMS), desde a Conferência de Ottawa, em 1986, é visto como o princípio orientador das ações de saúde em todo o mundo. Assim sendo, parte-se do pressuposto de que um dos mais importantes fatores determinantes da saúde são as condições ambientais.

O conceito de saúde entendido como um estado de completo bem-estar físico, mental e social, não restringe o problema sanitário ao âmbito das doenças (BRASIL, 2005, p. 6).

Atualmente, além das ações de prevenção e assistência, considera-se cada vez mais importante atuar sobre os fatores determinantes e condicionantes da saúde. É este o propósito da promoção da saúde, que constitui o elemento principal da proposta da Organização Mundial de Saúde e da Organização Pan-americana de Saúde (OPAS).

A utilização do saneamento como instrumento de promoção da saúde pressupõe a superação dos entraves tecnológicos, políticos e gerenciais que têm dificultado a extensão dos benefícios aos residentes em áreas rurais, nas periferias das cidades, nos municípios e localidades de pequeno porte.

São inegáveis que a maioria dos problemas sanitários que afetam a população mundial estão intrinsecamente relacionados com o meio ambiente, principalmente as doenças relacionadas com a água. Um exemplo comum é a diarréia aguda, com mais de 4 bilhões de casos por ano, é a doença que mais aflige as populações mundiais.

No Brasil, as doenças resultantes da insuficiência de saneamento, especialmente em áreas pobres, têm agravado o quadro epidemiológico. Males, como cólera, dengue, esquistossomose, leptospirose, amebíase, giardíase e hepatite infecciosa do tipo A (BRASIL, 2005, p. 34) estão sempre presentes nos indicadores de agravos à saúde.

Na cidade de Porto Velho, no primeiro semestre do ano de 2007, dos 3.725 casos de diarréias notificadas pela Secretaria Municipal de Saúde (SEMUSA), 1.069 acometeu a população residente nos bairros da Zona 3, representando 30% do total de atendimentos na cidade de Porto Velho. E deste total de atendimentos, 1.922 casos, ou seja, 51% eram crianças na faixa etária de 1 a 4 anos (SEMUSA, 2007).

As Zonas 1 e 2 da cidade de Porto Velho apresentaram os menores índices de casos de diarréia aguda. Nestas áreas, encontram-se rede de distribuição de água tratada. Em alguns setores, o abastecimento é contínuo. Enquanto que na Zona 3, o alto índice de atendimentos na rede básica de saúde pode estar associado ao consumo de água de poço sem tratamento adequado.

Percebe-se que o quadro epidemiológico de doenças relacionadas à água ainda é muito significativo, contribuindo assim, para o aumento ou diminuição de agravos. As crianças e os idosos são as principais vítimas desse sistema deficitário.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Tipo de Estudo

Trata-se de um estudo de característica descritiva. Conforme Furasté (2006, p. 38), a característica da pesquisa descritiva é observar, descrever, analisar, classificar e registrar fatos sem qualquer tipo de inferência.

A coleta de dados foi do tipo quantitativa, compreendendo um período de cinco meses. Teve início em fevereiro de 2007 e término em julho de 2007. O principal objetivo foi medir os teores de nitrogênio, na forma de nitrato (NO_3^-), no Aqüífero Livre da Zona 3 da cidade de Porto Velho, através dos poços rasos.

Estes se caracterizam por apresentar grande diâmetro (um metro ou mais), escavados manualmente e revestidos com tijolos ou anéis de concreto e não carecem de licenciamento ou autorização dos órgãos gestores, conforme a Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS, 2007).

Este tipo de poço capta água do lençol freático e possui geralmente profundidade na ordem de até vinte metros. Foram selecionados para o estudo por serem favoráveis à identificação de contaminação no Aqüífero Livre e representarem maior população dentro do universo da Zona 3 (Figura 9).

Figura 9: Poço raso nº. 85, situado na Rua do Berimbau, destaque por apresentar revestimento e tampa de concreto. Um dos poços selecionados para a investigação (Foto: jun./07- Autora).

4.2 Procedimentos de Campo e Laboratório

Utilizaram-se dois métodos para o cadastramento dos poços. O primeiro foi de acordo com o Guia Técnico de Coleta de Amostras de Água da CETESB (DERISIO & SOUZA, 1997, p. 205). Optou-se pelos poços que tinham bomba elétrica instalada, possibilitando a coleta da

água na saída do poço antes de ir para caixa d'água. O segundo método foi Aleatório. De acordo com Landim (2003, p. 27):

> Para que um determinado número de observações, isto é, de amostras, se possam estimar o comportamento do conjunto de todas as observações em potencial, ou seja, da população, é necessário que esses subconjuntos sejam coletados de tal modo que cada observação tenha a mesma chance de ser escolhida [...].

A princípio, tentou-se cadastrar a amostragem de forma regular, o que não foi possível devido a fatores como, inexistência de poço raso em todos os locais identificados, ausência de bomba elétrica em todos os poços ou recusa de permissão do proprietário para cadastrar o poço, mesmo com as justificativas explicitadas no TCLE[2], o que impossibilitou o uso do método regular ou agrupado.

O método Aleatório, além de abranger toda a área, é apropriado para trabalhar no programa SURFER[3].

Para o cálculo da significância da amostra, do total de oitocentos e trinta e três quadras, divididas nos treze bairros da Zona 3, utilizou-se a Amostragem Aleatória Estratificada.

Conforme Freund & Simon (2000, p. 185), a Amostragem Aleatória Estratificada trata-se de um processo:

> [..] que consiste em estratificar (ou dividir) a população em certo número de subpopulações que não se superpõem, chamadas estratos ou camadas, e extrair uma amostra de cada estrato. [...] o objetivo é para que haja alguma relação entre o fato de estar em determinado estrato e a resposta procurada no estudo estatístico, e que, dentro de cada estrato, haja tanta homogeneidade (uniformidade) quanto possível.

Do total de quadras, utilizou-se 10%, totalizando oitenta e três quadras e noventa poços distribuídos nos bairros da Zona 3 da seguinte maneira:

1. Areia Branca - cadastraram-se dois poços em duas quadras. Em dois imóveis, os proprietários não permitiram cadastramento, justificaram não entender a pesquisa. Três não possuíam bomba elétrica instalada no poço e quatro residências se encontravam fechadas.

2. Cohab Floresta - cadastraram-se dezoito amostras do total de dez quadras. A quantidade de amostras foi acima do estimado devido à acessibilidade nas quadras e o bairro possuir grande densidade de poços rasos.

3. Cidade Nova - cadastraram-se seis amostras do total de sete quadras.

4. Cidade do Lobo - cadastraram-se seis amostras do total de seis quadras.

---

[2] Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.
[3] *Surface Mapping System* - Versão 8.0, software específico para aplicação dos métodos geoestatísticos.

5. Caladinho - cadastraram-se oito amostras do total de sete quadras.

6. Castanheira - cadastraram-se seis amostras do total de quatorze quadras. Houve dificuldade em encontrar poços rasos neste bairro. Há presença de poços tubulares na maioria dos domicílios cadastrados e cinco imóveis estavam fechados.

7. Conceição - cadastraram-se cinco amostras do total de oito quadras. Três imóveis identificados para cadastramento estavam fechados e um não possuía bomba elétrica instalada no poço.

8. Eletronorte - cadastraram-se vinte e seis amostras do total de cinco quadras. Neste bairro, as amostras cadastradas foram acima do estimado, devido à acessibilidade e grande quantidade de poços rasos.

9. Jardim Eldorado - cadastraram-se duas amostras do total de cinco quadras. A maioria das residências possui poços tubulares profundos, principalmente as localizadas próximas à Rua Jatuarana, porção oeste do bairro. Dois proprietários de imóveis não permitiram o cadastramento de seus poços, apesar das justificativas explicitadas no TCLE. A parte Leste do bairro é parcialmente desocupada, possuindo poucos imóveis no local, o que inviabilizou o cadastramento de maior quantidade de poços, sendo possível o cadastro de dois poços rasos.

10. Floresta - cadastraram-se cinco amostras do total de quatro quadras.

11. Nova Floresta - cadastraram-se três amostras do total de oito quadras. Este bairro é parcialmente atendido por água tratada, sendo possível o cadastro de três poços rasos.

12. Novo Horizonte - cadastraram-se duas amostras do total de três quadras. Alguns imóveis não possuíam poços. Neste bairro, existem várias quadras desocupadas, com poucos imóveis no local, inviabilizando o cadastro de maior quantidade de poços. Foi possível o cadastro de dois poços rasos.

13. No bairro Aeroclube - não houve cadastramento de poços. Este bairro é parcialmente desocupado. Muitos imóveis encontravam-se fechados.

Utilizou-se um critério para exclusão dos poços idenficados e não cadastrados por diversas razões, entre as quais se destacam: a ausência do proprietário do imóvel, o não consentimento por parte do proprietário do imóvel e indisponibilidade de bombas elétricas instaladas no local para a coleta das amostras de água.

Em seguida procederam-se as coletas de dados e as amostras de água de acordo com *Standard Methods for the Examination for Water and Wasterwater* (APHA, 1998, p. 453), juntamente com a metodologia proposta no guia Coleta e Preservação de Amostra de Água da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB (BATALHA,1993, p. 20), adotadas pelo Laboratório de Água da SEDAM[4] , da seguinte forma:

a) as águas foram coletadas na saída do poço utilizando as bombas elétricas do local. A água extraída nos três minutos iniciais foi desprezada para eliminar a água estagnada, em seguida, as amostras de água foram acondicionadas em garrafas plásticas de 500 ml, esterilizadas e adequadamente identificadas por Poço Amostral (PA), numeradas conforme a seqüência de coletas, em ordem crescente, e conservadas em aproximadamente 4ºC em uma caixa de isopor com gelo para que fossem mantidas as características originais das águas.

b) através das Fichas Individuais de Amostragem de Água, (Anexo A), elaboradas e disponibilizadas pelo Laboratório de água da SEDAM, foram coletados os dados dos poços tais como: local da coleta, data e hora, idade do poço, profundidade, chuvas nas últimas 24 horas, condições higiênica do poço, fossas, animais e esgotos nas proximidades. Em cada ponto de coleta de água foram georreferenciadas as coordenadas UTM[5], utilizando o *Global Positioning System* (GPS), marca Garmim modelo 12a. Esses dados auxiliaram na análise laboratorial.

c) Em seguida as garrafas foram transportadas para o Laboratório de Análise de Água da SEDAM, onde foram determinados os teores de nitrato.

Para medição do nitrato foi usado o método de espectrofotometria, com uso do Espectrofotômetro, marca Micronal B495, adotado pelo Laboratório de Análises de Água da SEDAM. Os reagentes químicos utilizados foram fabricados pela Alfatecnoquímica e disponibilizados em dois frascos denominados reagentes 1 e 2 (*nitrate reagent*).

Os Procedimentos de laboratório foram realizados da seguinte forma: mediu-se 1,0 ml da amostra da água para um tubo de ensaio; em seguida, adicionou-se 1,0 ml do reagente 1; após agitação, adicionou-se 4,0 ml do reagente 2, agitando-o por um minuto e descansando por, aproximadamente, cinco minutos, até adquirirem uma coloração amarelada, variando de intensidade em congruência às concentrações de nitrato. A leitura dessa diferenciação colorimétrica procedeu-se no espectrofotômetro a uma onda de 415 nm, demonstrando os índices numéricos em mg/L de nitrato e anotado o laudo final da qualidade da água (Anexo B).

Há que se ressaltar, que os poços cadastrados nesta pesquisa já estavam instalados em pontos estratégicos (nos terrenos dos moradores), possibilitando uma melhor relação uso e ocupação/índice de nitrato.

---

[4] SEDAM Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental.
[5] UTM Universal Transversa de Mercator. (Localização geográfica).

A escolha pela variável nitrato levou em conta que sua presença indica uma contaminação antiga no ambiente por ser a forma oxidada na qual o nitrogênio se apresenta (FOSTER *et al.*, 1993, p. 12).

4.3 O Método Geoestatístico

4.3.1 Geoestatística

Esta pesquisa teve como princípio norteador a utilização da geoestatística na inferência dos dados obtidos em campo. O primeiro procedimento para chegar ao método geoestatístico foi observar cuidadosamente o banco de dados construído, no sentido de identificar distorções nos dados coletados. Através de uma contextualização resumida, entende-se que a geoestatística teve sua origem:

> [...] na indústria de minérios, a partir da década de 50 do século passado, desenvolvida através do engenheiro de minas D. G. Krige e o estatístico H. S. Sichel, que desenvolveram novos métodos de estimação para reservas minerais espalhadas. Entre os anos de 1957 a 1962, o engenheiro francês G. Matheron, utilizando os fundamentos da geoestatística baseados nas observações de Krige, desenvolveu a Teoria das Variáveis Regionalizadas, outro nome dado a geoestatística que pode ser vista como grande ramo da estatística espacial (CRESSIE, 1993).

Essa trajetória de aperfeiçoamento do método geoestatístico, atualmente, tem fundamental importância na interação interdisciplinar que ocorre entre diversas áreas do conhecimento, tais como, geologia, engenharia de minas, matemática, estatística e geografia, assegurando, desta forma, uma maior troca de informações e uma melhor interpretação da realidade em estudo.

Na concepção de Mello (2004, p.16), o objetivo principal da geoestatística é melhorar as predições (estimativas), através da construção de um modelo que trate da heterogeneidade de um reservatório, usando métodos que não consideram médias, como propriedades de reservatório, de forma que assegure a realidade local de uma dada área para que não seja perdida durante a construção do modelo.

4.3.2 Variáveis Regionalizadas

Atualmente o termo geoestatística é consagrado como um tópico especial da estatística que trata de problemas referentes às Variáveis Regionalizadas. Para (LANDIM, 2003, p. 172):

> São variáveis cujos valores são relacionados de algum modo com a posição espacial onde os mesmos são obtidos, ou seja, é uma função que varia de um lugar para outro, com certa aparência de continuidade. Esta continuidade está relacionada com a variabilidade das propriedades da amostra em relação à distância e direção, ou seja, com a tendência de tornarem valores mais próximos em dois pontos amostrados, quanto menos afastados espacialmente estejam esses pontos. São representadas, por certa quantidade de dados numéricos brutos disponíveis, a partir dos quais são obtidas informações sobre as características do fenômeno natural em estudo.

O autor, então, apresenta três características para esse fenômeno natural, de acordo com seus estudos:

> **a) Localização**: uma variável regionalizada é numericamente definida por um valor, o qual está associado a uma amostra de tamanho, forma e orientação específicos. Essas características geométricas da amostra são denominadas suporte geométrico. O qual não necessariamente compreende volumes, pode-se também referir as áreas e linhas. Vale salientar que somente no espaço geométrico a variável é susceptível de tomar valores definidos, é no interior que sua variação será estudada e as referidas tomam valores. Este espaço é denominado de campo geométrico, e pode, no nosso caso, ser uma parte ou todo o reservatório.
> **b) Continuidade:** a variação espacial de uma variável regionalizada pode ser grande ou pequena, depende do fenômeno observado. A existência de uma continuidade é mais, ou menos, importante entre os valores de amostras vizinhas. Tal flutuação reflete o grau de dependência ou independência que existe entre um valor e outro. Quando essa continuidade é pouco definida e não pode ser confirmada, diz-se que há a presença do Efeito de Pepita. Quando os valores representativos das características do reservatório são totalmente independentes, trata-se de uma variável aleatória, considerada como um caso particular de variável regionalizada.
> **c) Anisotropia ou Zonalidade**: fenômeno que indica se os valores da variável regionalizada não apresentam variações significativas ao longo de uma direção privilegiada, apresentando, variações rápidas ou irregulares em outras direções.

