



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOQUÍMICA: PETRÓLEO E MEIO
AMBIENTE – POSPETRO

JOSANA DE MELLO DANTAS

HIDROGEOQUÍMICA E ESTUDO DA VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO
TAQUARI/MARUIM NO MUNICÍPIO DE MARUIM, SERGIPE, NE DO BRASIL

Salvador
2013

JOSANA DE MELLO DANTAS

HIDROGEOQUÍMICA E ESTUDO DA VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO
TAQUARI/MARUIM NO MUNICÍPIO DE MARUIM, SERGIPE, NE DO BRASIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente - POSPETRO, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Geoquímica do Petróleo e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Jerônimo Moreira Cruz.

Salvador
2013

JOSANA DE MELLO DANTAS

HIDROGEOQUÍMICA E ESTUDO DA VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO
TAQUARI/MARUIM NO MUNICÍPIO DE MARUIM, SERGIPE, NE DO BRASIL

Dissertação apresentada ao programa de Pós Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente – POSPETRO, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, como requisito para obtenção do grau de Mestre.

Banca examinadora

Prof. Dr. Manoel Jerônimo Moreira Cruz (Orientador)
Doutor em Geologia, Université Pierre; Marie Curie, Paris VI., França.
Universidade Federal da Bahia

Prof. Dr. Sérgio Augusto de Moraes Nascimento
Doutor em Geologia, Universidade Federal da Bahia, Brasil.
Universidade Federal da Bahia

Dr. Paulo Henrique Prates Maia
Doutor em Geologia Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade Federal da
Bahia.
Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Defesa Pública 16/10/2013

Salvador
Outubro de 2013

Dedico este trabalho ao trio que sempre me apoiou, me educou e me ensinou a conquistar meus objetivos: "Vó" Josilda (*in memoriam*), minha mãe Joana e minha madrinha "Dinha".

RESUMO

As crescentes preocupações da sociedade com a qualidade dos recursos hídricos subterrâneos como garantia de fonte para o abastecimento público e para a produção econômica foram propulsoras da tomada de atitudes por parte dos governos de forma a estabelecerem programas de proteção da qualidade das águas subterrâneas e medidas que evitem sua degradação. A caracterização hidrogeoquímica tem por finalidade identificar e quantificar as principais propriedades e constituintes químicos, procurando estabelecer uma relação com o meio físico e os processos e fatores que influem na evolução da qualidade das águas subterrâneas, que podem ser intrínsecos e extrínsecos ao aquífero. O estudo da vulnerabilidade, por conseguinte, é um instrumento importante para o planejamento e gestão dos recursos hídricos, especialmente, nos aquíferos livres, utilizado para garantir a qualidade e a quantidade da água destes reservatórios. Os conceitos de vulnerabilidade natural de aquíferos fornecem subsídios ao planejamento do uso do território e da água por meio do conhecimento dos fatores que comprometem a qualidade da água e os riscos que podem levá-la à poluição. Assim, propõe-se nesta pesquisa a Classificação hidrogeoquímica das águas e a avaliação da vulnerabilidade intrínseca à contaminação natural do aquífero Taquari/Maruim no município de Maruim, Sergipe, utilizando os métodos GOD (FOSTER; HIRATA, 1988), DRASTIC (ALLER et al., 1987) e MAIA (MAIA; CRUZ, 2010). Foram realizadas as coletas dos dados necessários para definir os parâmetros aplicados aos métodos de avaliação da vulnerabilidade e analisada a hidroquímica de 30 poços em operação no município. Em cada amostragem foram determinados os parâmetros físico-químicos *in situ*, tais como: temperatura, pH, Eh, condutividade elétrica, OD e sólidos totais dissolvidos. Nas amostras coletadas para laboratório, foram realizados ensaios para determinação e quantificação de cloreto, sulfato, fosfato, íons cálcio, magnésio, sódio, potássio, carbonato e bicarbonato e nitrato. De acordo com o diagrama de Piper (1944) as águas subterrâneas foram classificadas em bicarbonatadas cálcicas (40%), cloretadas cálcicas (30%) e, em pequena proporção, cloretadas sódicas (26,7%) e bicarbonatada sódica 3,3%. Foram determinadas as classes de vulnerabilidade de cada um dos métodos e os respectivos mapas foram plotados. O município apresentou uma tendência média de vulnerabilidade intermediária, com variações, a depender do método utilizado. Algumas áreas próximas à sede municipal, onde estão localizados os principais poços de abastecimento, possuem tendência de vulnerabilidade alta e, em alguns casos, extrema.

Palavras-chaves: hidrogeoquímica; aquífero; vulnerabilidade; métodos de avaliação.

ABSTRACT

The growing societal concerns about the quality of groundwater resources as a source of assurance for public supply and economic output were driving from taking attitudes by governments in order to establish quality protection programs of groundwater and measures avoid degradation. The hydrogeochemical characterization aims to identify and quantify the main properties and chemical constituents, trying to establish a relationship with the physical environment and the processes and factors that influence the evolution of the quality of groundwater, which can be intrinsic and extrinsic to the aquifer. The study of vulnerability, therefore, is an important tool for planning and management of water resources, especially in free aquifers used to guarantee the quality and quantity of water from these reservoirs. The natural vulnerability of aquifers concepts provide subsidies for planning the use of land and water through knowledge of the factors that compromise the water quality and the risks that can take it to pollution. Thus, it is proposed in this research the hydrogeochemical classification of waters and the assessment of the intrinsic vulnerability to natural contamination of the aquifer Taquari / Maruim in the municipality of Maruim, Sergipe, using the GOD method (Foster; HIRATA, 1988), DRASTIC (Aller et al ., 1987) and Maia (Maia; CRUZ, 2010). They were held collections of data needed to define the parameters applied to vulnerability assessment methods and analyzed the hydrochemical 30 wells in operation in the city. In each sample were determined physico-chemical parameters in situ, such as temperature, pH, Eh, electrical conductivity, DO and total dissolved solids. All samples for laboratory tests were performed for the determination and quantification of chloride, sulfate, phosphate, calcium ions, magnesium, sodium, potassium, carbonate and bicarbonate, and nitrate. According to Piper diagram (1944) groundwater were classified into calcic bicarbonate (40%), chlorinated calcic (30%) and small proportion, chlorinated sodic (26.7%) and 3.3% sodium bicarbonate . They determined the vulnerability of each of the classes and their methods maps were plotted. The city had an average trend of intermediate vulnerability, with variations, depending on the method used. Some areas near the municipal headquarters, where the main supply wells are located, have high vulnerability trend and, in some cases extreme.

Keywords: Hydrogeochemical; aquifer; vulnerability; evaluation methods.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	ÁREA DE ESTUDO	13
1.1.1	Atividades econômicas	13
1.1.2	Clima	13
1.1.3	Geologia	15
1.1.4	Geomorfologia	17
1.1.5	Recursos Hídricos	17
1.1.6	Solos	18
1.1.7	Uso do solo	18
1.1.8	Hidrogeologia	18
2	MATERIAIS E MÉTODOS	20
2.1	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	20
2.2	RECONHECIMENTO DA ÁREA	20
2.3	AMOSTRAGEM DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	21
2.4	ANÁLISES QUÍMICAS	22
2.4.1	Parâmetros físico-químicos	22
2.4.2	Parâmetros hidroquímicos	23
2.5	SISTEMATIZAÇÃO DOS DADOS E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	29
3	ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DAS ÁGUAS DO AQUÍFERO TAQUARI/MARUIM NO MUNICÍPIO DE MARUIM, SERGIPE, BRASIL	34
3.1	INTRODUÇÃO	34
3.1.1	Caracterização da área de estudo	35
3.2	MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
3.3.1	Temperatura	41
3.3.2	pH	42
3.3.3	Potencial de oxirredução – ORP	43
3.3.4	Turbidez	44
3.3.5	OD	45
3.3.6	C.E e STD	46
3.4	CONCLUSÕES	48
3.5	AGRADECIMENTOS	49
3.6	REFERÊNCIAS	49
4	MAPEAMENTO DA SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA E DIREÇÃO DO FLUXO DE ÁGUA DO AQUÍFERO TAQUARI/MARUIM	50
4.1	INTRODUÇÃO	50
4.2	MATERIAIS E MÉTODOS	52
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
4.4	CONCLUSÕES	57
4.5	AGRADECIMENTOS	58
4.6	REFERÊNCIAS	58

5	ANÁLISE HIDROGEOQUÍMICA DO AQUÍFERO TAQUARI/MARUIM NO MUNICÍPIO DE MARUIM, SERGIPE, BRASIL	59
5.1	INTRODUÇÃO.....	59
5.2	MATERIAIS E MÉTODOS	61
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
5.4	CONCLUSÕES.....	69
5.5	AGRADECIMENTOS.....	69
5.6	REFERÊNCIAS	70
6	ESTUDO DA VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO TAQUARI/MARUIM NO MUNICÍPIO DE MARUIM E ADJACÊNCIAS, SERGIPE: APLICAÇÃO DO MÉTODO GOD.....	72
6.1	INTRODUÇÃO.....	72
6.2	MATERIAIS E MÉTODOS	75
6.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	79
6.4	CONCLUSÕES.....	81
6.5	AGRADECIMENTOS.....	82
6.6	REFERÊNCIAS	82
7	ESTUDO DA VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO TAQUARI/MARUIM NO MUNICÍPIO DE MARUIM E ADJACÊNCIAS, SERGIPE: APLICAÇÃO DO MÉTODO DRASTIC E DRASTICP	84
7.1	INTRODUÇÃO.....	84
7.2	MATERIAIS E MÉTODOS	86
7.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	96
7.4	CONCLUSÕES.....	101
7.5	AGRADECIMENTOS.....	102
7.6	REFERÊNCIAS	102
8	ESTUDO DA VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO TAQUARI/MARUIM NO MUNICÍPIO DE MARUIM E ADJACÊNCIAS, SERGIPE: APLICAÇÃO DO MÉTODO MAIA.....	104
8.1	INTRODUÇÃO.....	104
8.2	MATERIAIS E MÉTODOS	107
8.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	113
8.4	CONCLUSÕES.....	116
8.5	AGRADECIMENTOS.....	116
8.6	REFERÊNCIAS	116
9	CONCLUSÕES	118
	REFERÊNCIAS.....	120
	APÊNDICE A – FORMULÁRIO DE CAMPO.....	127
	APÊNDICE B – TRABALHO ENVIADO PARA XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS I.....	130
	APÊNDICE C – TRABALHO ENVIADO PARA XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS II	132

**APÊNDICE D – RESULTADO DAS ANÁLISES HIDROQUÍMICAS
MULTIELEMENTAR.....134**

D.1	Nitrato	137
D.2	Ferro	138
D.3	Manganês	139
D.4	Zinco	140
D.5	Cobre	141
D.6	Chumbo	142
D.7	Cloreto	143
D.8	Sulfato.....	144
D.9	Cálcio.....	145
D.10	Magnésio	146
D.11	Sódio.....	147
D.12	Potássio	148
D.13	Alcalinidade bicarbonato.....	149
D.14	Bário	150

**APÊNDICE E – PLANILHAS COM OS DADOS UTILIZADOS NOS MÉTODOS DE
VULNERABILIDADE.....151**

E.1	GOD.....	152
E.2	DRASTIC E DRASTICP.....	156
E.3	MAIA.....	159

1 INTRODUÇÃO

A água é o recurso natural mais importante para o homem e para todos os seres vivos, e sua disponibilidade com qualidade adequada é fundamental para a preservação da vida. Atualmente, a utilização da água subterrânea para o consumo humano tem aumentado, em relação ao uso da água superficial, e isso, juntamente com a contaminação dos aquíferos, afeta gravemente a disponibilidade deste recurso para o uso futuro.

A quantidade de água subterrânea disponível é muito maior em relação à quantidade de água superficial, podendo ser captadas nos mais diversos ambientes aquíferos ou em fendas existentes nas rochas. Apesar disto, não é uma fonte inesgotável, pois depende de condições de reposição da água por meio de recargas naturais.

Um sistema de aquífero é uma unidade dinâmica na qual existe a entrada de água, através da recarga, e a saída, após trajetos subterrâneos percorridos, através de descargas naturais (nascentes) e/ou captações (FERNANDES et al., 2001).

O estudo de aquíferos livres e rasos tem sua importância evidenciada devido à alta susceptibilidade à contaminação, especialmente, em áreas densamente povoadas. Com o objetivo de compreender a distribuição hidroquímica na interface água/rocha e avaliar a susceptibilidade à contaminação de um aquífero livre foi elaborado o estudo da vulnerabilidade intrínseca do aquífero Taquari/Maruim no âmbito do município de Maruim, estado de Sergipe.

A unidade aquífera Taquari/Maruim de natureza mista (cárstica e granular), localizado na porção leste do estado de Sergipe, pertence ao Domínio do Grupo Sergipe. Este aquífero apresenta uma carência de dados e informações acerca da qualidade de suas águas apesar da grande importância que exerce para a população do município. Sendo a principal fonte de abastecimento de água, haja vista que, os principais recursos hídricos superficiais são, constantemente, contaminados pelo lançamento de efluentes, tanto doméstico municipal quanto das diversas atividades econômicas praticadas no seu entorno.

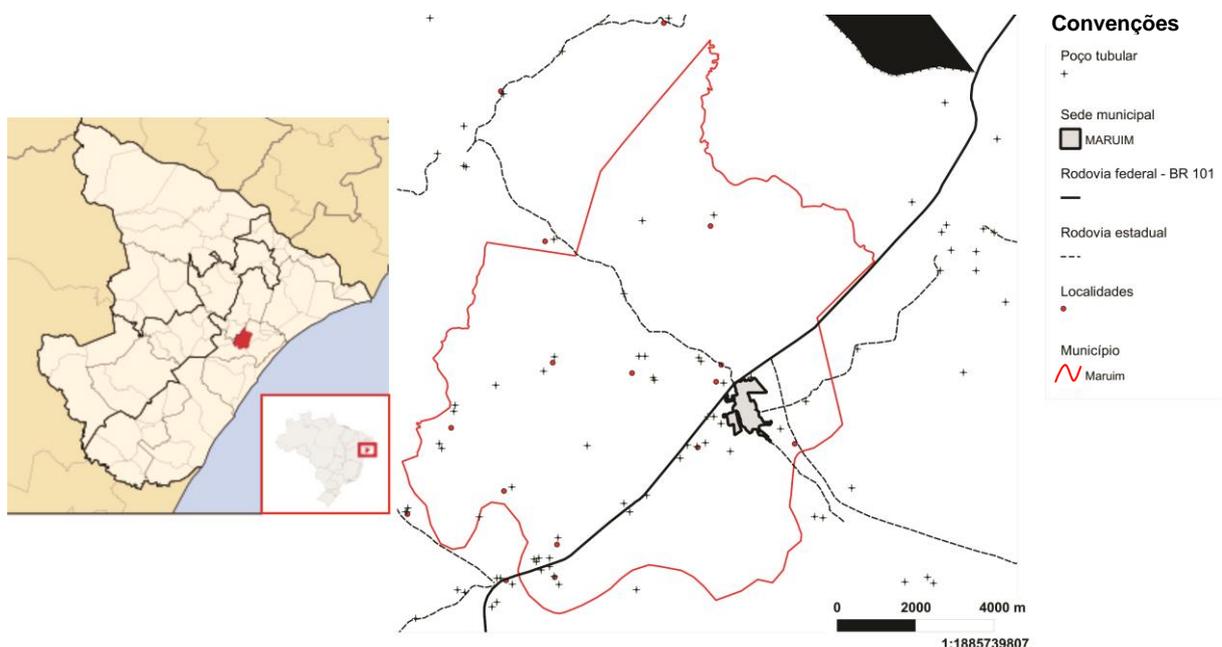
Por sua especial fragilidade a uma série de problemas relativos a impactos ambientais, o interesse pelas peculiaridades hidrológicas de aquíferos com

grande incidência de rochas carbonáticas/calcárias tem aumentado, essas regiões possuem valiosas reservas de água no subsolo, além de, comporem áreas de interesse econômico, hidrogeológico e de importância ambiental (SANTOS et al., 2010).

O termo “vulnerabilidade natural de um aquífero” pode ser definido como a avaliação da susceptibilidade do aquífero vir a ser contaminado e que depende de diversos fatores ambientais, geológicos, geomorfológicos, espessura da camada não saturada, recarga natural, escoamento superficial, exploração da água, dentre outros (RUSSO, 2009).

O município de Maruim, pertence à região do baixo Cotinguiaba, que compõe a grande Aracaju. Possui uma área de 93,8 km² (SERGIPE, 2011) e sua população residente é de, aproximadamente, 16.343 habitantes (IBGE, 2010). Situado na porção leste do estado de Sergipe, Maruim, é um município tipicamente urbano e suas principais atividades estão, principalmente, centradas no comércio e na prestação de serviços. Apresenta solos férteis e relevo pouco acidentado, fato que favorece o desenvolvimento agrícola da região (Figura 1.1).

Figura 1.1 – Localização de poços do município de Maruim e acesso viário a partir da BR-101



Fonte: Adaptado de Sergipe (2011) e Wikipédia (2013).

A população do município é participativa no que concerne a preservação da qualidade das suas águas. A exploração de água subterrânea e a sua utilização

para o consumo humano estão diretamente ligadas ao ensejo social. Trata-se de uma região com grandes áreas plantadas por diversas culturas, indústrias, minas e extração de petróleo e que está sujeita à contaminação, por efluentes e resíduos sólidos, com elevada carga de contaminantes. Lamentavelmente, devido a limitações de ordem econômica e cultural, muitas indústrias dispõem esses efluentes e resíduos sem o devido tratamento, e quando esta ocorre diretamente na superfície do solo, em áreas de recarga do aquífero, criando riscos eminentes de contaminação das águas subterrâneas (RONCHI; COELHO, 2003).

A presente dissertação consiste em apresentar os resultados da pesquisa sobre a “Hidrogeoquímica e estudo da vulnerabilidade do aquífero Taquari/Maruim, no município de Maruim, Sergipe, NE do Brasil”, por meio da interpretação dos dados hidroquímicos, classificação das águas do aquífero e mapeamento da vulnerabilidade utilizando os métodos MAIA (MAIA; CRUZ, 2010), DRASTIC (ALLER et al., 1987) e GOD (FOSTER; HIRATA, 1988).

Este trabalho foi organizado em capítulos e estruturado na forma artigos de científicos. O primeiro capítulo é a introdução, com a abordagem dos temas do trabalho, apresentação das justificativas para o desenvolvimento do mesmo e delimitação dos objetivos. No capítulo 2, Materiais e Métodos, foram descritos os materiais utilizados na pesquisa e os métodos utilizados para o desenvolvimento do trabalho.

Os capítulos seguintes foram distribuídos com os artigos gerados na pesquisa.

No capítulo 9, Conclusão, são feitas as considerações finais sobre o trabalho desenvolvido, assim sugestões e perspectivas para trabalhos futuros referentes à Hidrogeoquímica e estudo de vulnerabilidade de aquíferos.

Foram listadas as referências de toda a base bibliográfica citada na dissertação. Nos Apêndices estão disponíveis os dados que não foram inclusos no corpo da dissertação.

Os dados obtidos e as análises feitas, colocados através dos artigos distribuídos nos capítulos de 3 a 8 deste trabalho, serão submetidos às comunicações científicas em periódicos da área

Foram submetidos e apresentados dois trabalhos no XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS/ VII FENÁGUA - Feira Nacional da Água/ XVIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços (Apêndices B e C).

1.1 ÁREA DE ESTUDO

1.1.1 Atividades econômicas

A economia da região tem suas bases nas atividades agrícolas, pecuárias, indústria (fertilizante e têxtil), comércio (básico varejista) e mineração.

Atualmente os setores mais importantes são a agropecuária e a mineração.

A agricultura ganha um papel de destaque na região como um todo, sendo a principal atividade econômica em uma série de municípios vizinhos. A principal cultura é a cana-de-açúcar, que se constitui em, praticamente, uma monocultura na região, o que acaba estimulando o desenvolvimento de outros setores que utilizam o resíduo do beneficiamento da cana como principal matéria-prima. Outras atividades agrícolas constituem-se no cultivo do coco, da mandioca, da manga e da laranja (BOMFIM et al., 2002).

As principais atividades de base pecuária a criação de equinos e muare e a criação e abate de bovinos, ovinos e suínos.

No que se refere à mineração, o município possui algumas áreas com concessão à pesquisa dos minerais: sais de potássio, calcário e salgema. Outras áreas estão em concessão de lavra e beneficiamento dos minerais como a silvinita.

A atividade de exploração e produção de petróleo, também, é de grande importância na região.

Recentemente foi concedida a licença para instalação do projeto piloto para extração de sais da carnalita – extração de magnésio, através do projeto Carnalita de Sergipe, numa área de lavra concedida à empresa Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras) que por sua vez cedeu os direitos de exploração à companhia VALE.

1.1.2 Clima

Na gestão e planejamento dos recursos hídricos, os estudos climatológicos são de importância fundamental e estão intimamente relacionados com o regime pluvial e conseqüentemente com os rios e as águas subterrâneas (NASCIMENTO, 2008).

Utilizando-se o método de classificação climática de Thornthwaite e Mather (1955) o qual se expressa pelo índice de umidade (Im), calculado pela equação $Im=(IV-lax)$ sendo $IV=EXC/EVP \times 100$, índice de umidade sazonal. Calculando estas equações com os dados do Balanço Hídrico, indicou-se que a localidade possui um clima tipo Magatérmico Úmido Sub-Úmido com moderada deficiência de verão (SEPLANTEC, 1997).

A temperatura média anual é de 25°C (BOMFIM et al., 2002).

Apresenta uma variação pluviométrica mensal de 0,0 mm na mínima e de 395,5 mm na máxima. A precipitação média anual é de 2.027, 2 (no acumulado), com período chuvoso de março a agosto.

A Tabela 1.1 mostra a variação da pluviometria mensal da área em estudo e a Figura 1.2 o pluviograma construído a partir dos dados da Tabela 1.1.

Tabela 1.1 – Pluviosidade média mensal do município de Maruim, 2001-2007.

