



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº

**QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS RASAS DO
BAIRRO CENTRO DO MUNICÍPIO DE MARITUBA-PA E SUA
RELAÇÃO COM AS PRINCIPAIS FONTES POTENCIAIS DE
POLUIÇÃO.**

Dissertação apresentada por:

ÁDRIA LORENA GALDINO DE ALMEIDA ROCHA

Orientador: Prof. Dr. Milton Antônio da Silva Matta
Universidade Federal do Pará

BELÉM

2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

**QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS RASAS DO
BAIRRO CENTRO DO MUNICÍPIO DE MARITUBA-PA E SUA
RELAÇÃO COM AS PRINCIPAIS FONTES POTENCIAIS DE
POLUIÇÃO.**

Dissertação apresentada por:

ÁDRIA LORENA GALDINO DE ALMEIDA ROCHA

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Recursos Hídricos .

Data de Aprovação:

Banca Examinadora:

Orientador Prof. Dr. Milton Antônio da Silva Matta
Universidade Federal do Pará

Profa. Dra. Carolina Rosal Teixeira de Souza-Membro
Universidade Federal do Pará

Prof, Dr. Mário Vicente Caputo- Membro
Universidade Federal do Pará

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a toda minha família, em especial ao homem brilhante e genial que já conheci nesta vida meu avô João Clementino de Almeida (*in memoriam*) que fez papel de meu pai meu herói durante os 12 anos que esteve presente em minha vida terrena.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, a Deus em primeiro lugar, pois sem a fé nele nada seria possível.

A minha mãe Marilza Galdino que meu deu a melhor educação que uma mãe pode dar aos seus filhos. Ao meu pai Antônio Rocha que contribuiu financeiramente nestes dois anos de curso.

A minha tia mãe Marilene Almeida por sempre me incentivar e partilhar de todas as minhas conquistas desde a graduação sempre como minha paraninfa e expressando todo seu amor e admiração por mim.

A toda turma do mestrado que sempre foi exemplo de união e humildade na hora das atividades, e também, por aqueles amigos que a vida me presenteou Patrick Amaral, Gleiciane Soares, Kamila Coqueiro, Saul Rodrigues (*in memoriam*), Katley Oliveira e a todos que direta ou indiretamente sempre se alegram pelas minhas conquistas.

Ao meu namorado e parceiro de todos os momentos principalmente aqueles que pensei em desistir e você me dizendo para seguir em frente até o fim, Marcus Aleixo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Milton Matta por toda sua paciência e conhecimento transmitido. Ao Prof. Msc. Fernando Pina por toda sua torcida e confiança depositada na realização deste grande sonho.

Ao Programa de pós-graduação em recursos hídricos (PPRH) da Universidade Federal do Pará pela oportunidade concedida de ser agraciada com a bolsa, a todo corpo docente pelo conhecimento transmitido neste dois anos de curso.

Ao Instituto Evandro Chagas que fez a parceria para analisar minhas amostras em especial ao pesquisador Bruno Carneiro que sempre foi muito atencioso conosco.

As amigas de turma Renata Crespim por diversos momentos de partilha do seu conhecimento e também por sua amizade, Danielle Matos por todo apoio nas minhas etapas de campo, Leila Hanna por ceder os fracos do laboratório de hidro química para minhas coletas.

Ao Prof. Msc. Osmar Guedes pela ajuda inicial com os mapas durante o período de qualificação. Ao Geólogo Paulo Gomes pela confecção de todos os meus mapas deste trabalho.

A todos vocês o meu muito obrigado!!!

*“Bom mesmo é ir à luta com determinação, abraçar a vida com paixão, perder com classe e vencer com ousadia, porque o mundo pertence a quem se atreve e a vida é muito bela para ser insignificante.”
(Charlie Chaplin)*

RESUMO

A crise da água é um dos problemas sociais mais relevantes da atual década. Os mananciais superficiais estão cada vez mais poluídos e a água subterrânea está assumindo um papel ímpar no abastecimento humano. Este trabalho tem como objetivo analisar a qualidade das águas subterrâneas rasas e a geometria dos fluxos dessas águas na área do bairro Centro de Marituba-PA no sentido de mostrar sua relação com as fontes potenciais de poluição existentes na área. Para tanto se coletou dezenove amostras de água subterrânea de poços rasos no bairro Centro do município de Marituba. Foram analisados trinta parâmetros físico-químicos incluindo quinze metais pesados. Dos resultados elaboraram-se tabelas, gráficos e mapas de isovalores distribuídos na área estudada. As águas analisadas mostraram qualidades físico-químicas que não as recomendam para consumo humano. Dois parâmetros são particularmente importantes nesse contexto. Os valores de pH caracterizam que, no período chuvoso, cerca de 95% das amostras mostraram valores de pH fora da faixa de potabilidade da Portaria 2914/11/MS. Enquanto que, para o período menos chuvoso 79% das amostras mostraram valores de pH fora dos limites da portaria. Os trabalhos de campo mostraram uma grande ausência de saneamento básico na área e lançamento de esgoto a céu aberto que podem interagir, através do escoamento superficial com os mananciais subterrâneos. Valores ácidos de pH podem acarretar corrosões em tubulações e doenças gástricas no ser humano sendo, pois, não apropriadas para consumo humano. O outro parâmetro com teor acima das recomendações da Portaria 2914/11/MS é o nitrato, com 63,15% das amostras analisadas mostrando valores acima de 10mg/l. Isso caracteriza essas águas como impróprias para consumo humano e é interpretado como evidências de contaminações por efluentes líquidos (principalmente esgotos domésticos) nas águas superficiais que interagem com as águas subterrâneas, somadas à presença de fossas negras e ajudadas pela inexistência de saneamento básico. Tudo isso é somado a um nível estático muito raso nessas áreas, muitas vezes inferior a 5 metros e algumas vezes sub-aflorante. O diagrama de Piper construído para as amostras analisadas permitiram caracterizar essas águas como bicarbonatadas cálcicas. O estudo dos fluxos hídricos subterrâneos permitiu identificar a influência das fontes potenciais de poluição da área,

com destaque para uma indústria de matéria química existente no setor sudoeste da área. Para o abastecimento público sugere-se a construção de poços mais profundos que explorem água de unidades aquíferas confinadas. Para tanto se apresenta uma proposta alternativa de abastecimento de água para a população do município de Marituba ao custo final do m³ ou 1000 litros de água subterrânea de R\$ 0,124.

Palavras Chave: Marituba, Fluxos hídricos, Água subterrânea, Fontes de poluição.

ABSTRACT

The water crisis is one of the most important social problems of the current decade. Surface water sources are increasingly polluted and groundwater is assuming an important role in human supply. The objective of this work is to analyze the shallow groundwater quality and the geometry of the flows of these waters in the central area of the Marituba district to show their relation with the potential sources of pollution. For this purpose, nineteen groundwater samples were collected from shallow wells in the central district of the municipality of Marituba. Thirty physico-chemical parameters including fifteen heavy metals were analyzed. From the results, tables, graphs and maps of isovalores distributed in the studied area were elaborated. The analyzed waters showed physical and chemical qualities that are not recommended for human consumption. Two parameters are particularly important in this context. The pH values show that, in the rainy season, about 95% of the samples showed pH values outside the drinking water range of Ordinance 2914/11 / MS. While, for the less rainy period, 79% of the samples showed pH values outside the limits of the Ordinance. Fieldwork has shown a great lack of basic sanitation in the area and the discharge of open sewage that can interact through surface runoff with underground springs. Acidic pH values can lead to corrosion in pipes and gastric diseases in humans and are therefore not suitable for human consumption. The other parameter with content above the recommendations of Ordinance 2914/11 / MS is nitrate, with 63.15% of the analyzed samples showing values above 10mg/L. This characterizes these waters as unfit for human consumption and is interpreted as evidence of contamination by liquid effluents (mainly domestic sewage) in the surface waters that interact with the groundwater, added to the presence of septic tank and lack of basic sanitation. All this is added to a shallow static level in these areas, often less than 5 meters and sometimes sub-outcropping. The Piper diagram was constructed and it showed that these waters are characterized as calcium bicarbonated.

The study of groundwater flows allowed to identify the influence of potential sources of pollution of the area, with emphasis on a chemical industry existing in the southwest sector of the area. For public supply it is suggested to construct deeper wells that exploit water from confined aquifer units. For this, an alternative water supply proposal for the population of Marituba is presented at the final cost of m³ or 1000 liters of groundwater of R \$ 0.124.

Keywords: Marituba, Water flows, Groundwater, Pollution sources.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: (A) Medição do nível estático e verificação da distância do poço para fossa da residência.....	20
Figura 1: (B) Coleta de água do poço.....	20
Figura 2: Mapa de localização da área estudada.....	22
Figura 3 – Distribuição da Precipitação Média Mensal da Região de Belém para o período entre 1961 e 1990.....	23
Figura 4- Mapa de Drenagem da Área de Estudo.....	27
Figura 5- Principais características dos sistemas hidrogeológicos que ocorrem em Belém.....	28
Figura 6- Mapa de prováveis áreas principais de recarga dos aquíferos na RMB.....	29
Figura 7- Quantidade de resíduo gerado segundo à origem, na RMB.....	32
Figura 8- Comércio e resíduos dispostos na feira.....	33
Figura 8.1- Esgotos dos estabelecimentos comerciais correndo a céu aberto.....	33
Figura 8.2- Ausência de saneamento básico na passagem Fé em Deus, ao lado do cemitério São José de Arimatéia.....	33
Figura 9- Sepulturas do Cemitério São José de Arimatéia.....	34
Figura 9.1- Estado de conservação das sepulturas do cemitério, evidenciando possíveis riscos de doenças de veiculação hídrica.....	34
Figura 10- Localização do cemitério São José de Arimatéia dentro da área de trabalho na porção oeste do bairro centro de Marituba- Pa.....	38
Figura 10.1- Entrada frontal do cemitério São José de Arimatéia.....	38
Figura 11- Empresa de produtos Químicos.....	39
Figura 12- Cadastramento dos poços nas residências.....	41

Figura 13- Mapa de variação do nível estático no período chuvoso.....	42
Figura 14- Mapa de variação no nível estático no período menos chuvoso.....	43
Figura 15- Distribuição do fluxo hídrico subterrâneo em 3 D da área de estudo, no período chuvoso.....	44
Figura 16- Distribuição do fluxo hídrico subterrâneo em 3 D da área de estudo, no período menos chuvoso.....	45
Figura 17- Distribuição do fluxo hídrico subterrâneo da área de estudo no período chuvoso.....	46
Figura 18 - Distribuição do fluxo hídrico subterrâneo da área de estudo no período menos chuvoso.....	47
Figura 19- Análises Físico-Químicas para Água Subterrânea no período chuvoso.....	51
Figura 20 - Análises Físico-Químicas para Água Subterrânea no período menos chuvoso.....	52
Figura 21- Variação do pH nos períodos chuvoso (Azul) e menos chuvoso (Vermelho).....	53
Figura 22 - Distribuição do pH na área estudada no período chuvoso.....	55
Figura 23 - Distribuição do pH da área de estudo no período menos chuvoso.....	56
Figura 24- Variação da Condutividade nos períodos chuvoso (Azul) e menos chuvoso (Vermelho).....	57
Figura 25- Distribuição da Condutividade no período chuvoso.....	58
Figura 26- Distribuição da Condutividade no período menos chuvoso.....	59
Figura 27- Variação do Bicarbonato nos períodos chuvoso (Azul) e menos chuvoso (Vermelho).....	61
Figura 28- Distribuição do Bicarbonato no período chuvoso.....	62

Figura 29- Distribuição do Bicarbonato no período menos chuvoso.....	63
Figura 30- Variação do Cloreto nos períodos chuvoso (Azul) e menos chuvoso (Vermelho).....	64
Figura 31- Distribuição do Cloreto no período Chuvoso.....	65
Figura 32- Distribuição do Cloreto no período menos chuvoso.....	66
Figura 33- Variação do Nitrato nos períodos chuvoso (Azul) e menos chuvoso (Vermelho).....	67
Figura 34- Distribuição do Nitrato na área de estudo no período chuvoso.....	69
Figura 35- Distribuição do Nitrato na área de estudo no período menos chuvoso.....	70
Figura 36- Variação da Amônia no período chuvoso (Azul) e menos chuvoso (Vermelho).....	71
Figura 37- Distribuição da Amônia no período Chuvoso.....	72
Figura 38- Distribuição do Amônia no período menos chuvoso.....	73
Figura 39- Análises Metais Pesados para Água Subterrânea no período chuvoso.....	75
Figura 40- Análises Metais Pesados para Água Subterrânea no período menos chuvoso.....	76
Figura 41- Padrões de Potabilidade Segundo a Portaria 2914/2011 MS.....	77
Figura 42-Diagrama de Piper para o Período Chuvoso.....	78
Figura 43- Diagrama de Piper para o Período Menos Chuvoso.....	79
Figura 44-Perfis de poços da região de Marituba- Pa.....	81

LISTA DE SIGLAS

- 1- ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas
- 2- APA- Área de Proteção Ambiental
- 3- Ca- Cálcio
- 4- CONAMA- Conselho Nacional de Meio Ambiente
- 5- COSANPA- Companhia de Saneamento Ambiental
- 6- EIA- Estudo de Impacto Ambiental
- 7- FUNASA- Fundação Nacional da Saúde
- 8- GPS- Global System Positions
- 9- IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- 10-IEC- Instituto Evandro Chagas
- 11-K – Potássio
- 12-Mg- Magnésio
- 13-MS- Ministério da Saúde
- 14-Na- Sódio
- 15-NE- Nordeste
- 16- NH_3 - Amônia
- 17- NO_3^- - Nitrato
- 18-NW- Noroeste
- 19-OMS- Organização Mundial da Saúde
- 20-pH- Potencial Hidrogeionico

21-RIMA- Relatório de Impacto Ambiental

22-RMB- Região Metropolitana de Belém

23-STD- Sólidos Totais Dissolvidos

24-SW- Sudoeste

25-UTM- Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	iii
AGRADECIMENTOS.....	iv
EPIÍGRAFE.....	v
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	x
LISTA DE ABREVIACÕES.....	xiii
1- INTRODUÇÃO.....	16
2- OBJETIVOS.....	17
3- JUSTIFICATIVA.....	17
4- METODOLOGIA.....	19
4.1 Estudo Bibliográfico.....	19
4.2 Levantamentos de Campo.....	19
4.3 Construção do Mapa de Fluxo Hídrico Subterrâneo.....	21
4.4. Análise da Qualidade das guas.....	21
4.5. Tratamento dos Dados.....	21
5-REA ESTUDADA E ACESSO.....	23

6-COMPONENTES HIDROAMBIENTAIS.....	23
6.1.Clima.....	23
6.1.1- Balanço Hídrico.....	23
6.2. Hidrografia.....	24
6.3- Vegetação.....	25
6.4- Relevo.....	25
7-RECURSOS HIDRICOS SUPERFICIAIS.....	26
8-RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS.....	27
8.1-Hidrogeologia da Área de Marituba-PA.....	30
8.2-Geometria De Aquíferos.....	30
9- FONTES POTENCIAIS DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA ÁREA ESTUDADA.....	31
9.1-O Cemitério São José de Arimatéia.....	31
9.2-Resíduos Sólidos.....	34
9.3- Produtos Químicos.....	39
10-OS FLUXOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS.....	40
10.1- Aspectos Metodológicos.....	40
10.2-Interpretações da Geometria dos Fluxos Hídricos Subterrâneos.....	44
11- QUALIDADE DAS ÁGUAS.....	48
11.1-Interpretação dos Resultados Obtidos.....	49
11.2 -pH.....	53
11.3 -Condutividade Elétrica.....	58
11.4 -Bicarbonato.....	60

11.5- Cloreto.....	65
11.6 -Amônia.....	65
11.7 -Comportamento dos Metais Pesados.....	74
11.8 -Classificação Iônica das Águas Subterrâneas.....	77
11.9 -Considerações sobre a Qualidade Físico-Química das Águas.....	79
12-PROPOSTA ALTERNATIVA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	80
12.1 -Demanda de água da população.....	81
13- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	86
14- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88

1. INTRODUÇÃO

A crise da água é um dos problemas sociais mais relevantes da atual década. Nos principais fóruns científicos do mundo todo se discute a água, seus principais elementos de gestão e sua relação com a sociedade de uma maneira geral. Os mananciais superficiais estão cada vez mais poluídos e a água subterrânea está assumindo um papel impar no abastecimento humano.

O abastecimento de água na Região Metropolitana de Belém (RMB) é precário em termos de quantidade e qualidade e são constantes e comuns os períodos de interrupção do fornecimento de água potável para a população da comunidade envolvida. Não se pode falar em qualidade de vida quando não se tem o mais básico dos itens necessários a sobrevivência humana: a água de qualidade.

As águas subterrâneas possuem um conjunto de vantagens em relação às águas superficiais para abastecimento humano. São mais baratas, abundantes e mais livres de contaminações e perdas por evaporações do que as águas superficiais.

As águas subterrâneas produzidas pelos aquíferos rasos são muito susceptíveis de contaminação e poluição por agentes comuns que se encontram dispersos no meio ambiente, como é o caso de diversas fontes pontuais de poluição: lixões, cemitérios, postos de combustíveis e um conjunto de vetores associados à ocupação urbana desordenada.

Na cidade de Marituba-PA, principalmente em seu bairro Centro, existe um conjunto de poços de abastecimento de água que serve a população. A qualidade dessa água foi investigada neste trabalho, no sentido de contribuir para o entendimento de quanto os fatores pontuais de poluição das águas subterrâneas rasas existentes na área estão afetando a qualidade das águas que a população envolvida está bebendo e suas relações com doenças de veiculação hídrica.

Procurou-se nesse estudo determinar a qualidade físico-química das águas subterrâneas rasas do bairro Centro de Marituba e sua relação com as fontes potenciais de poluição existentes na área, com ênfase para o cemitério São José de

Arimatéia que ocorre dentro da área estabelecida para a pesquisa. Procurou-se, também, apresentar uma proposta alternativa de abastecimento de água para a população de Marituba.

2. OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho é analisar a qualidade das águas subterrâneas rasas e a geometria dos fluxos dessas águas na área do bairro Centro de Marituba-PA no sentido de mostrar sua relação com as fontes potenciais de poluição existentes na área.

Como objetivos específicos podem ser citados:

- a) Realizar análises físico-químicas das águas produzidas por poços selecionados na área do entorno dos elementos ambientais do município para estabelecer possíveis interações de contaminação;
- b) Elaborar mapas do fluxo hídrico subterrâneo e da profundidade do nível estático para o bairro Centro de Marituba e interpretar suas geometrias frente aos elementos geoambientais da área;
- c) Indicar possíveis zonas de recarga e descarga dos sistemas hidrogeológicos superiores e correlaciona-los com a ocupação urbana de Marituba
- d) Preparar uma nota explicativa sobre o trabalho e suas conclusões.
- e) Elaborar uma proposta alternativa de abastecimento de água para a população de Marituba através da água subterrânea explotada por poços profundos.

3. JUSTIFICATIVA

A cada dia, a água se torna um recurso cada vez mais importante para a sociedade humana como um todo, em virtude, sobretudo, da situação de escassez verificada em várias regiões do mundo, como também devido ao comprometimento da sua qualidade em razão dos problemas de poluição, principalmente nos países pobres e em desenvolvimento, onde os sistemas de saneamento básico são inexistentes ou deficientes.

Embora estejamos num país com um rico potencial hídrico o conhecimento hidrogeológico é uma forma de fortalecer as alternativas para que as águas tenham um uso mais racional e mais adequado, fator importante para o desenvolvimento da região, tanto no sentido econômico quanto no que respeita à qualidade de vida da população.

A partir das preocupações geoambientais voltadas para qualidade dos recursos hídricos subterrâneos e suas relações com a qualidade de vida da população da Região Metropolitana de Belém (RMB), surgiram interesses em estudar parte do bairro Centro de Marituba-PA onde existe um conjunto de poços de abastecimento de água para a população e onde coexistem fontes potenciais de poluição das águas subterrâneas como é o caso do cemitério São José de Arimatéia. É fundamental que se estabeleça os aspectos geométricos dos fluxos hídricos subterrâneos e da qualidade das águas subterrâneas do entorno do cemitério e das outras fontes potenciais de poluição como indústria química, hospitais, lava jato, disposição de resíduos sólidos, etc. Pretende-se estabelecer possíveis correlações entre água e contaminantes no palco municipal.

Com o crescente adensamento populacional desordenado da área municipal de Marituba é muito provável que os elementos geoambientais existentes na área de estudo estejam sendo deteriorados pela ocupação urbana e, nesse contexto, a ocupação urbana pode estar relacionada com a possível contaminação das águas subterrâneas da área municipal.

O estudo do cemitério como fonte potencial de impactos ambientais, principalmente quanto ao risco de contaminação das águas subterrâneas que interagem com os processos de decomposição dos corpos, torna imprescindível que se verifique a qualidade da água consumida pela população do entorno do mesmo.

Nas últimas décadas ocorreu na RMB o crescimento do processo de perfuração de poços sem o devido controle técnico e de higiene. Isso ocorre principalmente em áreas com elevadas concentrações populacionais, nas quais existe ausência de infraestrutura sanitária básica, configurada pela ausência no fornecimento de água potável e de esgotamento sanitário.

As ações antrópicas tem produzido a decadência dos recursos hídricos, em benefício da utilização das águas por determinados setores da sociedade.

Historicamente, as águas somente são pesquisadas e administradas em suas dimensões hidráulicas e volumétricas.

Essas informações são de fundamental importância para a tomada de decisões políticas por parte de gestores, no que compete a escolha de alternativas de suprimento de água, se a partir de água superficial e/ou subterrânea e de suportar interpretações mais abrangentes necessárias à definição de políticas públicas para o uso sustentável de recursos hídricos.

4. METODOLOGIA

Um conjunto de elementos metodológicos foi utilizado para a elaboração desse estudo e os principais itens são descritos em seguida.

4.1 Estudo Bibliográfico

Teve como principal objetivo o levantamento de dados e informações referentes à geologia, hidrogeologia e condicionantes geoambientais da área de pesquisa, bem como de áreas afins existentes em monografias, dissertações, teses, livros, periódicos e anais de eventos técnicos, como também de mapas temáticos, servindo para um melhor conhecimento das características da área, ajudando na elaboração do trabalho. Destaca-se também a pesquisa na bibliografia eletrônica (Internet) de fundamental importância para o embasamento teórico deste estudo

4.2 Levantamentos de Campo

As etapas de campo consistiram, em um primeiro momento, em uma visita geral na área no sentido de mapear as principais fontes potenciais de poluição e cadastrar 42 poços de água subterrânea existentes no âmbito da área com marcação de coordenadas geográficas por GPS.

Posteriormente, houve uma seleção dentro deste grupo cadastrado dos poços a serem utilizados para amostragem das águas do aquífero superior obedecendo a critérios de distribuição areal e possibilidade da coleta de amostras que seguiriam para análise.

Foram feitas, também, medidas dos níveis estáticos Figura 1 (A) em cada um dos poços cadastrados, com um medidor de nível, para geração do mapa de fluxo hídrico subterrâneo.

As amostras de água subterrânea Figura 1 (B) obtidas nas residências no bairro Centro foram coletadas em dois períodos do ano para avaliar influências sazonais nas águas analisadas. As coletas ocorreram no período chuvoso (Abril/2016) e menos chuvoso (Outubro/2016).

Figura 1- (A) Medição do nível estático e verificação da distância do poço para fossa da residência.



Fonte: Do autor, 2017.

Figura 1- (B) Coleta de água do poço.



Fonte: Do Autor, 2017.

4.3 Construção do Mapa de Fluxo Hídrico Subterrâneo

Para cada ponto foi subtraída a medida do nível estático da correspondente cota topográfica para composição dos potenciais hidráulicos e obtenção das linhas equipotenciais hidráulicas através do software SURFER 11. Com esse procedimento se elaborou os mapas de fluxo hídrico subterrâneo para cada uma das etapas de coleta de água. Esse mapa permitiu se interpretar a geometria dos fluxos hídricos subterrâneos e, sua plotagem sobre o mapa da área de trabalho possibilitou se estabelecer as relações espaciais entre a direção e sentido do fluxo de água subterrânea e os elementos da ocupação urbana.

4.4. Análise da Qualidade das Águas

As amostras de água subterrânea coletadas nas etapas de campo seguiram para o para o laboratório do Instituto Evandro Chagas em Belém. Os parâmetros físicos químicos analisados foram os seguintes: pH, Condutividade, STD, Turbidez, Alcalinidade, Carbonato, Bicarbonato, Fosfato, Cloreto, Nitrito, Nitrato, Amônia, Sulfato, Sódio, Potássio, Cálcio, Magnésio.

Para uma melhor interpretação dos resultados e verificação da possível ação do cemitério sobre a poluição das águas subterrâneas rasas da área foi realizada análise dos metais pesados incluindo os seguintes parâmetros: Alumínio, Bário, Cadmio, Cobre, Ferro, Manganês, Níquel, Cromo, Chumbo e Zinco.