4.3.3 Objetivos da Geoestatística

Embora a geoestatística seja amplamente aplicada na geologia, esta, apresenta grande potencial para ser aplicado em outras áreas do conhecimento, pode-se caracterizar o comportamento espacial e temporal de variáveis, portanto:

> Através de suas técnicas são realizados estudos que levam em consideração a localização geográfica e a dependência espacial entre os dados, considerando, assim, as duas características essenciais das variáveis regionalizadas: o aspecto aleatório (já que os valores numéricos observados podem variar consideravelmente de um ponto a outro no espaço) e o aspecto espacial (visto que os valores numéricos observados não são inteiramente independentes), reproduzindo os fenômenos naturais, portanto, com maior fidelidade (LANDIM & STURARO, 2002, p. 2).

Desta forma, os dois principais objetivos de estudo através da geoestatística são:

a) Tentar extrair, da aparente desordem dos dados, uma imagem da variabilidade dos mesmos, é uma medida da correlação existente entre os valores tomados em dois pontos do espaço. Este objetivo pode ser alcançado utilizando o variograma e está presente na análise estrutural.

b) Medir a precisão de toda estimativa feita por meio de dados fragmentados, tornando necessária uma teoria de estimativa de reserva. Pode ser possível usando a Krigagem.

4.3.4 Objetivos das Funções Aleatórias

Para que sejam obtidos resultados satisfatórios, é muito importante o conhecimento, pelo menos parcial, da função densidade de probabilidade que governa a variável regionalizada, visto que o objetivo é estimar a variação da variável regionalizada em uma, duas ou três dimensões.

Esse conhecimento pode ser baseado tanto em um modelo teórico quanto em uma análise empírica de uma amostra suficientemente grande. Devido à complexidade dessas variáveis

regionalizadas, a alternativa da formulação de um modelo teórico é pouco utilizada, restando como solução a determinação empírica ou relativa das probabilidades presentes.

Seja Z uma variável aleatória. Um vetor aleatório a κ componentes é definido pela sua função de distribuição:

$$F\ (z_1, z_2 ... z_k) = P\ (Z_1 \leq z_1, Z_2 \leq z_2, ..., Z_k \leq z_k) \tag{3.1}$$

Onde $z = (z_1, z_1, ... z_k)$ é uma amostra da variável aleatória Z.

Seja $Z\ (x_i)$ o valor de uma variável regionalizada Z obtido no ponto x_i. Considerando que a função $F\ (z_1, z_2 ... z_k)$ seja aleatória, supõe-se que a função de distribuição conjunta para quaisquer κ componentes está definida.

$$F\ (Z_1, Z_2 ... Z_k,\ x_1, x_2 ..., x_\kappa) = P\ (Z_1\ (x_1) \leq z_1\ ,\ Z_2\ (x_2) \leq z_2, ..., Z_k \leq z_k).$$

A esperança de uma função aleatória é dada por:

$$\mathrm{E}\ \mathrm{Z}\ (x) = \int \mathrm{Z}\ d\ F\ (\mathrm{Z}, x).$$

E a covariância por:

$$Cov(\mathrm{Z}(x_i), \mathrm{Z}(x_j)) = \mathrm{E}\{[\mathrm{Z}(x_i) - \mathrm{E}(\mathrm{Z}(x_i))][\mathrm{Z}(x_j) - \mathrm{E}(\mathrm{Z}(x_j))]\}.$$

Em se tratando de uma variável regionalizada, é possível realizar inferências estatísticas tomando-se por base apenas uma amostra, visto que a mesma é o resultado único de uma função casual. Este impasse é resolvido com a utilização da restrição estacionária, chamada de hipótese intrínseca, a qual permite o uso de resultados de uma variável regionalizada através da estimação pelo método dos momentos.

4.3.4.1 Função Aleatória Estacionária

A função aleatória estacionária, caso particular de função aleatória, admite que todas as leis da função aleatória são invariantes para toda translação efetuada sobre os pontos $x_1, x_2, ..., x_\kappa$.

Sejam $\mathrm{Z}(x_i)\ e\ \ \mathrm{Z}(x_i + h)$ dois valores de uma variável regionalizada Z obtidos nos pontos $x_i\ e\ x_i + h$, onde $h = (h_1, h_2, ..., h_\kappa)$ é um vetor com direção e orientação específica em um espaço de uma, duas ou três dimensões. Se a função aleatória é estacionária, temos que:

$$F\ (Z_1, Z_2 ... Z_k,\ x_1 + h, x_2 + h ..., x_\kappa + h) = F\ (\mathrm{Z}_1, \mathrm{Z}_2, ... \mathrm{Z}_\kappa; x_1, x_2, ... x_\kappa),$$

ou seja, para qualquer deslocamento $d = |h|$, os dois primeiros momentos da diferença [$Z(x_i) - Z(x_i + h)$] não dependem da localização de Z mas apenas de h.

A diferença entre os valores $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ é outra variável casual.

A Teoria das Variáveis Regionalizadas pressupõe que a variação de uma variável pode ser expressa pela soma de três componentes a saber:

a) uma componente estrutural, associada a um valor médio constante ou a uma tendência constante;

b) uma componente aleatória, especialmente correlacionada; e

c) um ruído aleatório ou erro residual.

Se *x* representa uma posição em uma, duas ou três dimensões, então o valor da variável Z, em *x*, é dada por:

$$Z(x) = m(x) + \varepsilon'(x) + \varepsilon''$$

Onde:

- $m(x)$ é uma componente determinística que descreve a parte estrutural de *Z* em *x*;
- $\varepsilon'(x)$ é um termo estocástico, que varia localmente e depende espacialmente de $m(x)$;
- ε'' é um ruído aleatório não correlacionado, com distribuição normal de média zero e variância σ^2.

O primeiro passo da Krigagem é definir uma função apropriada para a componente determinística $m(x)$. Para tanto, algumas hipóteses são necessárias: A Estacionaridade de segunda Ordem e a Intrínseca.

4.3.4.2 Estacionaridade de Segunda Ordem

Uma função é denominada estacionária de segunda ordem quando a componente $m(x)$ é constante, ou seja, não há tendências na região. Desta forma, temos que:

$$E\{Z(x)\} = E\{Z(x+h)\} = m(x) = m, \tag{3.2}$$

Isto é, a diferença média entre os valores observados em x e $x + h$, separados por um vetor de distância h onde (módulo e direção) é nula:

$$E\{Z(x) - Z(x+h)\} = 0.$$

Além disso, também é admitido que a covariância entre os pares $Z(x)$ *e* $Z(x+h)$, separados por um vetor distância h, existe e depende somente de h.

Com isso, temos:

$$
\begin{aligned}
C(h) &= Cov\left[Z(x), Z(x+h)\right] \\
&= E\{[Z(x)-m]\,[Z(x+h)-m]\} \\
&= E\{Z(x)\,Z(x+h) - mZ(x+h) - mZ(x) + m^2\} \\
&= E[Z(x)\,Z(x+h) - mE[Z(x+h)] - mE[Z(x)] + m^2.
\end{aligned}
$$

da equação (3.2) temos que:

$$
\begin{aligned}
C(h) &= E[Z(x)\,Z(x+h)] - m^2 - m^2 + m^2. \\
&= E[Z(x)\,Z(x+h)] - m^2, \quad \forall x.
\end{aligned}
\tag{3.3}
$$

ou seja:

$$
E[Z(x)\,Z(x+h)] = C(h) + m^2, \quad \forall x. \tag{3.4}
$$

Na equação (3.3), a estacionaridade da covariância implica na estacionariedade da variância:

$$
\begin{aligned}
Var[Z(x)] &= E\{[Z(x)-m]^2\} \\
&= E\{Z^2(x) - 2mZ(x) + m^2\} \\
&= E[Z(x)Z(x+0)] - 2m^2 + m^2 \\
&= E[Z(x)Z(x+0)] - m^2 \\
&= C(0), \ \forall x.
\end{aligned}
\tag{3.5}
$$

Além disso, a estacionaridade da covariância também implica na estacionariedade do variograma, definido por:

$$
\begin{aligned}
2\gamma(h) &= E\{[Z(x) - Z(x+h)]^2\} \\
&= E\{Z^2(x) - 2Z(x)Z(x+h) + Z^2(x+h)\} \\
&= E[Z^2(x) - 2E[Z(x)Z(x+h)] + E[\,Z^2(x+h)].
\end{aligned}
\tag{3.6}
$$

de (3.3) temos que:

$$\mathrm{E}[\mathrm{Z}(x)\mathrm{Z}(x+h)] = C(h) + m^2, \tag{3.7}$$

e de (3.5) temos que:

$$\mathrm{E}[\mathrm{Z}^2(x)] = \mathrm{E}[\mathrm{Z}(x)\mathrm{Z}(x+0)] = C(0) + m^2. \tag{3.8}$$

Substituindo as equações (3.7) e (3.8) na equação (3.6), obtém-se:

$$2\gamma(h) = C(0) + m^2 - 2[C(h) + m^2] + \mathrm{E}[\mathrm{Z}^2(x+h)], \tag{3.9}$$

e como $\mathrm{E}[\mathrm{Z}^2(x)] = \mathrm{E}[\mathrm{Z}^2(x+h)]$, temos que:

$$2\gamma(h) = C(0) + m^2 - 2[C(h) + m^2] + C(0) + m^2, \tag{3.10}$$

$$= 2C(0) - 2C(h),$$

de onde segue que:

$$\gamma(h) = C(0) - C(h). \tag{3.11}$$

A função $\gamma(h)$ é conhecida na teoria das variáveis regionalizadas como semivariograma.

Da relação (3.11) temos que a covariância e o semivariograma, são formas alternativas de caracterizar a autocorrelação dos pares $\mathrm{Z}(x)$ *e* $\mathrm{Z}(x+h)$ e separados pelo vetor h, sob a hipótese de estacionariedade de segunda ordem. Como a hipótese de estacionaridade de segunda ordem supõe a existência de uma covariância e, consequentemente, de uma variância finita, a equação (3.5), o correlograma $Y(h)$ pode ser definido como:

$$Y(h) = \frac{C(h)}{C(0)}. \tag{3.12}$$

Da relação (3.11), temos que:

$$C(h) = C(0) - \gamma(h). \tag{3.13}$$

Substituindo (3.13) em (3.12), temos:

$$Y(h) = \frac{C(0) - \gamma(h)}{C(0)}$$

$$= 1 - \frac{\gamma(h)}{C(0)} \tag{3.14}$$

As hipóteses de estacionaridade de segunda ordem, ou seja, $\exists C(h) \Rightarrow \exists Var[Z(x)] = C(0)$ *e* $\exists C(h) \Rightarrow \exists \gamma(h)$ podem não ser satisfeitas para alguns fenômenos físicos que apresentam uma capacidade infinita de dispersão, pois, este caso implica a não existência de $C(h)$ *e de* $Var[Z(x)]$, podendo existir, entretanto, $\gamma(h)$. Para tais situações, uma hipótese menos restritiva, a hipótese intrínseca, pode ser aplicável.

4.3.4.3 Estacionaridade Intrínseca

Como na hipótese anterior, aqui se admite também que:

$$E[Z(x)] = m(x) = m, \ \forall x.$$

Além disso, admite-se que a variância das diferenças depende somente do vetor distância $d = |h|$, isto é:

$$Var[Z(x) - Z(x+h)] = E\{[Z(x) - Z(x+h)]^2\} = 2y(h). \tag{3.15}$$

Por ser a menos restritiva e requerer apenas a existência e estacionaridade do variograma, sem nenhuma restrição quanto à existência de variância finita, esta hipótese é a mais freqüentemente admitida em geoestatística.

Quanto à Krigagem Universal, admite-se que $m(x)$ é a tendência principal (*drift*) e que $C(h)$ e $y(h)$ possuem estacionaridade dentro de uma vizinhança de tamanho restrito. Além disso, supõe-se que $E[Z(x)] = m(x)$, onde $m(x)$ deixa de ser estacionária, variando de modo regular dentro de tal vizinhança. Não somente a covariância e o variograma são definidos a partir de valores experimentais, mas também o tamanho da vizinhança onde as hipóteses mantêm-se válidas.

4.3.5 Componentes Elementares para o Estudo Geoestatístico

4.3.5.1 Extração de Dados

A princípio as análises de dados em geoestatística incluem computação de médias, variâncias, outras medidas descritivas e diagramas de dispersão para o estudo da relação entre as variáveis e identificação de sub-populações e pontos de alavanca (MELLO, 2004, p. 53).

Somente após a reunião e descrição dos dados, as análises podem ser feitas com maior segurança. Outro fator que torna a organização dos dados imprescindível é a susceptibilidade de erros cometidos nos estudos envolvendo grandes volumes de dados e utilização de computadores.

4.3.5.2 Modelagem e Análise de Continuidade Espacial

Obtendo a indústria de Petróleo como modelo, para se obter uma eficiente produção de hidrocarbonetos, faz se necessário entender as escalas e os aspectos direcionais das características físicas das propriedades das rochas-reservatório, e também as características do modelo espacial associado às variáveis, tais como porosidade, saturação, etc., frutos de um vasto número de processos químicos e físicos bastante complexos. A componente espacial torna estas variáveis complicadas, sendo necessário o reconhecimento das incertezas na identificação da distribuição das mesmas entre os poços.

Para este modelo é necessário descrever a continuidade, a anisotropia e as propriedades azimutais dos dados. As análises de continuidade espacial quantificam a variabilidade das propriedades da amostra relacionadas com a distância e direção, comparando valores de dados em uma locação com valores do mesmo atributo em outras locações. Tais análises, geralmente envolvem grandes volumes de dados e utilização de softwares específicos. Uma medida muito comum de continuidade espacial é o variograma.

a) Variograma

Sejam X e Y duas variáveis regionalizadas, onde $X = Z(x)$ e $Y = Z(x+h)$, referentes ao mesmo atributo (por exemplo, o teor de um contaminante na água), medido em duas posições diferentes, conforme ilustra a Figura 10, onde X denota uma posição em duas dimensões, com componentes (x_1, y_1), e h um vetor distância (módulo e direção) que separa os pontos.

