



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

---

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**A QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA CIDADE  
DE SALVATERRA, MARAJÓ - PARÁ**

**Dissertação apresentada por:**

**RONALDO PIMENTEL RIBEIRO**

**Orientador: Prof. Dr. Milton Antônio da Silva Matta - UFPA**

**BELÉM**

**2017**



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

**A QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA CIDADE  
DE SALVATERRA, MARAJÓ - PARÁ**

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR:**

**RONALDO PIMENTEL RIBEIRO**

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

**Data de Aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/2017**

**Banca Examinadora:**

---

**Prof. Milton Antônio da Silva Matta – Orientador  
Doutor em Geologia – UFPA**

---

**Profa. Dra. Carolina Rosal Teixeira de Souza - 1º Membro  
Universidade Federal do Pará**

---

**Profa. Dra. Silvana do Socorro Veloso Sodré - 2º Membro  
Universidade Federal Rural da Amazônia**

Dedico esta dissertação primeiramente ao meu Deus todo poderoso, à minha família que tanto amo: a minha esposa Andréa, aos meus filhos Ana Beatriz e Yan Gabriel, a minha mãe Ambrosina e a todos meus irmãos e sobrinhos.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente ao meu Deus supremo e todo poderoso, que me deu força espiritual para a conquista de minha vitória.

Quero prestar sinceros agradecimentos as Instituições Educacionais que contribuíram para a elaboração e conclusão desta dissertação, a eles:

À Universidade Federal do Pará pela oportunidade da realização do curso de mestrado oferecido pelo programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos do Instituto de Geociências.

À Universidade do Estado do Pará, por ter me apoiado nas minhas atividades como aluno do programa, e a Fundação FAPESP pela concessão de bolsa de estudo.

Ao Campus universitário de Salvaterra/UEPA, que através de sua coordenação Rafael Vitti, não mediu esforços para que as atividades de campo e laboratorial fossem realizadas nesta cidade, enfatizando os funcionários Sr. Wilson (motorista), pela disposição nas etapas de campo e Sra. Rose nas etapas de laboratório.

Também quero prestar meus sinceros agradecimentos ao meu orientador Professor Doutor Milton Antônio da Silva Matta, pela paciência e dedicação na realização desta dissertação.

À todos os meus familiares, em especial minha esposa Andréa, meus filhos Ana Beatriz e Yan Gabriel, e minha mãe Ambrosina.

Merecem também agradecimentos os colegas Maurício Elleres e Renata Crespim pelo companheirismo e ajuda nas atividades acadêmicas e a todos os acadêmicos do curso da pós-graduação em Recursos Hídricos

*No princípio, criou Deus os céus e a Terra<sup>1</sup>. E a Terra era sem forma e vazia; e havia trevas sobre a face do abismo; e o Espírito de Deus se movia sobre a face das águas<sup>2</sup>. E disse Deus haja uma expansão no meio das águas, e haja separação entre águas e águas<sup>6</sup>. E fez Deus a expansão e fez separação entre as águas que estavam debaixo da expansão e as águas que estavam sobre a expansão. E assim foi<sup>7</sup>.*

*Gênesis cap. 1, versos 1, 2, 6 e 7.*

## RESUMO

O presente estudo verificou a qualidade das águas subterrâneas na cidade de Salvaterra localizada na ilha de Marajó-Pará. Realizou-se o cadastramento de 20 poços (18 tubulares e 2 amazonas) em cinco bairros da região (Caju, Centro, Paes de Carvalho, Marabá e Coqueirinho), com intuito de apresentar resultados sobre as características hidrogeológicas, análises físico-químicas e microbiológicas das amostras coletadas em dois períodos sazonais, sendo nos meses de abril (período chuvoso) e novembro (período menos chuvoso). O principal objetivo desta pesquisa foi traçar um panorama geral da situação das águas subterrâneas dos 20 poços cadastrados, utilizados pela população de Salvaterra. A caracterização hidrogeológica da área de estudo foi baseada na análise descritiva de quatro poços com 80 metros de profundidade da COSANPA. Os resultados obtidos foram um perfil composto litológico, uma seção composta litológica, um modelo tridimensional da hidroestratigrafia, uma seção composta dos aspectos geométricos dos aquíferos, dois blocos diagramas de nível estático e dois modelos tridimensionais das sazonalidades. Para a determinação da qualidade das águas subterrâneas estudadas, foram analisados os seguintes parâmetros: temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez, sólido totais dissolvidos, oxigênio dissolvido, dureza total, alcalinidade, amônia, nitrato, cloreto, ferro, coliformes fecais e totais, e para as análises do sistema de tratamento de água da COSANPA, foi incluído o cloro livre. Os resultados obtidos foram comparados com os padrões de potabilidade, segundo a Portaria n.º 2914 do Ministério da Saúde. Para interpretação dos resultados foram elaborados 12 gráficos de variação de valores e 12 mapas de isovalores e isoteores nos períodos sazonais. Concluiu-se que O pH das águas subterrâneas foi considerado ácido com valor mínimo de 4,1 e máximo de 5,9, sua dureza total apresentou graus de mole, moderado a dura na composição de  $\text{CaCO}_3$ , quanto aos valores de nitrato apresentaram 74% dos poços contaminados no período de chuva, já os valores do ferro total obtiveram altas concentrações nos poços da COSANPA até 3,5 mg/L. As contaminações microbiológicas manifestaram-se na presença dos coliformes fecais (*Escherichia coli*) e coliformes totais. Durante o período chuvoso, detectou-se a presença de *Escherichia coli* em 63% dos poços estudados e 89% para coliformes totais. No período menos chuvoso, a *Escherichia coli* e os coliformes totais mostraram-se presentes em 21% e 47% dos poços analisados

respectivamente. Os resultados dessas análises confirmam um grau de contaminação maior de nitrato, e de coliformes fecais e totais dessas águas subterrâneas, prevalecendo em maiores quantidades do período chuvoso.

Palavras-chave: Qualidade das águas. Águas subterrâneas. Poços.

## ABSTRACT

The present study verified the quality of groundwater in the city of Salvaterra located in the island of Marajó-Pará. The registration of 20 wells (18 tubular and 2 amazons) was carried out in five neighborhoods of the region (Caju, Centro, Paes de Carvalho, Marabá and Coqueirinho) In order to present results about the hydrogeological characteristics, physicochemical and microbiological analyzes, the samples were collected in two seasonal periods, being in the months of April (rainy period) and November (less rainy period). The main objective of this research was to outline an overview of the groundwater situation of the 20 registered wells used by the population of Salvaterra. The hydrogeological characterization of the study area was based on the descriptive analysis of four wells with 80 meters of depth of COSANPA. The results obtained were a lithologic composite profile, a composite lithologic section, a three dimensional model of hydrostratigraphy, a section composed of the geometric aspects of aquifers, two static level diagrams and two three dimensional models of seasonality. To determine the groundwater quality, the following parameters were analyzed: temperature, pH, electrical conductivity, turbidity, total dissolved solids, dissolved oxygen, total hardness, alkalinity, ammonia, nitrate, chloride, iron, fecal coliforms and total coliforms. For the analysis of the COSANPA water treatment system, free chlorine was included. The results obtained were compared with the potability standards, according to Ministry of Health Ordinance nº 2.914. For the interpretation of the results, 12 charts of variation of values and 12 maps of isovalues and isoteores were elaborated in the seasonal periods. The pH was considered acid with maximum value of 5.9. The hardness presented soft, moderate and hard degrees in the  $\text{CaCO}_3$  composition of the groundwater. The chemical contaminations presented in the nitrate values reached 74% of the contaminated wells in the rainy season and the iron values with high concentrations in the COSANPA wells up to 3.5 mg/L. The microbiological contaminations were manifested by the presence of fecal coliforms (*Escherichia coli*) and total coliforms. During the rainy season, the presence of *Escherichia coli* was detected in 63% of the wells studied and 89% in total coliforms. In the less rainy period, *Escherichia coli* and total coliforms were present in 21% and 47% of the wells respectively. The results of these analyzes confirm a higher degree of contamination of nitrate, and of fecal and



total coliforms of these groundwater, prevailing in greater amounts of the rainy season.

Keywords: Water quality. Groundwater. Wells.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Realização da 1ª campanha. (A) poço da UEPA com aferição do nível estático da água; (B) poço residencial; (C) poço da COSANPA e (D) poço da escola Salomão Matos.....	23
Quadro 1. Metodologia dos parâmetros físicos.....	24
Quadro 2. Metodologia dos parâmetros químicos.....	24
Quadro 3. Metodologia dos parâmetros microbiológicos.....	25
Figura 2. Mapa de localização da área de estudo.....	26
Figura 3. Foto A - Área da estação de bombeamento e tratamento da água subterrânea da COSANPA de Salvaterra. Foto B - Os 4 poços perfurados pela COSANPA com profundidades de 80 metros da estação de bombeamento e tratamento de água.....	29
Figura 4. (A) Tubulações PVC DEFORT de 150 e 200mm para caixa d'água. (B) Caixa d'água da COSANPA que abastece 5 bairros da cidade de Salvaterra.....	30
Figura 5. Sistema de abastecimento de água da COSANPA. As setas indicam o funcionamento do sistema desde a extração da água subterrânea até o seu destino final.....	30
Figura 6. Dados pluviométricos da Estação Meteorológica A227 – Soure – Ilha de Marajó.....	31
Figura 7. Mapa topográfico da área de estudo - cidade de Salvaterra.....	34
Figura 8. (Fotos A e B) – Afloramento da praia Grande. Composta por argilas amarelas e brancas (caulinita), areia amarela e seixos concrecionários ferruginosos.....	35
Figura 9. Seção geológica esquemática extraída dos poços PP14, PP15, PP16 e PP17.....	37
Figura 10. Perfil composto litológico e construtivo do poço tubular profundo (80m), perfurado pela COSANPA em Salvaterra.....	40
Figura 11. Seção composta litológica demonstrada em A, B e C dos poços (SVT-01, SVT-02 e SVT-03) construídos pela COSANPA na cidade de Salvaterra.....	41
Figura 12. Modelo tridimensional esquemático da hidroestratigrafia da área de estudo, mostrando o comportamento dos aquíferos e aquícludes..	43

Figura 13. Seção composta dos aspectos geométricos dos aquíferos de Salvaterra.....	45
Figura 14. Ilustração dos blocos diagramas dos níveis estáticos das águas subterrâneas nos períodos de chuva e de seca.....	46
Gráfico 1. Variação do nível estático, representando os períodos sazonais avaliados nos meses de abril (chuva) e novembro (seca).....	47
Figura 15. Modelo geométrico de diagrama tridimensional mostrando a direção do fluxo da água referente ao período de chuva.....	49
Figura 16. Modelo geométrico de diagrama tridimensional mostrando a direção do fluxo da água referente ao período de seca.....	50
Gráfico 2. Resultado das temperaturas das amostras de águas coletadas nos períodos de chuva e seca da área estudada.....	55
Gráfico 3. Variação dos valores de pH nos períodos de chuva e de seca.....	57
Figura 17. Mapa de isovalores do pH estabelecido nos períodos sazonais da área estudada.....	59
Figura 18. Mapa de isovalores da Condutividade Elétrica da cidade de Salvaterra.....	62
Gráfico 4. Variação dos valores de turbidez nos períodos de chuva e seca.....	63
Figura 19. Mapa de isovalores da Turbidez da cidade de Salvaterra.....	64
Gráfico 5. Variação dos valores de Sólidos Totais Dissolvidos nos períodos de chuva e seca.....	65
Figura 20. Mapa de isovalores do STD da cidade de Salvaterra.....	66
Gráfico 6. Variação dos valores de Oxigênio Dissolvido nos períodos de chuva e seca.....	67
Figura 21. Mapa de isoteores de Oxigênio Dissolvido da cidade de Salvaterra...	69
Gráfico 7. Variação dos valores de Dureza total nos períodos de chuva e seca..	70
Figura 22. Mapa de isoteores da Dureza total da cidade de Salvaterra.....	72
Gráfico 8. Variação dos valores da Alcalinidade nos períodos de chuva e seca..	74
Figura 23. Mapa de isoteores da Alcalinidade da cidade de Salvaterra.....	75
Gráfico 9. Variação dos valores da Amônia nos períodos de chuva e seca.....	76
Figura 24. Mapa de isoteores da Amônia da cidade de Salvaterra.....	77
Gráfico 10. Variação dos valores de Nitrato nos períodos de chuva e seca.....	78
Figura 25. Mapa de isoteores do Nitrato da cidade de Salvaterra.....	80

Gráfico 11. Variação dos valores do Cloreto nos períodos de chuva e seca.....	81
Figura 26. Mapa de isoteores do Cloreto dos dois períodos sazonais da cidade de Salvaterra.....	82
Gráfico 12. Variação dos valores do Ferro nos períodos de chuva e seca.....	83
Figura 27. Mapa microbiológico no período de chuva na cidade de Salvaterra...	87
Figura 28. Mapa microbiológico no período de seca na cidade de Salvaterra.....	88

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Lista dos poços analisados da área de estudo - cidade de Salvaterra.....	21
Tabela 2. População, área e densidade demográfica e situação da unidade domiciliar dos anos de 2010 a 2013.....	27
Tabela 3 - Piezometria de aquífero dos poços da cidade de Salvaterra – realizada nos meses de abril e novembro nos períodos de chuva e seca, respectivamente.....	38
Tabela 4. Resultados da 1ª campanha dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos dos poços da área de estudo – cidade de Salvaterra.....	52
Tabela 5. Resultados da 2ª campanha dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos dos poços da área de estudo – cidade de Salvaterra.....	53
Tabela 6. Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas das amostras da COSANPA.....	90

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

### Abreviaturas

C.E - Condutividade Elétrica  
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio  
DQO - Demanda Química de Oxigênio  
GPS – Global Positioning System  
O.D - Oxigênio Dissolvido  
O.C - Oxigênio Consumido  
S.T.D - Sólidos Totais Dissolvidos  
UFC - Unidades Formadoras de Colônias  
UNT - Unidades Nefelométricas de Turbidez  
UTM - Universal Transverso de Mercator  
VMP - Valores Máximos Permitidos  
ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

### Siglas

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo  
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente  
COSANPA – Companhia de Saneamento do Pará  
CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais  
FUNASA – Fundação Nacional de Saúde  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IDESP – Instituto de Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental do Pará  
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia  
MS – Ministério da Saúde  
SEMUSA - Secretaria Municipal de Saúde de Salvaterra  
SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas  
UEPA – Universidade do Estado do Pará

## SUMÁRIO

DEDICATÓRIA

AGRADECIMENTOS

EPÍGRAFE

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1.	Apresentação.....	16
1.2.	Justificativa.....	18
2.	OBJETIVOS.....	19
3.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	20
3.1.	Procedimento de campo.....	20
3.2.	Procedimento de laboratório.....	23
3.3.	Tratamento dos mapas temáticos e de Isovalores e isoteores.....	25
4.	CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO.....	26
4.1.	Localização.....	26
4.2.	Quadro demográfico e socioeconômico.....	27
4.3.	Abastecimento de água de Salvaterra.....	28
4.4.	Aspectos Fisiográficos.....	31
4.4.1	Climatologia.....	31
4.4.2.	Rede hidrográfica.....	33
4.4.3.	Pedologia.....	33
4.4.4.	Topografia.....	35
4.4.5.	Geologia.....	35
4.4.6.	Hidrogeologia.....	36
5.	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS.....	38
5.1.	Caracterização hidrogeológica.....	38
5.1.1.	Inventário hidrogeológico.....	38
5.1.2.	Descrição dos poços de 80 metros.....	39
5.1.3.	Sistema hidrogeológico.....	42

5.1.4. Características geométricas dos aquíferos.....	42
5.1.5. Análise hidrodinâmica dos aquíferos.....	45
5.1.5.1. Cálculo do potencial hidráulico.....	45
5.1.5.2. Fluxo da água subterrânea.....	46
5.2. Qualidade das águas dos poços estudados.....	51
5.2.1. Características físicas, químicas e biológicas das águas.....	51
5.2.2. Interpretação dos resultados das análises físico-químicas e microbiológicas.....	54
5.2.2.1 Análises físico-químicas.....	54
5.2.2.2 Análises microbiológicas.....	85
5.2.3. Análises da água da COSANPA.....	89
6. CONCLUSÕES.....	92
REFERÊNCIAS.....	96
ANEXO.....	100
ANEXO A (Mapa de localização dos poços da cidade de Salvaterra).....	101



## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 APRESENTAÇÃO

A cidade de Salvaterra tem 12.672 habitantes segundo o último senso do IBGE (2010). Possui uma estação de bombeamento e tratamento de águas subterrâneas captada de fonte segura de 4 poços de 80 metros, perfurados pela Companhia de Saneamento de Água do Pará (COSANPA) localizado no bairro do Coqueirinho, e que abastece aproximadamente 1.200 residências.

Devido algumas reclamações da população a respeito da qualidade da água que abastece a cidade, é que parte dos habitantes tem preterido os serviços fornecidos pela COSANPA, e recorrem às águas subterrâneas, perfurando ou escavando poços sem qualquer subsídio técnico quanto às características geológicas e hidrogeológicas dos aquíferos.

A maioria dos poços feitos pela população na cidade de Salvaterra atingem aproximadamente 18 metros de profundidades, são preterivelmente rasos e localizados próximo às zonas de contaminações de efluentes domésticos. A cidade não apresenta infraestrutura como rede de esgoto, favorecendo assim a infiltração do solo por águas provenientes de fossas sépticas e outras fontes poluidoras, contaminando os aquíferos da região, ocasionando problemas a população que fazem uso diário dessas águas. Porém, a população não se dá conta da contaminação das águas, ou mesmo da distância dessas fontes poluidoras em relação aos poços construídos.

De acordo com Varnier e Hirata (2002), quase a metade da população brasileira utiliza fossas rudimentares ou não possui qualquer sistema de saneamento que, na prática, se traduz na deposição inadequada dos efluentes líquidos, muitas vezes diretamente no aquífero (fossas negras escavadas até o nível freático).

As fossas sépticas são reservatórios construídos ou pré-fabricados, geralmente feitos de concreto, que são projetados para receber águas residuárias, principalmente de residências. Tais sistemas sépticos podem ser considerados como sistemas geoquímicos, onde os constituintes dos efluentes reagem entre si, com o meio poroso e com gases presentes nesse ambiente (WILHELM et al., 1994 apud CABRAL e LIMA, 2005).

Outro grave problema é a desordenada distribuição dos resíduos sólidos (lixo), que se mal gerenciados, podem ocasionar sérios danos, contaminando tanto o solo, quanto à água subterrânea, devido à produção e infiltração de chorume.

A cidade também faz uso de um cemitério que fica localizado no bairro Centro da cidade de Salvaterra, por sua vez algumas residências utilizam as águas subterrâneas através dos poços tubulares rasos construídos nas adjacências do cemitério, isto poderia acarretar uma possível contaminação dessas águas de subsuperfície por necrochorume, alterando a qualidade da mesma pela presença de microrganismos existentes nos corpos em decomposição.

Segundo Foster et al. (2011) o risco de contaminação é em função das atividades humanas na superfície da terra (contaminantes lançados no solo), e a sensibilidade (vulnerabilidade) dos aquíferos quando são afetados por esses contaminantes.

A água pode servir de veículo para várias enfermidades, sendo que essa transmissão pode ocorrer por diversos mecanismos. O mecanismo mais comum está diretamente ligado à qualidade da água que é a ingestão por meio do qual um indivíduo sadio pode ingerir a água que contenha um componente nocivo à saúde, e a presença desse componente no organismo humano pode provocar o aparecimento de doenças (BRASIL, 2006).

O presente trabalho procurou avaliar a qualidade das águas de 20 poços, construídos em aquíferos livre e confinados na porção central da cidade de Salvaterra. Com tal objetivo analisou-se o comportamento dos parâmetros físico-químicos (temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez, cor, sólidos totais dissolvidos, oxigênio dissolvido, dureza total, alcalinidade, amônia, nitrato, cloreto e ferro) e dos parâmetros microbiológicos (coliformes totais e fecais). Para isso, foi feito um trabalho de campo em duas etapas de campanha, a primeira no mês de abril, onde se procede ao período de maior concentração pluviométrica, e a segunda no mês de novembro, onde acontece o menor índice de pluviometria na região.

As análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos das águas desses poços permitiram classificar as mesmas segundo o padrão de aceitação para consumo humano, expresso pela Portaria n° 2914/2011 do Ministério da Saúde.

O Ministério da Saúde afirma que o maior problema de transmissão de enfermidades pela água é devido à falta de tratamento adequado da mesma, incluindo a desinfecção (BRASIL, 2006). A presença de microrganismos patogênicos na água, na maioria das vezes, é decorrente da poluição por fezes humanas e de animais (Colvara et al., 2009). Entre os patógenos mais comuns causadores de doenças transmitidas pela água, incluem-se *Salmonella* spp., *Shigela* spp., *Escherichia coli*, *Campylobacter* spp., dentre outros (MOURA et al., 2009).

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A cidade de Salvaterra, assim como outras cidades da ilha de Marajó, encontra-se em desenvolvimento habitacional desordenado, onde o serviço de saneamento é precário, de forma que a maioria dos efluentes provenientes de fossas sépticas, de esgotos, de lixos e de cemitério são lançados a céu aberto, infiltrando no subsolo e contaminando os aquíferos da região, podendo trazer assim enfermidades ocasionadas por substâncias químicas e micro-organismos nocivos a saúde humana.

A escolha do tema para a dissertação intitulada “A qualidade das águas subterrâneas da cidade de Salvaterra, Marajó – Pará” é decorrente da presença desses contaminantes existentes em Salvaterra, provocado pela ação antrópica, que são despejados nos solos indevidamente, sem terem o conhecimento da vulnerabilidade da região. Ressalta-se, ainda, tratar-se de uma área bastante povoada, que possuem em seus arredores: residências, comércio, pousadas, órgãos públicos e instituições governamentais (escolas e universidade), e tendo em vista que a população utiliza poços tubulares e amazonas para o consumo e outros fins.

Com esta justificativa tornou-se imperioso um estudo preliminar que permitisse subsidiar o trabalho mais aprofundado sobre a qualidade das águas subterrâneas da cidade de Salvaterra, visando análises físico-químicas e microbiológicas dessas águas e mostrar resultados que permitem avançar na interpretação dos dados dessas análises em 20 poços cadastrados na região, e estabelecer correlações entre o sistema hidrogeológico e qualidade da água, através de elaborações de modelos tridimensionais e mapas de isovalores físico, isoteores químicos e microbiológicos.

## 2 OBJETIVOS

O objetivo principal da pesquisa foi traçar um panorama geral da situação de uso da água subterrânea de 20 poços (18 tubulares e 2 amazonas), e diagnosticar a condição de potabilidade dessas águas utilizadas pelos moradores da cidade de Salvaterra.

Ao que diz respeito da ausência de dados anteriores referente à qualidade das águas subterrâneas de Salvaterra, esta dissertação contribuiu com as informações básicas e necessárias para compreensão das interações físico, químico, microbiológico e dos aspectos hidrogeológicos dos aquíferos ocorrido na área.

Buscou-se então alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Realizar o cadastramento georreferenciado dos 20 poços de captação e utilização da água subterrânea da cidade de Salvaterra, com dados da localização geográfica e profundidades desses poços.
- Elaborar mapas de localização da área estudada e localização dos poços (ANEXO A), utilizando o software ArcGIS 10.2.
- Analisar e interpretar as análises físico-químicas e microbiológicas das águas subterrâneas, para diagnosticar a condição de potabilidade da mesma para consumo humano com base nas legislações da Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde;
- Elaborar mapas de isovalores dos parâmetros físico e isoteores dos químicos analisados, mostrando o comportamento espacial desses parâmetros com a utilização do software Surfer 10.0, e interpretar os resultados obtidos.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Foram realizadas as atividades preliminares de escritório, iniciando com uma revisão bibliográfica sobre os temas abordados em recursos hídricos subterrâneos, geologia e qualidade da água, mostrando assim, a perspectiva dos objetivos dessa pesquisa. A partir desse levantamento, os procedimentos metodológicos foram divididos em três: 1) Procedimento de campo; 2) Procedimento de Laboratório e 3) Tratamento dos mapas temáticos, de isovalores e isotopos, descritos a seguir:

#### 3.1 PROCEDIMENTO DE CAMPO

Este procedimento consistiu na realização de atividades exploratórias de campo para a localização dos poços e coletas das amostras de água. O trabalho de campo foi realizado em cinco bairros da área urbana de Salvaterra, são eles: Caju, Centro, Coqueirinho, Marabá e Paes de Carvalho. Dentre os bairros, foram selecionadas 20 unidades arquitetônicas, sendo 13 residências que foram denominadas pontos de coleta (R) e 7 Instituições governamentais denominadas pontos de coleta (IG), entre elas três esferas municipais (Secretaria Municipal de Saúde/SEMUSA, Escola Municipal D. Pedro I e Escola Municipal de Ensino Fundamental Oscarina Santos) e quatro esferas estaduais (Escola Estadual Salomão Matos, Hospital Almir Gabriel, UEPA e CONSANPA), dotados de 20 poços, sendo 18 tubulares e 2 amazonas (Tabela 1). Esta etapa abrangeu duas campanhas:

**1ª Campanha:** realizada no início do mês de abril de 2016, período em que chove mais na cidade de Salvaterra. Segundo Ferreira (2001) e Lima (2002) este período chuvoso, se estende de dezembro a maio, com 86 % do total anual precipitado. Importante salientar que, as coletas das amostras desta campanha se enquadraram neste período sazonal, correspondendo o objetivo deste trabalho. Primeiramente foram feitos os cadastros dos poços, com endereçamento e localidades dos bairros (Tabela 1), em seguida mediu-se o nível estático da água dos poços com a utilização do medidor eletrônico de nível estático e dinâmico para poços de 100m, de marca WaterControl - modelo Ambiental, com cabo tipo fita de 100m de comprimento e sensor tipo eletrodo cromado com alarme de nível sonoro

e visual (Figura 1-A), conseqüentemente verificou-se as temperaturas das águas (*in situ*) com termômetro digital, e finalmente coletou-se as 18 amostras providas dos poços locados, e 2 amostras da Estação de Tratamento de Água da COSANPA.

Tabela 1. Lista dos poços analisados da área de estudo - cidade de Salvaterra

Nº poço	Localidade			Coordenadas		Tipo de poço	Prof.(m)
	Unidade arquitetônica	Logradouro	Bairro	E	N		
P1-IG	UEPA	PA-154, Km28	Caju	774873	9916993	Tubular	18,0
P2-R	Residência	PA-154, Km 27	Caju	775133	9916921	Tubular	18,0
P3-R	Residência	PA-154, Km 27	Caju	775112	9916887	Tubular	18,0
P4-IG-SAL-P2	COSANPA	Travessa Victor Engelhard	Coqueirinho	776378	9915712	Tubular	80,0
P5-R	Residência	PA-154, Km 28	Paes de Carvalho	774812	9916905	Amazonas	6,0
P6-R	Pousada dos Aruãs	2ª Rua	Centro	776907	9916387	Tubular	15,0
P7-IG	SEMUSA	Trav. Victor Engelhard	Centro	776589	9916408	Tubular	18,0
P8-R	Residência	PA-154, entre 15ª e 16ª Travessa.	Caju	775264	9916829	Tubular	18,0
P9-IG	Escola E. Salomão Matos	PA-154, entre 11ª e 12ª Travessa.	Paes de Carvalho	775688	9916578	Tubular	15,0
P10-R	Residência	2ª Rua, entre 11ª e 12ª Travessa.	Caju	775773	9916841	Tubular	15,0
P11-R	Residência	9ª Travessa. entre 1ª e 2ª Rua	Caju	776088	9916833	Tubular	15,0
P12-R	Residência	5ª Rua (Rua Frei Romão) entre 7ª e 8ª Travessa.	Centro	776044	9916277	Tubular	18,0
P13-IG	Escola D. Pedro I	Rua Georgete Sales Couto	Centro	776235	9916182	Tubular	18,0
P14-IG	Hospital Almir Gabriel	Travessa Nossa Senhora da Conceição	Centro	776731	9916505	Tubular	18,0
P15-R	Residência	PA-154, entre 9ª e 10ª Travessa, nº 1049	Caju	775927	9916609	Tubular	18,0
P16-R	Residência - Sítio Castelo	1ª Rua	Caju	776241	9917100	Amazonas	6,0
P17-R	Residência	8ª Rua (Rua Paes de Carvalho)	Marabá	775357	9915973	Tubular	25,0
P18-IG	Escola M.E.F. Oscarina Santos	7ª Rua	Marabá	775923	9916007	Tubular	18,0
P19-R	Residência	Rua Alcindo Cacula entre 9ª e 10ª Rua, Sn	Marabá	776090	9915528	Tubular	15,0
P20-R	Residência - Estância 3 irmãos	3ª Rua, nº 415 entre 5ª e 6ª Travessa	Centro	776250	9916275	Tubular	15,0

Os 20 poços cadastrados, apresentam-se em 2 escavados (amazonas) com 6,0 metros de profundidades, 17 tubulares de profundidades rasas que variam de 15, 18 (Figura 1B e D) e 25 metros (informações dadas por proprietários das residências e funcionários dos órgãos públicos das instituições), e 1 poço profundo da COSANPA (Figura 1C ) que apresenta uma profundidade de 80 metros (SIAGAS/CPRM – Ficha técnica do poço SAL-P2), todos os poços foram georreferenciados com GPS de navegação de marca Garmin-Etrex nas coordenadas em UTM (Universal Transverso de Mercator) com aferição da cota topográfica para a digitalização e confecção dos mapas.

Foram coletadas 20 amostras de água desses poços, armazenadas em garrafas de polietileno de 500 ml, devidamente higienizadas e secas. Dos 17 poços tubulares, todas as amostras foram retiradas das torneiras, onde se fez primeiramente a limpeza do bico da torneira com um pedaço de algodão embebido em álcool 70% para desinfecção da mesma (a fim de se evitar interferências nos resultados analíticos), em seguida se abriu as torneiras para deixar escorrer a água durante 1 ou 2 minutos, e conseqüentemente feita a coleta da amostra de água. Estas foram identificadas de acordo com o número dos poços cadastrados, preservadas em uma bolsa térmica, e imediatamente encaminhadas para o laboratório de química do campus universitário de Salvaterra/UEPA, para as análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos.

Ressalta-se que, dos 20 poços, somente o poço P7-IG da SEMUSA não foi feita a amostragem, devido o órgão não fazer uso do poço e nem apresentar instalações de bomba e caixa d'água na área de acesso desta unidade municipal, porém o poço serviu de ponto de referência visual para distribuição das curvas de isovalores dos mapas topográfico, nível estático e potencial hidráulico. Entretanto, foram coletadas duas amostras na estação de bombeamento e tratamento de água da COSANPA localizado na Travessa Victor Engelhard no bairro do Coqueirinho, sendo uma coletada diretamente na boca do poço P4-IG-SAL-P2 (Figura 1C) antes de passar pelos decantadores e filtragem nos reservatórios de água tratada, e outra amostra retirada diretamente da torneira já com tratamento da água, onde esta é distribuída para o consumo da população de Salvaterra, visando assim uma comparação analítica no resultado dessas águas.

Figura 1. Realização da 1ª campanha. (A) poço da UEPA com aferição do nível estático da água; (B) poço residencial; (C) poço da COSANPA e (D) poço da escola Salomão Matos.



Fonte: Do autor.

**2ª Campanha:** teve início em novembro, período que chove menos na região. De acordo com Ferreira (2001) e Lima (2002), o período menos chuvoso é de junho a novembro, com média de 414,3 mm de chuvas, equivalentes a 14 % do total pluviométrico anual. Nesta etapa foram feitas medidas de temperaturas (*in situ*), do nível estático e amostragem de água para análises físico-químicas e microbiológicas, que foram analisadas no laboratório de química do campus de Salvaterra/UEPA, para aferição e comparação dos dados obtidos na 1ª campanha.

### 3.2 PROCEDIMENTO DE LABORATÓRIO

A primeira campanha de coleta das águas dos poços no mês de abril teve um caráter diagnóstico, onde se verificou o comportamento físico, químico e biológico dessas águas no período chuvoso. Na segunda campanha, optou-se para comparar os resultados dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos das amostragens no período de estiagem. Nesta fase laboratorial, selecionaram-se os parâmetros que pudessem melhor caracterizar do ponto de vista físico-químico e microbiológico as águas dos aquíferos da área de estudo: temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez, sólidos totais dissolvidos, oxigênio dissolvido,



dureza total, alcalinidade, amônia, nitrato, cloreto e ferro para os físico-químicos, e para o microbiológico foram os coliformes totais e fecais (*Escherichia coli*).

Para embasamento dos dados foram observados os padrões pré-estabelecidos pela Portaria 2.914 de 2011 do Ministério da Saúde, que estabelece os Valores Máximos Permitidos (VMP) pelas águas subterrâneas para consumo humano (BRASIL, 2011).

Devido às limitações do laboratório de química do campus de Salvaterra, não foi possível determinar outros parâmetros como: DBO, DQO, os cátions ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,) e os ânions ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{CO}_2^-$ ), parâmetros esses importantes para a classificação da água subterrânea.

Para as análises dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, utilizaram-se os seguintes métodos e instrumentos, descritas nos quadros 1, 2 e 3.