4.5. Tratamento dos Dados

Os dados recebidos do laboratório do Instituto Evandro Chagas sobre as análises das águas subterrâneas foram tabelados e com a utilização do programa *Excel for Windows* foram elaboradas planilhas e gráficos. Para parâmetros específicos foram construídos mapas de variação espacial utilizando-se o *software* SURFER versão 11. Este mesmo programa foi utilizado para a confecção dos mapas do fluxo hídrico subterrâneo o que possibilitou as interpretações dos aspectos geométricos desse fluxo no aquífero superior.

Para a confecção do Diagrama de Piper utilizou-se o programa *aquacheam*.

6.COMPONENTES HIDROAMBIENTAIS

As características físicas da área de estudo formam os condicionantes hidroambientais de relevância para embasar todo o estudo realizado. Serão apresentados nesse item os principais elementos do meio físico da região de metropolitana de Belém, que compreende a região estudada.

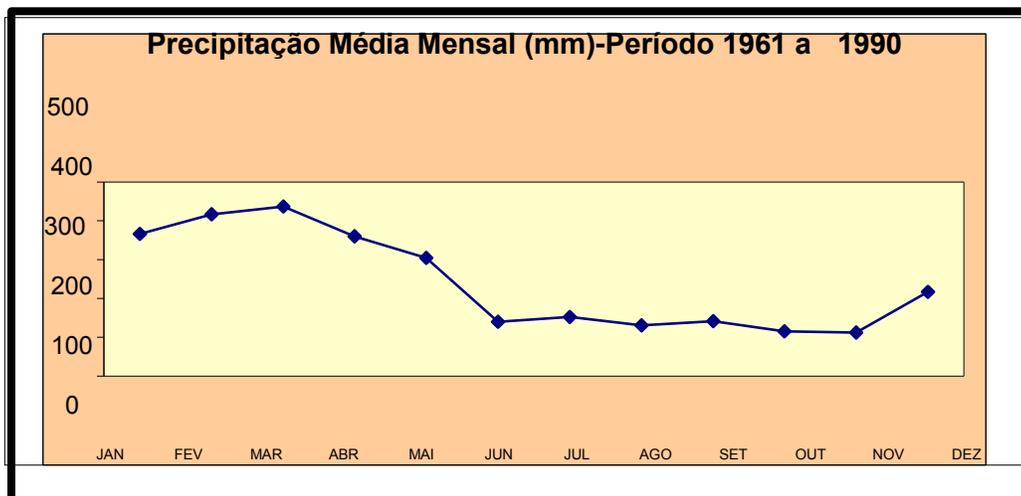
6.1.Clima

Estudos climatológicos revelam que as principais características do clima da RMB são: altas temperaturas (sempre acima de 18°C), ventos de baixa velocidade intercalados com frequentes momentos de calmaria, altos índices de umidade relativa do ar e precipitação abundante com valores totais oscilando entre 2.800 e 3.150 mm anuais; a alta umidade influencia no desconforto térmico com a variação média interanual oscilando de 81,8 a 91%, a média anual é de 86%, o que torna a região muito úmida (MATTA, 2002).

6.1.1- Balanço Hídrico

Matta (2002) calculou o balanço hídrico para a região de Belém envolvendo o período entre 1961 e 1997 e Moraes (1999 *apud* Matta, 2002) mostrou a distribuição média mensal da precipitação segundo a figura 3.

Figura 3 – Distribuição da Precipitação Média Mensal da Região de Belém para o período entre 1961 e 1990.



Fonte: Modificado de Moraes (1999 *apud* Matta, 2002).

Na análise da figura 3 percebe-se a existência de dois períodos de chuvas totalmente diferentes na região de Belém. Um período chuvoso, com precipitação pluviométrica que varia de cerca de 200 mm até 440 mm mensalmente. Um segundo período, menos chuvoso, de junho a novembro, com precipitações que em torno de 100 mm, sendo o mês de novembro o de menor precipitação (90,4 mm) e o mês de março o de maior precipitação (422,5 mm).

6.2. Hidrografia

A RMB situa-se em uma típica região estuarina, correspondendo ao estuário Guajarino, parte integrante de outro sistema maior, o Golfão Marajoara, situado na foz do Amazonas.

O estuário Guajarino é caracterizado por caracterizar-se por um ambiente fluvial com influências marinhas e forma-se na confluência dos rios Pará, Acará e Guamá. Tem como elementos hídricos principais o rio Mojú e os igarapés do Tucunduba e Aurá.

A Baía do Guajará é formada na confluência dos rios Acará e Guamá e está localizada em frente à parte noroeste da cidade de Belém, prolongando-se até a Ilha do Mosqueiro, onde se encontra com a Baía do Marajó, no rio Pará.

O rio Guamá, situado na porção sul de Belém, é de grande importância no aspecto hidrográfico e abastecimento de água de Belém. (BERINO,2013).

Os cursos d' água que se direcionam para a região de Marituba são advindos do município de Benevides onde se iniciam no rio Mocajatuba, na foz do rio Benfica, seguindo pelo curso deste pelo talvegue até a foz do igarapé Itapepucu, seguindo pelo curso na sua montante até o seu afluente da margem esquerda, aquém da rodovia estadual PA-404, aproximadamente 250 metros, segue por este afluente até ser interceptado com o eixo da rodovia federal BR-316, deste ponto segue no sentido geral sul até a nascente do igarapé Uriboça, daí segue no sentido geral sudoeste até alcançar o rio Guamá, na confrontação da foz do igarapé Saumamaquara (CEPI,2015).

Os igarapés mais importantes de Marituba são Uriboça, Itapecuru e Ananindeua. O antigo acesso ao povoado de Marituba, onde mais tarde foi instalada a sede do Município, era feito pelo rio Maguari partindo do Pinheiro (atual Icoaraci) no navio Pará, seguindo-se depois pelo rio Mocajatuba. Até ao vilarejo, fazia-se o resto do percurso a pé. Atualmente, essa alternativa só é utilizada para transporte de materiais e, raramente, de pessoas (a não ser ribeirinhos), devido a demora para se cobrir o percurso, e as facilidades oferecidas pela via rodoviária. Vale ressaltar que nenhum dos rios ou igarapés de Marituba é utilizado em atividades turísticas, somente um trecho do Rio Uriboça que passa pela propriedade do Restaurante Terra do Meio é utilizado para passeio e contemplação da natureza pelos clientes do empreendimento (CEPI, 2015).

6.3. Vegetação

Segundo Berino (2013), a vegetação funciona como um fator importante nos processos de infiltração das águas pluviais no solo. Terrenos com maior densidade de vegetação permitem maior infiltração das águas e, associadamente com o tipo de solo mais ou menos permeável, inclinação do terreno e outros fatores, podem constituir parâmetro de interesse ambiental e econômico.

A vegetação de Marituba é representada, predominantemente, pela floresta secundária proveniente da remoção da cobertura florestal primária (floresta densa de baixo platô) para a implantação de cultivo de subsistência e implantação de pastagens cultivadas. Ao longo das margens dos rios, encontram-se, ainda, preservada a mata de galeria, a floresta de várzeas e a floresta de mangues (CEPI, 2015).

6.4- Relevo

A área de estudo apresenta relevo relativamente plano, com desnível máximo de 20 m, não existindo zonas de inundação na cidade, onde suas únicas zonas topográficas acidentadas se encontram a SW (COSANPA, 2005 *apud* Costa, 2009). Sua geomorfologia é constituída pelo Planalto Rebaixado da Amazônia que apresenta extensas superfícies planas, suavemente onduladas e dissecadas, desenvolvido em rochas do grupo Barreiras e Pós-Barreiras (Oliveira *et al*, 2002).

O relevo do município de Marituba é o mesmo encontrado em toda a área da microrregião de Belém, a pobreza das formas de relevo coincide com a simplicidade da estruturação geológica, onde a paisagem apresenta níveis de baixos tabuleiros aplainados, terraços e várzeas. Morfo estruturalmente, seu relevo faz parte do Planalto Rebaixado da Amazônia (Baixo Amazonas) (CEPI, 2015).

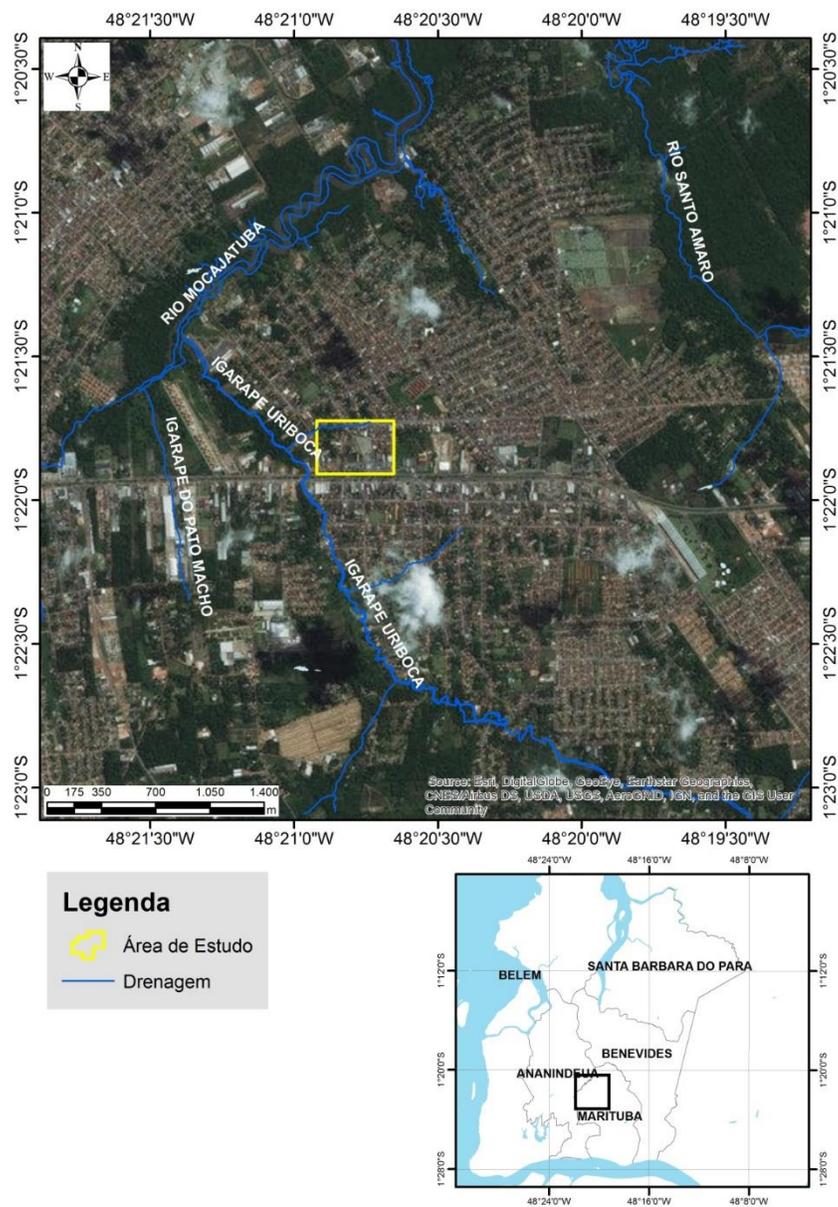
7. RECURSOS HIDRICOS SUPERFICIAIS

O rio Guamá, juntamente com seus afluentes e a baía do Guajará comanda a drenagem da RMB. Este rio, antes de juntar-se às baías do Guajará e Marajó, sofre uma inflexão para norte até a confluência do rio Maguari. Seus afluentes em ambas as margens, desenvolvem um padrão de drenagem dendrítica (PEHRMB, 2002).

A drenagem do município de Marituba é feita pela bacia hidrográfica pertencente ao Rio Mocajatuba (Fig.4) que, após a junção com os rios Santo Amaro, Benfica e Maguari, bifurca-se em vários canais, sendo os principais o Furo do Maguari com direção oeste e o Furo das Marinhas com direção Norte. Sua drenagem final intercomunicante é para a Baía do Marajó, na parte sul do Estuário do Rio Amazonas (Oliveira *et al*, 2002).

A hidrografia do Município de Marituba é representada por vários rios importantes, como, o Benfica, ao norte, e o Guamá, no extremo sul, sendo as terras de Marituba drenadas pela bacia desses rios. Na bacia do rio Benfica destaca-se o rio Mocajatuba, limítrofe com o município de Ananindeua, através do qual faz-se o transporte de matérias-primas e materiais para construção, assim como pelo próprio rio Benfica. A bacia do rio Guamá, não recebe nenhum rio importante, mesmo porque é pequena sua distribuição geográfica no município de Marituba. Os demais cursos d'água, de ordens inferiores quer da bacia do Benfica, quer da bacia do Guamá, são utilizados para transporte por barco de pequeno calado, construção de barragens, como a da fazenda Guamá, lazer e pesca de autoconsumo (CEPI,2015).

Figura 4- Mapa de Drenagem da Área de Estudo



Fonte: Do autor, 2017.

8. RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

Segundo Matta (2002), os pacotes sedimentares que acumulam água subterrânea na RMB e adjacências são formadores de cinco sistemas hidrogeológicos principais (Fig. 5), denominados: Aluviões, relacionado à cobertura sedimentar recente; Pós-Barreiras, relacionado aos sedimentos inconsolidados pertencentes à unidade estratigráfica de mesmo nome; Barreiras, relacionado aos sedimentos do Grupo Barreiras; e Pirabas Superior e Inferior relacionados aos sedimentos arenosos e carbonáticos da Formação Pirabas.

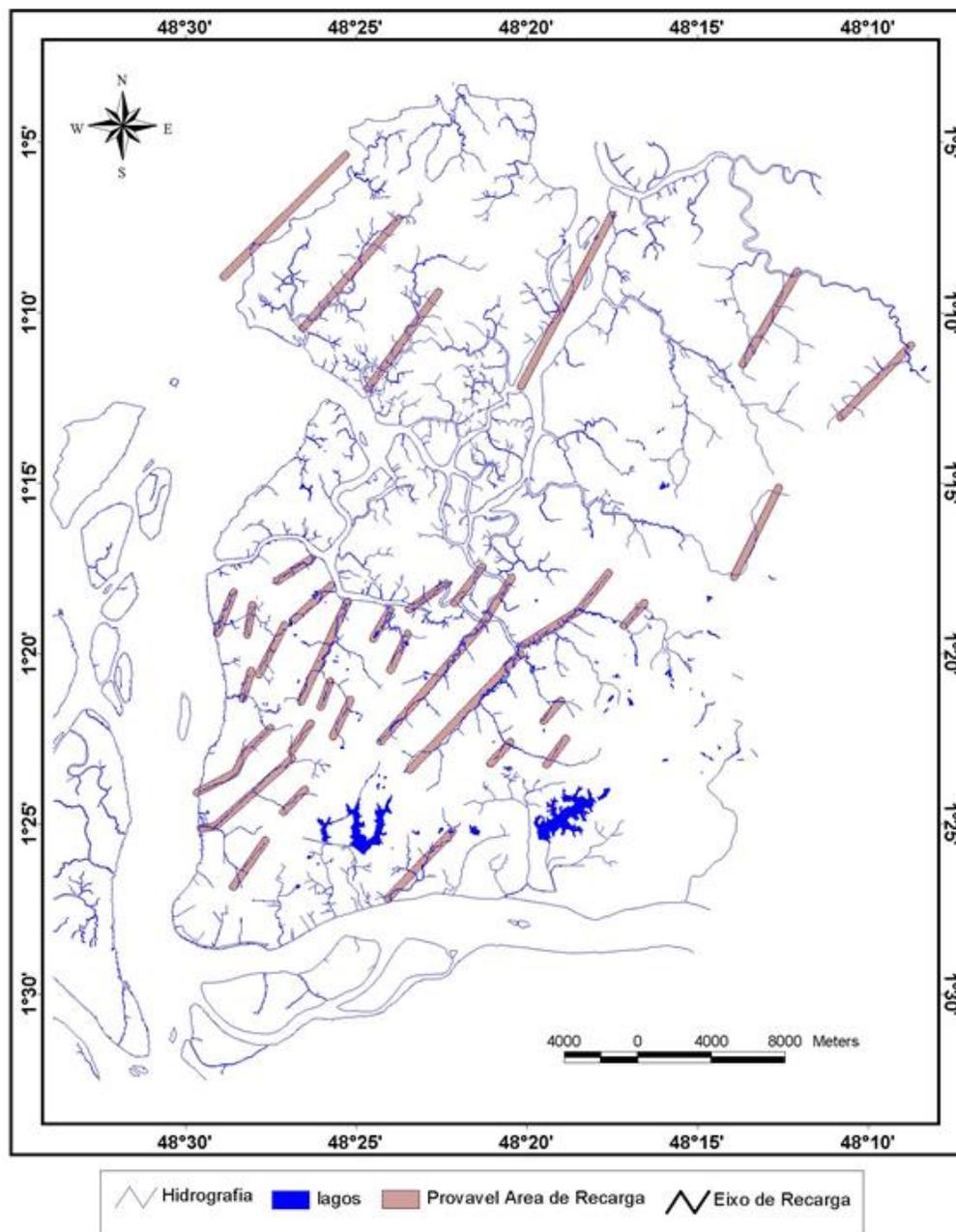
Figura 5- Principais características dos sistemas hidrogeológicos que ocorrem na RMB.

SISTEMAS AQUÍFEROS	Aluviões	Pós-Barreiras	Barreiras	Pirabas Superior	Pirabas Inferior
PROFUNDIDADE	Inferiores a 10 m	Inferiores a 25 m	Entre 25 a 90 m	Entre 70 a 180 m	Entre 180 a 260 m
VAZÃO	Ordem de 10 m ³ /h	Inferiores a 5m ³ /h	Entre 10 a 80 m ³ /h	Ordem de 100 a 300 m ³ /h	Até 600 m ³ /h
OBSERVAÇÃO	Aquíferos livres	Aquíferos livres a semi-confinados. Localmente teores excessivos de Ferro	Semi-livre a confinado. A unidade mais conhecida e explorada na área. Espessura em torno de 70 m. Teores de Ferro frequentemente e acima de 0,3 mg/l.	Aquíferos confinados. Espessura em torno de 80 m.	Melhores aquíferos. Melhores qualidades da água. Pouco explorada na área. Alto custo em função da profundidade.

Fonte: Modificado de Matta (2002).

Costa (2004) mostrou um conjunto de áreas principais de recarga dos sistemas aquíferos para a Região Metropolitana de Belém, modificando a idéia que se tinha até então sobre os arranjos lenticulares dos elementos aquíferos da área. A figura 6 mostra

a interpretação de Costa (2004) com a dedução das principais áreas de recarga para a RMB. Figura 6- Mapa de prováveis áreas principais de recarga dos aquíferos na RMB.



Fonte: Costa, 2004.

Essas zonas de recarga corresponderiam a palcos de percolação de água desde a superfície e também seriam responsáveis, em profundidade, à mistura das águas dos sistemas hidrogeológicos Barreiras e Pirabas.

8.1- Hidrogeologia da Área de Marituba-PA

Segundo Tancredi *et al* (2001) em um levantamento para ampliação de um cemitério na região de Marituba foram coletadas amostras para averiguar a classificação dos sistemas hidro litológicos de subsuperfície e as condições hidrogeológicas da área. Foram obtidos, também, dados de sondagens a fim de detalhar as suas características em profundidade.

Segundo a definição de Tancredi *et al* (2001) a hidrogeologia da área de Marituba apresenta sedimentos clásticos arenosos, silteosos, argilosos e concreções ferruginosas formando a zona insaturada. A zona saturada é formada em sua parte superior por sedimentos arenosos constituindo um aquífero.

A Geologia do município de Marituba é o mesmo encontrado em toda a área da microrregião de Belém, representado por sedimentos terciários da formação Barreiras constituídas por arenitos, siltitos e argilitos, e pelos sedimentos inconsolidados do quaternário sub atual e recente (CEPI, 2015).

8.2 GEOMETRIA DE AQUÍFEROS

Em estudos realizados na área do município de Marituba, Tancredi *et al* (2001), descreve a geologia e os aspectos dos aquíferos encontrados a partir da superfície do terreno e com base nas sondagens efetuadas no local, a geologia apresenta uma cobertura sedimentar dos períodos Quaternário e Terciário. Os sedimentos e rochas que compõem estas unidades litoestratigráficas apresentam-se inconsolidados. A sequência litológica apresenta um estrato de argila arenosa amarela, na parte superior do terreno, com espessura variando de 1,00 m a 3,00 m, pertencendo essa litologia ao Quaternário.

Subjacente a camada de argila arenosa amarela há uma camada de argila variegada, caulínica, de coloração amarelo avermelhada, as vezes clara. Essa camada situa-se em seu topo de 1,00 m a 3,00 m de profundidade, sua base está a mais de 8,00 m de profundidade. Essa camada contém lentes de areia fina com espessuras que variam entre 0,50 m a 3,00 m até a profundidade de 7,00 m. Em profundidades maiores não se tem sua espessura. Subjacente a camada de argila variegada há um estrato de sedimentos clásticos arenosos. Essa camada de argila variegada constitui o topo do

Grupo Barreiras nessa área. As profundidades maiores há uma sucessão de estratos arenosos e argilosos. O topo da Formação Pirabas situa-se a cerca de 90 m de profundidade, com base em perfurações próximas. A profundidade do embasamento ainda não é conhecida nessa área (TANCREDI *et al*,2001).

9- FONTES POTENCIAIS DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Uma análise sobre as principais fontes de poluição das águas subterrâneas da área de Marituba é fundamental no sentido de se estabelecer as relações entre a qualidade das águas subterrâneas rasas da área e seus potenciais focos poluidores.

Essa relevância é ainda maior por tratar-se de uma área urbana, densamente povoada e, com carências importantes no que se refere às condições socioeconômicas e de saneamento básico.

A integração desse assunto com os aspectos hidroquímicos pode auxiliar sobremaneira na definição real do potencial hídrico existente na área e suas condições de ocorrência e exploração racional.

Em seguida se descreve as fontes potenciais de poluição definidas na área estudada com capacidade de influenciar as qualidades das águas subterrâneas, relacionadas ao uso e ocupação de meio físico.

9.1 Resíduos Sólidos

A Resolução CONAMA nº 005, de 05 de agosto de 1993, define conforme a NBR nº 10.004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT resíduos sólidos como:

Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível. (CONAMA, 1993)

Morales (2007) conceitua, segundo as normas da ABNT, resíduos sólidos como restos das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis,

indesejáveis ou descartáveis, podendo-se apresentar no estado sólido, semissólido e em alguns casos líquido, desde que não seja passível de tratamento convencional, sendo essa a diferença entre os efluentes que podem ser tratados antes de serem lançados nos corpos receptores ou no sistema de esgoto sanitário.

Em estudos realizado por Vale et al (2011) foi realizada a contagem dos resíduos produzidos na Região Metropolitana de Belém (composta por Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides e Santa Bárbara), conforme a figura abaixo:

Figura 7 – Quantidade de resíduo gerado segundo à origem, na RMB

TIPO DE RESÍDUO	QUANTIDADE	UNIDADE
Domiciliar	1.200	ton/dia
Coleta de entulho, roçagem, capinação e raspagem e varrição	51.769	m ³ /mês
Resíduos sólidos de serviço de saúde	31	ton/mês
Feiras e Mercado	180	ton/dia

Fonte: Vale et al (2011)

Na área de estudo são comuns as ocorrências de resíduos sólidos despejados em vários pontos da área do bairro Centro (Figura 8) formando aglomerados de resíduos que, sob a ação da chuva produzem líquidos poluidores que são migrados para áreas mais baixas e vão interagir com as águas subterrâneas desses aquíferos mais rasos e podem influir sobremaneira na qualidade dessas águas.

Figura 8- Comércio e resíduos dispostos na feira.



Fonte: Do autor, 2017.

Figura 8.1- Esgoto dos estabelecimentos comerciais correndo a céu aberto.



Fonte: Do autor, 2017.

Figura 8.2- Ausência de saneamento básico na passagem Fé em Deus, ao lado do cemitério São José de Arimatéia.



Fonte: Do autor, 2017.

No cemitério os corpos são sepultados diretamente no solo (Fig. 9) trazendo a preocupação com o estado de conservação das águas subterrâneas e dos fatores antrópicos associados a este conjunto de possíveis contaminantes e poluentes. Outro fator importante é a conservação de algumas sepulturas que podem servir de criadouro para mosquitos que se proliferam com água acumulada.

Figura 9 – Sepulturas do Cemitério São José de Arimatéia.



Fonte: Do autor, 2017.

Figura 9.1- Estado de Conservação de algumas sepulturas do Cemitério evidenciando possíveis riscos de doenças de veiculação hídrica.



Fonte: Do Autor, 2017.

9.2- O Cemitério de São José de Arimatéia

A palavra cemitério, originária do grego Koumeterian e do latim Coemeterium, significa dormitório, lugar onde se dorme, recinto onde se enterram ou se guardam os mortos e tem como sinônimos as palavras necrópole, carneiro, sepulcrário, campo-santo, cidade dos pés juntos e a última moradia (CAMPOS, 2007).

Segundo KEMERICH *et al.* (2012) a prática de sepultar cadáveres é algo que acontece desde a Idade Média, a qual significa uma aproximação entre os cadáveres. Visto que era um período de inúmeras epidemias, muitos vitimados por doenças

contagiosas eram enterrados em locais abertos e de maneira imprópria, o que acabou ocasionando a disseminação de agentes patogênicos. Por razões de saúde pública, foram implantados os cemitérios, sendo, então, proibido o sepultamento em locais impróprios, como terras de famílias ou igrejas.