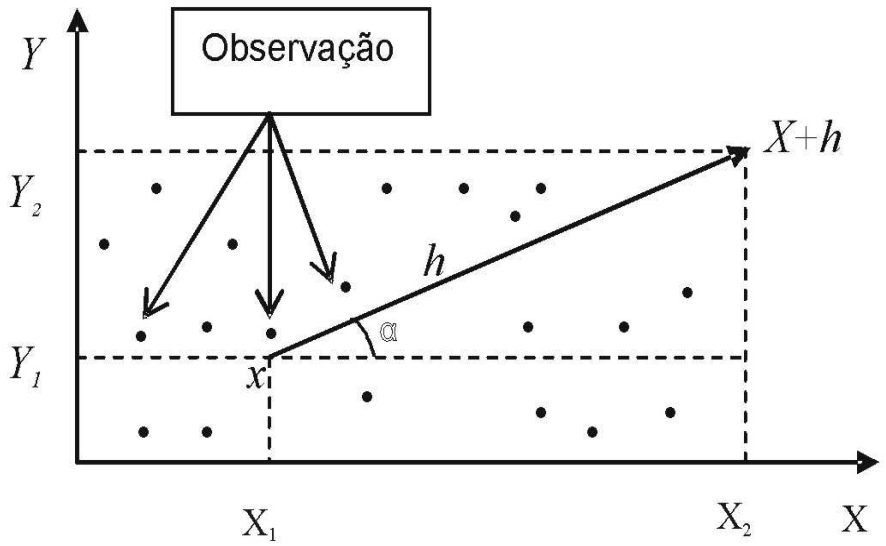


Figura 10: Localização de pontos amostrais.

O variograma $2y(h)$ definido como a esperança matemática do quadrado da diferença entre os valores de pontos no espaço, separados por $d = |h|$, representa o nível de dependência entre as duas variáveis regionalizadas, *X* e *Y*.

$$2y(h) = \mathrm{E}\{[\mathrm{Z}(x) - \mathrm{Z}(x+h)]^2\} \tag{3.16}$$

$$= Var[\mathrm{Z}(x) - \mathrm{Z}(x+h)].$$

Através de uma amostra $\mathrm{Z}(x_i)$; $i = 1,2,.....n$ o variograma pode ser estimado por:

$$2\hat{y}(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [\mathrm{Z}(x_i) - \mathrm{Z}(x_i + h)]^2, \tag{3.17}$$

onde:

- $2\hat{\gamma}(h)$: variograma estimado;
- $\mathrm{N}(h)$: número de pares de valores medidos, $[\mathrm{Z}(x_i) - \mathrm{Z}(x_i + h)]$ separados por uma distância $d = |h|$;
- $[\mathrm{Z}(x_i) - \mathrm{Z}(x_i + h)]$: valores da *i-ésima* observação da variável regionalizada, coletados nos pontos $x_i e\ x_i + h,\ i = 1,2,...,n,$ separados $d = |h|$.

Na definição de variograma alguns autores consideram o que comumente se refere como semivariograma, termo este advindo da divisão por dois para compatibilização da fórmula:

$$y(h) = \frac{1}{2} 2y(h). \tag{3.18}$$

De (3.17), temos que a função do semivariograma pode ser estimada por:

$$2\hat{y}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [\mathrm{Z}(x_i) - \mathrm{Z}(x_i + h)]^2 \tag{3.19}$$

b) Parâmetros do Semivariograma

Quando os valores de dados em uma localização são comparados com valores do mesmo atributo em outras localizações, espera-se que observações espacialmente mais próximas tenham um comportamento mais semelhante entre sí do que aquelas separadas por distâncias maiores. Ou seja, espera-se que as diferenças $[\mathrm{Z}(x_i) - \mathrm{Z}(x_i + h)]$ sejam reduzidas, à medida que

a distância que os separa $d = |h|$ decresça, ou seja, que $y(h)$ aumente com a distância $d = |h|$.

A Figura 11 ilustra os parâmetros de um semivariograma experimental com características muito próximas do ideal onde:

1- Alcance (a): distância abaixo da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente. Na figura 11, o alcance ocorre próximo de 25.

2- Patamar (C): é o valor do semivariograma correspondente a seu alcance (a), ou seja, é o valor constante atingido por $\hat{y}(h)$ quando a distância entre os dados d, cresce. Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras. Na figura 11, o patamar é aproximadamente 1,75.

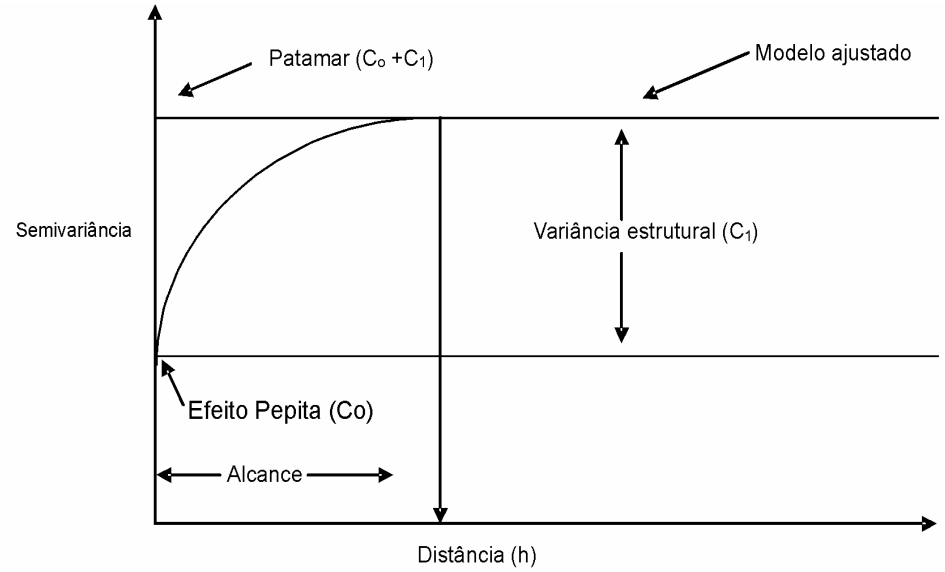


Figura 11: Semivariograma Experimental. Adaptado de Landim (apud AZEVEDO & VENEZIANI, 2005, p. 12).

3- Efeito pepita (Co) por definição, das equações (3.16) e (3.18), temos que $y(h) = 0$.

Na prática, entretanto, à medida que $h \to 0$, $y(h)$ se aproxima de um valor positivo denominado Efeito Pepita (Co). O valor de (Co) revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. Parte desta descontinuidade pode ser também devida a erros de medição, no entanto é impossível quantificar se a maior contribuição provém dos erros de medição ou da variabilidade de pequena escala, não captada pela amostragem.

4- Contribuição C_1 é a diferença entre o Patamar (C) e o Efeito Pepita (Co).

O estudo estrutural consiste em verificar qual é o variograma teórico que melhor se ajusta ao variograma experimental, de tal forma que o variograma verdadeiro possa ser inferido a partir

do modelo teórico citado. Após, suas propriedades são tomadas como base para a análise variográfica e para a avaliação das reservas.

Segundo Trangmar *et a.*, (1985) o uso de % da semivariância do Efeito Pepita serve para mensurar a dependência espacial: ≤ 25% - forte dependência espacial: entre 25% e 75% - moderada dependência espacial e ≥ 75% - fraca dependência espacial, denominado de Índice de Dependência Espacial – IDE.

$$IDE = \frac{Co}{C + Co} \cdot 100 \tag{3.20}$$

Para Landim (2003, p. 177) os semivariogramas retratam o comportamento espacial da variável regionalizada ou de seus resíduos, e também mostra o tamanho da zona de influência em torno de uma amostra, a variação nas diferentes direções do terreno e também continuidade da característica estudada no terreno.

De posse do semivariograma experimental, é necessário ajusta-lo a um modelo teórico, existindo um grande número deles. Na geoestatística o modelo mais comum é o esférico.

4.3.5.3 Validação do Modelo

A validação é testar a eficiência do modelo encontrado. Os valores estimados são comparados com os valores observados, em um histograma, dos erros de estimação padronizados, o qual corresponde aos valores estimados menos os valores observados, divididos pela variância da Krigagem.

Se o histograma for simétrico em torno da média 0 (zero), as estimativas não são tendenciosas. Para uma solução satisfatória, espera-se obter nessa análise um histograma simétrico, com média 0 (zero) e a menor variância possível.

4.3.6 Krigagem

A Krigagem é denominada como estimador espacial de variáveis regionalizadas, a partir de valores adjacentes enquanto considerados independentes na análise variográfica. Por meio dela, pode-se obter (ISAAK & SRIVASTAVA, 1989):

- A previsão do valor pontual de uma variável regionalizada e em um local específico dentro do espaço geométrico (trata-se de um procedimento exato de interpolação que leva em consideração todos os valores observados);
- O cálculo médio de uma variável regionalizada para um volume maior do que o suporte geométrico; e
- A estimação da tendência principal (*drift*), de modo similar à superfície de tendência.

Além disso, a Krigagem fornece em geral, estimativas não tendenciosas e com variância mínima (LANDIM, 2003, p.185). Portanto a Krigagem reúne diversos tipos de métodos de estimação, como: krigagem simples, ordinária, universal, indicativa, disjunta e cokrigagem. Porém neste estudo tratará de dois tipos de Krigagem a ordinária e a indicativa.

4.3.6.1 Krigagem Ordinária

Krigagem Ordinária é uma técnica de estimação linear, para uma variável regionalizada que satisfaz a hipótese intrínseca, cujo objetivo é minimizar o erro de estimação sem viés, ou seja, em que o erro residual médio seja igual à zero (SRIVASTAVA apud SIMÃO, 2001, p. 37).

Conforme Landim (2003, p. 187), as formas mais usuais de Krigagem lineares são: simples, ordinária, universal e intrínseca. As Krigagens não-lineares utilizam alguma transformação não-linear dos dados originais e são: lognormal, multigaussiana, indicativa, probabilística e disjuntiva.

A Krigagem Ordinária é a variação mais utilizada da krigagem simples, descrita por Trangmar *et al*. (1985, p. 67) como o valor interpolado $\hat{Z}_{(x_0)}$ de uma variável regionalizada Z, num local *xo* pode ser determinada por:

$$\hat{Z}(x_0) = \sum \left[\lambda_i \cdot Z(x_i)\right] \tag{3.21}$$

Onde:

$\hat{Z}(x_0)$ - valor estimado para local *xo* não amostrado;

$Z(xi)$ - valor obtido por amostragem no campo.

Assim sendo a krigagem ordinária considera a média flutuante ou móvel por toda a área. Tornando-se importante ferramenta para mapear indicadores de contaminação nas águas subterrâneas.

4.3.6.2 Estimativa da Distribuição de Probabilidade através da Krigagem Indicativa.

Para elaborar estimativa de valores de variáveis regionalizadas utilizam-se vários métodos da geoestatística, para Landim (2003, p. 225):

> [...] o mais usual é o método da Krigagem Ordinária em que seu valor estimado é um valor médio de um determinado local. [...]. Do mesmo modo é possível elaborar estimativas de proporções para determinados valores que estão abaixo ou acima de um certo nível de corte (percentis) de uma distribuição acumulada de um determinado local.

E após transforma-se os dados em indicadores, definida pela seguinte expressão:

$$i_j(v_c) = \begin{cases} 1, se \quad v_j \leq v_c \\ 0, se \quad v_j > v_c \end{cases} \tag{3.22}$$

onde:

v_j = valor observado

v_c = valor do nível de corte

E a função de distribuição acumulada dos valores abaixo do nível de corte é definida por:

$$F(v_c) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^{n} i_j(v_c) \tag{3.23}$$

E de valores acima do nível de corte:

$$\hat{F}(v_c) = \sum_{j=1}^{n} w_j i_j(v_c) \tag{3.24}$$

onde:

W_j = os pesos

i_j = os indicadores

v_c = nível de corte

Onde a condição de não viés é:

$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1 \tag{3.25}$$

Portanto, a distribuição espacial para um local dentro de uma região A é dada por:

$$\phi(A, V_c) = \frac{1}{A} \int_{x \in A} i(x, v_c) dx \tag{3.26}$$

onde:

$\phi(A, v_c)$ = distribuição espacial dos valores no local, dentro de uma região A e V_c é o nível de corte. Assim, $\phi(A, V_c)$ é uma variável aleatória. Logo, o valor esperado é definido por:

$$\mathrm{E}[\phi(A,V_c)] = \frac{1}{4}\ \mathrm{E}\int_{x\in A}[I(X,V_c)]dx = \frac{1}{4}\int_{x\in A}\mathrm{E}[I(X,V_c)]dx$$

$$= \frac{1}{A}\int_{x\in A}\{(1)P[V(X)\le V_c]+(0)P[V(X)\ge V_c]\}dx$$

$$= \frac{1}{A}\cdot P[V(X)\le V_c]\ \text{ para estacionaridade de } V(x),$$

$$= F(V_c) \qquad (3.27)$$

onde:

$P[V(x)\le V_c] =$ probabilidade de $V(x)\le V_c$;

$F(v_c) =$ função de distribuição acumulada univariada.

Os parâmetros da krigagem Ordinária são utilizados para equacionar os parâmetros da Krigagem Indicativa que é dada pela expressão:

$$\phi(A,V_c) = \frac{1}{A}\int_{x\in A} i(x,v_c)\ dx$$

Então, calculam-se os variogramas experimentais indicativos para os diversos níveis de cortes desejados, que podem ser os percentis e estabelecidos os modelos variográficos para os mesmos.

Assim sendo, os variogramas indicativos são definidos por:

$$\gamma\ i\ (h,v_c) = \frac{1}{2N_h}\ \sum_{i=1}^{n}\ [I(x+h,v_c)-I(x,v_c)]^2 \qquad (3.28)$$

Deste modo, emprega-se a Krigagem Ordinária para calcular as proporções que estão abaixo dos níveis de corte, previamente estabelecidos. Segundo os quais serão obtidos os mapas de probabilidade de ocorrência.

Com as proporções obtidas, elabora-se a função de distribuição acumulada para um determinado local da área, para analisar a variável de interesse. Neste estudo foi utilizado para a determinação de teores anômalos de nitrato, para determinação de níveis de poluição acima de um teor critico. Esta técnica permite a elaboração da estimativa de alguns pontos da função distribuição acumulada.

5 RESULTADOS

5.1 Apresentação dos Resultados

A partir dos noventa poços selecionados, foram obtidos os valores de nitrato, a localização geográfica de cada poço amostral e a profundidade dos mesmos. Estes dados encontram-se organizados nas tabelas seguintes, de acordo com as amostragens distribuídas por bairros.

A numeração dos poços amostrados (PA) seguiu ordem crescente, de acordo com a data da realização da coleta de água.

Aplicou-se a Teoria das Variáveis Regionalizadas nos cálculos geoestatísticos. Cada ponto amostrado possui um valor (Teor de NO_3^-) e estes valores se correlacionam com os pontos mais próximos, atribuindo, desta forma, valores estimados onde não se pesquisou, ou seja, em todo o reservatório (Zona 3).

Tabela 2: Dados cadastrais dos poços e teor de nitrato (NO_3^-) no bairro Caladinho.