Quadro 1. Metodologia dos parâmetros físicos

Parâmetros Físicos		
Parâmetro determinado (unidade de medida)	Instrumentos	Modelo
Temperatura (°C)	Termômetro digital tipo espeto com alarme sonoro	Incoterm
pH	pH-metro de bancada digital	mPA210
Condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Condutivímetro de bancada digital	mPA210
Turbidez (UNT)	Turbidímetro portátil	AP2000IR-POLICONTROL
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	Medidor portátil de TDS/Temperatura	TDS-3 (meter)

UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez)

Quadro 2. Metodologia dos parâmetros químicos

Parâmetros químicos	
Parâmetro determinado (unidade de medida)	Método
Oxigênio dissolvido (mg/L)	Iodométrico de Winkler
Dureza (mg/L $\text{CaCO}_3$ )	Titulação de Complexação – EDTA-Na 0,1M
Alcalinidade (meq/L $\text{CaCO}_3$ )	Potenciométricos e titulométrico
Amônia (mg/L)	Titulação (azul de indofenol)
Nitrato $\text{NO}_3^-$ (mg/L)	Colorimetria
Cloretos (mg/L Cl)	Titulação argentimétrica
Ferro Total (mg/L)	Ácido tioglicólico

EDTA (ácido etilenodiaminotetracético)

Quadro 3. Metodologia dos parâmetros microbiológicos

Parâmetros	Método	Informações
Coliformes fecais ( <i>E. coli</i> )	Meio cromogênio em DIP SLIDE	Mínimo detectável: 80 UFC/100 mL
Coliformes totais	Meio cromogênio em DIP SLIDE	Mínimo detectável: 80 UFC/100 mL

UFC (Unidades Formadoras de Colônias)

Para as análises microbiológicas, Coliformes Totais e *Escherichia coli* (*E. coli*), foram realizadas por meio do uso do Colipaper (Tecnobac). Em cada amostra foram adicionadas substâncias nutritivas e reagentes colorimétricos, incubadas em estufa bacteriológica por um período de 48h, seguindo o protocolo do fabricante.

O diagnóstico é dado pela presença ou ausência de coliformes totais evidenciados pela alteração da coloração. Amostras com pontos de coloração azul e rósea correspondem ao quadro positivo de contaminação por coliformes totais. Para verificar a presença de coliformes fecais (*Escherichia coli*), as amostras com diagnóstico positivo são determinadas pela presença de pontos de cor azul ou violeta. Para a interpretação dos resultados multiplicou-se o número de colônias pelo fator de correção 80, o resultado é expresso em Unidade Formadora de Coliformes - UFC/100 mL.

### 3.3 TRATAMENTO DOS MAPAS TEMÁTICOS E DE ISOVALORES E ISOTEORES

Para a confecção dos mapas de localização da área de estudo e localização dos poços foi utilizado o software ArcGIS versão 10.2 com escala 1:10.000 (ANEXO A), enquanto na elaboração dos mapas de isoteores e isovalores dos parâmetros físico e químicos e do microbiológico foi utilizado o software Surfer versão 10.0 gerados a partir do método Kriging, assim como a confecção dos perfis, seções, bloco diagrama e modelos tridimensionais, já os gráficos foram gerados no programa Grapher versão 9.0.

Para cada poço foi determinado uma identificação do ponto do poço nos mapas, onde se utilizou as letras IG para Instituição Governamental e R para Residência, antecedido do número de ordem do poço, por exemplo: P1-IG (poço da UEPA) e P2-R (poço residencial). Conforme se observa no mapa de localização dos poços da área estuda (ANEXO A).

## 4 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

### 4.1 LOCALIZAÇÃO

O município de Salvaterra pertence à mesorregião de Marajó e à microrregião do Arari. A sede municipal apresenta as seguintes coordenadas geográficas: 00° 45' 21"S e 48° 45' 54"W Gr. Limita-se ao Norte pelo Município de Soure, a Leste pela Baía de Marajó, ao Sul pelo Município de Cachoeira do Arari e pela Baía de Marajó e, a Oeste pelo Município de Cachoeira do Arari (IDESP, 2014).

Os municípios de Salvaterra e Soure correspondem aos principais núcleos urbanos da ilha de Marajó, localizados nas margens opostas do rio Paracauari. Chega-se a Salvaterra, partindo-se de Belém, através de navios, lanchas e balsas que fazem linha na rota Belém-Soure, e tem como ponto de chegada o porto de Camará, ligando as demais cidades e vilas, através da rodovia PA-154 (Salvaterra-Soure) facilmente trafegável, que dista 27 km de estrada. A figura 2 mostra a localização da área de trabalho e está delimitada pelas coordenadas em UTM.

Figura 2. Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Do autor

## 4.2 QUADRO DEMOGRÁFICO E SOCIOECONÔMICO

Este tópico tem como abordagem os dados de pesquisas das publicações dos seguintes autores: Lisboa (2012) e IDESP (2014).

A extensão do território de Salvaterra é de 704 km<sup>2</sup>, sendo o menor município, em extensão, na ilha de Marajó. O território faz parte da microrregião do Arari e, a partir da sede de Salvaterra, é necessário percorrer 80 km até Belém. São reconhecidos cinco distritos: Condeixas, Monsarás, Joanes, Jubim e a sede Salvaterra. É delimitada ao norte pelo município de Soure; ao sul pela baía de Marajó e pelo rio Camará que o separa do município de Cachoeira do Arari (LISBOA, 2012).

A população atual do município de Salvaterra é de 20.183 habitantes (Tabela 2). Concentra-se principalmente na zona urbana, onde vivem 12.672 pessoas, enquanto os demais 7.511 restantes estão na zona rural, espalhados em distritos e comunidades (IDESP, 2014; IBGE, 2010).

Tabela 2. População, área e densidade demográfica e situação da unidade domiciliar dos anos de 2010 a 2013.

Anos	População (Hab.)	Área (Km <sup>2</sup> )	Densidade (Hab/Km <sup>2</sup> )	Urbana	Rural
2010	20.183	1.039,07	19,42	12.672	7.511
2011 <sup>(1)</sup>	20.572	1.039,07	19,80	--	--
2012 <sup>(1)</sup>	20.948	1.039,10	20,16	--	--
2013 <sup>(1)</sup>	21.592	1.039,10	20,78	--	--

Fonte: IBGE (2010). Elaboração: IDESP (2014). <sup>(1)</sup>População Estimada

A economia atual é baseada na criação de gado nas fazendas de pastos naturais, que recobrem a parte leste do Marajó, sendo os principais rebanhos, os de bovinos, com 15.628 cabeças, 627 animais equinos e 15.829 bubalinos.

A agricultura é ainda muito incipiente, restringindo-se ao coco, feijão, mandioca e o abacaxi que se destaca como a produção de maior significado econômico. O extrativismo ainda tem uma participação grande na estratégia de sobrevivência das comunidades locais, principalmente as rurais, que se sustentam da exploração do açaí e lenha para carvão, da pesca; da captação de caranguejos, siris, camarões e turús.

As plantações estão localizadas às margens da rodovia PA-154 e podem ser visitadas por qualquer pessoa. Na zona rural, a vila de Condeixa possui sua maior produção, sendo uma das maiores do Estado. O abacaxi produzido no município é

de excelente qualidade com baixo teor de acidez e a sua polpa propicia bastante suco.

A atividade pesqueira contribui expressivamente para o abastecimento local. Ainda é desenvolvida artesanalmente através de redes de tresmalhas, currais e pesca de anzol, tendo a zona rural nas vilas de Jubim e Joanes, e a própria cidade de Salvaterra os maiores centros de pesca do município. Recentemente inaugurada na Vila de Caldeira a 4 km da sede municipal, às margens do rio Paracauari, encontra-se a Fábrica de Gelo com capacidade para produção de 48 toneladas/dia de gelo e 10 toneladas/dia para beneficiamento do pescado.

O comércio da cidade de Salvaterra funciona com restaurantes e bares de pequeno porte, farmácias, lojas de confecções, panificadoras, postos de gasolina, banco, lojas de materiais de construção e mercado municipal. Mesmo assim, apresenta um comércio pouco desenvolvido, o que propicia deslocamentos para a capital para consumo de mercadorias diversas.

Os dados do IBGE no ano de 2012 estimou o abastecimento de água em Salvaterra para 1.177 residências um consumo diário de 198.230m<sup>3</sup>, 31 comércios um consumo de 3.670m<sup>3</sup> e 37 estabelecimentos públicos um consumo de 8.556m<sup>3</sup>, totalizando 210.456m<sup>3</sup> de consumo diário.

#### 4.3 ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE SALVATERRA

O sistema de abastecimento de água para fins de consumo humano é constituído de instalações e equipamentos que fornecem água potável para uma comunidade. Os indicadores físicos, químicos e biológicos da água potável, isto é, aquela com qualidade adequada para consumo humano devem estar de acordo com o que estabelece o dispositivo legal em vigor no Brasil, a Portaria 2914 de dezembro de 2011. Esta Portaria define o padrão de potabilidade como sendo o conjunto de valores permitidos como parâmetro de qualidade da água destinada ao consumo humano. Neste documento, o Sistema de Legislação de Saúde, traz quatorze anexos, nos quais estão relacionadas às características físicas, organolépticas e químicas; seus valores máximos permitidos (VMP) e as características de qualidade microbiológicas e radioativas. Acrescentem-se a esta relação, os tempos de contato mínimos a serem observados para a desinfecção por cloração, em função da temperatura e do pH da água; e os números mínimos

de amostras e frequência para o controle de qualidade da água dos sistemas de abastecimento, para várias finalidades (SILVIA; BROTTTO, 2015).

O sistema de abastecimento de água de Salvaterra é realizado na área de captação e recalque de água da Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA) do referido município (Figura 3 - A), que capta a água subterrânea de 4 poços profundos de 80 metros (Figura 3 - B), localizado na Travessa Victor Engelhard no bairro do Coqueirinho.

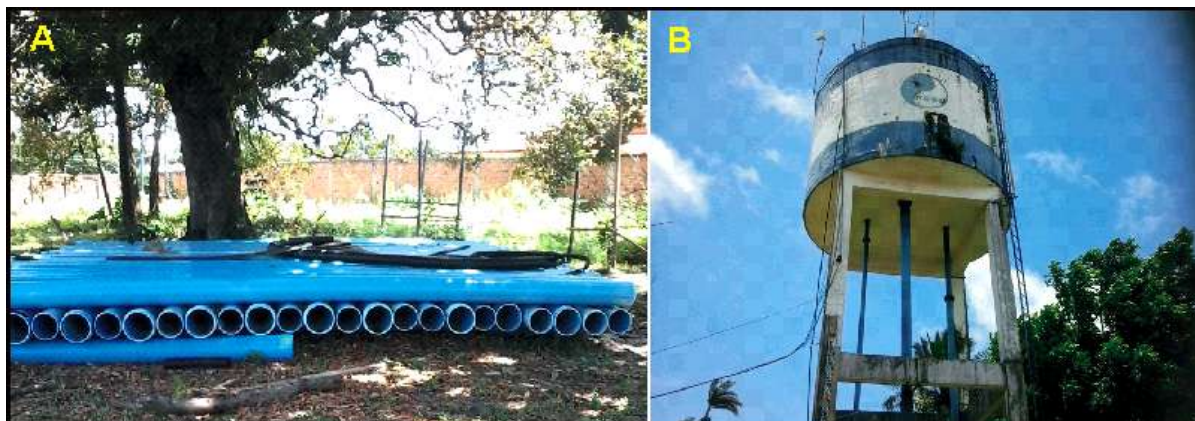
Figura 3. (A) - Área da estação de bombeamento e tratamento da água subterrânea da COSANPA de Salvaterra. (B) - Os 4 poços perfurados pela COSANPA com profundidades de 80 metros da estação de bombeamento e tratamento de água.



Fonte: Do autor

A água é extraída e tratada com cloro, levada por tubulações de PVC de 150 e 200 mm até a caixa d'água (Figura 4 – A e B), que posteriormente é distribuída a uma população de aproximadamente 12.000 habitantes, que consome  $210.456\text{m}^3$  de água. A estação da COSANPA de Salvaterra apresenta uma infraestrutura composta por uma casa de força (nesta encontra-se 4 bombas e 8 caixas alimentadora de energia de 220v), quatro poços tubulares, um sistema de areação e filtragem (composta por um aerador e três filtros), uma cisterna (onde é inserido o cloro) e uma caixa d'água (Figura 5). Esta estação foi construída em uma área alagada, onde perfaz um manancial denominado "lago do Caraparú", que representa a nascente abastecedora de vários igarapés e pequenos rios da região.

Figura 4. (A) - Tubulações PVC DEFORT de 150 e 200mm para caixa d'água. (B) - Caixa d'água da COSANPA que abastece 5 bairros da cidade de Salvaterra.



Fonte: Do autor

Figura 5. Sistema de abastecimento de água da COSANPA. As setas indicam o funcionamento do sistema desde a extração da água subterrânea até o seu destino final.



Fonte: Do autor

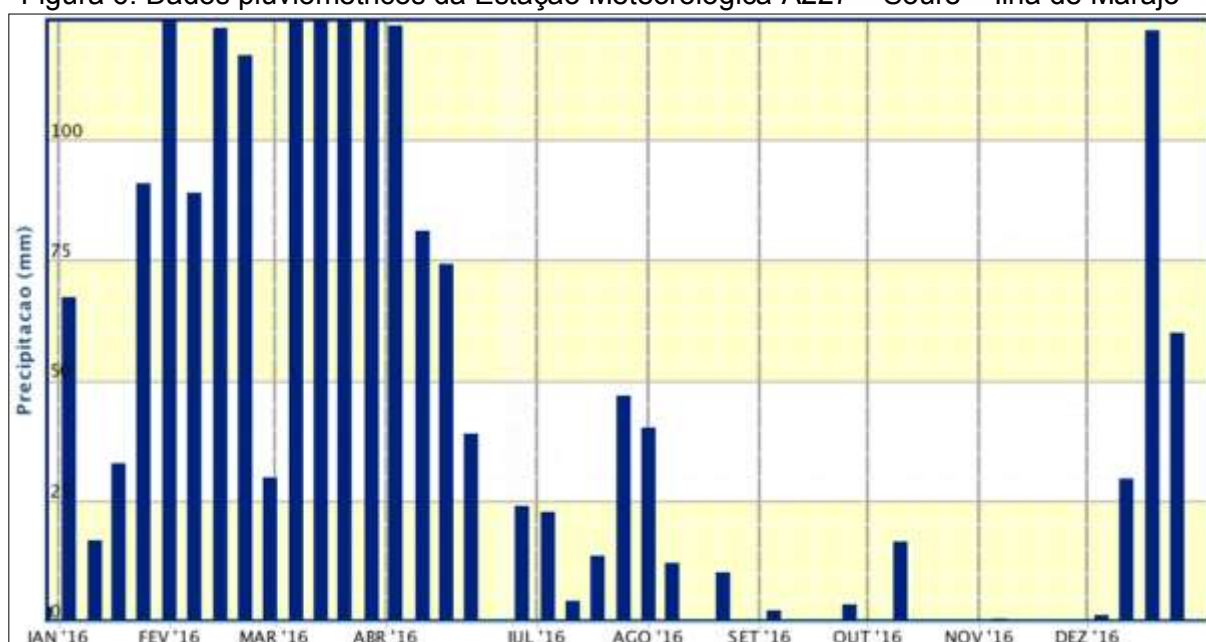
## 4.4 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

### 4.4.1 Climatologia

Na região da ilha do Marajó o clima apresenta-se quente e úmido, de baixas amplitudes térmicas e ausência de um período seco prolongado. As temperaturas médias anuais estão na casa do 26°C, sendo as mínimas maiores que 18°C e as máximas menores que 33°C. As precipitações oscilam entre 2000 mm a 3000 mm anuais e crescem a partir do mês de dezembro e atingem seu pico nos meses de fevereiro e março. Divide-se em dois períodos sazonais: (1) o período chuvoso, que se estende de dezembro a maio, com precipitação média de 2.566 mm, representando 86 % do total anual precipitado, e velocidade média do vento de 6,2 m/s, sendo o período de maior influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); e (2) o período menos chuvoso de junho a novembro, com média de 414,3 mm de chuvas, equivalentes a 14 % do total pluviométrico anual, e velocidade média do vento de 7,0 m/s (FERREIRA, 2001; LIMA, 2002).

A figura 6 mostra o gráfico meteorológico com os dados pluviométricos gerados pela Estação meteorológica A227 – SOURE, onde a região de Soure-Salvaterra apresentou no ano de 2016 temperaturas que variaram em torno de 25 a 29°C, com umidade relativa do ar em torno de 67 a 93%, e precipitações de chuvas com máximas de 125 mm nos meses de fevereiro, março e abril e mínima de 1,0 mm no mês de novembro e meados de dezembro (INMET, 2016).

Figura 6. Dados pluviométricos da Estação Meteorológica A227 – Soure – Ilha de Marajó



Fonte: (INMET, 2016).



#### 4.4.2 Rede hidrográfica

A rede de drenagem da Ilha de Marajó, segundo Bemerguy (1981), pode ser dividida em dois grupos, como arranjos distintos: 1) A oeste, na região e mata fechada, a rede de drenagem é densa e ativa, caracterizada por um entrelaçado de furos e igarapés e 2) A leste, na região de campos naturais, a rede de drenagem é esparsa, constituída por rios, em maior de caráter temporário, e inúmeros lagos. No interior da ilha destacam-se o lago Arari, com uma área de aproximadamente 400m<sup>2</sup>, funcionando como principal receptor da precipitação fluvial.

Os recursos hídricos da ilha são derivados principalmente das precipitações pluviométricas e, em menor grau, das marés provenientes do Oceano Atlântico, do Rio Amazonas e da baía de Marajó. Estes recursos provocam repetidas enchentes anuais, ressaltando da combinação de uma topografia inexpressiva e da alta precipitação no período de fevereiro a abril. À mediada que as chuvas diminuem (depois de maio) e a enchente recua, quantidades consideráveis de água são ainda retidas nos lagos e depressões, sendo que a maior é a do Lago Arari, que chega a sofrer uma perda de 60% em sua área (SERRA; TANCREDI, 1982).

Devido a sua topografia plana com depressões, a ilha de Marajó apresenta a característica de inundar-se todos os anos, durante a estação chuvosa, havendo grande limitação ao escoamento superficial das águas. Outro fator limitante à drenagem natural é a ação das marés, que exerce influência em toda a rede hidrográfica da ilha. O regime hidrológico corresponde diretamente ao das precipitações. A grande impermeabilidade dos solos determina uma rápida resposta às chuvas abundantes pela subida quase imediata dos níveis dos rios. Essas bacias hidrográficas ficam interconectadas à época de cheias, na estação chuvosa. Durante a época de estação seca, na região dos campos naturais há uma intensa evaporação, resultando na seca completa dos mais importantes lagos e esgotamento de grande parte dos mananciais de água de superfície (TANCREDI, 1986).

A rede hidrográfica da região em estudo está representada pelo rio Paracauari, caracterizada por um entrelaçado de furos e igarapés como o Jubim, Guajará, Forquilha, Caraparú, sendo estes fechados por matas densas e pequenas ilhas, que interligam inúmeros lagos e lagoas de barragem, estabelecendo uma drenagem desorganizada, compondo um padrão dendrítico, com cursos retilíneos e

meandrantas, desaguardo-os na baia de Marajó. E tem como principais bacias hidrográficas as dos rios Anajás, Paracauari que divide as cidades de Salvaterra e Soure, e a bacia hidrográfica do rio Câmara limite entre os municípios de Salvaterra e Cachoeira do Arari.

#### 4.4.3 Pedologia

Baseado nos perfis de solos estudados por Correa et al. (1974), a Ilha de Marajó apresenta uma grande variedade de tipos diferentes de solos destacando-se, na área em estudo, quatro grupos distintos:

1) Latossolo Amarelo (solos de granulometria média, com porcentagem de argila entre 15 e 35% arenosos); 2) Laterita Hidromórfica (solos de textura maciça, imperfeitos a mal drenados); 3) Solos Hidromórficos Gleyzados (solos com textura argilosas e aluviais com textura indiscriminada). Esses solos ocorrem na margem esquerda do Rio Paracauari e 4) Solos Halomórficos (solos indiscriminados de mangues com textura indiscriminada e areias quartzosas marinhas distróficas), ocorrem nas regiões litorâneas da ilha e áreas de praias.

As rochas das sub-bacias sedimentares de Mexiana e Limoeiro foram transformadas em solos sobre condições climáticas semiáridas, durante o final do Terciário/Plioceno. Essas alterações supergênicas continuaram pelo Quaternário/Pleistoceno-Holoceno, sobre condições climáticas tropicais úmidas, cujos solos oxidados são ricos em ferro e alumínio. Assim, foram originados os principais tipos de solos identificados na área de estudo, os quais estão representados por latossolos amarelos, solos concrecionários lateríticos, argilossolos brancos caulinizados e arenossolos brancos inconsolidados.

#### 4.4.4 Topografia

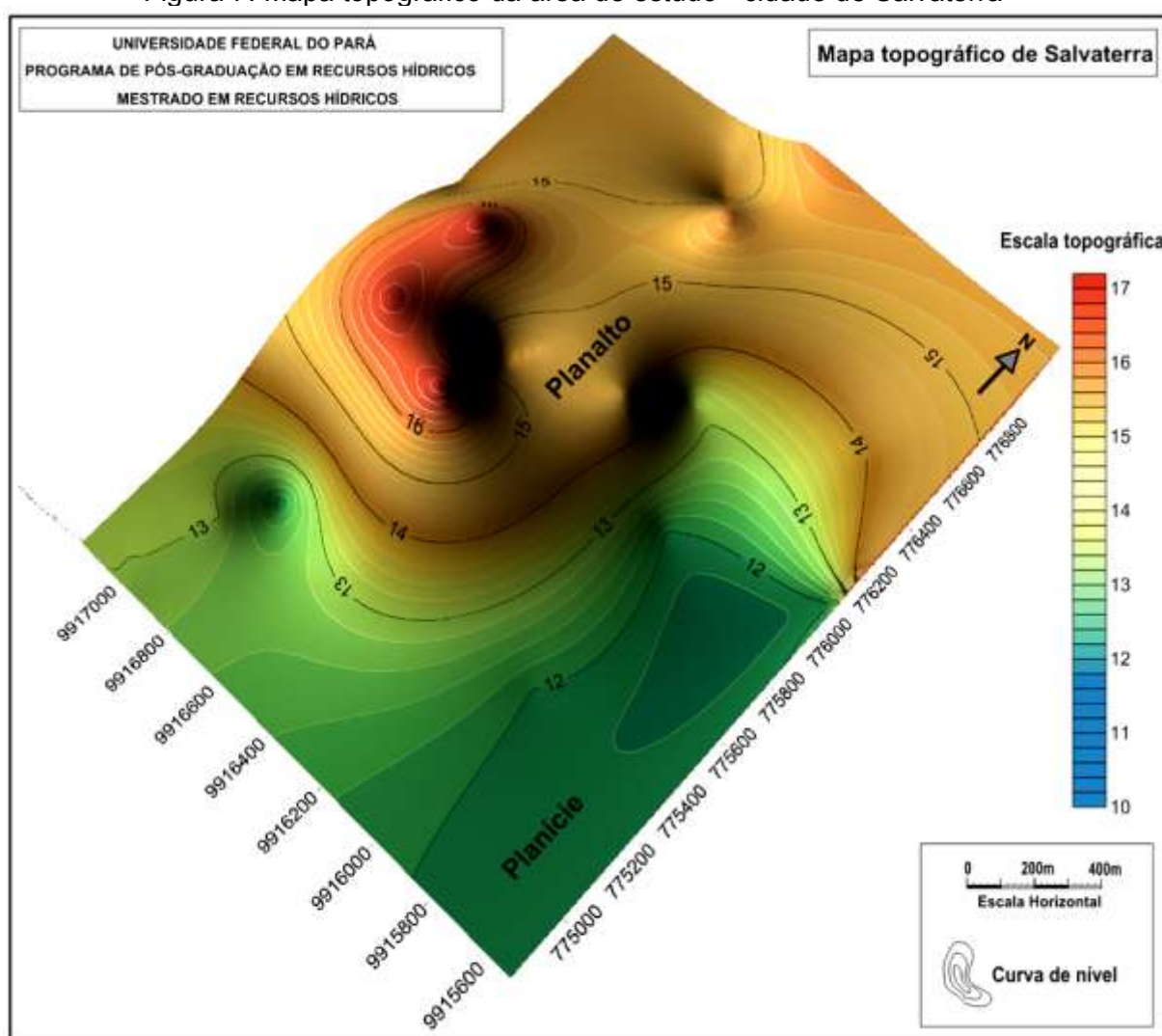
A topografia de Salvaterra está representada por uma superfície pediplanada, que compreende um relevo de degradação, ocorrendo principalmente na margem esquerda do rio Paracauari. Este grupo de relevo constitui uma extensa superfície aplainada com suaves ondulações no terreno, porém topograficamente, representa a porção mais elevada da região, ressaltada pelas falésias ocorrente na costa, sendo mais bem observadas desde a vila de Joanes até a cidade de Salvaterra. As praias de Salvaterra estão associadas ao relevo da região (as

falésias), que resulta em praias estreitas, compostas por sedimentos inconsolidados constituídos por areia, argila, silte e concreções ferruginosas de coloração avermelhado a amarronzado claro, resultante do retrabalhamento dos blocos de arenitos ferruginosos (laterita), de coloração cinza a amarronzado escuro, erodidos das falésias.

A região de Soure-Salvaterra, no contexto geral apresenta relevo suave (planaltos), com altitudes que não atingem 20,0m, e em grande parte constitui uma extensa planície sujeita as inundações periódicas pelas chuvas ou pelas cheias dos rios, os quais estão sob influência da maré (TEIXEIRA; COSTA, 1992).

Na área de trabalho a topografia apresenta elevações mais altas em torno de 17,0m, enquanto nas mais baixas em torno de 10,0m (Figura 7).

Figura 7. Mapa topográfico da área de estudo - cidade de Salvaterra



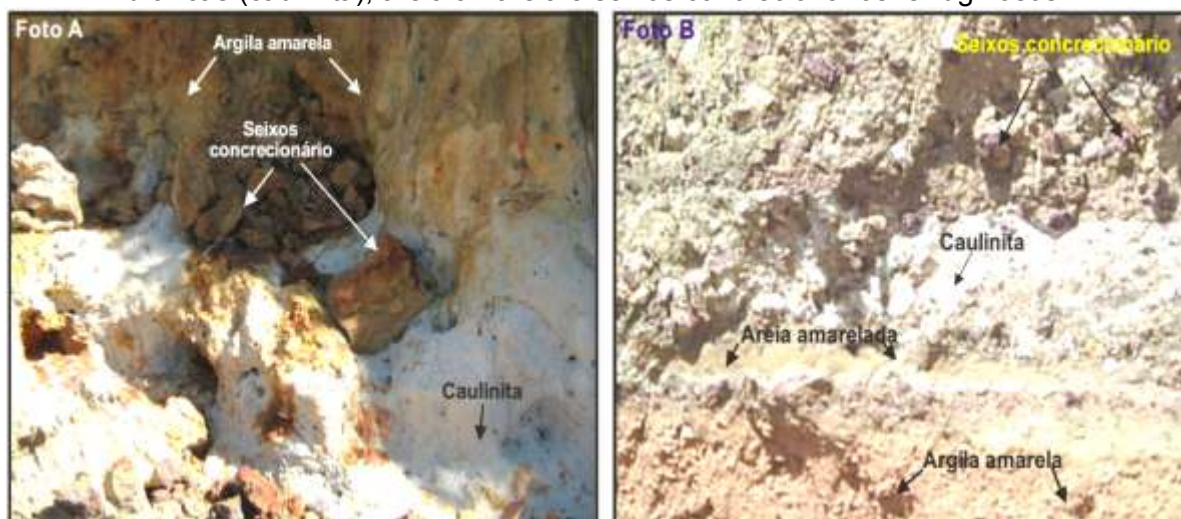
Fonte: Do autor

#### 4.4.5 Geologia

Igreja et al., (1990), pesquisaram a reativação de basculamento de blocos que ocorreram durante os períodos Terciário e Quaternário. Este basculamento provocou um soerguimento de um bloco da Formação Barreiras. A situação de soerguimento teria dado origem às falésias atuais.

Estas falésias afloram na costa sudeste da Ilha de Marajó e ao sul da foz do rio Paracauari, observados nas praias de Salvaterra, são compostas por areias de granulação média a fina, mal selecionado, apresentado coloração que variam do branco ao amarelado. Intercalados nas areias ocorrem sedimentos argilosos de coloração cinza, amarela, amarronzada, avermelhada, arroxedada e esbranquiçada, esta última está representada pelo argilomineral caulinita, e seixos de quartzo de granulação média a grosseira, mal selecionado de coloração esbranquiçado a amarelado. Eventualmente ocorrem seixos de concreções conglomeráticas ferruginosas irregulares de granulometria grossa, coloração amarela avermelhada a amarronzada e estrutura maciça em camadas associadas à fácies areno-argilosas (Figura 8. Fotos A e B).

Figura 8. (Fotos A e B) – Afloramento da praia Grande. Composta por argilas amarelas e brancas (caulinita), areia amarela e seixos concrecionários ferruginosos.



Fonte: Do autor

Nas praias, os sedimentos inconsolidados estão representados pelas areias brancas de granulação predominantemente fina, bem selecionada, texturalmente maduros, com estratificações plano-paralelas. Estes sedimentos são considerados de idade Quaternária (Pleistoceno-Holoceno). O material consolidado está representado por blocos (matações) de arenitos e argilitos ferruginosos de

coloração amarelada (idade mais jovem) e marron escuro (idade mais velha), em alguns arenitos apresentam estratificação plano-paralela e estratificação cruzada tabular. Estes arenitos se estendem em toda base das falésias desde a praia do Castelo até a praia Grande da cidade de Salvaterra. Os blocos (matacões) encontram-se desmantelados e jogados, cobrindo as areias e protegendo as falésias dos impactos provocados pelas ondas. Este material consolidado é considerado de idade Pliocênica.

#### 4.4.6 Hidrogeologia

Segundo IDESP (1974) apud Bezerra (1979), os aquíferos da região de Salvaterra, apresentam-se em alternância de areias e argilas que vai da superfície até a profundidade de 100 metros, com esses sedimentos já estarem saturados a partir de poucos metros da superfície. O nível hidrostático médio do aquífero livre estaria a cerca de três metros da superfície. As águas subterrâneas apresentam baixos gradientes hidráulicos e pequena velocidade de escoamento, em razão da topografia da região ser baixa e homogênea.

Segundo Mercado (1974) apud Bezerra (1979), grande parte da água subterrânea rasa é análoga ao sistema de drenagem superficial. O sentido dessa drenagem seria no sentido dos rios, e apenas uma pequena parte desse fluxo se daria no sentido do mar.

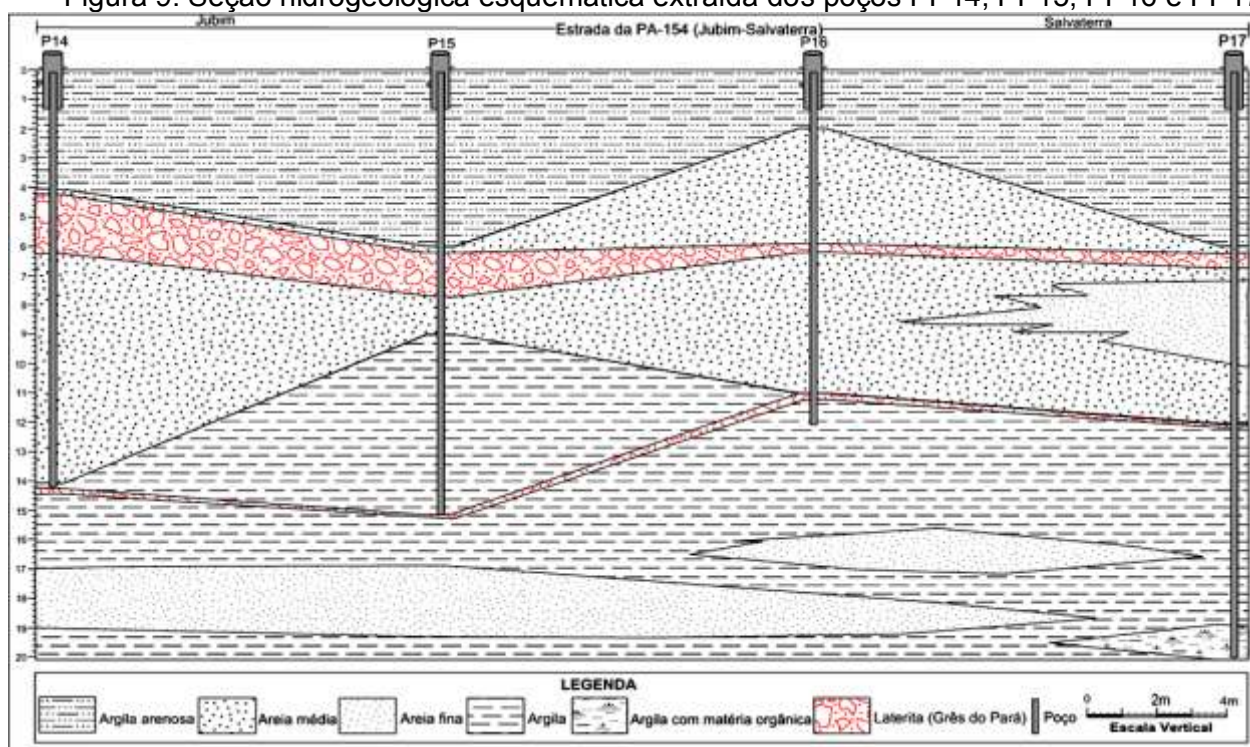
Bezerra (1979) analisou quatro poços PP14, PP15, PP16 e PP17 de até 21 metros de profundidades, na região de Salvaterra, dois foram interpretados como bons aquíferos, mostraram terrenos bem mais arenosos (PP14 e PP16). Os outros dois (PP15 e PP17), apresentaram uma parcela considerável de sedimentos argilosos com um material orgânico, tendo camadas de areia com apenas 1,5 e 6,0 metros de espessura respectivamente (Figura 9). Analisou 16 poços na região de Salvaterra, medindo nível estático da água e obteve valores que variam de 1,3 até 7,0 metros, situando-se a média em torno de 3,7 metros.