A contaminação de águas subterrâneas por cemitérios está relacionada à alteração da qualidade química da água e à presença de microrganismos existentes nos corpos em decomposição e o necrochorume liberado no período coliquativo. Este período corresponde à dissolução pútrida das partes moles dos cadáveres, pela ação conjunta da fauna necrófaga (PACHECO, 2000)

Depois de morto, o corpo humano se transforma. Passa a ser um ecossistema de populações formado por artrópodes, bactérias, micro organismos patogênicos destruidores de matéria orgânica e outros, podendo por em risco o meio ambiente e a saúde pública. Sendo os cemitérios repositórios de cadáveres e laboratórios de decomposição, apresentam riscos que exigem cuidados técnicos e científicos na sua implantação e ocupação. (ALMEIDA *et al*,2005).

A localização de cemitérios no território ocorre, preferencialmente, em áreas afastadas dos centros urbanos. Em cidades maiores, devido ao processo de urbanização intenso e descontrolado, é comum encontrar cemitérios totalmente integrados à malha urbana, até mesmo em áreas mais centrais. Considerando que na construção da maioria destes cemitérios não foram levados em conta estudos geológicos, hidrogeológico e de saneamento eles podem constituir um alto potencial de risco de contaminação para as águas subterrâneas. (FUNASA,2007).

De acordo com a Resolução Conama 368/2006 § 1o é proibida a instalação de cemitérios em Áreas de Preservação Permanente ou em outras que exijam desmatamento de Mata Atlântica primária ou secundária, em estágio médio ou avançado de regeneração, em terrenos predominantemente cársticos, que apresentam cavernas, sumidouros ou rios subterrâneos, bem como naquelas que tenham seu uso restrito pela legislação vigente, ressalvadas as exceções legais previstas.

Bacigalupo (2012) cita que os sepultamentos de cadáveres são fontes de contaminação para o meio ambiente, e por isso deve ser considerado como possíveis causadores de impactos ambientais. É de suma importância que, para a implantação de novos e o contínuo funcionamento dos cemitérios já existentes, sejam elaborados estudos geológicos e hidrogeológicos que venham minimizar e evitar futuros locais de contaminação pela atividade cemiterial.

A contaminação das águas subterrâneas nos poços de abastecimento público por necrochorume é uma questão sobre os cemitérios que precisa ser conhecida em todos os seus aspectos, principalmente quando o cadáver humano possa ser causa de alterações ambientais e por em risco a saúde dos vivos.

Segundo Funasa (2007), o necrochorume é constituído de água, sais minerais, proteínas e 471 substâncias orgânicas, incluindo duas diaminas, que são muito tóxicas, a cadaverina e a putrescina.

A maior parte dos sepultamentos é realizada enterrando o caixão diretamente no solo processo denominado de inumação. Caso o corpo não esteja decomposto, caracterizando um estado de conservação (saponificação ou mumificação), este permanece no local por mais algum tempo até que o processo de decomposição seja efetivado.

No Art 5 I- da Resolução Conama 368/ 2006 se define que as sepulturas devem estar a uma distância de um metro e meio acima do nível do lençol freático.

Estes fenômenos conservativos são um risco potencial à contaminação das águas, visto que retardam o processo de decomposição do corpo que possui uma grande carga de microorganismos patogênicos, de sais minerais, e, muitas vezes, até de metais. Os fenômenos de conservação são provocados, no caso de mumificação, pela falta de umidade suficiente para desenvolvimento dos germes, e no caso de saponificação, pelo alto teor de umidade.

O processo de decomposição de corpos libera diversos metais que formam o organismo humano, sem falar nos diferentes utensílios que acompanham o corpo e o

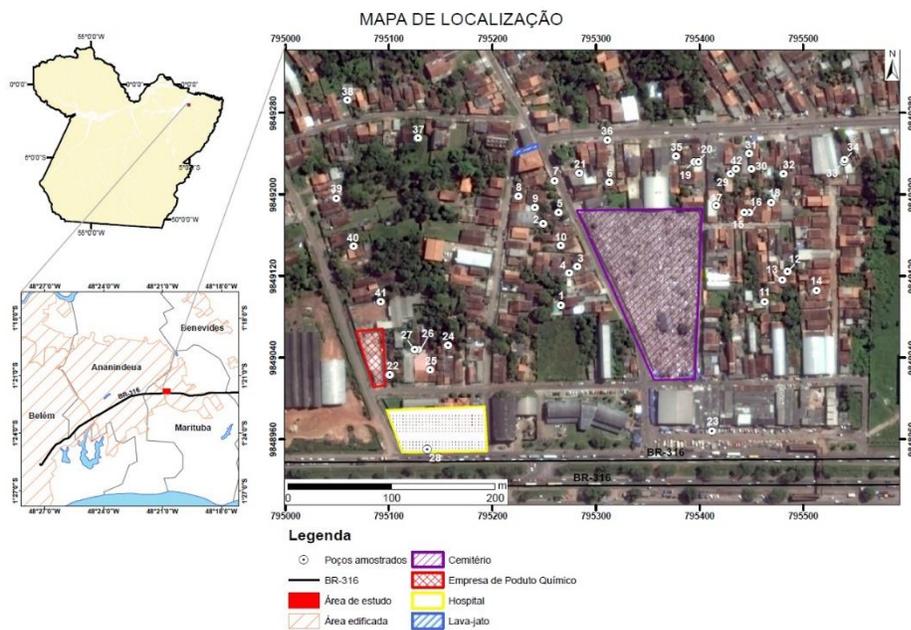
caixão em que ele é sepultado. O principal contaminante na decomposição dos corpos é um líquido conhecido como necrochorume, de aparência viscosa e coloração castanho-acinzentada, contendo aproximadamente 60% de água, 30% de sais minerais e 10% de substâncias orgânicas degradáveis (KEMERICH et al., 2012).

Os problemas estruturais dos cemitérios podem ser considerados os principais agentes causadores da contaminação do solo e da água subterrânea com patógenos e metais pesados, em virtude de sua aplicação sem prévio estudo ambiental e da má conservação dos túmulos. O necrochorume gerado pela decomposição dos corpos humanos apresenta uma carga poluidora elevada e, em virtude do local onde se encontra, poderá atingir e contaminar o solo e os recursos hídricos superficiais e subterrâneos. O problema é agravado quando as necrópoles localizam-se em áreas de vulnerabilidade considerável e a população do entorno faz uso direto dos recursos hídricos sob a influência do mesmo, estando, assim, sujeita a doenças de veiculação hídrica (KEMERICH et al., 2012).

Na Região Metropolitana de Belém (RMB) existe um conjunto de cemitérios que foram construídos pelo poder público e privado sem o devido controle ambiental através dos Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e Relatórios de Impacto Ambientais (RIMA). Alguns desses cemitérios podem estar causando sérias contaminações dos recursos hídricos superficiais e/ou subterrâneos.

A região municipal de Marituba, parte da RMB, possui o cemitério municipal São José de Arimatéia, localizado no bairro Centro de Marituba em torno do mercado municipal que possui uma área de 510m² (Fig.10).

Figura 10- Localização do cemitério São José de Arimatéia dentro da área de trabalho na porção oeste do bairro Centro de Marituba- PA.



Fonte: Do autor, 2017.

Figura 10.1- Entrada frontal do Cemitério São José de Arimatéia.



Fonte: Do Autor, 2017.

9.3- Empresa de Produtos Químicos

Os impactos dos produtos químicos ao meio ambiente acarreta em danos sérios aos recursos hídricos superficiais e subterrâneos pois, dependendo da composição de cada substância pode provocar alterações no meio físico e na saúde da população.

Figura 11- Empresa de Produtos Químicos.



Fonte: Do Autor, 2017.

Dentro da área de estudo localiza-se esta empresa de produtos químicos que oferece produtos para indústrias e para automóveis entre outros segmentos. O que pode ser visível é a questão do esgoto correndo a céu aberto. Um fator importante é essencial a averiguação dos padrões de segurança que deveriam ser adotados tendo em vista que a empresa esta situada em meio a um conjunto de poços ativos que abastece as casas para consumo humano.

Segundo a organização internacional do trabalho, 2014, os produtos químicos demonstraram ter um impacto importante no meio ambiente, desde as mudanças climáticas até à destruição da fauna e da flora e à contaminação da água potável. Evidentemente que uma utilização mais prudente e criteriosa dos produtos químicos, bem como o controle das emissões e a eliminação dos seus resíduos são cruciais para

assegurar um meio ambiente adequado para o nosso futuro, levando em consideração a segurança e a saúde dos trabalhadores.

10- OS FLUXOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

O entendimento do comportamento dos fluxos hídricos subterrâneos, feito através da análise das superfícies potenciométricas das águas subterrâneas de uma determinada área, é de fundamental importância para a análise da relação entre as fontes potenciais de contaminação e a qualidade das águas subterrâneas, além de se constituir em uma importante ferramenta para a gestão dos recursos hídricos das áreas urbanas.

Para aquíferos horizontais, com fluxos horizontais, é possível traçar as isolinhas dos potenciais hidráulicos para a representação da superfície potenciométrica. Para tanto, basta que se tenha um número suficiente de poços e que seja possível se obter as cotas precisas dos níveis estáticos.

Na área estudada foi possível a seleção de um conjunto de 42 poços, existentes no bairro Centro de Marituba, obedecendo relativamente boa distribuição espacial na área para o estudo das direções e sentidos das linhas equipotenciais hidráulicas.

10.1- Aspectos Metodológicos

Os estudos dos aspectos geométricos dos fluxos subterrâneos teve o papel de analisar suas relações com as fontes potenciais de poluição da área estudada, com ênfase para o cemitério São José de Arimatéia. Para tanto os 42 poços cadastrados no bairro Centro de Marituba tiveram seus níveis estáticos medidos através de um medidor de nível sonoro.

Figura 12: Cadastramento dos Poços das Residências.

Poço	X	Y	Tipo de poço	Profundidade Info Pelo Proprietario	Uso da Água	Elevação	Situação do poço
1	782791	9854097	Tubular	22 M	Privado e Doméstico	18 m	ativo
2	782791	9854097	Tubular	ñ sabe informar	Doméstico	19 m	ativo
3	795282	9849129	Tubular	ñ sabe informar	Doméstico	23m	inativo
4	795274	9849123	Tubular	18 M	Doméstico	22 m	ativo/chumbado
5	795264	9849182	Tubular	ñ sabe informar	Doméstico	21 m	ativo/chumbado
6	795313	9849212	Amazõnas	ñ sabe informar	Doméstico	23 m	ativo
7	795260	9849213	Tubular	25 M	Doméstico	23 m	ativo/chumbado
8	795225	9849198	Tubular	ñ sabe informar	Doméstico	20 m	ativo/chumbado
9	705241	9849187	Tubular	ñ sabe informar	Doméstico	19 m	ativo
10	795266	9849150	Tubular	14 M	Doméstico	21 m	ativo
11	795463	9849095	Tubular	ñ sabe informar	Doméstico	29 m	inativo
12	795485	9849124	Tubular	24 M	Doméstico	25m	ativo
13	795480	9849116	Tubular	ñ sabe informar	Doméstico	29 m	ativo
14	795513	9849106	Tubular	38 M	Comércio	26 m	ativo
15	793478	9850192	Tubular	18 M	Comércio	11m	ativo
16	79378	9859192	Tubular	18 M	Doméstico	10 m	ativo
17	795416	9849189	Tubular	12 M	Doméstico	12m	ativo
18	795469	9849192	Tubular	ñ sabe informar	Doméstico	3 m	ativo
19	795395	9849232	Tubular	24 M	Doméstico e Comércio	9 m	ativo
20	795399	9849232	Tubular	ñ sabe informar	Doméstico e Comércio	8 m	ativo
21	795284	9849221	Tubular	ñ sabe informar	Doméstico	13 m	ativo
22	795101	9849023	Tubular	18 M	Público e Comércio	43m	ativo
23	795412	9848968	Tubular	18 M	Público e Comércio	21 m	ativo
24	795157	9849052	Tubular	12 M	Doméstico	15 m	ativo
25	795140	9849028	Tubular	10 M	doméstico	18 m	ativo
26	795128	9849048	Tubular	18 M	Doméstico	18 m	ativo
27	795125	9849048	Tubular	6 M	Doméstico	14 m	ativo
28	795137	9848950				15 m	
29	795430	9849220	Tubular	20 M	Doméstico	21 m	ativo
30	795450	9849225	Tubular	18 M	Doméstico	21 m	ativo/chumbado
31	795448	9849240	Tubular	12 M	Doméstico	21 m	ativo
32	795481	9849220	Tubular	12 M	Doméstico	20 m	inativo
33	795539	9849232	Tubular	17 M	Doméstico	21 m	ativo
34	795540	9849234	Amazõnas	10 M	Doméstico	22 m	ativo
35	795377	9849237	Tubular	ñ sabe informar	Pulblico	22 m	ativo
36							inativo
37	795128	9849255	Tubular	22 M	Doméstico	17 m	ativo
38	795060	9849292	Tubular	ñ sabe informar	Doméstico	17 m	ativo
39	795049	9849196	Tubular	ñ sabe informar	Doméstico	16 m	ativo
40	795066	9849149	Tubular	ñ sabe informar	Doméstico	19 m	ativo
41	795092	9849095	Tubular	ñ sabe informar	Doméstico	19 m	ativo
42			Tubular	ñ sabe informar	Doméstico		ativo

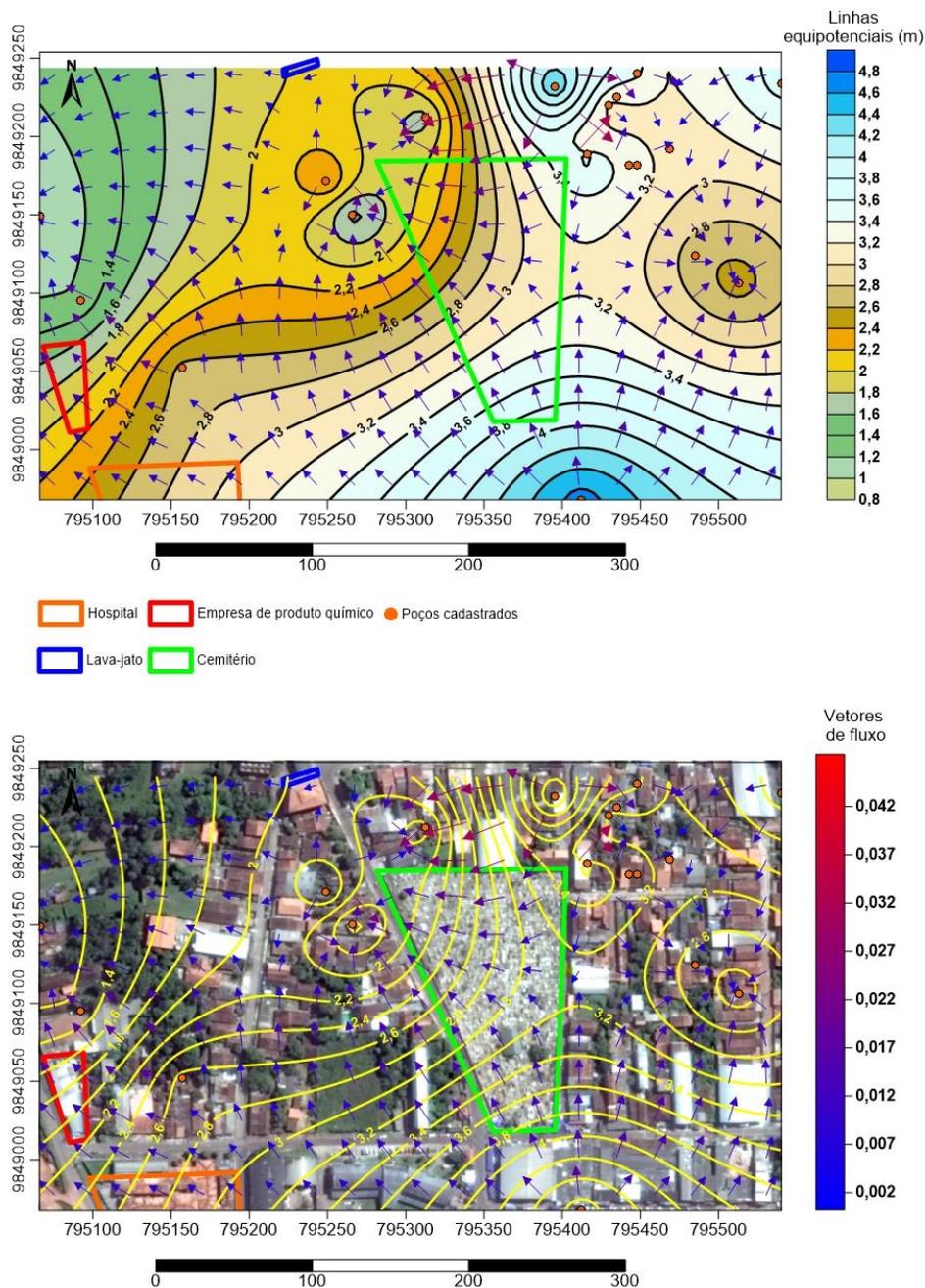
Fonte: Do autor, 2017.

As medidas de nível estático foram feitas durante os dois períodos de trabalhos de campo (março e novembro/2017), contemplando a estação chuvosa (março) e a estação menos chuvosa (novembro).

Os dados dos níveis estáticos medidos foram subtraídos das respectivas cotas topográficas no sentido de se obter os valores dos potenciais hidráulicos.

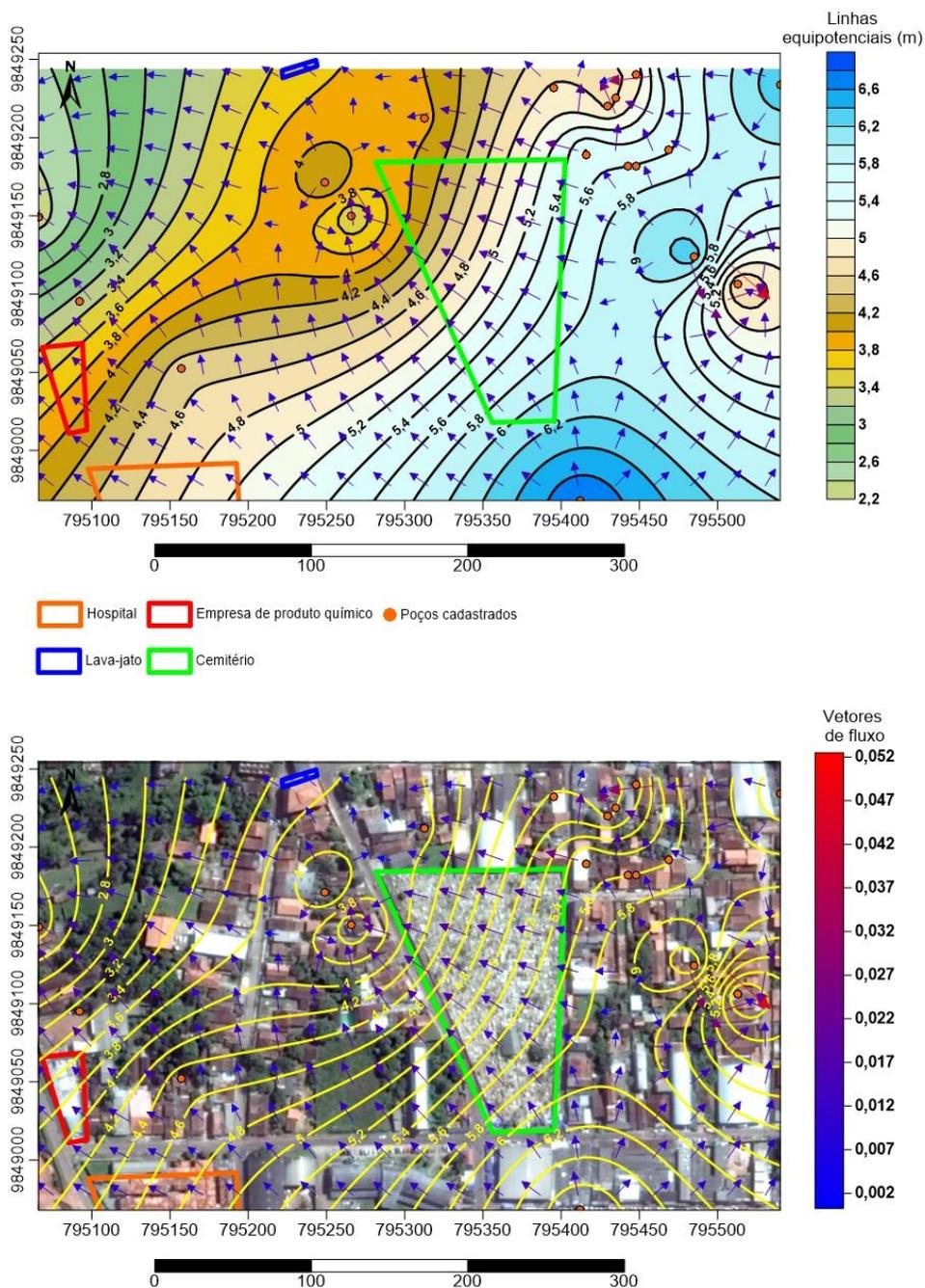
Com o programa Surfer 11 obteve-se, com os valores das coordenadas métricas de cada ponto e os valores dos níveis estáticos, o mapa de variação espacial da profundidade da água subterrânea: o comportamento do nível estático dos poços. (Figuras 13 e 14).

Figura 13- Mapa de variação do nível estático no período chuvoso



Fonte: Do autor, 2017.

Figura 14- Mapa de variação do nível estático no período menos chuvoso.



Fonte: Do autor, 2017.

O mapa do fluxo hídrico subterrâneo foi obtido, com o mesmo Surfer 11, plotando-se no programa as coordenadas UTM e os potenciais hidráulicos em cada poço. Obteve-se o comportamento dessas variáveis em três dimensões (Fig. 15)

Para possibilitar a interpretação da influência das fontes potenciais de poluição sobre as águas subterrâneas, plotou-se o mapa de fluxo sobre a base geográfica da área.

10.2- Interpretações da Geometria dos Fluxos Hídricos Subterrâneos

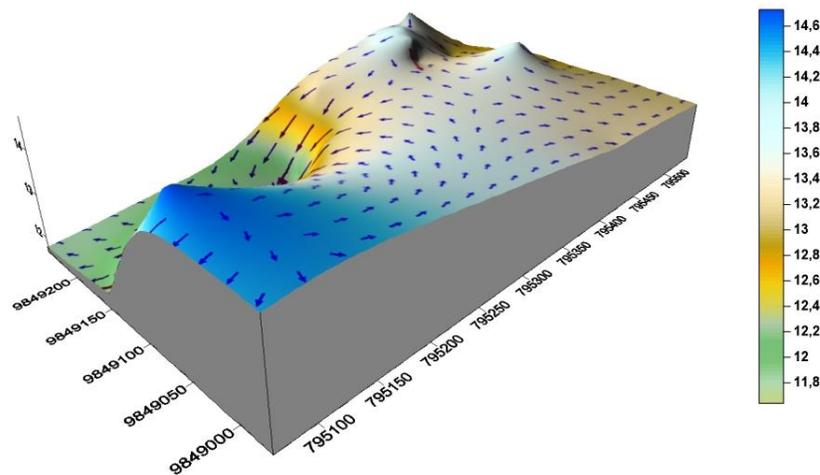
As figuras 13 e 14 mostram o comportamento do nível estático na área estudada. Percebe-se que a água do aquífero superior é mais profunda no setor sul e sudeste da área, diminuindo gradativamente para norte e noroeste. Caracterizando essa porção norte da área como a mais vulnerável aos agentes contaminantes, uma vez que o lençol freático está mais próximo da superfície.

As águas do setor sul, mais protegida, estão afastadas dos principais elementos poluidores detectados nos trabalhos de campo.

A figura 15 mostra o comportamento tridimensional da superfície equipotencial das águas subterrâneas rasas da área estudada para o período chuvoso.

Percebe-se, na análise dos fluxos para o período chuvoso uma área de recarga dos aquíferos mais significativa e duas áreas de recarga menores, além de uma região de descarga da água subterrânea.

Figura 15- Distribuição do fluxo hídrico subterrâneo em 3 D da área de estudo, no período chuvoso.