Poço Amostral	UTM E	UTM N	Profundidade do poço (m)	Teor de NO_3^- (mg/L)
PA14	403315	9026792	7,5	14,54
PA15	403365	9026584	7	16,36
PA16	403571	9026474	8	4,5
PA17	402845	9027314	8	5,7
PA18	402956	9027325	7,5	10,9
PA26	402621	9027960	6	2,45
PA27	402832	9028108	7	2,27
PA28	402918	9027990	9	0,9

O bairro Caladinho não possui rede de água tratada; a população local utiliza a água subterrânea como meio de suprimento diário. Neste bairro foram encontrados muitos imóveis com poços tubulares, o que dificultou o cadastramento de poços rasos.

Observou-se que em 37% dos poços pesquisados os teores de nitrato (NO_3^-) são maiores que 10 mg/L e, em 62% das amostras, os valores estão maiores que 3 mg/L de NO_3^-.

Nos poços amostrados (PA26, PA27 e PA28), os teores de nitrato são menores que 3 mg/L, representando 37% das amostras.

A concentração média de nitrato (NO_3^-) nas águas é 7,20 mg/L e a profundidade média dos poços rasos é de 7,5 metros.

Tabela 3: Dados cadastrais dos poços e teor de nitrato (NO_3^-) no bairro Eletronorte.

Poço Amostral	UTM E	UTM N	Profundidade do poço (m)	Teor de NO_3^- (mg/L)
PA54	401248	9027897	10	16,31
PA55	401431	9027813	7	1,59
PA56	401247	9027881	8	9,94
PA57	401388	9027771	9	7,67
PA58	401377	9027779	6	0,77
PA59	400978	9027708	6	43,68
PA60	400890	9027708	7	3,25
PA61	400830	9027676	7	7
PA62	400911	9027732	7,5	3,09
PA63	400830	9027688	8,5	5
PA64	401337	9027357	9,0	6,27
PA65	401419	9027325	10	4,1
PA66	401111	9027245	11	6
PA67	401503	9027459	12	4
PA68	401566	9027456	09	4,7
PA69	401630	9027460	8	3,7
PA70	401217	9027503	7	4
PA71	401495	9027586	8	3,6
PA72	401316	9028083	9	5,36
PA73	401299	9028068	10	10,36
PA74	401300	9028055	9,5	7,27
PA75	401490	9027811	6	3,27
PA76	401466	9027770	7,5	5,54
PA77	401463	9027724	8	13.0
PA78	401032	9027713	7,5	4,27
PA79	400876	9027644	6	9,54
PA80	400897	9027668	7	12,72

No bairro Eletronorte, realizou-se a maior coleta amostral de água, totalizando vinte e seis poços, ou seja, aproximadamente 28% do total das amostras. Ocorreu maior concentração nas áreas mais urbanizadas do bairro, por critério de acessibilidade.

Com exceção do conjunto residencial Vila da Eletronorte, este bairro não possui rede de abastecimento de água tratada. Sendo, portanto, os poços rasos, o principal sistema fornecedor de água nas residências.

O valor máximo de nitrato encontrado neste bairro foi de 43,68 mg/L no PA59, ultrapassou quatro vezes o estabelecido na Portaria nº. 518/2004/MS. Nos Poços Amostrais PA54, PA59, PA77, PA73 e PA80, os teores de nitrato foram superiores a 10 mg/L, representou 20% das amostras, logo, o maior número de amostras, 80%, apresentou teores abaixo de 10 mg/L. No entanto, 92% dos poços revelaram teores superiores a 3 mg/L, o que indica que o aqüífero livre está contaminado e que o bairro vem sofrendo pressão antrópica. Do total das amostras somente dois poços (PA 55 e 58) estão abaixo de 3 mg/L.

A média de concentração de nitrato é 6,92 mg/L e a média de profundidade dos poços rasos é 8,19 metros.

Tabela 4: Dados cadastrais dos poços e teor de nitrato (NO_3^-) no bairro Castanheira.

Poço Amostral	UTM E	UTM N	Profundidade do poço (m)	Teor de NO_3^- (mg/L)
PA13	403629	9027126	8	13,72
PA83	405062	9027290	7	74,62
PA84	405090	9027950	9	25,46
PA85	404481	9027620	10	18,28
PA86	404892	9026750	8	34,54
PA88	404270	9026680	8	44,14
PA89	405160	9027548	7	9,60

O bairro Castanheira destaca-se pela grande densidade populacional: em torno de 10.251 habitantes. O bairro não possui rede de água tratada, as águas subterrâneas são as únicas fontes de abastecimento. No local, os poços, em sua maioria, são tubulares, principalmente na área central do bairro.

Em seis poços, ou seja, 86%, os teores de nitrato são maiores que 10 mg/L, ou seja, o limite máximo estabelecido para água de consumo humano de acordo com a Portaria nº. 518/04/MS.

No PA89, a concentração de nitrato é pouco menor que 10 mg/L e representa 14% das amostras de água. Em 100% das amostras de água, a concentração de nitrato é maior que 3 mg/L. A concentração média de nitrato nas águas dos poços é 31,48 mg/L e a profundidade média é 8,14 metros.

Tabela 5: Dados cadastrais dos poços e teor de nitrato (NO_3^-) no bairro Cohab Floresta.

Poço Amostral	UTM E	UTM N	Profundidade do poço (m)	Teor de NO_3^- (mg/L)
PA29	403261	9027972	8	1,36
PA30	403251	9028130	7	2,54
PA31	403912	9028134	12	2,54
PA32	403511	9028090	9	7,72
PA33	403710	9028112	8	1,27
PA34	404133	9028396	8,5	2,54
PA35	404100	9028170	10	4,18
PA36	404146	9027976	9	5,45
PA37	403871	9027840	7	9,54
PA38	403699	9028734	8	2,18
PA39	403609	9028600	9	1,81
PA40	403710	9028480	± 9,5	6,36
PA41	403786	9028422	10	5,9
PA42	403563	9027726	7	8,6
PA43	403634	9027496	8	2,36
PA46	403803	9027482	± 9,5	6,84
PA47	403397	9027600	7	62,92
PA48	403163	9027820	7	0,5

No bairro Cohab Floresta, o abastecimento de água tratada ocorre somente dentro do conjunto habitacional COHAB, parte integrante do bairro. E o referido abastecimento é realizado em 100% do conjunto, porém, de forma irregular com abastecimento intermitente.

No restante do bairro não existem distribuição de rede de água tratada, obrigando a população a utilizar os poços rasos como fonte alternativa de abastecimento de água.

No Poço Amostral PA47, o valor de nitrato foi seis vezes maior que o estabelecido na Portaria nº. 518/04 do Ministério da Saúde para água de consumo humano. Nesta amostra, o teor de nitrato foi 62,92 mg/L.

Encontrou-se em 50% das amostras, valores menores que 3 mg/L de nitrato (NO_3^-) e 50% maiores que 3 mg/L. A concentração média de nitrato é 7,47 mg/L e a profundidade média dos poços é 8,52 metros.

Tabela 6: Dados cadastrais dos poços e teor de nitrato (NO_3^-) no bairro Nova Floresta.

Poço Amostral	UTM E	UTM N	Profundidade do poço (m)	Teor de NO_3^- (mg/L)
PA45	402620	9028500	11	70,08
PA81	402054	9029170	7	114,72
PA82	401805	9028250	8	62,92

O bairro Nova Floresta possui rede de abastecimento de água tratada em algumas quadras. Nos locais em que os moradores optaram pela água tratada, os poços foram desativados, dificultando o cadastramento. Proprietários de alguns imóveis não permitiram o cadastramento de seus poços, apesar das justificativas explicitadas no TCLE. O bairro é cortado pelo Igarapé Grande, um dos principais receptores dos esgotos urbanos, principalmente os produzidos pelo Hospital e Pronto Socorro João Paulo II, sendo este a unidade mista de saúde de maior fluxo nesta categoria hospitalar da cidade de Porto Velho.

Em 100% das amostras foram detectados elevados teores de nitrato (NO_3^-), acima de 10 mg/L, característica de águas com alto grau de impactação. O PA81 apresenta teor maior que 100 mg/L, a média de concentração de nitrato é 82,57 mg/L e a profundidade média dos poços é de 8,66 metros.

Tabela 7: Dados cadastrais dos poços e teor de nitrato (NO_3^-) no bairro Conceição.

Poço Amostral	UTM E	UTM N	Profundidade do poço (m)	Teor de NO_3^- (mg/L)
PA19	402318	9027222	6,5	2,9
PA20	402096	9027106	7	2,2
PA21	401908	9027120	7	2,63
PA22	402242	9027346	6	3,27
PA05	402705	9027082	9	0,99

O bairro Conceição não possui rede de distribuição de água tratada, a população local utiliza o aqüífero livre para consumo diário.

Todas as amostras de água realizadas apresentaram baixos teores de nitrato. A população deste bairro é de aproximadamente seiscentos habitantes, o que pode ser fator condicionante de favorecimento para o baixo grau de impactação no aqüífero livre. A média de concentração de nitrato é 2,70 mg/L e somente o poço PA22 apresenta teor maior que 3 mg/L. Quatro poços, ou

seja, 80% das amostras apresentaram teor menor que 3 mg/L e a profundidade média dos poços é 7,75 metros.

Tabela 8: Dados cadastrais dos poços e teor de nitrato (NO_3^-) no bairro Floresta.

Poço Amostral	UTM E	UTM N	Profundidade. do poço (m)	Teor de NO_3^- (mg/L)
PA44	402289	9029590	8	54,98
PA51	403395	9029000	9,5	17,78
PA52	403133	9029066	9,5	52,86
PA53	403041	9030130	8	4,04

Em algumas quadras da porção norte do bairro Floresta, há rede de distribuição de água tratada. No restante do bairro, a água subterrânea através de poços rasos é a única alternativa de abastecimento. Esta área é cortada por igarapés, que já se encontram com alto grau de poluição. Somente um poço (PA53), que representa 25% das amostras de água, apresentou teor de nitrato menor que 10 mg/L. As demais amostras, 75%, apresentaram teores de nitrato maiores que 10 mg/L.

A concentração média de nitrato é 32,40 e a profundidade média é de 8,75 metros. Em 100% das amostras, os teores de (NO_3^-) foram superiores a 3 mg/L.

Tabela 9: Dados cadastrais dos poços e teor de nitrato (NO_3^-) no bairro Cidade Nova.

Poço Amostral	UTM E	UTM N	Profundidade do poço (m)	Teor de NO_3^- (mg/L)
PA10	402854	9025898	7	1,27
PA11	402737	9025750	7,5	5,63
PA12	402671	9026208	8	1,72
PA23	403192	9026124	9	1,27
PA24	403491	9025756	8	1,45
PA25	403068	9026125	7	1,9

O bairro Cidade Nova não possui rede de água tratada em sua totalidade. A água subterrânea é a única fonte de suprimento da população local através dos poços rasos.

Em cinco poços, ou seja, 83% foram detectados teores de nitrato menores que 3 mg/L. O poço PA11 apresenta teor maior que 3 mg/L, representando 16% das amostras de água. A concentração média é 2,20 mg/L de nitrato e a média de profundidade dos poços é 7,75 metros.

Tabela 10: Dados cadastrais dos poços e teor de nitrato (NO_3^-) no bairro Cidade do Lobo.

Poço Amostral	UTM E	UTM N	Profundidade do poço (m)	Teor de NO_3^- (mg/L)
PA01	402514	9026584	7	9,45
PA03	402604	9026504	9	3,62
PA04	402933	9026744	8	2,18
PA06	403001	9026684	7	3,27
PA07	402632	9026418	7,5	2,9
PA08	402823	9026472	7,5	5,63

O bairro Cidade do Lobo, em sua totalidade, não possui rede de abastecimento de água tratada, sendo, portanto, os poços rasos, os principais sistemas fornecedores de água nas residências.

O cadastramento desses poços ocorreu em maior concentração nas áreas mais urbanizadas do bairro, por critério de acessibilidade.

O valor máximo de nitrato encontrado neste bairro foi de 9,45 mg/L no PA01. Todos os resultados das amostras foram menores que 10 mg/L. Do total de seis poços cadastrados, quatro, ou seja, 66,66% revelaram teores maiores que 3 mg/L e dois poços (PA04 e PA07), ou seja, 33,33%, os teores são menores que 3 mg/L. A concentração média de nitrato é de 4,50 mg/L e a profundidade média dos poços rasos é 7,6 metros.

Tabela 11: Dados cadastrais dos poços e teor de nitrato (NO_3^-) no bairro Eldorado.

Poço Amostral	UTM E	UTM N	Profundidade do poço (m)	Teor de NO_3^- (mg/L)
PA49	404094	9029244	8	1,54
PA50	404322	9028812	7	6,5

O bairro Eldorado não possui rede de água tratada, as águas subterrâneas, através dos poços, são a única alternativa para a população local.

A concentração média de nitrato encontrada nos poços é 4,02 mg/L. No PA50, a concentração de nitrato é maior que 3 mg/L, representando 50% da amostra; no PA49, o valor de nitrato foi menor que 3 mg/L, representando 50% da amostra. A profundidade média dos poços é de 7,5 metros.

Tabela 12: Dados cadastrais dos poços e teor de nitrato (NO_3^-) no bairro Novo Horizonte.

Poço Amostral	UTM E	UTM N	Profundidade do poço (m)	Teor de NO_3^- (mg/L)
PA02	402193	9026300	5	1,27
PA09	402164	9026078	7	1,63

O bairro Novo Horizonte não possui rede de abastecimento de água tratada e poucas residências têm instalação de bomba elétrica nos poços. Diante desta limitação, foi possível o cadastramento de somente dois poços, o PA02 e o PA09, onde a concentração média de nitrato é de 1,45 mg/L e profundidade média nos poços é seis metros. Em 100% da amostra o teor de nitrato foi menor que 3 mg/L.

Tabela 13: Dados cadastrais dos poços e teor de nitrato (NO_3^-) no bairro Areia Branca.

Poço Amostral	UTM E	UTM N	Profundidade do poço (m)	Teor de NO_3^- (mg/L)
PA87	400584	9026900	5	97,46
PA90	400923	9026808	10	2,08

O bairro Areia Branca não possui rede de água tratada; as águas subterrâneas, através dos poços escavados pelos moradores, são a única alternativa de abastecimento para a população local.

A concentração média de nitrato encontrada nos poços é de 49,77 mg/L. No PA87 o teor de nitrato é nove vezes maior que o valor máximo permitido pela Portaria nº. 518/04/MS para águas destinadas ao consumo humano, representando 50% da amostra; no PA90, o teor de nitrato foi menor que 3 mg/L, representa 50% da amostra. A profundidade média dos poços é de 7,5 metros.