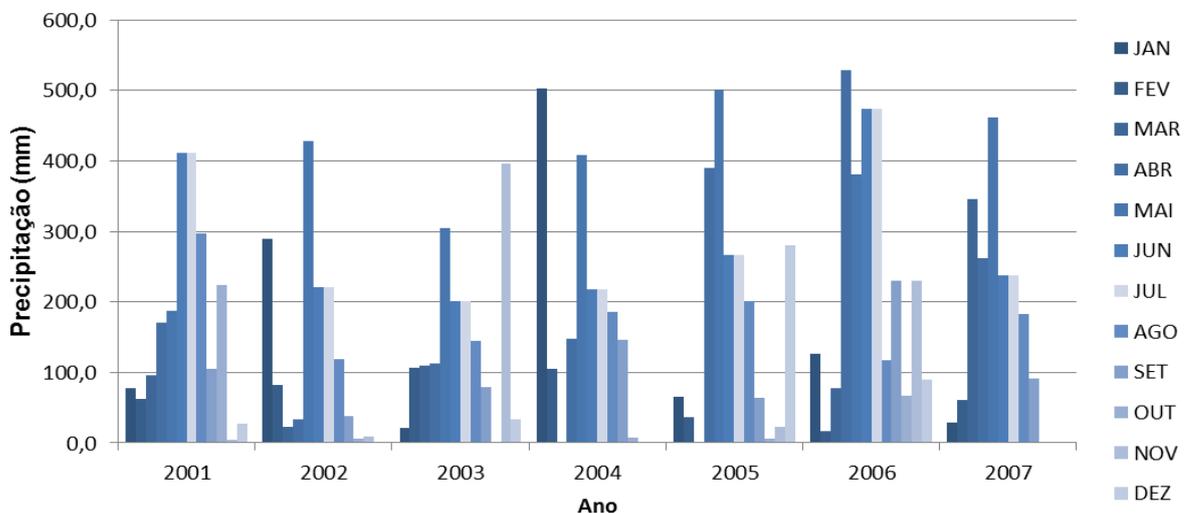
													(Em mm)			
ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ACUMULADO	MÉDIA	MIN	MÁX
2001	78,2	62,3	96,0	171,1	187,7	411,0	225,0	297,0	104,5	224,0	4,0	27,5	1888,3	157,4	4,0	411,0
2002	289,4	82,5	22,0	33,7	427,5	220,5	216,5	118,4	38,0	6,0	9,0	1463,5	133,0	6,0	427,5	
2003	20,6	106,5	109,5	112,5	304,2	201,0	248,5	144,5	79,0	0,0	395,5	34,0	1755,8	146,3	0,0	395,5
2004	502,0	105,5	0,0	147,9	408,5	217,5	382,0	185,0	145,5	7,5	0,0	2101,4	191,0	0,0	502,0	
2005	66,0	37,0	0,0	389,5	501,6	267,0	501,0	201,5	64,0	6,0	23,0	280,0	2336,6	194,7	0,0	501,6
2006	127,0	16,5	78,0	529,0	381,5	474,0	364,5	116,5	229,5	67,5	230,5	90,0	2704,5	225,4	16,5	529,0
2007	29,0	61,0	346,0	262,0	461,4	237,0	270,1	182,0	91,0				1939,5	215,5	29,0	461,4
MÉDIAS	158,9	67,3	93,1	235,1	381,8	289,7	315,4	177,8	107,4	51,8	110,3	107,9	2096,5	174,7	51,8	381,8

Fonte: Escritório local de Maruim, EMDAGRO ([s.d], p. 18)

(...) Dados não disponíveis.

Nota: O pluviômetro foi transferido para o município de Santo Amaro das Brotas, em outubro de 2007.

Figura 1.2 – Pluviograma médio mensal, 2001-2007 do município de Maruim (adaptado da tabela 1)



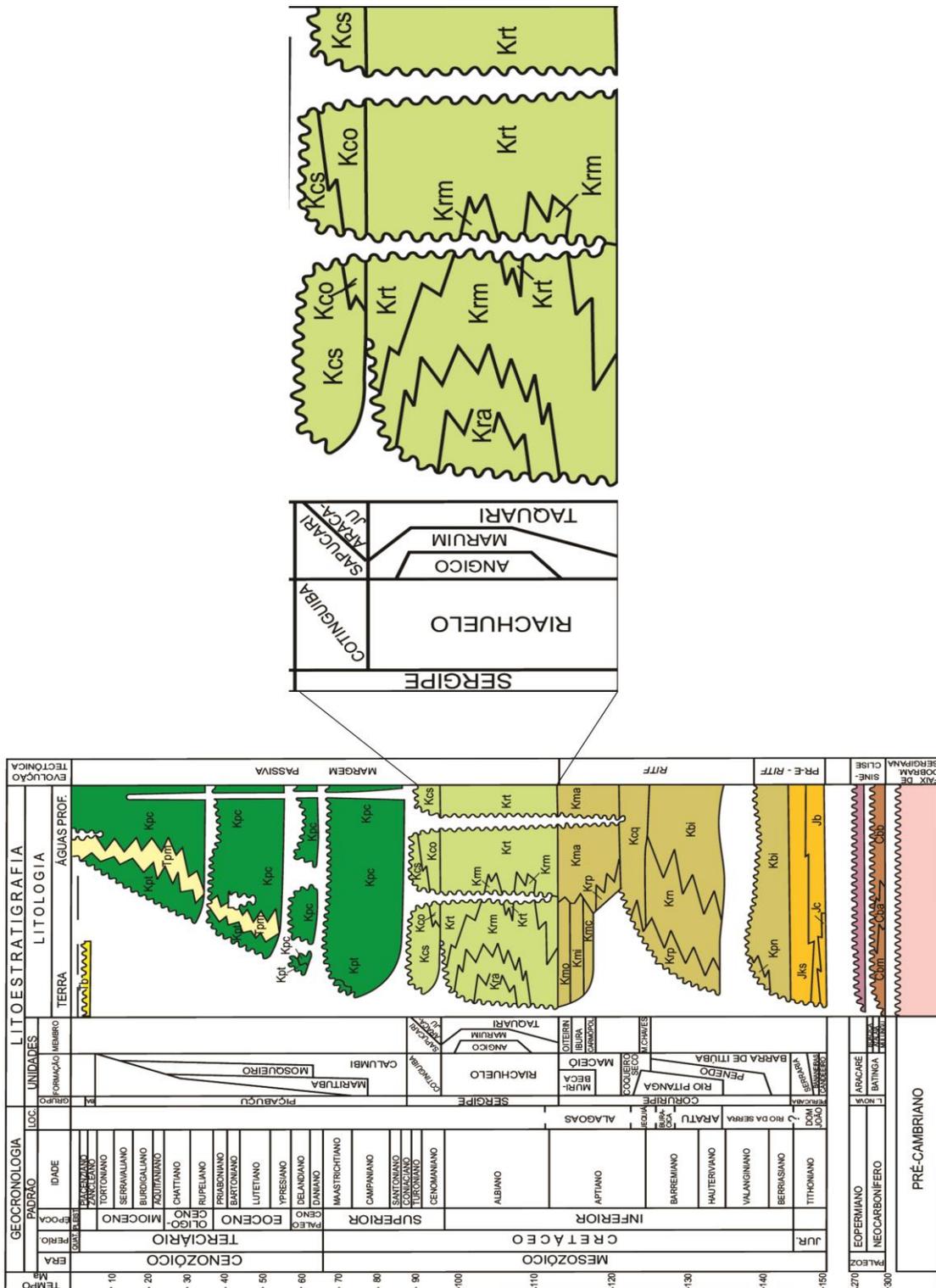
Fonte: Escritório local de Maruim, EMDAGRO ([s.d], p. 18)

1.1.3 Geologia

O município está sobre um contexto geológico representado pelos sedimentos cenozoicos das Formações Superficiais continentais, e pelas rochas sedimentares mesozoicas da Bacia de Sergipe (Figura 1.3).

Entre os sedimentos cenozoicos, predominam areias finas e grossas com níveis argilosos e conglomerados do Grupo Barreiras e depósitos aluvionares e coluvionares mais recentes (BOMFIM et al., 2002).

Figura 1.3 – Carta Estratigráfica da Bacia de Sergipe



Fonte: Adaptado de SANTOS et al. (2001, p. 42).

Os litotipos que caracterizam a geologia local pertencem ao Grupo Sergipe, formação Riachuelo, membros Taquari e Maruim (Figura 1.4) e formação Cotinguiba, membro Sapucari.

Figura 1.4 – Coluna estratigráfica composta da Formação Riachuelo, membros Taquari e Maruim

	DESCRIÇÃO	INTERPRETAÇÃO
	Membro Taquari: Calcilutito e folhelho cinzentos, interacamadados.	Deposição em talude.
	Membro Maruim: Calcarenitos e calcilutitos oncolíticos e oolíticos creme; dolomitos creme a castanho; recifes algálicos isolados. Níveis subordinados de arenito, siltito e folhelho.	Deposição em plataforma carbonática.

Fonte: Adaptado de SANTOS et al. (2001, p. 49).

1.1.4 Geomorfologia

Relevo dissecado dos tipos Colina e Tabular. Planície Fluvial. Aprofundamento de drenagem muito fraca e extensão máxima de suas formas 750m (SEPLANTEC, 1997).

1.1.5 Recursos Hídricos

O município está inserido na bacia hidrográfica do rio Sergipe, sendo o rio Ganhamoroba, afluente da margem esquerda do rio Sergipe, o principal meio de escoamento superficial (SERGIPE, 2011).

A sede municipal possui abastecimento de água distribuída pela Companhia de Saneamento de Sergipe - DESO, a água é bombeada diariamente de 2 poços tubulares localizados no município, mantendo um terceiro poço para casos emergenciais. A rede de abastecimento abrange um total de 2.486 ligações, sendo 2.393 residenciais, 42 comerciais, 1 industrial e 50 no poder público (BOMFIM et al., 2002).

As demais localidades são abastecidas por meio dos poços de propriedade da Prefeitura municipal de Maruim. Algumas residências, indústrias e propriedades particulares possuem sua própria fonte de abastecimento de água, geralmente é um poço tubular ou poço raso.

1.1.6 Solos

O município possui solos dos tipos: Argissolos vermelho-amarelo – siglas (PV1 e PV7), antes designado Podzólico vermelho-amarelo, Vertissolo (V), Aluviais (Aed), Solos indiscriminados de mangues (SM), agora designados solos de mangue e Solos Hidromórficos (HGe) (SERGIPE, 2011).

A maior parte do território tem o predomínio dos Argissolos vermelho-amarelo, solos minerais, não hidromórficos, com horizonte A ou E (horizonte de perda de argila, ferro ou matéria orgânica, de coloração clara) seguido de B textural, com nítida diferença entre os horizontes (EMBRAPA, 2006).

1.1.7 Uso do solo

O solo no município tem o seu principal uso em pastagens, nota-se a predominância da atividade da pecuária em sua total extensão. Existem, também, grandes áreas de cultivos agrícolas (permanentes e temporárias) e áreas de Floresta Estacional (SERGIPE, 2011).

Diante da existência dos aglomerados urbanos, além das fazendas, o território é bastante cortado por estradas não pavimentadas que ligam os povoados entre si e com a sede municipal. No entanto, devido ao cultivo da cana de açúcar, é significativo o número de acessos aos canaviais utilizados para o escoamento da produção.

É possível observar a exploração de petróleo pela Petrobras, embora não seja forte esse movimento econômico há a existência de alguns pequenos pontos de extração de petróleo através de “cavalos-de-pau” (SEPLANTEC, 1997).

1.1.8 Hidrogeologia

No município podem-se distinguir dois domínios hidrogeológicos: Bacias Sedimentares, que ocupa aproximadamente 60% do território municipal e Formações Superficiais Cenozoicas (FEITOSA et al., 1998; BOMFIM et al., 2002).

As Bacias Sedimentares são constituídas por rochas sedimentares muito diversificadas e as Formações Superficiais Cenozoicas constituídas por pacotes de rochas sedimentares que recobrem as rochas mais antigas das Bacias

Sedimentares, da Faixa de Dobramentos Sergipana e do Embasamento Gnáissico formam o denominado aquífero do tipo granular (FEITOSA et al., 1998).

O Membro Maruim ocorre em uma faixa diagonal na direção NE-SW, aflorando descontinuamente nesta faixa, alternando-se com o Membro Taquari com o qual se interdigita lateralmente. Na sua extremidade NE, a faixa de afloramento Maruim/Taquari é capeada pela Formação Barreiras (FEITOSA et al., 1998).

“O Membro Maruim apresenta espessuras variando entre 100 m e 350 m, sendo litologicamente caracterizado por calcários dolomitizados” (ARAÚJO et al., 2009).

Segundo Feitosa et al. (1998) o aquífero Taquari/Maruim teve seu comportamento caracterizado como heterogêneo e anisotrópico, exibindo feições típicas de circulação cárstica, a partir de análise por meio de testes de aquífero e perfis litológicos onde, em face da litologia predominantemente carbonática, é válido admitir que a anisotropia seja devida a existência de carstificações.

Os folhelhos cinzentos e calcilutitos intercamadados do membro Taquari, juntamente com os calcarenitos e calcilutitos do membro Maruim, depositados em plataforma carbonática, conferem ao aquífero a natureza mista (granular e cárstico).

O tipo de hidrogeologia da área confere, no geral, excelentes condições de armazenamento e fornecimento d'água, o que gera um grande benefício para a comunidade. Em termos hidrogeológicos, isso se deve ao fato da grande espessura de sedimentos, da alta permeabilidade de suas litologias e da apresentação de uma elevada permeabilidade nos terrenos arenosos. A depender da espessura e da razão areia/argila das suas litologias, pode permitir a exploração de vazões significativas (BOMFIM et al., 2002).

De acordo com dados da ANA (2006), os aquíferos associados às zonas fraturadas e de dissolução, representados por sedimentos, metassedimentos e calcários, possuem problemas localizados de dureza e salinidade das águas devido à contribuição das rochas calcárias. A vazão média dos poços que exploram água nesses aquíferos é 15,2 m³/h e sua profundidade é de 62 m (ANA, 2006; ARAÚJO et al., 2009).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Baseada na seleção de técnicas e procedimentos adotados no âmbito das geociências, relacionada à caracterização hidrogeoquímica e estudos de vulnerabilidade intrínseca de aquíferos, a pesquisa foi desenvolvida em várias etapas metodológicas, distintas e dependentes entre si.

Considerando como hipótese do trabalho: o princípio de que os aquíferos são todos vulneráveis em algum grau (HIRATA, 2001) e a necessidade de aplicação de diferentes metodologias, a fim de verificar qual melhor se adequa ao objetivo de prevenir a contaminação dos recursos hídricos subterrâneos. Foram testados os métodos de avaliação de vulnerabilidade, comparando métodos clássicos qualitativo com um novo método numérico e validá-los por meio da hidrogeoquímica.

A verificação dessas hipóteses deu-se a partir de: reconhecimento da área, amostragem da água subterrânea, análises químicas e, sistematização dos dados e interpretação dos resultados.

Paralelamente foi dada continuidade ao levantamento bibliográfico de referências acerca dos métodos apresentados e foram introduzidas adaptações dos métodos aplicados.

A seguir são apresentadas as atividades desenvolvidas a fim de atingir os objetivos propostos

2.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Para a construção da revisão bibliográfica foi iniciada uma ampla consulta as referências bibliográficas, através da análise de livros, artigos científicos, dissertações e teses, anais de congressos nacionais e internacionais, publicados sobre o tema, e consultas a órgãos públicos visando a melhor compreensão do assunto.

2.2 RECONHECIMENTO DA ÁREA

Consistiu na delimitação e caracterização geográfica de toda a área do aquífero, dentro do limite municipal, através da definição da localização dos poços (públicos e privados) de interesse à pesquisa. Nesta fase, antecedendo a etapa de

coleta, foi realizada uma visita exploratória na área para cadastramento e identificação dos poços tubulares, bem como verificação das possíveis fontes de contaminação, aquisição de fotografias panorâmicas do entorno dos poços e georreferenciamento.

2.3 AMOSTRAGEM DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Para melhor compreender a dinâmica do aquífero, foram feitas duas amostragens de água em pontos escolhidos estrategicamente, em maio de 2012 e maio de 2013, durante a primeira campanha foram quantificados os parâmetros físico-químicos, a segunda campanha foi realizada para averiguação de possíveis variações ligadas à pluviometria. Nas amostras da segunda campanha foram analisadas, além os parâmetros físico-químicos, as variáveis hidroquímicas e outros parâmetros que podem interferir direta e/ou indiretamente na qualidade da água do aquífero.

A água foi coletada *in natura*, na superfície, diretamente do sistema de captação do poço, após ser expurgada e bombeada por tempo suficiente para renovação a água do poço. Para tanto, foram utilizados recipientes apropriados de plástico polietileno com tampa vedante de polipropileno. Durante cada coleta, foram totalmente enchidos e lacrados, evitando-se bolhas de ar e evaporação, tiveram seu conteúdo homogeneizado, invertendo a embalagem várias vezes. Cada recipiente foi identificado com etiquetas padronizadas (Figura 2.1).

Figura 2.1 – Modelo de etiqueta de identificação das garrafas de coleta de água



Durante a amostragem de campo foram feitas anotações em fichas padronizadas, adaptada de Nascimento (2008) e Santos (2011), com o objetivo de agregar aos dados existentes as observações adquiridas em campo (Apêndice A).

Para evitar alterações nas amostras d'água até a chegada ao laboratório, foi necessária a conservação e preservação, em caixas de isopor, sob refrigeração. As técnicas de amostragem e preservação das amostras seguiram as orientações técnicas especializadas, como o Manual prático de análise de água (FUNASA, 2006), Manual técnico para coleta de amostras de água (MANUAL, 2009), Norma CETESB para amostragem e monitoramento das águas subterrâneas (CETESB, 1999) e do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998).

2.4 ANÁLISES QUÍMICAS

Todas as amostras foram analisadas segundo os parâmetros físico-químicos e hidroquímicos. Para um controle da qualidade nas análises citadas foram realizadas duplicatas de todas as amostras, triplicatas e algumas quadruplicadas, quando necessário, além do branco.

Os materiais que foram utilizados estavam devidamente lavados com detergente não fosfatado Extran MA 02 neutro (MERCK S.A), solução a 2%, e água da deionizada (Osmose Reversa, GEHAKA, Modelo OSMOSE 10LTH FARMA), enxaguados em solução de ácido nítrico 65%, ou ácido clorídrico 37% e esterilizados para evitar contaminação.

Os ensaios químicos das amostras de água foram realizadas de acordo com as metodologias:

2.4.1 Parâmetros físico-químicos

Os parâmetros físico-químicos, tais como: temperatura, pH, Eh, condutividade elétrica, OD e sólidos totais dissolvidos foram analisados *in situ* com o Medidor Multiparâmetros portátil (Multi Water Quality Checker U-50 Series 2) da marca HORIBA, manta 2 (Quadro 2.1).

Quadro 2.1 – Técnicas e métodos analíticos utilizados – medidos em campo, nos poços do município de Maruim

PARÂMETROS	UNIDADE	EQUIPAMENTO	INTERVALO DE MEDIÇÃO*	RESOLUÇÃO*	PRECISÃO*
Temperatura	°C	Multi Water Quality Checker U-50 Series 2	-10 - 55	0,01	-
pH		Multi Water Quality Checker U-50 Series 2	0-14	0,01	+0,1
pH	mV	Multi Water Quality Checker U-50 Series 2	-	-	-
ORP	mV	Multi Water Quality Checker U-50 Series 2	-2000 - +2000	1mV	+15 mV
C.E.	mS cm-1	Multi Water Quality Checker U-50 Series 2	0-100	0,01	1%
Turbidez	NTU	Multi Water Quality Checker U-50 Series 2	0 - 1000	0,01	+1NTU
OD	mg L-1	Multi Water Quality Checker U-50 Series 2	0-50	0,01	+0,02 mg L-1
OD	%	Multi Water Quality Checker U-50 Series 2	-	-	-
Salinidade	g L-1	Multi Water Quality Checker U-50 Series 2	0-70	0,1	+3 PPT
STD	g L-1	Multi Water Quality Checker U-50 Series 2	0-100	0,01	+5g L-1

* Valores encontrados no manual de operação do equipamento.

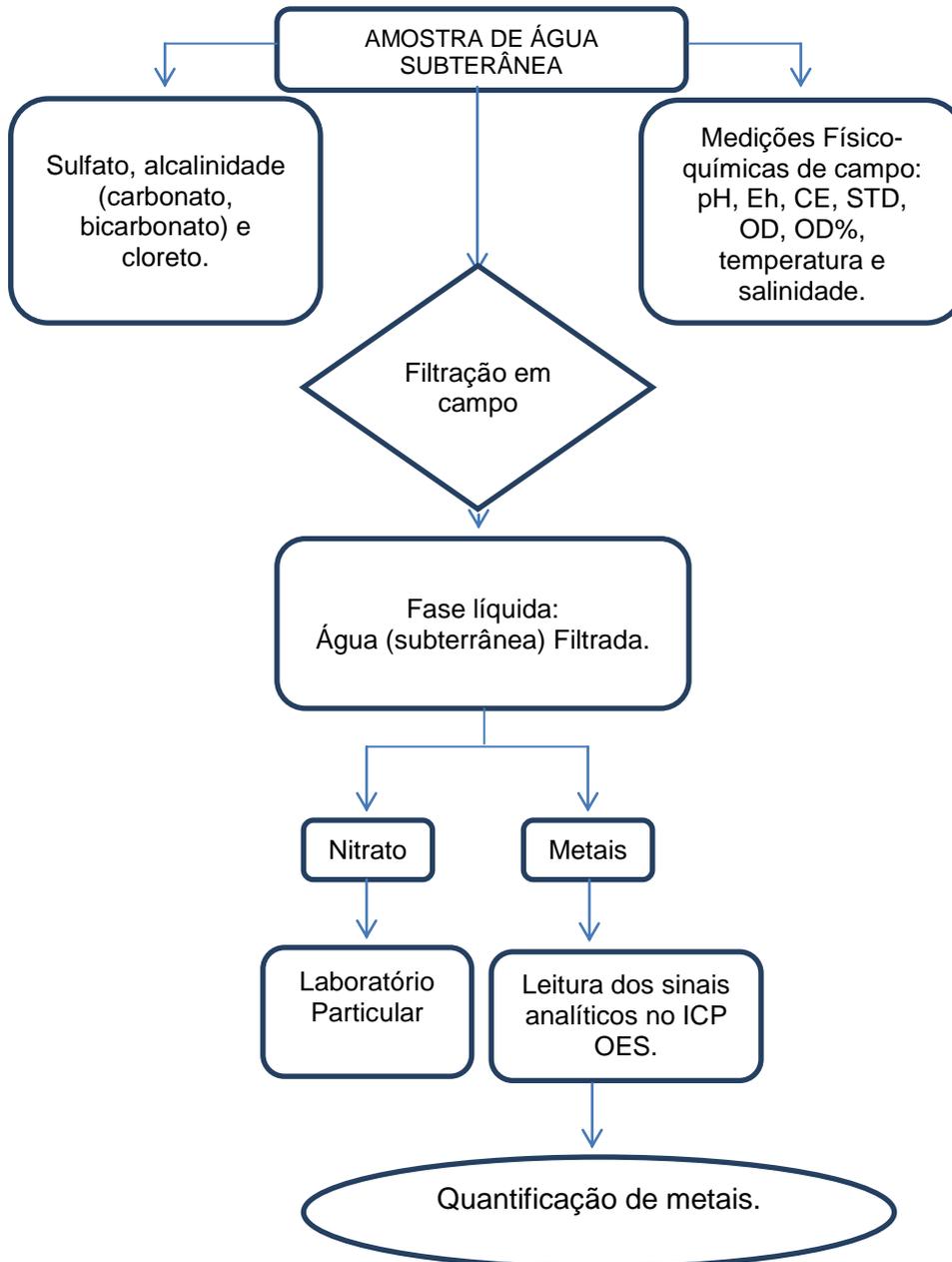
2.4.2 Parâmetros hidroquímicos

Para estes parâmetros, as amostras foram divididas em duas alíquotas (Figura 2.2).