Cutrim e Sauck (1978), mediram a condutividade elétrica nas águas subterrâneas com profundidades de até 20 metros, correspondendo valores que vão desde  $170 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$  (próximo do litoral) até  $10 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ . Essas águas sofrem muito pouca ou nenhuma influência da salinidade das águas dos rios ou da baía de Marajó.

Quanto a qualidade das águas subterrâneas, Bezerra (1979), relata em estudos físico-químicos que o pH da região de Salvaterra, apresenta elevada acidez com valores de 3,5 a 6,7, que implica restrições ao uso humano. O ferro também se apresenta em concentrações de até 4,0 mg/L, e a maioria de seus teores estaria acima do padrão máximo exigido (0,3 mg/L) para o uso humano, sendo um dos fatores mais limitantes para o uso em geral dessas águas.

A figura 9 mostra a seção hidrogeológica esquemática, baseados na interpretação de 4 poços de profundidades rasas de até 20m (PP14, PP15, PP16 e PP17), descritos por Bezerra (1979), a partir desta, foi possível fazer uma análise da litologia da região de Salvaterra, incluindo a cidade até a vila de Jubim. Está representado por uma camada de argila-arenosa que se estende de 2 a 4 metros de profundidade, seguida de uma camada arenosa com espessura que varia em torno de 4 a 12,0m intercaladas por areias finas e uma camada de laterita (Grês do Pará), com espessura de 2,0m em Jubim afunilando-se em 0,6m em direção a Salvaterra. Abaixo a litologia continua com uma camada espessa de argila de cores variadas com profundidades iniciando em torno de 8,0m (PP116) e finalizando a 20,0m de profundidade (PP17), intercalada com lentes de areia fina seguida de uma camada centimétrica de concreções lateríticas bastante compactas.

Figura 9. Seção hidrogeológica esquemática extraída dos poços PP14, PP15, PP16 e PP17



Fonte: Adaptado de Bezerra (1979)

## 6 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

#### 5.1.1 Inventário hidrogeológico

O trabalho realizado na cidade de Salvaterra abrangeu cinco bairros (Caju, Centro, Coqueirinho, Marambaia e Paes de Carvalho), onde se realizou cadastro de 20 poços, que proporcionou informações de materiais de subsuperfície e uma visão consistente da hidrogeologia da área. Apresentam-se em 2 poços amazonas ou escavado com profundidade de 6,0 metros, 17 poços tubulares rasos de propriedades particulares e 1 poço tubular profundo de propriedade da COSANPA com profundidade de 80 metros. Todos os poços tubulares rasos foram construídos manualmente sem nenhum suporte técnico e cuidado com a higiene, atingindo profundidades de 15, 18 e 25 metros (informações verbais dos moradores). Os 20 poços receberam medidas de altitude e de nível estático da água, que serviram de bases para o cálculo da carga hidráulica, para determinação das curvas equipotenciais e do fluxo da água subterrânea (Tabela 3).

Tabela 3 - Piezometria de aquífero dos poços da cidade de Salvaterra – realizada nos meses de abril e novembro nos períodos de chuva e seca, respectivamente.

Nº poço	Localidade dos Bairros	Tipo de poço	Prof. (m)	Coordenadas (UTM)		C. T.(m)	N. E. (m)		C. H. (m)	
				E	N		P.C	P.S	P.C	P.S
P1-IG	Caju	Tubular	18,0	774873	9916993	13,0	1,60	6,0	11,40	7,0
P2-R	Caju	Tubular	18,0	775133	9916921	13,0	1,60	5,5	11,40	7,5
P3-R	Caju	Tubular	18,0	775112	9916887	13,0	2,10	5,5	10,90	7,5
P4-IG-SAL-P2	Coqueirinho	Tubular	80,0	776378	9915712	14,0	3,0	7,0	11,0	7,0
P5-R	Paes de Carvalho	Amazonas	6,0	774812	9916905	13,0	2,10	6,0	10,90	7,0
P6-R	Centro	Tubular	15,0	776907	9916387	16,0	7,0	10,9	9,0	5,1
P7-IG	Centro	Tubular	18,0	776589	9916408	16,0	4,0	7,9	12,0	8,1
P8-R	Caju	Tubular	18,0	775264	9916829	12,0	1,90	5,8	10,10	6,2
P9-IG	Paes de Carvalho	Tubular	15,0	775688	9916578	17,0	2,40	6,3	14,60	10,7
P10-R	Caju	Tubular	15,0	775773	9916841	17,0	2,90	6,8	14,10	10,2
P11-R	Caju	Tubular	15,0	776088	9916833	17,0	2,50	6,4	14,50	10,6
P12-R	Centro	Tubular	18,0	776044	9916277	15,0	3,50	7,4	11,50	7,6
P13-IG	Centro	Tubular	18,0	776235	9916182	13,0	4,20	8,1	8,80	4,9
P14-IG	Centro	Tubular	18,0	776731	9916505	14,0	5,80	9,7	8,20	4,3
P15-R	Caju	Tubular	18,0	775927	9916609	14,0	2,90	6,8	11,10	7,2
P16-R	Caju	Amazonas	6,0	776241	9917100	14,0	3,40	6,0	10,60	8,0
P17-R	Marabá	Tubular	25,0	775357	9915973	12,0	1,0	5,0	11,0	7,0
P18-IG	Marabá	Tubular	18,0	775923	9916007	12,0	2,40	6,4	9,60	5,6
P19-R	Marabá	Tubular	15,0	776090	9915528	12,0	2,50	6,5	9,50	5,5
P20-R	Centro	Tubular	15,0	776250	9916275	15,0	3,80	7,8	11,20	7,2

C.T: Cota Topográfica; N.E: Nível Estático; C.H: Carga Hidráulica; P.C: Período de Chuva; P.S: Período de Seca.

### 5.1.2 Descrição dos poços de 80 metros da COSANPA

As análises descritiva dos poços de 80 metros, se baseiam em 4 perfis de poços construtivos da Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA), relatado dos relatórios do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS/CPRM), são eles: SVT-01, SVT-02 e SVT-03 (Figura 10) e SAL-P2 (Figura 11).

A descrição da figura 10 é baseada em 3 perfis dos poços construtivos SVT-01, SVT-02 e SVT-03, mostra 3 seções litológicas distintas (A, B e C).

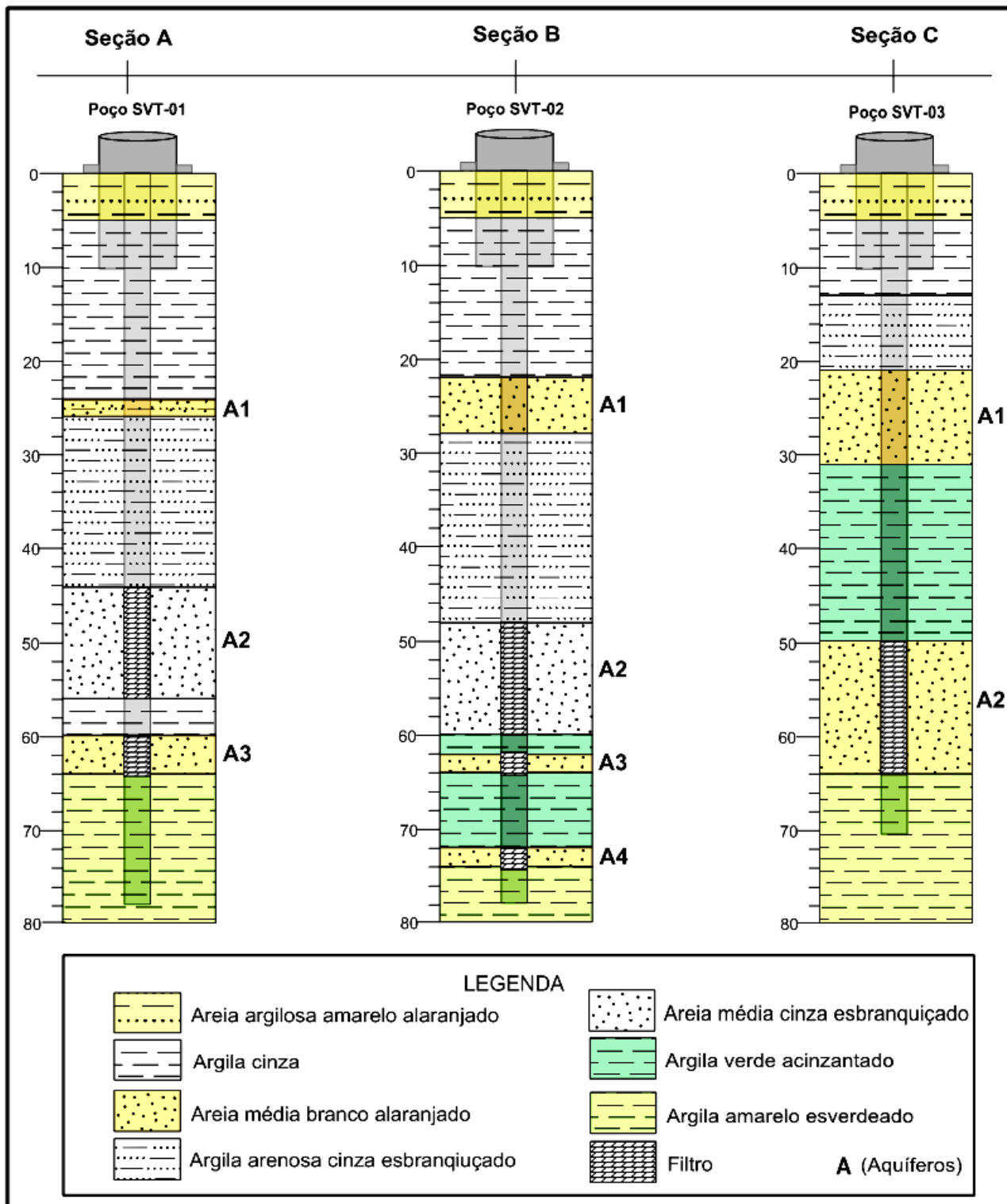
A seção A (poço SVT-01) está discriminada por 3 aquíferos, sendo que o primeiro é composto por areia média branco alaranjado com espessura de 2m confinado a um pacote de argila cinza de 20m de espessura na parte superior e por uma camada de argila arenosa cinza esbranquiçada com espessura de 18m na parte inferior. O segundo aquífero inicia-se a 44m de profundidade e apresenta uma espessura de 12m, composta por areia média cinza esbranquiçada. O terceiro aquífero é composta por uma areia média branca alaranjada, encontra-se confinada por duas camadas de argilas cinza e esverdeada, e apresenta uma espessura de 4m e está localizada a 60m de profundidade.

A seção B (poço SVT-02) está representa por 4 aquíferos, o primeiro se posiciona a 22m de profundidades, com espessura de 6m de areia média branca alaranjado confinado por argila cinza na parte superior com espessura de 17m e argila arenosa cinza esbranquiçada com espessura de 20m; o segundo encontra-se a 48m de profundidade, composta de areia média cinza esbranquiçada e possui uma espessura de 12m, confinado por argila arenosa cinza esbranquiçada e argila verde acinzentado; os dois últimos aquíferos encontram-se a 62 e 72m de profundidades, apresentam espessuras de 2m e estão intercalados por argilas verde acinzentado e amarelo esverdeado com espessura de 20m do topo a base.

A seção C (poço SVT-03) representa dois aquíferos, com espessuras de 10 e 14m, são compostas por areias médias brancas alaranjadas e encontram-se nas profundidades de 21 e 50m respectivamente, são aquíferos porosos que sequencialmente estão confinados por argila arenosa cinza esbranquiçada de espessura de 7m e argilas de colorações verde acinzentado e amarelo esverdeado com espessuras de 19 e 16m respectivamente.

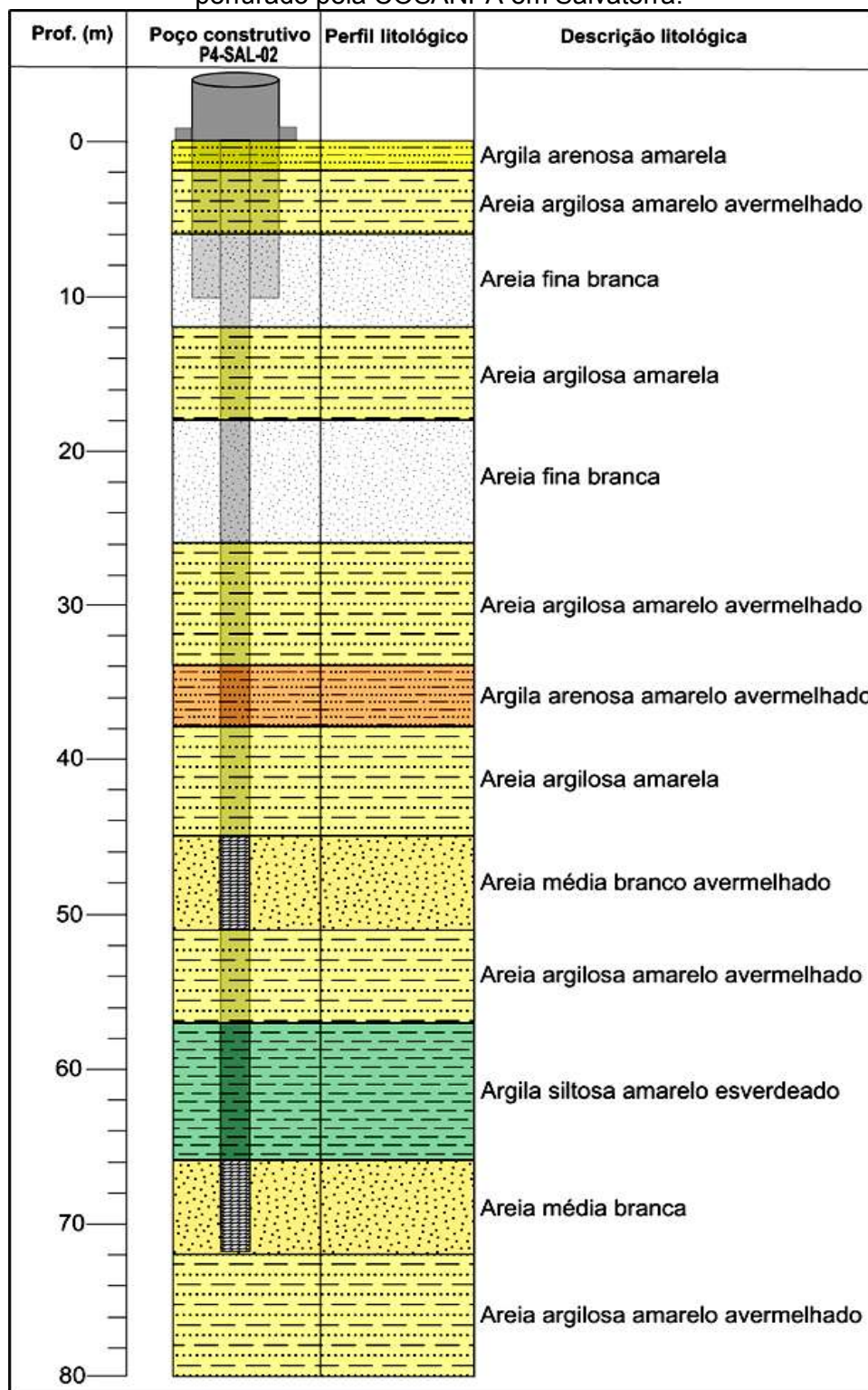


Figura 10. Seção composta litológica demonstrada em A, B e C dos poços (SVT-01, SVT-02 e SVT-03) construídos pela COSANPA na cidade de Salvaterra.



Fonte: CPRM/SIAGAS (2016), adaptado.

Figura 11. Perfil composto litológico e construtivo do poço tubular profundo (80m), perfurado pela COSANPA em Salvaterra.



Fonte: CPRM/SIAGAS (2016), adaptado.

A figura 11 acima demonstra um perfil composto do poço P4-SAL-P2, pode-se observar que apresenta dois aquíferos iniciais de espessuras de 6 e 10 metros, compostas por areias finas brancas que atingem profundidades de 12 e 26 metros

respectivamente, confinados por areias argilosas amarela avermelhadas que atinge a profundidade de 45m, a partir desta profundidade encontra-se mais dois aquíferos ambos com espessuras de 6m e encontram-se em profundidades de 50 e 72m, são compostas por areias médias brancas amareladas, até os 80m encontra-se uma camada de areia argilosa amarelo avermelhado com 8m de espessura. É considerado um aquífero poroso com topo 45m e base 72m.

### 5.1.3 Sistema hidrogeológico

O sistema hidrogeológico da cidade de Salvaterra está representado por aquíferos livre e confinados todos saturados. O primeiro é constituído por sedimentos arenosos recentes atingindo aproximadamente 6,0m de profundidade, abaixo da zona insaturada, observados nos poços amazonas (P5-R e P16-R), enquanto nos poços tubulares rasos (P6-IG, P9-IG, P10-R, P11-R, P19-R e P20-R) com profundidades de 15,0m, os poços (P1-IG, P2-R, P3-R, P7-IG, P8-R, P12-R, P13-IG, P14-IG, P15-R e P18-IG) com profundidades de 18,0m e o poço (P17-R) com profundidade de 25,0m, armazenam os aquíferos arenosos e areno-argilosos da Formação Barreiras e Pós-Barreira, nos quais a população local utiliza-se dessa água subterrânea para o seu consumo diário.

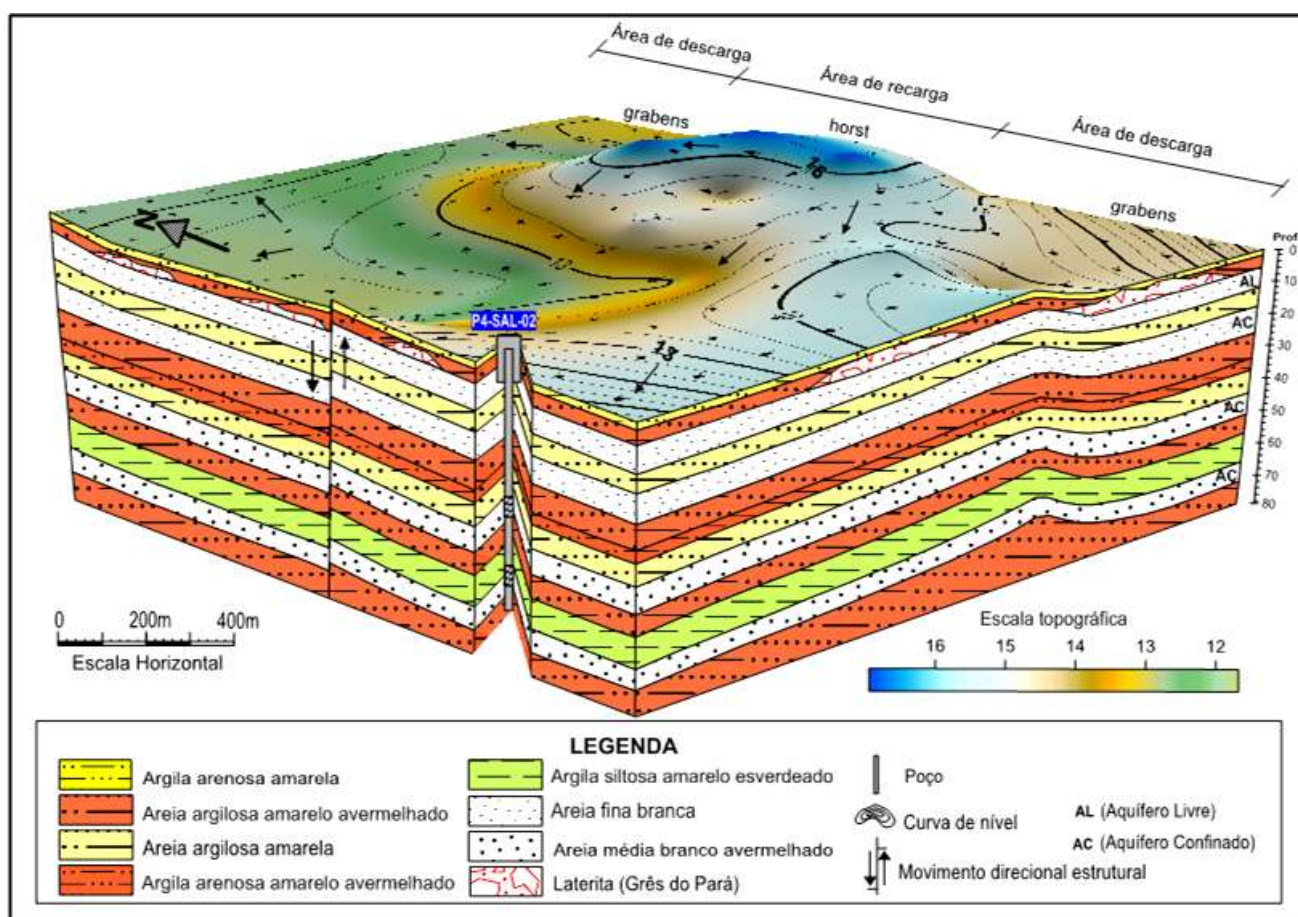
Já os aquíferos confinados são constituídos pelos sedimentos da Formação Barreiras, observados nos poços tubulares profundos de 80 metros construídos pela COSANPA. Representados por areias finas à média de coloração branca a amarelada. Estes aquíferos se distribuem intercaladamente por horizontes argilosos, níveis lateríticos e camadas argilosas bastante espessas com pouca quantidade de água formando aquiocludes e aquiardes em camadas areno-argilosas.

### 5.1.4 Características geométricas dos aquíferos

Os aquíferos da região de Salvaterra são formados por camadas arenosas intercaladas com argilosas, areno-argilosas e argilo-arenosas dando uma sequência de um complexo arranjo geométrico. Com base nas descrições dos 4 perfis litológicos do SIAGAS/CPRM, foram confeccionados um modelo tridimensional hidrogeológico da região e uma seção composta mostrando o comportamento geométrico dos aquíferos.

A figura 12 mostra um modelo geométrico tridimensional da caracterização hidroestratigráfica da área de estudo, onde se observa uma grande variação litológica, no que diz respeito até os 80 metros de profundidade, informações adquiridas pelos poços tubulares profundos P4-SAL-02, SVT-01, SVT-02 e SVT-03. Com a elaboração desse modelo, foi possível analisar algumas características hidrogeológicas e litoestrutural da área de estudo. Esses aquíferos apresentam-se bastante porosos de granulometria fina a média e coloração branca, correspondem a 4 níveis de camadas, um livre e três confinados.

Figura 12. Modelo tridimensional esquemático da hidroestratigrafia da área de estudo, mostrando o comportamento dos aquíferos e aquícludes.



Fonte: Do autor

O aquífero livre corresponde a uma areia fina branca e encontra-se a 5m metros de profundidade e com 8m de espessura. No topo dessa camada, observam-se níveis lateríticos associados aos depósitos de argila arenosa amarela e areia argilosa amarela avermelhada, que correspondem aos sedimentos recentes e Pós-Barreiras.

Os aquíferos confinados por constituírem uma granulometria fina a média na sua composição arenosa, apresentam-se bastante porosos, com espessuras em torno de 6 a 10m, o confinamento se estende desde 12m no topo até 72m na base, representados por camadas intervalares de areia argilosa amarela, argila arenosa amarela avermelhada e argila siltosa amarela esverdeada. Esse arranjo espacial intervalar associados às características hidrogeológicas e às profundidades das camadas, indica que estes poços da COSANPA estão explotando água do sistema aquífero Barreiras, visto que até a profundidade de 80m não se observou características de material carbonático da Formação Pirabas.

No modelo da figura 12, observa-se a presença de um elemento estrutural que cortam as camadas litológicas e hidrogeológicas da área, presenciada por um movimento direcional vertical, alterando nas profundidades dos aquíferos na região, afetando os arranjos geométricos entre os aquíferos e os aquícludes do sistema hidrogeológico.

Vale ressaltar que, este elemento estrutural modificou a feição morfológica da região em formato de horsts (altos) e grabens (baixos), definindo uma forma de relevo plano levemente inclinado, favorecendo assim a direção do fluxo subterrâneo da área de recarga (horst) para área de descarga (grabens).

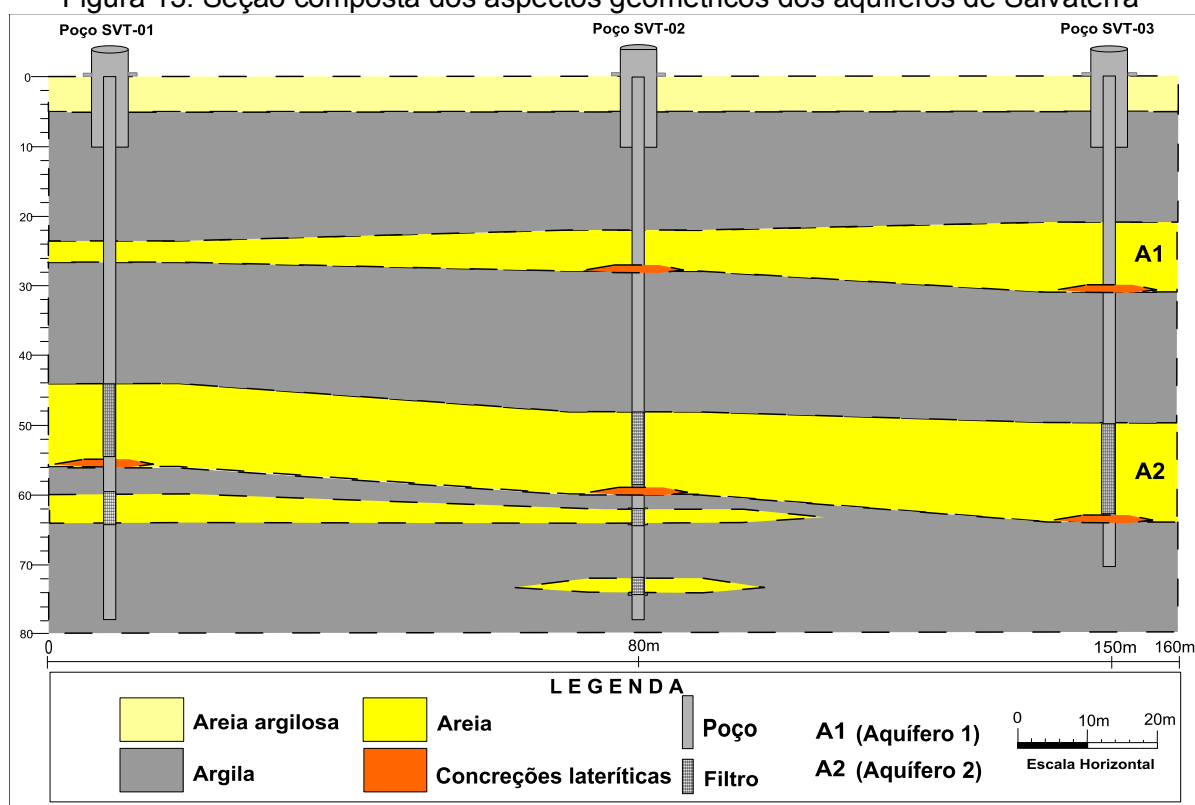
O sistema hidrogeológico da região de Salvaterra apresenta uma complexidade geométrica de duas unidades aquíferas saturadas que se apresentam com 5,0 até 15,0 metros de espessuras.

Com base nos dados obtidos dos poços SVT-01, SVT-02 e SVT-03, foi elaborado uma seção composta dos aspectos geométricos dos aquíferos existentes na cidade de Salvaterra (figura 13). A partir dessa seção foi possível interpretar o arranjo geométrico de duas unidades aquíferas (“A1” e “A2”).

A unidade aquífera A1 é formada por uma camada arenosa pouco espessa de 5,0m (poço SVT-01) e que se alarga até 10,0m de espessura aproximadamente (poço SVT-03), encontra-se confinado por uma camada de argila com espessura de 40,0 metros aproximadamente associados a níveis de concreções lateríticas, superior a esta é sobreposta uma camada de areia argilosa de aproximadamente 5,0m de espessura, estão correlacionadas aos depósitos recentes e o Pós-Barreiras. Apresentam água de boa qualidade, porém é muito vulnerável a contaminação, é captada por poços tubulares de até 25,0m de profundidades e poços amazonas de até 6,0m de profundidade (figura 13).

A unidade aquífera A2 apresenta uma espessura de aproximadamente 15,0m de camada arenosa e se encontra confinado a uma camada argilosa associada a níveis areno-argilosos, argilo-arenosos e siltes, com espessura de aproximadamente 55,0m, níveis de concreções lateríticas encontram-se intercalados entre as porções arenosas, está correlacionada à Formação Barreiras. Fornecem água de boa qualidade, é moderadamente vulnerável, porém quando atingem os níveis de concreções lateríticas, pode ocorrer o excesso de teor de ferro na água. Essa unidade até o momento, só é explorada pela COSANPA que possui uma estação de bombeamento e tratamento na região. Os poços chegam até 80 metros de profundidades (figura 13).

Figura 13. Seção composta dos aspectos geométricos dos aquíferos de Salvaterra



Fonte: Do autor

## 5.1.5 Análise hidrodinâmica dos aquíferos

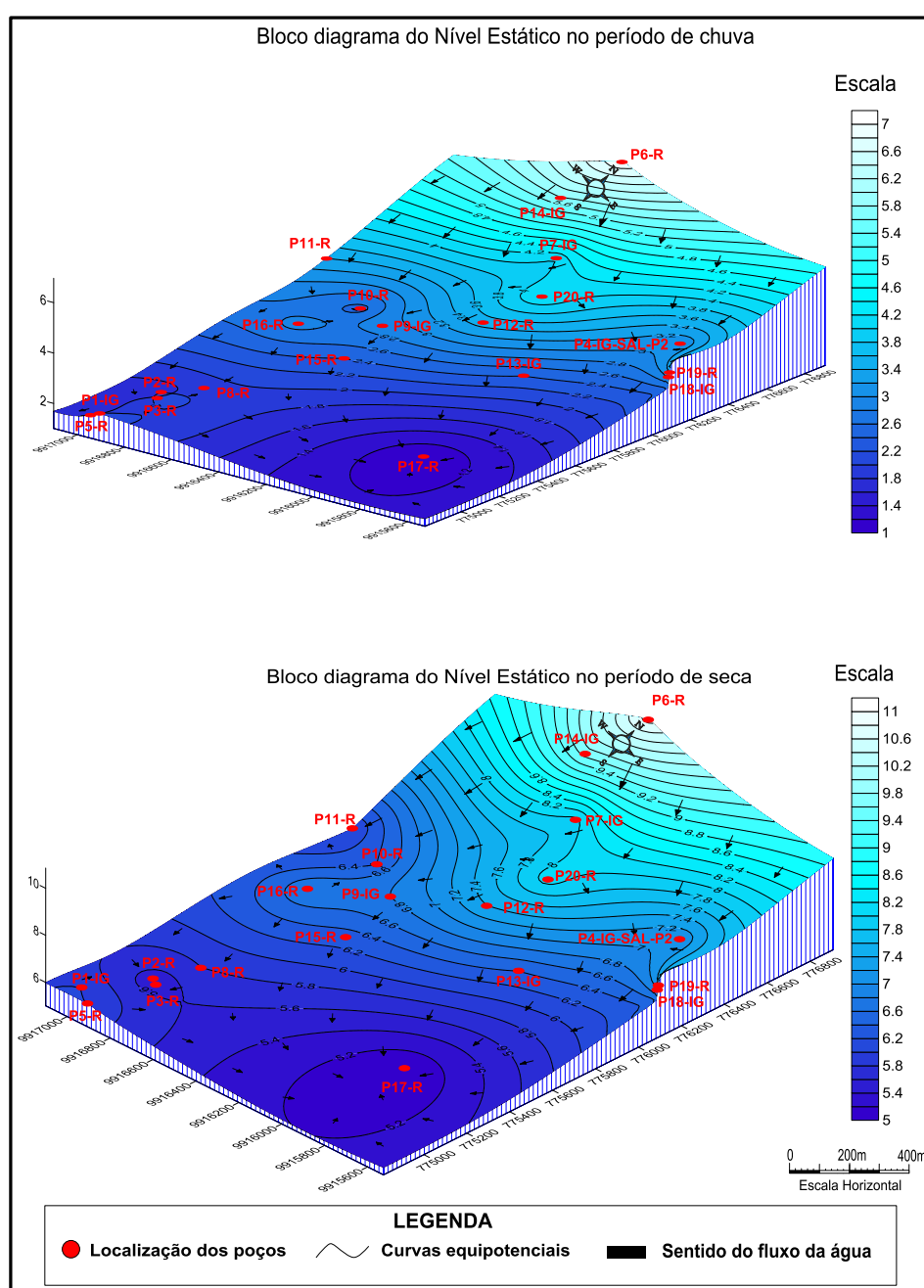
### 5.1.5.1 Cálculo do potencial hidráulico

Para os cálculos do potencial hidráulico dos aquíferos, foi preciso obter os dados do nível estático da água subtraindo da cota topográfica de cada poço, realizados tanto no período de maior precipitação pluviométrica (mês de abril) quanto no período de menor precipitação (mês de novembro), correspondendo aos períodos chuvoso e seco, respectivamente.

### 5.1.5.2 Fluxo da água subterrânea

A figura 14 ilustra os blocos diagramas do nível estático das águas dos poços nos períodos de chuva e de seca na região em foco. Pode-se observar que os maiores níveis estáticos estão nas porções Norte, onde se encontra a maior cota topográfica da região e direcionando-se para as porções Sul com maior concentração na porção Sudeste, onde se encontra o menor nível topográfico da área em estudo.