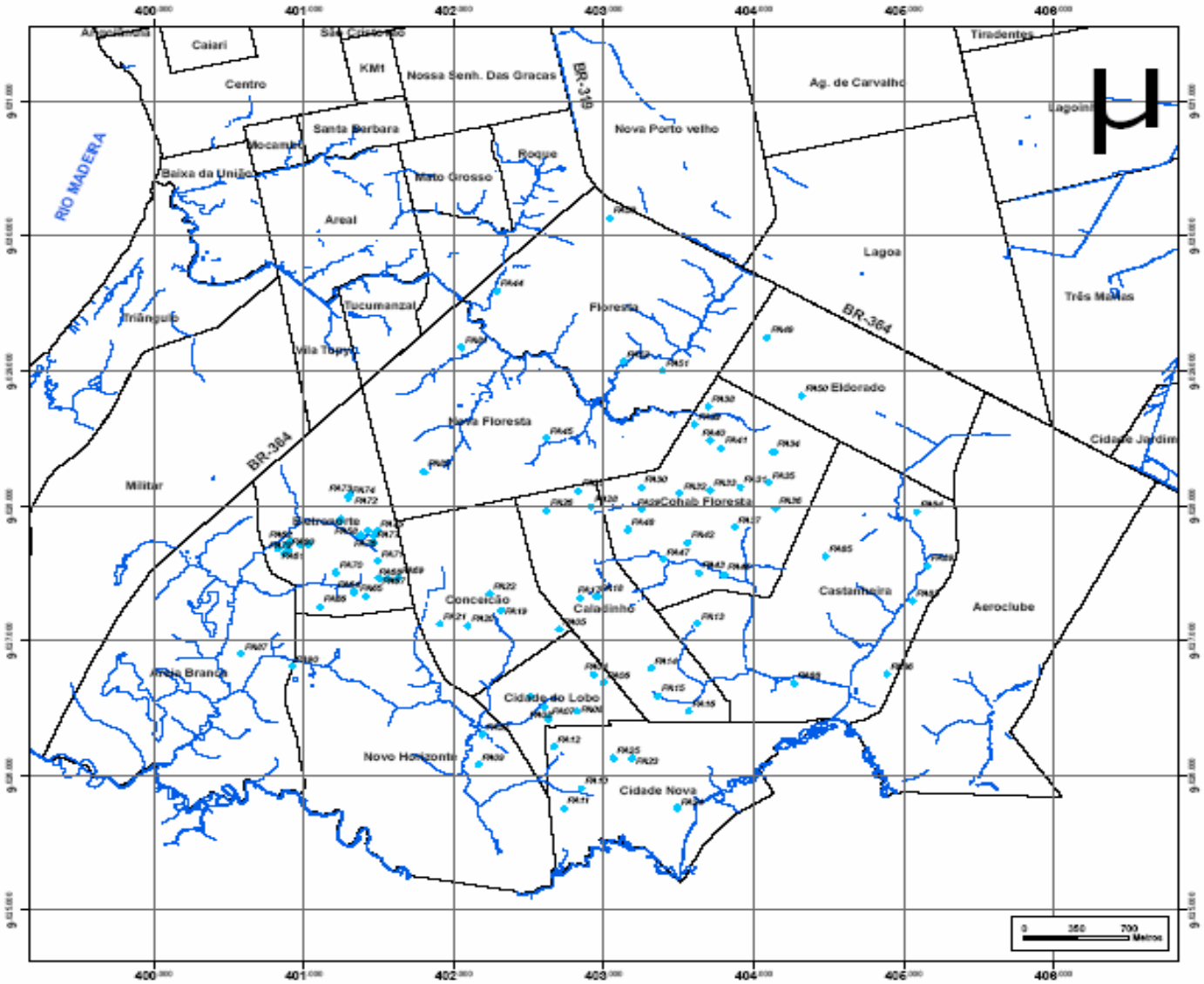
Este bairro é cortado por diversos canais receptores das drenagens urbanas. O PA87 localiza-se próximo a um córrego e o alto grau de contaminação encontrado pode está associado a essa proximidade com o córrego.

O PA90 localiza-se a montante do mesmo córrego e na área há poucas residências. Pode ser que, com estas características, o impacto das atividades antrópicas seja menor no aqüífero, contribuindo para o baixo teor de nitrato encontrado.

5.2 Localização dos Poços

Os noventa poços amostrados encontram-se espacializados, conforme suas respectivas coordenadas UTM, dentro do espaço amostral da Zona 3, ilustrado na Figura 12.

Figura 12: Espacialização dos Poços pesquisados na zona 3 da Cidade de Porto Velho



PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
DATUM OFICIAL - SAD 69
MERIDIANO CENTRAL - 63º WGr
ESCALA: 1:30.000

Legenda

- Poços Rasos
- Rios e Igarapés
- Bairros

Fonte: Cadastramento de Poços Levantados pela Autora, 2007.

5.3 Análise Geoestatística

Os teores de nitrato foram criteriosamente trabalhados através da Geoestatística, elaborando-se o histograma (Figura 13) e o gráfico de média (Figura 14), para facilitar a compreensão do comportamento da pluma de contaminação do nitrato nas águas subterrâneas da Zona 3 da cidade de Porto Velho.

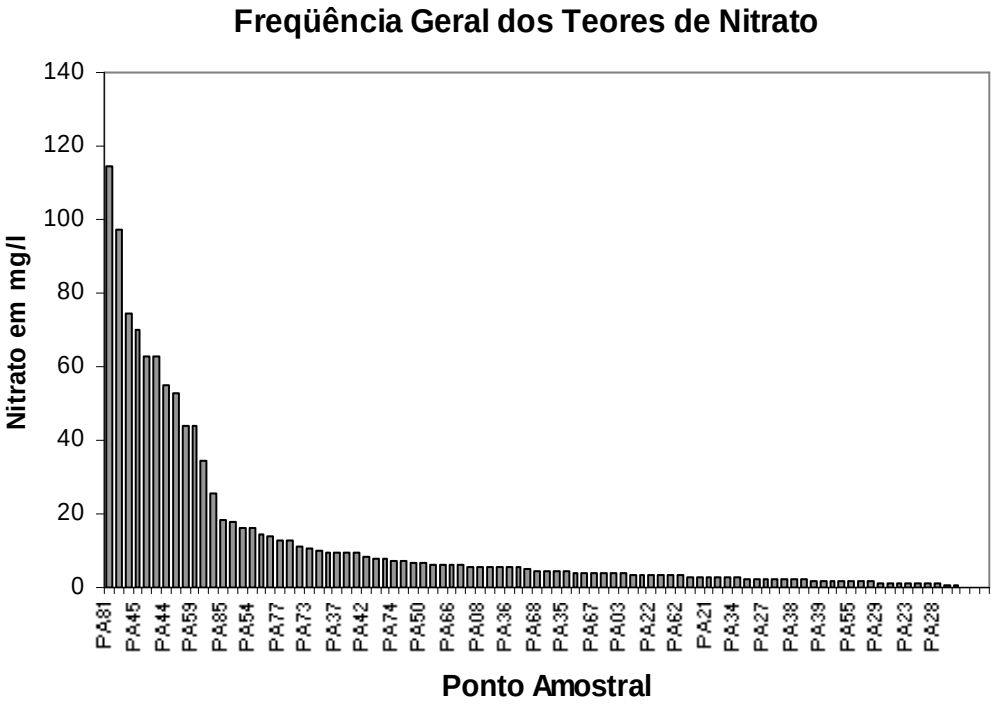


Figura 13: Histograma de teores de nitrato (NO_3^-) nas águas subterrâneas da Zona 3.

Os teores de nitrato (NO_3^-) apresentam distribuição com certa homogeneidade. Visualmente, valores até 114 mg/L de nitrato foram detectados nas águas dos poços amostrados.

A concentração média de nitrato na Zona 3 é 12.96 mg/L e a mediana é 4.8 mg/L.

O predomínio de isovalores de nitrato se manteve abaixo de 10 mg/L em sessenta e oito dos poços amostrados. Nestes termos, não se estabelece a média geral para toda a área, prevalecendo a mediana, devido ao maior número de ocorrência ser abaixo de 10 mg/L.

A Krigagem estimou um valor médio nos locais não amostrados, os maiores teores de nitrato encontrados, serviram de pontos (nó) de referencia, que indicou a tendência da pluma de contaminação no reservatório. Em alguns bairros a contaminação é bem abaixo da mediana, ou seja, menor que 3 mg/L.

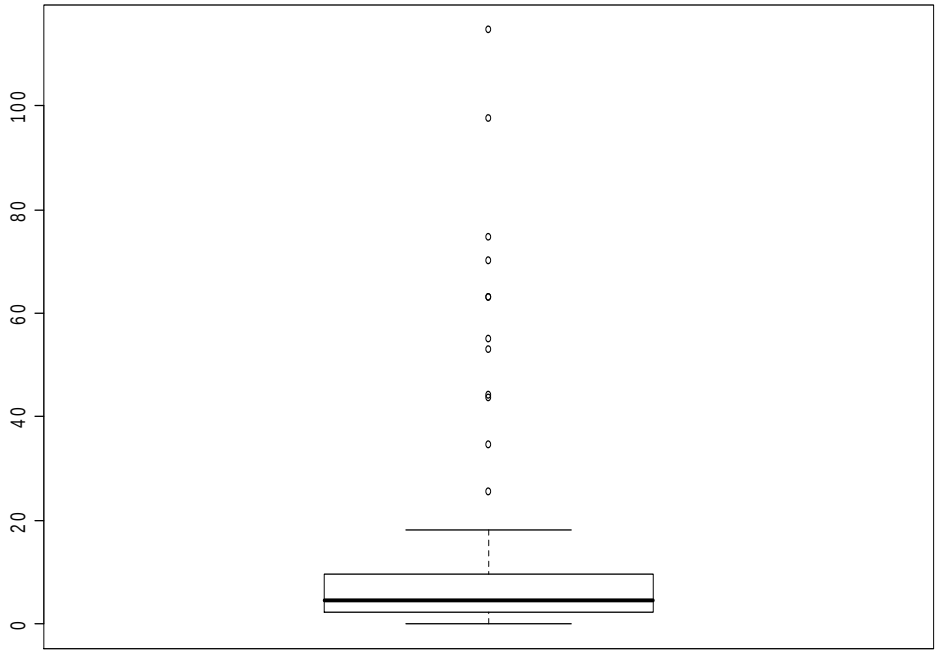


Figura 14 - Concentração média de nitrato NO_3^- (mg/L) na área de estudo.

5.4 Krigagem Indicativa

Para melhor entender o comportamento da pluma de contaminação no Aqüífero Livre**,** onde está situada a Zona 3, optou-se pela Krigagem Indicativa, devido ao comportamento da variável (nitrato) apresentar distribuição espacial correlacionada.

Os dados foram submetidos à análise variográfica proposta por Issak & Srivastava (1989), obtendo-se através desta, a estimativa (cálculo médio para todo o reservatório) e a tendência de probabilidade de contaminação em um dado local não amostrado.

5.5 Análise dos Semivariogramas

Com o objetivo de analisar quantitativamente a variação dos teores de nitrato encontrados no Aqüífero Livre da Zona 3, foram elaborados dois semivariogramas, o primeiro para os valores de nitrato até 3 mg/L e o segundo para os valores de nitrato maiores que 10 mg/L.

Estes semivariogramas se comportaram no modelo estacionário de segunda ordem, ou seja, a variância iniciou-se baixa, aumentando progressivamente com as distâncias que separaram as amostras, até o momento que atingiu o patamar de estabilização, que representa dispersão absoluta. Segundo essa análise, o melhor ajuste do semivariograma experimental ocorreu com o modelo esférico, conforme verifica-se nas Figuras 15 e 16.

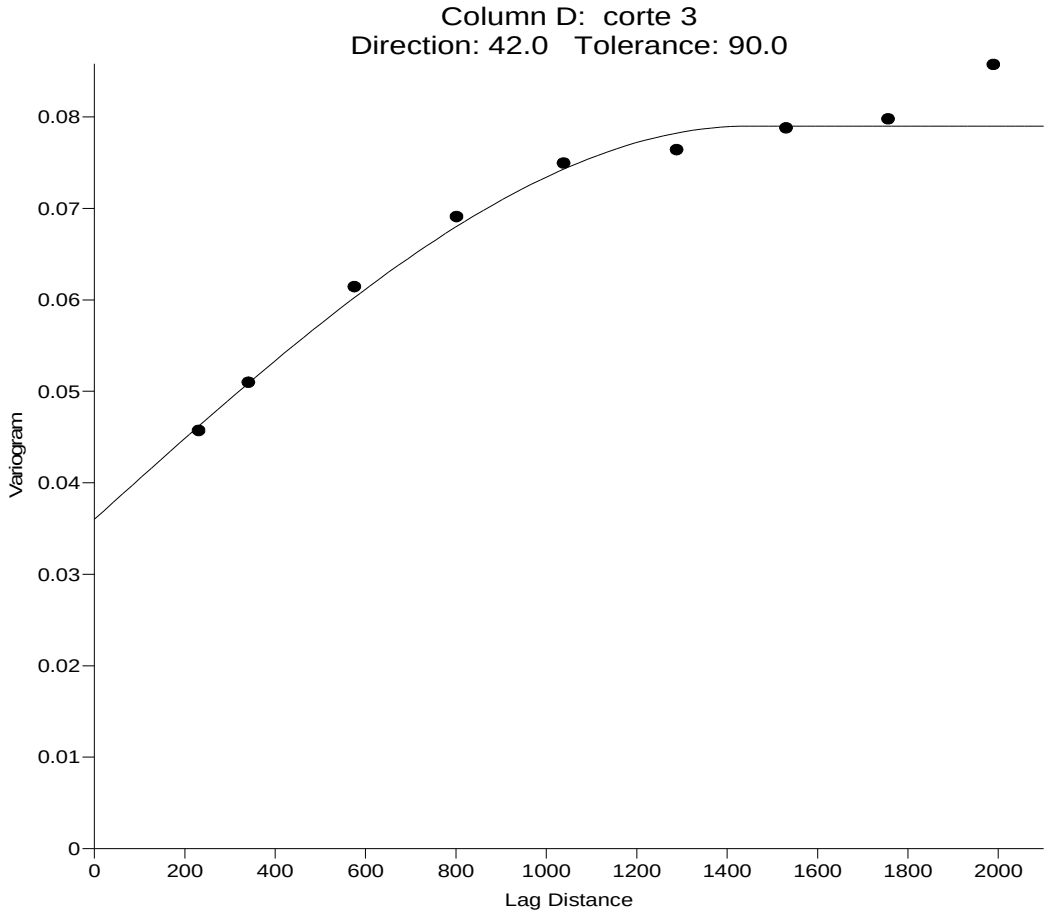


Figura 15: Variograma experimental, ajustado para o nível de corte 3 mg/L de NO_3^-

Os valores de nitrato menores ou iguais a 3 mg/L foram ajustados para o nível de corte 1 (um) e os valores acima deste limite foram ajustados para o nível de corte 0 (zero).

O modelo mais adequado para representação desses valores foi o Esférico, apresentando as características principais do comportamento da variável.

Os parâmetros encontrados foram: Efeito Pepita (Co) = 0,036; Patamar = 0,043 e o Alcance (a) = 1450, resultando no mapa de iso-probabilidade de risco de contaminação por nitrato até 3 mg/L, ilustrado na Figura 17.