Na primeira alíquota a água foi analisada, sem adição de conservantes e sob refrigeração, para os parâmetros:

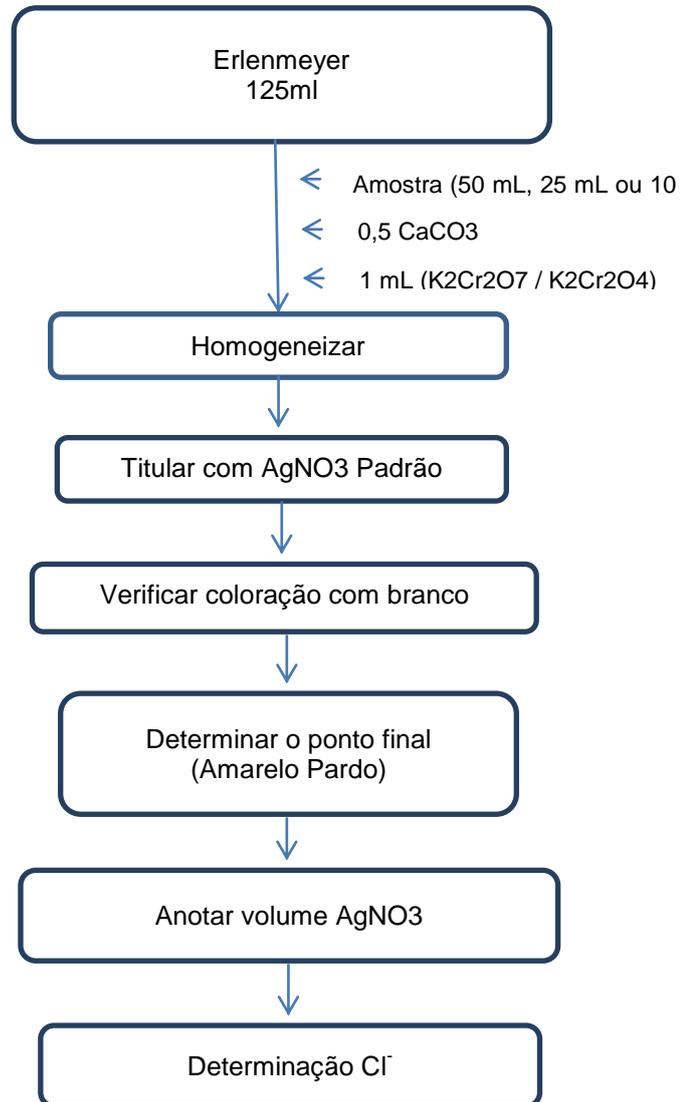
- Nitrato: a água foi filtrada em membrana Milipore 0,45µm, a determinação e quantificação foram feitas pelo Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe (ITPS/SE).
- Sulfato: quantificado por espectrofotômetro (HITACHI, modelo U-5100) (APHA, 1998).
- Os íons carbonato e bicarbonato foram determinados e quantificados pelo ITPS/SE.

Figura 2.2 – Fluxograma geral dos ensaios analíticos para as amostras de água dos poços do município de Maruim



- Cloreto: Foi determinado por método titrimétrico, método volumétrico de Mohr, de acordo com o fluxograma de ensaio (Figura 2.3).

Figura 2.3 – Fluxograma do ensaio analítico para o cloreto das amostras de água dos poços do município de Maruim



Na segunda alíquota a água foi filtrada em membrana Milipore 0,45µm, Bomba de vácuo Primatec, modelo 131 (Motor ¼ CV, 1720 rpm, 0,18Kw, 127/220 Volts.), (Figura 2.4).

Figura 2.4 – Equipamento de filtração em operação



- após filtração a água foi acidificada (adicionado 5ml HNO_3 65% P.A (MERCK S.A), $\text{pH} < 2$).

A água filtrada foi pré-concentrada. Foram tomadas alíquotas de 200 mL, com pipetas volumétricas de 100 mL, em duplicata, de cada garrafa de 1L após homogeneização. Essa alíquotas foram colocadas em *beckers* de Teflon e levadas a placa de aquecimento a 70 °C para a redução de volume em oito vezes. Em seguida estas amostras pré-concentradas foram transferidas para balões volumétricos de 25 mL, completadas com água ultrapura. Após a avolumação as amostras pré-concentradas são transferidas para garrafas de polietileno de 100 mL (Figura 2.5, 2.6 e 2.7).

Figura 2.5 – Redução do volume de água na placa aquecedora em *beckers* de Teflon



Figura 2.6 – Avolumação das amostras em balões volumétricos de 25 mL



Figura 2.7 – Transferência das amostras pré-concentradas para garrafas de polietileno de 100 mL



Foram determinados e quantificados, na água pré-concentrada os elementos¹: bário (Ba), cálcio (Ca), chumbo (Pb), cobre (Cu), ferro (Fe), magnésio (Mg), manganês (Mn), potássio (K), sódio (Na) e zinco (Zn) por ICP OES (Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado) no equipamento ICP Emission Spectrometer, Espectrômetro de emissão ótica com plasma de argônio induzido. Modelo Liberty 150 (VARIAN), (Figura 2.8).

¹ Nem todos os elementos foram interpretados neste trabalho, entretanto suas concentrações encontram-se no APÊNDICE C.

Figura 2.8 – Determinação de analitos inorgânicos das amostras de água dos poços do município de Maruim no ICP OES



As configurações do equipamento ICP OES para determinação dos elementos químicos na água encontram-se no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 – Características de operação do equipamento para determinação dos elementos químicos na água e nos sólidos em suspensão retidos e digeridos

Dados	Características
Potência	1000 W
Vazão do plasma	15,0 L min ⁻¹
Vazão do gás auxiliar	1,50 L min ⁻¹
Pressão da câmara de nebulização	150 kPa
Linhas espectrais selecionadas	Ba – 455.403 nm Mn – 257.610 nm Fe – 259.940 nm Mg – 279.553 nm Na – 589.592 nm Ca – 317.933 nm Zn – 213.856 nm Cu – 324.754 nm Pb – 220.353 nm K – 769.896 nm

As técnicas e métodos analíticos, limite de detecção de cada método, equipamento utilizado e a referências dos métodos podem ser observados no Quadro 2.3.

Quadro 2.3 – Técnicas e métodos analíticos utilizados – quantificados em laboratório das amostras de água dos poços do município de Marum

PARÂMETROS	UNIDADE	L M D	TÉCNICA ANALÍTICA	EQUIPAMENTO	REFERÊNCIA DO MÉTODO
Cloreto	mg L ⁻¹	-	Titrimetria		SMEWW 4500Cl ⁻ 20th
Nitrato	mg N-NO ₃ L ⁻¹	0,011	Espectrofotometria	Espectrofotômetro	US EPA 300.0
Carbonato	mg CaCO ₃ L ⁻¹	-	Titrimetria	-	SMEWW 2320 B
Bicarbonato	mg CaCO ₃ L ⁻¹	-	Titrimetria	-	SMEWW 2320 B
Sulfato	mg L ⁻¹	0,01	Espectrofotometria	Espectrofotômetro	SMEWW 4500E 19th
Bário	mg L ⁻¹	0,01	ICP OES	ICP Emission Spectrometer	Método do Manual VARIAN
Cálcio	mg L ⁻¹	0,05	ICP OES	ICP Emission Spectrometer	Método do Manual VARIAN
Chumbo	mg L ⁻¹	0,01	ICP OES	ICP Emission Spectrometer	Método do Manual VARIAN
Cobre	mg L ⁻¹	0,05	ICP OES	ICP Emission Spectrometer	Método do Manual VARIAN
Ferro	mg L ⁻¹	0,01	ICP OES	ICP Emission Spectrometer	Método do Manual VARIAN
Magnésio	mg L ⁻¹	0,01	ICP OES	ICP Emission Spectrometer	Método do Manual VARIAN
Manganês	mg L ⁻¹	0,001	ICP OES	ICP Emission Spectrometer	Método do Manual VARIAN
Potássio	mg L ⁻¹	0,05	ICP OES	ICP Emission Spectrometer	Método do Manual VARIAN
Sódio	mg L ⁻¹	0,01	ICP OES	ICP Emission Spectrometer	Método do Manual VARIAN
Zinco	mg L ⁻¹	0,01	ICP OES	ICP Emission Spectrometer	Método do Manual VARIAN

OBS.: L D M - Limite de detecção do método; UNT – Unidade nefelométrica de turbidez;

Ao final de cada análise química, o material e amostra que não mais serviram foram ser devidamente descartados, segundo critérios dos procedimentos do laboratório.

2.5 SISTEMATIZAÇÃO DOS DADOS E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

A padronização dos valores e eliminação de dados espúrios, o escore bruto – valor individual observado nas variáveis quantificadas – consiste na conversão dos dados em escore z.

Para o conhecimento do escore z para cada amostra foram calculados a média aritmética e o desvio padrão inicial dos ensaios ($z < -3$ e $z > 3$), de acordo com as equações 2.1, 2.2 e 2.3, observados da distribuição normal padrão, Figura 2.9.

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \text{ ou } z = \frac{x - \bar{x}}{s} \quad \text{Equação 2.1}$$

$$-3 \geq \frac{x_{inf} - \bar{x}}{s} \Rightarrow x_{inf} \leq -3 \cdot s + \bar{x} \quad \text{Equação 2.2}$$

$$+3 \geq \frac{x_{sup} - \bar{x}}{s} \Rightarrow x_{sup} \geq 3 \cdot s + \bar{x} \quad \text{Equação 2.3}$$

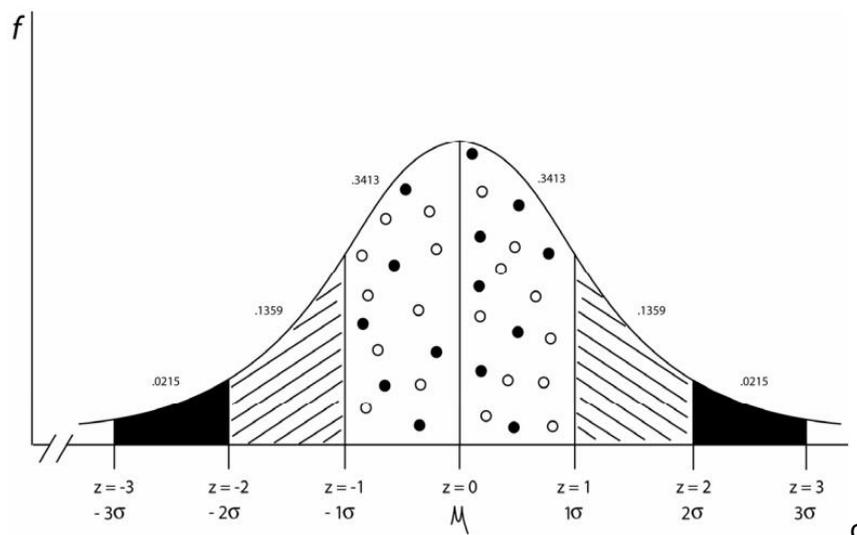
Logo, valores menores que “ x_{inf} ” e maiores que “ x_{sup} ” foram excluídos da amostra, pois são de baixa confiabilidade.

Em seguida, foram calculadas no média e novo desvio padrão amostral e o erro padrão – o erro dos resultados na aplicação do método – leitura do equipamento ou procedimento (Equação 4).

$$S_x = \frac{s}{\sqrt{N}} \quad \text{Equação 2.4}$$

Onde N é o número de réplicas das amostras.

Figura 2.9 – Distribuição normal padrão



Fonte: UNB, [S.n.t.]

A modelagem dos dados foi feita com o software SURFER 10.3.715 (GOLDEN SOFTWARE, 2011). O SURFER é um dos programas mais usados na área de geoestatística e hidrologia/hidrogeologia, para modelar terrenos, visualização de horizontes, análises de superfície, contornos e outras aplicações.

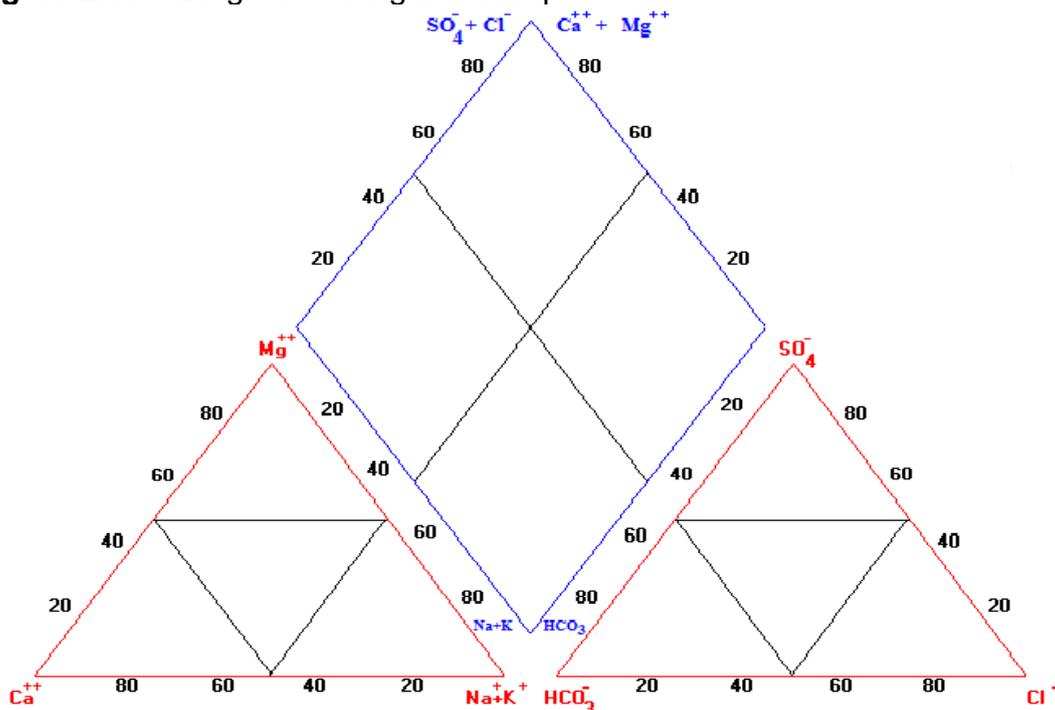
Os dados foram interpolados usando o método de Kriging. As interpolações entre os pontos foram feitas através da *krigagem* universal.

2.5.1 Hidrogeoquímica

Para a classificação do tipo químico das águas subterrâneas de acordo com o conteúdo iônico dominante, resultante da interação água-rocha, foi elaborado o diagrama triangular de Piper (1944), utilizando o software Qualigraf (MOBUS, 2003), considerando a totalidade da população de dados.

O diagrama de Piper (Figura 2.10) é um diagrama hidroquímico utilizado, frequentemente, quando se trabalha com grande número de análises químicas de água, servindo para classificar e comparar os distintos grupos de águas quanto aos íons dominantes em cálcicas, cloretadas, bicarbonatadas, sódicas, magnesianas, sulfatadas ou mistas (SANTOS, 2008).

Figura 2.10 – Diagrama triangular de Piper



Fonte: Mobus (2003)

Para esta classificação foram plotados os valores principais dos constituintes iônicos do grupo dos cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) e dos ânions (Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^-), por meio de mapas de espacialização dos parâmetros hidroquímico APÊNDICE D (Figuras de 1 a 14).

2.5.2 Vulnerabilidade

Com os valores dos Índices DRASTIC, GOD e MAIA obtidos ou calculados em cada ponto, foi feito o modelamento matemático através do software ArcGis 10.1. As interpolações entre os pontos foram feitas através da *krigagem* universal proposto por Journel e Matheron (Journel, 1969), este é um método de regressão usado em geoestatística tendo como fundamento que pontos próximos no espaço tendem a ter valores mais parecidos do que pontos mais afastados. É uma técnica de interpolação geoestatística que considera tanto a distância e o grau de variação entre pontos de dados conhecidos quanto estimando valores em áreas desconhecidas.

A medida do nível da água (nível estático) foi realizada através de uma sonda elétrica – modelo MNJ 200m, constituída de um eletrodo suspenso por um par de fios metálicos isolados e de um amperômetro, que indica o fechamento do circuito e a passagem da corrente quando o eletrodo toca a superfície da água. De acordo com Yassuda et al., também, pode-se realizar esta medida através de uma trena de aço.

Para a construção dos mapas foram utilizado o SIG, através dos softwares ArcGIS Desktop 10.1, SURFER[®] for Windows versão 10.1.715 (GOLDEN SOFTWARE, 2011) e Excel como apoio na elaboração.

Por meio do SIG foram realizadas as seguintes operações: criação de banco de dados, digitalização de dados vetoriais, edição de polígonos, geração dos mapas, cruzamento de mapas, integração de arquivos de outros softwares como Excel.

Foram construídos os seguintes mapas: vulnerabilidade do aquífero por sobreposição dos parâmetros dos métodos GOD, DRASTIC e MAIA, sendo um para cada método.

As linhas equipotenciais ou potenciométricas deram origem ao mapa potenciométrico através do modelamento dos valores do topo da zona saturada com

interpolação feita por *krigagem*, por meio do software SURFER® for Windows versão 10.1.715 (GOLDEN SOFTWARE, 2011).

A análise crítica foi feita através do estudo cartográfico, para análise dos mapas de vulnerabilidade do aquífero, através de sobreposição de mapas (MATTA et al., 2007).

3 ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DAS ÁGUAS DO AQUÍFERO TAQUARI/MARUIM NO MUNICÍPIO DE MARUIM, SERGIPE, BRASIL

Resumo: No estado de Sergipe o aquífero Taquari/Maruim ocupa uma área de 424,95 km², deste total, 88,55 km² estão no município de Maruim. Na área de estudos, o aquífero é composto por calcilutitos e folhelhos cinzento interacamadados do membro Taquari, e calcarenitos, calcilutitos e calcirruditos do membro Maruim, ambos da Formação Riachuelo da Bacia de Sergipe. O objetivo principal deste trabalho é analisar a distribuição dos parâmetros físico-químicos das águas do aquífero Taquari/Maruim em sua área de ocorrência no município de Maruim, estado de Sergipe, NE do Brasil, no mês de maio dos anos 2012 e 2013. Foram realizadas medidas *in situ* de temperatura, pH, ORP, turbidez, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE) e sólidos totais dissolvidos (STD). Em todos os parâmetros houve variação entre as duas campanhas, aumento para o pH, ORP, C.E. e STD; e, diminuição para temperatura, turbidez e OD. De modo geral, houve um leve aumento na média dos valores entre os anos de 2012 e 2013. Dos parâmetros legislados, a turbidez teve cerca de 30% das amostras em desacordo, considerada imprópria para consumo humano sem tratamento prévio, e STD, apresentou duas amostras acima do limite máximo permitido.

Palavras-chave: aquífero Taquari/Maruim; parâmetros físico-químicos; Maruim.

3.1 INTRODUÇÃO

A água é o solvente mais abundante capaz de incorporar grandes quantidades de substâncias ao entrar em contato com os minerais constituintes dos solos e rochas nos quais circula. A dissolução provocada por esse contato colabora para o surgimento de substâncias que podem estar sob a forma molecular ou iônica, porém, nas águas subterrâneas esta última é predominante (FEITOSA; MANOEL, 1997).

Os minerais dissolvidos na água subterrânea podem afetar seus usos específicos. Se uma ou parâmetros estiverem presentes em quantidade superior à que pode ser tolerada, a água deve ser submetida a um tratamento que os elimine ou as remova, de modo que possa servir para o fim pretendido. Nem toda água subterrânea é doce e, muitas vezes também não é potável de acordo com a Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011).

Parâmetros como a condutividade elétrica, pH, sólidos totais dissolvidos, oxigênio dissolvido, temperatura e turbidez, são extremamente importantes para

caracterizar a água subterrânea. A avaliação desses parâmetros pode fornecer uma ideia da qualidade da água subterrânea de um determinado local.

A unidade aquífera Taquari/Maruim está localizada na porção leste do estado de Sergipe, pertence ao Domínio do Grupo Sergipe. Este aquífero apresenta uma carência de dados e informações acerca da composição físico-química de suas águas dada a grande importância para o município já que constitui a principal fonte de abastecimento de água.

Segundo Feitosa et al. (1998) este aquífero teve seu comportamento caracterizado como heterogêneo e anisotrópico, exibindo feições típicas de circulação cárstica, a partir de análise por meio de testes de aquífero e perfis litológicos onde em face da litologia predominantemente carbonática, é válido admitir que a anisotropia seja devida a existência de carstificações. Esse comportamento, de certa forma inviabiliza uma caracterização local do aquífero a partir de extrapolação de dados regionais. O detalhamento desejado para a caracterização do aquífero somente poderá ser obtida a partir da integração do conjunto de dados pontuais.

No estado de Sergipe, o aquífero se estende por uma superfície de 424,95 km², sendo que 88,55 km² constitui a porção abrangida pelo município de Maruim. Em algumas áreas de afloramento, as descargas do aquífero alimentam os fluxos de base do Rio Sergipe e dos seus tributários (principalmente o Rio Ganhamoroba). Em sua área de ocorrência, no município, o aquífero encontra-se livre na Formação Riachuelo, membros Taquari e Maruim (FEITOSA et al., 1998).

A composição litológica do aquífero é dada pela presença de calcilutitos e folhelhos cinzentos intercamadados do membro Taquari, e calcarenitos, calcilutitos e calcirruditos do membro Maruim, ambos da Formação Riachuelo da Bacia de Sergipe.

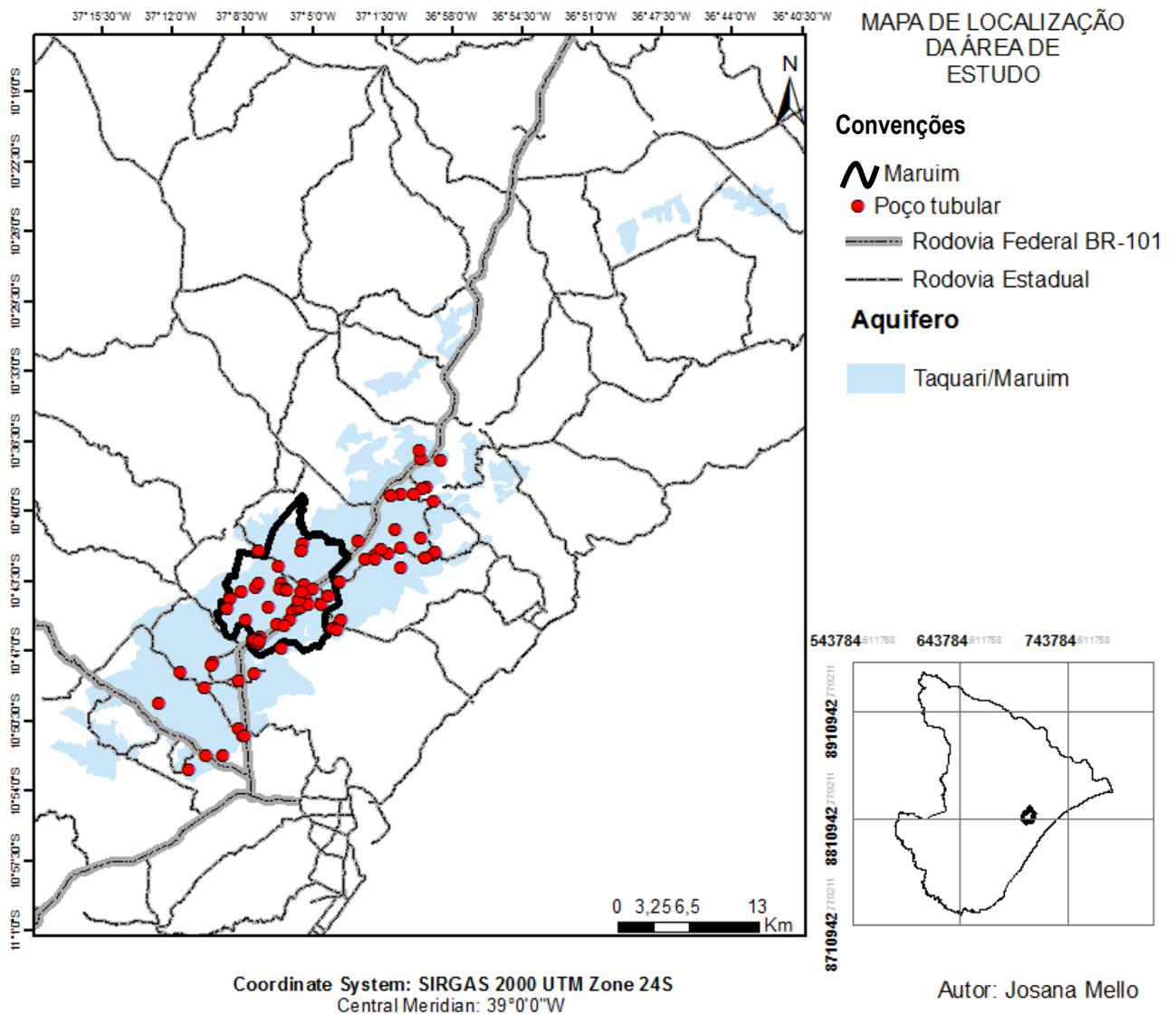
O objetivo principal deste trabalho é analisar a distribuição dos parâmetros físico-químicos das águas do aquífero Taquari/Maruim em sua área de ocorrência no município de Maruim, Sergipe, NE do Brasil no mês de maio nos anos 2012 e 2013.