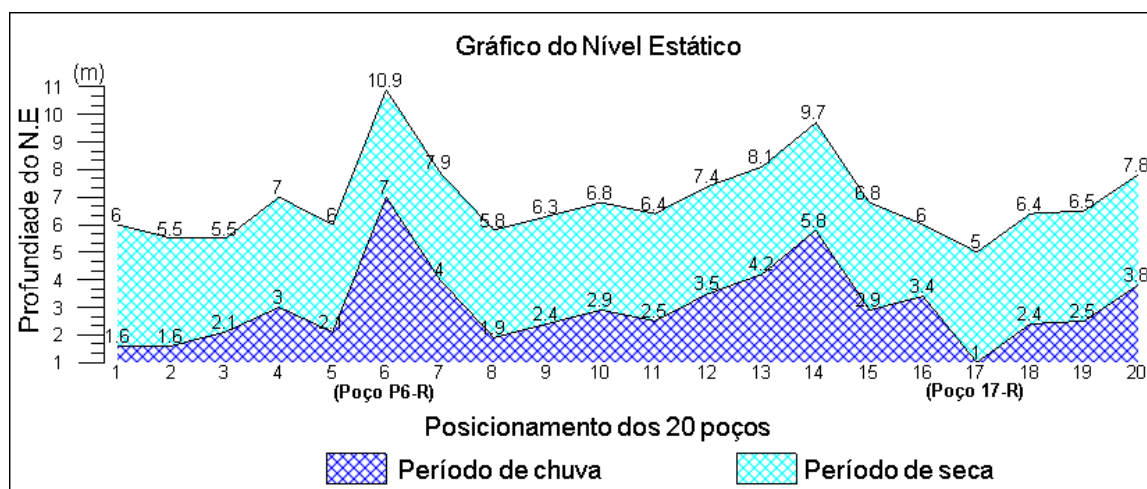
Figura 14. Ilustração dos blocos diagramas dos níveis estáticos das águas subterrâneas nos períodos de chuva e de seca.



Fonte: Do autor

O gráfico 1 mostra a variação do nível estático das águas subterrâneas no período sazonal com relação aos poços investigados. Obteve-se então, a média de 3,03m (na variação de 1,0 a 7,0m) do nível estático da água no período de chuva, com carga hidráulica em média de 11,07m, enquanto que no período de seca o nível estático estaria em média de 6,89m de profundidade da superfície na variação de 5,0 a 10,9m com carga hidráulica em média de 7,21m. Ambos observados nos poços P17-R e P6-R, respectivamente. Interpolando as duas médias dos dois períodos sazonais, se obtém um rebaixamento de 3,86 metros de profundidades entre os meses de abril (chuva) e novembro (seca).

Gráfico 1. Variação do nível estático, representando os períodos sazonais avaliados nos meses de abril (chuva) e novembro (seca).



Fonte: Do autor

A partir das informações obtidas da topografia, em conjunto com as medidas de profundidade do nível estático do aquífero correspondentes ao período de chuva e de seca, foram elaborados dois modelos de diagrama tridimensional, visando simular o comportamento do fluxo da água no período de chuva (Figura 15 - Modelo A) e no período de seca (Figura 16 - Modelo B). Os resultados indicaram que o fluxo da água subterrânea da cidade de Salvaterra segue na direção E-W e N-S, isto é dado a um fator muito importante que contribui diretamente para as condições desse sistema hidrogeológico, é a topografia, onde as elevações mais altas em torno de 14,0 a 17,0m representam as áreas de recarga mais significativas, enquanto nas áreas de topografia mais baixa menor que 14,0m de elevação, encontram-se as áreas de descarga, representadas principalmente pelo



rio Paracauari localizado a oeste e pela baía de Marajó localizada ao norte da cidade.

O sentido do fluxo da água subterrânea está representado pelas setas perpendiculares às curvas equipotenciais, normalmente esses sentidos tendem acompanhar a topografia do terreno, do mais alto para o mais baixo, e apresentam-se em área de recarga e área de descarga.

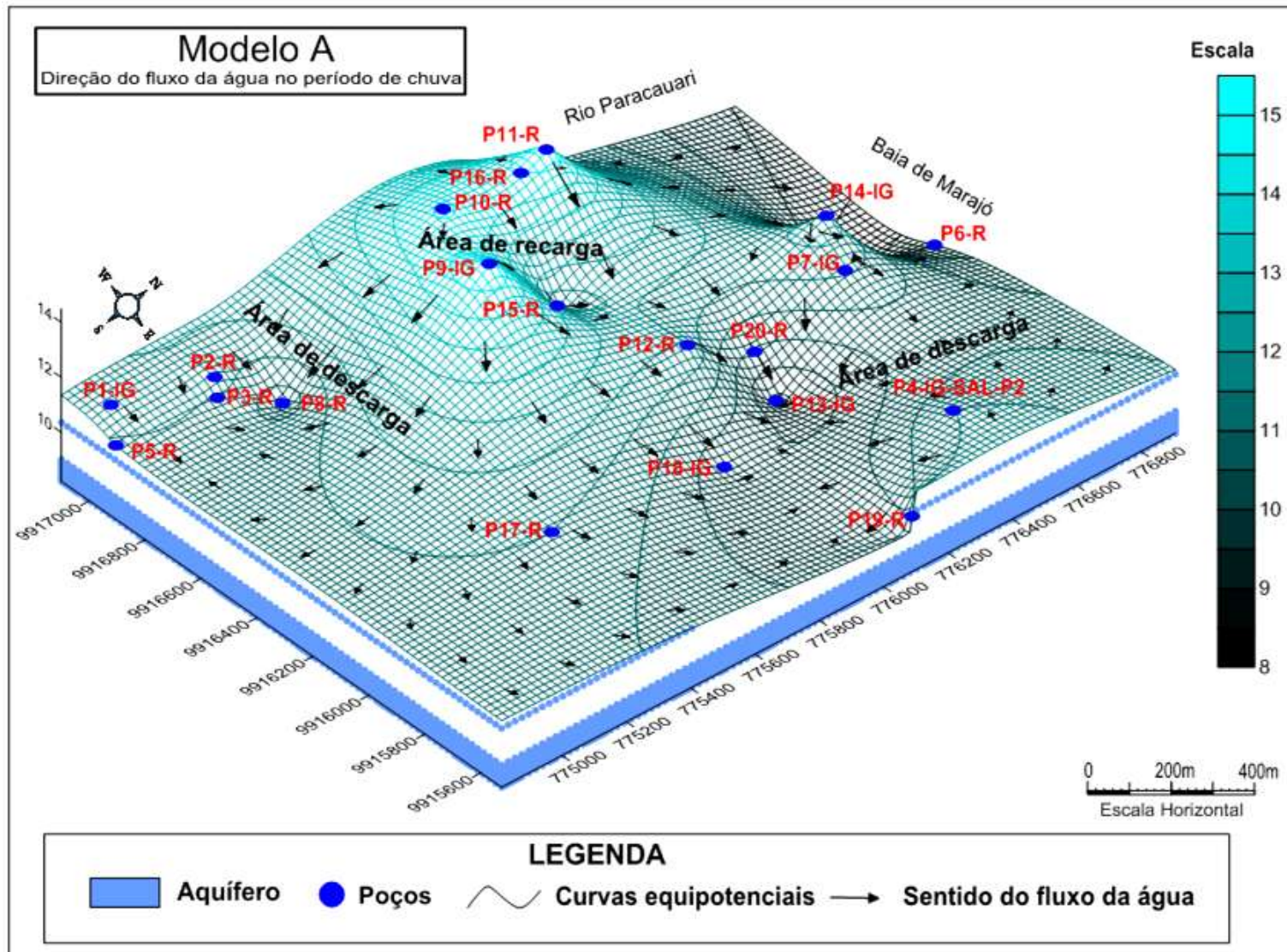
A área de recarga encontra-se localizada no sentido WSW do bloco diagrama, está caracterizada pela direção do fluxo subterrâneo partindo do nível mais alto da topografia do terreno para o nível mais baixo. Área de descarga localiza-se nas direções S-SW e ENE do bloco diagrama, nela encontra-se a topografia mais baixa da região, onde a direção do fluxo se dá no sentido ao rio Paracauari e a baía de Marajó, e nas áreas de terraços alagados de Salvaterra (Figuras 15 e 16).

As curvas equipotenciais se mostram quase idênticas no período sazonal, visto que a pluviometria da região modifica um pouco a mudança do nível da água subterrânea. No período chuvoso, onde a concentração pluviométrica na região é maior, o nível da água subterrânea se eleva a uma cota próximo aos 15 metros, enquanto que, em menor concentração pluviométrica no período seco, as cotas chegam próximo aos 11 metros, se tirarmos a diferença desse equipotencial, resultará em 4 metros de recuo do nível da água subterrânea no período de seca, comparado com a média de rebaixamento do aquífero de 3,86 metros. Observa-se também que, as curvas equipotenciais se concentram em topografias mais altas na área de recarga, enquanto que nas altitudes mais baixas, as curvas se dissipam na área de descarga, mudando o modelo do traçado dessas curvas.

Este padrão de fluxo subterrâneo, por um lado favorece o abastecimento dos aquíferos onde a cota topográfica é mais baixa, elevando o nível de água dos poços nesta área, mas por outro lado, pode acarretar uma série de problemas ocasionados pela poluição e contaminação do aquífero, provenientes dos agentes poluidores da região em foco.

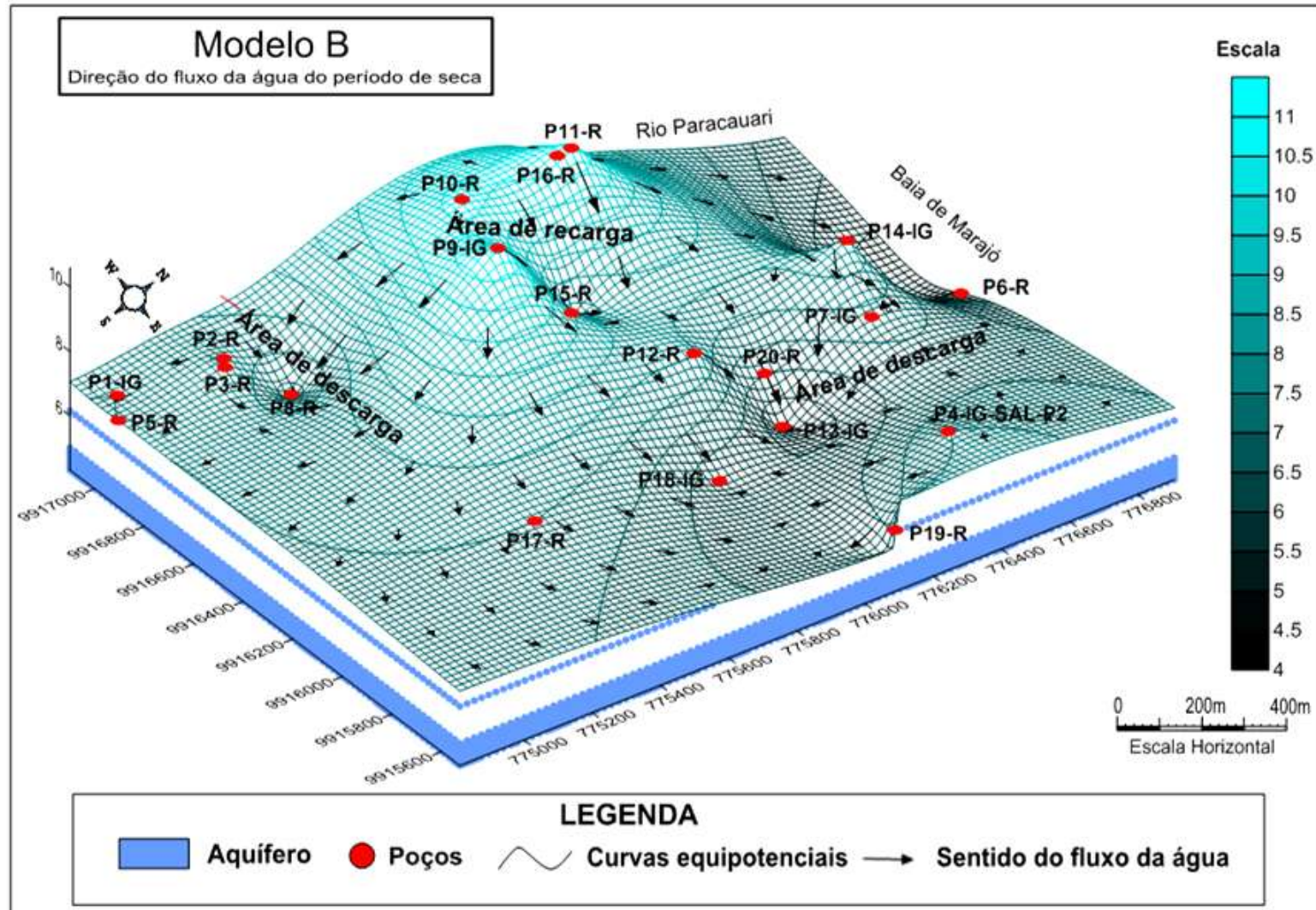
Através dos blocos diagramas dos modelos A e B (Figuras 15 e 16), pode-se observar melhor a distribuição do potencial hidráulico com relação ao sentido preferencial de cada curva equipotencial, mostrando com melhor exatidão as consequências dos riscos de contaminação das águas subterrâneas da área de estudo.

Figura 15. Modelo geométrico de diagrama tridimensional mostrando a direção do fluxo da água referente ao período de chuva.



Fonte: Do autor

Figura 16. Modelo geométrico de diagrama tridimensional mostrando a direção do fluxo da água referente ao período de seca.



Fonte: Do autor

## 5.2 Qualidade das águas dos poços estudados

As águas subterrâneas dos poços estudados da cidade de Salvaterra foram diagnosticadas através dos resultados obtidos das análises físico-químicas e microbiológicas que se encontram sintetizadas nas tabelas 4 e 5, onde foram analisados os seguintes parâmetros: temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez, sólido totais dissolvidos, oxigênio dissolvido, dureza total, alcalinidade, amônia, nitrato, cloreto e ferro.

### 5.2.1 Características físicas, químicas e biológicas das águas

De acordo com Hirata (2003), a qualidade da água está relacionada ao tipo de uso e envolve a avaliação das suas condições físicas, químicas e biológicas relacionando-se à sua potencialidade, quando causa dano à saúde humana. As fontes de contaminação dos mananciais aquáticos podem ser pontuais ou difusas: as primeiras são aquelas que podem ser identificadas, tratadas e controladas, como esgotos domésticos e águas residuais industriais e de animais criados de forma intensiva, enquanto os difusos resultam de um grande número de fontes pontuais individuais, sendo de difícil controle. A água subterrânea apresenta geralmente excelentes qualidades químicas e físicas, sendo apta para o consumo humano, muitas vezes sem necessidade de tratamento prévio. A contaminação ocorre quando alguma alteração na água coloca em risco a saúde ou o bem estar de uma população.

Richter e Azevedo Netto (2002), determinam que as características físicas das águas sejam de pouca importância sanitária e relativamente fáceis de determinar, como a cor, a turbidez, o pH, a temperatura e a condutividade elétrica. Enquanto que as análises químicas da água determinam de modo mais preciso e explícito as características da água, e assim são mais vantajosas para se apreciar as propriedades de uma amostra. Algumas análises como a determinação de cloreto, nitritos e nitratos, bem como o teor de oxigênio dissolvido, permitem avaliar o grau de poluição de uma fonte de água. Já as características biológicas, determinam as impurezas nas águas causadas por organismos presentes como bactérias, vírus e protozoários. Essas características são determinadas através de exames bacteriológicos (coliformes totais e fecais) e hidrobiológicos.

Tabela 4. Resultados da 1ª campanha das análises físico-químicas e microbiológicas dos poços da área de estudo – cidade de Salvaterra

PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS																					
Parâmetros	*VMP	P1-G	P2-R	P3-R	P4-IG	P5-R	P6-R	P8-R	P9-IG	P10-R	P11-R	P12-R	P13-IG	P14-IG	P15-R	P16-R	P17-R	P18-IG	P19-R	P20-R	Média
**Temperatura (°C)	--	28	29	30	28	27	27	29	29	29	28	27	29	29	29	29	29	28	28	29	28,5
*pH (upH)	6,0-9,5	4,9	4,9	4,6	5,0	5,4	5,2	4,4	5,7	4,4	4,8	4,8	4,8	5,0	4,2	5,6	4,5	4,6	4,6	4,6	4,8
**C.E (µS/cm-1)	--	251,4	258,4	258,8	260,7	256,3	258,6	254,0	252,5	258,7	259,6	257,0	249,5	247,2	256,4	251,5	258,3	253,1	248,0	258,1	255,1
*Turbidez (UNT)	5,0	4,3	1,0	1,1	3,2	1,0	4,0	1,7	1,12	1,17	1,25	0,95	2,6	1,2	1,0	2,9	1,5	2,2	1,0	1,0	1,8
*S.T.D (mg/L)	1000	170,9	175,7	176,1	177,2	174,2	175,8	172,7	171,7	175,9	176,5	174,7	169,6	168,1	174,3	171	175,6	172,1	168,6	175,5	173,4
**O.D (mg/L)	--	7,25	7,65	8,5	8,0	7,8	7,0	7,0	8,0	7,0	9,0	8,0	8,0	9,0	8,15	9,0	9,0	9,0	9,0	8,0	8,1
*Dureza total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	500	11,5	10,5	10,0	10,5	20,0	12,0	10,0	15,0	10,0	10,5	20,0	30,0	30,5	28,0	15,0	10,0	10,0	20,0	20,0	15,97
**Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	--	25,8	25,6	19,5	25,2	35,5	28,4	18,5	35,0	18,2	24,0	23,8	23,5	30,0	18,3	40,0	18,0	20,3	20,5	19,5	24,71
*Amônia (mg/L N-NH <sub>3</sub> )	1,5	0,12	0,13	0,12	0,30	0,0	0,13	0,25	0,23	0,12	0,16	0	0,60	0,14	0,18	0,22	0,14	0,25	0,0	0,0	0,16
*Nitrito (mg/L N-NO <sup>-2</sup> )	10	25	7,0	25	0,0	17	7,0	32	25	25	25	42	40	36	38	10	5	20	28	25	22,73
*Cloro (mg/L Cl <sup>-</sup> )	250	40,0	45,0	48,0	40,0	45,0	48,0	50,0	45,0	50,0	40,0	45,0	60,0	55,0	50,0	45,0	50,0	42,0	45,0	50,0	47,0
*Ferro (mg/L Fe Total)	0,3	0,25	0,25	0,0	3,0	0,25	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	0,31

PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS																				
Parâmetros	*VMP	P1-G	P2-R	P3-R	P4-IG	P5-R	P6-R	P8-R	P9-IG	P10-R	P11-R	P12-R	P13-IG	P14-IG	P15-R	P16-R	P17-R	P18-IG	P19-R	P20-R
Coliformes Fecais/ <i>E. coli</i> (UFC/100mL)	A	2.400	560	A	A	400	560	1.600	240	320	4.400	480	160	A	A	1.280	A	A	A	160
Coliformes Totais (UFC/100mL)	A	3.680	3.360	6.400	4.240	640	800	4.000	560	800	4.400	960	960	320	480	10.400	960	A	A	320

\*Valores Máximos Permitidos para águas subterrâneas, pela portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011 – Ministério da Saúde

\*\*Valores não estabelecidos pelo Ministério da Saúde, porém, importantes para avaliação geral.

C.E (Condutividade Elétrica)

S.T.D (Sólidos Totais Dissolvidos)

O.D (Oxigênio Dissolvido)

upH (unidade Potencial Hidrogênico)

UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez)

A (Ausência)

UFC (Unidade Formadora de Colônias) - As colônias foram calculadas pelo fator de correção 80, onde é dada pela equação  $k = p.n$  ( $p$  = fator de correção no valor 80,  $n$  = número de colônias e  $k$  = colônias confirmadas).

Tabela 5. Resultados da 2ª campanha das análises físico-químicas e microbiológicas dos poços da área de estudo – cidade de Salvaterra

PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS																					
Parâmetros	VMP	P1-G	P2-R	P3-R	P4-IG	P5-R	P6-R	P8-R	P9-IG	P10-R	P11-R	P12-R	P13-IG	P14-IG	P15-R	P16-R	P17-R	P18-IG	P19-R	P20-R	Média
**Temperatura (°C)	--	28	30	30	29	28	31	32	30	30	29	29	30	33	32	29	30	29	30	30	29,9
*pH (upH)	6,0-9,5	5,3	5,1	4,8	5,5	5,5	5,5	4,7	5,5	4,7	4,6	4,1	4,6	5,5	4,4	5,9	4,9	4,4	5,0	4,5	4,98
**C.E (µS/cm-1)	--	50,2	46,2	45,8	68,8	50,2	47,0	69,6	69,9	69,5	58,8	68,3	70	70,5	70,7	71,5	72	73,3	73,5	73,1	64,15
*Turbidez (UNT)	5,0	3,90	0,60	0,65	2,84	0,60	3,0	1,06	0,40	0,65	0,70	0,43	1,86	0,92	0,64	2,34	0,66	1,95	0,40	0,6	1,27
*S.T.D (mg/L)	1000	34,1	31,4	31,1	46,8	34,1	31,9	47,3	47,5	47,2	40,0	46,4	47,6	47,9	48,1	48,6	48,9	49,8	50,0	49,7	43,6
**O.D (mg/L)	--	8,5	7,95	8,0	7,5	8,0	9,0	7,2	7,4	6,5	6,25	7,1	8,5	7,5	7,15	6,85	6,5	8,0	6,0	7,0	7,41
*Dureza total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	500	80	90	50	50	20	250	50	100	20	110	115	152	140	88	40	20	116	152	150	94,36
**Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	--	40,3	35,1	45,2	50,5	40,0	44,2	50,7	40,6	40,8	32,6	30,6	22,3	38	34,12	60	35,8	30,59	22,35	22,5	37,70
*Amônia (mg/L N-NH <sub>3</sub> )	1,5	0,14	0,12	0,13	0,60	0,18	0,24	0,30	0,30	0,18	0,21	0,18	0,24	0,18	0,24	0,12	0,18	0,30	0,24	0,18	0,22
*Nitrato (mg/L N-NO <sup>3-</sup> )	10	17,5	3	7,0	0,0	10	3	15,0	22,0	13,5	13,0	40,0	40,0	30,0	14,5	0,0	0,0	18,8	19,4	25,0	15,35
*Cloroeto (mg/L Cl)	250	90	120	150	120	90	80	70	60	100	60	60	110	90	80	70	200	80	150	180	103,15
*Ferro (mg/L Fe Total)	0,3	0,25	0,25	0,25	3,5	0,25	4,5	0,25	0,25	0,0	0,15	0,0	0,25	0,25	0,0	0,0	0,0	0,25	0,15	0,15	0,56
PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS																					
Parâmetros	*VMP	P1-G	P2-R	P3-R	P4-IG	P5-R	P6-R	P8-R	P9-IG	P10-R	P11-R	P12-R	P13-IG	P14-IG	P15-R	P16-R	P17-R	P18-IG	P19-R	P20-R	
Coliformes Fecais/ <i>E. Coli</i> (UFC/100mL)	A	A	A	A	A	A	A	2.800	A	A	A	A	A	560	A	3.200	A	A	A	160	
Coliformes Totais (UFC/100mL)	A	A	A	A	A	A	A	5.360	400	80	320	80	A	880	A	6.160	400	A	A	320	

\*Valores Máximos Permitidos para águas subterrâneas, pela portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011 – Ministério da Saúde

\*\*Valores não estabelecidos pelo Ministério da Saúde, porém, importantes para avaliação geral.

C.E (Condutividade Elétrica)

S.T.D (Sólidos Totais Dissolvidos)

O.D (Oxigênio Dissolvido)

upH (unidade Potencial Hidrogênico)

UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez)

A (Ausência)

UFC (Unidade Formadora de Colônias) - As colônias foram calculadas pelo fator de correção 80, onde é dada pela equação  $k = p.n$  ( $p$  = fator de correção no valor 80,  $n$  = número de colônias e  $k$  = colônias confirmada).

## 5.2.2 Interpretação dos resultados das análises físico-químicas e microbiológicas

Os resultados obtidos das análises físico-químicas e microbiológicas das águas subterrâneas dos 20 poços estudados observados nas tabelas 4 e 5 citados acima foram avaliados comparando-se com os valores máximos permitidos (VMP) recomendados pela Portaria nº 2.914 de 2011 do Ministério da Saúde do Brasil. Em seguida, alguns parâmetros que não estão previstos pela Portaria 2914/11 como, temperatura, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e alcalinidade, foram correlacionados com os parâmetros analisados, visando perceber as possíveis relações existentes entre eles.

Para uma melhor interpretação foram confeccionados gráficos e mapas de isovalores e isoteores dos parâmetros analisados na área estudada, com o recurso dos softwares Grapher 9.0 e Surfer 10.0, a partir dos resultados físico-químicos de 20 amostras nas duas campanhas de amostragem (abril e novembro). Os gráficos permitiram uma interpretação analítica dos resultados enquanto os mapas confeccionados permitiram estudar a distribuição espacial do comportamento de cada parâmetro, e determinar as áreas zonadas de cada período sazonal, classificadas como: 1) área amarela com concentrações baixas; 2) área verde com concentrações intermediárias e 3) área vermelha com concentrações altas. Esses recursos tecnológicos ajudaram no entendimento do comportamento dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, e suas relações com as atividades climáticas e dos meios contaminantes na região.

### 5.2.2.1 Análises Físico-químicas

- Temperatura

A temperatura da água tem importância por sua influência sobre outras propriedades: acelera reações químicas, reduz a solubilidade dos gases como CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, acentua a sensação de sabor e odor, etc. (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 2002).

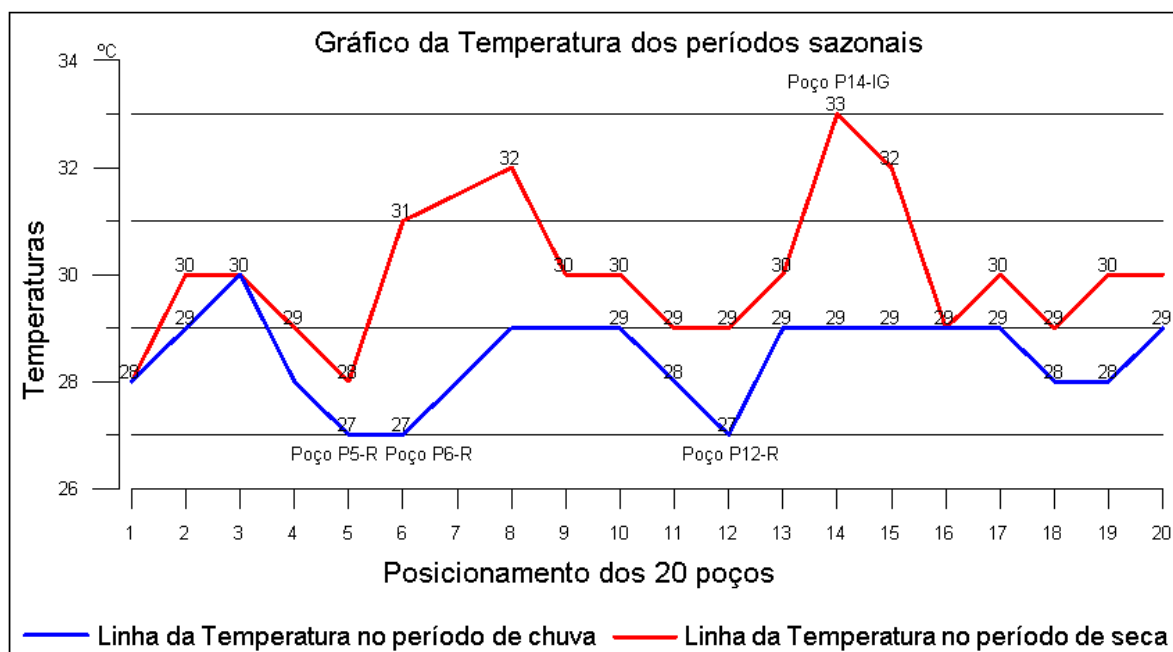
Segundo Bahia (1997), a temperatura influencia também na velocidade das reações químicas e bioquímicas que se processam no meio (temperaturas acima de 33°C aceleram as reações favorecendo o desenvolvimento dos micro-organismos).

As temperaturas medidas nos poços estudados variaram de 27 a 30°C e 28 a 33°C, com médias de 28,5°C e 29,9°C nos períodos sazonais de chuva e seca

respectivamente. Essa variação pode ser justificada de acordo com o clima da região nos dois períodos sazonais, visto que os níveis estáticos da água verificados nos poços estavam muito próximos à superfície do terreno, e que a coleta das amostragens tinham tendências de variações nas temperaturas na medida em que o clima aumentava no decorrer das coletas de água.

No gráfico 2 observa-se que as águas analisadas, apresentaram temperaturas máximas de 33°C no poço P14-IG e mínimas de 27°C nos poços P5-R, P6-R e P12-R, de acordo com as amostras coletadas nos períodos de seca e chuva respectivamente, coincidindo com as características climáticas da região da ilha de Marajó que tem a média de 26°C que variam de 18 a 33°C, evidenciando um clima quente e úmido, de baixas amplitudes térmicas, conforme citado no item 4.4.1. Vale ressaltar que, a linha da temperatura no período de chuva medidos nos 20 poços *in situ* apresentaram valores mais baixos com relação à linha de temperatura no período de seca, fica então subtendido que, o clima nos dois períodos sazonais influencia na temperatura das águas subterrâneas.

Gráfico 2. Resultado das temperaturas das amostras de águas coletadas nos períodos de chuva e seca da área estudada.



Fonte: Do autor



- Potencial Hidrogênico - pH

O potencial hidrogênico é usado para definir a intensidade de uma condição ácida, ou alcalina de uma solução. As águas consideradas ácidas apresentam valores abaixo de 7,0, enquanto as águas alcalinas apresentam valores de pH acima de 7,0.

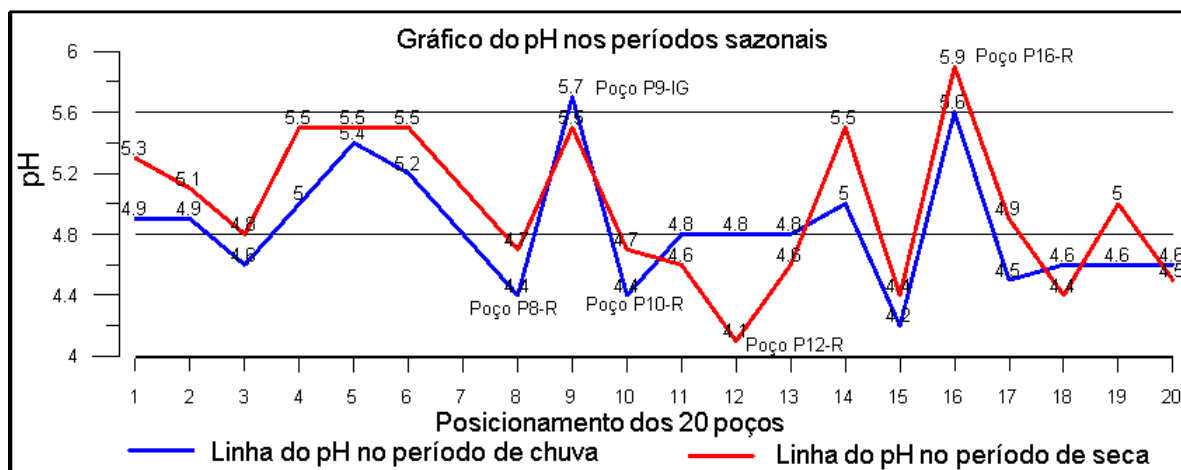
A Portaria nº 2.914/2011 do MS considera que o pH em águas doces seja recomendado para consumo humano, obtendo os valores no intervalo de 6,0 a 9,5.

Considerando as análises do pH realizada nos períodos sazonais (chuva e seca) todos os valores foram encontrados abaixo do recomendado pela portaria 2914/2011 do MS, variando entre a mínima de 4,4 e a máxima de 5,7, com uma média de 4,8 no período de chuva. Enquanto no período de seca, mínima de 4,1 e máxima de 5,9 com média de 4,98. Neste contexto, pode-se dizer que as águas subterrâneas dos 20 poços utilizados pela população de Salvaterra são consideradas ácidas.

O gráfico 3 mostra a variação dos valores de pH das águas dos poços nos períodos de chuva e de seca. No período de chuva obteve-se o maior pico observado no poço P9-IG com valor máximo de 5,7, enquanto nos poços P8-R e P10-R apresentam os menores valores de pH 4,4. No período de seca tem-se o maior pico no poço P16-R com valor máximo de pH 5,9, já o valor mais baixo encontra-se no poço P12-R, com pH de 4,1. Pela análise do gráfico percebe-se que os dois períodos sazonais apresentam médias que podem ser consideradas bem próximas, dentro de uma variância dos dois períodos (chuva e seca), que são coincidentes e de quase mesma amplitude, isto revela que o pH das águas subterrâneas de Salvaterra, não obtiveram muitas mudanças dos seus valores máximos e mínimos nos dois períodos observados (abril e novembro).

Em termo geral nota-se que no período de seca, os valores de pH são discretamente mais alto em relação ao período de chuva, com exceção dos poços P9-IG, P11-R, P12-R, P13-IG e P18-IG, entretanto a linha do pH no período de chuva, mostra teores relativamente baixos e, portanto com características mais ácidas, talvez esta relação possa ser explicado com o aumento da pluviometria na região que é intensa, aumentando o nível estático e acidificando mais a água dos aquíferos.