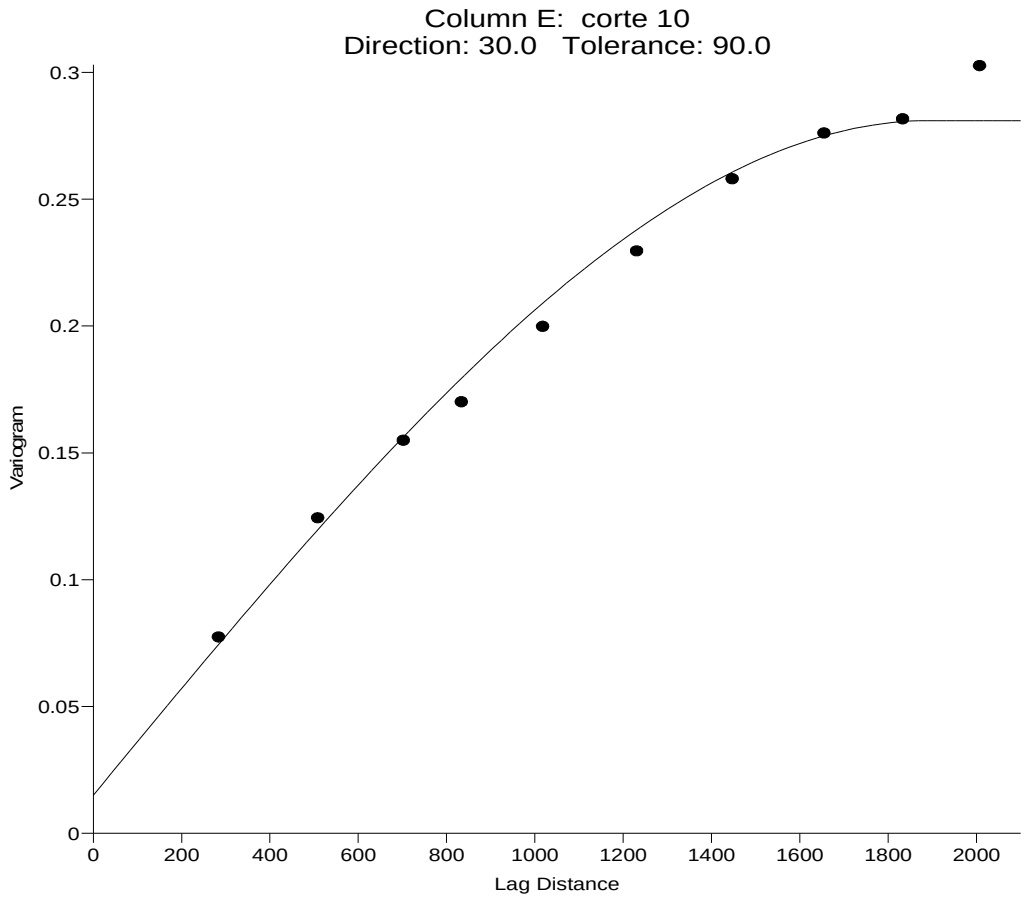


Figura 16: Variograma experimental, ajustado para o nível de corte 10 mg/L de NO_3^-.

O modelo mais adequado para representação dos valores maiores que 10 mg/L de NO_3^- foi o Esférico, o qual apresenta as características principais do comportamento da variável.

Os parâmetros encontrados foram: Efeito pepita (Co) = 0,015; Patamar = 0,266 e o Alcance = 2000.

Os valores de nitrato maiores que 10 mg/L foram ajustados para o nível de corte 0 (zero), e os valores abaixo deste limite foram ajustados para o nível de corte 1 (um). Então, nas isolinhas, onde aparece o número 1 (um) encontram-se os menores teores de nitrato por mg/L no reservatório. Resultando, assim, no mapa de iso-probabilidade de risco de contaminação por nitrato acima de 10 mg/L ilustrado na Figura 18.

Desta forma, foi possível inferir os locais que possuem maior e menor concentração de nitrato e sua correlação com a concentração populacional, no espaço urbano da Zona 3 da cidade de Porto Velho.

6 DISCUSSÃO

As águas subterrâneas do Aqüífero Livre Jaciparaná, na Zona 3 de Porto Velho, estão parcialmente contaminadas por nitrato. Em trinta dos noventa poços pesquisados, ou seja, 33% das amostras de água foram detectados teores de nitrato acima ou muito próximos do limite de 10 mg/L, valor máximo permitido no Brasil para águas destinadas ao consumo humano, conforme a Portaria nº. 518 de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde.

Enquanto que em sessenta e dois poços, representando 68% das amostras, foram identificados teores maiores que 3 mg/L, o que indica alteração na composição química da água por atividades antropogênicas. Os pontos de amostragem, os poços rasos, utilizados neste estudo, 100% possuem profundidade até 12 metros.

Foi observado que a distribuição dos isovalores de nitrato no reservatório diferencia uma área caracterizada, com valores relativamente baixos, cujo contorno é alongado na direção sudoeste da Zona 3, concordante com a orientação de três bairros menos populosos (Conceição, Areia Branca e Novo Horizonte).

Conforme expressa a Figura 17, onde estão localizadas as isolinhas (1), a isoconcentração de nitrato é menor que 3 mg/L, apresentando uma reserva hídrica com baixo impacto. Neste local, estão situados os bairros Eldorado, parte do Cohab Floresta, Caladinho, Conceição, Novo Horizonte, Cidade do Lobo e Cidade Nova.

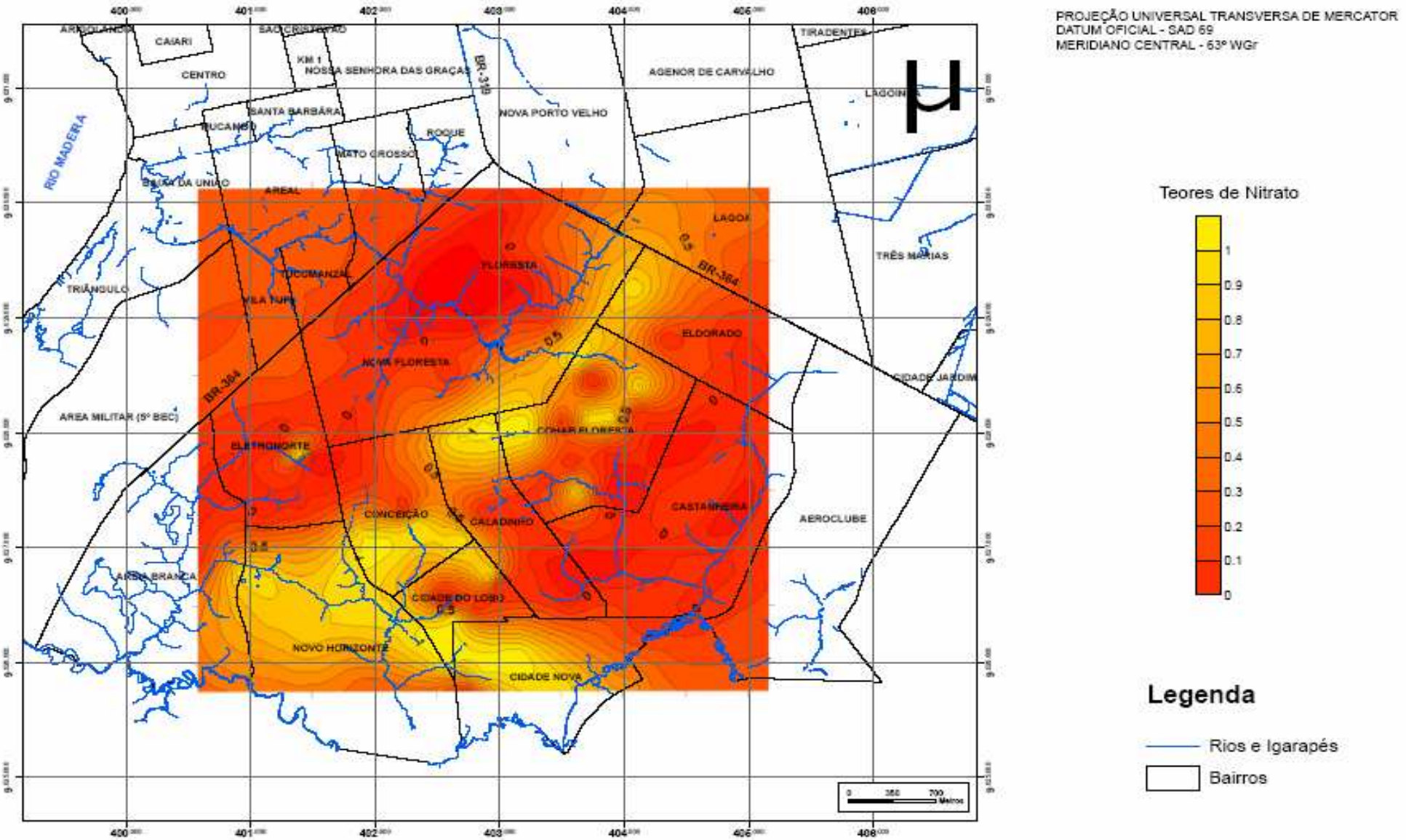
No entanto, a probabilidade da contaminação se estender para o sentido sudoeste e sul da Zona é alta, em virtude da densidade populacional existente no bairro Castanheira. E, estando este localizado no centro leste da Zona, favorece a disseminação das cargas de nitrogênio em todo o aqüífero.

Esta situação se identifica com os conceitos propostos por Hirata *et al.* (1997, p. 16) sobre áreas densamente povoadas e com sistema de saneamento *in situ*. Esta prática se constitui nas principais fontes geradoras de nitrogênio no ambiente, pela grande quantidade de fossas.

O comprometimento parcial na potabilidade das águas subterrâneas na Zona 3, em destaque para as áreas mais densamente povoadas estava dentro do esperado, quando comparados aos estudos realizados por Campos (1999, p. 8) em Mirante da Serra (RO), onde foi encontrado predominância de elevados teores de nitrato (NO_3^-) nas áreas mais densamente povoadas.

Estes resultados são semelhantes aos da Zona 3, somando-se à baixa profundidade dos poços; à situação de sub-afloramento e predominância de latossolos, material extremamente poroso; e, ao alto índice pluviométrico na região, favorecendo o processo de lixiviação. Além da precariedade de proteção, os poços estão susceptíveis a influências variadas da superfície. Estes fatores contribuem de forma direta na contaminação das águas subterrâneas.

Figura 17: Mapa de Iso-probabilidade de risco de contaminação por nitrato (NO_3^-) até 3 mg/L.



Fonte: Dados Temáticos Executados pela Autora, 2007.

Vale salientar, que água potável é a água destinada ao consumo humano, cujos parâmetros microbiológicos, físico-químicos e radioativos atendam ao padrão de potabilidade e que não ofereçam riscos à saúde (BRASIL, 2005, p.12).

Neste caso, é oportuno esclarecer, que a variável nitrato não é suficiente para diagnosticar o grau de contaminação e poluição nas águas. Trata-se de um dos parâmetros de potabilidade. Os compostos nitrogenados na água apresentam-se de diferentes formas e o nitrato é o resultado final da matéria orgânica em decomposição.

Os teores de nitratos encontrados no Aqüífero Livre da Zona 3 podem ser comparados com o estudo realizado por Varnier & Hirata (2002, p. 98), no aqüífero raso do Parque Ecológico Tiête-SP, onde foi detectado a predominância das formas reduzidas do nitrogênio nas proximidades dos sistema séptico e as formas oxidadas (nitrato) em locais mais distantes da fossa.

Este estudo comprova que mesmo a fossa estando longe do poço, em torno de dez metros, comprimento comumente observado, não diferencia o grau de impactação nas águas subterrâneas.

É importante considerar que, havendo a presença de nitrato nas águas, mesmo em concentrações baixas, além de indicar que a contaminação é antiga no ambiente, revela a presença de matéria orgânica associada a bactérias, vírus e parasitas, vivos ou em algum dos estágios de decomposição. Estes agentes são causadores de diversas doenças, principalmente a diarréia aguda e, na forma de nitrato, é indicador carcinogênico.

Desta forma, não é aconselhável consumir a água subterrânea do Aqüífero Livre da Zona 3 da cidade de Porto Velho sem tratamento adequado. Todos os poços amostrados foram constatados a presença de nitrato.

Na espacialização dos teores de nitrato, expresso na Figura 18, nas isolinhas cujos valores se aproximam de 0 (zero), encontram-se as maiores concentrações de nitrato por mg/L e, à medida que os valores se aproximam de 1 (um), diminuem as concentrações no reservatório.

Observa-se, que a maior concentração de nitrato está no sentido noroeste e sudeste da Zona. Nessas áreas estão assentadas as maiores concentrações populacionais nos bairros Castanheira, Caladinho e Nova Floresta e, conseqüentemente, maiores quantidades de poços e fossas. Outro aspecto na Zona 3 são os canais que cortam a região e são utilizados como receptores dos efluentes.

Este indício de contaminação já era esperado, considerando que a Zona 3, em sua totalidade, não possui rede coletora de esgotos e os efluentes (dejetos) produzidos pela população são lançados no solo, nos córregos e em fossas negras locais.

Esta situação também foi observada por Melo Júnior *et al.* (2006, p. 15), através um mapeamento da pluma de contaminação do Aqüífero Livre, realizado pelo método da Krigagem Indicativa, em um bairro periférico da cidade de Porto Velho (RO), confirmando a associação entre elevadas concentrações de nitrato e alta densidade populacional, devido à inexistência de redes coletoras de esgotos. Este fato representa mais um argumento em favor da interpretação proposta.

Semelhantemente, nos bairros Castanheira, Nova Floresta, Floresta e Caladinho estão as maiores concentrações populacionais e os maiores teores de nitrato. No bairro Cidade Nova a concentração média de nitrato é menor que 3 mg/L, neste local apresenta uma concentração populacional considerável, situação semelhante aos bairros Nova Floresta, Floresta e Caladinho, ocorre que a ocupação deste bairro é recente, justificando, então, a baixa impactação. Situação que necessitaria de monitoramento para avaliar o comportamento da concentração de nitrato com a ocupação do solo.