3.1.1 Caracterização da área de estudo

O aquífero Taquari/Maruim está localizado na mesorregião região leste do Estado de Sergipe, na microrregião do Baixo Cotinguiba. O acesso a partir de Aracaju é feito pelas rodovias pavimentadas BR-235 e BR-101.

O município de Maruim ocupa 93,8 km² (Figura 3.1). A sede municipal está localizada entre as coordenadas 10°44'23" de latitude sul e 37°04'55" de longitude oeste (SERGIPE, 2011) .

Figura 3.1 - Mapa de ocorrência do Aquífero Taquari/Maruim no estado de Sergipe e localização dos poços no município de Maruim



3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os parâmetros físico-químicos foram medidos *in situ*, nos locais de coleta das amostras de água subterrânea foram determinados os parâmetros relacionados à temperatura, pH, ORP, turbidez, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE) e sólidos totais dissolvidos (STD). Utilizou-se o Medidor Multiparâmetros portátil (Multi Water Quality Checker U-50 Series 2) da marca HORIBA, manta 2. (Quadro 3.1)

Quadro 3.1 – Técnicas e métodos analíticos utilizados nas amostras de água – medidos em campo no município de Maruim.

PARÂMETROS	UNIDADE	EQUIPAMENTO	INTERVALO DE MEDIÇÃO*	RESOLUÇÃO*	PRECISÃO*
Temperatura	°C	Multi Water Quality Checker U-50 Series 2	-10 - 55	0,01	-
pH		Multi Water Quality Checker U-50 Series 2	0-14	0,01	+0,1
pH	mV	Multi Water Quality Checker U-50 Series 2	-	-	-
ORP	mV	Multi Water Quality Checker U-50 Series 2	-2000 - +2000	1mV	+15 mV
C.E.	mS cm-1	Multi Water Quality Checker U-50 Series 2	0-100	0,01	1%
Turbidez	NTU	Multi Water Quality Checker U-50 Series 2	0 - 1000	0,01	+1NTU
OD	mg L-1	Multi Water Quality Checker U-50 Series 2	0-50	0,01	+0,02 mg L-1
OD	%	Multi Water Quality Checker U-50 Series 2	-	-	-
Salinidade	g L-1	Multi Water Quality Checker U-50 Series 2	0-70	0,1	+3 PPT
STD	g L-1	Multi Water Quality Checker U-50 Series 2	0-100	0,01	+5g L-1

* Valores encontrados no manual de operação do equipamento.

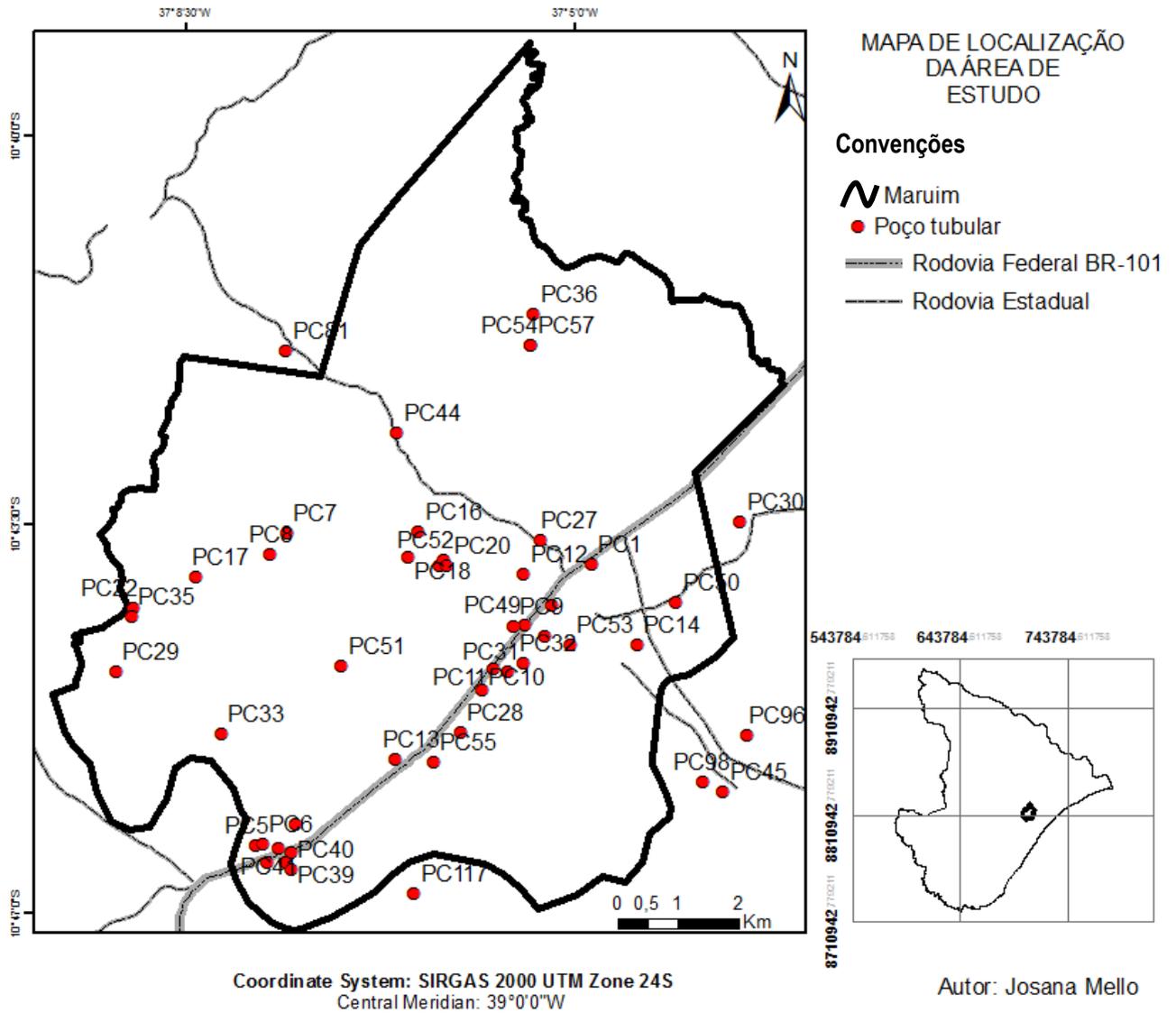
Na determinação dos locais de coleta das amostras de água subterrânea utilizadas nas análises químicas foi levado em conta a facilidade de acesso, a disponibilidade de ponto de coleta direta, a partir do poço e a permissividade do proprietário.

Todos os poços foram registrados com o auxílio de instrumento de Sistema de Posicionamento Global (GPS) marca GARMIN, modelo 60 csx e lançados em uma base cartográfica georeferenciada através do software MapSource® versão 6.16.3 (GARMIN, 1999-2010) e plotados nos softwares ArcGis 10.1 e SURFER 10.3.715 (GOLDEN SOFTWARE, 2011).

Foram coletadas amostras de águas em poços tubulares localizados no município de Maruim, cujas localizações encontram-se na figura 3.2 e no quadro 3.2

– Localização dos poços tubulares, pontos de águas destinadas às análises físico-químicas.

Figura 3.2 – Localização dos poços tubulares, pontos de coletas das águas destinadas às análises físico-químicas



Quadro 3.2 – Localização dos poços tubulares, pontos de coletas das águas destinadas às análises físico-químicas e datas de coletas da campanha 1 e 2

Poço	Coordenadas UTM		Data da coleta	Data da coleta
	X	Y	1	2
PC5	704406,41	8808503,53	29/05/2012	16/05/2013
PC7	704925,41	8813693,55	28/05/2012	15/05/2013
PC8	704649,41	8813326,55	28/05/2012	15/05/2013
PC10	708129,42	8811092,54	27/05/2012	14/05/2013
PC11	708314,42	8811430,54	30/05/2012	14/05/2013
PC13	706695,41	8809934,53	28/05/2012	15/05/2013
PC14	710686,43	8811845,54	29/05/2012	16/05/2013
PC17	703431,40	8812965,54	28/05/2012	15/05/2013
PC18	706909,00	8813282,00	29/05/2012	15/05/2013
PC22	702394,40	8812450,54	28/05/2012	15/05/2013
PC27	709087,00	8813581,00	29/05/2012	16/05/2013
PC28	707777,00	8810389,00	30/05/2012	14/05/2013
PC31	708557,42	8811397,54	27/05/2012	14/05/2013
PC32	708814,00	8811522,00	29/05/2012	14/05/2013
PC33	703840,40	8810351,53	28/05/2012	15/05/2013
PC35	702363,40	8812296,54	28/05/2012	15/05/2013
PC36	708988,42	8817326,56	29/05/2012	16/05/2013
PC37	704587,41	8808226,53	29/05/2012	15/05/2013
PC38	704903,00	8808220,00	27/05/2012	14/05/2013
PC39	704985,00	8808118,00	27/05/2012	14/05/2013
PC40	704987,00	8808401,00	27/05/2012	14/05/2013
PC41	704801,41	8808532,53	27/05/2012	14/05/2013
PC49	708835,42	8812163,54	29/05/2012	16/05/2013
PC51	705824,00	8811484,00	28/05/2012	15/05/2013
PC52	707496,00	8813242,00	29/05/2012	16/05/2013
PC53	709579,00	8811826,00	30/05/2012	14/05/2013
PC54	709282,00	8812492,00	30/05/2012	16/05/2013
PC56	705018,41	8809053,53	31/05/2012	14/05/2013
PC57	709063,00	8812125,00	31/05/2012	14/05/2013
PC58	709282,00	8812492,00	31/05/2012	16/05/2013

Os dados de temperatura, pH, ORP, turbidez, OD, CE e STD, levantados em campo quando da coleta das amostras nos poços tubulares profundos estão descritos no Quadro 3.3 – parâmetros físico-químicos determinados em campo.

Quadro 3.3 – Parâmetros físico-químicos determinados em campo nas campanhas 1 e 2

Poço	Parâmetros físico-químicos (2012)							Parâmetros físico-químicos (2013)						
	Temperatura °C (água)	pH	ORP (mV)	C.E. (µS/cm)	Turbidez (NTU)	OD (mg/L)	STD (g/L)	Temperatura °C (água)	pH	ORP (mV)	Turbidez (NTU)	OD (mg/L)	C.E. (µS/cm)	STD (g/L)
PC5	28,4	7,38	221	2450	0	6,8	1,57	27,08	7,71	231,00	4,00	6,67	3390	2,17
PC7	28,53	7,24	226	798	0	6,14	0,51	26,88	7,22	265,00	3,30	6,26	848	0,54
PC8	28,44	7,22	220	653	0	5,49	0,418	26,57	7,22	282,00	1,10	5,57	686	0,44
PC10	27,91	5,9	286	576	0	5,7	0,368	27,95	6,83	311,00	1,10	3,04	596	0,38
PC11	28,28	7,23	228	568	34,2	6,2	0,364	27,24	6,86	240,00	11,10	7,47	209	0,14
PC13	27,72	5,35	347	205	0	4,92	0,133	27,75	4,30	417,00	0,00	5,65	205	0,13
PC14	25,25	7,23	175	186	12,6	6,55	0,121	26,55	6,64	301,00	43,20	4,56	286	0,19
PC17	26,82	6,97	253	782	0,1	7,5	0,5	27,93	6,34	360,00	0,50	4,78	836	0,54
PC18	27,89	7,68	221	691	0	6,3	0,442	27,35	7,07	299,00	0,00	4,12	726	0,47
PC22	29,03	6,88	57	716	0	5,91	0,485	27,66	6,95	270,00	3,10	4,81	800	0,51
PC27	27,73	7,88	227	689	0	5,75	0,441	27,77	7,49	295,00	1,50	6,10	745	0,48
PC28	28,51	4,94	282	160	17,7	6,3	0,104	27,36	5,80	349,00	60,50	5,45	194	0,13
PC31	28,16	7,3	159	596	0	6,33	0,382	28,01	6,91	324,00	0,80	4,40	623	0,38
PC32	27,03	7,34	236	674	0	4,06	0,431	28,05	6,98	311,00	0,00	6,06	687	0,44
PC33	28,2	6,53	286	730	0	6,5	0,467	28,19	7,31	214,00	0,00	5,49	769	0,49
PC35	28,49	7,06	230	575	5,8	4,91	0,368	28,35	6,74	290,00	6,00	6,24	545	0,35
PC36	28,46	7,59	190	603	0	4,23	0,386	27,82	7,36	189,00	35,70	6,69	673	0,43
PC37	29,66	6,84	154	282	2,1	5,34	0,183	27,86	6,49	180,00	0,00	4,82	58	0,33
PC38	27,69	6,53	260	1040	7,5	5,4	0,665	27,30	6,78	314,00	0,00	4,77	1140	0,73
PC39	27,96	5,68	311	609	6,4	5,48	0,39	27,55	5,65	280,00	32,10	5,52	681	0,44
PC40	28,29	6,29	283	911	3,3	3,58	0,583	27,66	6,83	325,00	0,10	6,55	1230	0,79
PC41	27,15	6,92	225	4750	0	6,8	3,04	27,69	6,13	185,00	1,30	3,84	6460	4,07
PC49	27,86	7,53	238	650	0	6,9	0,412	27,14	7,45	275,00	0,00	4,66	693	0,44
PC51	28,29	4,23	276	70	0	2,85	0,046	27,93	4,43	399,00	0,01	5,06	75	0,05
PC52	27,19	7,64	241	614	0	5,3	0,393	27,13	7,26	312,00	0,00	5,75	666	0,43
PC53	26,68	6,42	297	846	4,5	6,9	0,541	27,55	6,54	269,00	44,10	5,62	603	0,39
PC54	29,4	5,81	244	167	346	5,92	0,109	27,83	6,29	34,40	11,00	5,52	87	0,06
PC56	26,13	4,28	359	566	0	6,5	0,36	27,84	4,26	445,00	0,08	5,62	1090	0,69
PC57	26,96	6,62	318	657	0,6	5,84	0,42	27,72	6,71	302,00	4,40	5,86	683	0,44
PC58	27,43	7,27	263	893	0	7,01	0,571	27,02	7,15	301	0	6,64	920	0,59

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises físico-químicas foram sistematizados em planilha Excel com o objetivo de fornecer elementos para a construção de gráficos. Tornando, assim, possível estabelecer uma análise da ocorrência e variação de cada um dos parâmetros. Neste sentido, a seguir são descritos alguns parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas que foram estudados no presente artigo.

Antes da amostragem de cada poço de monitoramento, avaliava-se a temperatura do ar com auxílio de um termômetro manual.

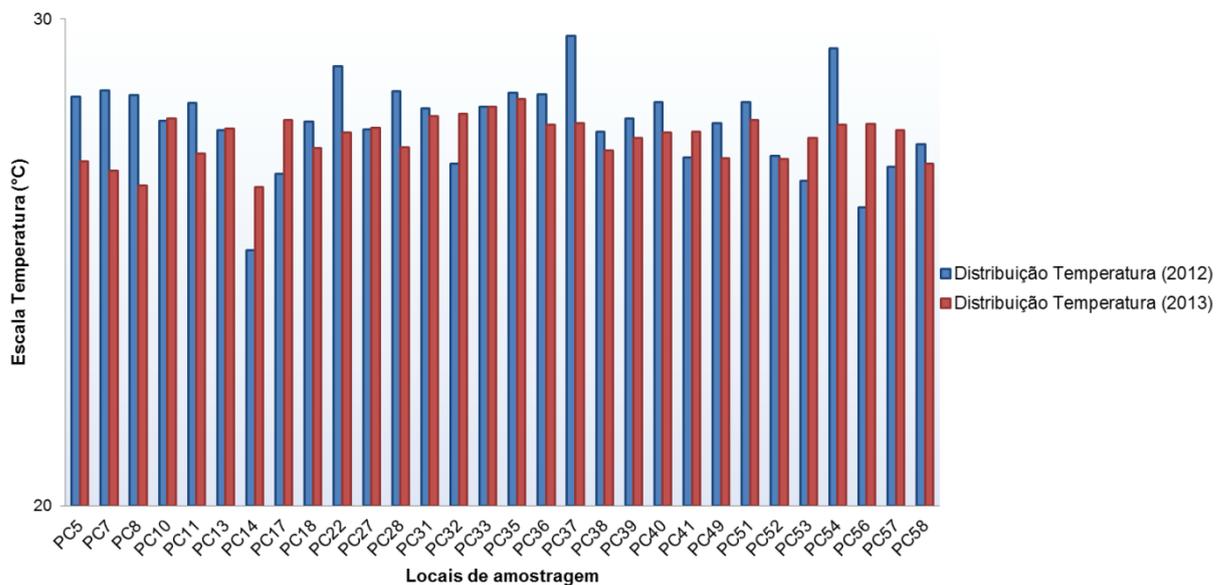
3.3.1 Temperatura

A temperatura da água subterrânea responde a diversas variações: sazonais, ao calor recebido pela superfície da Terra do Sol e, por fluxo de calor proveniente do interior da Terra. Pode haver uma flutuação sazonal nas temperaturas da água subterrânea até uma profundidade de 10 a 25 m. A flutuação é maior próximo da superfície, chegando a 5°C até 10°C (HEATH, 1983).

Águas subterrâneas possuem uma amplitude térmica anual das águas subterrâneas, em geral, baixa, entre 1 a 2 °C, e independe da temperatura atmosférica, a não ser nos aquíferos freáticos pouco profundos, onde a temperatura é um pouco superior à da superfície (FEITOSA; MANOEL FILHO, 1997).

É importante observar as variações da temperatura no aquífero Taquari/Maruim (Figura 3.3) devido à influência direta e indireta nos processos biológicos, nas reações químicas e nas bioquímicas, que ocorrem na água e também outros processos como a solubilidade dos gases dissolvidos.

Figura 3.3 – Comparação de valores de temperatura nos poços do aquífero Taquari/Maruim no mês de maio de 2012 e 2013



Com a relação à temperatura das águas medida em campo, baixa amplitude dos resultados é condicionada pela profundidade dos poços, como há uma variação pouco significativa da profundidade, conseqüentemente, há uma variação pouco significativa da média de temperatura.

Os valores da temperatura variam entre 25,25 a 29,66 °C em 2012 e 26,55 a 28,35 °C em 2013, PC14 e PC37, e PC14 e PC35 respectivamente, havendo uma leve diminuição no valor máximo e um leve aumento no valor mínimo desse parâmetro. Esse efeito pode ter sido originado devido ao movimento de água dentro do aquífero ou, ao aumento ou redução da exploração de água.

Apresentam uma média de 27,85 °C em 2012 e 27,56° em 2013.

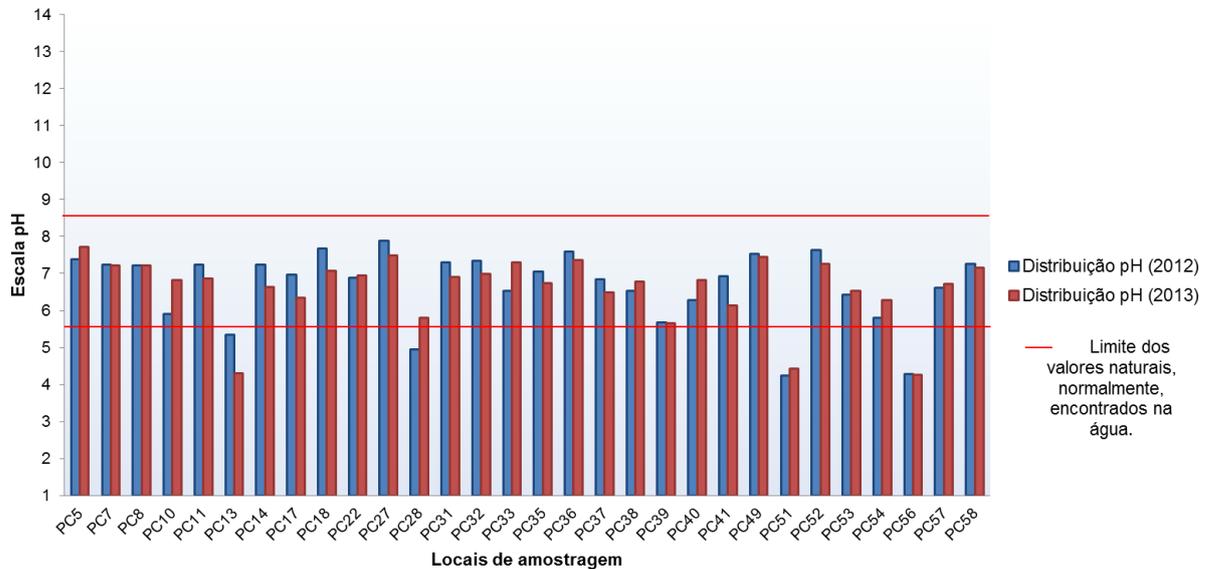
3.3.2 pH

O pH representa a medida de acidez ou de alcalinidade, traduzida pela concentração hidrogeniônica. Grande parte das águas subterrâneas, em seu estado natural, possuem pH entre 5,5 e 8,5. Essas concentrações situam-se em torno do valor 7,0 para aquíferos cársticos (MENDES; OLIVEIRA, 2004).

Segundo Feitosa e Manoel Filho (1997, p. 90), “(...) em casos excepcionais pode variar entre 3 e 11”.

Foram observadas a variação das concentrações de pH para o aquífero, na Figura 3.4.