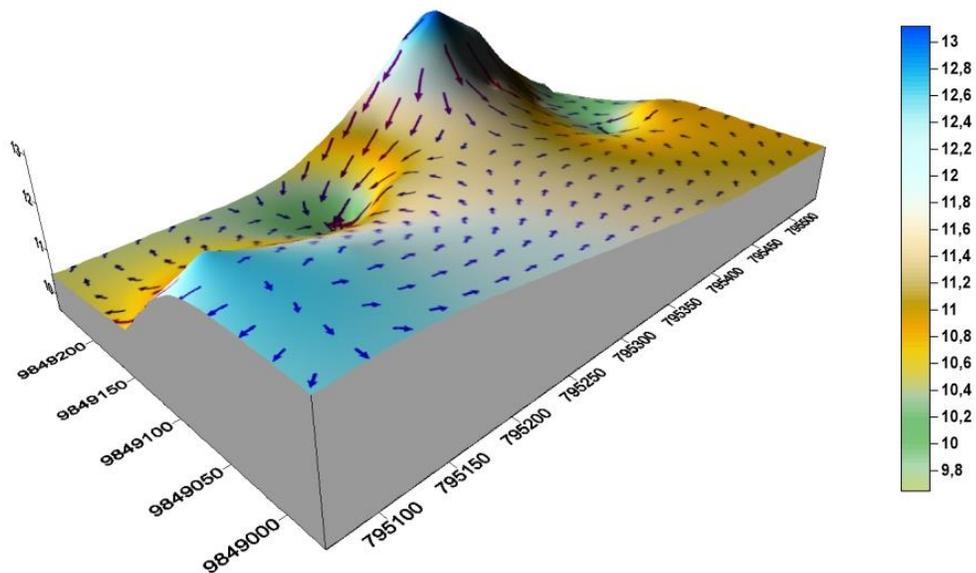


Fonte: Do Autor, 2017.

O comportamento da mesma superfície equipotencial para o período menos chuvoso, em três dimensões, é mostrado na figura 16.

Aqui se tem a mesma área de recarga maior da figura 15 e aparece uma inversão em uma das áreas de recarga anteriores que se transforma em área de descarga do aquífero. Caracteriza-se, portanto, para essa figura do período menos chuvoso, duas áreas de recarrega e duas de descarga das águas subterrâneas.

Figura 16- Distribuição do fluxo hídrico subterrâneo em 3 D da área de estudo, no período menos chuvoso.

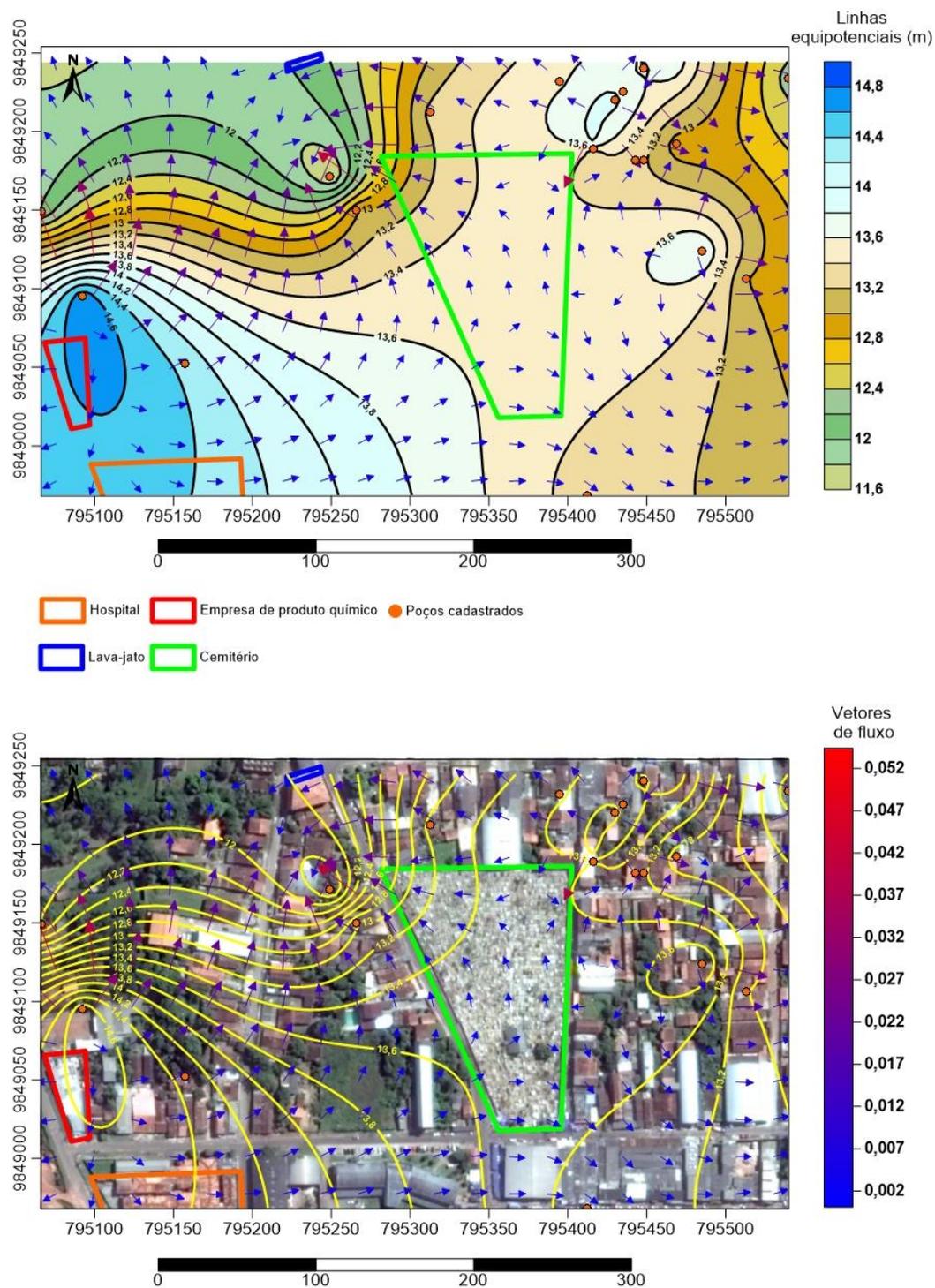


Fonte: Do Autor, 2017.

A figura 17 mostra o mapa de variação das direções e sentidos dos fluxos hídricos subterrâneos sobre a base geográfica da área estudada, para o período chuvoso, onde estão plotadas as principais fontes potenciais de poluição das águas subterrâneas identificadas nos trabalhos de campo.

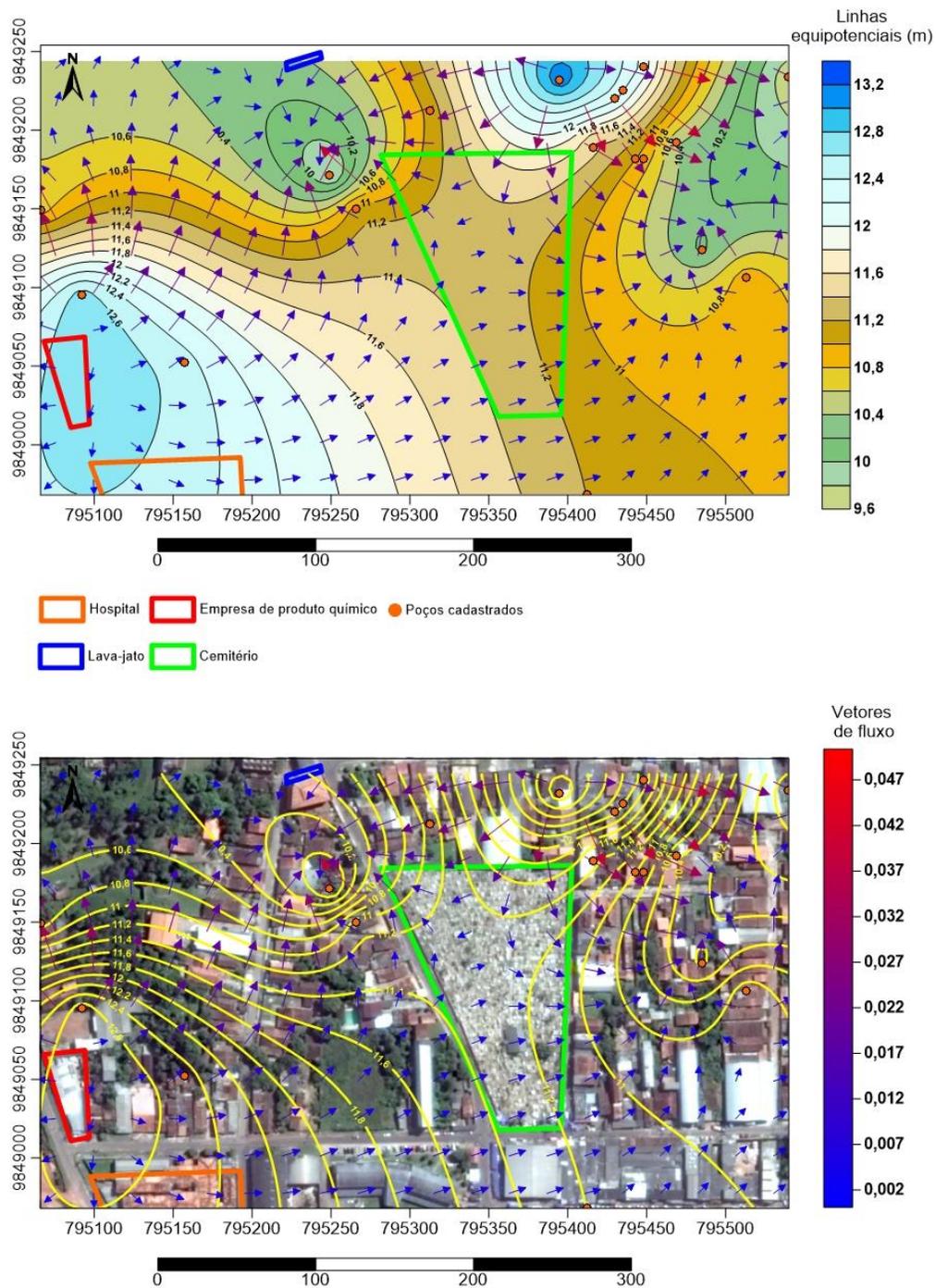
Percebe-se a ocorrência da principal área de recarga do aquífero superior localizada no setor SW da área estudada, as duas áreas de recarga menos intensas no setor E e NNE da área e a área de descarga do aquífero no setor NW.

Figura 17- Distribuição do fluxo hídrico subterrâneo da área de estudo no período chuvoso



Fonte: Do Autor, 2017.

Figura 18- Distribuição do fluxo hídrico subterrâneo da área de estudo no período menos chuvoso.



Fonte: Do Autor, 2017.

A figura 17 mostra o comportamento dos fluxos hídricos para o período menos chuvoso onde aparecem as mesmas áreas de recarga e descarga identificadas para a

figura 18, com duas áreas de recargas localizadas nos setores SW e NE e das áreas de descarga localizadas nos setores NW e NE da área.

Sabe-se que as áreas de recarga dos sistemas aquíferos são de extrema importância para o planejamento urbano e devem ser preservadas, se possível transformadas em áreas de proteção ambiental (APA). Essas áreas são palco de infiltração de água nos aquíferos e não podem ser impermeabilizadas e não devem ser áreas de locação de elementos poluidores.

Percebe-se, na área estudada, a existência de uma empresa de produtos químicos (Fig.11) exatamente sobre a principal área de recarga do aquífero analisado, localizado no setor SW dos mapas.

O cemitério São José de Arimatéia está localizado em uma zona de transição de fluxo do aquífero estudado. Na sua porção sul estão localizados vetores de fluxo que convergem para leste na direção da zona de recarga e na porção norte os vetores de fluxo que cortam o cemitério se direcionam para norte ou noroeste, dirigindo-se para as zonas de descarga. Esse comportamento será importante para a análise dos parâmetros físico-químicos das águas estudadas.

11.QUALIDADE DAS ÁGUAS

Marituba é abastecida principalmente pela Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA) através dos mananciais superficiais, Lago Água Preta e Lago Bolonha, e por poucos poços tubulares profundos, que não suprem as necessidades totais do município por água, obrigando a população a explorar os recursos hídricos subterrâneos rasos, através de poços tubulares e escavados, utilizando quase sempre técnicas e equipamentos inadequados, o que pode significar um risco tanto à população que consome esta água, assim como para os mananciais subterrâneos.

De acordo com Bahia (2004), o município passou nos últimos anos por um rápido inchaço e crescimento o que acarretou em problemas como precárias condições de saneamento e abastecimento de água.

Dentro deste contexto, surgiu o interesse em estudar os recursos hídricos subterrâneos aliados a qualidade destas águas, principalmente as dos poços que circundam o bairro Centro onde se localiza o cemitério São José de Arimatéia e outras fontes potenciais de contaminação das águas.

Dos 42 poços cadastrados na área selecionou-se 19 que foram alvo de coleta de água e análise físico-química pelo Instituto Evandro Chagas (IEC) no sentido de estabelecer possíveis relações de contaminação das águas subterrâneas do aquífero superior pelas possíveis fontes contaminantes.

Os resultados das análises realizadas encontram-se individualizadas e podem ser vistas na (figura19), correspondente ao período chuvoso e na figura 20, para o período menos chuvoso. Os resultados de alguns parâmetros considerados expressivos foram tratados com mais detalhe no sentido de poder expressar as características físico-químicas dessas águas e suas expressões na área. Os valores obtidos foram relacionados com a portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde do Brasil que representa a referência como guia de potabilidade.

11.1 Interpretação dos Resultados Obtidos

As análises obtidas foram objetos de três tipos de tratamento:

- I. Foram confeccionados gráficos para cada constituinte individualmente, utilizando o programa Excel, no sentido de fornecer uma melhor visualização dos valores obtidos e uma rápida comparação entre as diversas amostras;
- II. Foram traçadas, nos mapas da área do bairro Centro de Marituba, curvas de isovalores para os parâmetros considerados relevantes frente aos objetivos do trabalho, no sentido de analisar suas variações espaciais na área estudada. Para tanto, utilizou-se o programa *SURFER 11*;
- III. Foi confeccionado o diagrama de Piper para se obter a classificação iônica das águas, utilizando-se o programa *Aquaquem*.

A análise aqui feita contemplou apenas aqueles parâmetros de importância maior para os objetivos deste trabalho. Para referência incluiu-se, na figura 19, os resultados para todos os outros parâmetros analisados.

Figura 19- Análises Físico-Químicas para Água Subterrânea no período Chuvoso.

Parâmetro	pH	Condutividade	ORP	TDS	Cor Aparente	STS	Turbidez	Alcalinidade
Unidade	-	µS/cm	mV	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
P02	6,04	347	280,5	174	5	<LD	<LD	280
P06	6,05	183	301,7	92	11	1	2	76
P10	5,85	240	279,7	120	4	4	<LD	220
P12	5,48	69	255,9	35	2	<LD	<LD	100
P14	7,52	417	285,8	208	32	3	4	1160
P15	6,15	324	306,9	162	7	2	1	280
P16	5,97	334	279,5	167	5	1	1	301
P17	6,29	352	248	176	7	2	1	310
P18	5,36	78	249,2	39	3	1	1	30
P19	6,38	739	195,5	370	11	1	1	880
P23	5,72	156	267,3	78	10	3	2	90
P24	5,88	301	266,5	150	38	6	6	260
P29	6,26	376	217,9	188	8	<LD	<LD	401
P31	5,28	92	288	46	3	1	<LD	50
P34	5,11	354	313,4	177	20	4	3	50
P37	4,55	78	334,2	39	3	<LD	<LD	0
P40	5,93	458	319,5	229	3	2	1	290
P41	5,71	229	254,6	115	12	2	2	100
P42	4,76	46	316,6	23	10	2	10	30

Parâmetro	Bicarbonato	Fosfato	Cloreto	Nitrito	Nitrato	Amônia	Sulfato
Unidade	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
P02	280	<LD	3,55	<LD	33,4	4,05	62,41
P06	76	<LD	3,1	<LD	27,4	<LD	45,85
P10	220	<LD	2,14	<LD	18,7	3,56	74,3
P12	100	<LD	1,62	<LD	2,21	0,13	16,58
P14	1160	<LD	0,88	<LD	1,8	<LD	10,65
P15	280	<LD	4,54	0,12	26,33	3,14	51,44
P16	301	<LD	3,42	<LD	5,67	4,12	53,71
P17	310	<LD	4,82	0,45	0,96	3,67	43,63
P18	30	<LD	1,85	<LD	1,78	<LD	11,02
P19	880	<LD	11,92	6,24	27,17	<LD	53,95
P23	90	<LD	2,39	0,01	12,4	0,38	36
P24	260	<LD	3,98	<LD	27,6	1,6	57,25
P29	401	<LD	5,39	0,22	11,3	9,62	47,31
P31	50	<LD	1,58	<LD	7,46	0,74	26,31
P34	50	<LD	9,54	<LD	29,33	<LD	30
P37	0	<LD	2,02	<LD	17,36	<LD	5,93
P40	290	<LD	7,4	<LD	26,48	8,22	89,73
P41	100	<LD	4,1	<LD	21,4	4,5	60,76
P42	30	<LD	1,9	<LD	2,4	<LD	6,67

Fonte: Do autor, 2017.

Figura 20- Análises Físico-Químicas para Água Subterrânea no período menos chuvoso.

Amostra	pH	Condutividade	ORP	TDS	Cor Aparente	STS	Turbidez	Alcalinidade
Unidade	-	µS/cm	mV	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
P02	7,19	109	178,8	168	1	1	0	960
P06	6,09	169	217,9	84	16	2	2	130
P10	5,8	280	223,9	140	-2	0	0	140
P12	5,72	81	219,3	48	-1	0	0	120
P14	6,63	431	213,1	216	25	3	3	110
P15	6,81	407	199,5	203	9	2	1	90
P16	6,44	192	193	96	2	0	0	150
P17	7,46	425	170,7	212	23	2	2	860
P18	6,33	91	174,4	46	1	1	0	120
P19	5,98	600	199,1	300	6	1	1	60
P23	5,84	182	188,6	91	3	1	1	130
P24	6,99	297	125,1	149	46	7	6	60
P29	6,08	422	197,5	211	1	1	0	60
P31	5,57	114	203,5	57	1	1	1	10
P34	6,27	287	66,2	144	1	1	0	130
P37	4,31	94	254,3	47	0	1	0	150
P40	5,75	468	233,8	234	1	1	0	100
P41	6,14	239	149,7	120	3	1	1	120
P42	4,69	60	237,7	30	16	3	2	90

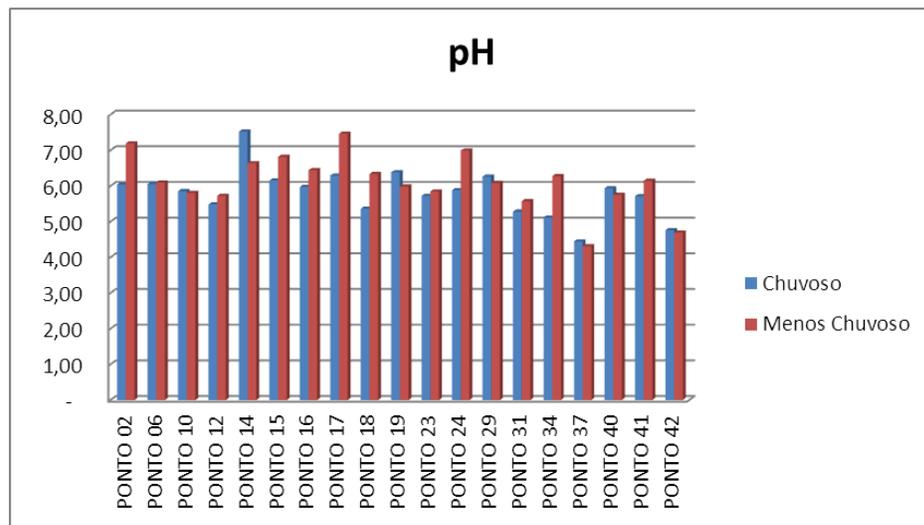
Amostra	Bicarbonato	Fosfato	Cloreto	Nitrito	Nitrato	Amônio	Sulfato
Unidade	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
P02	960	<LD	13,357	<LD	41,435	4,891	39,8375
P06	130	<LD	8,551	<LD	25,462	<LD	27,8565
P10	140	<LD	7,882	<LD	22,6295	3,9075	45,978
P12	120	<LD	5,08	<LD	7,322	<LD	6,525
P14	110	<LD	2,565	<LD	2,189	<LD	6,1985
P15	90	<LD	12,042	<LD	25,698	4,7535	31,6455
P16	150	<LD	6,199	<LD	14,599	0,995	16,25
P17	860	<LD	2,6285	<LD	3,1755	<LD	6,671
P18	120	<LD	5,762	<LD	9,699	<LD	6,1115
P19	60	<LD	20,507	<LD	74,6825	5,157	38,988
P23	130	<LD	8,1505	<LD	17,9285	0,1785	18,2785
P24	60	<LD	10,1705	<LD	20,418	3,7335	32,527
P29	60	<LD	6,9945	<LD	16,015	5,2085	15,9815
P31	10	<LD	5,1335	<LD	13,007	<LD	11,4205
P34	130	<LD	16,0435	<LD	31,0635	<LD	30,5625
P37	150	<LD	6,626	<LD	16,8615	<LD	3
P40	100	<LD	20,7265	<LD	29,685	8,174	52,991
P41	120	<LD	12,0115	<LD	26,8885	2,266	36,206
P42	90	<LD	3,5045	<LD	6,747	<LD	3,201

Fonte: Do Autor, 2017

11.2 pH

De acordo com Feitosa *et al* 2008 o potencial hidrogeniônico (pH) é medido e controlado pelas reações químicas e pelo equilíbrio dos íons podendo variar de 1 a 14, sendo neutro com valor igual a 7. Valores inferiores a 7 caracterizam o pH ácido e os alcalinos acima de 7.

Figura 21- Variação do pH nos períodos chuvoso (Azul) e menos chuvoso (Vermelho).



Fonte: Do Autor, 2017.

De acordo com a Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde do Brasil os valores de pH para a potabilidade das águas varia entre 6,5 e 9,0. Percebe-se na figura 18 que o pH, no período chuvoso, variou entre os limites de 7,52 e 4,44, com uma média de 5,82. Já no período menos chuvoso o valor máximo foi 7,46 e o mínimo de 4,31, com a média de 6,08.

Percebe-se que no período chuvoso somente uma amostra (5,26%) tem valor de pH dentro da faixa de potabilidade da Portaria 2914/2011, enquanto 4 amostras (21,05%) do período menos chuvoso mostraram valores dentro da faixa de potabilidade da Portaria 2914/2011/MS.

Isso demonstra que a maioria das águas produzidas pelos poços amostrados se encontra fora dos padrões de potabilidade da legislação vigente, se caracterizando por águas ácidas demais para consumo humano.

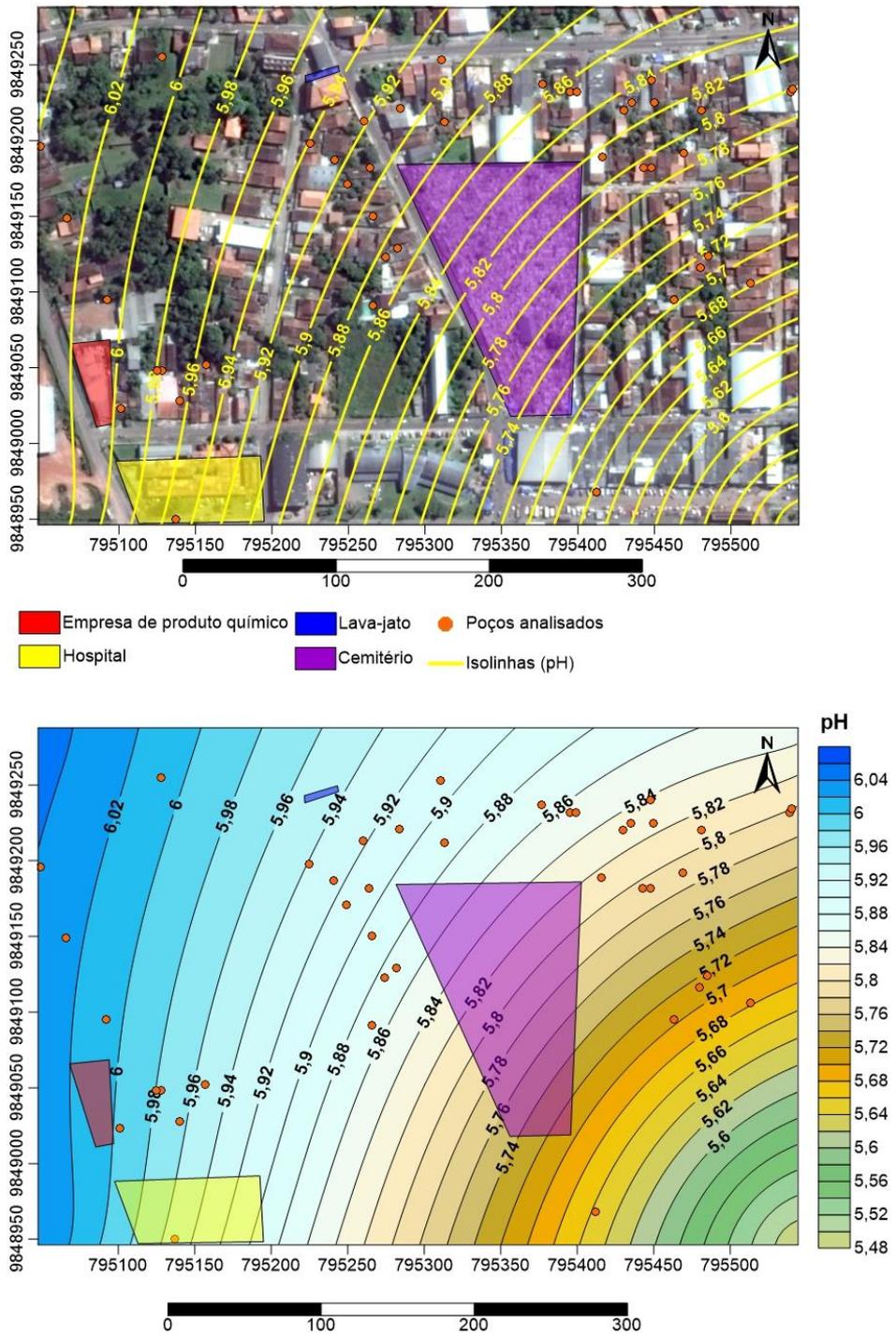
Segundo Souza 2015 *apud* Medeiros 2009 o pH é considerado como um dos mais importantes para determinação da maior parte das substâncias químicas das águas sejam elas, residuais ou potáveis pois o mesmo interfere na coagulação, no controle da corrosão, no abrandamento e na desinfecção. Toda via, se ele estiver em baixas concentrações nestas águas constituem ameaças às estruturas metálicas.