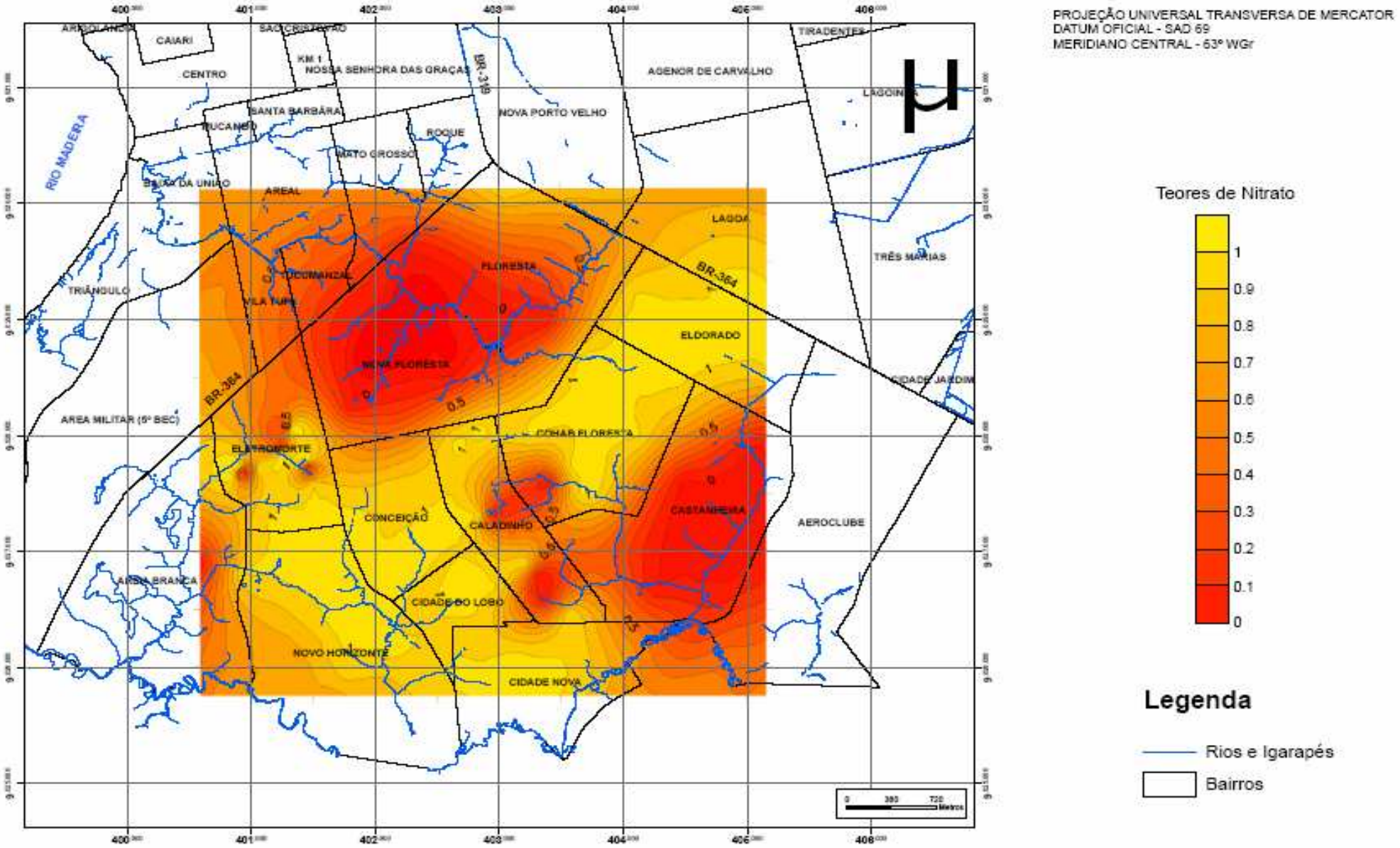
Observa-se, no Poço amostrado nº. PA87, localizado no bairro Areia Branca, porção sul da Zona 3, afastado das duas áreas de maior influência de contaminação (bairros Castanheira e Nova Floresta) e considerando a baixa densidade populacional, um teor de 97,46 mg/L de nitrato. Nove vezes maior que o limite máximo permitido para águas de consumo humano (10 mg/L). Esse percentual alto possivelmente esta associado às características físicas do poço, localizado entre dois canais que são utilizados como receptores dos efluentes produzidos no bairro.

Esta situação pode estar relacionada, conforme Freeze & Cherry (1979, p. 424), com a facilidade que o nitrato tem de se mover e contaminar o aqüífero a longa distância, devido a sua solubilidade em água, persistência e mobilidade. A carga de nitrogênio subsuperficial liberada, dependendo das características físicas do ambiente, pode atingir áreas vizinhas a sua fonte. Este fato foi observado na área central da Zona, o qual sofre influência da contaminação dos bairros Castanheira, Nova Floresta e Areia Branca, pela grande concentração de nitrato nessas áreas, chegando a dez vezes mais que o recomendado pela Portaria Federal nº. 518/04 do Ministério da Saúde.

Na Zona 3, as fossas estão disseminadas de forma aleatória, por toda a área, a preocupação é maior nos bairros Castanheira, Caladinho e Nova Floresta, onde a população é maior, contribuindo para elevar a contaminação das águas subterrâneas compostos do nitrogênio.

A relevância dos estudos sobre compostos nitrogenados nas águas de consumo justifica-se pelo fato da fonte de captação de água na Zona 3 ser realizada de maneira individual. O sistema de saneamento básico, especialmente água tratada, é uma atividade complexa e requer equipe de profissionais interdisciplinar.

Figura 18: Mapa de Iso-probabilidade de risco de contaminação por nitrato (NO^-_3) > que 10 mg/L.



Fonte: Dados Temáticos Executados pela Autora, 2007.

Este estudo realizado na Zona 3, local onde as águas subterrâneas são as fontes principais de abastecimento, teve como princípio orientador, o estudo realizado por Alaburda & Nishihara (1998, p. 161). Quando estas autoras, preocupadas com a saúde das crianças e idosos, por serem mais susceptíveis ao desenvolvimento da metahemoglobinemia quando expostas ao consumo de água com nitrato, encontraram compostos nitrogenados em seiscentos e sete amostras de água de poços na região metropolitana de São Paulo, detectando, em 15% das amostras, pelo menos uma forma de nitrogênio acima do limite permissível.

O objetivo maior é enfatizar a relevância deste agente químico nas águas de consumo, não se estendendo a identificar números de agravos à saúde relacionados diretamente com o nitrato. As pesquisas desenvolvidas neste sentido são muito recentes. Não se pode ainda estabelecer com segurança uma conexão direta. Desta forma, apenas um agravo (diarréia aguda) foi inferido neste estudo. Nota-se que essa causa de morbidade tem alta influência na vida dos habitantes da Zona 3, como constatado pelos dados apresentados pela Secretaria Municipal de Saúde (SEMUSA), no primeiro semestre de 2007.

Porto Velho, por se tratar de um município com baixa densidade populacional quando comparado a São Paulo, poderia lançar mão de estratégias específicas, como ampliação das redes de água tratada e redes coletoras de esgotos, para melhorar o acesso da população aos serviços de saneamento básico e, efetivamente, diminuir a contaminação nas águas subterrâneas.

Paralelamente, a CAERD deveria construir um banco de dados do *Backgroud* dos agentes químicos do local, contento, ao menos, os parâmetros estabelecidos na Portaria nº. 518/04 do Ministério da Saúde para as futuras inferências, visando, primeiramente, à saúde dos habitantes expostos a pratica de saneamento *in situ*.

Percebe-se que o quadro epidemiológico de doenças relacionadas à água é muito significativo. A mesma fonte essencial à vida, quando tem sua qualidade comprometida, contribui para elevar estatisticamente os agravos, especialmente nas áreas subdesenvolvidas.

Independentemente de qualquer interpretação sobre a fonte da contaminação, importa a verificação da possibilidade de sua remediação. Através das inferências realizadas pela Krigagem Indicativa, reconhece-se um padrão de contaminação com ampla distribuição na área em estudo. Foi observado ainda, apesar de não fazer parte diretamente desta pesquisa, a incorreta ou impraticável localização das cargas contaminantes, o que interfere na sua neutralização.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Realizou-se na Zona 3 da cidade de Porto Velho-RO, o cadastramento de noventa poços rasos, distribuídos aleatoriamente em doze bairros. Os poços amostrais foram os mesmos utilizados pelos moradores no consumo diário.

As águas subterrâneas do Aqüífero Livre Jaciparaná, coletadas nos bairros pesquisados, 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.

A pluma de contaminação foi evidenciada através da Krigagem Indicativa. Este método mostrou-se muito satisfatório. Identificaram-se duas áreas anômalas no reservatório da Zona 3: uma, com isovalores até 3 mg/L de nitrato, e pequenas manchas, com isovalores abaixo deste limite, localizadas nos bairros Conceição, Novo Horizonte, Caladinho e Cidade Nova, representando baixa contaminação.

Nesses bairros a densidade populacional é menor, originando menores despejos de efluentes. Ainda assim, não é possível descartar a influência da contaminação através dos bairros vizinhos, onde a concentração populacional é maior, e o fato de que a densa rede de canais existentes na Zona 3 recebe esses efluentes e parte do lixo produzido pelos moradores, além do despejo do esgoto do Hospital João Paulo II, no bairro Nova Floresta.

A outra área anômala apresentou alto grau de impactação, identificando-se teores de nitrato acima de 10 mg/L, compreendendo os bairros Floresta, Nova Floresta, partes do Caladinho, Eletronorte e Areia Branca. Nestes locais as águas estão totalmente impróprias para consumo humano.

O nitrato é uma substância química, originado do nitrogênio, constituinte da matéria orgânica em decomposição e foi constatado neste estudo sua presença em teores elevados nas águas consumidas diariamente pela população da Zona 3.

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 aqüífero, pelo fato, do nitrato representar a parte final do ciclo do nitrogênio. Neste caso, o aqüífero pode estar ou não contaminado por compostos do nitrogênio em fases iniciais (amônia, amônio ou nitrito). Portanto, recomendam-se estudos mais detalhados sobre o ciclo do nitrogênio.

Encontrou-se um número elevado de domicílios em situação de abandono e, conseqüentemente, os poços desativados foram submetidos a depósitos de lixo ou utilizados como fossas sépticas. Este evento é considerado um agravante na contaminação das águas subterrâneas, muito comum nas áreas identificadas neste estudo.

Pode-se concluir que a baixa renda é um fator preponderante na contribuição da contaminação da água subterrânea, uma vez que fatores, como a falta de informação e condições sócio-econômicas dos moradores, levam os mesmos a praticarem esses atos, desatentos à trajetória da degradação.

Em um imóvel, cujo teor de nitrato foi o mais elevado deste estudo, chegou a dez vezes o valor recomendado para água potável. Imóvel este, localizado no setor abastecido por água tratada da CAERD. A proprietária do imóvel encontrava-se grávida e em uma situação de extrema pobreza. A mesma afirmou que suas condições financeiras não permitiam pagar o consumo de água mensal, por este motivo a preferência pela água do poço.

Percebeu-se que os moradores da Zona 3 preferem consumir a água do poço, quando esta apresenta característica física límpida. Vale salientar que o nitrato é incolor, dificilmente detectado fora do laboratório.

Estes fatores refletem a situação sócio-econômica da população, pois todo indivíduo contribui para o desenvolvimento da comunidade em que vive, no entanto, quando suas condições financeiras não são suficientes, ele não consegue usufruir os benefícios oferecidos à comunidade. Desta forma, essa troca fica prejudicada e os indivíduos tornam-se discriminados, necessitando uma maior participação, para o aproveitamento dos benefícios oferecidos pelos órgãos públicos. Ocorre, pois, o processo de exclusão na sociedade e, conseqüentemente, ficam cada vez mais susceptíveis às doenças.

Fica explícito, que os problemas ambientais encontrados na Zona 3, representam a forma sob a qual a problemática social se expressa, confirmada pela observação de que fontes potenciais de contaminação das águas estão relacionadas tanto com a deficiência de infra-estrutura urbana quanto às políticas públicas, incapazes de equacionar estas fontes de contaminação enquanto a população de Porto Velho ainda totaliza menos que 300 mil habitantes.

Dentro desta perspectiva, foi demonstrada, de forma relativa, a influência da ocupação humana sobre o Aqüífero Livre da Zona 3, adicionando compostos nitrogenados a este sistema. Foram aferidas concentrações que tornam a água imprópria para o consumo humano.

Estes dados configuram uma realidade local e atual, embora, desde os tempos remotos, a relação homem-natureza seja discutida e, em pleno século XXI, questões relacionadas ao modo de organização espacial ainda seja assunto relevante, devido aos autos índice de agravos à saúde das populações, principalmente, de baixa renda.

Neste aspecto, dentro do ramo da Geografia da Saúde, aponta-se a negligência da aplicação dos conceitos geográficos no planejamento da localização e administração de serviços de saúde, bem como, ineficiência nas políticas públicas capazes de projetar cenários para alcançar um desenvolvimento sustentável para a cidade de Porto Velho.

Face à utilização contínua e sem restrição da água dos poços rasos na Zona 3, a população residente no local está sujeita a contaminação bacteriológica e química. Com isso, recomendam-se medidas urgentes, como:

a) Controle, pela CAERD, das atividades e fontes poluidoras, ou seja, a implantação e o gerenciamento de um sistema de saneamento que garanta a coleta e o tratamento do efluente gerado na Zona e a desativação das fossas sépticas e valas negras geradoras de poluição na água subterrânea. Estas medidas possibilitariam a redução das concentrações de nitrato e também diminuiria a probabilidade de contato da população que reside no local.

b) Sugere-se à SEMA – Secretaria Municipal do Meio Ambiente, em parceria com a SEMUSA – Secretaria Municipal de Saúde, realizar um trabalho de conscientização através de uma campanha educativa enfatizando a importância do uso da água de poços, objetivando a mobilização da população consumidora para um melhor aproveitamento e conservação desse recurso essencial à vida da comunidade. Este trabalho de conscientização contribuiria também para um melhor uso do serviço de água a ser instalado futuramente pela CAERD.

REFERÊNCIAS

ABAS. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. Poços para a captação de água. http://www.abas.org.br. Acesso em 20/09/2007.

ADAMY, A. & ROMANINI, S. *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil*: Geologia da Região Porto Velho - Abunã. Folhas Porto Velho (SC. 20-V-B-V): Mutumparaná (SC.20-V-C-VI); Jaciparaná (SC.20-V-D-I); Abunã (SC.20-V-C-V). Estado de Rondônia e Amazonas. Brasília: DNPM/CPRM,1990. 273 p.

ALABURDA, J.; NISHIHARA, L. *Presença de Compostos de Nitrogênio em Águas de Poço.* Revista de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 32, n. 2, p. 160-5, abr.1998.

AMARAL, S. E.; LEINZ, V. *Geologia Geral*. 14 ed. São Paulo: Nacional, 2003. 391 p.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). *Standard Methods for the* E*xamination of water and wastewater*. 17 ed. Washington: 1998. p. 475 - 93.

ARENZON, A. *Ensaios Ecotoxicológicos no Monitoramento da Qualidade das Águas Subterrâneas Potencialmente Impactadas*. (Doutorado em Ecologia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. 90 p.

ARUMI, J. L.; SALGADO, L.; CLARET, M. *Risk Analysis of Nitrate Contamination in Wells Supplying Drinking Water in a Rural Area of Chile*. Revista Panam Salud Pública, v.20, n. 6, p. 385-92, dez. 2006.

AZEVEDO, T. S.; VENEZIANI JR., J. C. T. *Mapeamento da Distribuição Espacial da Concentração de Monóxido de Carbono (CO) por Krigagem Indicativa em Áreas Urbanas*. Belo Horizonte: Caderno de Geografia, v. 15, n. 25, p. 9-22, 2º sem. 2005.

BAIRD, C. *Química Ambiental*. Traduzido por Maria Angeles Lobo Recio e Luiz Carlos Marques Carrera. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622 p.