Figura 3.4 – Comparação de valores de pH nos poços do aquífero Taquari/Maruim no mês de maio de 2012 e 2013



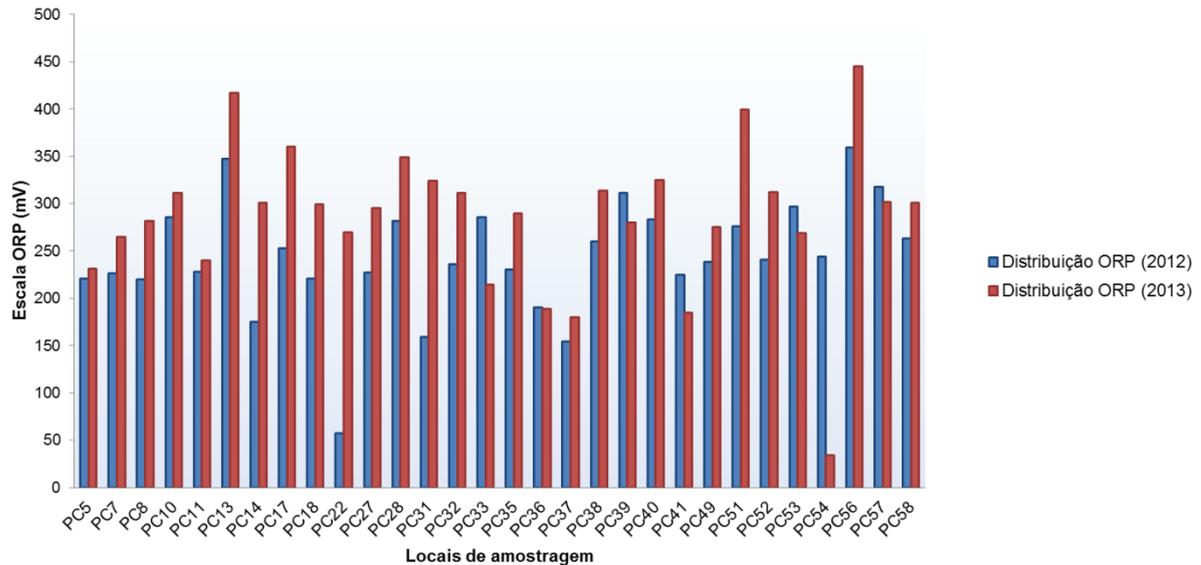
Análise dos dados demonstra predomínio das águas alcalinas a ligeiramente alcalinas, dentro do domínio natural estabelecido pela linha vermelha da figura 4a, e de exceções, águas ácidas a ligeiramente ácidas (poços PC13, PC28, PC51 e PC54, em ambas as campanhas) em possíveis zonas aflorantes (recarga). De modo geral, o pH das águas amostradas tem variação de 4,23 a 7,88 (PC51 e PC27) para a amostragem realizada em 2012, sendo de 4,26 a 7,71 (PC56 e PC5) para a amostragem realizada em 2013.

Apresentam uma média de 4,23 em 2012 e 4,26 em 2013. Apesar das médias de pH, para os dois anos apresentarem um aumento, a tendência geral é de uma leve alcalinização da maioria dos poços.

3.3.3 Potencial de oxirredução – ORP

Apesar de não ser um parâmetro legislado, o potencial de oxirredução, juntamente com o pH tem grande importância na especiação dos elementos na interação água-rocha. Dessa forma, é importante analisar a variação (Figura 3.5) para que haja um melhor entendimento do comportamento das substâncias com relação à dissolução.

Figura 3.5 – Comparação de valores de ORP nos poços do aquífero Taquari/Maruim no mês de maio de 2012 e 2013



Os valores de ORP das amostras variam entre +57 a +359 mV (correspondente aos poços PC22 e PC56, respectivamente), com média de +243,77 mV, na campanha 1 (2012) e variam de +34,4 a +445 mV (correspondente aos poços PC54 e PC56), com média de 285,65 mV, na campanha 2 (2013). De modo geral, há um aumento dos valores entre as águas

Os valores abaixo a 100 mV. Estão relacionados às amostras de regiões de mistura do aquífero.

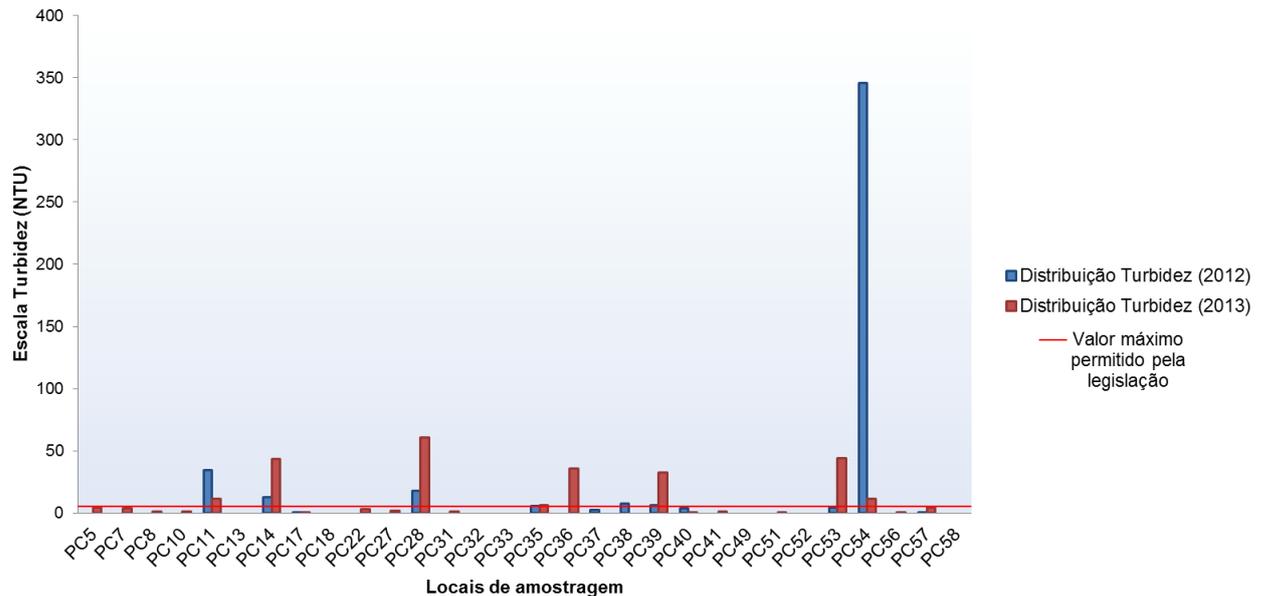
3.3.4 Turbidez

É um parâmetro que mede a dificuldade de um feixe de luz atravessar uma certa quantidade de água. Causada, principalmente, por matérias sólidas em suspensão (silte, argila, coloides, matéria orgânica, entre outros).

Os valores são expressos em Unidade Nefelométrica de Turbidez (UNT). Segundo a Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), o limite máximo de turbidez em água potável deve ser 5 UNT.

A figura 3.6 apresenta os valores de turbidez medidas no campo nas campanhas 1 (2012) e 2 (2013).

Figura 3.6 – Comparação de valores de turbidez nos poços do aquífero Taquari/Maruim no mês de maio de 2012 e 2013



Análise dos dados demonstra que 23,3% dos poços da campanha 1 (PC11, PC14, PC28, PC35, PC38, PC39 e PC54) e 26,7% dos poços da campanha 2 (PC11, PC14, PC28, PC35, PC36, PC39, PC53 e PC54) apresentaram valores acima do valor máximo permitido pela legislação, portanto, consideradas impróprias para o consumo humano sem tratamento prévio. De modo geral, a turbidez das águas amostradas tem variação de 0,00 a 346 NTU (60% dos poços e PC54, respectivamente) para a amostragem realizada em 2012, e de 0 a 60,5 NTU (30% dos poços e PC28, respectivamente) para a amostragem realizada em 2013.

Apresentam uma média de 14,69 NTU em 2012 e 8,83 NTU em 2013. É observada uma redução do valor médio da turbidez entre as duas campanhas, o que pode ter sido ocasionada devido ao uso mais adequado do método de medição ou a fatores interno dos poços.

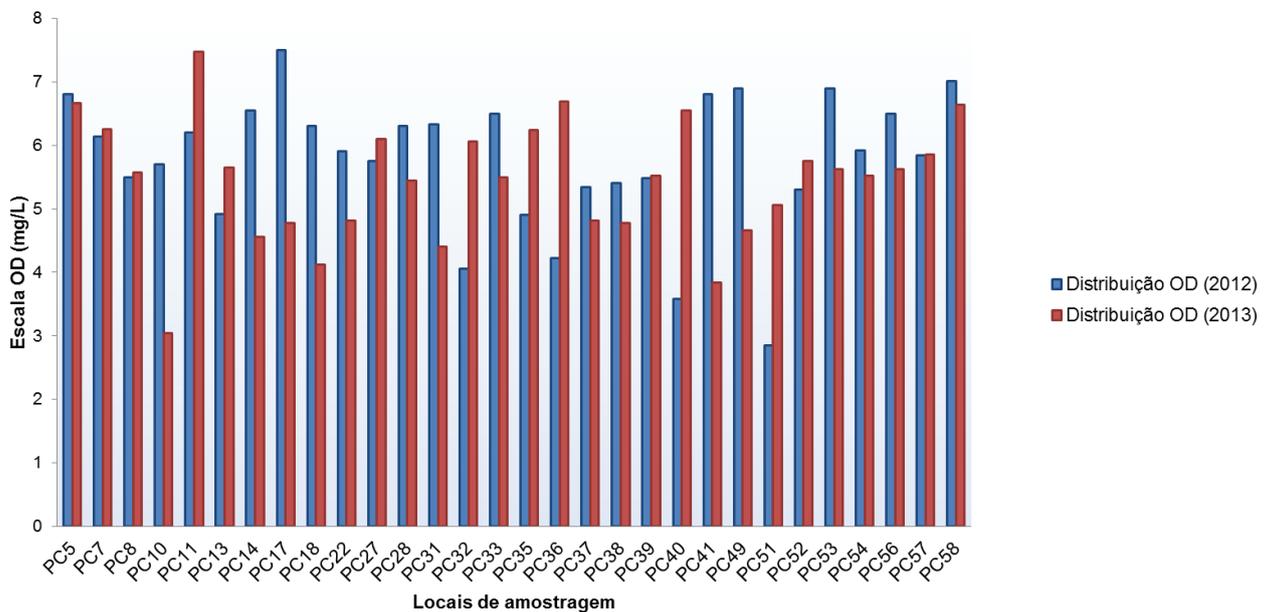
Em geral, as águas subterrâneas normalmente não apresentam problemas devido ao excesso de turbidez. Em alguns casos, a presença de íons Fe pode apresentar uma elevação de sua turbidez quando entram em contato com o oxigênio do ar.

3.3.5 OD

O oxigênio pode estar dissolvido em pequena quantidade na água subterrânea e sua concentração é função da temperatura, da pressão e do consumido na oxidação da matéria orgânica durante a percolação na zona de aeração. As águas subterrâneas, em geral, possuem uma concentração de oxigênio dissolvido entre 0 e 5 mg L⁻¹ (FEITOSA; MANOEL FILHO, 1997).

Para o aquífero Taquari/Maruim são apresentados os valores da concentração de OD nas amostras, na figura 3.7.

Figura 3.7 – Comparação de valores de OD nos poços do aquífero Taquari/Maruim no mês de maio de 2012 e 2013



Os valores de OD das amostras variam entre 2,85 a 7,5 mg L⁻¹ (correspondente aos poços PC51 e PC17, respectivamente), com média de 5,78 mg L⁻¹, na campanha 1 (2012) e variam de 3,04 a 7,47 mg L⁻¹ (correspondente aos poços PC10 e PC11), com média de 5,45 mg L⁻¹, na campanha 2 (2013). De modo geral, há uma diminuição dos valores entre as águas. 80% dos poços da campanha 1 e 66,7% dos poços da campanha 2 os poços apresentaram valores superiores do que a concentração máxima estabelecida na literatura. Tal fato pode ser explicado devido a uma possível aeração das amostras durante o processo de medição.

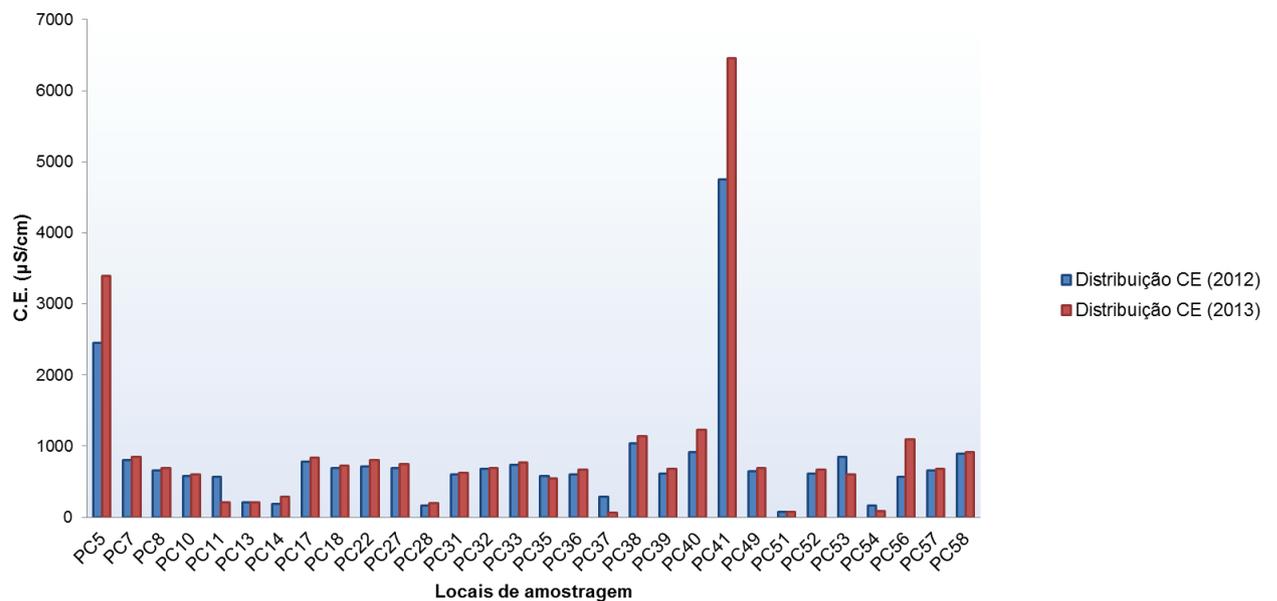
3.3.6 C.E e STD

De acordo Feitosa e Manoel Filho (1997, p. 88), condutividade elétrica é, “(...) a medida da facilidade de uma água conduzir a corrente elétrica, estando diretamente ligada com o teor de sais dissolvidos sob a forma de íons”.

Dessa forma, a C.E. e o STD são parâmetros utilizados para se mapear o comportamento hidroquímico de um aquífero, bem como a evolução de suas águas.

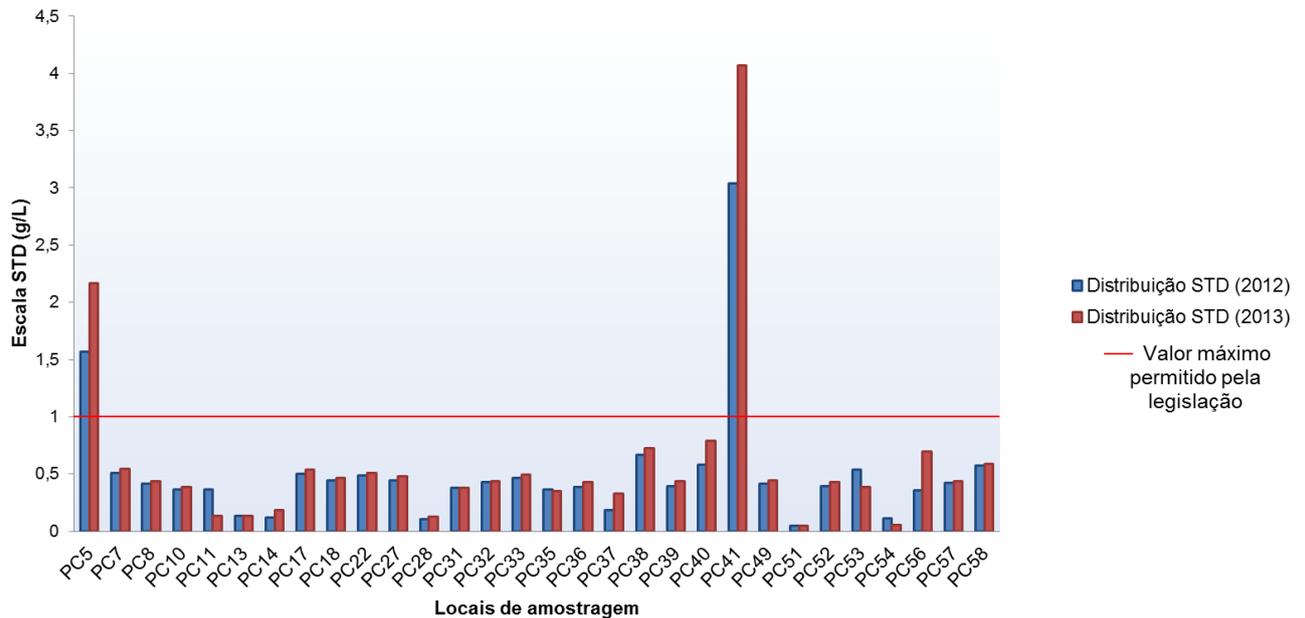
Os resultados de CE (Figura 3.8) e de STD (Figura 3.9) medidos na área de estudos apresentaram comportamentos semelhantes entre si.

Figura 3.8 – Comparação de valores de C.E. nos poços do aquífero Taquari/Maruim no mês de maio de 2012 e 2013



Os valores da C.E. variam entre 70 a 4750 $\mu\text{S cm}^{-1}$ em 2012 e 58 a 6460 $\mu\text{S cm}^{-1}$ em 2013, PC51 e PC41 respectivamente, havendo um aumento desse parâmetro, que pode ser devido à variação pluviométrica no referido mês nos respectivos anos. Apresentam uma média de 790 $\mu\text{S cm}^{-1}$ em 2012 e 906,8 $\mu\text{S cm}^{-1}$ em 2013.

Figura 3.9 – Comparação de valores de STD nos poços do aquífero Taquari/Maruim no mês de maio de 2012 e 2013



Os valores da C.E. variam entre 0,046 a 3,04 g L-1 em 2012 e 0,048 a 4,07 g L-1 em 2013, PC51 e PC41 respectivamente, havendo um aumento desse parâmetro, que pode ser devido à diminuição efetiva da dissolução dos sais, provavelmente causada pela diminuição da precipitação na região.

Apresentam uma média de 0,51 g L-1 em 2012 e 0,59 g L-1 em 2013.

Há uma grande amplitude de valores, com aumento significativo nos poços próximo ao leito do Rio Sergipe, na porção sul do município, nesses poços foi observada uma maior concentração dos sais (PC5 e PC41). De acordo com a Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), estes poços são inapropriados para o consumo humano, observando que esta portaria considera o valor máximo permitido, para STD, de 1g L-1.

3.4 CONCLUSÕES

Os dados produzidos por este trabalho foram importantes, por serem os primeiros, da área de estudo e principalmente, por propiciar um vislumbre do comportamento dos parâmetros físico-químicos no aquífero e a sua distribuição.

O aquífero é um mosaico de subsistemas compartimentados, com características hidrodinâmicas e hidroquímicas distintas, particulares em alguns pontos. Trata-se de um aquífero, livre, que apresenta variação do nível de água de

acordo com a precipitação, dessa forma, vários parâmetros são influenciados por essa variação.

Entretanto, o aumento negativo dos valores de parâmetros legislados, implicando para a impropriedade da água para o consumo constitui um limitante natural que deve ser considerado em planos de gestão para a bacia na qual o aquífero está inserido.

3.5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de auxílio através de bolsas de estudo a FAPESB pela concessão de auxílio através de diárias de campo.

3.6 REFERÊNCIAS

BRASIL. Portaria ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária). **Portaria nº 2.914**, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2004.

FEITOSA, A. C. F.; MANOEL FILHO, J. (Coord.). **Hidrogeologia**: conceitos e aplicações. Fortaleza: CPRM L-1ABHID, 1997. 412 p.

FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A.; MANOEL FILHO, J. **Avaliação dos aquíferos da bacia Sergipe/Alagoas entre Aracaju e Capela**. Recife: CTG/UFPE, 1998.

GOLDEN SOFTWARE, Inc; SURFER 10.3.715; Colorado, USA, 2011.

HEATH, R, C. **Hidrologia básica de águas subterrâneas**. Denver: 1983. 86 p. USGS Paper nº20. Wrege, M. e Potter, P. (Trad.) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS.

MENDES, B., OLIVEIRA, J.F.S. **Qualidade da água para consumo humano**. Lisboa: Lidel, Edições Técnicas Ltda., 2004, 626 p.

SERGIPE (Estado). Superintendência de Recursos Hídricos. **Atlas digital sobre os recursos hídricos de Sergipe**. Aracaju: Seplantec-SRH, 2011. CD-Rom.

4 MAPEAMENTO DA SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA E DIREÇÃO DO FLUXO DE ÁGUA DO AQUÍFERO TAQUARI/MARUIM

Resumo: Devido à falta de estudos hidrogeológicos no aquífero Taquari/Maruim foi realizado o estudo do movimento da água subterrânea, fluxo da água, para conhecer o caminho preferencial dos contaminantes, principalmente daqueles que utilizam a água como meio de transporte. A superfície potenciométrica de um aquífero é estabelecida através da diferença entre a cota do terreno, medido na “boca” do poço, e o nível estático do mesmo. O objetivo principal deste trabalho é avaliar o comportamento da superfície potenciométrica do aquífero livre e a direção do fluxo, Taquari/Maruim. Os dados utilizados neste trabalho são resultado do levantamento hidrogeológico realizado em 2012 e 2013. A partir das análises e discussões dos modelos gerados de mapa potenciométrico pode-se observar que a recarga se dá, principalmente, pela infiltração de parte das águas pluviais e pela infiltração das águas fluviais, nas épocas de cheia.

Palavras-chave: aquífero Taquari/Maruim; superfície potenciométrica; fluxo da água.

4.1 INTRODUÇÃO

Os aquíferos são valiosos recursos naturais. E preservar suas características é importante afim e evitar a impropriedade do uso dessa água em seu estado natural, torna-se essencial conhecimento dos fatores de prevenção à poluição, entre eles a hidrogeologia. Entretanto, nem sempre os cuidados para a prevenção da poluição são tomados e, quando ela acontece, certas soluções são empregadas com o intuito de reverter o processo e evitar prejuízos ainda maiores.

O estudo do movimento da água subterrânea é de fundamental importância para conhecer o caminho preferencial dos contaminantes, principalmente daqueles que utilizam a água como meio de transporte.

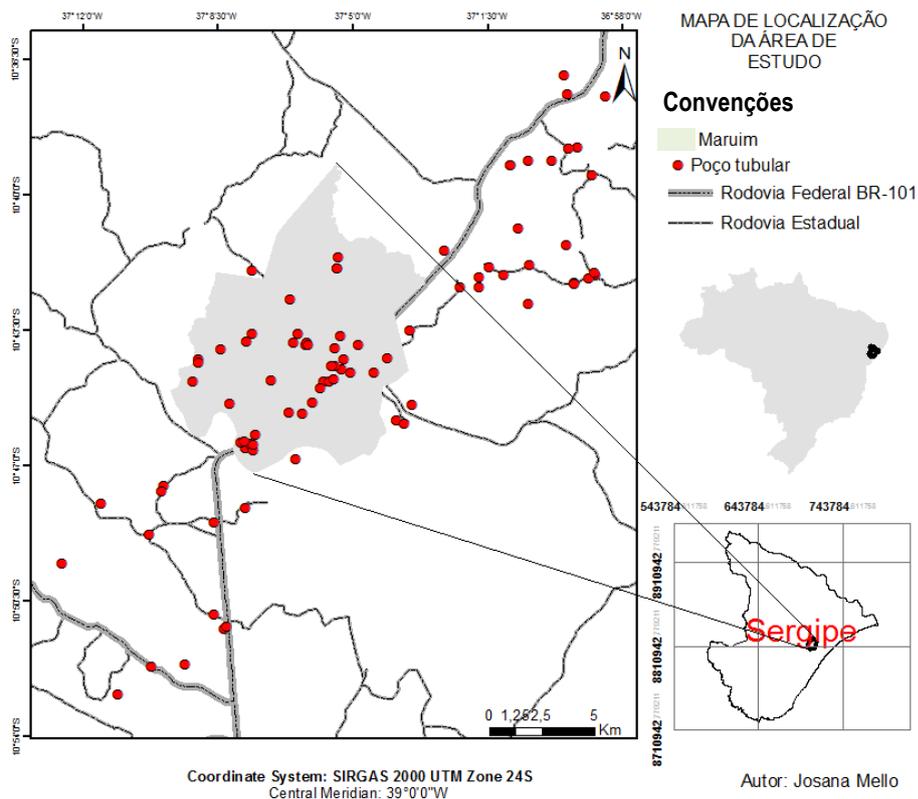
Apesar da grande importância exercida pelos aquíferos, em comunidades que se utilizam destes como principais fontes de abastecimento de água, tendo em vista que, os principais recursos hídricos superficiais são, constantemente, contaminados pelo lançamento de efluentes, tanto doméstico municipal quanto das diversas atividades econômicas praticadas no seu entorno, muito pouco é conhecido sobre suas características geoambientais.