Os mapas das figuras 19 e 20 descrevem a distribuição espacial do pH na área estudada, no período chuvoso e menos chuvoso, respectivamente. Percebe-se que, para o período chuvoso, os valores desse parâmetro caracterizam linhas com direção geral NE-SW, aumentando sistematicamente de valores de sudeste para noroeste. Isso parece demonstrar que o pH nas águas subterrâneas da área estudada nesse tem uma forte influência das águas superficiais localizadas a noroeste da área (Igarapé Uriboça).

Para o período menos chuvoso (Figura 22) as direções das linhas de isovalores de pH se invertem e passam a se orientar na direção preferencial NW-SE, com valores de pH aumentando sistematicamente de nordeste para sudoeste. Nesse caso a influência dos cursos hídricos superficiais não se verifica talvez pelo baixo volume de água em seus cursos.

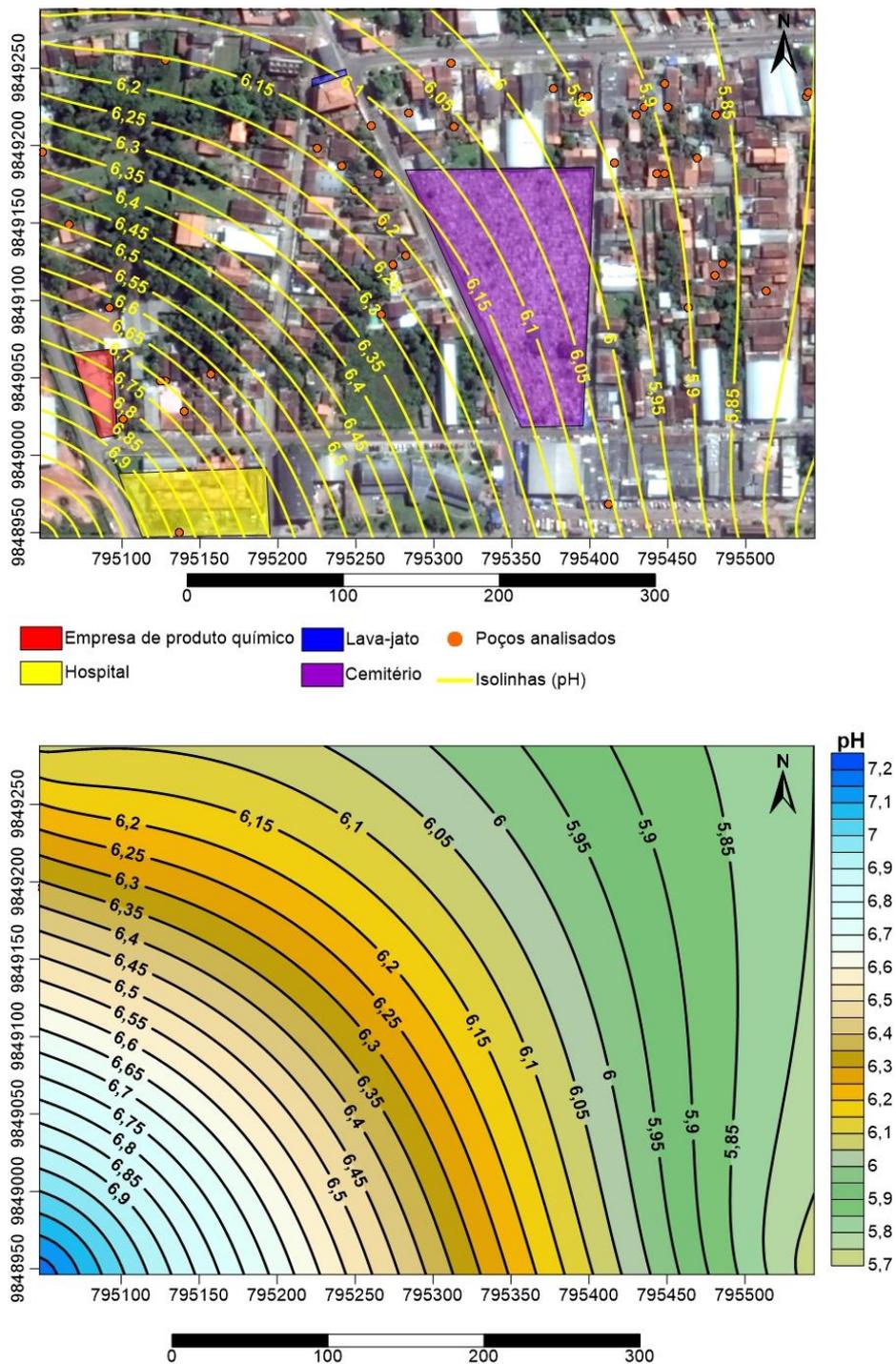
Os valores mais altos de pH no período menos chuvoso se verificam na altura da rodovia Br 316 onde se localiza uma indústria de produtos químicos e um hospital municipal (Fig.11). Essas fontes potenciais de contaminação podem estar relacionadas com o aumento dos valores de pH cuja interação não ficou clara nos trabalhos de campo.

Figura 22- Distribuição do pH na área estudada no período chuvoso.



Fonte: Do autor, 2017.

Figura 23- Distribuição do pH da área de estudo no período menos chuvoso.



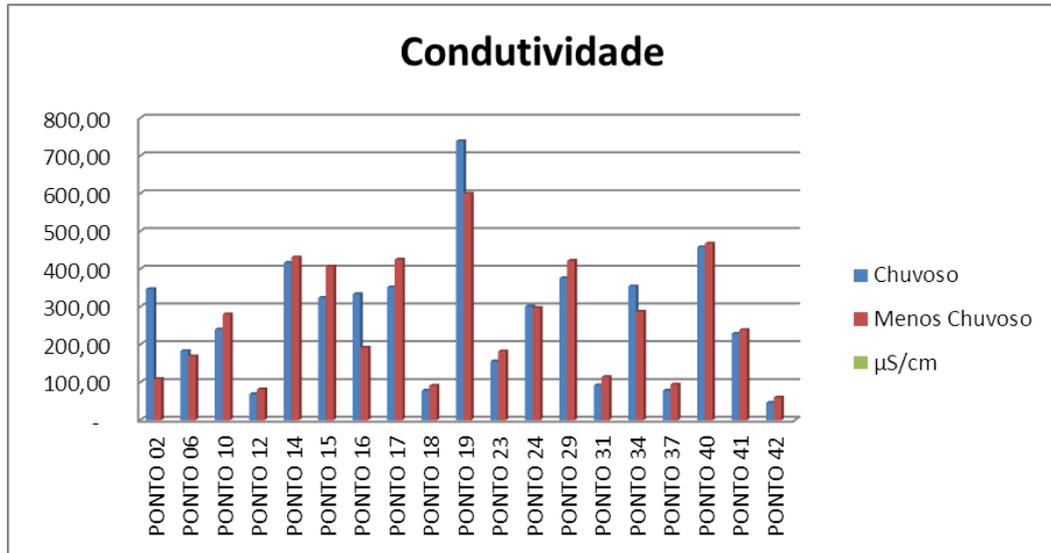
Fonte: Do autor, 2017.

11.3 Condutividade Elétrica

Feitosa *et al* (2008) ressalta que a condutividade elétrica na água está ligada à capacidade em conduzir corrente elétrica estando diretamente ligada com teor de sais dissolvidos sob a forma de íons.

Os valores de condutividade confirmam a presença de ambientes fortemente lixiviados onde os elementos maiores (Na, Ca, K e Mg) responsáveis pelas características básicas já migraram para o sistema hídrico deixando-os com características ácidas.(BAHIA *et al* ,2016).

Figura 24- Variação da Condutividade nos períodos chuvoso (Azul) e menos chuvoso (Vermelho).

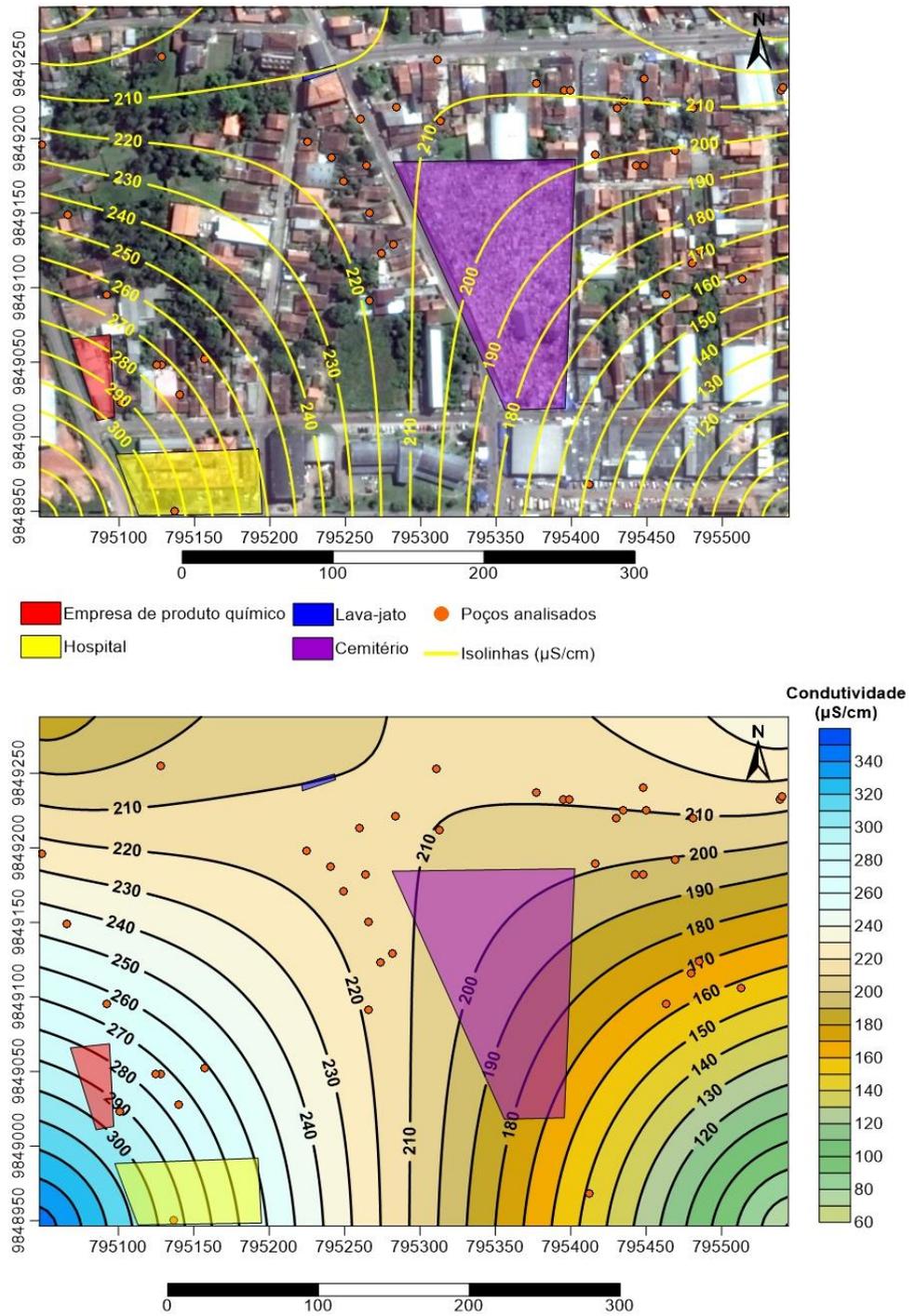


Fonte: Do autor, 2017.

Na figura 24 percebe-se a variação de condutividade nos dois períodos, com valores máximos de 739 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e mínimas de 46 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na estação chuvosa. Essa variação no período menos chuvoso é diminuída, com máximas de 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e mínimas de 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na chegada do verão amazônico que possui características de tempo menos húmido e calor excessivo. A portaria 2914/2011/MS não cita valores máximos permitidos para a potabilidade em relação à condutividade.

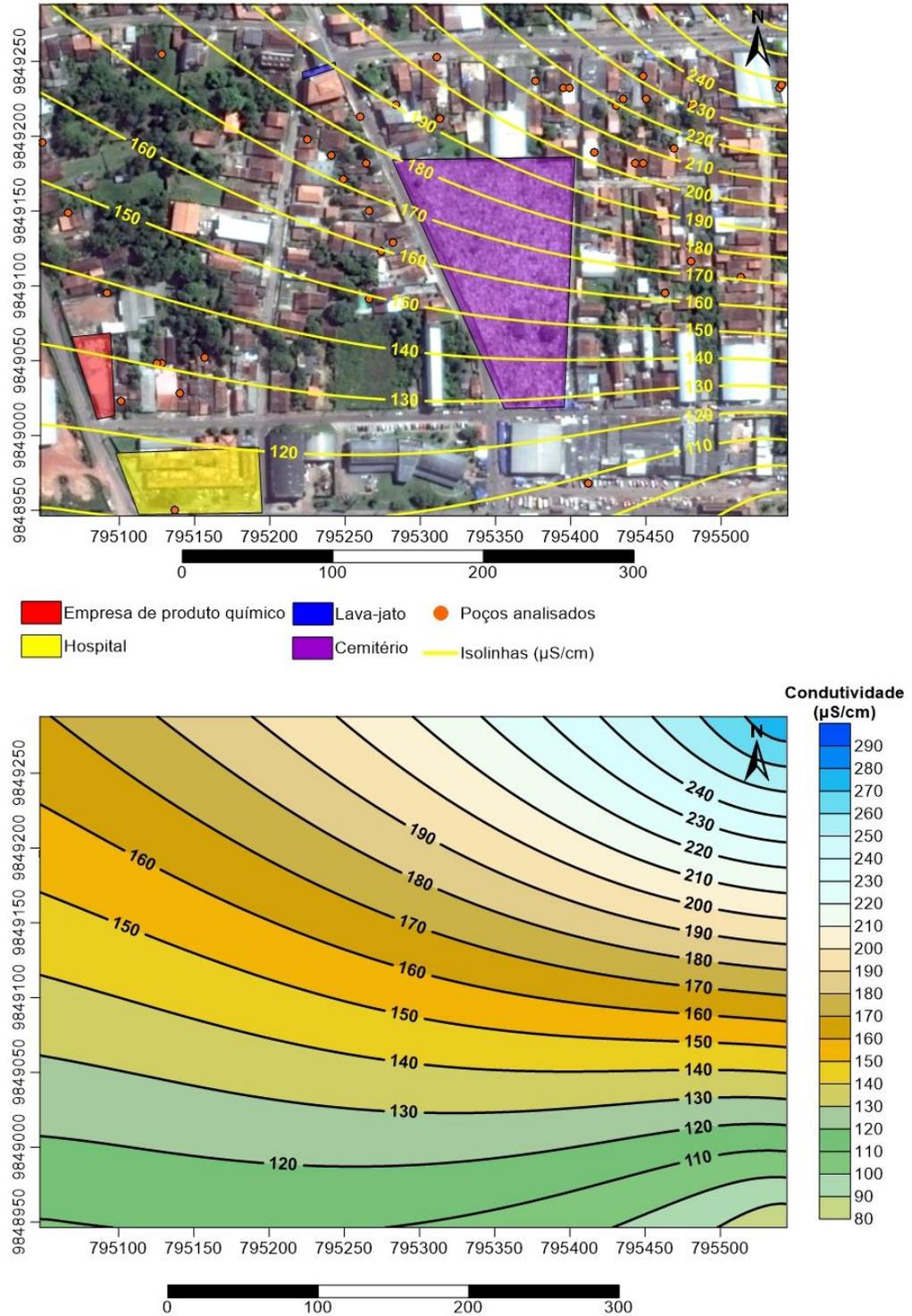
A figura 25 mostra a variação areal da condutividade na área estudada para o período chuvoso enquanto a figura 26 apresenta a variação desse parâmetro para o período menos chuvoso.

Figura 25- Distribuição da Condutividade no período chuvoso.



Fonte: Do autor, 2016.

Figura 26- Distribuição da Condutividade no período menos chuvoso.



Fonte: Gomes, 2016.

A condutividade do período chuvoso, no mapa de isovalores, está distribuída a partir do centro da área, na altura do cemitério São José de Arimatéia, diminuindo para sudeste e aumentando para sudoeste, com os maiores valores concentrando-

se no limite SW do mapa, na altura do hospital e da indústria de material químico, nas proximidades da rodovia Br 316.

Segundo Almeida *et al*/ 2005 apud Matos (2001) a presença de necrochorume provoca um acréscimo na quantidade de sais minerais, aumentando a condutividade elétrica da água, levando a um aumento da concentração de íons como cloreto entre outros elementos.

Essa concentração de valores de condutividade no setor SW da área coincide com a distribuição do pH (Fig. 22 e 23).

No período menos chuvoso (Fig.26) a distribuição areal da condutividade é bem distinta daquela do período chuvoso. Nesse caso temos linhas de isovalores com direção predominante E-W, com inflexão para norte e os valores aumentando para o setor NE. Isso mostra o quanto o índice pluviométrico altera os valores da condutividade elétrica dessas águas subterrâneas rasas.

11.4 Bicarbonato

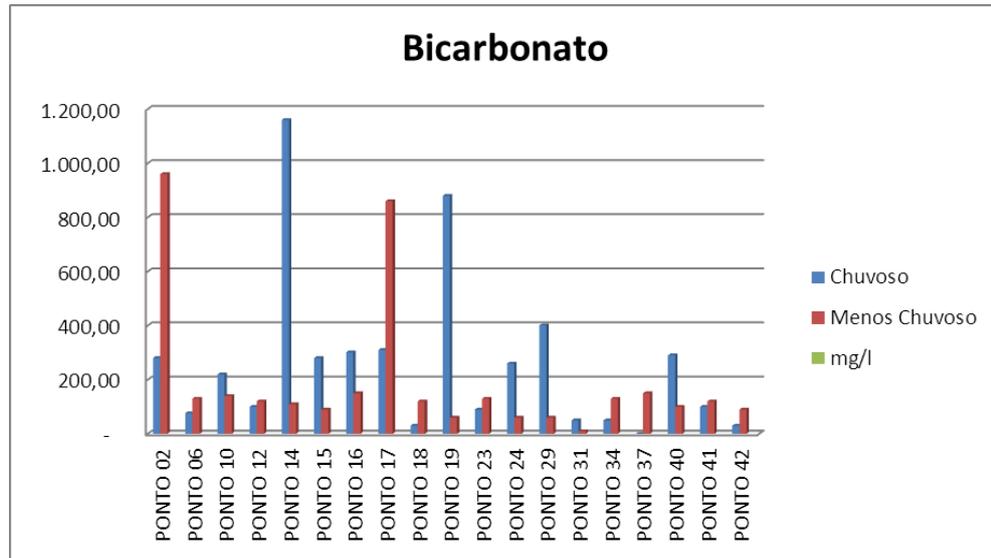
Segundo Feitosa *et al* (2008), o Bicarbonato é um íon que não sofre oxidação e nem redução em águas naturais, no entanto, pode precipitar com muita facilidade como bicarbonato de cálcio. Este podendo variar entre 50 e 350mg/L em águas doces, chegando até 800 mg/L.

O gráfico da figura 27 mostra variações máximas de 1160 mg/L no período chuvoso e mínimas de 0 mg/L com média de 258,32. No período menos chuvoso esta variação é de 10mg/L á 960 mg/L com média de 188,9.

A portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde não estabelece valores máximos permitidos para bicarbonato.

A distribuição das isolinhas do bicarbonato do período chuvoso (Figura 28) concentra-se sua variação máxima na porção oeste aumentando de norte para sul e já na sua porção mínima ele se mantém na porção leste e aumenta seus isovalores do norte para sul da área de estudo se uniformizando em torno cemitério.

Figura 27- Variação do Bicarbonato nos períodos chuvoso (Azul) e menos chuvoso (Vermelho).



Fonte: Do autor, 2017.

No período chuvoso a distribuição das isolinhas obedece o mesmo padrão obtido para a condutividade elétrica (Fig.25 e 26) com a disposição dos valores de bicarbonato aumentando para o setor sudoeste e, em menor expressão, para nordeste.

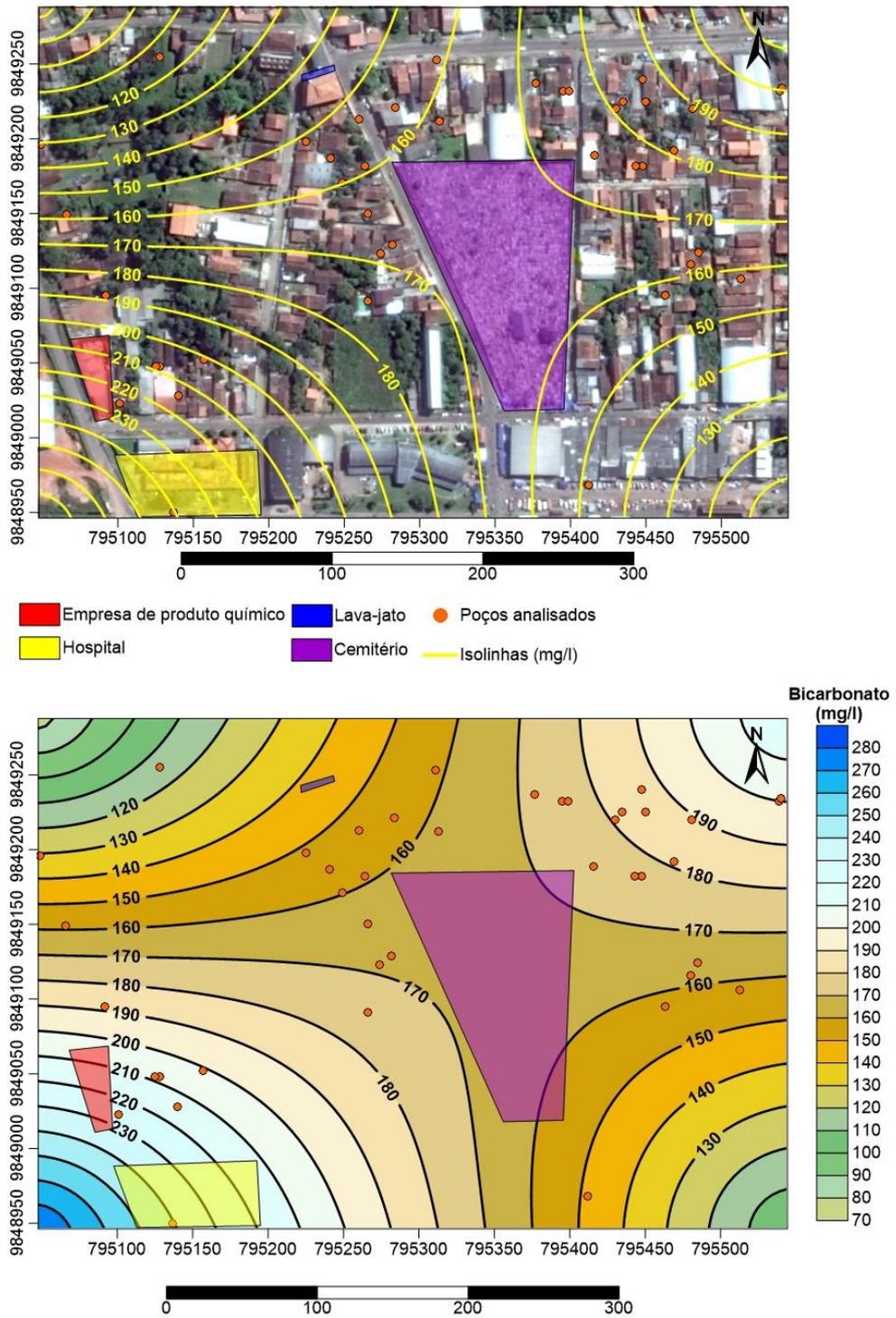
Aqui, novamente, os maiores valores se concentram na parte NW do mapa, na altura da indústria de material químico, do hospital e da rodovia Br 316.

Como não existem poços dentro do cemitério, a distribuição das isolinhas se verifica a partir do centro da área para as extremidades.

No período menos chuvoso (Fig.28) a distribuição do bicarbonato na área se verifica segundo linhas com direção NW-SE, com valores do parâmetro aumentando do setor nordeste para a porção SW, mostrando, mais uma vez, a influência da indústria de produtos químicos e do hospital na distribuição desse parâmetro.