Gráfico 3. Variação dos valores de pH nos períodos de chuva e de seca



Fonte: Do autor

A figura 17 mostra o mapa de isovalores de pH obtido nos dois períodos sazonais na área de estudo, observa-se na área zonada amarela no período de chuva, que os valores baixos (<4,5) se concentram em 3 direções: NE (representados pelos poços P10-R e P15-R); SW (representado pelo poço P17-R) e NW (pelo poço P8-R). A área verde apresenta um comportamento intermediário com valores (>4,5 a 5,4) encontram-se distribuído em toda área do mapa. A área zonada vermelha se concentra em dois pontos distintos com valores >5,4 a 5,7 representados pelos poços P9-IG e P16-R, este último localizado próximo ao rio Paracauari no sentido NE do mapa.

Quando se analisa o mapa de isovalores no período de seca, a área de zoneamento amarelo com valores <4,5 se direciona para o centro do mapa, onde estão localizados os poços P12-R, P15-R, P18-IG e P20-R. Este zoneamento centralizado localiza-se próximo a área do cemitério da cidade, neste ponto é importante observar que o regime de fluxo da água, tende se centralizar em direção ao poço P12-R, recebendo descarga de todos os agentes poluidores. A área verde se expande em todo mapa com valores intermediários de pH >4,5 a 5,5. Já a área de zoneamento vermelho se concentra nas bordas do lado direito do mapa em direções NE e SE e apresentam valores mais altos com pH >5,5 a 5,9, este último observado no poço P16-R.

Em geral, quando se observa o comportamento das isolinhas nos dois períodos sazonais, os valores de pH aumentam em direção as águas de superfícies, interpolando os poço P11-R, P15-R e P16-R de direção NE-SW do

mapa (seção A-B) e os poços P12-R e P16-R (seção C-D). Vale salientar que, essas águas superficiais apresentam pH tendendo a neutralidade.

Os resultados das análises do pH encontrados nesta pesquisa, são parecidos em comparação com os resultados obtido no trabalho realizado por Bezerra (1979) que analisou a qualidade da água no município de Salvaterra, que obteve valores máximos de pH 6,0 e mínimo 5,1, constatando que as águas subterrâneas da região apresentam teores de pH levemente ácida.

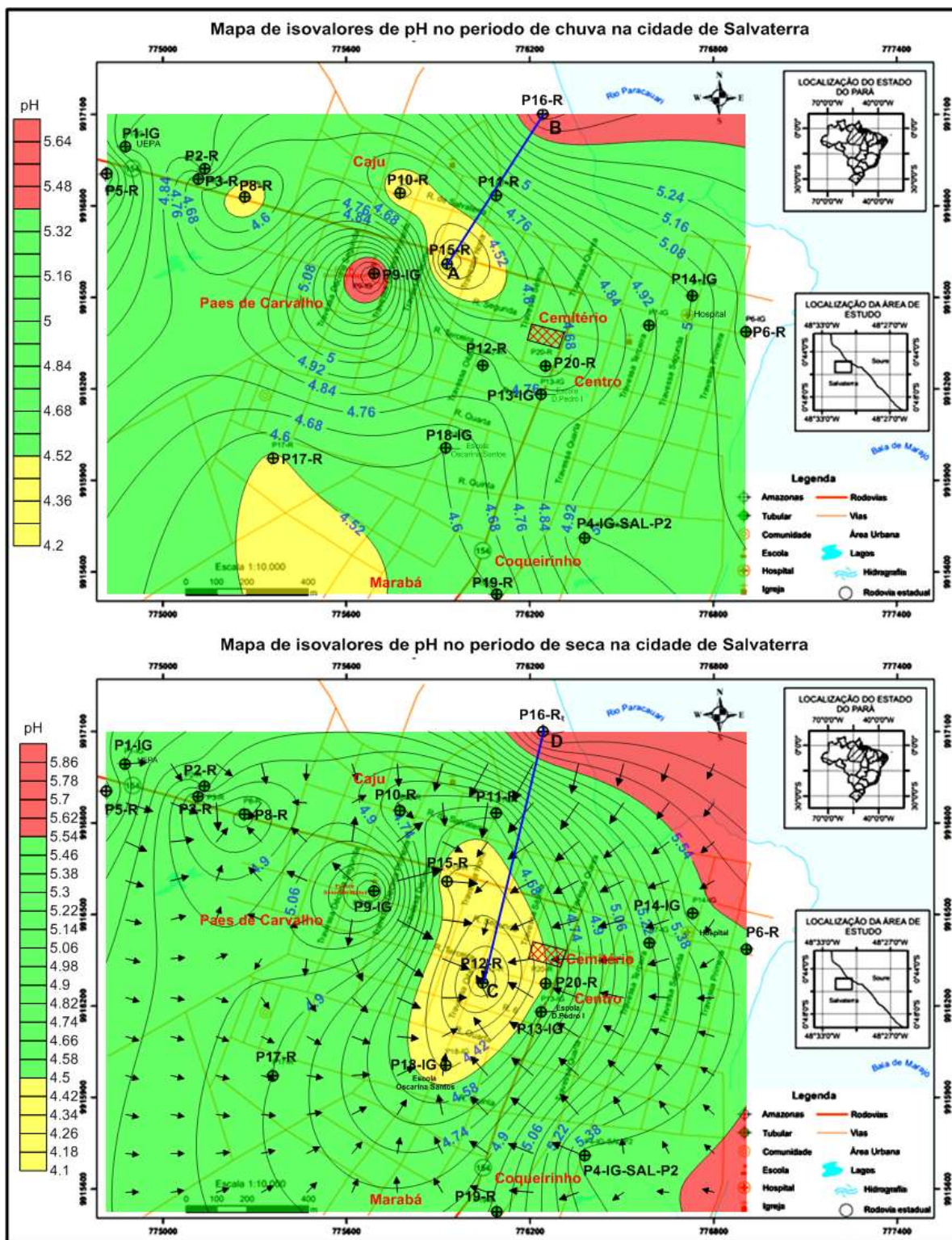
Segundo Matta (2002), apesar de todos os valores de pH se encontrarem abaixo do recomendado legalmente pela portaria, não chega a ser uma restrição, já que esses valores refletem apenas a acidez regional característica das águas amazônicas. Porém esses valores baixos podem acarretar corrosão das tubulações dos poços, doença como gastrite e afins no organismo humano nos usos gerais dessas águas.

Os valores de pH, quando ácidos se devem a uma maior quantidade de matéria orgânica presente na água, que durante o processo de decomposição, leva à formação de ácidos orgânicos. Em águas naturais a dissociação de íons  $H^+$  provenientes de ácidos carbônicos podem reduzir o valor do pH das águas. Devido à grande quantidade de fatores que podem influenciar a mudança do potencial hidrogênico (pH), essa variável torna-se difícil de ser interpretada, mas mesmo assim, pode ser considerada uma das variáveis mais importantes na determinação da qualidade das águas (ESTEVES, 1988).

Segundo Tancredi (1996), os baixos valores de pH relacionam-se à dissolução do  $CO_2$  livre, principalmente no solo, e sendo baixa a concentração de cálcio, o equilíbrio do sistema carbonato tende para  $H_2CO_3$ , estável em pH menores que 5. O íon hidrogênio tem grande importância no ataque aos minerais e rochas pelas águas naturais. As principais fontes do íon hidrogênio são de reações de hidrólise, dissociações de soluções ácidas, como no sistema  $CO_2 + H_2O$ , e reações de oxidação, como as de compostos de enxofre. Nos sistemas de águas naturais onde a produção do íon  $H^+$  é mais rápida que a taxa pela qual pode reagir com os minerais disponíveis, o pH pode permanecer mais ácido que aquele que pode ser atingido em equilíbrio no sistema  $CO_2 + H_2O$ .

Pereira (2010) relata que a acidez da água, está relacionada com o aumento da profundidade dos poços, onde o oxigênio é consumido pelas reações com a matéria orgânica e o  $CO_2$  passa a ser o gás dissolvido predominante.

Figura 17. Mapa de isovalores do pH estabelecido nos períodos sazonais da área estudada



Fonte: Do autor

- Condutividade Elétrica - CE

A condutividade elétrica (CE) depende da quantidade de sais dissolvidos na água e é aproximadamente proporcional a sua quantidade. Sua determinação

permite obter uma estimativa rápida do conteúdo de sólidos de uma amostra (Richter; Azevedo Netto, 2002). A unidade usada na medida de condutividade elétrica neste trabalho foi o micro-siemens por centímetro ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) do Sistema Internacional de Unidades, e não apresentam valores máximos permitidos pela portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, porém, são importantes para avaliação geral da qualidade de água.

Os resultados obtidos da condutividade elétrica das águas tiveram valores de no mínimo de 247,2 e máximo  $260,7\mu\text{S cm}^{-1}$ , com média de 255,1 na época de chuva, observados nos poços P14-IG e P4-IG-SAL-P2 respectivamente, e no período de estiagem os resultados obtidos foram 45,8 e 73,5, com média de  $64,1\mu\text{S cm}^{-1}$ , observados nos poços P3-R e P19-R respectivamente.

A análise da figura 18 mostra os dois períodos sazonais, onde as maiores concentrações de CE encontram-se na área de zoneamento vermelho localizado nas regiões N e SE do mapa de isovalores do período de chuva, verificado nos poços P4-IG-SAL-P2 (COSANPA), P10-R e P11-R, abrangendo valores que variam de 258,5 a um pouco mais que  $260\mu\text{S cm}^{-1}$ . Enquanto que, os menores valores se concentram na área amarela do mapa, variando em valores de 247,5 a  $250,5\mu\text{S cm}^{-1}$ , observados nos poços P13-IG, P14-IG e P19-R. A área verde é a concentração intermediária que variam valores de 250,5 a  $258,5\mu\text{S cm}^{-1}$  e encontram-se distribuída em toda porção do mapa.

No período de seca, se observou que as maiores concentrações de CE que variam de 69,0 a  $75,0\mu\text{S cm}^{-1}$ , encontram-se na porção central do mapa de isovalores representada pela área vermelha, observa-se aqui a dispersão das isolinhas se convergindo nas porções laterais do mapa, que vai diminuindo de valores nas direções NW e SE, representado pela área de zoneamento amarelo do mapa, com variações em torno de 45,0 a  $51,0\mu\text{S cm}^{-1}$ , distribuídas entre os poços P1-IG, P2-R, P3-R, P5-R e P6-R, enquanto que a porção intermediária representada pela área verde distribuída aleatória encontra-se com valores que variam de  $51,0\mu\text{S cm}^{-1}$  a  $69,0\mu\text{S cm}^{-1}$ .

Quando se observa o fluxo da água do mapa nos dois períodos sazonais, as concentrações de CE variaram muito com o tempo, onde os valores altos acompanharam a dinâmica de recarga (área vermelha), e descarregando nas zonas de menores valores de condutividade (área amarela).

Com relação à condutividade elétrica podemos observar que entre o período chuvoso e o seco, houve grandes variações desses valores, ressaltando a alta variação no período de chuva e a baixa variação no período seco, provavelmente estas variações de valores estejam relacionadas com o fator climático da região, pois dados do INMET (2016), os municípios de Soure e Salvaterra, obtiveram uma pluviosidade de 125 mm de chuva no mês de abril e 1,0mm de chuva no mês de novembro, meses esses que foram realizadas as duas campanhas de medidas e coletas das amostragens.

Esses valores altos da condutividade no período de chuva podem ser interpretados através da percolação das águas pluviométricas no solo do local, lixiviando os elementos químicos dos minerais presentes nas camadas até as águas subterrâneas, que poderia acarretar no aumento dos sólidos totais dissolvidos nestas águas. Outra interpretação é que os valores de CE podem ter aumentado devido ao aumento da concentração de poluentes no período de chuva, visto que os níveis estáticos das águas subterrâneas ficam mais próximos às fossas sépticas e aos esgotos domésticos.

Para as águas subterrâneas a análise desse parâmetro é de fundamental importância, uma vez que a condutividade mede o grau de mineralização iônica das águas que por sua vez está diretamente associada a potabilidade para consumo humano, e que a salinidade das águas superficiais refletem nos valores da condutividade elétrica nas águas subterrâneas (MATTA, 2002).

Segundo o Ministério da Saúde, nas fontes de águas naturais são encontrados teores de condutividade na faixa de 10 a 100  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , já em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar até 1.000  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (BRASIL, 2006).

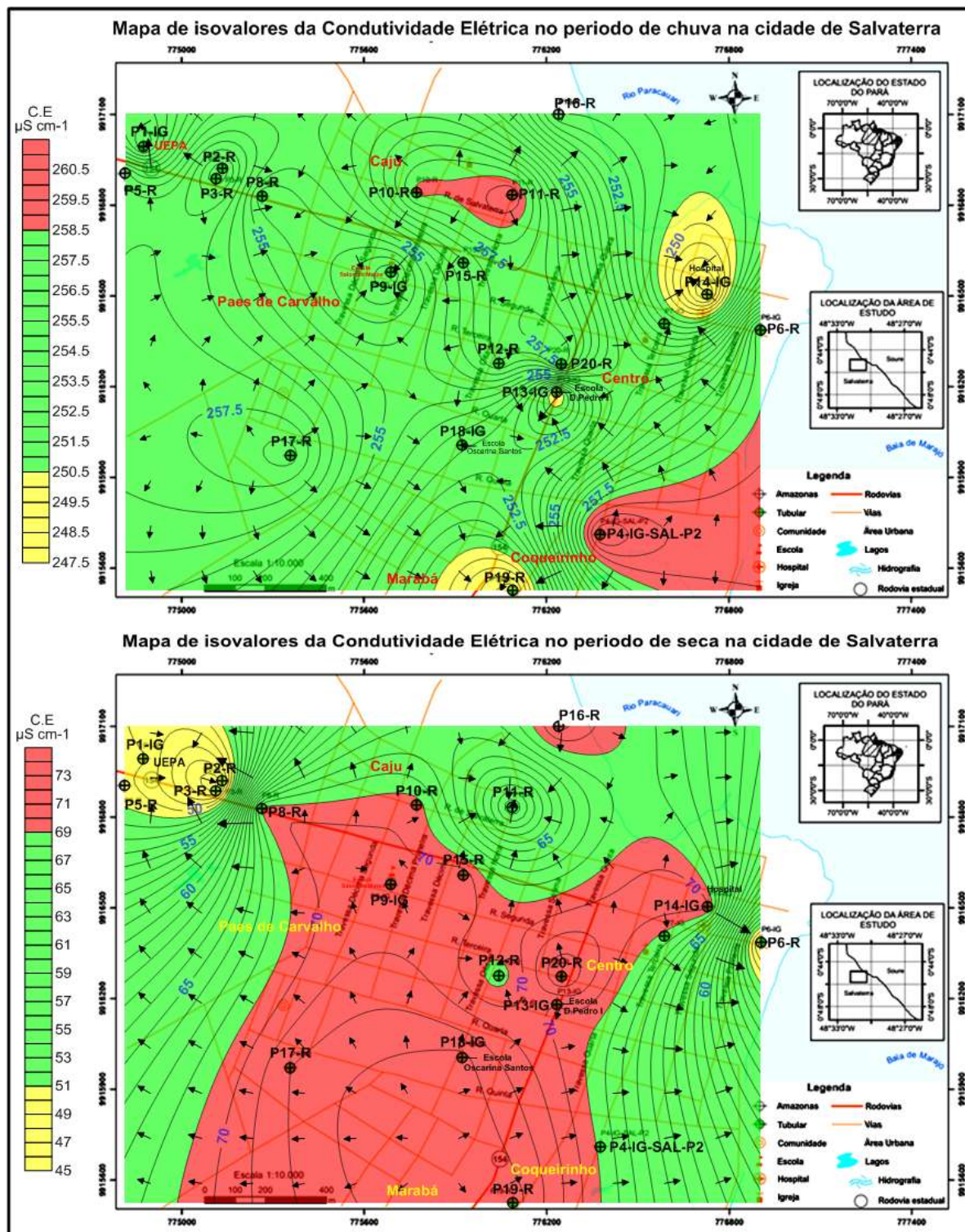
Sendo assim, os valores da C.E no período de chuva citados acima, podem ser indicativos de ambientes com certo grau de poluição.

A condutividade elétrica da água está associada diretamente à concentração de substâncias dissolvidas em seu meio, e varia com a temperatura, mobilidade e valência dos íons presentes (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1976, apud BAIA, 1997).

Varnier e Hirata (2002) relatam em seu trabalho intitulado: Contaminação da água subterrânea por nitrato no Parque Ecológico do Tietê – São Paulo, que o aumento dos valores de CE na água subterrânea reflete transferência dos

constituintes da fossa para o aquífero, acompanhando a dinâmica de recarga e chuvas.

Figura 18. Mapa de isovalores da Condutividade Elétrica da cidade de Salvaterra



Fonte: Do autor

- Turbidez

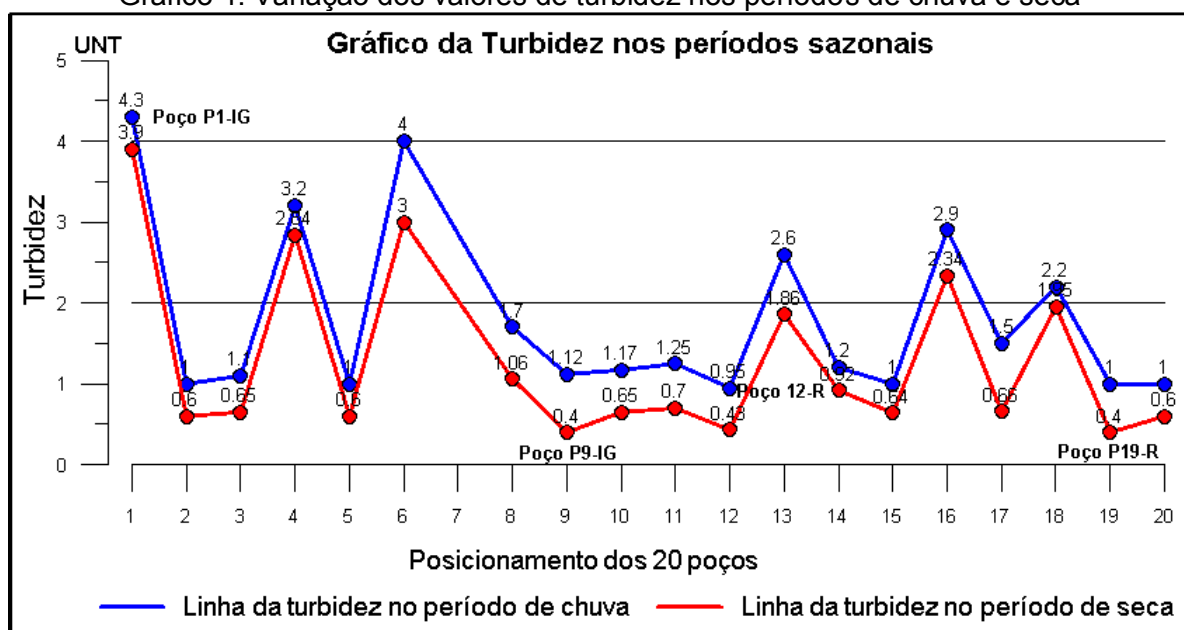
Segundo Richter e Azevedo Netto (2002), a turbidez é uma característica da água devida à presença de partículas suspensas na água com tamanho variando desde suspensões grosseiras aos coloides, dependendo do grau de turbulência. A turbidez pode ser causada por uma variedade de materiais: partículas de argila ou lodo, descarga de esgoto doméstico ou a presença de um grande número de micro-organismos.

A Portaria nº 2914/11 estabelece que em até 95,0% das amostras analisadas o VMP para turbidez da água deve ser de 1,0 UNT. Nos 5,0% restantes é permitido até 5,0 UNT (BRASIL, 2011).

Quando se verificou a turbidez acima de 1,0 UNT, encontrou-se elevado percentual de amostras fora do recomendado com 68,4% no período de chuva, e baixo percentual no período de seca com 36,8% das amostras. Considerando os dois períodos sazonais, em nenhuma das amostras foram detectados valores que ultrapassassem o VMP de 5,0 UNT, permitido pela portaria do Ministério da Saúde.

A turbidez da água dos poços analisados no período da chuva variou de 0,95 (poço P12-R) a 4,3 UNT (poço P1-IG), com média de 1,80 UNT, e no período de seca variaram de 0,4 (poços P9-IG e P19-R) a 3,9 UNT (poço P1-IG) com média de 1,27 UNT (gráfico 4). Logo se observa que as águas analisadas dos poços encontram-se dentro dos padrões de potabilidade para consumo humano.

Gráfico 4. Variação dos valores de turbidez nos períodos de chuva e seca

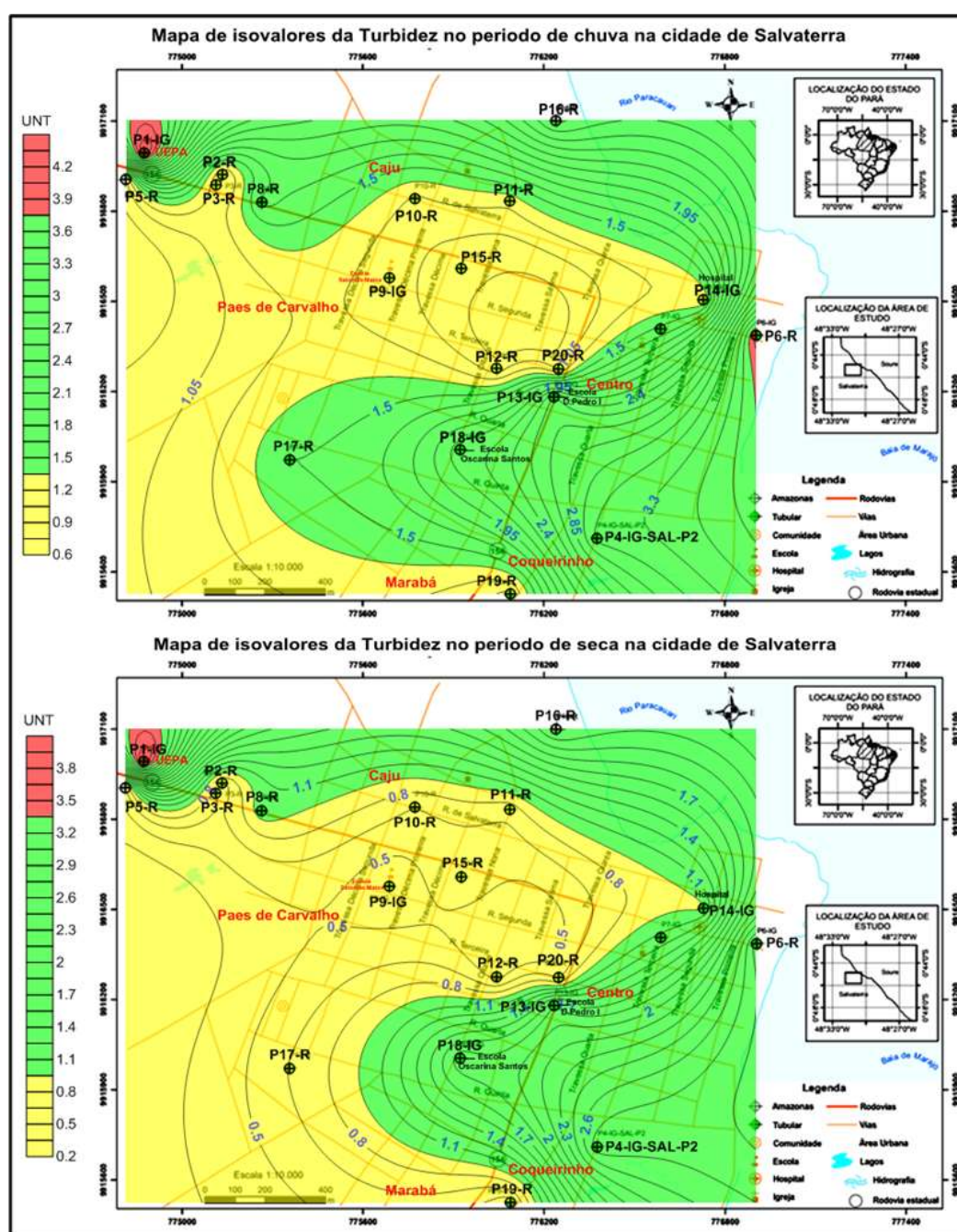


Fonte: Do autor



Verificando a figura 19, se observa que na distribuição areal do mapa de turbidez, os valores mais baixos de 0,4 a 1,25 UNT abrangem uma concentração maior representada pela área amarela no mapa, e vai aumentando em direção à baía de Marajó e ao rio Paracauari, representado pela área verde. Provavelmente este aumento se dá pela influência dessas águas superficiais. Pode-se confirmar que as águas subterrâneas de Salvaterra apresentam boa qualidade estética, pois as análises físicas dessas águas afirmam que os valores não excederam o padrão de 5 UNT permitido pelo Ministério Saúde.

Figura 19. Mapa de isovalores da Turbidez da cidade de Salvaterra



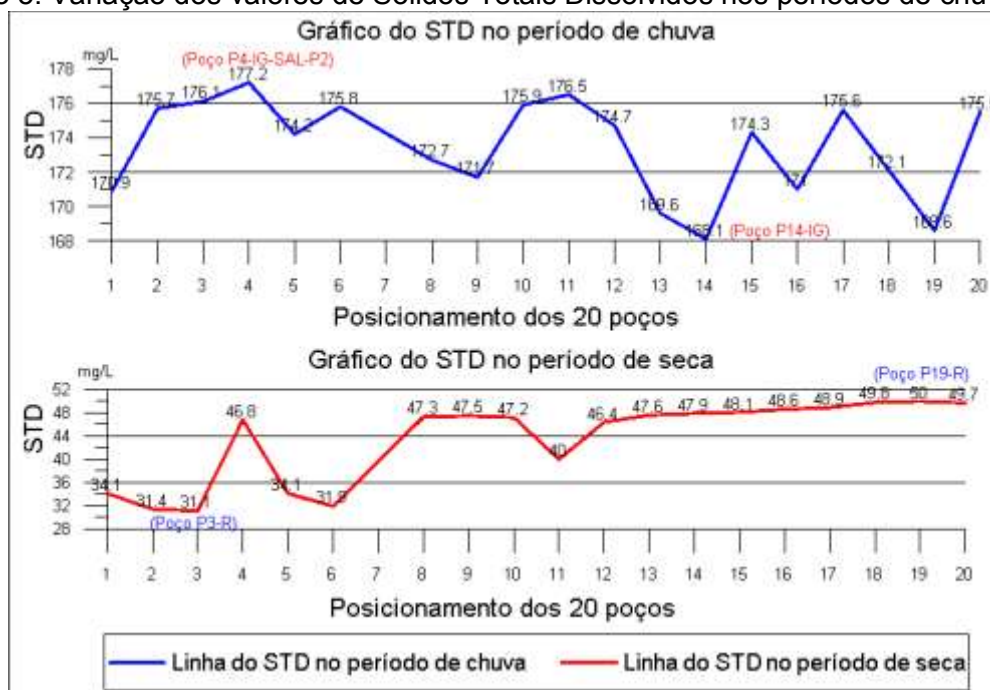
Fonte: Do autor

- Sólidos Totais Dissolvidos – S.T.D

Quanto aos S.T.D, nenhuma das amostras analisadas ultrapassou o valor máximo de 1.000 mg/L estabelecido pela Portaria nº 2.914/11 de potabilidade do Ministério da Saúde. Os valores obtidos tiveram como mínimas de 168,1 mg/L (poço P14-IG) e 31,1 mg/L (poço P3-R) a máximas de 177,2 mg/L (poço P4-IG-SAL-P2) e 50,0 mg/L (poço P19-R), com médias de 173,4 a 43,6 mg/L nos períodos de chuva e seca, respectivamente (Gráfico 5). Os S.T.D representam a concentração de todo o material dissolvido na água, seja ele de natureza iônica ou coloidal.

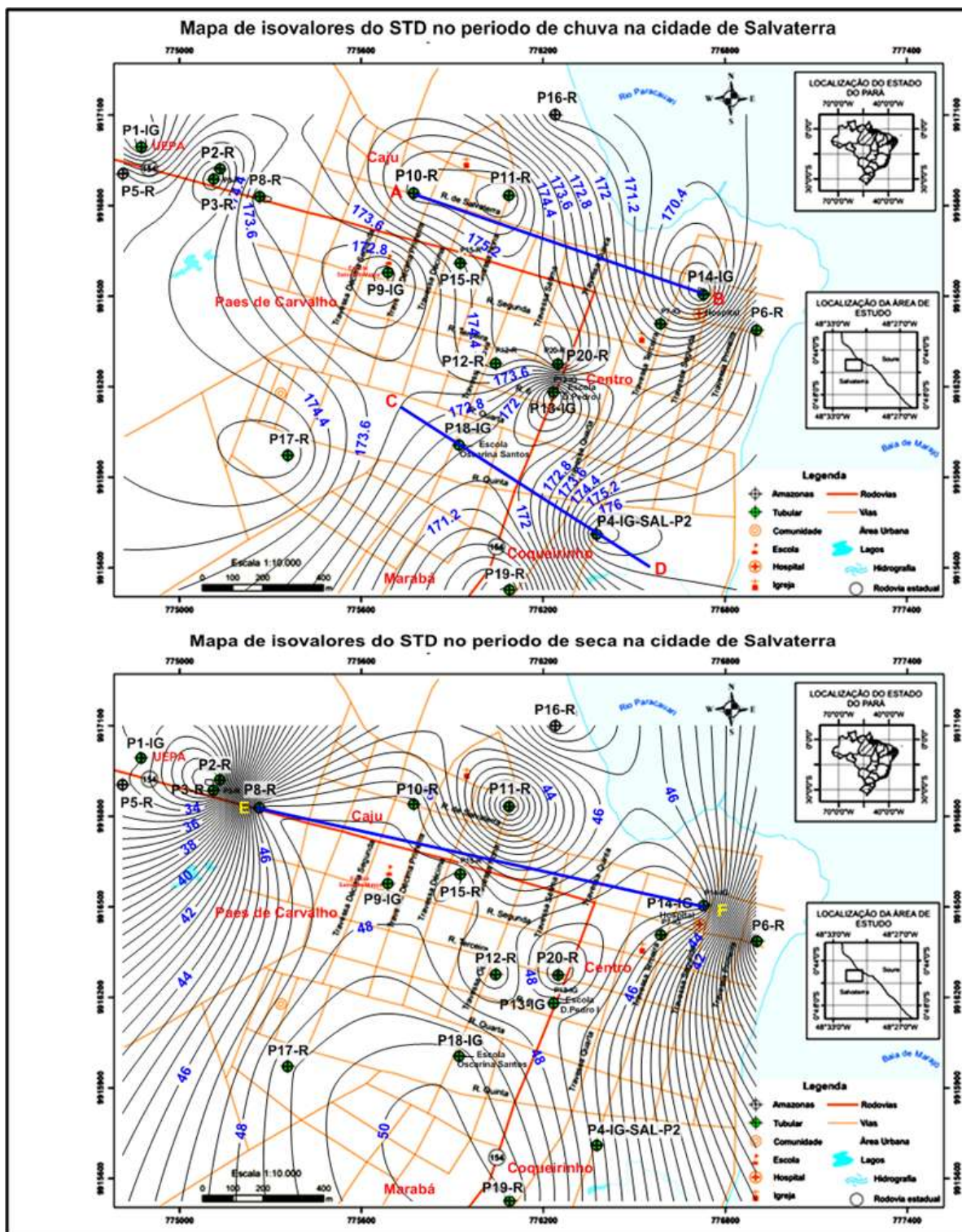
A figura 20 demonstra o comportamento dos sólidos totais dissolvidos nos períodos de chuva e seca, observa-se nas seções A-B (poços P10-R e P14-IG), C-D (poços P18-IG e P4-IG-SAL-P2/COSANPA) e E-F (poços P8-R e P14-IG) se apresentam com direções NW-SE do mapa, onde as isolinhas diminuem de valores partindo da montante em direção à jusante do mapa (rio Paracauari e a baía de Marajó), pois aqui reflete a situação topográfica da área estudada, onde os maiores valores de S.T.D se encontram em níveis topográficos mais altos. Esse comportamento mostrou-se muito diferente com relação aos dois períodos sazonais, com médias de 173,4mg/L (chuva - abril) e 43,6mg/L (seca - novembro), uma variação muito grande em se tratando no intervalo de sete meses.