O aquífero Taquari/Maruim, não obstante, apresenta uma carência de dados e informações acerca das características e qualidade de suas águas. Trata-se

de uma unidade aquífera de natureza mista (cárstica e granular), localizada na porção leste do estado de Sergipe, pertence ao Domínio do Grupo Sergipe.

Para melhor detalhamento do estudo a área foi restringida ao município de Maruim e algumas localidades adjacentes. O município está localizado na mesorregião região leste do Estado de Sergipe, na microrregião do Baixo Cotinguiba a uma distância rodoviária de 30 Km da capital Aracaju, e 19 Km em linha reta. Limita-se a norte com o município de Rosário do Catete, a sul com Laranjeiras, a oeste com Riachuelo e Divina Pastora e a leste com Santo Amaro das Brotas e Rosário do Catete. O acesso a partir de Aracaju é feito pelas rodovias pavimentadas BR-235 e BR-101. Ocupa um espaço de 93,8 km² (Figura 4.1). A sede tem uma altitude média de 10 metros, localizada entre as coordenadas 10°44'23" de latitude sul e 37°04'55" de longitude oeste. (SERGIPE, 2011)

Figura 4.1 – Localização de poços do município de Maruim e acesso viário a partir da BR-101



Os dados utilizados neste trabalho são resultado do levantamento hidrogeológico realizado com o objetivo de avaliar o comportamento da superfície potenciométrica do aquífero livre, Taquari/Maruim.

A superfície potenciométrica² ou contorno físico do lençol freático (CLEARY, 1989) indica a direção do fluxo da água subterrânea e, é estabelecida através da diferença entre a cota do terreno, medido na “boca” do poço, e o nível estático do mesmo. Dessa forma, a superfície potenciométrica é o valor da coluna de água no poço em relação a um datum, representada por linhas de fluxo subterrâneo sob a ação da gravidade e dos parâmetros hidrodinâmicos das rochas. (Moreira, 2005).

Segundo Heath (1983) a superfície freática representa o nível na zona saturada no qual a pressão hidráulica é igual à pressão atmosférica e está representada pelo nível da água em poços sem uso. Abaixo da superfície freática, a pressão hidráulica aumenta com o aumento da profundidade.

Alguns estudos demonstram que há uma relação direta entre a forma topográfica e o movimento da água subterrânea. De acordo com Heath (1983) o sentido do movimento da água subterrânea pode ser derivado da observação da superfície topográfica. Sob as condições naturais, a água subterrânea se move de forma descendente, de acordo com a força da gravidade exercida, até que no curso do fluxo, atinja a superfície topográfica nas zonas de descarga (YASSUDA et al., 1965).

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente foram realizadas coletas de informações técnicas, através de contato com empresas do setor público e privado.

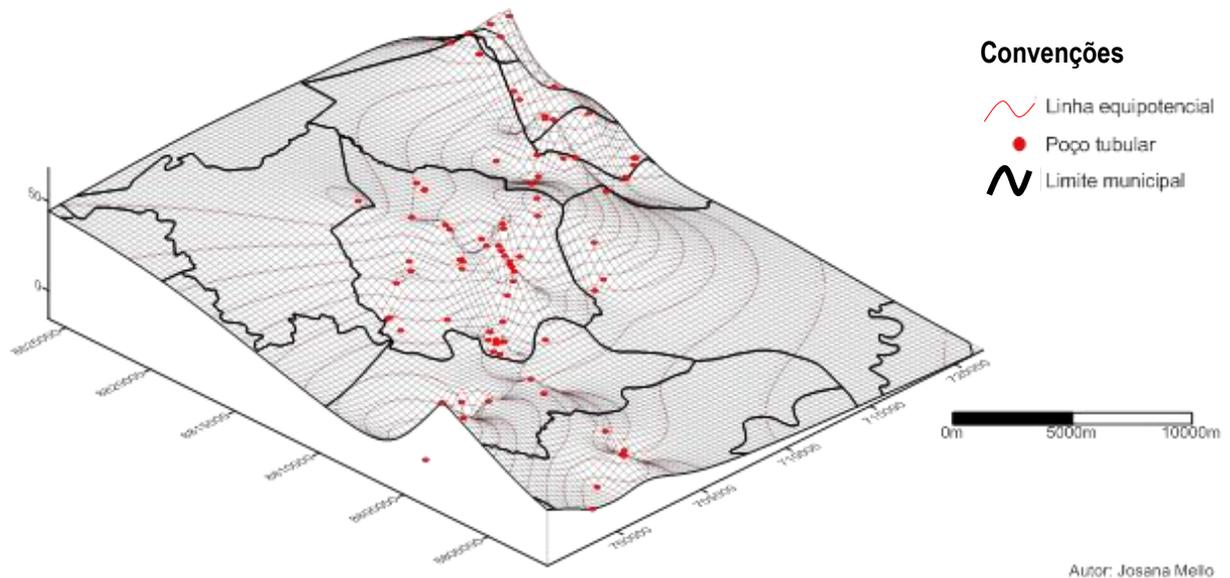
Buscando uma distribuição que abrangesse a porção do aquífero que está sendo estudada, e que esta fosse representativa, foram utilizados dados de 85 poços em operação, dos quais 30 estão dentro da área territorial do município de Maruim destes, 27 poços tubulares e 3 poços rasos ou cacimbas. Setenta e nove poços foram contabilizados através do ArcGis 10.1 com as informações disponíveis no atlas digital de Sergipe (SERGIPE, 2011) e através dos dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), do Serviço Geológico do Brasil ou CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), CPRM (2011). Seis poços não estavam cadastrados em nenhuma base de dados pesquisada, foram descobertos durante esta etapa.

² Segundo Cleary (1989), o termo “superfície potenciométrica” pode ser usado para aquíferos confinados e freáticos (livres).

Para a análise geoestatística e representações gráficas da potenciometria do aquífero foi utilizada interpolações por *krigagem* universal, utilizando-se os softwares ArcGis 10.1 e SURFER 10.3.715 (GOLDEN SOFTWARE, 2011). Foi criada uma base de dados de pontos georreferenciados com informações da cota do nível d'água, medidas em maio de 2012 e janeiro de 2013.

A altitude medida na área de trabalho refere-se à representação da cota do terreno na “boca” dos poços (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2008). Esta informação pode foi obtida através da medição em campo com auxilio de aparelho de GPS e do modelo digital de elevação do terreno reproduzido na superfície 3D do terreno (Figura 4.2).

Figura 4.2 – Superfície tridimensional gerada a partir do modelo digital de elevação.



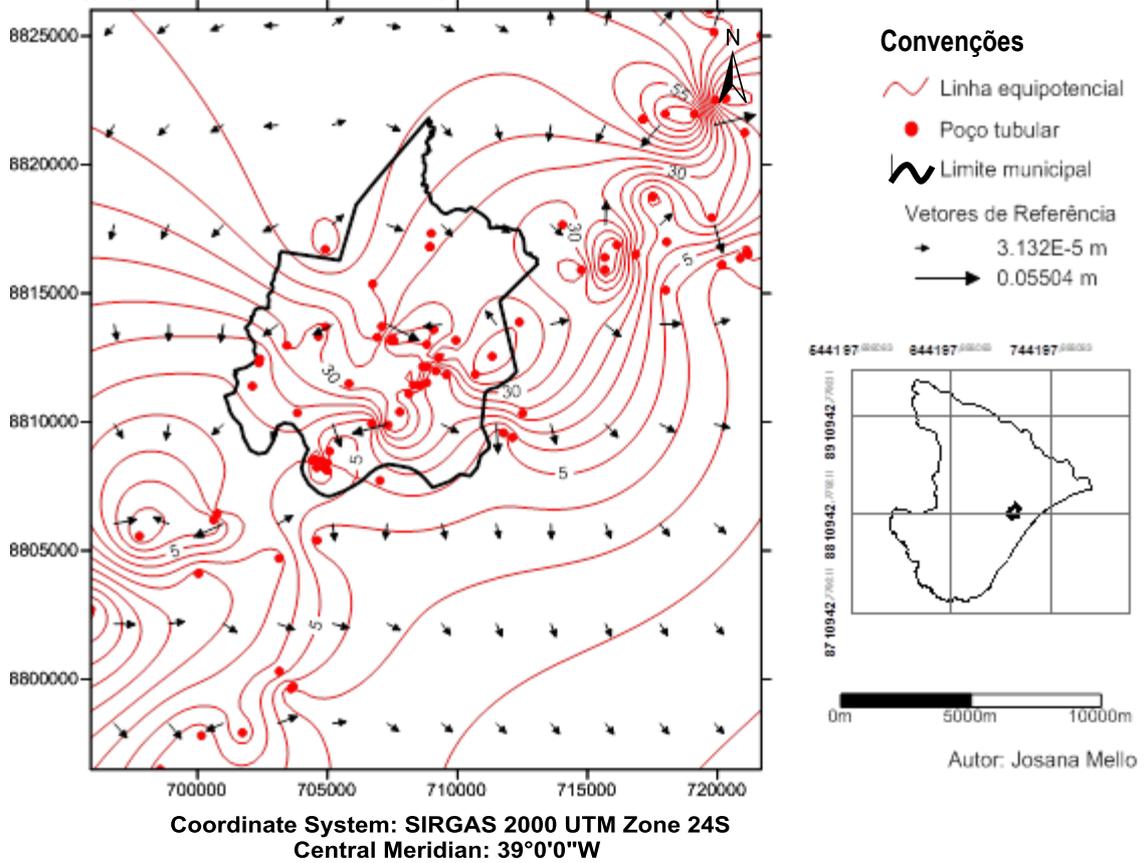
As informações sobre o NE foram obtidas a partir de medição direta do nível de água, nível estático (NE) nos poços cadastrados, através do medidor de nível de água – modelo MNJ 200m e de dados previamente cadastrados dos poços tubulares (Quadro 4.1).

Quadro 4.1 – Dados hidrogeológicos dos poços cadastrados do aquífero Taquari/Maruim.

CODIGO	POINT_X	POINT_Y	COTA (m)	NE (me)	COTA - NE (m)	CODIGO	POINT_X	POINT_Y	COTA (m)	NE (me)	COTA - NE (m)
PC1	709935,427270	8813171,543620	33,00	2,00	31,00	PC5	704406,405568	8808503,527490	20,00	10,24	9,76
PC10	708129,420039	8811092,536280	32,00	8,80	5,00	PC50	711330,432306	8812547,540940	47,00	3,89	43,11
PC101	718044,458431	8816992,555910	23,00	10,00	13,00	PC51	705824,000000	8811484,000000	41,00	7,36	35,00
PC102	720866,468783	8816358,552810	8,00	10,00	-2,00	PC52	707496,000000	8813242,000000	30,00	11,50	14,00
PC103	721142,469875	8816603,553650	7,00	10,00	-3,00	PC53	709579,000000	8811826,000000	21,00	2,76	18,80
PC104	715666,449293	8815901,552420	83,00	31,00	52,00	PC54	709282,000000	8812492,000000	52,00	7,44	43,78
PC105	717985,459488	8821971,574620	67,00	0,80	66,20	PC55	707330,300000	8809881,660000	37,00	1,20	35,80
PC11	708314,420809	8811430,537500	48,00	10,47	37,53	PC56	705018,407976	8809053,529400	16,00	13,34	2,66
PC111	720166,466112	8816117,552080	6,00	10,00	-4,00	PC57	709063,000000	8812125,000000	18,00	8,95	9,05
PC112	720165,466101	8816086,551970	4,00	10,00	-6,00	PC58	709282,000000	8812492,000000	30,00	5,00	25,00
PC113	716129,451267	8816881,555980	55,00	5,00	50,00	PC6	704528,406029	8808534,527580	31,00	0,69	30,31
PC114	717133,456255	8821762,574060	54,00	1,50	52,50	PC63	717508,456883	8818747,562640	10,00	4,00	6,00
PC117	707015,415073	8807720,523930	12,00	6,00	6,00	PC65	715669,449428	8816392,554270	56,00	7,00	49,00
PC118	695895,372605	8802716,507870	58,00	11,00	47,00	PC66	720329,468392	8822571,576270	9,00	3,00	6,00
PC119	703684,400776	8799719,494850	5,00	7,20	-2,20	PC67	714755,445900	8815906,552670	25,00	3,75	21,25
PC12	708818,000000	8813008,000000	34,00	10,45	23,55	PC68	716856,453881	8816508,554400	24,00	4,91	19,09
PC120	717133,456255	8821762,574060	57,00	2,00	55,00	PC69	719934,466902	8822511,576150	14,00	2,00	12,00
PC13	706695,414423	8809934,532290	30,00	23,75	6,25	PC7	704925,408750	8813693,546800	36,00	6,98	31,29
PC14	710686,429736	8811845,538470	42,00	0,90	41,10	PC73	700748,391486	8806436,520630	19,00	7,00	12,00
PC16	707082,416783	8813711,546350	47,00	2,10	44,90	PC74	721050,470739	8821244,571100	23,00	4,40	18,60
PC17	703431,403014	8812965,544430	31,00	0,00	31,00	PC76	718001,457790	8815118,548890	4,00	2,00	2,00
PC18	706909,000000	8813282,000000	66,00	26,00	45,74	PC77	714036,443664	8817662,559440	42,00	16,00	26,00
PC20	707551,000000	8813143,000000	37,00	12,84	23,16	PC78	700149,387225	8797805,488550	30,00	29,00	1,00
PC21	707443,417991	8813156,544180	31,00	8,49	19,00	PC79	700035,388289	8804105,512090	24,00	1,30	22,70
PC22	702394,399033	8812450,542750	15,00	1,94	13,23	PC8	704649,407634	8813326,545490	38,00	9,62	28,38
PC27	709087,000000	8813581,000000	25,00	0,00	25,00	PC80	697766,380209	8805563,518070	10,00	20,00	-10,00
PC28	707777,000000	8810389,000000	42,00	7,04	23,74	PC81	704912,409428	8816706,558100	57,00	5,00	52,00
PC29	702109,000000	8811390,000000	21,00	4,21	16,79	PC82	721172,469963	8816510,553300	13,00	10,40	2,60
PC30	712379,000000	8813876,000000	53,00	13,22	39,78	PC83	721684,474089	8825020,585130	28,00	1,60	26,40
PC31	708557,421705	8811397,537320	33,00	8,55	24,45	PC84	703137,399943	8804701,513580	21,00	3,60	17,40
PC32	708814,000000	8811522,000000	24,00	7,32	19,50	PC85	698561,381036	8796493,484030	16,00	12,80	3,20
PC33	703840,403909	8810351,534540	27,00	7,80	20,13	PC87	704600,405541	8805398,515830	20,00	22,57	-2,57
PC35	702363,398880	8812296,542180	24,00	6,41	20,95	PC88	701729,393103	8797918,488600	18,00	4,20	13,80
PC36	708988,424767	8817326,559440	42,00	5,71	39,73	PC9	708660,000000	8812148,000000	38,00	2,70	35,30
PC37	704587,406174	8808226,526410	12,00	0,00	12,00	PC90	719109,463681	8821963,574300	95,00	24,40	70,60
PC38	704903,000000	8808220,000000	21,00	2,23	17,77	PC91	719782,465151	8817933,559000	30,00	3,00	27,00
PC39	704985,000000	8808118,000000	27,00	13,02	12,50	PC92	719860,467309	8825155,586110	39,00	2,50	36,50
PC40	704987,000000	8808401,000000	15,00	12,56	-3,00	PC93	700625,390971	8806191,519750	5,00	12,50	-7,50
PC41	704801,407043	8808532,527510	17,00	5,35	11,92	PC94	703141,398905	8800306,497170	16,00	7,62	8,38
PC44	706736,000000	8815356,000000	42,00	2,27	39,73	PC95	719683,466870	8826017,589400	32,00	5,65	26,35
PC45	712108,000000	8809391,000000	21,00	12,30	8,70	PC96	712500,436104	8810327,532330	24,00	0,20	23,80
PC46	709169,424125	8811978,539340	22,00	1,22	20,78	PC98	711766,433185	8809564,529660	20,00	19,00	1,00
PC49	708835,422928	8812163,540120	34,00	12,38	25,50	PC99	703593,400417	8799627,494530	1,00	11,40	-10,40

Com os valores da cota topográfica e do NE foram calculados os valores pontuais da superfície potenciométrica. Dessa forma, com as linhas equipotenciais ou potenciométricas calculadas foi dada a origem ao mapa bidimensional de potencimetria (Figura 4.3), através do modelamento dos valores do topo da zona saturada com interpolação feita por *krigagem*, por meio do software SURFER[®] for Windows versão 10.1.715 (GOLDEN SOFTWARE, 2011).

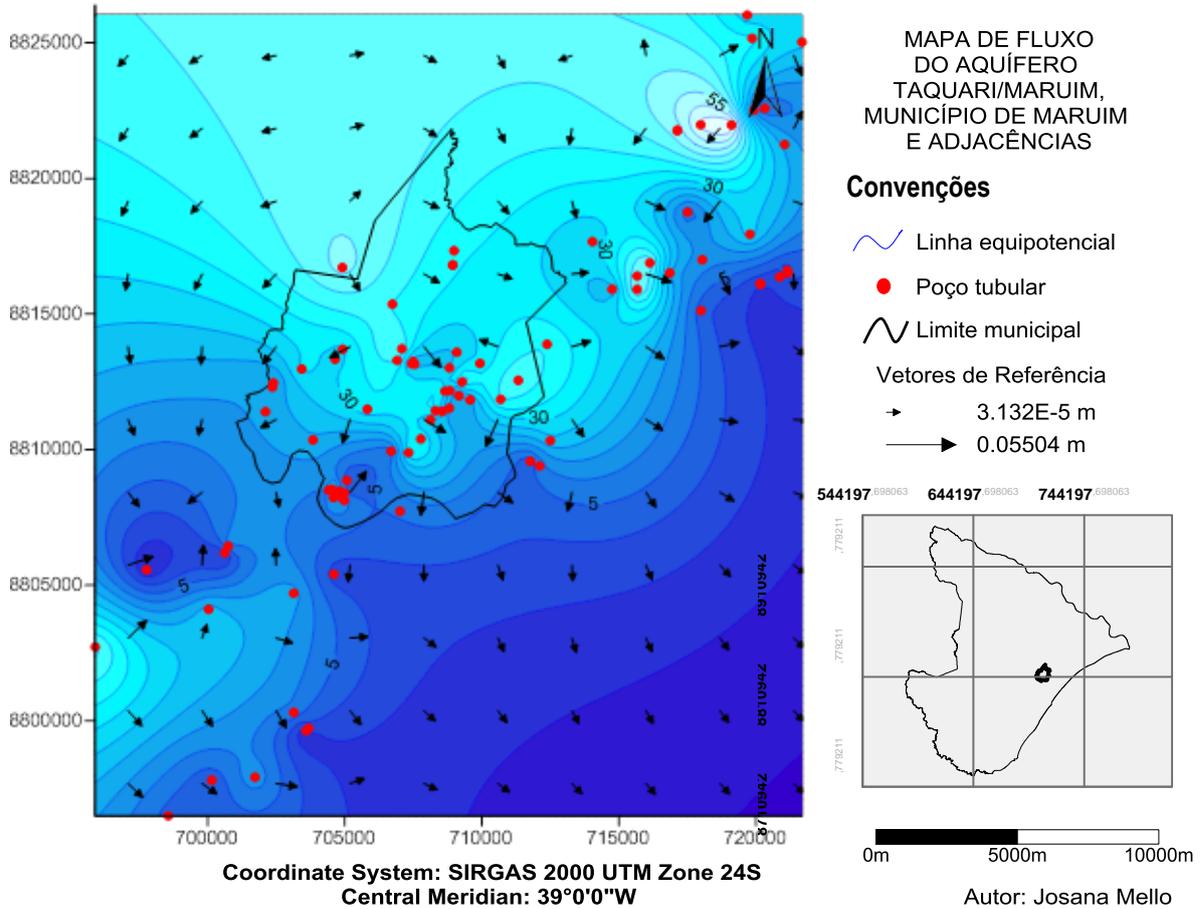
Figura 4.3 – Superfície bidimensional gerada a partir do modelo digital de elevação – Mapa potenciométrico do aquífero Taquari/Maruim



4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A direção geral do fluxo subterrâneo no município de Maruim pode ser observada a partir do mapa potenciométrico (Figura 4b), interpretado de acordo com as configurações das curvas equipotenciais.

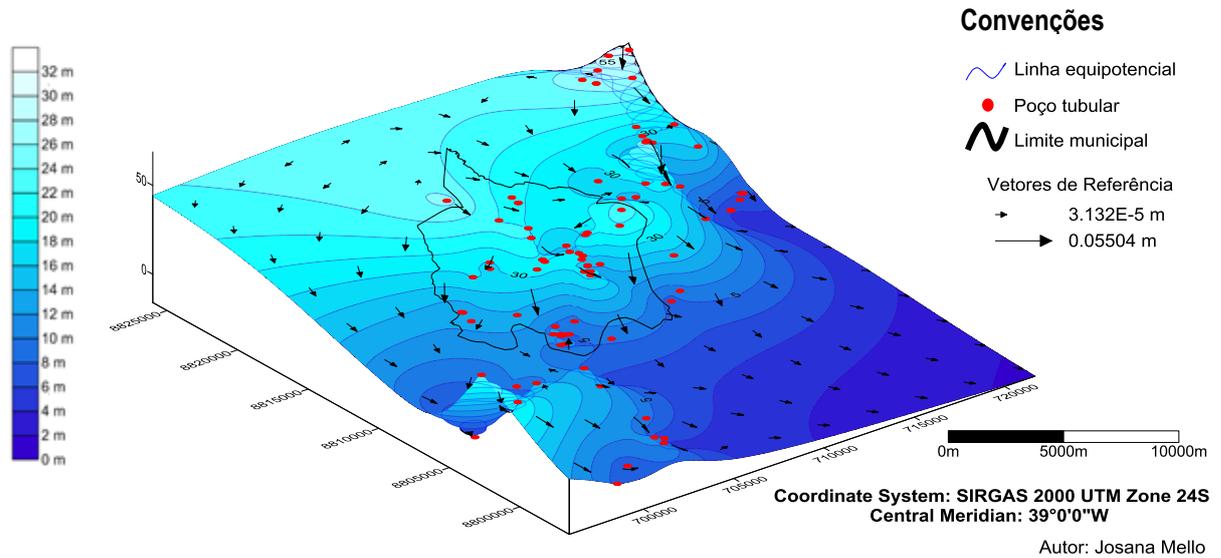
Figura 4.4 – Mapa potenciométrico do aquífero Taquari/Maruim com variação a partir de linhas de contorno e direção do fluxo de água (bidimensional).