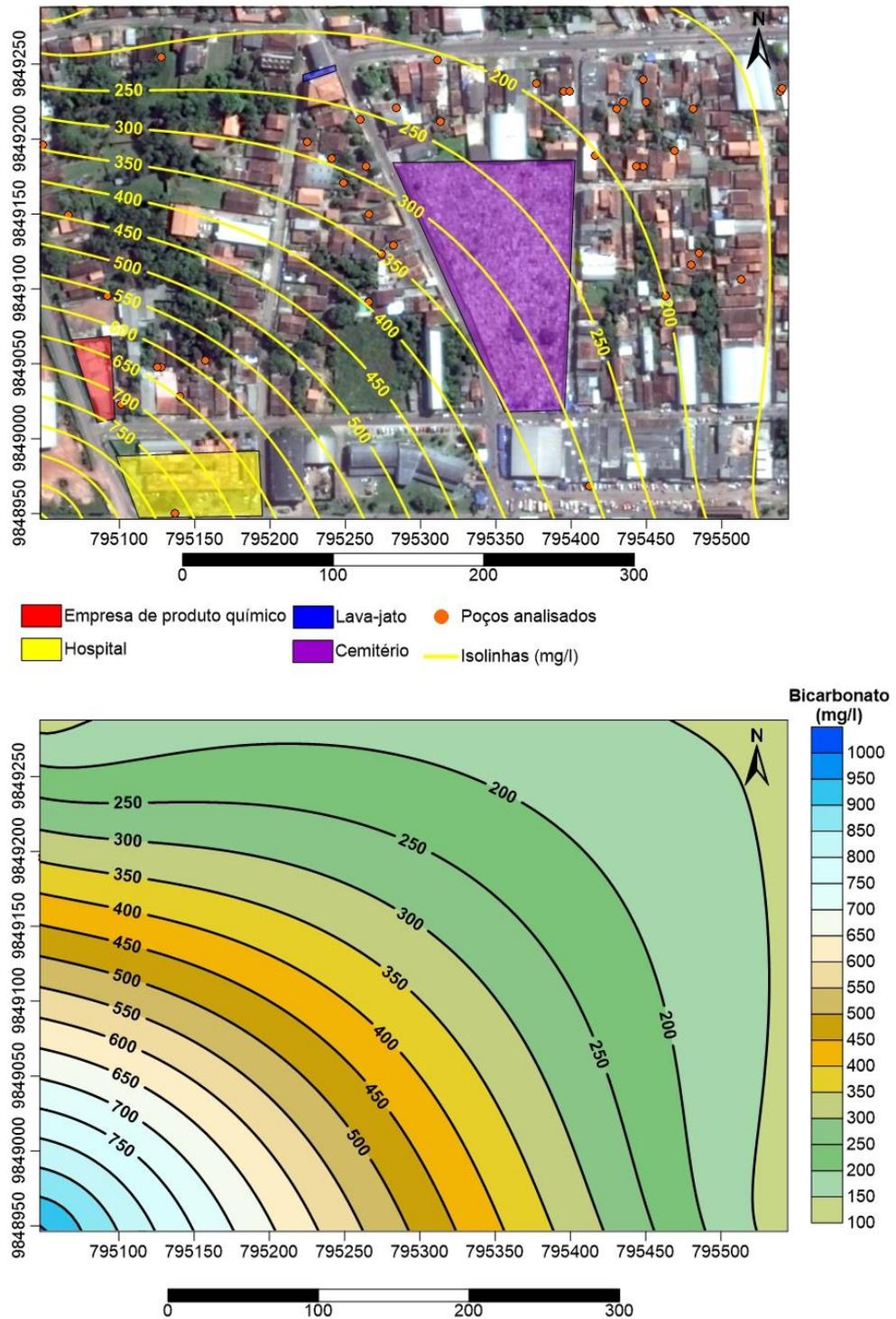
Deve ser levado em consideração que esse setor constitui uma zona de recarga das águas subterrâneas caracterizada pelo mapa do fluxo hídrico mostrado nas figuras 17 a 18 .

Figura 28- Distribuição do Bicarbonato no período chuvoso.



Fonte: Gomes, 2016.

Figura 29- Distribuição do Bicarbonato no período menos chuvoso.



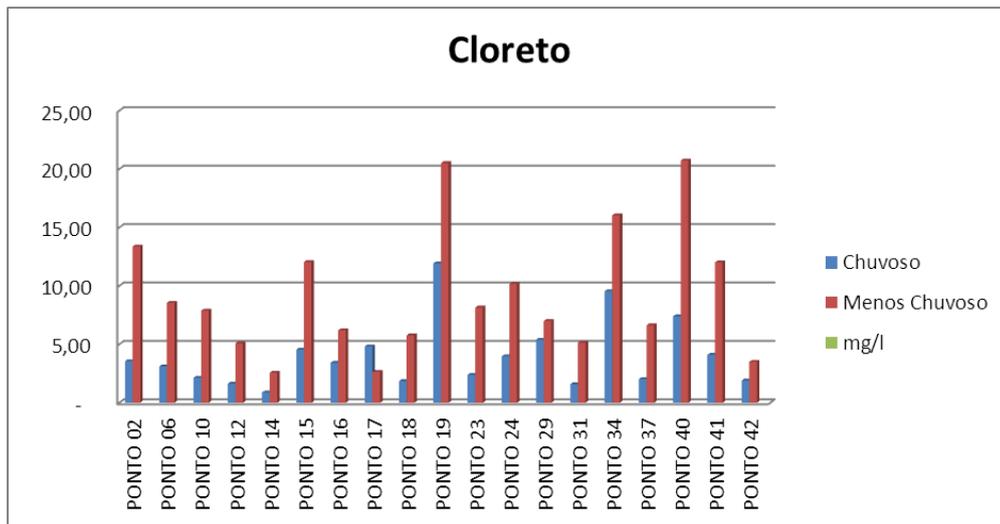
Fonte: Do Autor, 2016.

11.5 Cloreto

O cloreto é o ânion que em regiões com seus teores mais elevados, pode estar associado à contaminação das águas subterrâneas de origem antrópica, especialmente de esgotos sanitários e de resíduos industriais. (FAZZIO *et al*, 2011).

Este parâmetro constitui importante padrão de potabilidade, uma vez que provoca sabor nas águas, corrosões em estruturas de metal, incrustações em tubos de revestimento, aumento da dureza das águas e ações negativas no metabolismo de organismos.

Figura 30- Variação do Cloreto nos períodos chuvoso (Azul) e menos chuvoso (Vermelho) .

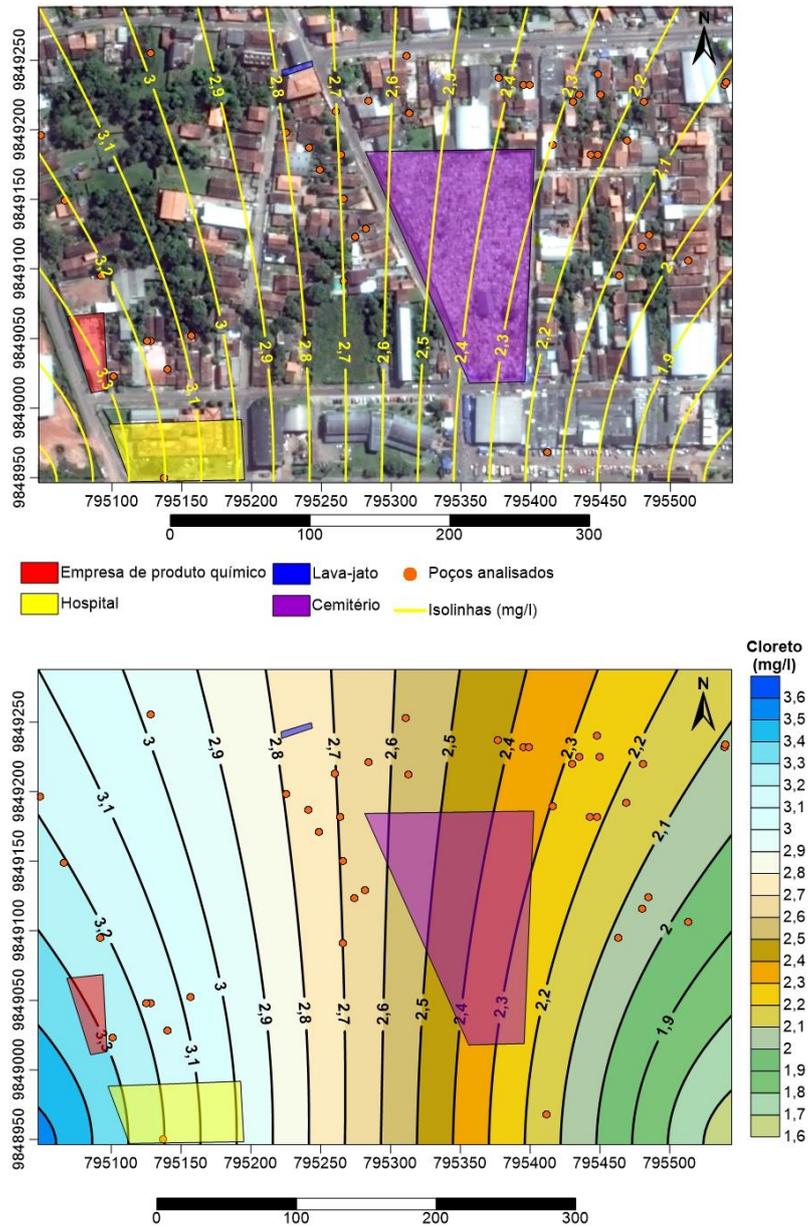


Fonte: Do autor, 2017.

A variação do cloreto na área estabeleceu-se dentro dos valores máximos exigidos pela portaria 2914/11/MS que é de 250 mg/l para águas direcionadas ao consumo humano, mantendo seus valores máximos no período chuvoso de 11,92 mg/l e mínimos de 0,88 mg/l com uma média de 4,24 mg/l. No período menos chuvoso, houve uma disposição máxima de 20,73 mg/l e mínima de 2,57 mg/l, com média de 9,39 mg/l.

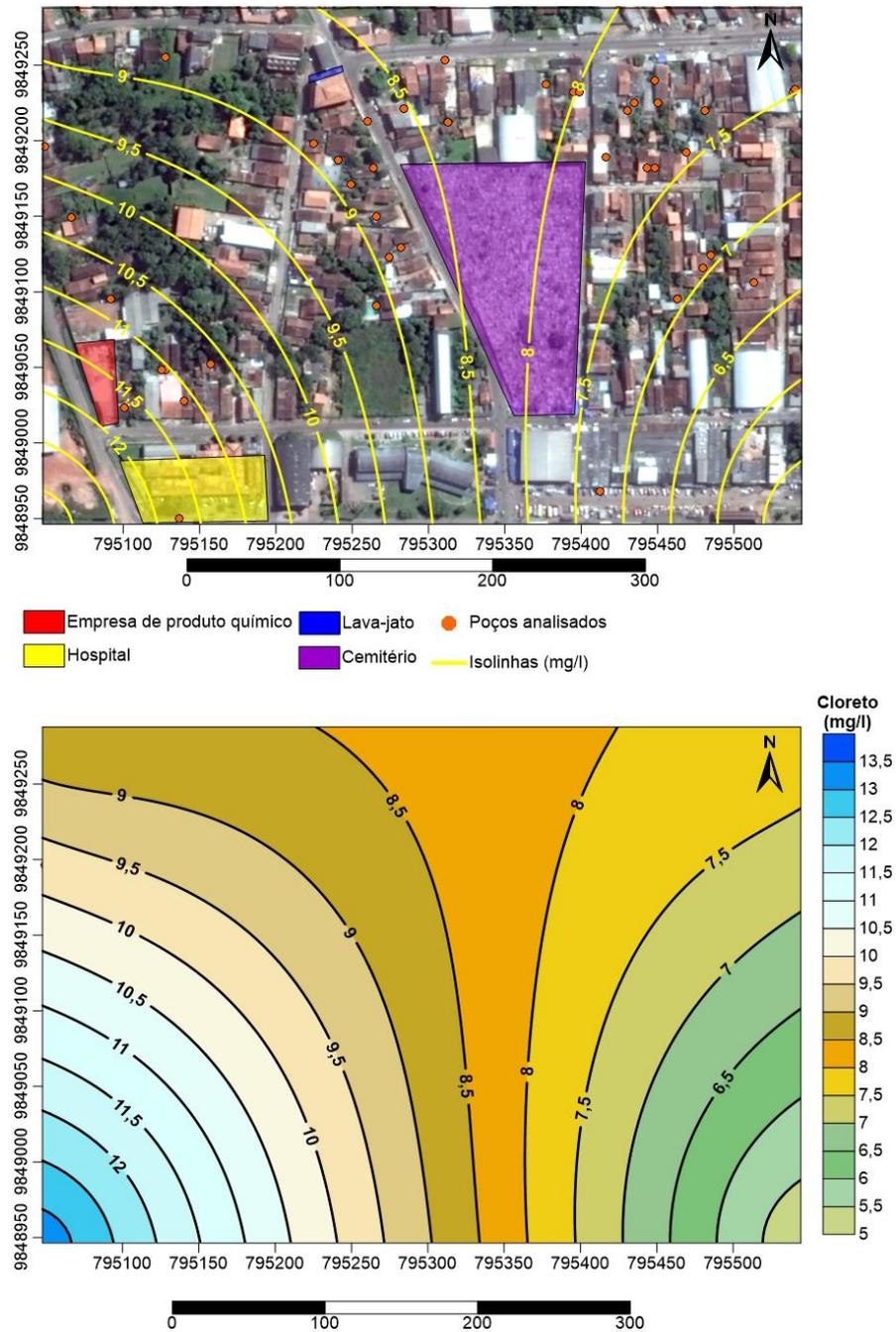
Percebe-se, claramente, que o cloreto mostrou maiores valores no período menos chuvoso, para todas as amostras, evidenciando que a precipitação pluviométrica diluiu bastante esse parâmetro nas águas subterrâneas rasas analisadas.

Figura 31- Distribuição do Cloreto no período Chuvoso.



Fonte: Do autor, 2016.

Figura 32- Distribuição do Cloreto no período menos chuvoso.



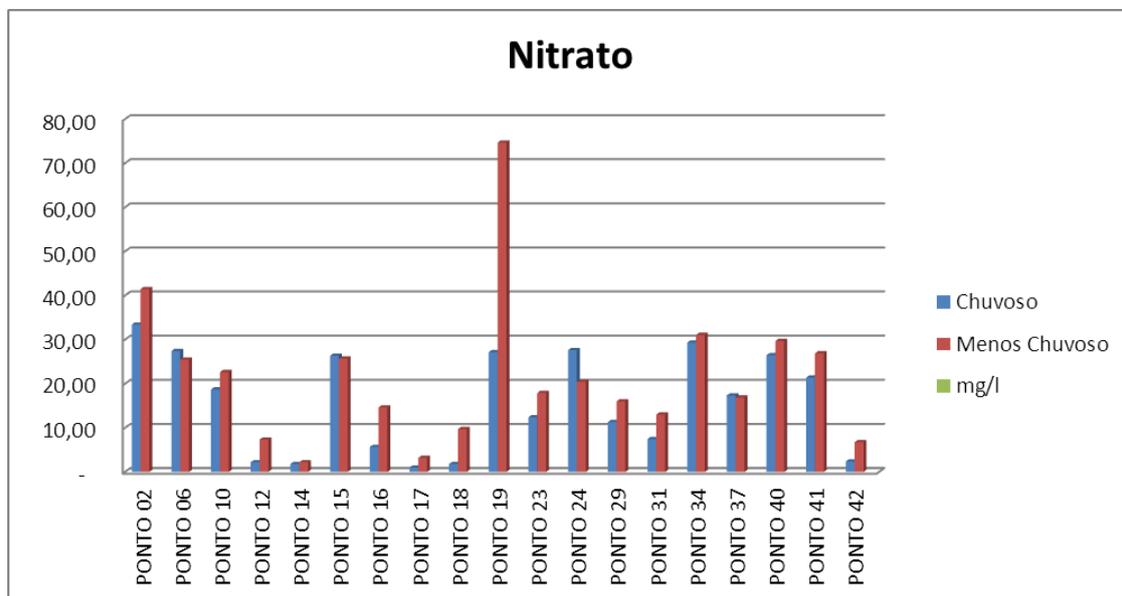
Fonte: Do autor, 2016.

Feitosa *et al* (2008), aborda em seu livro que o cloreto é muito solúvel, possui forte tendência a absorver água e é muito estável em solução, dificilmente se precipita. Não oxida e nem se reduz em águas naturais e esta presente nas águas subterrâneas através da dissolução de solos e rochas. A sua alta solubilidade e o lento movimento das águas no aquífero vão provocando aumentos gradativos e constantes dos teores de cloreto da água subterrânea na direção do fluxo.

Para a interpretação das linhas de isovalores do cloreto no período chuvoso e no período menos chuvoso (Figura 31 e 32) observou-se um padrão de distribuição submeridiano das linhas com valores aumentando de leste para oeste para os dois casos. Isso parece evidenciar que, apesar dos valores de cloreto aumentar do período chuvoso para o menos chuvoso, a distribuição areal desse parâmetro não se modificou relativamente.

Aqui, novamente, como o observado para os parâmetros anteriores, no setor sudoeste se concentram os maiores valores de cloreto.

Figura 33- Variação do Nitrato nos períodos chuvoso (Azul) e menos chuvoso (Vermelho) .



Fonte: Do Autor, 2017

Segundo o que estabelece a portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde em teores acima de 10 mg/L o nitrato pode ser indicativo de contaminação de águas subterrâneas por atividades antrópicas, tais como esgotos, fossas sépticas, depósitos de lixo, cemitérios, adubos nitrogenados, disposição inadequada de dejetos humanos, indústrias em geral etc.

Os valores percentuais para nitrato na área estudada no período chuvoso apontam que 63,15% das amostras (12 pontos) com média de 15,98 estão acima dos valores máximo permitidos e cerca de 36,84% (7 pontos) estão dentro dos padrões estabelecidos pela portaria 2914/11/MS.

Já para o período menos chuvoso, 78,94% das amostras (15 pontos) estão com valores acima do permitido pela Portaria. Aqui a média de valores chegou a 22,97. Somente 21,05% (4 pontos) apresentaram resultados satisfatórios dentro da normalidade imposta pela Portaria.

Entre os pontos que estão fora dos padrões que a Portaria exige está o 19 cujo poço se situa a 13 metros da fossa séptica da residência.

Os mapas das figuras (34 e 35) descrevem a distribuição espacial do nitrato na área estudada, no período chuvoso e menos chuvoso, respectivamente. Percebe-se que os valores desse parâmetro aumentam de leste para oeste. Isso parece demonstrar que o nitrato nas águas subterrâneas da área estudada sofre influência dos seus pontos considerados como fontes potenciais de contaminação (hospital e empresa de produto químico) localizadas em destaque na área do mapa.

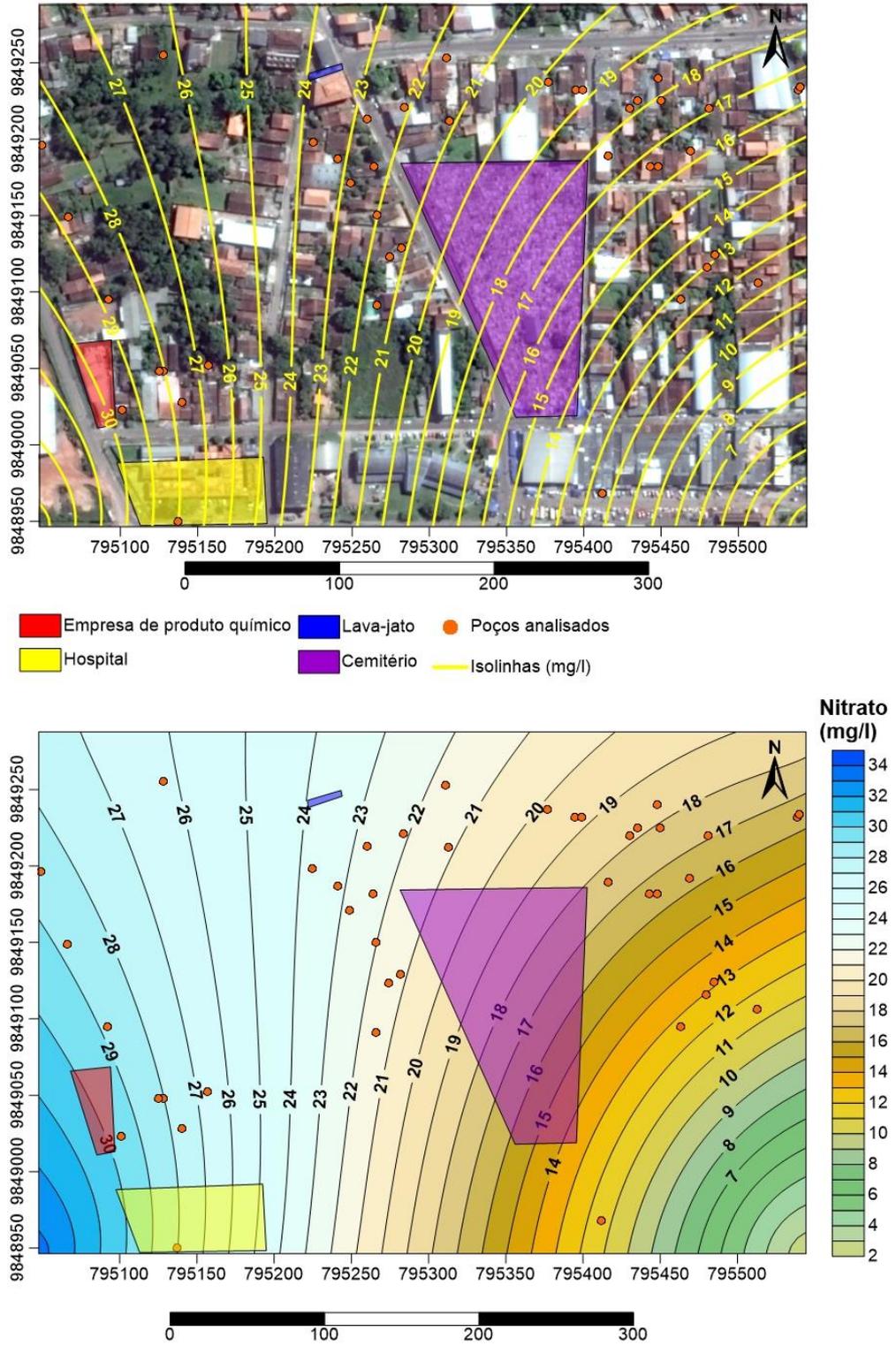
Pode-se dizer que o nitrato na área está presente nos dois períodos, estando mais concentrado no período seco, ambos demonstram que há indicativos de serem fontes geradoras de contaminação antrópica advindas de fossas sépticas e da ausência de tratamento de esgoto.

O contaminante inorgânico de maior preocupação em águas subterrâneas é o íon nitrato, NO_3^- , que normalmente ocorre em aquíferos de zonas rurais e suburbanas. O nitrato em águas subterrâneas origina-se principalmente de quatro fontes: aplicação de fertilizantes com nitrogênio, bem como inorgânicos e de esterco animal, em plantações; cultivo do solo; esgoto humano depositado em sistemas sépticos e deposição atmosférica (SILVA *et al* 2014 *apud* BAIRD; CANN, 2011).

A contaminação por ingestão de águas contendo nitrato pode gerar consequências danosas à saúde humana. No organismo o nitrato converte-se a nitrito que posteriormente associa-se com a hemoglobina para formar a metahemoglobina, impedindo o transporte de oxigênio no sangue.