Gráfico 5. Variação dos valores de Sólidos Totais Dissolvidos nos períodos de chuva e seca



Fonte: Do autor

Figura 20. Mapa de isovalores dos Sólidos Totais Dissolvidos (STD) de Salvaterra



Fonte: Do autor

- Oxigênio Dissolvido – OD

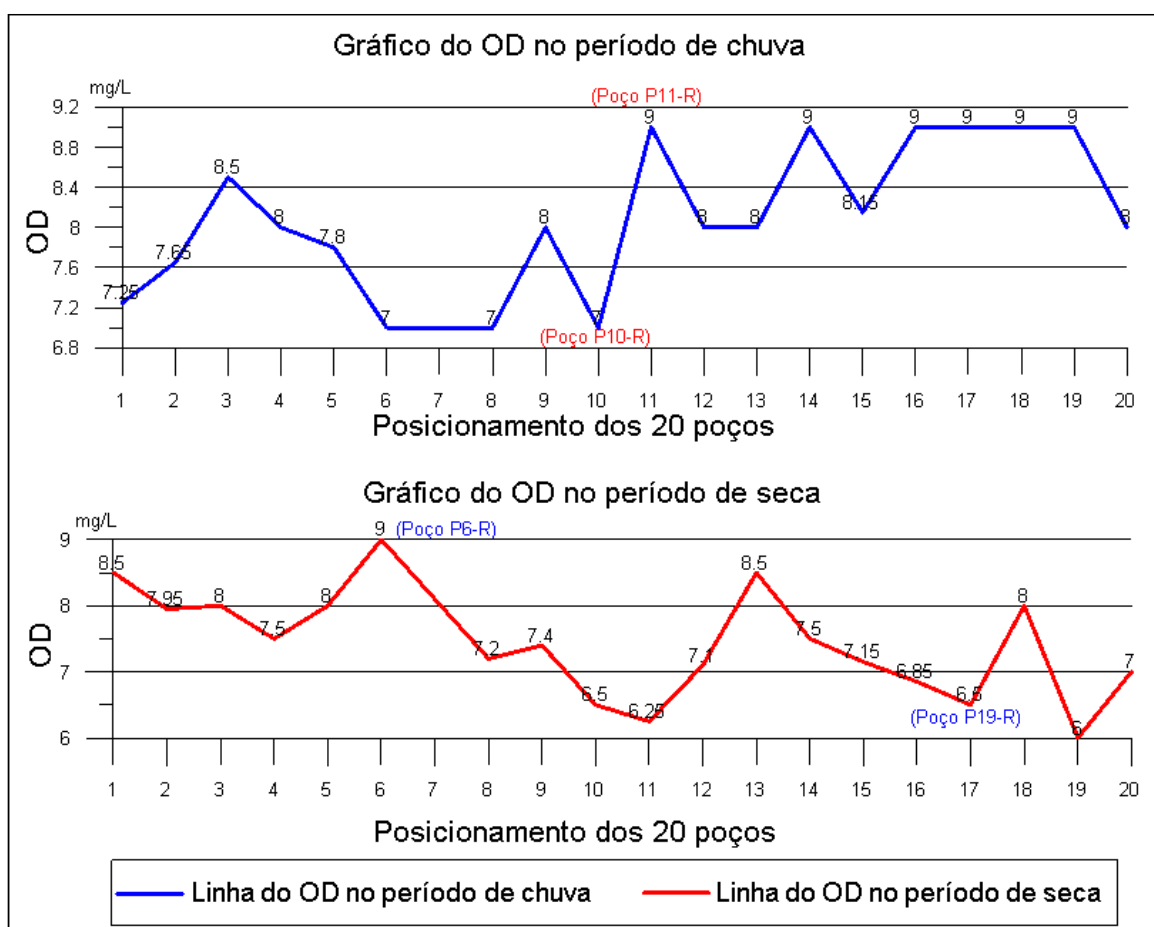
A determinação do teor de OD é um dos ensaios mais importantes no controle de qualidade da água (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 2002).

Segundo Fiorucci e Filho (2005), em águas subterrâneas, ocorre depleção do oxigênio, visto que não existe contato com o ar e que o  $O_2$  é consumido na decomposição de material biológico abundante. Sob tais condições anaeróbicas, os elementos químicos existem em suas formas mais reduzidas: carbono como metano ( $CH_4$ ); enxofre como gás sulfídrico ( $H_2S$ ); nitrogênio como amônia não ionizável ( $NH_3$ ) e amônia ( $NH_4^+$ ) e o ferro como  $Fe^{2+}$  solúvel.

BRASIL (2005), através da resolução do CONAMA nº 357/2005 determina que a água doce seja  $\geq 5,0$  mg/L de  $O_2$ .

De acordo com a resolução citada acima, as análises dos parâmetros de oxigênio dissolvido das amostras de água, estão de acordo com os valores permitidos pela legislação vigente, pois seus teores obtiveram a máxima de 9,0 mg/L (poço P11-R) e mínima de 7,0 mg/L (poço P10-R) com média de 8,1 mg/L de  $O_2$  no período de chuva. Enquanto no período de seca, a máxima chegou a 9,0 mg/L (poço P6-R) e a mínima de 6,0 mg/L (poço P19-R) com média de 7,41 mg/L de  $O_2$  (Gráfico 6).

Gráfico 6. Variação dos valores de Oxigênio Dissolvido (OD) nos períodos de chuva e seca



Fonte: Do autor

Pela análise do gráfico 6, percebe-se que os dois períodos sazonais apresentam médias que podem ser consideradas bem próximas, e máximas com mesmos valores, porém os comportamentos da variância dos dois períodos sazonais não coincidem, ocorrendo uma inversão da variação do gráfico, isso é possível observar no poço P11-R que varia do valor máximo de 9,0 mg/L no período de chuva para o valor de 6,25 mg/L no período de seca.

Esses valores >5,0 mg/L são característicos das águas naturais da região de Marajó, tanto nas águas subterrâneas, quanto nas águas superficiais (rio Paracauari e baía de Marajó).

A figura 21 caracteriza uma distribuição areal das isolinhas de OD na região em foco, observado no mapa de isoteores de oxigênio dissolvido nos períodos de chuva e de seca da cidade de Salvaterra.

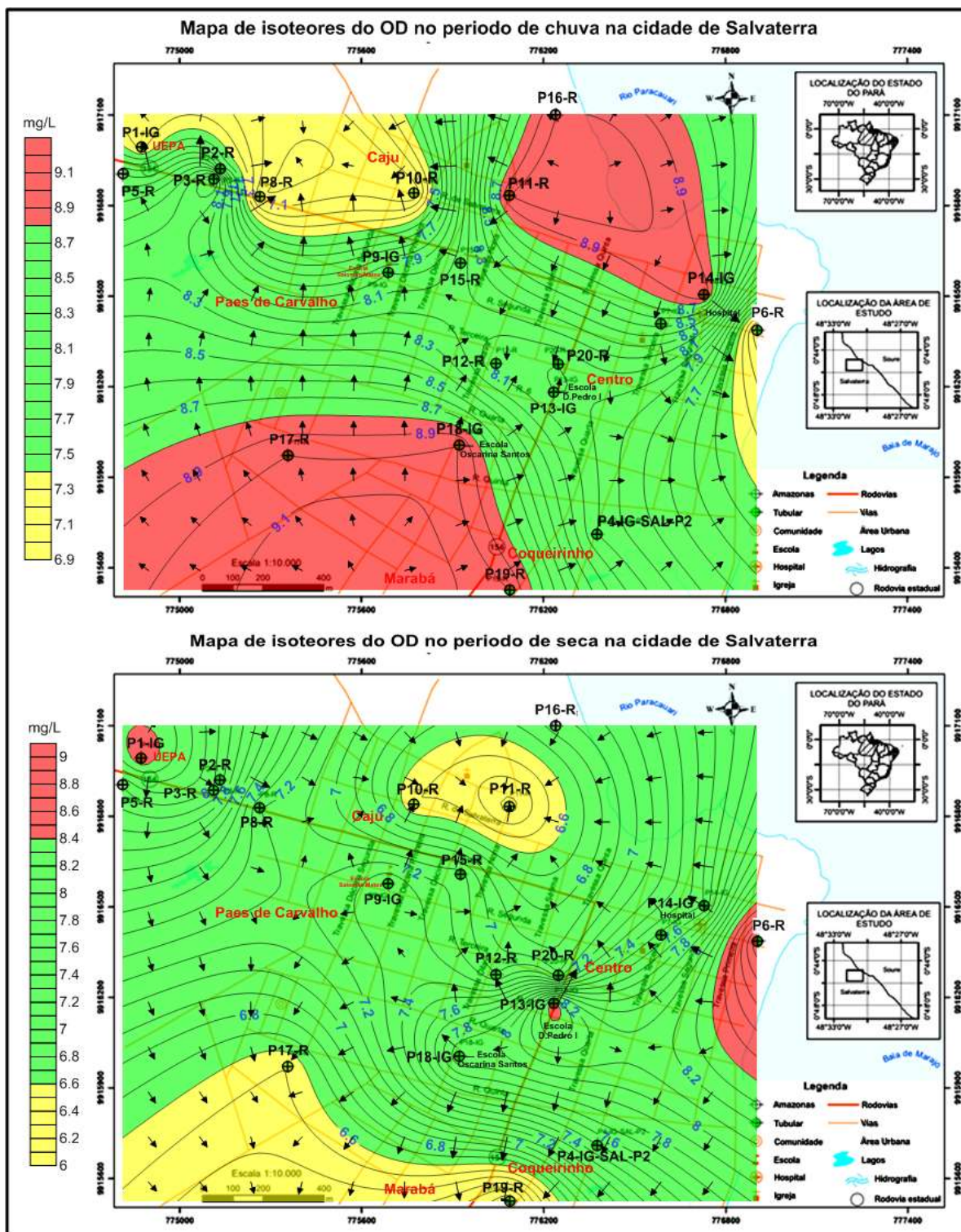
No período de chuva obtiveram-se os maiores valores observados nas áreas vermelhas do mapa representado pelos poços (P11-R, P14-IG e P16-R) localizado na porção NE, e pelos poços (P17-R, P18-IG e P19-R) localizados na porção SW do mapa. E os menores valores se concentraram nas regiões NW e SE (áreas amarela do mapa) representando pelos poços P1-IG, P8-R, P10-R e P6-R.

No período de seca ocorreu uma inversão nas áreas zoneadas, onde as maiores concentrações de OD se localizaram na porção NW e SE (área vermelha) do mapa, representado pelos poços P1-IG e P6-R, respectivamente. E os menores valores de OD representado pela área amarela, se concentram na porção NE e SW do mapa, constituído pelos poços P10-R, P11-R e P17-R e P19-R respectivamente.

Quando se observa no mapa de isoteores de oxigênio dissolvido, é nítido o comportamento do fluxo da água nos dois períodos sazonais, onde a descarga se concentra nas zonas amarelas de menores valores, enquanto que a recarga se concentra na zona de maior valor de OD (área vermelha). Este comportamento pode ser comparado com o mapa de isovalores da condutividade elétrica.

Os valores de oxigênio dissolvido não foram comparados com a portaria 2.914/2011 do MS, pois esta não estabelece valores para este parâmetro. Já que a concentração de OD não é um parâmetro que interfere na potabilidade da água.

Figura 21. Mapa de isotores de Oxigênio Dissolvido da cidade de Salvaterra



Fonte: Do autor

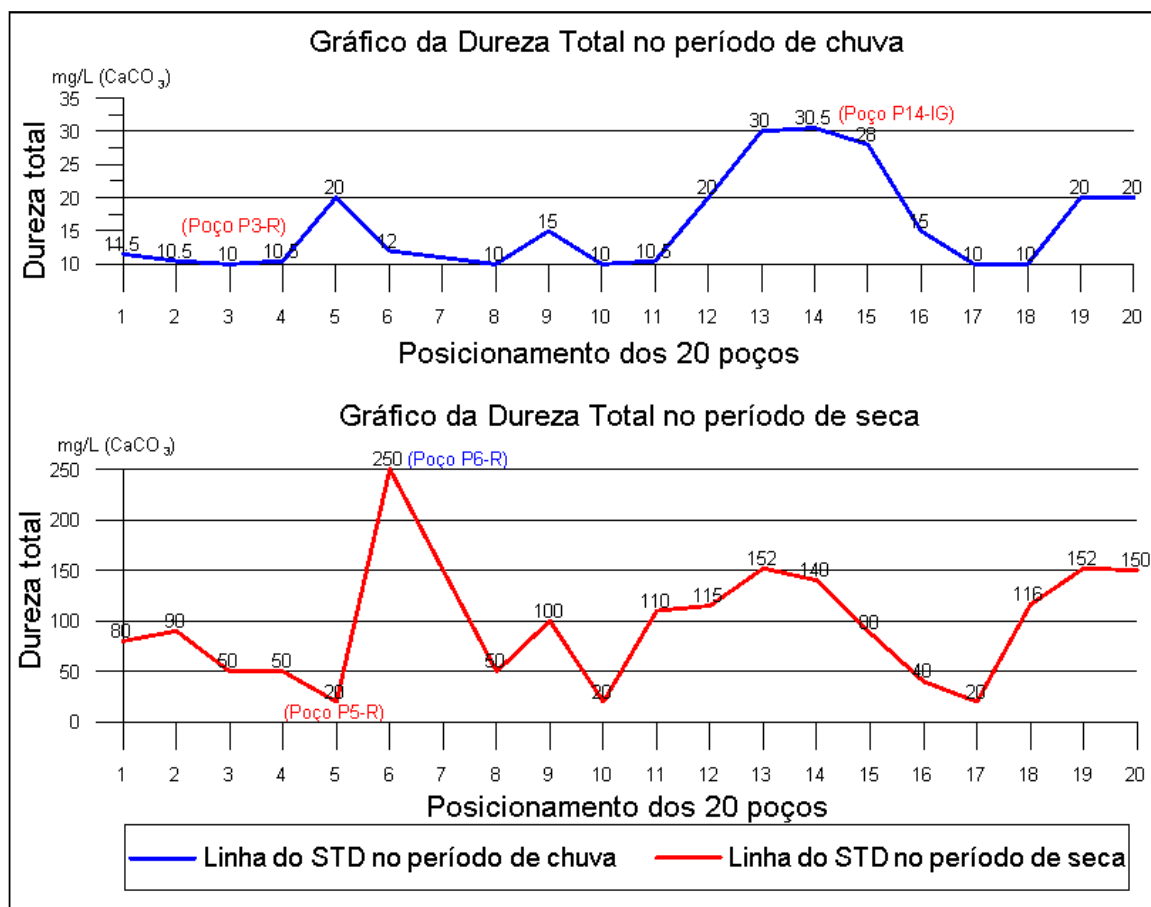
- Dureza Total

Segundo Richter e Azevedo Netto (2002), a dureza é uma característica conferida à água pela presença de alguns íons metálicos, principalmente os de  $(Ca^{++})$  e  $(Mg^{++})$  e, em menor grau os íons ferrosos  $(Fe^{++})$  e do estrôncio  $(S^{++})$ . A

dureza é expressa em termos de  $\text{CaCO}_3$ , e pode ser classificada de duas maneiras: (1) pelos íons metálicos e (2) pelos ânions associados com os íons metálicos. Na primeira, distingue-se a dureza do cálcio e a do magnésio. Na segunda, a dureza é classificada em dureza de carbonatos e dureza de não carbonatos. As águas podem ser classificadas em termos do grau de dureza: Moles (<50mg/L em  $\text{CaCO}_3$ ); Moderada (50 a 150mg/L em  $\text{CaCO}_3$ ); Duras (150 a 300mg/L em  $\text{CaCO}_3$ ) e Muito duras (>300mg/L em  $\text{CaCO}_3$ ).

Os valores obtidos nas análises da dureza total revelaram que nos dois períodos sazonais ocorreu uma diminuição muito drástica nos teores de  $\text{CaCO}_3$  nas águas dos poços. No período de chuva as concentrações de  $\text{CaCO}_3$  em mg/L, variaram de 10 mg/L (poço P3-R) a 30,5 mg/L (poço P14-IG) com média de 15,97 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ . No período de seca os teores foram de 20 mg/L (poço P5-R) a 250 mg/L (poço P6-R) com média de 94,36 mg/L  $\text{CaCO}_3$  (observados no gráfico 7).

Gráfico 7. Variação dos valores de Dureza total nos períodos de chuva e seca



Fonte: Do autor

A pesar dos valores apresentarem uma diferença muito expressiva nos dois períodos sazonais, a distribuição analítica do gráfico, mostra a mesma distribuição nos poços analisados, com exceção do poço P5-R, que inverte a distribuição do gráfico, onde o pico se eleva no período de chuva e se rebaixa no período de seca, mesmo assim as variâncias dos dois períodos são coincidentes e apresentam a mesma amplitude.

Quando se observa a figura 22 do mapa de isoteores da dureza total, nota-se que as concentrações de  $\text{CaCO}_3$  nos dois períodos sazonais aumentam em direção aos recursos hídricos superficiais da região (rio Paracauari e baía de Marajó), onde as concentrações maiores se encontram nas áreas vermelhas do mapa na direção NE, localizado nos poços P14-IG e P6-R, enquanto a área amarela do mapa representam as menores concentrações nos dois períodos sazonais nas direções NW, SW e SE no período de chuva e NE-SW no período de seca. Se analisarmos o sentido das isolinhas nessas direções, observa-se que os teores de concentração do  $\text{CaCO}_3$  aumentam progressivamente em direção ao curso das águas superficiais, então pode-se dizer que, o rio e a baía poderiam está influenciando no fluxo das águas subterrâneas alterando os teores de  $\text{CaCO}_3$  na dureza da água.

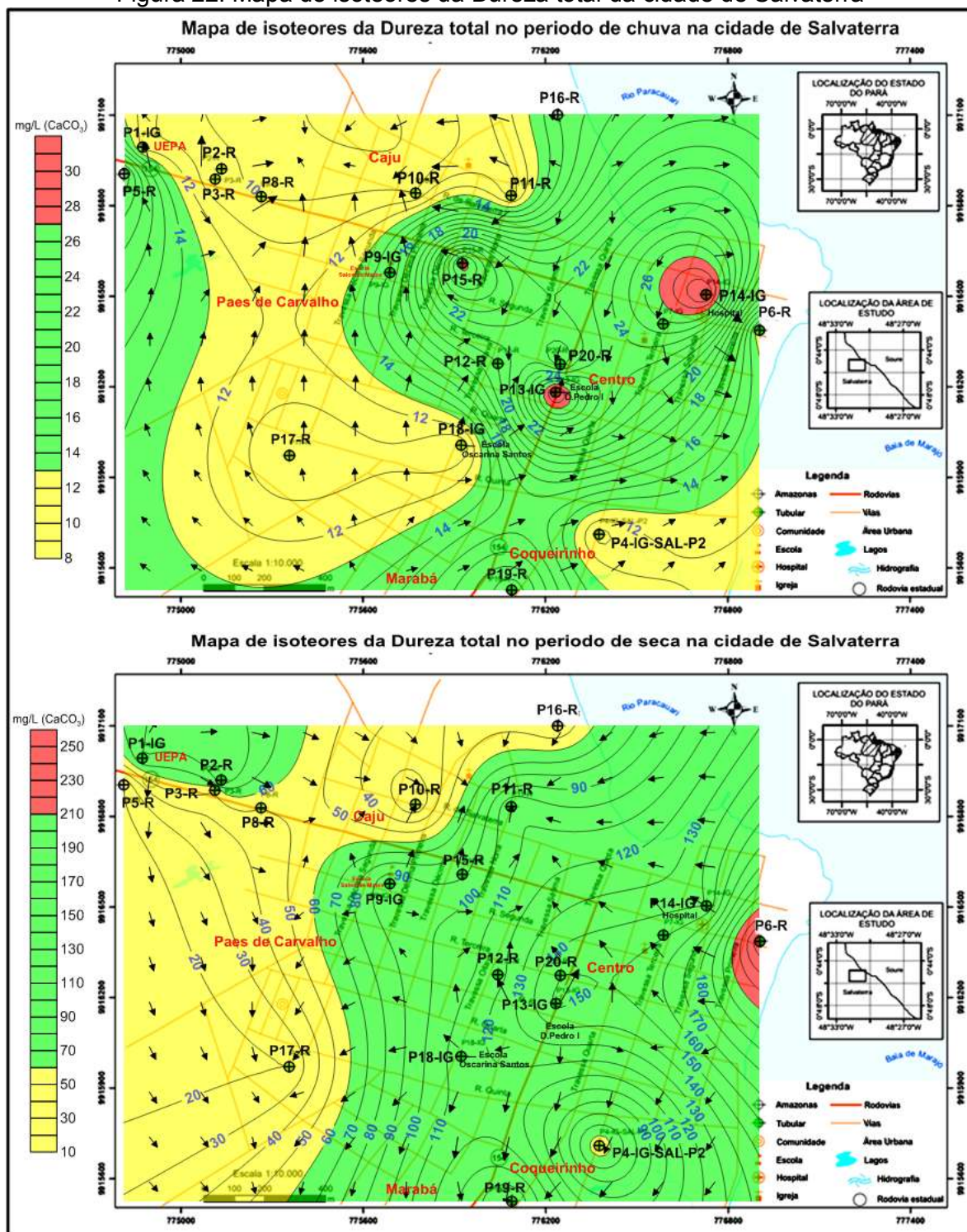
Em se tratando do grau de dureza dessas águas, o período de chuva mostra que os valores das concentrações de  $\text{CaCO}_3$ , estiveram abaixo de 50mg/L em  $\text{CaCO}_3$ , logo pode-se considerar que estas águas neste período sazonal é classificada no grau de dureza mole. Já no período de seca 79% dos poços ultrapassaram os 50mg/L em  $\text{CaCO}_3$ , chegando ao pico de 250mg/L, logo essas águas estariam classificadas no grau de dureza moderada a dura obtendo 63% e 16% dos poços, respectivamente. Mesmo assim, encontram-se dentro dos valores máximos permitidos pela portaria 2914/2011 que é de 500mg/L de  $\text{CaCO}_3$ .

Quando se analisa o regime de fluxo da água, fica evidente que nos dois períodos sazonais, o sentido do fluxo se inverte, porém nota-se que a descarga maior sempre vai em direção aos menores valores de dureza, se concentrando na área de zoneamento amarelo do mapa, enquanto que a recarga parte dos maiores valores (área de zoneamento vermelho). Vale ressaltar que, essa diferença de distribuição de recarga e descarga do fluxo da água, possa ser a influência maior na mudança excessiva dos valores da dureza nos dois períodos sazonais, onde no período de seca chegou ao valor máximo de 250 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  no poço P6-R,



que fica próximo a baía de Marajó, que pode ser responsável pelo aporte maior do cálcio, acarretando um aumento da dureza nessa área zonada do mapa.

Figura 22. Mapa de isoteores da Dureza total da cidade de Salvaterra



Fonte: Do autor

- Alcalinidade

A alcalinidade é devida à presença de bicarbonatos (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), carbonatos (CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>) ou hidróxidos (OH<sup>-</sup>). Com maior frequência, a alcalinidade das águas é

devida a bicarbonato, produzidos pela ação do gás carbônico dissolvido na água sobre as rochas calcárias. A alcalinidade não tem significado sanitário, a menos que seja devida a hidróxidos ou que contribua demasiado na quantidade de sólidos totais. É uma das determinações mais importantes no controle da água, estando relacionada com a coagulação, redução de dureza e prevenção de corrosão nas canalizações de ferro fundido da rede de distribuição (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 2002).

Segundo esses autores citados acima, com relação ao pH da água, podem estar presentes os seguintes tipos de alcalinidade: pH 3,0 - 4,6 (ácidos minerais); pH 4,6 - 8,3 (somente bicarbonatos); pH 8,3 - 9,4 (carbonatos e bicarbonatos) e pH 9,4 - 11,0 (alcalinidade e hidróxidos e carbonatos).

Os resultados da alcalinidade das amostragens nos dois períodos sazonais (chuva e seca), apresentaram valores mínimos de 18 e 22,5 mg/L CaCO<sub>3</sub> e máximos de 40 e 60 mg/L CaCO<sub>3</sub> com médias de 24,71 e 37,70 mg/L CaCO<sub>3</sub>, respectivamente. De acordo com a relação do pH citada a cima pode-se dizer que as águas subterrâneas analisadas, apresentam pouca alcalinidade, pois representam pH com médias de 4,90 e 4,98, tendendo na classificação dos ácidos minerais a bicarbonatos.

Quando se observa a variância do gráfico 8 nos dois períodos sazonais, o poço P16-R apresenta o maior pico de variação com valores de 40 e 60 mg/L CaCO<sub>3</sub>, e menores picos nos poços P17-R e P13-IG com valores de 18 e 23,3 mg/L CaCO<sub>3</sub> nos períodos de chuva e seca respectivamente. Essa variância de alcalinidade corresponde aos valores máximos de pH 5,9 e mínimo de 4,1.

A figura 23 do mapa de isotores da alcalinidade, reflete uma situação muito parecida com a figura 17 do mapa de isovalores do pH, observa-se na área de zoneamento amarela a concentração menor dos valores da alcalinidade encontrados na porção NE-SW do mapa, representado por 50% dos poços cadastrados na área de estudo, se compararmos com o mapa do pH, essa situação se reflete nos poços P8-R, P10-R, P15-R e P17-R no período de chuva, onde a média desses 4 poços com relação a alcalinidade com pH ficam entre 18,25 mg/L CaCO<sub>3</sub> e 4,37 respectivamente.

Quanto ao período de seca, os menores valores de alcalinidade se centralizam próximo à área do cemitério da cidade, onde estão localizados os poços P12-R, P18-IG e P20-R com teores que perfazem de 22 a 30 mg/L CaCO<sub>3</sub>.

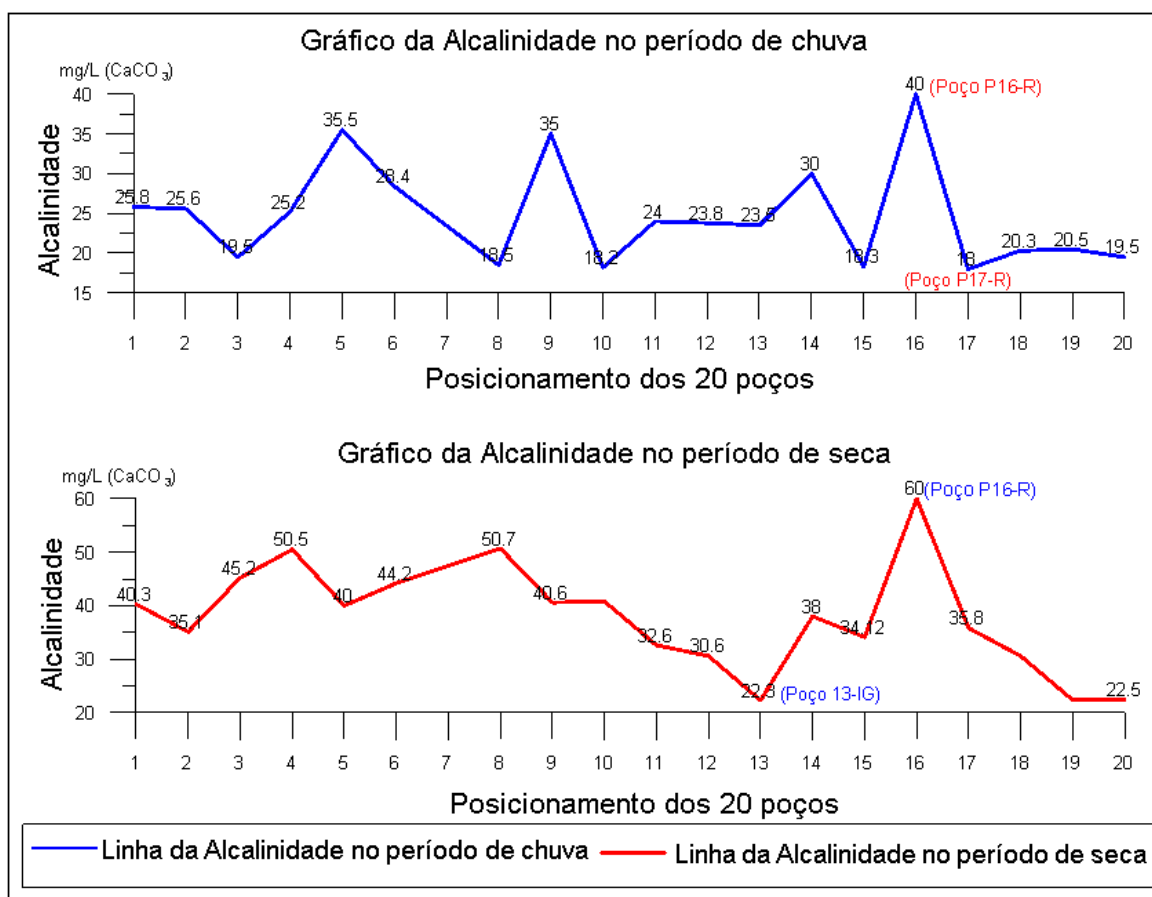
Atribuindo a média desses 3 poços obtém-se um valor de 27,89 mg/L  $\text{CaCO}_3$ , em se comparando com a média do pH tem-se o valor de 4,33.

Percebe-se que nos dois períodos sazonais, as maiores concentrações de alcalinidade (área de zoneamento vermelho) se encontram no poço P16-R localizado na porção NE do mapa próximo ao rio Paracauari, com os valores de 40 e 60 mg/L  $\text{CaCO}_3$  (chuva e seca), respectivamente.

O regime do fluxo da água observado no mapa da alcalinidade mostra uma intensa convergência em direção à área de zoneamento amarelo, onde se obtém os valores mais baixos, isto reflete a maior concentração de descarga nessa área, verificados tanto no período chuvoso como no período de estiagem.

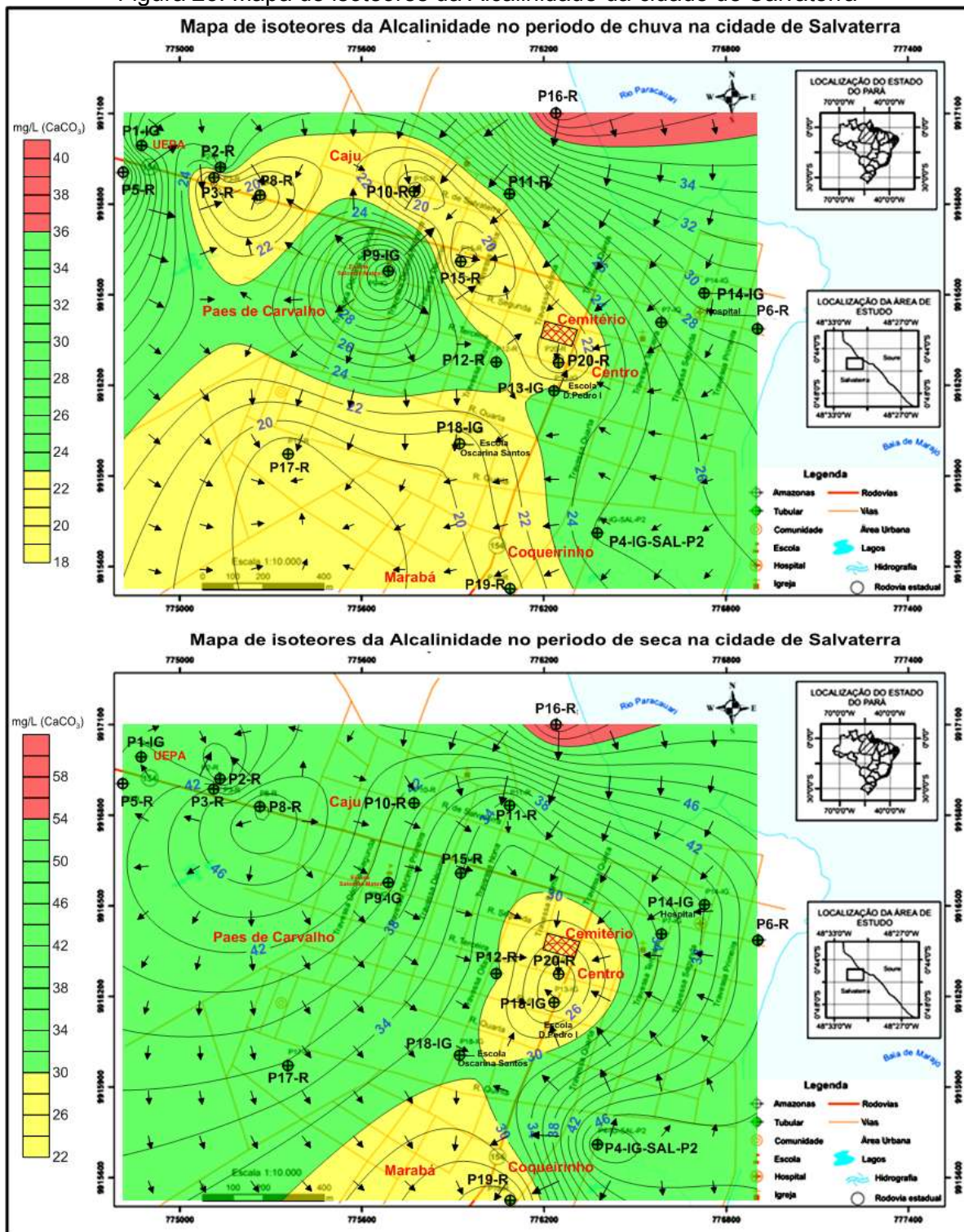
Apesar da alcalinidade não estar entre os parâmetros preconizados pela Portaria nº 2914/2011 do MS, os resultados das análises da alcalinidade na pesquisa, tomam importância no caráter organoléptico da água, pois, se estiverem em altas concentrações, podem afetar no sabor da água, sendo assim imprópria para consumo humano.