No mapa é possível observar uma rota preferencial na porção centro-leste de uma zona de recarga que coincide com a zona de transição litológica dos calcilutitos e folhelhos cinzento intercamadados, calcarenitos e calcirruditos para a rocha calcária, essa zona segue paralelamente o leito do Rio Ganhamoroba. Outra zona identificável está na porção sudoeste do município a tendência de recarga, com vetores de referência que indicam um valor maior do fluxo. Essa segunda zona margeia (margem direita) o Rio Sergipe.

É possível identificar no mapa tridimensional (Figura 4.5) os pontos preferenciais de recarga e evidenciando a influência do fluxo subterrâneo para a recarga das drenagens superficiais locais (área de convergência).

Figura 4.5 – Mapa potenciométrico do aquífero Taquari/Maruim com variação a partir de linhas de contorno e direção do fluxo de água (tridimensional)



Observa-se, na Figura 4.5, dois altos potenciométricos, um situado a leste da sede municipal nas proximidades da Fazenda Prainha (PC14). O outro situado na área de uma fábrica de beneficiamento do calcário dolomítico (PC13). Essas regiões funcionam como um divisor de águas superficiais e subterrâneas. A partir desses altos, a drenagem superficial e subterrânea regional flui em direção ao Rio Sergipe para sul e leste, e para norte. Para oeste verifica sua fluência em direção ao município de Maruim, principalmente a sede municipal onde estão instalados os poços de abastecimento da maior parte da população.

4.4 CONCLUSÕES

Um aquífero com características granulares pode ser considerado isotrópico. Entretanto, a variação composicional e granulométrica dos depósitos sedimentares confere ao aquífero Taquari/Maruim uma característica mista (granular e cárstica), portanto anisotrópica. Porém, o fluxo das águas subterrâneas pode ser analisado do sentido do maior potencial hidráulico para o menor potencial hidráulico.

De modo geral, a análise das informações hidrogeológicas locais permite concluir que a recarga do sistema aquífero de Maruim se dá principalmente pela infiltração das precipitações diretas sobre a superfície e pela contribuição através de drenagens influentes, como o Rio Sergipe na parte sul do município e o Rio

Ganhamoroba que atravessa o município de leste a oeste. Como resultado espera-se uma maior disponibilidade de água subterrânea, facilitada naturalmente pelas melhores condições de armazenamento e recarga.

4.5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de auxílio através de bolsas de estudo a FAPESB pela concessão de auxílio através de diárias de campo.

4.6 REFERÊNCIAS

CPRM – SIAGAS: Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br>>. Acesso em 04 nov. 2011.

FEITOSA, A. C. F.; MANOEL FILHO, J. (Coord.). **Hidrogeologia**: conceitos e aplicações. 3 ed. rev e amp. Rio de Janeiro: CPRM L-1ABHID, 2008. 812 p.

GOLDEN SOFTWARE, Inc; SURFER 10.3.715; Colorado, USA, 2011.

HEATH, R, C. **Hidrologia básica de águas subterrâneas**. Denver: 1983. 86 p. USGS Paper nº20. Wrege, M. e Potter, P. (Trad.) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS.

MOREIRA, C. M. D. **Aspectos qualitativos da água subterrânea no Campus da UFSM**, Santa Maria - RS. 2005. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

YASSUDA, E. R.; NOGAMI, P. S.; MONTRIGAUD, R. de. **Poços profundos**: manual técnico. São Paulo: Faculdade de Higiene e Saúde Pública, 1965.

5 ANÁLISE HIDROGEOQUÍMICA DO AQUÍFERO TAQUARI/MARUIM NO MUNICÍPIO DE MARUIM, SERGIPE, BRASIL

Resumo: A qualidade da água subterrânea depende da composição química da rocha-reservatório, e de outros fatores, inclusive a existência de atividades antrópicas. O movimento lento da água infiltrando-se no solo propicia-lhe um maior contato com os minerais que formam a crosta terrestre, e por um tempo maior, e que nela vão dissolvendo em maior ou menor proporção. A água subterrânea vai aumentando o seu teor em substâncias dissolvidas à medida que prossegue no seu movimento, até que entre essas seja alcançado um equilíbrio. Tendo como objetivo a classificação das águas do aquífero Taquari/Maruim quando à sua composição hidrogeoquímica, este trabalho objetivou a classificação hidrogeoquímica as águas do aquífero Taquari/Maruim na área de abrangência do município de Maruim. De acordo com o diagrama de Piper (1944) as águas subterrâneas são classificadas em bicarbonatadas cálcicas (40%), cloretadas cálcicas (30%) e, em pequena proporção, cloretadas sódicas (26,7%) e bicarbonatada sódica 3,3%. Tais ocorrências podem ser explicadas através do estudo das reações químicas que estão acontecendo, sejam de dissolução ou de precipitação. A representação gráfica das águas serviu, além de classificar a tipologia química da água, para verificar a abundância relativa dos elementos principais, sendo encontrados o cálcio e o sódio em quantidades mais expressivas que os demais cátions.

Palavras-chave: classificação hidrogeoquímica; água subterrânea; aquífero; diagrama de Piper.

5.1 INTRODUÇÃO

A água subterrânea, no processo de lixiviação dos solos e das rochas, enriquece-se em sais minerais, provenientes da dissolução dos seus minerais. Devido às baixas velocidades de circulação das águas subterrâneas, maiores pressões a que estão submetidas e facilidades de dissolver CO_2 ao percolar o solo não saturado, conseqüentemente, estas reações são favorecidas. Por estas razões, as águas subterrâneas têm concentrações de sais superiores às das águas continentais superficiais em geral (FENZEL, 1986). Ainda, segundo Fenzel (1986), a água subterrânea tende a aumentar a concentração de substâncias dissolvidas à medida que percola os diferentes aquíferos. Entretanto, muitos outros fatores contribuem para o aumento da concentração das substâncias dissolvidas ou interferem nesse processo, tais como: o clima, a composição da água da recarga, o tempo de contato/meio físico entre outros, além da contaminação antrópica.

A qualidade da água subterrânea depende da composição química da rocha-reservatório, de fatores climáticos e estruturais e da existência de atividades antrópicas (SANTOS, 2011).

A caracterização hidrogeoquímica tem por finalidade identificar e quantificar as principais propriedades e constituintes químicos, procurando estabelecer uma relação com o meio físico e os processos e fatores que influem na evolução da qualidade das águas subterrâneas, que podem ser intrínsecos e extrínsecos ao aquífero. Essa caracterização ou delimitação de áreas para estudos depende das direções de fluxos subterrâneos obtidos através da superfície potenciométrica (OSÓRIO, 2007).

Para qualificar a água subterrânea é necessário avaliar a evolução temporal e espacial dos parâmetros físico-químicos desta (FERNANDES, et al., 2001).

A caracterização hidroquímica das águas subterrâneas, em seu estado natural, está diretamente relacionada às condições geológicas, climáticas e hidrológicas do sistema aquífero. Tais condições se refletem principalmente a partir da litologia, do fluxo subterrâneo, da recarga, da profundidade e do tempo de permanência da água neste reservatório, além eventualmente do clima da região (NASCIMENTO, 2008). Além disso, características extremas ou diferentes daquelas esperadas, podem comprometer a qualidade da água, a exemplo de áreas mineralizadas e, principalmente, ação antrópica.

A necessidade de se estabelecer os principais parâmetros hidroquímicos de uma determinada formação aquífera é decorrente da necessidade de conhecer a origem destes, que podem ser de fontes naturais ou provenientes de fontes antrópicas.

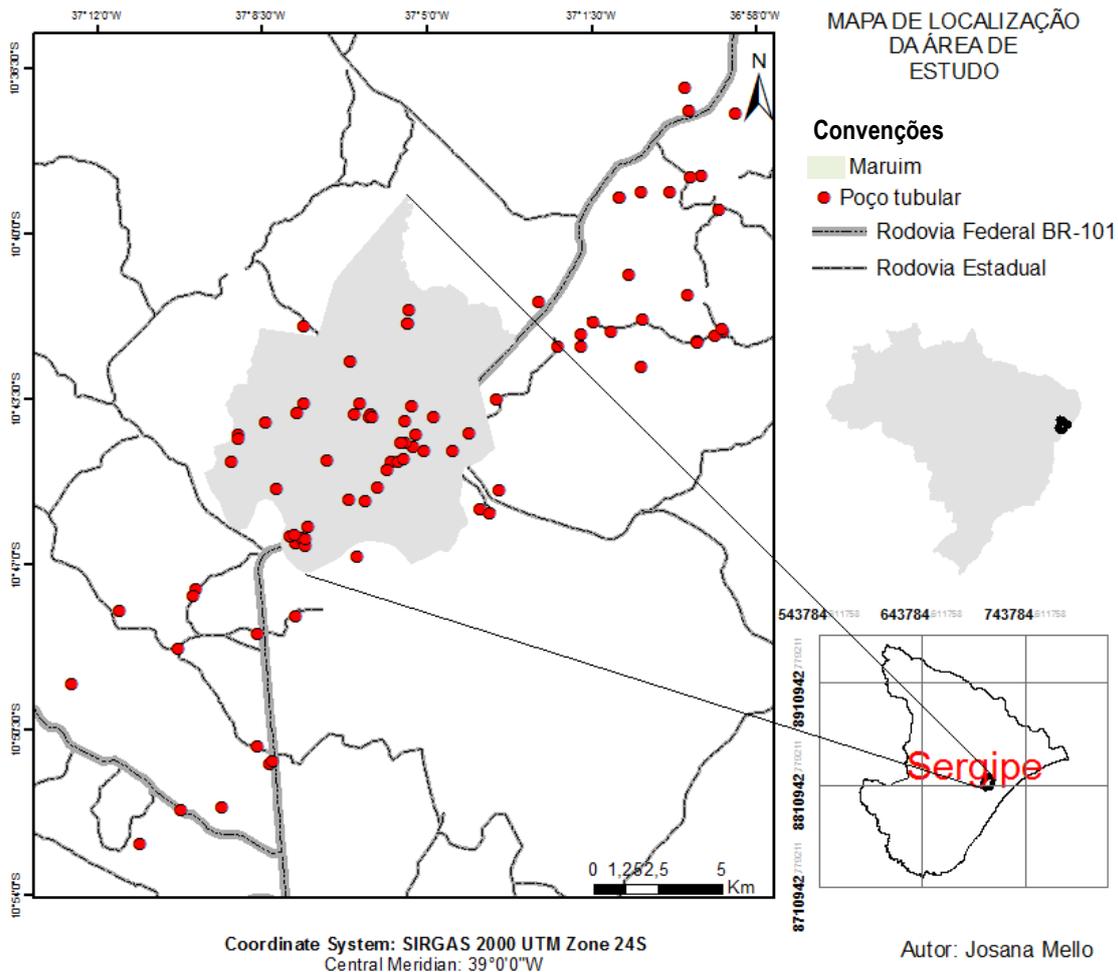
Um estudo minucioso dos aquíferos que revelem a situação qualitativa e quantitativa das águas é de fundamental importância, pois, através destes, é possível conhecer os fatores que comprometem a qualidade da água e os riscos pelos quais ela pode ser poluída (SANTOS et al., 2010).

O estudo do aquífero Taquari/Maruim a fim de poder conhecer as concentrações de alguns elementos, tem sua importância evidenciada devido à alta susceptibilidade à contaminação, especialmente, em áreas densamente povoadas. Compreendendo a distribuição hidroquímica na interface água/rocha, pode ser facilmente avaliada a susceptibilidade à contaminação de um aquífero livre, sendo

elevado, por conseguinte ao estudo da vulnerabilidade intrínseca do aquífero Taquari/Maruim no âmbito do município de Maruim, estado de Sergipe (Figura 5.1).

O objetivo deste trabalho consiste em caracterizar as águas do aquífero Taquari/Maruim quando à sua composição hidrogeoquímica.

Figura 5.1 – Localização de poços do município de Maruim e acesso viário a partir da BR-101



5.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Visando a alterações nas amostras d'água até a chegada ao laboratório, foi necessária a conservação e preservação, em caixas de isopor, sob refrigeração. As técnicas de amostragem e preservação das amostras seguiram as orientações técnicas especializadas, como o Manual prático de análise de água (FUNASA, 2006), Manual técnico para coleta de amostras de água (MANUAL, 2009), Norma CETESB para amostragem e monitoramento das águas subterrâneas (CETESB,

1999) e do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998).

Os parâmetros físico-químicos, como: temperatura, pH, Eh, condutividade elétrica, OD e sólidos totais dissolvidos foram analisados *in situ* com o Medidor Multiparâmetros portátil (Multi Water Quality Checker U-50 Series 2) da marca HORIBA, manta 2. Para as demais técnicas analíticas utilizadas, os dados importantes estão no Quadro 5.1.

Quadro 5.1 – Técnicas e métodos analíticos utilizados nas amostras de água dos poços do município de Maruim – quantificados no laboratório do Plasma do IGEO-UFBA

PARÂMETROS	UNIDADE	L M D	TÉCNICA ANALÍTICA	EQUIPAMENTO	REFERÊNCIA DO MÉTODO
Cloreto	mg L ⁻¹	-	Titrimetria		SMEWW 4500Cl ⁻ 20th
Nitrato	mg N-NO ₃ L ⁻¹	0,011	Espectrofotometria	Espectrofotômetro	US EPA 300.0
Carbonato	mg CaCO ₃ L ⁻¹	-	Titrimetria	-	SMEWW 2320 B
Bicarbonato	mg CaCO ₃ L ⁻¹	-	Titrimetria	-	SMEWW 2320 B
Sulfato	mg L ⁻¹	0,01	Espectrofotometria	Espectrofotômetro	SMEWW 4500E 19th
Cálcio	mg L ⁻¹	0,05	ICP OES	ICP Emission Spectrometer	Método do Manual VARIAN
Magnésio	mg L ⁻¹	0,01	ICP OES	ICP Emission Spectrometer	Método do Manual VARIAN
Potássio	mg L ⁻¹	0,05	ICP OES	ICP Emission Spectrometer	Método do Manual VARIAN
Sódio	mg L ⁻¹	0,01	ICP OES	ICP Emission Spectrometer	Método do Manual VARIAN

OBS.: L D M - Limite de detecção do método;

Os elementos foram determinados e quantificados, na água pré-concentrada os elementos: cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e sódio (Na) por ICP OES (Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado) no equipamento ICP Emission Spectrometer, Espectrômetro de emissão ótica com plasma de argônio induzido. Modelo Liberty 150 (VARIAN), (Figura 5.2).

Figura 5.2 – Leitura das amostras no ICP OES

As configurações do equipamento ICP OES (Modelo Liberty 150, VARIAN) para determinação dos elementos químicos na água encontram-se no quadro 5.2.

Quadro 5.2 – Características de operação do equipamento para determinação dos elementos químicos na água e nos sólidos em suspensão retidos e digeridos

Dados	Características
Potência	1000 W
Vazão do plasma	15,0 L min ⁻¹
Vazão do gás auxiliar	1,50 L min ⁻¹
Pressão da câmara de nebulização	150 kPa
Linhas Espectrais Selecionadas	Mg – 279.553 nm Na – 589.592 nm Ca – 317.933 nm K – 769.896 nm

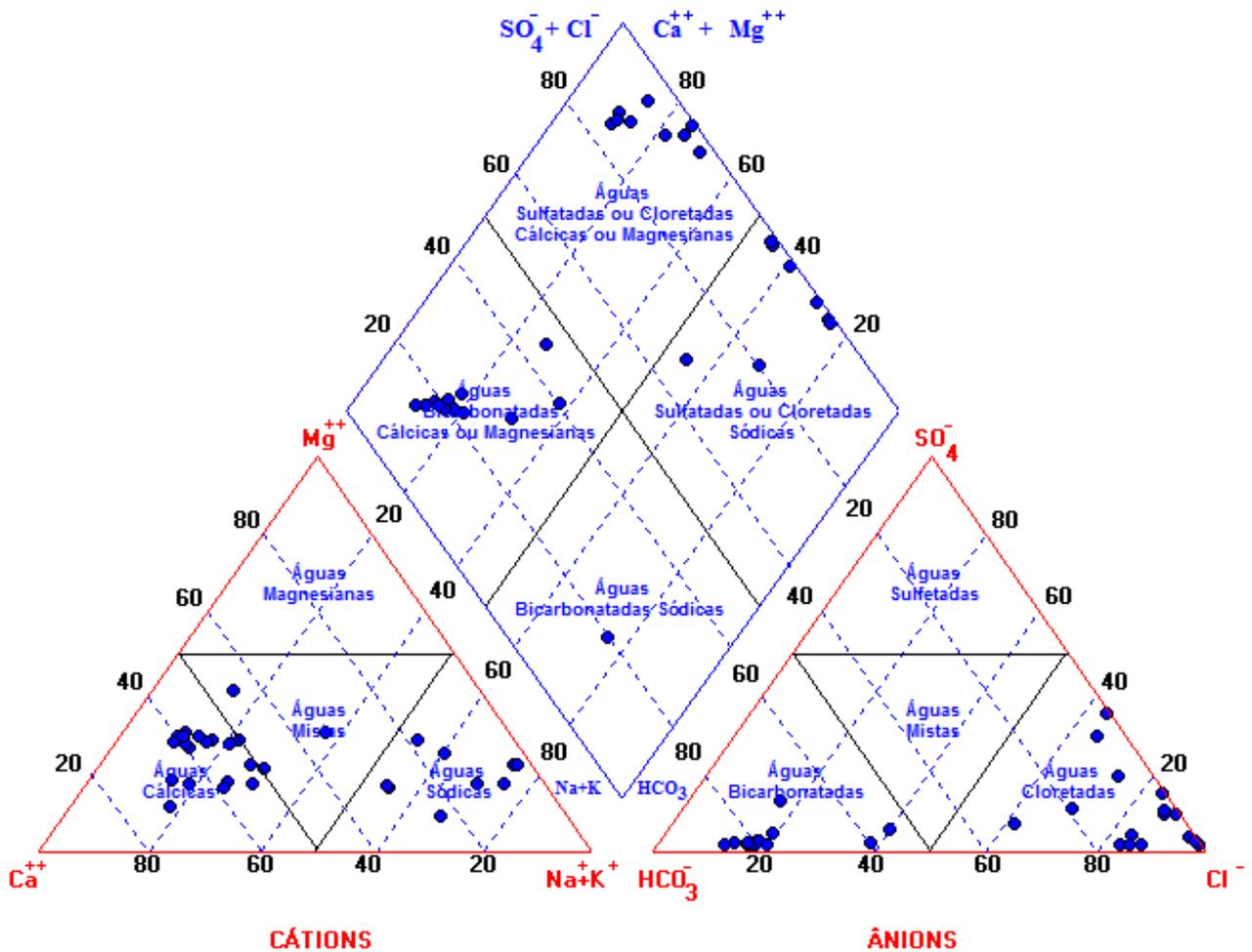
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o intuito de obter uma distribuição que abrangesse a porção do aquífero que estudado, e que esta fosse representativa, foram utilizados dados de 30 estavam em operação ou com acesso permitido, 27 poços tubulares e 3 poços rasos ou cacimbas que foram contabilizados através do software Quantum GIS (1.6.0) com as informações disponíveis no atlas digital de Sergipe (SERGIPE, 2011) e através dos dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), CPRM (2011). Seis destes poços foram descobertos durante esta etapa.

A classificação do tipo químico das águas subterrâneas foi feita de acordo com o conteúdo iônico dominante, resultante da interação água-rocha, para isso foi

elaborado o diagrama triangular de Piper (1944), utilizando o software Qualigraf (MOBUS, 2003). O diagrama de Piper (Figura 5.3) é um diagrama hidroquímico utilizado, frequentemente, quando se trabalha com grande número de análises químicas de água, servindo para classificar e comparar os distintos grupos de águas quanto aos íons dominantes em cálcicas, cloretadas, bicarbonatadas, sódicas, magnesianas, sulfatadas ou mistas (SANTOS, 2008).

Figura 5.3 – Diagrama Triangular de Piper (1944) para as águas subterrâneas do aquífero Taquari/Maruim na abrangência do município de Maruim

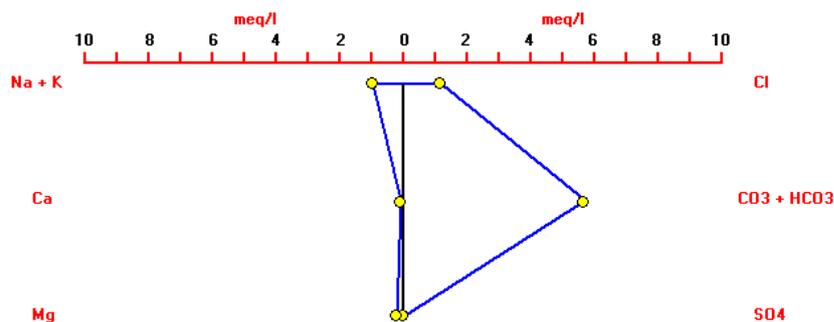


As águas subterrâneas do aquífero Taquari/Maruim, no município de Maruim são predominantemente cálcicas (60%), sódicas (30%) e, secundariamente, de natureza mista (10%). Os poços com predominância relativa do cálcio nas águas localizam-se principalmente na área de abrangência do Membro Maruim. As águas sódicas estão principalmente associadas à região de influência das drenagens superficiais (águas salobras, provável mistura com a água do mar). As águas de natureza mista estão sob a influência de regiões de transição litológica.

Em relação aos ânions, as águas são divididas em cloretadas (56,7%) e bicarbonatadas (43,3%), as cloretadas estão associadas, principalmente, à região de influência das drenagens superficiais e de zonas de recargas. As águas bicarbonatadas estão associadas à alteração por parte da dissolução dos tipos litológicos do Membro Maruim, e enriquecimento mineralógico destas.

Considerando a composição percentual dos cátions e ânions as águas podem ser classificadas como: bicarbonatadas cálcicas (40%), cloretadas cálcicas (30%), cloretadas sódicas (26,7%) e bicarbonatada sódica 3,3% (correspondente à amostra PC13). As águas bicarbonatadas cálcicas são dominantes na área de influência litológica do Membro Maruim, devido a reações de dissolução da calcita/dolomita. As águas cloretadas cálcicas ocorrem principalmente pela diluição da calcita e pela troca iônica do Na^+ , pelo Ca^{2+} , das argilas esmectíticas, que são ricas em Na^+ ou pela interferência de águas meteóricas. A amostra PC13, única classificada como bicarbonatada sódica, localizada numa região de rocha alterada, tendo sua tipologia hidroquímica influenciada pela troca iônica decorrente da dissolução da calcita devido o aumento de bicarbonato na região, essa tendência pode ser confirmada através do diagrama de Stiff para esse poço (Figura 5.4).

Figura 5.4 – Diagrama de Stiff para o PC13, no município de Maruim



Em relação ao balanço iônico e ao erro analítico, para avaliar a qualidade dos resultados, foram utilizados os métodos de Schoeller (1962) – Quadro 5.3; Logan (1965) e Custódio e Llamas (1983), estes com a utilização do software Qualigraf (MOBUS, 2003).