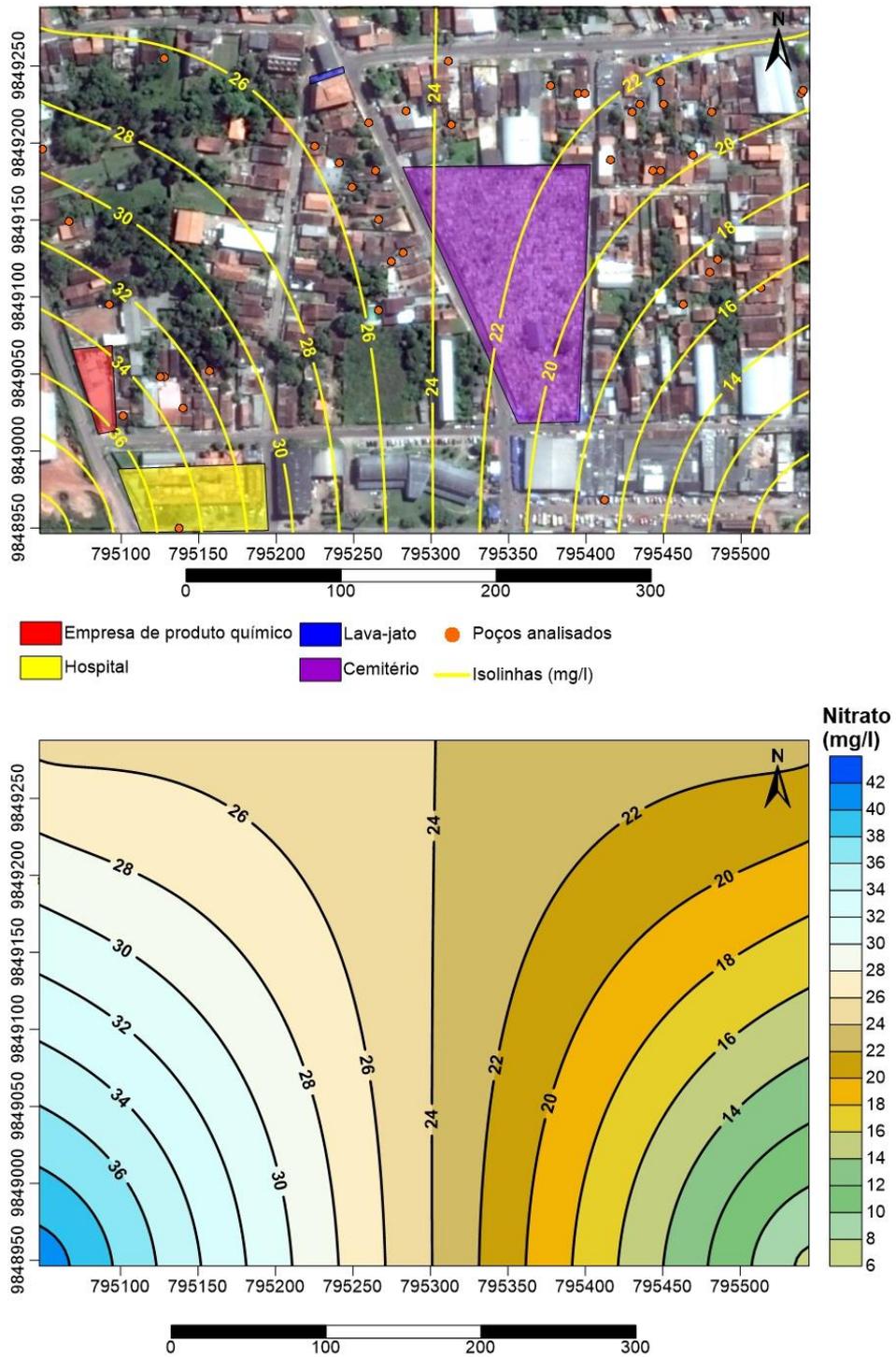
O excesso de íon nitrato em água potável é preocupante por causar em recém-nascidos a síndrome do bebê azul; e em adultos, conforme pesquisas, pode ser responsável por causar câncer de estômago, e aumentar a probabilidade de câncer de mama em mulheres (SILVA *et al* 2014 *apud* BAIRD; CANN, 2011).

Figura 34- Distribuição do Nitrato na área de estudo no período chuvoso.



Fonte: Do autor, 2016.

Figura 35- Distribuição do Nitrato na área de estudo no período menos chuvoso.



Fonte: Do autor, 2016.

11.6 Amônia

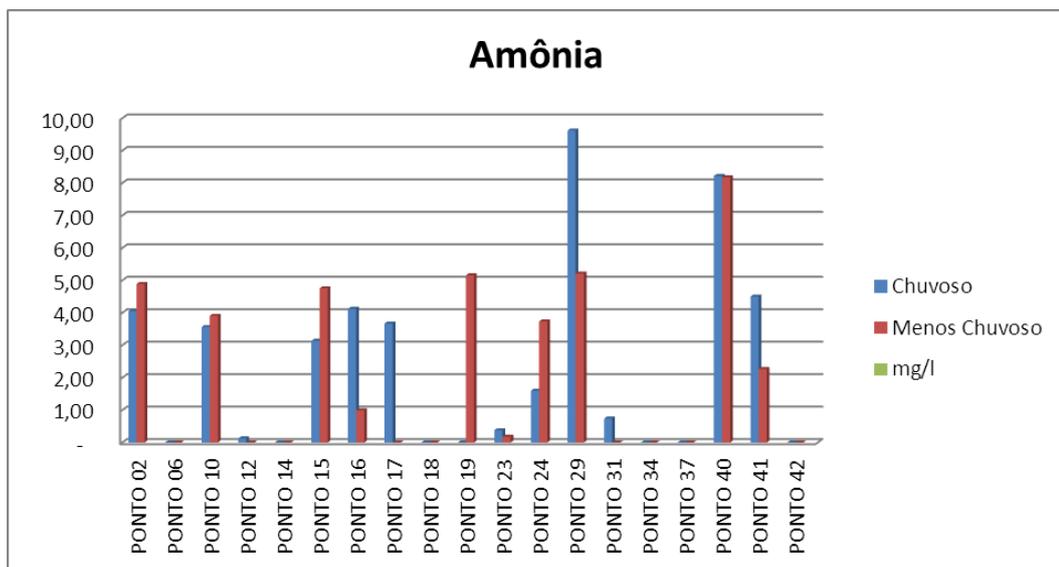
A presença de compostos de nitrogênio nos seus diferentes estados de oxidação é indicativo de contaminação das águas subterrâneas relacionadas à

possíveis condições higiênico-sanitárias insatisfatórias como as que ocorrem na área estudada.

O limite máximo permitido para a potabilidade das águas subterrâneas pela portaria 2914/11/MS é de 1,5 mg/L de NH₃.

A figura 36 mostra a variação da amônia na área estudada para o período chuvoso e para o período menos chuvoso.

Figura 36- Variação da Amônia no período chuvoso (Azul) e menos chuvoso (Vermelho) .



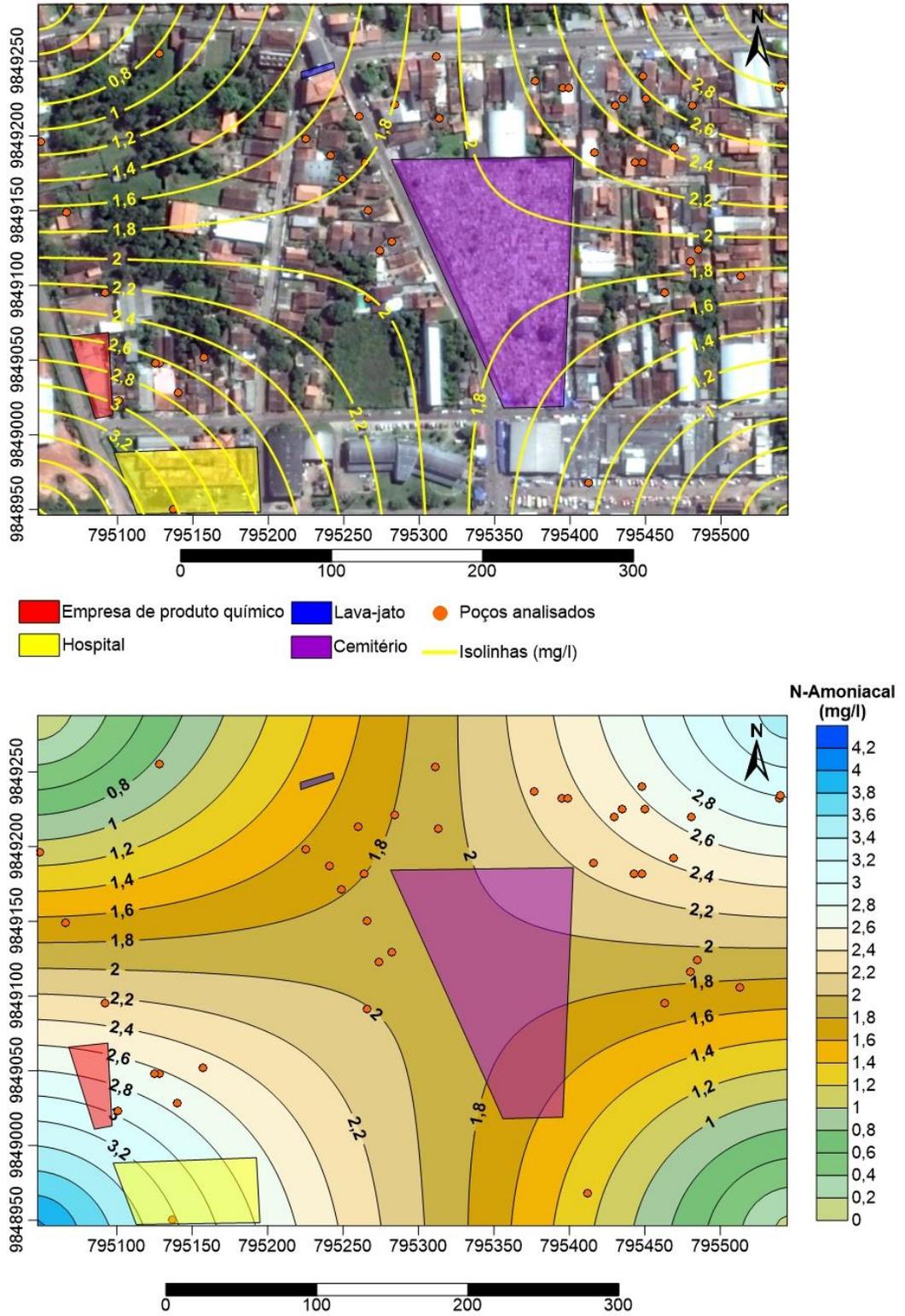
Fonte: Do Autor, 2017.

Os valores obtidos para esse parâmetro mostraram mínimos de 0 em ambos períodos, máximos de 9,62 no período chuvoso e 8,17 no menos chuvoso, com média de 2,54.

Nove amostras do período chuvoso (47,36%) mostraram valores acima do permitido pela Portaria 2914/11/MS enquanto 10 amostras do mesmo período (52,62%) estão dentro dos limites de potabilidade da mesma portaria. Já para o período menos chuvoso 7 amostras (36,84%) estão acima dos valores máximos permitidos pela portaria. No entanto, 11 amostras (57,89%) estão abaixo dos valores estipulados pela portaria.

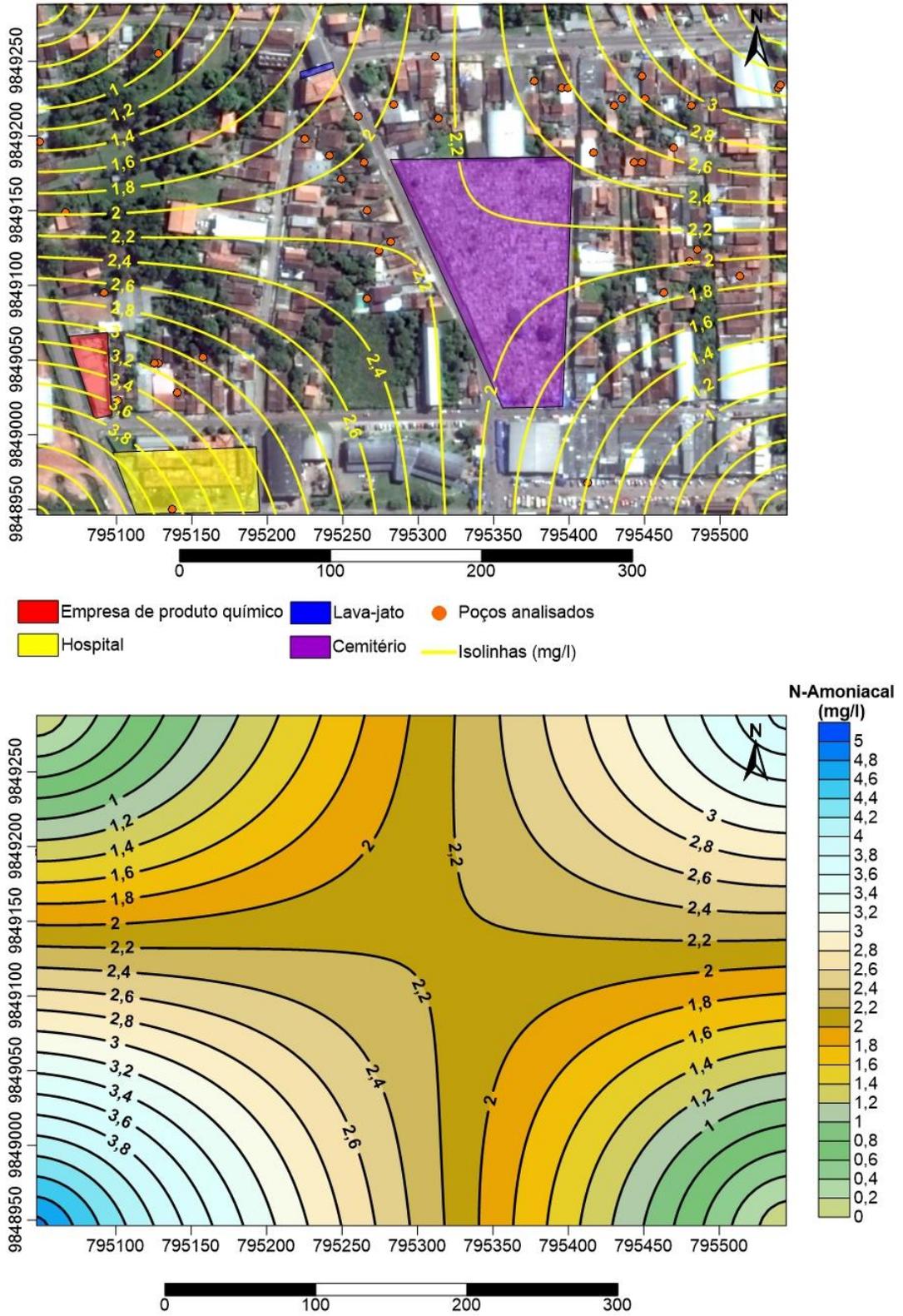
Isso demonstra que as águas dos poços estudados estão fora dos padrões permitidos pela legislação vigente para abastecimento humano.

Figura 37- Distribuição da Amônia no período Chuvoso.



Fonte: Do Autor, 2016.

Figura 38- Distribuição do Amônia no período menos chuvoso.



Fonte: Do Autor, 2016.

As figuras 37 e 38 mostram a distribuição da amônia na área estudada.

Percebe-se um padrão bem semelhante para os dois períodos. Os valores de amônia decrescem a partir do centro da área, na altura do cemitério, para os setores sudeste e noroeste e crescem para os setores nordeste e sudoeste, com os valores maiores se concentrando na porção sudoeste, como foi obtido para o comportamento do nitrato.

Esse comportamento da amônia mostra que o setor sudoeste da área tem uma forte componente de contaminação das águas subterrâneas estudadas, possivelmente associadas a falta de saneamento básico, poços mal construídos e a presença da indústria de produtos químicos e do hospital.

11.7 Comportamento dos Metais Pesados

Para efeito de se analisar a possível influência do cemitério existente na área estudada sobre as águas subterrâneas rasas analisou-se os teores dos metais pesados conforme a figura 39 e 40 para o período chuvoso e menos chuvoso, respectivamente.

Figura 39- Análises de Metais Pesados para Água Subterrânea no período chuvoso.

Parâmetro	Al	Ba	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe
Unidade	mg/L							
P02	0,022744	0,004498	22,44128	<LD	0,000933	0,000547	<LD	0,002583
P06	0,028719	0,002775	12,33498	0,000295	<LD	0,00031	<LD	0,002278
P10	0	0	0	0	0	0	0	0
P12	0,008325	0,002163	4,98549	<LD	0,000592	<LD	<LD	0,004258
P14	0,023795	0,061056	34,52928	<LD	0,002745	<LD	0,003439	0,015175
P15	0,012952	0,010457	18,77398	0,000062	0,000127	<LD	<LD	0,001159
P16	0,012925	0,007349	21,93488	<LD	0,002629	<LD	0,002518	0,010782
P17	0,023176	0,010414	20,27408	<LD	<LD	<LD	0,004527	<LD
P18	0,016059	0,001999	4,90231	<LD	<LD	<LD	<LD	0,009991
P19	0,346468	0,007602	29,00178	<LD	<LD	<LD	0,000823	0,108887
P23	0,048165	0,003988	13,19978	<LD	<LD	<LD	0,002024	<LD
P24	0,024404	0,010734	21,13448	<LD	0,000836	<LD	0,00031	<LD
P29	0,020688	0,002982	19,58738	<LD	<LD	<LD	<LD	0,000037
P31	0,009851	0,00251	6,27977	<LD	<LD	<LD	<LD	0,0017
P34	0,378457	0,007418	18,14168	<LD	0,003226	<LD	0,000113	0,004754
P37	0,213005	0,004227	0,916254	<LD	0,000854	<LD	<LD	0,023458
P40	0,017271	0,005192	20,99708	<LD	0,002435	<LD	0,0005	<LD
P41	0,066806	0,004501	12,86258	<LD	<LD	<LD	0,001901	0,05116
P42	0,058291	0,002699	1,78267	<LD	0,005368	<LD	0,05083	<LD

Parâmetro	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
Unidade	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
P02	3,889615	2,825145	0,00508	12,8319	<LD	0,00113	<LD
P06	2,008755	1,807815	0,000244	10,5986	<LD	0,004145	0,059772
P10	0	0	0	0	0	0	0
P12	0,877028	0,981406	0,011586	2,3823	<LD	<LD	0,008146
P14	2,625695	6,312325	0,004983	1,87612	<LD	<LD	0,010778
P15	4,153915	2,692255	0,030952	17,5957	<LD	0,005715	<LD
P16	2,838275	6,783385	0,012861	7,47112	<LD	<LD	0,011502
P17	6,345415	2,981685	0,022618	19,7077	<LD	0,010565	0,021095
P18	3,809485	0,639694	0,006377	1,42413	<LD	<LD	0,001211
P19	18,79286	4,362305	0,029501	32,5748	<LD	0,022812	0,046758
P23	2,664685	1,610145	0,003367	4,26031	<LD	0,007105	<LD
P24	4,912615	2,784485	0,002846	12,3558	<LD	0,012215	0,001187
P29	5,305035	2,600755	0,001693	16,7488	<LD	0,013855	0,0066
P31	0,82193	2,007855	0,005473	2,44443	<LD	0,007678	0,012332
P34	5,152385	3,357045	0,003921	23,3698	<LD	0,001139	0,002733
P37	0,811556	0,547382	0,003439	4,62516	<LD	0,011357	0,003346
P40	7,067345	2,888765	0,001548	27,7898	<LD	<LD	<LD
P41	4,458085	1,588225	0,006334	9,92768	<LD	0,013371	0,044662
P42	0,700297	0,62205	0,006468	1,03146	<LD	<LD	0,008765

Fonte: Do autor, 2017.

Figura 40- Análises Metais Pesados para Água Subterrânea no período menos chuvoso.

Parâmetro	Al	Ba	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe
Unidade	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
P02	0,0048	0,0235	21,2379	0,0005	0,0072	<LD	<LD	0,0098
P06	0,0024	0,0178	18,0909	0,0007	0,0053	<LD	0,0006	0,0018
P10	0,0335	0,0218	19,6112	<LD	0,0062	<LD	0,0039	0,0309
P12	0,0131	0,0417	7,5665	<LD	0,0014	<LD	<LD	0,0786
P14	0,0142	0,2993	38,5205	<LD	0,0039	0,0014	<LD	0,0020
P15	<LD	0,0563	24,5705	0,0012	0,0061	<LD	<LD	0,0026
P16	<LD	0,0313	15,9626	<LD	0,0050	0,0006	0,0020	0,0267
P17	0,0092	0,3230	39,4897	0,0002	0,0023	<LD	<LD	<LD
P18	0,0451	0,0166	12,3779	<LD	0,0074	0,0014	<LD	0,0054
P19	0,0227	0,0422	29,5478	<LD	0,0025	<LD	<LD	0,2086
P23	0,0198	<LD	5,2081	0,0005	0,0043	0,0014	<LD	0,0268
P24	<LD	0,0422	20,2646	<LD	0,0076	0,0002	<LD	0,0286
P29	<LD	0,0032	22,2578	0,0002	0,0067	<LD	0,0006	<LD
P31	0,0039	<LD	7,5073	<LD	0,0056	<LD	<LD	0,0112
P34	0,0059	0,0073	17,8275	0,0002	0,0051	<LD	<LD	0,0017
P37	0,1742	<LD	2,3111	<LD	0,0024	<LD	0,0019	0,0164
P40	0,0084	0,0167	21,7823	<LD	0,0023	0,0009	<LD	0,0062
P41	<LD	0,0155	15,9897	0,0009	0,0058	0,0005	<LD	0,0066
P42	0,0595	0,0178	3,0996	<LD	0,0030	0,0002	0,0321	0,0870

Parâmetro	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
Unidade	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
P02	3,7473	2,3877	0,0083	8,7554	<LD	<LD	0,0006
P06	3,0706	2,7354	0,0088	10,5607	<LD	<LD	0,0391
P10	2,6626	2,3802	0,0052	4,8287	<LD	<LD	0,0017
P12	0,9382	1,2059	0,0208	2,3172	<LD	<LD	0,0039
P14	2,5862	5,8964	0,1385	1,8852	<LD	<LD	<LD
P15	5,1870	3,3733	0,0426	10,1582	<LD	<LD	0,0217
P16	4,0455	3,5739	0,0133	2,0952	<LD	<LD	0,0514
P17	2,6911	6,0705	0,1285	1,8241	<LD	<LD	0,0023
P18	2,4770	1,3666	0,0041	4,5058	<LD	<LD	<LD
P19	10,4595	3,5631	0,0270	19,7508	<LD	<LD	0,0745
P23	3,7671	0,6399	0,0072	1,5536	<LD	<LD	0,0006
P24	5,1436	2,7756	0,0044	8,0344	<LD	0,0206	<LD
P29	4,4081	2,9171	0,0027	15,0536	<LD	<LD	0,0069
P31	1,0964	1,7628	0,0071	3,0490	<LD	<LD	0,0037
P34	3,8494	2,7331	0,0035	12,7356	<LD	<LD	0,0096
P37	1,0818	0,6239	0,0039	4,5264	<LD	0,0356	0,0003
P40	6,3678	2,6023	0,0027	18,8265	<LD	<LD	<LD
P41	4,0657	1,8032	0,0045	9,7393	<LD	<LD	0,0116
P42	0,8215	0,6410	0,0073	1,5728	<LD	<LD	0,0132

Fonte: Do autor, 2017.

A figura 41 mostra os padrões de potabilidade das águas subterrâneas segundo a legislação vigente.

Figura 41- Padrões de Potabilidade Segundo a Portaria 2914/2011 MS

PARÂMETRO	Unidade	VMP ⁽¹⁾
Metais Pesados		
Alumínio	mg/L	0,2
Bário	mg/L	0,7
Cádmio	mg/L	0,005
Cobalto	mg/L	
Cromo	mg/L	0,05
Cobre	mg/L	2
Ferro	mg/L	0,3 a 2,4
Manganês	mg/L	0,10 a 0,40
Níquel	mg/L	0,07
Chumbo	mg/L	0,01
Zinco	mg/L	2

Fonte: Modificado da Portaria 2914/2011 MS.

De acordo com a portaria 2914/ 2011 do ministério da saúde os valores permitidos para metais pesados da área de estudo demonstram que nas amostras coletadas em ambos períodos os valores estão dentro do limite estabelecido.

Aqui parece que o cemitério presente na área não constitui uma fonte de poluição das águas analisadas, uma vez que não houve alteração nos valores normais dos metais pesados das águas subterrâneas.

11.8 Classificação Iônica das Águas Subterrâneas

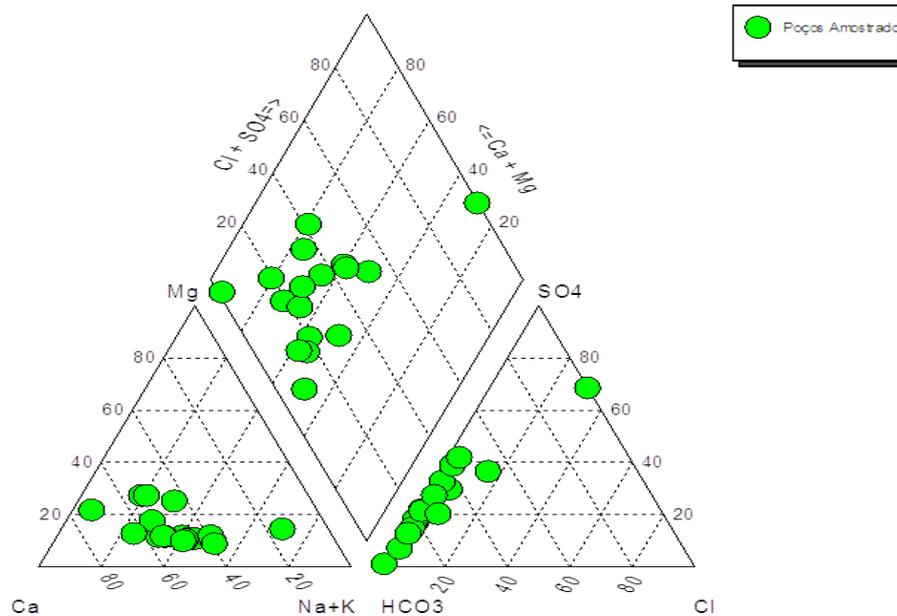
A classificação iônica das águas estudadas pode ser expressa pelo diagrama de Piper mostrado nas figuras 38 e 39. Percebe-se que as águas produzidas pelos poços do bairro Centro de Marituba são, predominantemente, bicarbonatadas cálcicas e as seguintes relações entre cátions e ânions pode ser interpretadas:



As águas produzidas pelo sistema hidrogeológico Barreiras na região de Belém, segundo Matta (2002) e na região de Fortaleza, segundo Cavalcante (1998) mostram assinatura iônica distintas das aqui interpretadas, com valores de Na maiores que Ca e Mg e valores de Cl maiores que HCO_3 e SO_4 .