Gráfico 8. Variação dos valores da Alcalinidade nos períodos de chuva e seca



Fonte: Do autor

Figura 23. Mapa de isotores da Alcalinidade da cidade de Salvaterra



Fonte: Do autor

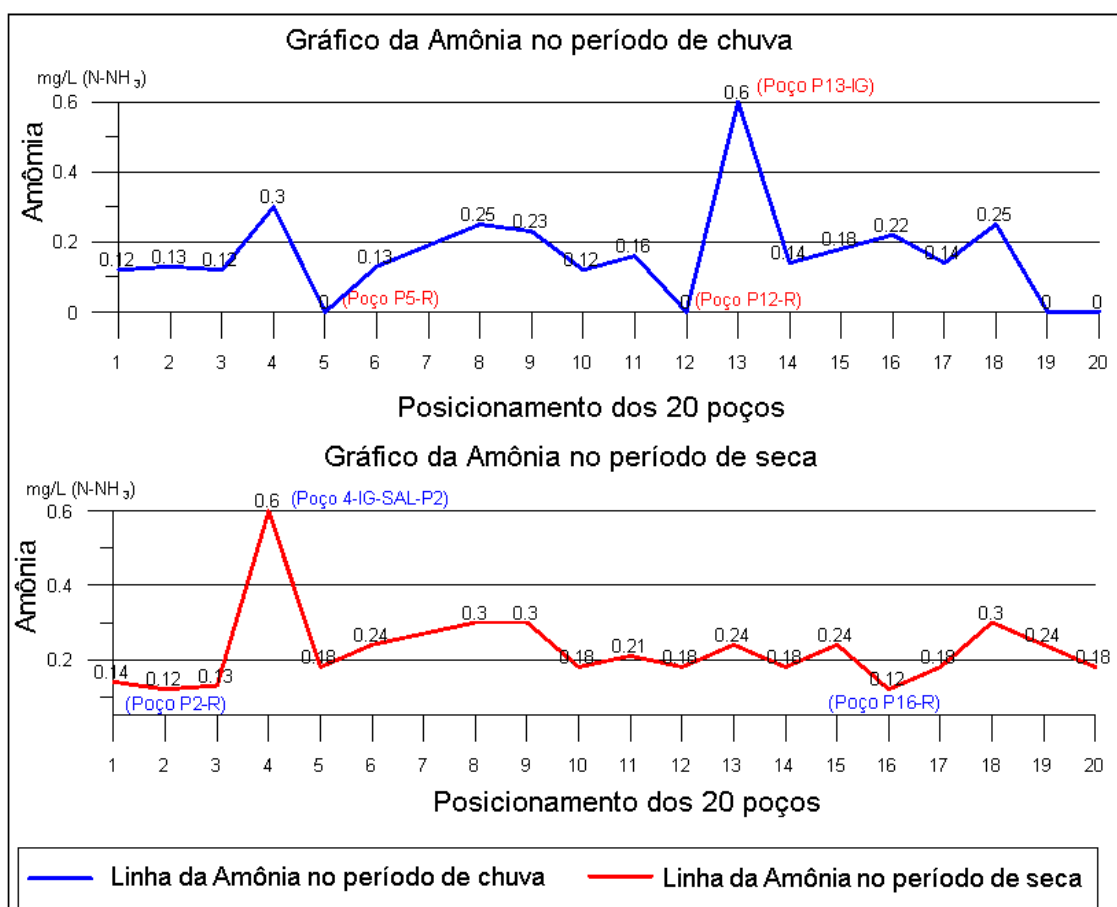
- Amônia

BRASIL (2011) estabelece na Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde, que a amônia esteja no VMP de 1,5 mg/L N-NH<sub>3</sub> para consumo humano.

Costa et al. (2012) relatam que a ocorrência de concentrações elevadas de amônia pode ser resultante de poluição próxima, bem como de redução de nitrato por bactérias ou por íons ferrosos presentes no solo. A presença de amônia indica contaminação recente e pode estar relacionada à construção precária dos poços e falta de proteção dos aquíferos.

Os resultados das análises para amônia nos dois períodos sazonais estão dentro dos padrões estabelecidos pela portaria 2914/2011, pois apresentam valores abaixo de 1,5 mg/L N-NH<sub>3</sub>, o maior valor chega a 0,60 mg/L N-NH<sub>3</sub> e encontram-se nos poços P13-IG (período de chuva) e P4-IG-SAL-P2 (período de seca), a média para os dois períodos estão entre 0,16 e 0,22 mg/L N-NH<sub>3</sub>, respectivamente. Alguns teores chegaram a zero, encontrados nos poços P5-R, P12-R, P19-R e P20-R no período de chuva, enquanto no período de estiagem o menor teor foi de 0,12 mg/L NH<sub>3</sub>, observado nos poços P2-R e P16-R (gráfico 9).

Gráfico 9. Variação dos valores da Amônia nos períodos de chuva e seca



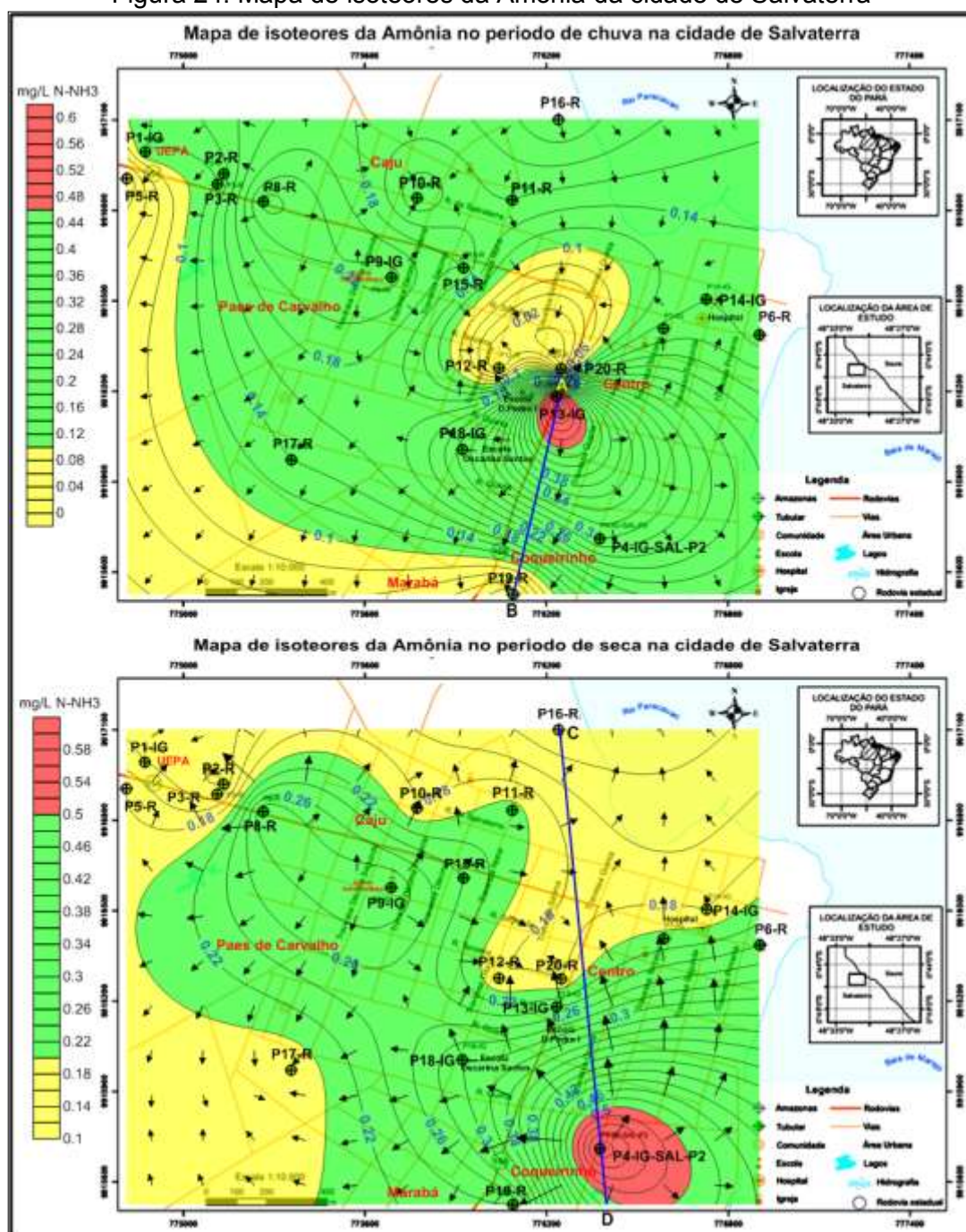
Fonte: Do autor

O mapa de isotores da amônia nos dois períodos sazonais revela o comportamento do fluxo da água se convergindo em direção à área de zoneamento

amarelo, mostrando o conteúdo excessivo de descarga nesta área. As isolinhas apresentam-se disposta na direção NE-SW no período de chuva (seção A-B) e NW-SE no período de seca (seção C-D), interpolando os poços P13-IG e P4-IG-SAL-P2 com valores maiores localizados nas áreas de zoneamento vermelha e os poços P19-R e P16-R com teores menores localizados na área amarela do mapa.

Vale ressaltar que a área vermelha sofre a recarga do fluxo subterrâneo, se direcionando aos recursos hídricos superficiais da cidade de Salvaterra (Figura 24).

Figura 24. Mapa de isoteores da Amônia da cidade de Salvaterra



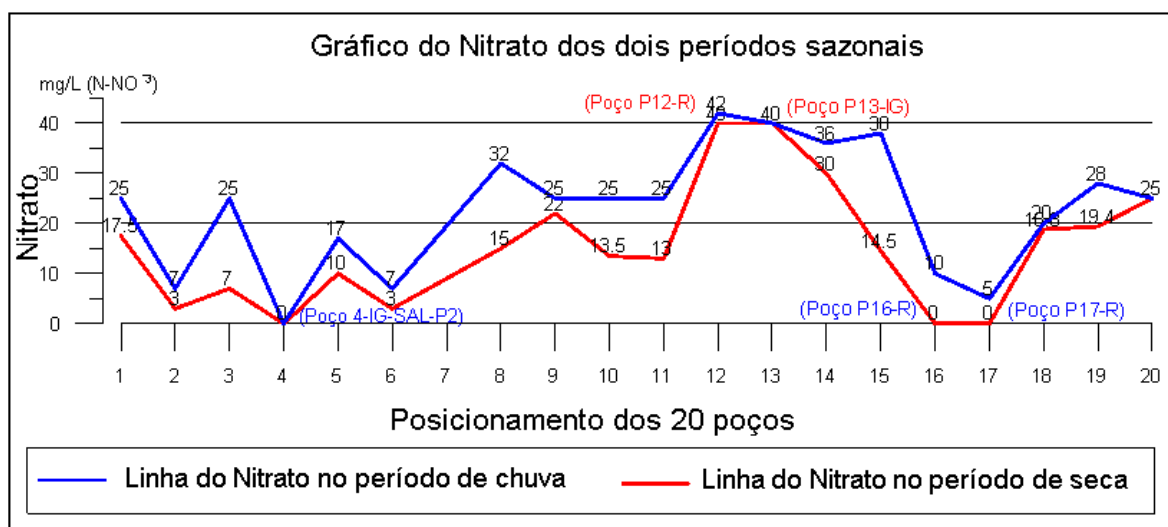
Fonte: Do autor

- Nitrato

Para o nitrato, segundo a Portaria 2914/2011 os valores máximos permitidos são de 10 mg/L N-NO<sup>-3</sup>.

Os resultados de nitrato das amostragens variaram entre 0 a 42, com média de 22,73 mg/L N-NO<sup>-3</sup>, no período chuvoso, observados nos poços P4-IG-SAL-P2 e P12-R, respectivamente. Na estiagem, os valores oscilaram entre 0 e 40, com média de 15,35 mg/L N-NO<sup>-3</sup>, verificado nos poços P4-IG-SAL-P2 e P13-IG, respectivamente, observa-se que a variância das linhas do nitrato nos dois períodos sazonais representada no gráfico 10, são coincidentes, com os picos diminuindo de amplitude no período de estiagem e consequentemente diminuindo os valores de nitrato.

Gráfico 10. Variação dos valores de Nitrato nos períodos de chuva e seca



Fonte: Do autor

Ao analisar os valores maiores que 10 mg/L N-NO<sup>-3</sup> permitido pela portaria citada acima, 73,7% dos poços apresentaram contaminação no período de chuva, reduzindo para 63,15% no período de seca.

A figura 25 mostra a distribuição dos valores de nitrato obtidos para os dois períodos sazonais, sendo que no período chuvoso, os menores teores apresentam-se com valores de 0 a 8 mg/L N-NO<sup>-3</sup>, representados na área de zoneamento amarelo, enquanto que os valores maiores que 8 até 34 mg/L N-NO<sup>-3</sup>, representa a zona intermediária (área verde), já os valores acima de 34 até 42 mg/L N-NO<sup>-3</sup>,

representam a área de zoneamento vermelho, sendo esta última, a mais crítica da área mapeada.

Para o período de seca, a área amarela representa os valores mais baixos que variam de 0 a 6,0 mg/L N-NO<sup>-3</sup>, enquanto que a área verde representa os valores intermediários, com nitrato maiores que 6 até 32 mg/L N-NO<sup>-3</sup>, já a área de zoneamento vermelho encontra-se com valores acima de 32 até 40 mg/L N-NO<sup>-3</sup>.

Nos dois períodos sazonais, somente os poços localizados na área de zoneamento amarelo estão com os valores inferiores ao máximo permitido em água de abastecimento público, ou seja, 10 mg/L, tanto na estação chuvosa quanto na seca.

Ao observar a figura 25 depreende-se que a qualidade da água, em relação à concentração de nitrato, é melhor na estação seca, onde diminuem nos poços P2-R, P4-IG-SAL-P2, P6-R, P16-R e P17-R. No período chuvoso ocorre um aumento da concentração do íon nitrato na água, sendo maior nos poços P12-R, P13-IG, P14-IG e P15-R. Isto fica claro quando verificamos o sentido das isolinhas, que partem das bordas aumentando em direção ao centro do mapa, formando uma pluma de contaminação de sentido NW-SE, localizado próximo ao cemitério da cidade de Salvaterra. Vale salientar que a recarga do fluxo subterrâneo parte do centro em direção as laterais do mapa.

Os resultados das análises químicas nas amostras de água indicaram contaminação por nitrato na maior parte dos poços cadastrados com valores acima do limite permitido por lei. Essa contaminação provavelmente possa está relacionado à presença dos agentes poluidores como, o cemitério, as fossas sépticas e os esgotos domésticos, acarretando matéria orgânica para as águas subterrâneas, e elevando os teores de nitrato. Segundo a CETESB (1998), em águas subterrâneas o nitrato indica que há fonte de contaminação por esgoto doméstico e fossas sépticas.

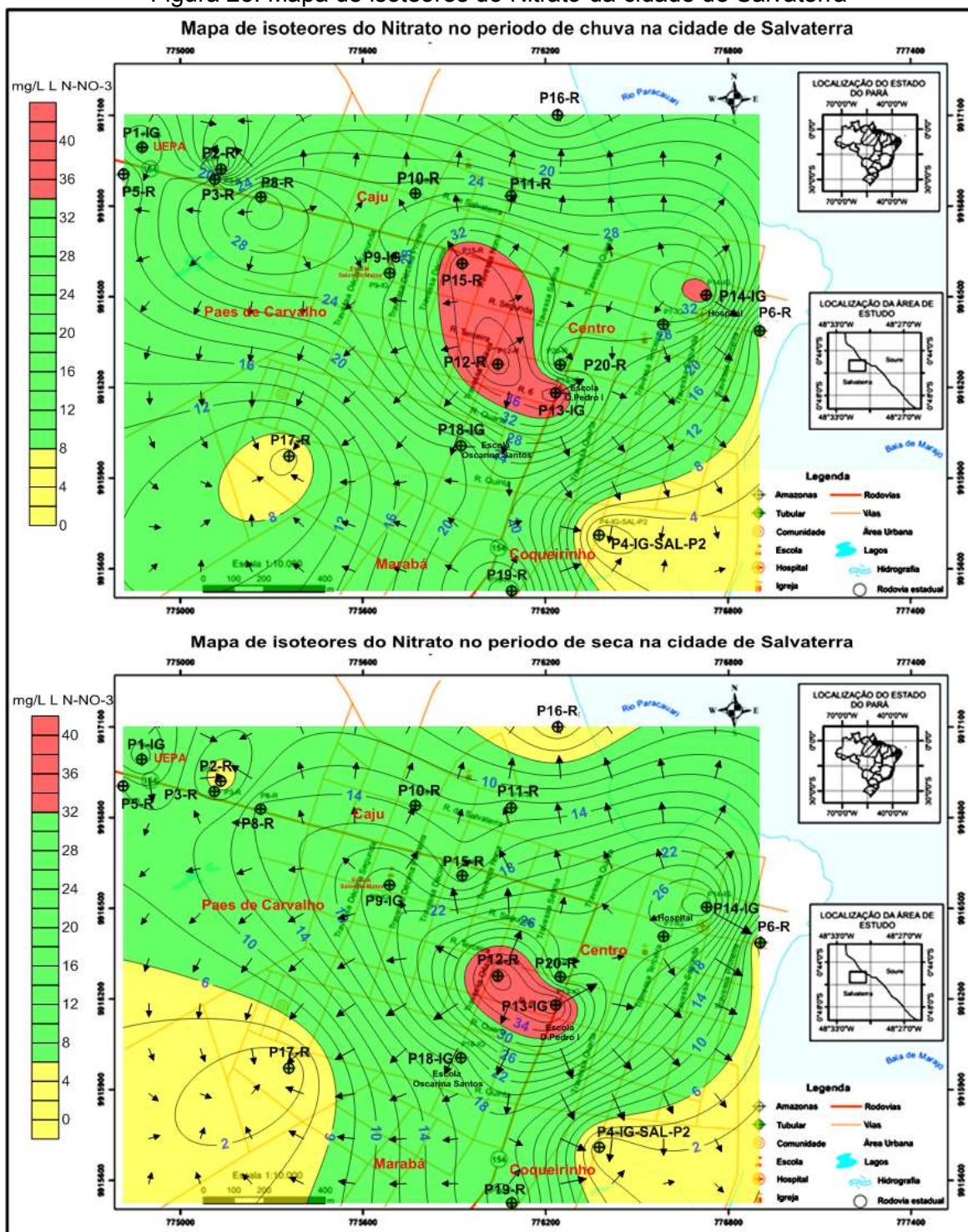
A presença de compostos de nitrogênio nos seus diferentes estados de oxidação é indicativo de contaminação do aquífero e de possíveis condições higiênico-sanitárias insatisfatórias (BAIRD, 2002 apud BIGUELINI; GUMY, 2012).

A contaminação por nitrato, na água de beber, pode trazer graves consequências à saúde. Seu consumo, por meio das águas de abastecimento, está associado a dois efeitos adversos à saúde: a indução à metahemoglobinemia, especialmente em crianças (impedindo o transporte de oxigênio no sangue), e a



formação potencial de nitrosaminas carcinogênicas (BOUCHARD et al., 1992 apud BIGUELINI; GUMY, op. cit.).

Figura 25. Mapa de isotores do Nitrato da cidade de Salvaterra



Fonte: Do autor

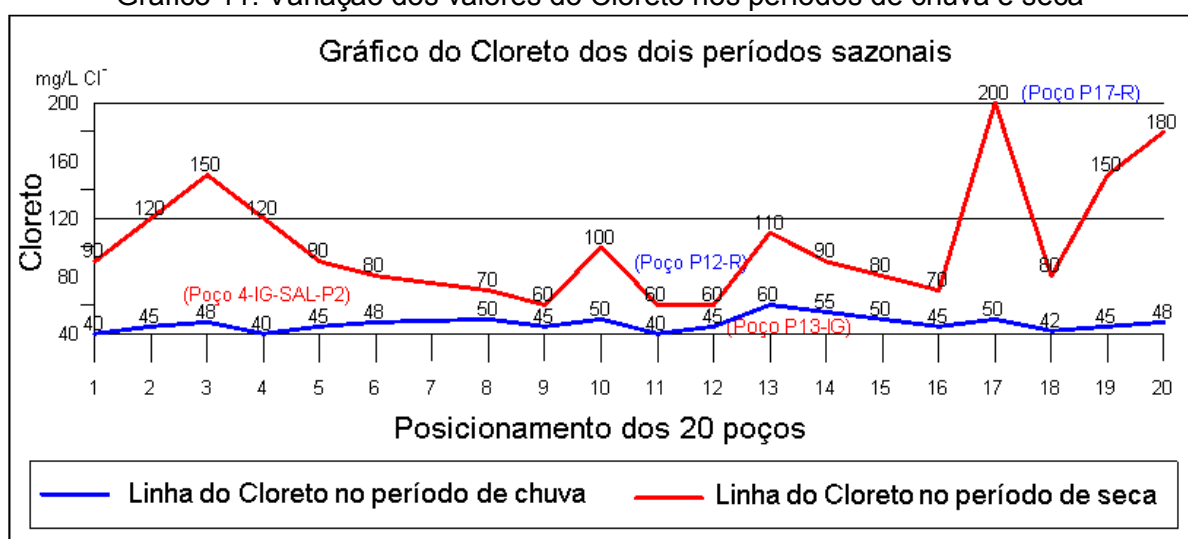
- Cloreto

O teor de cloretos é um indicador de poluição por esgotos domésticos nas águas naturais (Richter e Azevedo Netto, 2002). O VMP para cloreto é de 250 mg/L

Cl<sup>-</sup>, segundo a Portaria nº 2914/11 (BRASIL, 2011), acima desse VMP, a água deve ser investigada, pois é indicação de provável poluição.

As águas analisadas no período de chuva apresentaram concentrações de cloretos mais alto no poço P13-IG com 60 mg/L Cl<sup>-</sup>, e o mais baixo nos poços P1-IG, P4-IG-SAL-P2 e P11-R com 40 mg/L Cl<sup>-</sup>, com média de 45,8 mg/L Cl<sup>-</sup>, já no período de seca, alcançou a alta de 200 mg/L Cl<sup>-</sup> no poço P17-R e a baixa nos poços P9-IG, P11-R e P12-R com 60 mg/L Cl<sup>-</sup> com média de 103,15 mg/L Cl<sup>-</sup> (gráfico 11), logo esses resultados obtidos mostram que as águas analisadas estão dentro dos padrões de aceitação para consumo humano.

Gráfico 11. Variação dos valores do Cloreto nos períodos de chuva e seca



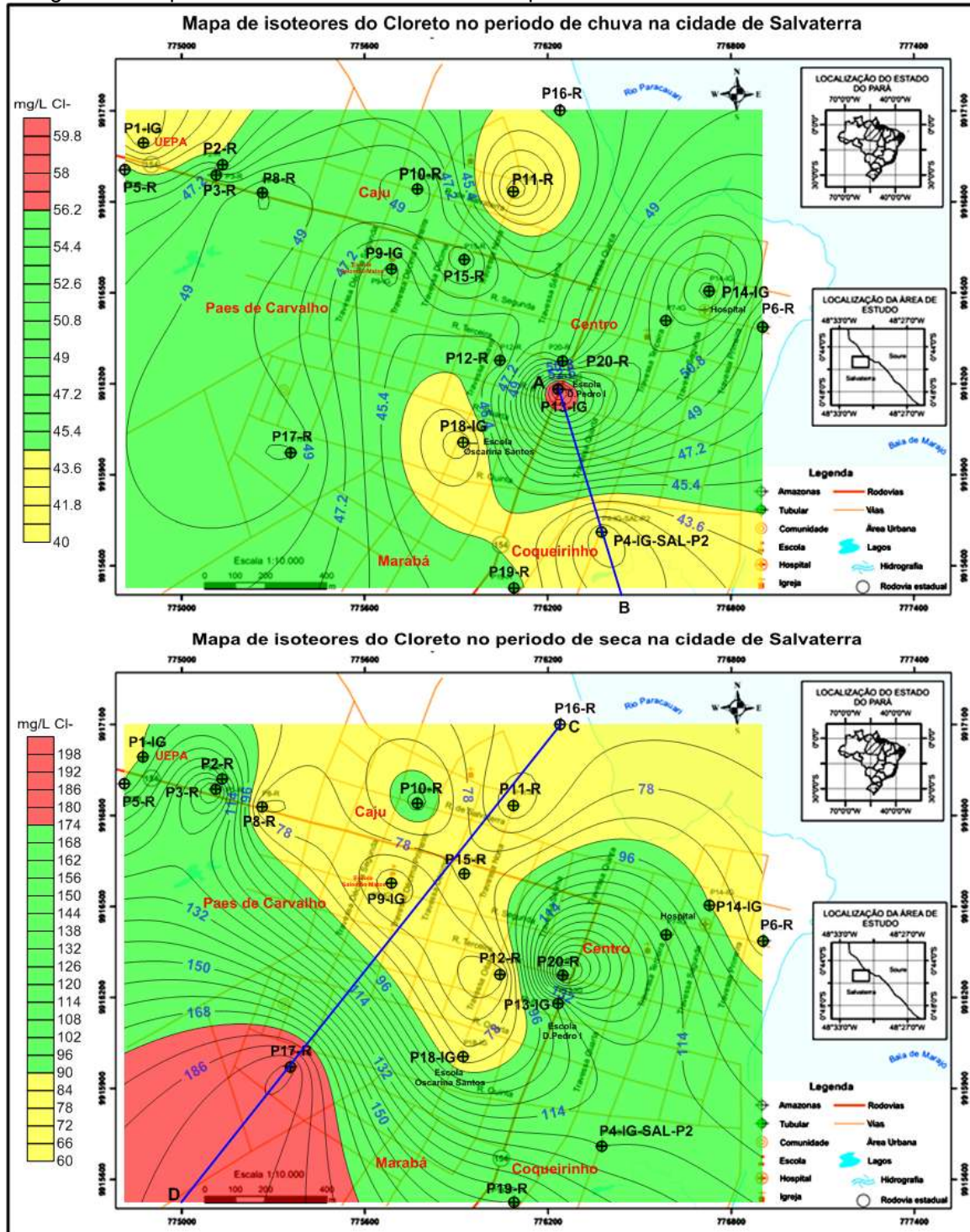
Fonte: Do autor

Nota-se na figura 26, que os valores de cloreto aumentam no sentido SE-NW do mapa de isotores do cloreto no período de chuva, concentrando o seu valor máximo de 60 mg/L Cl<sup>-</sup> no poço P13-IG, observado na área de zoneamento vermelho (seção A-B), já o mapa de isotores do cloreto no período de seca, apresenta o seu valor máximo de 200 mg/L Cl<sup>-</sup> concentrado na porção SW do mapa diminuindo em direção NE onde encontra-se a área de zoneamento amarela do mapa, esta apresenta valores inferiores a 90 mg/L Cl<sup>-</sup> (seção C-D).

Os resultados das análises químicas do cloreto revelam que os maiores teores estão relacionados com a atividade antrópica, vindo especialmente dos esgotos domésticos e fossas sépticas, e que não tem nenhuma relação com as águas de superfície da região.

Matta (2002) relata em sua tese que as fontes de cloretos nas águas subterrâneas são de origem antrópica, especialmente de esgoto sanitário e resíduos industriais.

Figura 26. Mapa de isotores do Cloreto dos dois períodos sazonais da cidade de Salvaterra



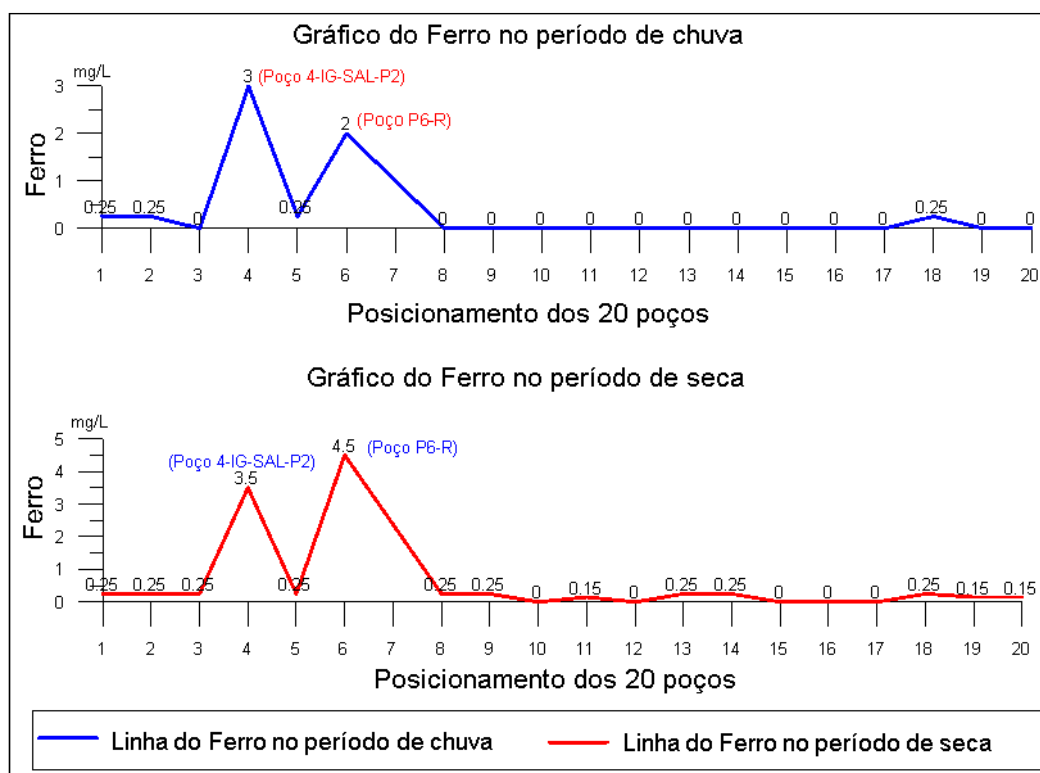
Fonte: Do autor

- Ferro

O ferro, muitas das vezes associado ao manganês, confere a água um sabor amargo adstringente e coloração amarelada e turva, decorrente da precipitação do mesmo quando oxidado. É adotado o limite de 0,3 mg/L para a concentração de ferro nas águas. Em concentrações maiores de 0,5 mg/L causa gosto nas águas (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 2002).

As análises para o ferro no período chuvoso obteve média de 0,31 mg/L Fe total, máxima de 3,0 e mínima 0,0 mg/L Fe. As maiores concentrações foram encontradas nos poços P4-IG-SAL-P2 da COSANPA e P6-R da pousada dos Aruãs com valores de 3,0 e 2,0 mg/L Fe, respectivamente, ou seja, 10 a 6 vezes acima do VMP estabelecido pela portaria 2914/2011. Para o período de seca os resultados obtidos do ferro foram com máxima de 4,5 e mínima 0,0 mg/L com média de 0,56 mg/L Fe total. O poço da COSANPA e o poço da pousada dos Aruãs nesse período, aumentaram seus valores para 3,5 e 4,5 mg/L Fe total respectivamente, ou seja, confirmando ainda mais o excesso de teor de ferro nas águas desses dois poços, portanto, logo pode-se observar que a água desses poços não condizem com a lei vigente, sendo impróprias para o consumo humano (gráfico 12).

Gráfico 12. Variação dos valores do Ferro nos períodos de chuva e seca



Fonte: Do autor

Pela análise do gráfico 12, percebe-se que os dois períodos sazonais apresentam médias que podem ser consideradas bem próximas, dentro de uma variância que são coincidentes e de quase mesma amplitude. Assim, há fortes evidências de semelhanças de conteúdo de ferro total entre esses dois períodos sazonais, como se observa nos poços P4-IG-SAL-P2 e P6-R.

As análises químicas do ferro total das amostragens, resultaram que 68,5% não tiveram presença de ferro obtendo valores zero, e 21% tiveram valores próximos ao permitido pela lei vigente com 0,25 mg/L analisados no período de chuva (Tabela 4), enquanto que no período de seca 26,3% dos poços obtiveram teores de ferro zero, 15,8% com valores de 0,15 mg/L e 47,3% com teores de 0,25 mg/L, este último próximo aos VMP pela portaria 2914/2011 que é de 0,3 mg/L Fe total (Tabela 5).

A média encontrada para o ferro nesta pesquisa esteve em torno de 0,31 e 0,56 mg/L para os dois períodos sazonais (chuva e seca), respectivamente, sendo que a média no período chuvoso ficou próximo ao valor médio de 0,28 mg/L Fe total analisado por Bezerra (1979) em um trabalho de mestrado realizado no município de Salvaterra.

É importante salientar que as maiores concentrações de ferro nos poços P4-IG-SAL-P2 e P6-R com valores de 3,0 e 2,0 mg/L Fe no período chuvoso e 3,5 e 4,5 mg/L Fe total no período de estiagem, encontram-se associados aos valores de pH entre 5,0 a 5,5 nesses mesmos poços, e que a maioria dos resultados de 0,0 mg/L em ferro encontram-se com valores de pH inferior a 5,0.

Se observarmos as figuras 9, 10, 11, 12 e 13 verificam-se os níveis de rochas lateríticas (grés do Pará) e concreções lateríticas intercalados em camadas argilosas e arenosas ferruginosas da região de Salvaterra, logo, quase todos os poços tubulares construídos na região, principalmente o poço da COSANPA, apresentam teores excessivos de ferro nas águas em consumo.

Vale ressaltar que os minerais de hematita e de goetita que apresentam ferro na sua composição, sofrem processos de alteração em contato com o oxigênio do ar, permitindo à solução de ferro sob a forma ferrosa, precipitando assim o elemento ferro nas camadas litológicas, formando as lateritas e concreções lateríticas, essas por sua vez liberam óxidos e hidróxidos de  $Fe^{2+}$  e  $Fe^{3+}$  que percolam as camadas sedimentares resultando em colorações

amareladas e avermelhadas nas areias e argilas da geologia local, e mudando as características físicas, químicas e organolépticas das águas subterrâneas.

Bahia (1997), relata que altos teores de ferro e matéria orgânica nas águas subterrâneas estão associados às argilas com matéria orgânica, que com o ambiente redutor e baixo pH, produzem acidez e favorecem a solubilidade do ferro nas águas subterrâneas.

Matta (2002) retrata que os altos teores de ferro nas águas subterrâneas estão associados à variedade litológica dos aquíferos do sistema Barreiras e a ambientes redutores.

Lima e Kobayashi (1988) encontraram valores mais elevados (3,0 mg/L) em poços tubulares de 60 metros de profundidade, no bairro da sacramento em Belém-PA.

#### 5.2.2.2 Análises microbiológicas

Entre as impurezas nas águas incluem-se os organismos presentes que, conforme sua natureza tem grande significado para os sistemas de abastecimento de água. Alguns desses organismos, como certas bactérias, vírus e protozoários são patogênicos, podendo provocar doenças e ser causa de epidemias (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 2002).

A Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde estabelece que em água para consumo humano, incluindo fontes individuais como poços, não são permitidos a presença de coliformes fecais (*Escherichia coli*) e coliformes totais em 100 ml da água (BRASIL, 2011).