BATALHA, B. L.; PARLATORE, A. C. *Controle da Qualidade da Água para consumo humano*: bases conceituais e operacionais. São Paulo: CETESB, 1993.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Comentários sobre a Portaria nº. 518/2004: Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2005. 92 p.

BRASIL. Portaria Ministério da Saúde nº. 518 de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, 2004.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. Manual de Saneamento. 3. ed. Brasília: FUNASA, 2005. 408 p.

BRAGA, B. *et al*. *Introdução à Engenharia Ambiental*. São Paulo: Prentice Hall, 2002. 305 p.

BORGHETTI, N. R. B.; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. *Aqüífero Guarani: A verdadeira integração dos países do mercosul*. Curitiba: 2004, 214 p.

BOUCHARD, D. C.; WILLIANS, M. K.; SURAMPALLI, R. Y. *Nitrate Contamination of Ground Water*: sources and potential health effects. J. Am. Water Works Ass. p. 84-90. 1992.

CAERD. COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS DE RONDÔNIA. *Diagnóstico técnico operacional sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário:* Programa de Saneamento Básico do Estado de Rondônia. Porto Velho: Gerência de Projetos e Obras, 2006. 298 p.

CAMPOS, J. C. V. C*ontaminação das águas subterrâneas na cidade de Mirante da Serra (RO)*. Porto Velho*:* Serviço Geológico do Brasil, 1999. p. 1-11.

CAMPOS, J. C. V. *A problemática dos recursos hídricos subterrâneos na Amazônia na visão do Serviço Geológico do Brasil*. In: I SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO SUDESTE, 2003, Rio de Janeiro: 2003. p. 133-41.

CAMPOS, J. C. V.; SILVA FILHO, E. P.; OLIVEIRA, I. R. *Contaminação do Aqüífero Jaciparaná na cidade de Porto Velho (RO)*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGUAS SUBTERRÂNEAS, v. 22. CUIABÁ: 2004. p. 1-10.

CHAPELLE, F. H. *Ground-water Microbiology and Geochemistry*. 2. ed. John Wiley & Sons, 2000. 477 p.

CRESSIE, N. *Statistics for Spacial*. New York: Wiley, 1993. 900 p.

CORTECCI, G. Geologia e Saúde. Tradução de Wilson Scarpelli. São Paulo: http://www.dst.unipi.it/fist/salustre/salute.htm. Acesso em: 10 de outubro de 2006. 30 p.

COSTA, M. C. N.; TEIXEIRA, M. G. L. C. *A Concepção de Espaço na Investigação* E*pidemiológica*. Caderno de Saúde Pública, Rio de Janeiro. v. 15, n. 2, p. 271-9. abr-jun, 1999.

DERISIO, J. C.; SOUZA, H. B. *Guia Técnico de coleta de amostras de água*. São Paulo: CETESB, 1977. 257 p.

FERNANDES, J. *Química analítica qualitativa*: cursos técnicos e profissionalizantes do 2º grau, curso de química industrial e curso superior de química, São Paulo: Hermes, 1982. 176 p.

FERNANDES, L. C.; GUIMARÃES, S. C. Governo do Estado de Rondônia. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental. Atlas Geoambiental de Rondônia. Edição digital. SEDAM, Porto Velho, CD ROM, 2003. 143 p.

FERNICOLA, N. G. G.; AZEVEDO, F. A. *Metahemoglobinemia e Nitrato nas Águas*. Revista de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v.15, n. 2, p.242-8, abr. 1981.

FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M. (org). *Hidrogeologia* - Conceitos e Aplicações. 2. ed. Fortaleza: CPRM/LABHID-UFPE, 2000. 391 p.

FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. *Groundwater Contamination*. New Jersey: Prentice Hall, 1979. 604 p.

FINOTTI, A. R.; CAICEDO, N. O. L.; RAYA RODRIGUES, M. T. *Contaminações Subterrâneas com Combustíveis Derivados de Petróleo*: Toxidade e a legislação brasileira. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 6, n. 2, p. 29-46. 2001.

FOSTER, S.; VENTURA, M.; HIRATA, R. C. A. *Poluição das Águas Subterrâneas*. São Paulo: Série Manuais. Instituto Geológico. Secretaria do Meio Ambiente. 1993. 53 p.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. *Evaluación del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas - metodo de reconocimiento basado en datos existentes.* CEPIS-OPS. Lima: Versión preliminar, 1988. 84 p.

FREUND, J. E.; SIMON, G. A. *Estatística Aplicada.* Economia, Administração e Contabilidade. 9. ed. Porto Alegre: BOOKMAN, 2000. 334 p.

FURASTÉ, P. A. *Normas Técnicas para o Trabalho Cientifico: Elaboração e Formatação*. Explicação das Normas da ABNT. 14. ed. Porto Alegre: [s.n.], 2006. 307 p.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs). *Geomorfologia e Meio Ambiente*. Rio de janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 394 p.

GUIGUER, N. *Poluição das Águas Subterrâneas e do Solo Causada por Vazamentos em Postos de Abastecimento*. Santo André: Waterloo Brasil, 2000. 356 p.

GODOY, M. C. T. F. *et al. Contaminação das Águas Subterrâneas por Nitrato em Presidente Prudente- SP, Brasil*. Revista Inst. Adolfo Lutz, v.63, n. 2, p. 208-14, 2004.

HIRATA, R. C. A.; BASTOS, C. R. A.; ROCHA, G. A. (Coord.) *Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo*. São Paulo: Páginas e Letras, 1997. 129 p.

HOUNSLOW, A. W. *Water quality data*: analysis and interpretation. New York: Lewis Publishers, 1995. 397 p.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Resultados do Censo Demográfico. Rio de Janeiro: 2000.

_____.Atlas de saneamento - IBGE. Rio de Janeiro: 2004. CD ROM

_____.Contagem populacional - IBGE. Rio de Janeiro, 2005.

IÑIGUEZ, R. L. Geografía y Salud. *Temas y perspectivas en América Latina*. Rio de Janeiro: Cadernos de Saúde Pública, v.14, n. 4, p. 798. 1998.

ISAAK, E..; SRIVASTAVA, R. *An introduction to applied geoestatistic*. New York: Oxford University Press, 1989.

ISOTTA, C. A. L. *et al*. *Projeto Província Estanífera de Rondônia.* Porto Velho: relatório final. MME/DNPM/CPRM, v. I, 1978. 407 p.

LANDIM, P. M. B. *Análise Estatística de Dados Geológicos*. 2. ed. São Paulo: Unesp, 2003. 254 p.

LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R. *Krigagem Indicativa Aplicada à Elaboração de Mapas Probabilísticos de Riscos*. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 06, 2002. 19 p. Disponível em http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html. Acesso em: 10 nov. 2007.

LEMOS, J. C.; LIMA, S. C. *A geografia médica e as doenças infecto-parasitárias*. Caminhos da Geografia, v. 3, n. 6, p.74-86, jun. 2002.

MARQUEZAM, R. G. *Avaliação do potencial de vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas na área do sistema dutos REFAP-COPESUL, Triunfo, RS*. (Mestrado em Geociências), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000. 167 p.

MELO JUNIOR, H. R. *et.al. Avaliação da Qualidade das Águas Subterrâneas em uma Zona Urbana da Amazônia Brasileira: Estudo de caso do bairro Eletronorte, Porto Velho (RO)*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 14, 2006, Curitiba: Anais. Curitiba: ABAS, 2006. p. 1-20.

MELLO, J. M. *Geoestatística Aplicada ao Inventário Florestal*. (Doutorado em Geociências). Universidade de São Paulo: São Paulo, 2004. 104 p.

MEDRONHO, R. A. *Geoprocessamento e Saúde***:** Uma nova abordagem do espaço no processo saúde-doença. Rio de Janeiro: NECT, FIOCRUZ, 1995.135 p.

MORAES, A. C. R. *Meio Ambiente e Ciências Humanas*. 2. ed. São Paulo: Hucitec, 1997. 100 p.

MORAIS, P. R. C. *Mapa Hidrogeológico do Estado de Rondônia:* Programa Recursos Hídricos. Porto Velho: CPRM, 1998. 32 p.

ODUM, E. P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Guanabara KOOGAN S.A. 1988. 434 p.

OLIVEIRA, J. N.; SOBRINHO, M. D.; GIUNTA, V. D. *Utilização de Krigagem como estimador da variabilidade espacial de nitrato em um aqüífero*. In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 10, 1998, São Paulo. Resumos. São Paulo: ABAS, 1998. p 1-10.

PARAGUASSU-CHAVES, C. A. *Geografia Médica ou da Saúde*: Espaço e doença na Amazônia Ocidental. Porto Velho: EDUFRO, 2001. 276 p.

PETTA. A. R. *et al*. *Avaliação da Contaminação da Água Consumida no Campus da UFRN em Relação à Presença de Nitratos Provenientes de Fossas Sépticas*. In: GEOLOGIA MÉDICA NO BRASIL. Rio de Janeiro: Serviço Geológico do Brasil, 2006. p.192-9.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. *Águas Doces no Brasil, Capital Ecológico, Uso e Conservação*. São Paulo: Escritura, 1999. 717 p.

RODRIGUES M. J. *Espaço e Serviço de Saúde Pública em Uberlândia*: Uma análise do acesso no programa saúde da família: núcleo Pampulha. (Mestrado em geografia). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007. 200 p.

SANTOS, M. *Metamorfoses do espaço habitado*. 5. ed. São Paulo: Hucitec, 1997. 124 p

SANTOS, M. *A Natureza do Espaço*: Técnica e Tempo Razão e Emoção. 3. ed. São Paulo: Hucitec. 1999. 305 p.

SEMUSA. Secretaria Municipal de Saúde. *Distribuição dos casos de diarréia por faixa etária, plano de tratamento e saúde epidemiológica.* Unidade de vigilância epidemiológica e controle de agravos. Coordenação nacional de doenças entéricas: MS/FNS/CENEPI. Porto Velho, 2007.

SIMÃO, F. B. *Mapeamento de risco de malária na área urbana de Porto Velho - RO, pela krigagem indicativa*. (Mestrado em Geociências). Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro, 2001. 78 p.

SILVA, R. C. A.; ARAÚJO, T. M. *Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA)*. Ciência & Saúde Coletiva, Rio de Janeiro, v. 8, n. 4, p. 1019-28, dez. 2003.

SILVA FILHO, E. V. *et al. Origin of Groundwater Elements in the Coastal Region of Niterói – RJ – Brasil.* In: Congresso Brasileiro de Geoquímica, 4, 1993, INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PERSPECTIVES FOR ENVIRONMENTL IN TROPICAL COUNTRIES. Anais. 1993. p. 475-82.

SILVA, A. G. *Amazônia. Porto Velho*. Porto Velho:1991.

SURFER.GOLDEN SOFTWARE. *Surfer for windows version 8.0*.

SHUVAL, H. I.; GRUENER, N. *Epidemiological and toxicological aspects of nitrates and nitrites in the environment*. Amer. J.Hlth, v. 62, n. 8, p. 1045-50, august, 1972.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. *Applications of geoestatistics to spatial studies of soil proprieties.* Advances in Agronomy, Kent, v. 38. p. 45-94. 1985.

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

ANEXO A

FICHA INDIVIDUAL DE AMOSTRAGEM DE ÁGUA

(Laboratório de Análises Ambientais - LAA/ SEDAM)

GOVERNO DE RONDÔNIA
SEDAM
SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO AMBIENTAL

GOVERNO DO ESTADO DE RONDÔNIA
SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO AMBIENTAL – SEDAM
NÚCLEO DO MEIO FÍSICO
Laboratório de Análises Ambientais - LAA

BAC **Nº** **FQ**

FICHA INDIVIDUAL DE AMOSTRAGEM DE ÁGUA

Cliente/Empreendimento:	
Endereço:	Fone:
Município:	
Local da Coleta: Ponto X [ ], Montante [ ], Jusante [ ]	
Manancial:	
A que se destina:	
Consumo Humano [ ], Balneário [ ], Aqüicultura [ ], Controle Ambiental [ ], Outros [ ]	
Data da Coleta:...../...../...../ Hora:	
Entrada no LAA:...../...../.....	
Temp. da Água: ºC	Temp. do Ar: ºC
Chuva nas últimas 24 hs? S [ ], N [ ]	Aspecto da água:
Água de Poço? S [ ], N [ ]	Profundidade: M
Idade do Poço: Anos	Cond. Higiênica: O [ ], B [ ], Rg. [ ], R], P [ ]
Tipo de Poço: C. [ ] TB [ ]	Capacidade: m³
Fossas na vizinhança? S [ ], N [ ]	A que distância? M
Criação de animais? S [ ], N [ ]	A que distância? M
Lançamento de Esgotos? S [ ], N [ ]	A que distância? M
OBS:	
Coletor:	

ANEXO B

BOLETIM DE RESULTADO DE ANÁLISES

(Laboratório de Análises Ambientais - LAA/ SEDAM)

GOVERNO DE RONDÔNIA
SEDAM
SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO AMBIENTAL

Núcleo do Meio Físico/Laboratório de Análises Ambiental - LAA

BOLETIM DE RESULTADO DE ANÁLISES

CLIENTE:	DATA DA COLETA:
ENDEREÇO:	FONE:
MUNICÍPIO:	HORARIO:
LOCAL DA COLETA:	COLETOR:
PONTO REF:	
DESTINO DA AGUA:	BOLETIM N°:

DADOS SOBRE A AMOSTRA

TRATADA:	POÇO:	MANANCIAL:
TEMP. ÁGUA:	TEMP. AR:	Chuvas nas últimas 24 H:

ANALISES FÍSICO-QUÍMICA

1 -CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E ORGANOLÉPTICAS

DETERMINAÇÕES	VALORES ENCONTRADOS	EXPRESSO COMO
PROCESSADO Á:		˚C
ASPECTO		Límpido
COR		Mg Pt/L
ODOR		Não Perceptível
Ph		
TURBIDEZ		UNT
CONDUTIVIDADE ESPEC. 25 °C		mS/cm
OD	-	

2 - CARCTERÍSTICAS QUÍMICAS

DETERMINAÇÕES	VALORES ENCONTRADOS	EXPRESSO COMO
AT (alcalinidade total)		Mg/L (CA CO^3)
AMÔNIA		Mg/L
ALUMÍNIO		Mg/L
CLORETOS		Mg/L (CI)
CÁLCIO		Mg/L
DT (dureza total)		Mg/L (C AC O^3)
DQO		Mg/L
DBO		Mg/L
Fe T.		Mg/L
NITROG. NITRITO		Mg/L
NITROG. NITRATO		Mg/L $(NO)^3$
SULFETO		Mg/L
SULFATO		Mg/L

ANÁLISE BACTERIOLÓGICA N°

METODOLOGIA UTILIZADA: MEMBRANA FILTRANTE (MF) 24 H, MEIO – Cromocult Coliform Agar
NC MF Total de Coliformes / 100ml:
NC MF de Coliformes Fecais/ 100ml:
NC MF de Coliformes Totais/100ml
NC MF de Salmonela /100ml
NC MF de Enterobactérias / 100ml
Analista: **Conclusão:** ***Bacteriológica:*** ***Físico Química:***