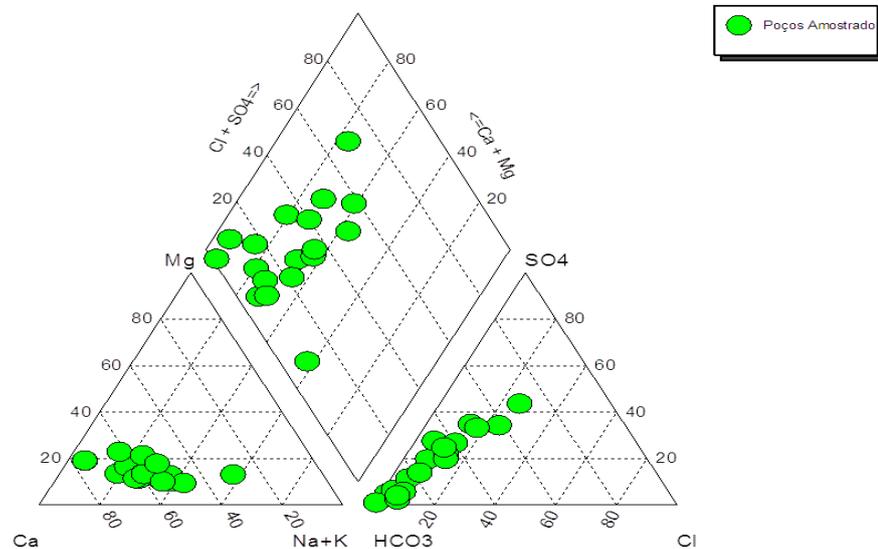
Acredita-se que as águas provenientes dos poços estudados estejam relacionadas ao sistema hidrogeológico Pós-Barreiras, com forte contribuição de recarga através das águas pluviométricas.

Figura 42- Diagrama de Piper para o Período Chuvoso



Fonte: Do autor,2017.

Figura 43- Diagrama de Piper para o Período Menos Chuvoso.



Fonte: Do autor, 2017.

11.9 Considerações sobre a Qualidade Físico-Química das Águas

As águas analisadas mostraram qualidades físico-químicas que não as recomendam para consumo humano. Dois parâmetros são particularmente importantes nesse contexto.

Os valores de pH, mostrados caracterizam que, no período chuvoso, cerca de 95% das amostras mostraram valores de pH fora da faixa de potabilidade da Portaria 2914/11/MS. Enquanto que, para o período menos chuvoso 79% das amostras produziram valores de pH fora dos limites da portaria.

Sabe-se que as águas amazônicas são ácidas. Em função da densa cobertura vegetal, a decomposição da matéria orgânica nos solos produz ácidos orgânicos, os quais possuem grupos carboxílicos (-COOH), que se dissociam liberando H⁺ e diminuindo o pH do meio, acarretando a redução do pH das águas que lavam esses solos (Matta, 2002).

Outro fator que pode contribuir para a redução do pH nas águas subterrâneas estudadas pode ser a influência da ação antrópica, pelo lançamento de efluente doméstico. Os trabalhos de campo mostraram uma grande ausência de saneamento

básico na área e lançamento de esgoto a céu aberto que podem interagir, através do escoamento superficial com os mananciais subterrâneos.

Valores ácidos de pH pode acarretar corrosões em tubulações e doenças gástricas no ser humano sendo, pois, não apropriadas para consumo humano.

O outro parâmetro com teor acima das recomendações da Portaria 2914/11/MS é o nitrato, com 63,15% das amostras analisadas mostrando valores acima de 10mg/l de nitrato. Isso caracteriza essas águas como impróprias para consumo humano e é interpretado como evidências de contaminações por efluentes líquidos (principalmente esgotos domésticos) nas águas superficiais que interagem com as águas subterrâneas, somadas à presença de fossas negras e ajudadas pela inexistência de saneamento básico. Tudo isso é somado a um nível estático muito raso nessas áreas, muitas vezes inferior a 5 metros e algumas vezes sub-aflorante.

A construção de poços fora dos padrões técnicos, por profissionais sem qualificação e competência profissional também contribui para a contaminação das águas produzidas.

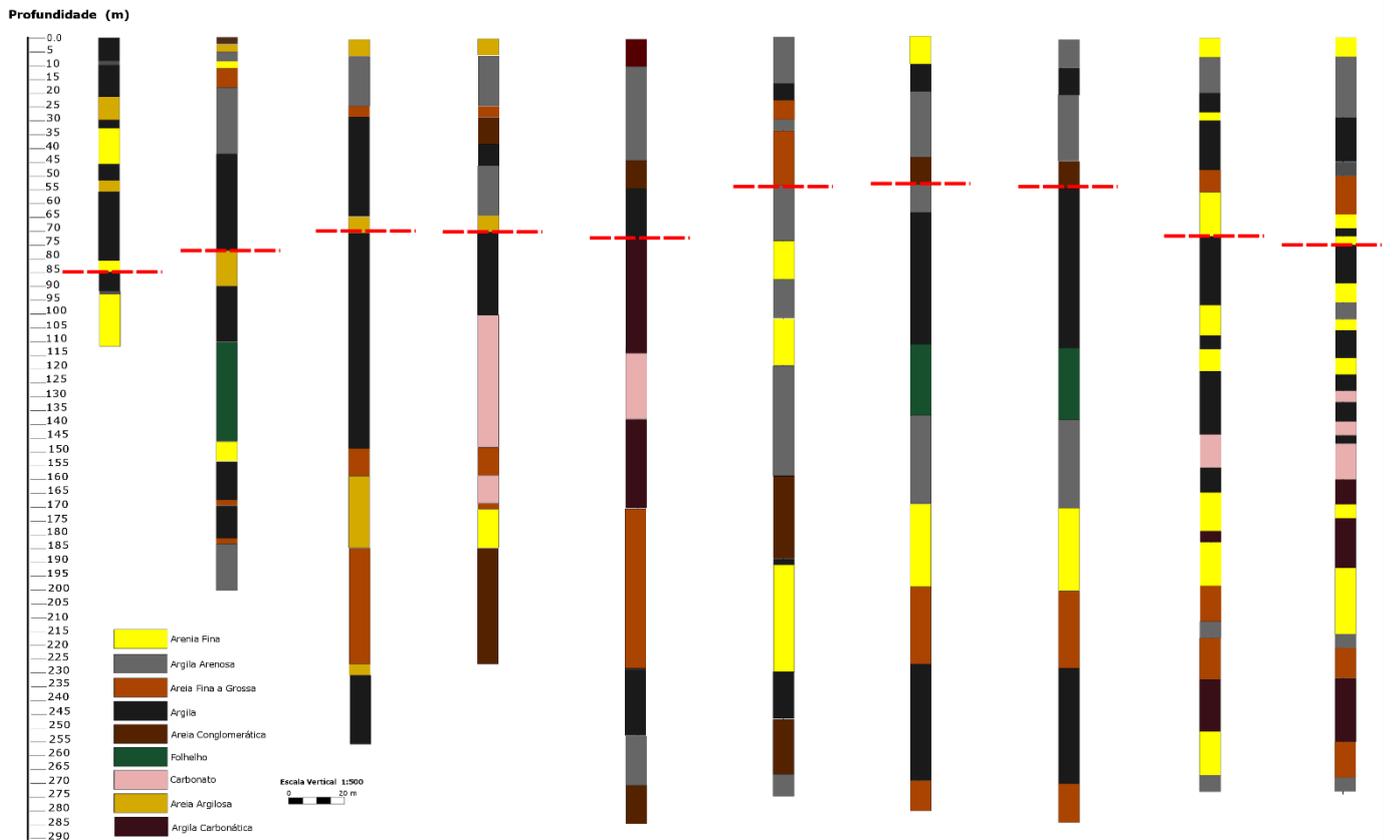
Para o abastecimento público sugerimos a construção de poços mais profundos que explorem água de unidades aquíferas confinadas. Para tanto apresenta-se, a seguir, uma proposta alternativa de abastecimento de água para a população do município de Marituba.

12. PROPOSTA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Foi elaborada uma proposta alternativa de abastecimento de água para o município de Marituba. Para tanto se utilizou o modelo do projeto PEHRMB/CPRM, 2002. A estimativa da população e de seu crescimento anual foi retirado de Silva (2016).

Para tanto levou-se em consideração a demanda de água da população e os sistemas aquíferos identificados para a área (Figura 44).

Figura 44- Perfis de poços da região de Marituba- PA



Fonte: Silva,2016.

12.1 Demanda de água da população

Pelos padrões da ABNT, o consumo “per capita” médio de água para um ser humano é de 250 L/hab/dia, já a OMS recomenda um consumo médio de 200 L/hab/dia. Pelo perfil sócio econômico da população de Marituba, as necessidades sociais de água são baixas (Almeida *et al*, 2004), portanto, para a proposta de abastecimento considerou-se um consumo médio de 150 L/hab/dia.

Segundo o IBGE a estimativa da população residente no município em 1º de julho de 2015 é de 122.916 pessoas e a taxa geométrica de crescimento populacional registrada no Censo de 2010 é de 3,62%/ano.

Propondo-se uma vida útil de 20 anos para o poço tubular, a proposta deve contemplar a população do município para um horizonte de 20 anos, em que se

mantendo a taxa de crescimento populacional, a projeção geométrica para 2033 deverá ser:

$$P_t = P_0 \cdot (1 + i)^{(t-t_0)}$$

$$P_t = 122.916 \cdot (1 + 0,0362)^{(2033-2015)}$$

$$P_t = 233.127 \text{ hab}$$

P_t = População estimada total

P_0 = População inicial

i = Taxa geométrica de crescimento

t = Ano de projeção

t_0 = Ano da população inicial

O consumo diário de água por essa população será de:

$$C_d = C_{pc} \times P_t$$

$$C_d = 150 \text{ L/hab/dia} \times 233.127 \text{ hab}$$

$$C_d = 34.969.050 \text{ L/hab/dia} = 34.969 \text{ m}^3/\text{hab/dia}$$

C_d = Consumo diário

C_{pc} = Consumo médio “per capita”

Considerando um regime de bombeamento diário de 18 h/dia a demanda (D) de água por hora será de:

$$D = \frac{34.969 \text{ m}^3/\text{hab/dia}}{18 \text{ h/dia}} = 1.942 \text{ m}^3/\text{hab/h}$$

$$18 \text{ h/dia}$$

População total estimada para 20 anos = 122.916 hab. + (11,3% pop. x 2 déc.) = 150.695 hab.

Pelos padrões da ABNT, o consumo “per capita” médio de água para um ser humano é de 250L/hab/dia, já a OMS recomenda um consumo médio de 200L/hab/dia. Pelo perfil sócio econômico da população de Marituba, as necessidades sociais de água são baixas (ALMEIDA, 2005), portanto, para a

proposta de abastecimento considerou-se um consumo médio de 150L/hab/dia. Assim, o consumo diário da área estudada é:

Consumo Diário de Água = 150 l/dia x 150.695hab. = 22.604.250 l/dia (22.604 m³/dia)

Adotando-se um regime de bombeamento igual à 18h/dia:

Demanda/hora de água para a população: 22.604 m³/dia / 18h/dia = 11.255 m³/h

Para atender as necessidades da população foi adotado um regime de 18h/dia e um produção por poço estimada em 250 m³/hora (ALMEIDA, 2005). Assim:

Vazão diária para um regime de bombeamento de 18h = 250 m³/dia x 18/dia = 4.500 m³/dia

Número de poços = 22.604 m³/dia / 4.500 m³/dia = 5 poços

Isso torna necessário a construção de 5 poços na área estudada. Além disso, deve-se levar em conta a construção de 2 poços reservas, sendo essencial a construção de 7 poços para o abastecimento.

De acordo com as características geológicas e hidrogeológicas da área em questão, verifica-se que, para atender a demanda de água, os poços devem possuir 270 metros de profundidade e uma vazão média de 250 m³/h.

De acordo com comunicação verbal os poços com as características necessárias tem valor unitário de R\$ 400.000,00; Assim, o valor gasto com os 7 poços necessários para o abastecimento da cidade é R\$ 2.800.000,00.

O sistema de bombeamento utilizará uma bomba por poço, a qual terá vida útil de 5 anos, sendo necessário assim utilizar 4 bombas por poço.

Preço da bomba para os poços = R\$ 80.000 x 4 bombas/poços x 7 poços = 2.240.000,00

Valor total da obra= poços + sistema de bombeamento= R\$ 5.040.000,00

Preço per capita = R\$ 5.040.000,00/122.916 hab. Atual = R\$ 41,00/per capita

Isso significa que, se a população atual fosse pagar pelo sistema de bombeamento para os próximos 20 anos, cada morador pagaria R\$ 30,30; incluindo o sistema de bombeamento.

Para a avaliação econômica de uma alternativa de abastecimento d'água, é necessário que se leve em consideração alguns fatores que interferem no custo da captação subterrânea, como: o preço do poço, aquisição e instalação da bomba, manutenção do poço e consumo de energia, os quais serão calculados a seguir:

(GAp) Gastos Financeiros Anuais Referentes ao Investimento dos Poços

$$G_{Ap} = P \times i \times (1+i)^n / (1+i)^n - 1$$

P = Custo inicial (R\$ 400.000,00)

I = taxa de juros ao ano (12%)

n = vida útil do poço (20 anos)

$$G_{Ap} = 400.000,00 \times 0,12(1+0,12)^{20} / (1+0,12)^{20} - 1$$

$$G_{Ap} = 53.760,00/\text{ano}$$

Gastos Financeiros Anuais Referentes ao Investimento e Instalação da Bomba**(GAb)**

$$G_{Ab} = F / (1+i)^n$$

$$G_{Ab} = 80.000 / (1+0,12)^5$$

$$G_{Ab} = \text{R\$ } 14.285,71$$

F = custo inicial (R\$ 80.000)

i = taxa de juros (12% ao ano)

n = vida útil da bomba (05 anos)

Gastos Financeiros Anuais Referentes à Energia Custo da energia para a Bomba Submersa

Energia consumida em 1h de bombeamento (P)

$$P = 7 \times Q \times H$$

$$Q = 250 \text{ m}^3/\text{dia} = 6,94 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$$

H = altura manométrica (70 m)

$$P = 7 \text{ poços} \times 6,94 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s} \text{ prod.} \times 70$$

$$P = 34,006 \text{ kw}$$

Energia consumida em 18h de bombeamento (P18)

$$P18 = 34,006 \times 18\text{h} = 612,108 \text{ kw}$$

Tarifa anual de Energia

$$T_e = P18 \times 1\text{KW/h} \times n$$

$$1\text{KW/h} = \text{R\$ } 0,52 \text{ (Fonte: Rede CELPA-Fev. 2016)}$$

n = N° de dias do ano

$$T_e = \text{R\$ } 116.178,09/\text{ano}$$

Gastos Financeiros Anuais Referentes à Manutenção do Poço (Gm)

Considera-se uma taxa de manutenção igual 5% do valor de construção do poço, assim:

$$G_m = 0,05 \times 400.000,00$$

$$G_m = R\$20.000,00/\text{ano}$$

Custo de Produção do m³ de Água Subterrânea (C_p)

$$C_p = (G_{Ap} + G_{Ab} + T_e + G_m) / V_a$$

$$V_a = \text{volume anual previsto} = Q \times h/d = 1.642.500 \text{ m}^3$$

$$C_p = (53.760,00 + 14.285,71 + 116.178,09 + 20.000,00) / 1.642.500$$

$$C_p = R\$ 0,124/ \text{ m}^3$$

Isso significa que o custo final do m³ ou 1000 litros de água subterrânea para o município de Marituba, baseado na proposta aqui discutida, é de R\$ 0,124.

13.CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A realização deste estudo permitiu o estabelecimento de alguns aspectos conclusivos.

As águas subterrâneas rasas estudadas no bairro Centro de Marituba mostraram-se impróprias para consumo humano em função do baixo valor do pH, tornando essas águas ácidas demais para o organismo humano, colocando as águas fora dos padrões de potabilidade da legislação vigente.

Outro parâmetro fora dos padrões da legislação é o nitrato. Os valores percentuais para nitrato na área estudada no período chuvoso apontam que 63,15% das amostras (12 pontos) com média de 15,98 estão acima dos valores máximo permitidos e cerca de 36,84% (7 pontos) estão dentro dos padrões estabelecidos pela portaria 2914/11/MS.

Já para o período menos chuvoso, 78,94% das amostras (15 pontos) estão com valores acima do permitido pela Portaria. Aqui a média de valores chegou a 22,97. Somente 21,05% (4 pontos) apresentaram resultados satisfatórios dentro da normalidade imposta pela Portaria.

Diante de todos os dados estudados neste trabalho é importante evidenciar como a carência de gerenciamento da qualidade dos recursos hídricos que podem afetar não só o meio ambiente, mais sim uma determinada comunidade de indivíduos que necessitam de água potável de qualidade para sua sobrevivência.

A questão da carência do saneamento básico associado a educação ambiental é outro ponto importante que necessita ser discutido pelo poder público, a fiscalização ativa no redor da área de estudo no que respeito a todo e qualquer tipo de resíduos que possam ser descartados inapropriadamente evitando assim, a poluição dos recursos hídricos superficiais.

O modo como é construído estes poços sem acompanhamento prévio de profissionais capacitados é um fator que seria determinante para alertar a situação da qualidade das águas.

Os dados demonstram claramente a presença dos compostos nitrogenados em evidência apontando para a contaminação antrópica, não eximindo que o

cemitério São José de Arimatéia pudesse vir a ser uma fonte potencial de contaminação, só que pelo estudo a questão da ausência do saneamento básico com a construção de poços próximos a fossas negras na área estudada representa um fator relevante para a situação em que se encontra a qualidade da água dos poços.

A gestão eficaz dos recursos hídricos seria um fator determinante para a melhoria contínua da qualidade do que está sendo consumido pela população, para isso é importantíssimo a implantação da proposta de abastecimento de água para a comunidade do bairro centro de Marituba como medidas de controle e prevenção das doenças de veiculação hídrica que podem ser acometidas pela ingestão de água dos poços cadastrados. Sem contar com custo benefício que é muito baixo.

Uma proposta alternativa para o abastecimento da população do município de Marituba foi elaborada através da construção de poços profundos, sendo necessários sete poços ao preço de R\$ 0,124 por metro cúbico de água.

14- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA A. e MACÊDO J. Parâmetros físico-químicos de caracterização da contaminação do lençol freático por necrochorume. In Seminário de Gestão Ambiental – Um convite à interdisciplinaridade. Juiz de Fora – MG; 2005.

ALMEIDA, F. M. Estudos dos recursos hídricos subterrâneos da região de Barcarena-Abaetetuba como um fundamento para o zoneamento ecológico econômico do Baixo Tocantins. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro de Geociências e Departamento de Geologia. Belém, janeiro de 2005, p132-143.

BACIGALUPO. R. 2012. Cemitérios: fontes potenciais de impactos ambientais. Estudante do Curso de Geografia. Universidade do Estado do Rio de Janeiro <http://www.epublicacoes.uerj.br/index.php/niesbf/article/view/4461> Acesso: 03/12/15.

BAHIA, V. E; FENZL, N.; MORALES G. P.2008; Caracterização da qualidade das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do Utinga/Belém (Pa)- a partir de dados hidrogeoquímicos.2008. XV Congresso Brasileiro de águas subterrâneas.

BAHIA, V. E; GOUVÊA, J. L e FENZL, N.; Influência do Depósito Sanitário Metropolitano de Belém (AURÁ) Sobre as Águas Subterrâneas da Área. Revista Águas Subterrâneas, nº 18. 16 f., Belém/PA 2004.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. Cemitérios como fonte potencial de contaminação das águas subterrâneas. Região de Cuiabá e Várzea Grande – MT – Brasília: Funasa, 2007. 118 p.: il.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de meio ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA nº 05, de 05 de agosto de 1993. – In: Resoluções, 1993. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=130>>. Acesso em 01/12/2016 às 20:00.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Resolução conama.368/2006.http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2006_368.pdf Acesso em: 23/03/2016 às 15:23.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria MS nº 2.914/2011. Brasília. Ministério da Saúde, 2011. 32 p.

BERINO, M. DE O. 2013, Comportamento do fluxo hídrico subterrâneo na área da bacia hidrográfica da estrada nova, Belém-Pará, e sua relação com a ocupação do meio físico. Belém: Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. 59 p. (Trabalho de Conclusão de Curso).

CAMPOS, A. P. S. Avaliação do potencial de poluição no solo e nas águas subterrâneas decorrente atividade cemiterial. 2007. 141f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, São Paulo, 2007.

CEPI, Coordenação de Estudos, Pesquisas e Informações. Inventário da Oferta Turística de Marituba, SETUR, Pa, 2015. Disponível em: http://www.setur.pa.gov.br/sites/default/files/pdf/iot_de_marituba1_0.pdf Acesso em: 16/02/2017

COSTA, F. R. DA. 2004. Influência da neotectônica sobre os arranjos geométricos dos aquíferos na Região Metropolitana de Belém. Belém: Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. 157 p. (Dissertação de Mestrado).

FAZZIO, A. L.; SILVA, F. V.; JÚNIOR, J. C. M. M.; FERREIRA, I. V. L.; JÚNIOR, C. R. F.; FREIRE, C. C.; AVILINO, E.; SILVA, M. L. R. 2011. Avaliação da qualidade das águas subterrâneas na Região Metropolitana de Maceió e influência do fluxo subterrâneo na dispersão dos contaminantes. Maceió- AL (2011). XIX Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos.

KEMERICH, P. D. da C.; BIANCHINI, D. C.; FANK, J. C.; BORBA, W. F. de.; WEBER, D. P.; UCKER, F. E. 2012. A questão ambiental envolvendo os cemitérios no Brasil. Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM, Santa Maria. V. 13, N. 5 (2014): Edição Especial LPMA/UFSM, p. 3777-3785.

MATTA, M.A.S. 2002, Fundamentos Hidrogeológicos para a Gestão Integrada dos Recursos Hídricos da Região de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 292p. (Tese de Doutorado).

MORALES, G. P. Gestão de Resíduos Sólidos. Material adaptado para o Curso de Pós-Graduação em Gestão Hídrica e Ambiental – Universidade Federal do Pará – UFPA, 90 f. Belém – PA, 2015.

OLIVEIRA, W. de; TAGLIARINI, E. M.; TANCREDI, A. C. F. N. S.; Estudo hidrogeológico para a implantação do cemitério Max Domini II – região de Belém – Pará. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, São Paulo, Revista Águas Subterrâneas. 2002.

OIT, A Segurança e a Saúde na utilização de produtos químicos no trabalho, ISBN: 978-989-8076-87-8 (web pdf), 30p, 2014.

PACHECO, A. Cemitério e Meio Ambiente. 2000. 102f. Tese (Livre Docência)- Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

PEHRMB – 2001. Projeto Estudos Hidrogeológicos da Região Metropolitana de Belém e Adjacências. Belém, CPRM. 2002

RADAM. Departamento de Produção Mineral. Folha SA-22, Belém-PA. Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetais e uso potencial. Rio de Janeiro, 1974.

SILVA, F. V. da. Avaliação da contaminação das águas subterrâneas por atividade cemeterial na cidade de Maceió-AL / Dissertação (Mestrado em Engenharia : Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2012. – 2012. 150 f. : il., tab.

SILVA,L.L.A.M. da. 2016. Projeto alternativo de abastecimento de água para população do município de Marituba por meio de mananciais subterrâneos. Programa jovens talentos para a ciência – jtc/capes- Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará,2016.

SILVA, L. C. M.; BROTTTO, M. E. Nitrato Em Água: Ocorrência E Consequências, Escola Superior de Química, Faculdade Oswaldo Cruz, São Paulo – SP, 2014.

SOARES, P. C.; FIORI, A. P. 1976. Lógica e Sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. Notícias geomorfológicas. Campinas, 16(32): 71-104.

SOUZA,F.P.; PERTEL.M.; TEIXEIRA.T.; FERREIRA.V.A.; MENEZES.L.E.C.F.; PEREIRA.P.S.F.2015. Qualidade da água de abastecimento da comunidade de Tamarino em Campo dos Goytacazes/RJ. Revista perspectivas online ciências exatas e engenharia., Campo dos Goytacazes,11(05) p. 1-15, (2015).

TANCREDI, A., C., F., N., S.; TAGLIARINI, E., M; 2001. Cemitério Max Domini II.Relatório Hidrogeológico, Mimiog, Belém, Rel., 27 p.

VALE, M. P. D., MIRANDA, J. A. G., SARDINHA, A. S., COSTA, P. A., SANTOS, J. W. A. Avaliação da Gestão de Resíduos Sólidos na Cidade de Belém no estado do Pará. In: 26º Congresso Brasileiro de Engenharia sanitária e Ambiental, 08 f. Porto Alegre/RS, 2011.

VENEZIANI, P.; ANJOS, C.E. Metodologia de Interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia. São José dos Campos: INPE, 1982.