As análises microbiológicas das amostras coletadas na área estudada foram realizadas nos meses de abril no período chuvoso e novembro no período de seca, obtiveram os seguintes resultados:

- 1) Resultados no período chuvoso: das 20 amostras analisadas nesse período, 63% dos poços cadastrados deram positivos para coliformes fecais indicando a presença de *Escherichia coli*, e 89% para coliformes totais. Portanto, podemos dizer que, microbiologicamente, a minoria das águas dos poços analisados (11%) são potáveis, observado nos poços P18-IG e P19-R (Tabela 4).
- 2) Resultados no período de seca: neste período, apenas 21% das amostras deram positivo para *Escherichia coli* e 47% das amostras deram positivo para

coliformes totais. Observa-se que neste período sazonal ocorreu uma redução bastante expressiva dos coliformes em relação ao período chuvoso (Tabela 5).

Para melhor interpretação das características microbiológicas, foram confeccionados os mapas dos dois períodos sazonais, obtendo assim uma visualização ampla das áreas zonadas e dos poços contaminados na cidade de Salvaterra.

A figura 27 mostra o mapa microbiológico dos coliformes fecais e totais no período de chuva, para os coliformes fecais observa-se que os maiores índice de contaminação encontram-se na área zonada verde (porção N do mapa), com localização no bairro do Caju. Vale observar que o poço P11-R apresenta a maior concentração de Coliformes fecais (*E. coli*) com 4.400 UFC/100mL (Tabela 4) e se localiza na área de zoneamento vermelho do mapa. Para os coliformes totais, a área zonada verde se estende para porção SE do mapa onde fica localizada a estação de bombeamento e tratamento de água da COSANPA (poço P4-IG-SAL-P2) os resultados das amostras desse poço apresentaram valor de 4.240 UFC/100 mL, já para os coliformes fecais foi ausente em 100 mL. O maior valor para coliformes totais foi identificado no poço P16-R localizado na área de zoneamento vermelho do mapa, e apresenta o valor de 10.400 UFC/100 mL (Tabela 4).

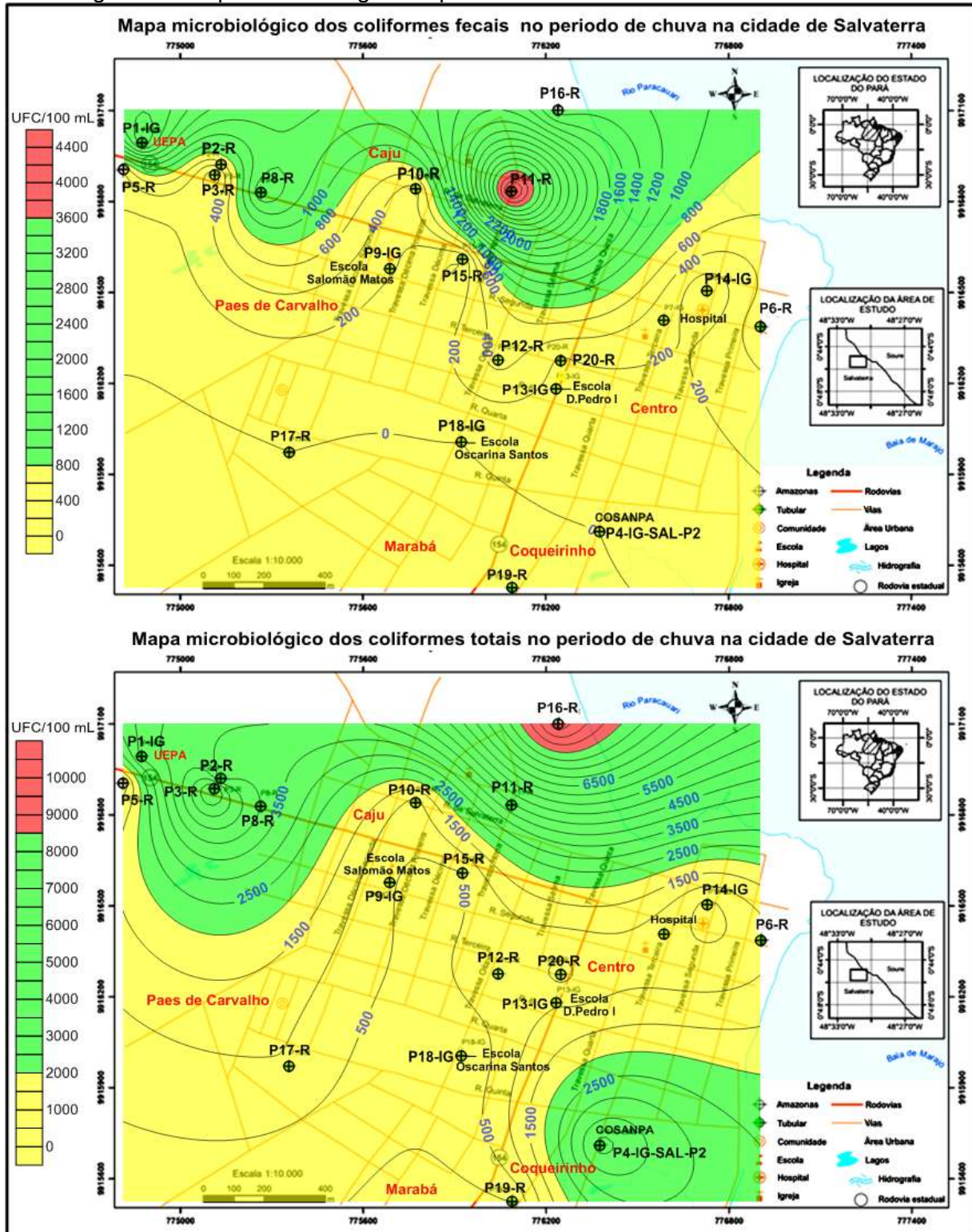
A figura 28 mostra o mapa microbiológico dos coliformes fecais e totais no período de seca. Tanto para coliformes fecais, quanto para coliformes totais a situação é semelhante, pois as maiores concentrações de coliformes encontram-se na área verde, localizado na porção N-NE do mapa abrangendo os bairros do Caju e Paes de Carvalho, ressaltando que o poço P16-R apresenta a maior concentração representada na área zonada vermelha, com valores de 1.280 UFC/100 mL para coliformes fecais (*E. coli*) e 10.400 UFC/100 mL para coliformes totais, sendo assim imprópria para o consumo. Vale ressaltar que os resultados também foram positivos para os poços P8-R, P14-IG e P20-R, todos esses estando também em desacordo com os padrões de potabilidade (Tabela 5).

Neste período as concentrações dos coliformes diluíram sucessivamente, esse fato possivelmente possa está relacionado com a diminuição do nível estático da água, ocasionado pela baixa pluviometria na região, restringindo o contanto das águas desses poços com os agentes poluidores, principalmente as fossas sépticas.

Segundo Santos et al. (2013), a água para ser potável não deve apresentar bactérias patogênicas. No caso das águas subterrâneas, os organismos

patogênicos são eliminados ou removidos pela ausência de oxigênio e por filtração, segundo intensidade variada, em função da permeabilidade e condutividade do aquífero ou do subsolo.

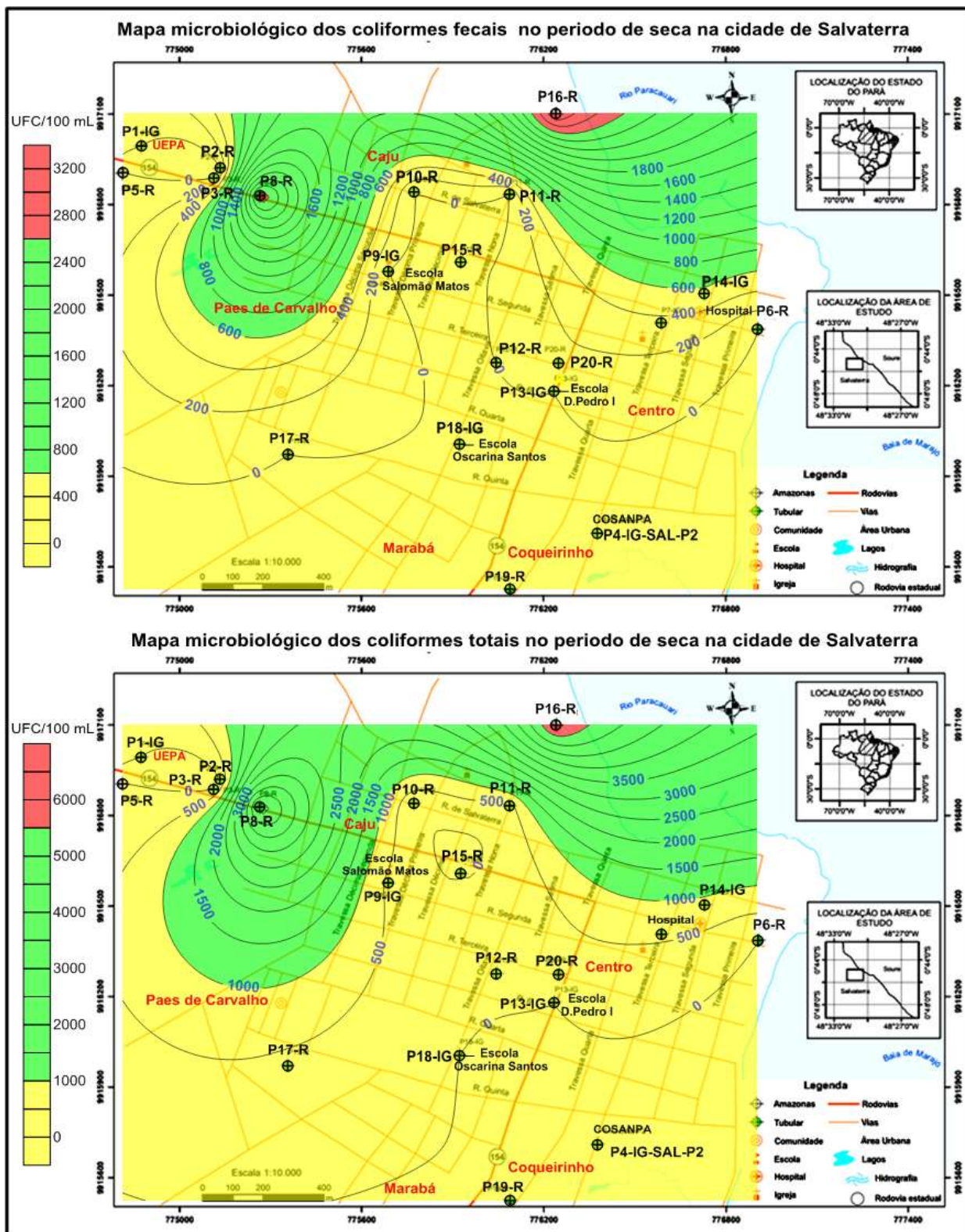
Figura 27. Mapa microbiológico no período de chuva na cidade de Salvaterra.



Fonte: Do autor



Figura 28. Mapa microbiológico no período de seca na cidade de Salvaterra.



Fonte: Do autor

A presença de coliformes nas águas analisadas pode ser explicada pelas más condições de construção dos poços e pela proximidade de fossas sépticas e currais. A deposição diária de resíduo orgânico animal no solo, prática muito disseminada no meio rural, aumenta o risco da contaminação das águas subterrâneas. As águas contaminadas podem se tornar um meio de cultura ideal, conforme as condições de pH, temperatura, partículas minerais, material dissolvido e matéria orgânica presentes, elementos essenciais que a biocenose necessita para seu desenvolvimento (SANTOS et al. 2013).

A bactéria *Escherichia coli* apresenta-se como hábitat primário o trato gastrointestinal de humanos e outros animais endotérmicos, é responsável comumente por infecções urinárias e diarreias. Para Matta (2002) essa bactéria tem sua origem nas interações dos poços com fossas sépticas ou negras em função da falta de critério na locação e construção dessas obras nos aglomerados urbanos.

Certamente a presença de coliformes na água dos poços se deve a contaminação por esgotos sanitários, uma vez que a poluição das águas subterrâneas por fontes urbanas se dá principalmente pelo lançamento de esgotos sanitários em áreas não ligadas às redes coletoras ou ainda, vazamentos e infiltrações no sistema de esgotos municipais (AYACH et al., 2009 apud SANTOS, et al., 2015).

### 5.2.3 Análises da água da COSANPA

Quanto a água que é fornecido pela COSANPA, que abastece a população de Salvaterra apresentam para análises físicas os valores de pH em torno de 5,0 e 5,5, condutividade elétrica (261,5 e 69,0  $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ ), turbidez (5,6 e 5,15 UNT), sólidos totais dissolvidos (177,82 e 46,92 mg/L), oxigênio dissolvido (8,0 e 5,0 mg/L) com temperaturas em torno de 29 e 30°C. Para as análises químicas obtive os seguintes teores de dureza total (10 e 150 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ), alcalinidade (10 e 30 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ), amônia (0,10 e 0,12 mg/L N- $\text{NH}_3$ ), nitrato (0,7 e 0,0 mg/L N- $\text{NO}^{-3}$ ), cloreto (40 e 180 mg/L  $\text{Cl}^{-}$ ), ferro (2,0 e 1,0 mg/L) e cloro livre (0,25 e 0,10 mg/L) resultados obtidos nos períodos de chuva e de seca respectivamente. Para as análises microbiológicas todas as amostras foram ausentes de coliformes fecais e totais (Tabela 6).

Tabela 6. Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas das amostras da COSANPA

<b>PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS</b>			
<b>Parâmetros</b>	<b>VMP</b>	<b>Amostra 1 (chuva)</b>	<b>Amostra 2 (seca)</b>
**Temperatura (°C)	--	29	30
*pH (upH)	6,0-9,5	5,0	5,5
**C.E (µS/cm-1)	--	261,5	69,0
*Turbidez (UNT)	5,0	5,6	5,15
*S.T.D (mg/L)	1000	177,82	46,92
**O.D (mg/L)	--	8,0	5,0
*Dureza total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	500	10,0	150
**Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	--	10,0	30,0
*Amônia (mg/L N-NH <sub>3</sub> )	1,5	0,10	0,12
*Nitrato (mg/L N-NO <sup>-3</sup> )	10	0,7	0,0
*Cloreto (mg/L Cl <sup>-</sup> )	250	40	180
*Ferro (mg/L Fe Total)	0,3	2,0	1,0
*Cloro livre (mg/L)	5,0	0,25	0,10
Coliformes Fecais/ <i>E. Colli</i> (UFC/100mL)	Ausente (100mL)	Ausente	Ausente
Coliformes Totais (UFC/100mL)	Ausente (100mL)	Ausente	Ausente

\*Valores Máximos Permitidos para águas subterrâneas, pela portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011 – Ministério da Saúde

\*\*Valores não estabelecidos pelo Ministério da Saúde, porém, importantes para avaliação geral.

C.E (Condutividade Elétrica)

S.T.D (Sólidos Totais Dissolvidos)

O.D (Oxigênio Dissolvido)

O.C (Oxigênio Consumido)

upH (unidade potencial Hidrogênico)

UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez)

A (Ausência)

UFC (Unidade Formadora de Colônias)

Vale salientar que, os valores do pH e o do ferro foram os que não preconizaram os VMP pela portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, mesmo assim esta água está sendo distribuída para consumo humano, que se consumida por vários anos acarretaria sérios problemas a saúde da população que consomem essa água.

Bahia (1997) retrata que os valores mais baixos de pH, deve-se certamente às elevadas concentrações de  $\text{CO}_2$  dissolvido na água, resultantes dos processos de decomposição de matéria orgânica que liberam  $\text{CO}_2$ , diminuindo o pH, e também de pequenas quantidades de cátions de metais alcalinos e alcalinos terrosos, principalmente o cálcio, que estariam associados aos solos da região, que são ácidos.

Segundo Matta (2002), o alto teor de ferro nas águas de abastecimento público pode causar corrosão de tubulações e do revestimento e filtro dos poços, afeta a saúde humana e oferece restrições a utilização das águas na maioria das indústrias.

Para a análise da dureza total, as águas da COSANPA, seguiram os mesmos padrões para os poços residenciais, onde se pode observar que no período de chuva a água obteve 10 mg/L  $\text{CaCO}_3$ , sendo considerada uma água mole no grau de dureza, enquanto que no período de seca essas águas são consideradas de grau de dureza moderado.

A Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde determina a obrigatoriedade de se manter, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede). Também recomenda que o teor máximo de cloro residual livre em qualquer ponto do sistema de abastecimento seja de 2 mg/L. O cloro é um produto químico utilizado na desinfecção da água. Sua medida é importante e serve para controlar a dosagem que está sendo aplicada e também para acompanhar sua evolução durante o tratamento (FUNASA, 2013).

## 6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesta dissertação visaram caracterizar a dimensão do consumo e da potabilidade das águas subterrâneas da cidade de Salvaterra, as elaborações dos mapas, diagramas, e a realização das análises físico-químicas e microbiológicas das águas dos 20 poços estudados nessa pesquisa proporcionaram enumerar as principais conclusões:

As análises realizadas em 4 poços com profundidades de até 80 metros perfurado pela COSANPA, revelaram que a hidrogeologia da cidade de Salvaterra está representado por um aquífero livre que alcança 6,0 metros de profundidades, composta por areia fina branca, e 3 aquíferos confinados, composto por areias finas a média de coloração branca amarelada a avermelhada, como mostra a figura 11. Dentro desses aquíferos encontram-se distribuídos os 20 poços analisados.

Nas duas campanhas realizadas no mês de abril, época do período chuvoso, e no mês de novembro, época do período de seca, os níveis estáticos das águas subterrâneas dos 20 poços analisados mostraram que o rebaixamento dessas águas entre abril a novembro no ano de 2016 foi em média de 3,86 metros de profundidades (observados no gráfico 1). Esta média se confirma com a diferença de equipotencial do padrão de fluxo subterrâneo, que revelou um decréscimo de 4 metros do aquífero no período de seca (observados nas figuras 15 e 16), pois a pluviometria neste ano alcançou a máxima de 125 mm e mínima de 1,0 mm nos meses de abril e novembro, respectivamente.

Para as análises físicas das amostras, o pH apresentou uma média de 4,8 e 4,9 nos períodos chuvoso e seco, respectivamente, portanto é considerado uma água ácida de acordo com os valores máximos permitidos pela portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, porém este resultado já era esperado, pelo fato de se saber que as águas da região amazônica, naturalmente, possuem caráter ácido e que a sazonalidade tem pouca influência nos valores deste parâmetro, visto que a média entre os dois períodos sazonais são praticamente a mesma. Conclui-se também que, a acidez da água vai diminuindo em direção a baía de Marajó e ao rio Paracauri, ou então esteja ocorrendo que, as águas provenientes desses recursos hídricos superficiais possam estar influenciando no pH das águas subterrâneas.

Os resultados para condutividade elétrica apresentaram variação significativa nos dois períodos sazonais, sendo a média de  $255,1\mu\text{S cm}^{-1}$  na época

de chuva e  $64,1\mu\text{S cm}^{-1}$  na época de seca. Observa-se que no período de seca há um declínio nos valores da condutividade, isto acontece devido a diminuição dos poluentes nas águas subterrâneas, enquanto que no período chuvoso, ocorre um aumento da condutividade elétrica, devido a grande descarga de poluentes nessas águas.

As análises para turbidez proporcionou os seguintes resultados, no período da chuva a média foi de 1,80 UNT, e no período de seca a média foi de 1,27 UNT. Logo se observa que as águas analisadas dos poços, encontram-se dentro dos padrões de potabilidade para consumo humano, que permite um VMP até 5,0 UNT. Conclui-se que, a turbidez dessas águas vai aumentando em direção à baía de Marajó e ao rio Paracauari, provavelmente este aumento se dá pela influência dessas águas superficiais. Apesar das médias serem muito próximas, não se pode afirmar que o período chuvoso, tenha provocado a suspensão de sólidos, elevando a turbidez da água nos poços.

Quanto aos STD, nenhuma das amostras analisadas ultrapassou o valor máximo de 1.000 mg/L estabelecido pela Portaria nº 2.914/11 de potabilidade do Ministério da Saúde. As médias foram de 173,4 a 43,6 mg/L nos períodos de chuva e seca, respectivamente. Essas concentrações mudaram muito durante os dois períodos sazonais, indicando que as águas levam certo tempo para descarga, diminuindo os valores em direção à jusante (rio Paracauari e a baía de Marajó).

Para as análises químicas das amostras, os resultados do oxigênio dissolvido, estão de acordo com os VMP exigido pela portaria 2914/11, pois seus teores obtiveram a média de 8,1 mg/L de  $\text{O}_2$  no período de chuva e 7,41 mg/L de  $\text{O}_2$  no período de seca. Salienta-se que é um parâmetro que não interfere na potabilidade da água.

Os valores obtidos para a dureza total, revelaram que nos dois períodos sazonais ocorreu uma grande diminuição nos teores de  $\text{CaCO}_3$ , onde no período de chuva, a média alcançada foi de 15,97 mg/L, enquanto que no período de seca a média foi de 94,36 mg/L  $\text{CaCO}_3$ . Esse aumento brusco da dureza total da água subterrânea na passagem dos dois períodos sazonais, mostra que há influência do curso das águas superficiais (rio Paracauari e baía de Marajó), alterando os teores de  $\text{CaCO}_3$  na dureza da água. Esses valores não excedem o limite máximo permitido pela portaria 2914/11, portanto está dentro da norma vigente de potabilidade para consumo humano. Conclui-se também que, no período de chuva

as águas subterrâneas são classificadas como grau de dureza mole, enquanto no período de seca as águas são classificadas como moderada a dura.

Os resultados da alcalinidade das amostragens nos dois períodos sazonais, apresentaram valores com médias de 24,71 e 37,70 mg/L CaCO<sub>3</sub>, para chuva e seca, respectivamente. Pode-se dizer que as águas subterrâneas analisadas, apresentam pouca alcalinidade, pois em se comparando com pH com médias de 4,90 e 4,98 dessas águas, classificam-se em ácidos minerais a bicarbonatos. Vale ressaltar que este parâmetro não apresenta VMP permitido pela portaria 2914/2011, portando, não tem como saber se esses teores estão em altas concentrações, pois se for o caso, poderia afetar no sabor da água, e provavelmente estaria fora dos padrões estabelecido pela lei vigente.

Para amônia, os resultados das análises nos dois períodos sazonais estão dentro dos padrões estabelecidos pela portaria 2914/2011, pois apresentam valores abaixo de 1,5 mg/L NH<sub>3</sub>, o maior valor chega a 0,60 mg/L NH<sub>3</sub>, a média para os dois períodos estão entre 0,16 e 0,22 mg/L NH<sub>3</sub>, respectivamente. Lembrando que a amônia é um dos principais indicadores de contaminação por esgoto doméstico e fossas sépticas.

Os resultados de nitrato das amostragens obtiveram médias de 22,73 mg/L N-NO<sup>-3</sup>, no período chuvoso, e 15,35 mg/L N-NO<sup>-3</sup> no período de estiagem. Portanto, esses resultados permitiram estabelecer que aproximadamente 74% dos poços apresentaram contaminação no período de chuva, reduzindo para 63% no período de seca aproximadamente, sendo assim, que as águas desses poços estão impróprias para consumo humano, no que diz respeito à portaria 2914/11 que permite o VMP até 10 mg/L N-NO<sup>-3</sup>. Conclui-se que as altas concentrações de nitrato nas águas desses poços possam está relacionados às diferentes fontes contaminantes, como os esgotos, fossas e cemitério, mas mesmo assim, não se pode afirmar com clareza qual seria a fonte principal de contaminação dessas águas.

A presença excessiva de nitrato nessas águas, que são consumidas pela população de Salvaterra é preocupante, pois este elemento poderá afetar negativamente a saúde de seus usuários.

As análise do cloreto apresentaram médias de 45,8 e 103,15 mg/L Cl<sup>-</sup> nos período de chuva e seca, respectivamente, logo esses resultados obtidos mostram que as águas analisadas estão dentro dos padrões de aceitação para consumo

humano. Os resultados revelam que os maiores teores possam está relacionados com as fontes contaminadoras, vindo especialmente dos esgotos domésticos e fossas sépticas.

O ferro apresentou maiores concentrações, apenas em dois poços (P4-IG-SAL-P2 da COSANPA) e (P6-R da pousada dos Aruãs), obtendo valores de 3,0 e 2,0 mg/L Fe, respectivamente no período chuvoso, ou seja, 10 a 6 vezes acima do VMP estabelecido pela portaria 2914/2011, que é de 0,3 mg/L Fe. E para o período de seca os resultados obtidos do ferro foram de 3,5 mg/L para o poço da COSANPA e 4,5 mg/L para o poço da pousada dos Aruãs, ou seja, confirmando ainda mais o excesso de teor de ferro nessas águas, portanto, logo pode-se dizer que são impróprias para o consumo humano.

Para as análises microbiológicas das amostras, os resultados tanto para *Escherichia coli* como para coliformes totais, apenas 11% das amostras analisadas foram ausentes nesses dois parâmetros microbiológicos, ocorrente no período chuvoso, observado nos poços P18-IG e P19-R. Para o período de seca, apenas 21% das amostras deram positivo para *Escherichia coli* e 47% das amostras deram positivo para coliformes totais. Observa-se que neste período sazonal ocorreu uma redução bastante expressiva dos coliformes em relação ao período chuvoso.

Tendo em vista que a maioria das amostras dos poços avaliados apresentou quadros de contaminação no período chuvoso (89%), e que o mesmo pode estar ocorrendo nos demais poços da cidade de Salvaterra, por isso, vale salientar que é de fundamental importância o consumo da água proveniente do sistema de tratamento da COSANPA, uma vez que os dados obtidos demonstraram a ausência de contaminação microbiológica neste sistema. O fato de não ter sido diagnosticada a presença de *E. coli* e *coliformes totais* nas amostras da COSANPA, não se descarta a possibilidade da presença de outros organismos patógenos de veiculação hídrica nessas águas.

Dessa forma, espera-se que essa dissertação possa ter contribuído para a saúde pública dos moradores de Salvaterra, demonstrando a importância do consumo de água tratada, sabendo-se que as águas subterrâneas nessa região da ilha de Marajó encontram-se vulneráveis pelas ações antrópicas.



## REFERÊNCIAS

AYACH, L. R.; PINTO, A. L.; CAPPI, N.; GUIMARÃES, S. T. L. Contaminação das águas subterrâneas por coliformes: um estudo da cidade de Anastácio - MS. **Climatologia e Estudos da Paisagem**, v.4, n.1, p. 5-26, 2009.

BAHIA, M.A. da S. **Caracterização biogeoquímica de águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho – RO**. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica). Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, UFPA, Belém, 1997. 129f.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2 ed. Bookman. Porto Alegre – RS, 2002.

BEMERGUY, R. L. **Estudo sedimentológico dos paleocanais da região do rio Paracauari, Ilha do Marajó – Estado do Pará**. 1981. 95f. Dissertação (Mestrado). Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, Belém, 1981.

BEZERRA, C.A.CA. **Eletrorresistividade aplicada ao estudo de água subterrânea no município de Salvaterra**. 1979. 69f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Ciências Geofísica e Geológica da Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, Belém, 1979.

BIGUELINI, C.P.; GUMY, M.P. **SAÚDE AMBIENTAL**: índices de nitrato em águas subterrâneas de poços profundos na região Sudoeste do Paraná. v.14, n.20, jul/dez. p.153-175. 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Diário Oficial da União, Brasília, 12 dez. 2011. p. 39.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**/Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 212 p. (Série B. Textos Básicos de Saúde)

BRASIL. Resolução CONAMA Nº 357 Ministério do Meio Ambiente. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências** de 17 de março de 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2017.

CABRAL, N.M.T. e LIMA, L.M. Qualidade da água do aquífero Barreiras em bairros de Belém. **Revista da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas**. v.19, n.2, jul-dez, 2005. p.37-53.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Relatório de qualidade das águas subterrâneas do estado de São Paulo do ano de 1997. São Paulo: CETESB, 1998, p.106.

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS). 2016. Fichas técnicas completas dos poços do município de Salvaterra. Disponível em: [http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa coordenada. php](http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa%20coordenada.php)>Acesso em: 18 de julho de 2016.

COLVARA et al. Avaliação da contaminação de água subterrânea em poços artesianos no sul do Rio Grande do Sul. **Brazilian Journal of Food Technology**, II SSA, 2009.

COSTA, C. L.; LIMA, R. F. de; PAIXÃO, G. C.; PANTOJA, L. D. M. Avaliação da Qualidade das Águas Subterrâneas em Poços do Estado do Ceará, Brasil. **Ciências Biológicas e da Saúde**, Londrina. 2012. v. 33, n. 2, p. 171-180, jul./dez.

CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M.R. **Hidrología Subterránea**. Ediciones Omega S.A., Barcelona. 1976. v.2.

CUTRIM, E.; SAUCK, W.A. Condutividade das águas da parte oriental da ilha e da baía de Marajó. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**, 30, Recife, 1978. Resumo das Comunicações. Boletim (1), 1978, p.354-355.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência / FINEP. 1988. p.575.

FERREIRA, D.B. **Variação sazonal e intra-regional do vento em superfície nos ecossistemas de floresta, manguezal e campo**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). 2001. 26f. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, Belém, 2001.

FIORUCCI A. R. & FILHO E. B. A importância de Oxigênio Dissolvido em Ecossistemas Aquáticos. **Química Nova na Escola**, n. 22. p.10-16, 2005.

FOSTER, S; HIRATA. R; GOMES. D; D'ELIA. M; PARIS. M. **Groundwater Quality Protection: A Guide for Water Service Companies, Municipal Authorities, and Environment Agencies**. 2011.

Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). **Manual de análise de água**. 4ª edição. Brasília, 2013. p. 56.

HIRATA, R. **Recursos hídricos**. In: **Decifrando a terra**. Wilson Texeira et al. (org.) 2. Reimpressão, São Paulo: Oficinas de textos, 2003. 568p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo demográfico do Estado do Pará – Município de Salvaterra**. 2010.

Instituto de Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental do Pará (IDESP). **Estatística Municipal de Salvaterra**. Secretaria Executiva de Estado de Planejamento - Pará. 2014. 48p.

IDESP. Instituto de Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental do Pará. **Estudos integrados da ilha de Marajó: relatório**. Belém, 1974. 332p.

IGREJA, et. al. Estudo neotectônico nas ilhas de Outeiro e Mosqueiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36. **Anais**. Natal, SBG – Núcleo Nordeste, 1990. v.5, p.2110-2123.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados de gráficos meteorológicos dos anos de 2016 da Estação Soure – Pará, Brasil**. 2016. Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede\\_estacoes\\_aut\\_o\\_graf](http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_aut_o_graf)> Acesso em>: 31 de janeiro de 2017.

LIMA, K. **Variação sazonal da precipitação pluviométrica, temperatura do ar e umidade relativa do ar em ecossistemas de manguezal, floresta e pasto no leste da Amazônia, no período de agosto/2000 a dezembro/2001**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, Belém, 2002. 43f.

LIMA, W.N.; KOBAYASHI, C.N. Sobre o quimismo predominante nas águas do sistema flúvio-estuarino de Barcarena-PA. **Geochimica Brasiliensis**, v.2, n.1, p. 53-71. 1988.

LISBOA, Pedro Luiz Braga. **A terra dos Aruã: uma história ecológica do arquipélago do Marajó**. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém. 2012. 482p.

MATTA, M.A.S. **Fundamentos Hidrogeológicos para a Gestão Integrada dos Recursos Hídricos da Região de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil**. 2002. 292f Tese (Doutorado). Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, Belém. 2002.

MERCADO, A. **Isotopes in hydrology**. Relatório. International Atomic Energy Agency. 10p.

MOURA, A. C.; ASSUMPÇÃO R. A. B.; BISCHOFF, J. Monitoramento físico-químico e microbiológico da água do rio Cascavel durante o período de 2003 a 2006. **Revista Arquivos do Instituto Biológico**, v.76, n.1, p.17-22, 2009.

PEREIRA, S.F.P. *et al.* Condições de potabilidade da água consumida pela população de Abaetetuba-Pará. **REA – Revista de Estudos Ambientais** (Online), jan./jun. v.12, n. 1, p. 50-62. 2010.

RICHTER, C.A.; AZEVEDO NETTO, J.M. de. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo. Editora Edgar Blücher LTDA. 2002. p. 1-38.

SANTOS, D.J. dos. Análise físico-química e microbiológica da água de poços superficiais, caixas d'água e do sistema de tratamento, em residências no município de Nova Xavantina-MT. **Revista Eletrônica da UNIVAR**. n. 13, v.1. p. 31-36. 2015.

SANTOS, J. O. dos; SANTOS, R. M. de S.; GOMES, M. A. D.; DE MIRANDA R. C.; NÓBREGA, I. G. de M. A Qualidade da Água para o Consumo Humano: Uma Discussão Necessária. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental - RBGA**, Pombal - PB, v. 7, n. 2, p. 19-26, abr./jun. 2013.

SERRA, V.H.; TANCREDI, A.C.F.N.S. Estudos hidrogeológicos da ilha de Marajó. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA. Belém, 1982. **Anais**. Belém, SBG, 1982, n.1. p.339-50.

SILVA, L.C.M; BROTTTO, M.E. **Nitrato em água: ocorrência e consequências**. Escola Superior de Química, Faculdades Oswaldo Cruz. São Paulo-SP. 15p. 2015.

TEIXEIRA, J.V.B.; COSTA, L.T.R. **Estágio de Campo III: sub-área X, estudo integrado da região de Soure-Salvaterra-Marajó, PA**. Belém: UFPA. Centro de Geociência. Departamento de Geologia. 153p. 1992.

TRANCREDI, A.C.F.N.S. **Hidrogeologia da Região Oriental da Ilha de Marajó**. Belém, Instituto do Desenvolvimento Econômico-Social do Pará. (Relatório de Pesquisa). 95p. 1986.

TRANCREDI, A.C.F.N.S. **RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS DE SANTARÉM: fundamentos para uso e proteção**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, UFPA, Belém. 153p. 1996.

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

**ANEXO**

## ANEXO A – Mapa de localização dos poços da cidade de Salvaterra