Quadro 5.3 – Balanço iônico pelo método de Schoeller*

Poço	Ca	Mg	Na	K	Cl	CO3	HCO3	SO4	NO3	Σrc	Σra	e
PC5	3,80207	1,25406	11,0829	0,44513	20,9509	0	5,48495	2,83452	0,02801	16,5842	29,2984	27,7103
PC7	4,66409	1,12254	1,2715	0,03698	1,33218	0	6,19726	0,08772	0,01047	7,09511	7,62763	3,61699
PC8	4,48258	0,61367	1,026	0,07261	1,14395	0	4,60149	0,16753	0,01562	6,19486	5,92859	2,19637
PC10	3,04141	1,4087	0,4816	0,02268	0,66815	0	0,08856	0,01844	0,00564	4,95438	0,78079	72,772
PC11	0,67303	0,60427	0,16861	0,04188	0,28123	0	0,02007	0,1188	0,01159	1,4878	0,43169	55,0205
PC13	0,08558	0,19661	0,93546	0,01544	1,19798	0	5,66099	0	0,01191	1,23309	6,87089	69,5682
PC14	1,36851	0,56117	0,6693	0,05221	0,98709	0	1,35062	0,10053	0,00564	2,65119	2,44387	4,06891
PC17	2,57619	0,72525	1,0527	0,07598	1,63152	0	0	0,25875	0,04444	4,43013	1,93471	39,2064
PC18	3,95146	1,64058	0,82635	0,06681	1,03067	0	5,34803	0	0,02399	6,48519	6,40268	0,6402
PC22	3,49113	1,42823	1,98109	0,1611	1,16717	0	5,10353	0,83054	0,02206	7,06154	7,1233	0,43535
PC27	3,62804	1,81662	1,05427	0,05441	1,13349	0	5,53222	0	0,01739	6,55335	6,6831	0,9803
PC28	0,39839	0,2055	0,75168	0,01774	1,08121	0	0,00706	0,02172	0,02689	1,3733	1,13687	9,41874
PC31	3,70508	1,60752	0,44712	149,826	0,57403	0	0,0971	0	0,00708	155,586	0,67822	99,132
PC32	3,67233	1,80326	0,63586	0,03208	0,77795	0	0,1127	0	0,01127	6,14353	0,90192	74,3972
PC33	3,8161	1,80326	1,02681	0,04335	1,23284	0	5,63328	0,07838	0,02318	6,68953	6,96769	2,03672
PC35	0,23063	0,3624	0,63287	0,10073	0,72305	0	0,35974	0,06315	0,02222	1,32662	1,16816	6,35193
PC36	4,39214	1,08555	0,92568	0,03721	0,94352	0	4,96498	0,03405	0,0285	6,44058	5,97105	3,783
PC37	0,89851	0,79133	0,98957	0,01363	1,13872	0	1,77833	0,01116	0,09113	2,69304	3,01934	5,71217
PC38	5,39014	1,37942	2,25895	0,04663	3,80532	0	0,10077	0,34616	0,09724	9,07514	4,34949	35,2013
PC39	0,48921	0,66777	2,92477	0,03385	3,13867	0	0,00298	1,63644	0,14232	4,1156	4,92042	8,90672
PC40	5,02088	1,48936	2,78612	0,05892	4,70464	0	0,09804	0,48506	0,10803	9,35527	5,39577	26,8422
PC41	5,65118	2,94841	9,79043	0,88963	45,8304	0	0,11989	4,03416	0,04428	19,2796	50,0287	44,3656
PC49	3,98046	1,72158	0,76717	0,05024	0,83546	0	5,3953	0,04418	0,01868	6,51944	6,29362	1,76247
PC51	0,01254	0,09942	0,35205	0,0085	0,45302	0	0	0	0,00869	0,47251	0,46172	1,15465
PC52	3,83544	1,80943	0,66875	0,02869	0,72218	0	5,28772	0	0,03252	6,34231	6,04242	2,42147
PC53	2,61538	1,42771	1,03524	0,09504	0,97664	0	0,07729	0,22838	0,06488	5,17337	1,3472	58,6785
PC54	0,08536	0,14668	0,37165	0,00865	0,4186	0	0	0	0,03606	0,61233	0,45467	14,7765
PC56	0,13894	1,3974	5,06796	0,09755	8,05793	0	0	0,10087	0,09129	6,70186	8,25008	10,3547
PC57	3,51296	1,7524	0,78865	0,04906	0,89298	0	0,10551	0	0,01336	6,10307	1,01185	71,5569
PC58	4,19316	2,11614	1,4629	0,18784	1,53784	0	6,22334	0	0,06955	7,96004	7,83073	0,81885

*Valores em meq L-1.

O método de Schoeller visa o cálculo do erro numa análise química tendo como critério que o somatório dos ânions e cátions seja o mais próximo possível. Dessa forma, a análise seria aceita como correta se, o erro relativo seja equivalente, no máximo a 5%. Entretanto outros autores admitem um erro de 10 a 20%.

Para este trabalho foi utilizado o critério de admissão, de erro na análise, de 20%. A partir disto foram consideradas como acima do erro recomendado 12 amostras (40%), destacadas no quadro 5.3.

Dos erros analíticos calculados com o software Qualigraf apenas foram consideradas de boa qualidade as análises referentes aos poços: PC8, PC14, PC18, PC22, PC27, PC33, PC37, PC49, PC51, PC52 e PC58, o que corresponde a 36,7% do total de amostras analisadas. As demais foram consideradas acima do erro recomendado por um dos métodos ou por ambos.

Existem diversos fatores que podem ter ocasionado os erros encontrados, acima do recomendado. Alguns erros podem estar relacionados à amostragem, ou ao acondicionamento das amostras, pós-campo, ou aos ensaios no laboratório, ou

aos cálculos efetuados, ou ao fato de algum íon com concentração apreciável na água não ter sido analisado, o que poderia ter desequilibrado o balanço iônico para o lado dos cátions, em algumas amostras, ou para o lado dos ânions, em outras (NASCIMENTO, 2008).

No quadro 5.4 estão os resultados analíticos dos elementos apresentados neste trabalho.

Quadro 5.4 – Análises químicas dos poços tubulares do município de Maruim

Poço	Data da coleta	Coordenadas UTM		Sulfato (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)	Ca	Mg	Na	K
		X	Y								
PC5	16/05/2013	704406,41	8808503,53	136,275	742,940	<5,22	336,50	76,194	15,256	254,780	17,456
PC7	15/05/2013	704925,41	8813693,55	4,218	47,241	<5,22	380,2	93,469	13,656	29,230	1,450
PC8	15/05/2013	704649,41	8813326,55	8,054	40,566	<5,22	282,3	89,831	7,466	23,586	2,848
PC10	14/05/2013	708129,42	8811092,54	0,887	23,693	ND	5,43	60,950	17,138	11,071	0,889
PC11	14/05/2013	708314,42	8811430,54	5,712	9,973	ND	1,23	13,488	7,351	3,876	1,643
PC13	15/05/2013	706695,41	8809934,53	ND	42,482	<5,22	347,3	1,715	2,392	21,505	0,606
PC14	16/05/2013	710686,43	8811845,54	4,833	35,003	<5,22	82,86	27,425	6,827	15,386	2,048
PC17	15/05/2013	703431,40	8812965,54	12,440	57,855	<5,22	<5,22	51,627	8,823	24,200	2,980
PC18	15/05/2013	706909,00	8813282,00	ND	36,548	<5,22	328,1	79,188	19,958	18,997	2,620
PC22	15/05/2013	702394,40	8812450,54	39,930	41,389	<5,22	313,1	69,963	17,375	45,542	6,318
PC27	16/05/2013	709087,00	8813581,00	ND	40,195	<5,22	339,4	72,706	22,100	24,236	2,134
PC28	14/05/2013	707777,00	8810389,00	1,044	38,341	ND	0,433	7,984	2,500	17,280	0,696
PC31	14/05/2013	708557,42	8811397,54	ND	20,356	ND	5,96	74,250	19,556	10,279	5,876
PC32	14/05/2013	708814,00	8811522,00	ND	27,587	ND	6,91	73,594	21,938	14,617	1,258
PC33	15/05/2013	703840,40	8810351,53	3,769	43,718	<5,22	345,6	76,475	21,938	23,605	1,700
PC35	15/05/2013	702363,40	8812296,54	3,036	25,640	<5,22	22,07	4,622	4,409	14,549	3,950
PC36	16/05/2013	708988,42	8817326,56	1,637	33,458	<5,22	304,6	88,019	13,206	21,280	1,459
PC37	15/05/2013	704587,41	8808226,53	0,537	40,380	<5,22	109,1	18,006	9,627	22,749	0,535
PC38	14/05/2013	704903,00	8808220,00	16,643	134,940	ND	6,18	108,019	16,781	51,930	1,829
PC39	14/05/2013	704985,00	8808118,00	78,675	111,300	ND	0,183	9,804	8,124	67,236	1,328
PC40	14/05/2013	704987,00	8808401,00	23,320	166,831	ND	6,02	100,619	18,119	64,049	2,311
PC41	14/05/2013	704801,41	8808532,53	193,950	1625,192	ND	7,36	113,250	35,869	225,067	34,888
PC49	16/05/2013	708835,42	8812163,54	2,124	29,626	<5,22	331	79,769	20,944	17,636	1,970
PC51	15/05/2013	705824,00	8811484,00	ND	16,065	<5,22	<5,22	0,251	1,209	8,093	0,333
PC52	16/05/2013	707496,00	8813242,00	ND	25,609	<5,22	324,40	76,863	22,013	15,374	1,125
PC53	14/05/2013	709579,00	8811826,00	10,980	34,632	ND	4,74	52,413	17,369	23,799	3,727
PC54	16/05/2013	709282,00	8812492,00	ND	14,844	<5,22	<5,22	1,711	1,784	8,544	0,339
PC56	14/05/2013	705018,41	8809053,53	4,850	285,742	ND	ND	2,784	17,000	116,505	3,826
PC57	14/05/2013	709063,00	8812125,00	ND	31,666	ND	6,47	70,400	21,319	18,130	1,924
PC58	16/05/2013	709282,00	8812492,00	12,195	54,533	<5,22	381,80	84,031	25,744	33,630	7,366

5.4 CONCLUSÕES

A classificação da água foi feita com base nas espécies mais abundantes. De acordo com as análises feitas sobre os resultados dos ensaios analíticos, as águas subterrâneas do aquífero Taquari/Maruim, no município de Maruim são predominantemente bicarbonatadas cálcicas (40%), cloretadas cálcicas (30%) e, em pequena proporção, cloretadas sódicas (26,7%) e bicarbonatada sódica 3,3%. Tais ocorrências podem ser explicadas através do estudo das reações químicas que estão acontecendo, podendo estas ser de dissolução ou de precipitação a depender do equilíbrio químico apresentado.

É possível afirmar que as reações que definem a maior parte do tipo de água encontrada são provenientes das dissoluções da calcita e da dolomita do membro Maruim. Em uma pequena proporção, os tipos de água encontradas, nessa região do aquífero, podem ser explicados pelas trocas iônicas e pela influência das drenagens superficiais e das precipitações nas zonas de recargas.

A representação gráfica das águas serviu, além de classificar a tipologia química da água, para verificar a abundância relativa dos elementos principais (Ca>Na>K>Mg).

A qualidade dos dados é um dos fatores a serem analisados para as afirmações analíticas. Apesar de algumas análises terem resultados com erros acima dos admitidos, considerando-se as certezas de amostragem e acondicionamentos corretos, precisão e cautela nos ensaios analíticos e nos cálculos, acredita-se na possibilidade de “algum íon com concentração apreciável na água não ter sido analisado, o que poderia ter desequilibrado o balanço iônico para o lado dos cátions, em algumas amostras.”

Dessa forma, outros estudos podem ser feitos para complementar e explicar tais erros encontrados.

5.5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de auxílio através de bolsas de estudo a FAPESB pela concessão de auxílio através de diárias de campo.

5.6 REFERÊNCIAS

APHA – American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20 th ed. Washington: APHA/AWWA, 1998.

APHA – American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21 th ed. Washington: APHA/AWWA, 2005.

CETESB. **Amostragem e monitoramento das águas subterrâneas** – Norma CETESB. Projeto CETESB – GTZ: São Paulo, 1999.

CPRM – SIAGAS: Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br>>. Acesso em: 04 nov. 2011.

CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia subterrânea**. 2. ed. Barcelona: OMEGA, 1983.

FENZEL, N. J. **Introdução à hidrogeoquímica**. Belém: Universidade Federal do Pará, 1986.

FERNANDES, J.; FRANCÉS, A.; COSTA, A. M.; MIDÕES, C. Utilização de ferramentas informáticas no âmbito do estudo dos recursos hídricos subterrâneos do Alentejo (ERHSA). In: SEMINÁRIO SOBRE A HIDROINFORMÁTICA EM PORTUGAL, 2001. **Anais...**, Lisboa: LNEC, 2001.

FUNASA - FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Manual prático de análise de água**. 2. ed. rev. Brasília: FUNASA, 2006.

LOGAN, J. **Interpretação de análises químicas de água**. Recife: [U.S. Agency for International Development], 1965. 67 p.

MANUAL técnico para coleta de amostras de água. Florianópolis: [s.n.], 2009.

MOBUS, G. **Qualigraf**. Programa para análise da qualidade de água. FUNCEME. <http://www.funceme.br/DEHID/index.html>. 2003. Acesso em 22 out. 2011.

OSÓRIO, Q. S. **Vulnerabilidade natural de aquíferos e potencial de poluição das águas subterrâneas**. 2007. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

PIPER, A. M. A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analysis. **Trans. Am. Geophysical Union**, n. 25, p. 911-923, 1944.

SANTOS, R. A.; CRUZ, M. J. M.; NASCIMENTO, S. A. M. Avaliação da vulnerabilidade natural de aquíferos cársticos: subsídios para uma gestão dos recursos hídricos subterrâneos. **Cadernos de graduação**, n. 7, p. 54-61, 2010.

SANTOS, R. A. **Hidrogeoquímica das águas subterrâneas do município de Iraquara, Bahia**. 2011. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, 2011.

SCHOELLER, H. **Les eaux souterraines**. Paris: Mason, 1962.

SERGIPE (Estado). Superintendência de Recursos Hídricos. **Atlas digital sobre os recursos hídricos de Sergipe**. Aracaju: SEPLANTEC-SRH, 2011. CD-ROM.

6 ESTUDO DA VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO TAQUARI/MARUIM NO MUNICÍPIO DE MARUIM E ADJACÊNCIAS, SERGIPE: APLICAÇÃO DO MÉTODO GOD

Resumo: Os estudos sobre vulnerabilidade de aquíferos, por meio de cartografia, têm sido extensivamente utilizados em todo mundo como forma de auxílio a programas de prevenção a contaminação da água subterrânea. Um dos métodos mais utilizados na América Latina e Caribe, metodologia GOD, desenvolvida por Foster e Hirata (1988), utiliza informações disponíveis e de fácil acesso. A região do município de Maruim foi escolhida para o estudo pela ausência de estudos acerca desse ambiente (aquífero) que é a principal fonte de captação de água para o abastecimento público e por apresentar dados ambientais e condições propícias ao risco de contaminação. Este trabalho foi realizado com o objetivo de analisar a vulnerabilidade do aquífero livre, Taquari/Maruim, nesta região. Os mapas foram elaborados por meio de técnicas de Geoprocessamento e Geoestatística. O mapa de vulnerabilidade apresentou três classes de vulnerabilidade variando de média a extrema servindo como alerta sobre a necessidade de programas de proteção de qualidade das águas subterrâneas, exigindo especial atenção para os pontos localizados em áreas de vulnerabilidade alta e extrema e principalmente os que fazem uso constante de água de poços rasos.

Palavras-chave: vulnerabilidade; aquífero; GOD; risco de contaminação.

6.1 INTRODUÇÃO

As crescentes preocupações da sociedade com a qualidade dos recursos hídricos subterrâneos como garantia de fonte para o abastecimento público e para a produção econômica foram propulsoras da tomada de atitudes por parte dos governos de forma a estabelecerem programas de proteção da qualidade das águas subterrâneas e medidas que evitem sua degradação.

O conceito de vulnerabilidade começou a ser difundido a partir da década de 1970, no âmbito da hidrogeologia, na França (ALBINET; MARGAT, 1970). Mais tarde, foi difundido de maneira mais ampla durante a década de 1980.

O termo “vulnerabilidade natural de um aquífero” pode ser definido como a avaliação da susceptibilidade do aquífero vir a ser contaminado e que depende de diversos fatores ambientais, geológicos, geomorfológicos, espessura da camada não saturada, recarga natural, escoamento superficial, exploração da água, dentre outros (RUSSO, 2009).

Existem duas grandes correntes de definição de vulnerabilidade, as que consideram a vulnerabilidade como uma propriedade referente ao meio

(vulnerabilidade intrínseca) e os que consideram, além do comportamento do meio aquífero, a carga contaminante (vulnerabilidade específica).

Pode-se dizer que a vulnerabilidade intrínseca é o estudo da susceptibilidade do aquífero vir a ser contaminado, levando em consideração as características próprias do aquífero e de seu entorno, desconsiderando, num primeiro momento, a ação dos contaminantes.

O método GOD, desenvolvido por Foster e Hirata (1988) é um método de avaliação da vulnerabilidade intrínseca do aquífero que utiliza informações disponíveis, encontradas dispersas em vários órgãos públicos, universidades, empresas privadas e outros (FOSTER; HIRATA, 1991). Segundo Cutrim e Campos (2010), GOD é considerado um método que apresenta bom desempenho, menor custo e maior facilidade de obtenção das informações utilizadas por ele. Amplamente difundido na América Latina e no Caribe durante a década de 1990, devido à sua simplicidade conceitual e de aplicação (FOSTER et al., 2006).

Os parâmetros avaliados pelo método GOD são referentes à capacidade de atenuação e inacessibilidade hidráulica dos poluentes (BARBOZA; ROCHA; GUIMARÃES, 2007). A figura 6.1 mostra uma tabela comparativa entre os dados hidrogeológicos que seriam idealmente necessários (dados quantitativos que deveriam ser medidos diretamente) e os que normalmente estão disponíveis.

Figura 6.1 – Fatores hidrogeológicos que controlam a vulnerabilidade do aquífero à contaminação

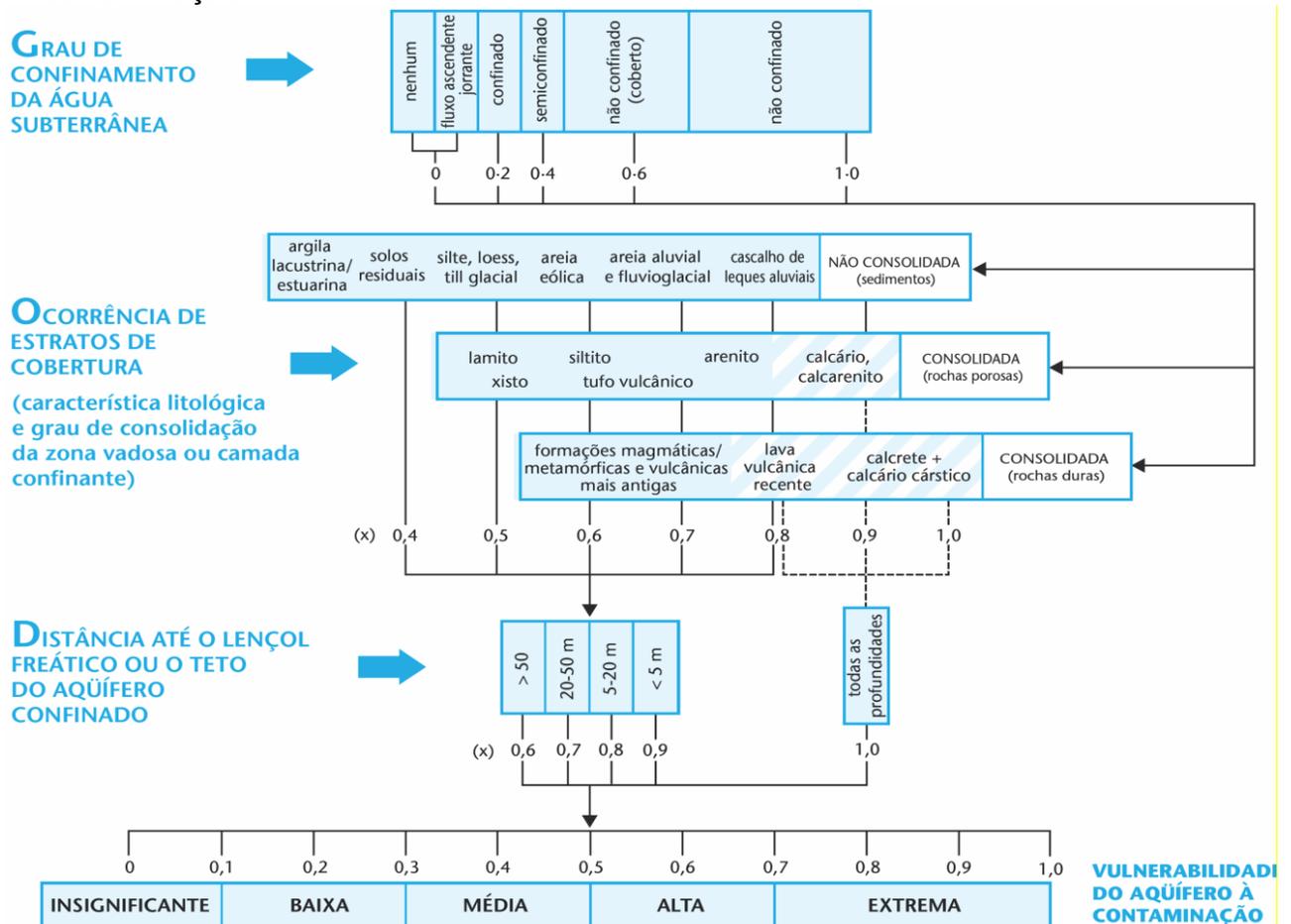
COMPONENTE DE VULNERABILIDADE	DADOS HIDROGEOLÓGICOS	
	idealmente necessários	normalmente disponíveis
Inacessibilidade Hidráulica	grau de confinamento do aquífero	tipo de confinamento da água subterrânea
	profundidade até o lençol freático ou a posição da água subterrânea	profundidade até o lençol freático ou o teto do aquífero confinado
	condutividade hidráulica vertical e teor de umidade da zona não saturada (zona vadosa) ou camada confinante	
Capacidade de Atenuação	distribuição granulométrica dos sedimentos e fissuras na zona vadosa ou camada confinante	grau de consolidação/fissuração desses estratos
	mineralogia dos estratos na zona vadosa ou camada confinante	característica litológica desses estratos

Fonte: Foster et al. (2006, p.22).

É inevitável esse tipo de simplificação para aquisição de dados quando se tem por objetivo o mapeamento da vulnerabilidade do aquífero à contaminação. Dessa forma, o índice de vulnerabilidade GOD (FOSTER, 1987; FOSTER; HIRATA, 1988) caracteriza a vulnerabilidade do aquífero à contaminação levando em conta os parâmetros geralmente disponíveis ou facilmente determinados.

O índice final (Índice GOD) é calculado multiplicando os resultados da 1ª, 2ª e 3ª fases (Figura 6.2). O índice máximo correspondente a 1,0 representa a vulnerabilidade extrema e o valor mínimo 0,0 corresponde à vulnerabilidade insignificante.

Figura 6.2 – Sistema GOD para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação



Fonte: Foster et al. (2006, p. 23).

É importante ressaltar que a figura 6.2 apresenta algumas modificações em relação à versão original (FOSTER; HIRATA, 1988), resultado das experiências com a aplicação do método durante a década de 1990. As modificações incluem uma pequena redução nos índices do parâmetro “D”; a simplificação na caracterização

geológica de “O” para “rochas potencialmente fraturadas de vulnerabilidade intrínseca intermediária”; e a elucidação do fator “G”, com respeito aos aquíferos semiconfinados (FOSTER et al., 2006).

6.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A área escolhida para aplicação do método foi o aquífero Taquari/Maruim município de Maruim, estado de Sergipe. Por apresentar carências de estudo nesse sentido, e por ter nesse aquífero a principal fonte de captação de água para abastecimento público.

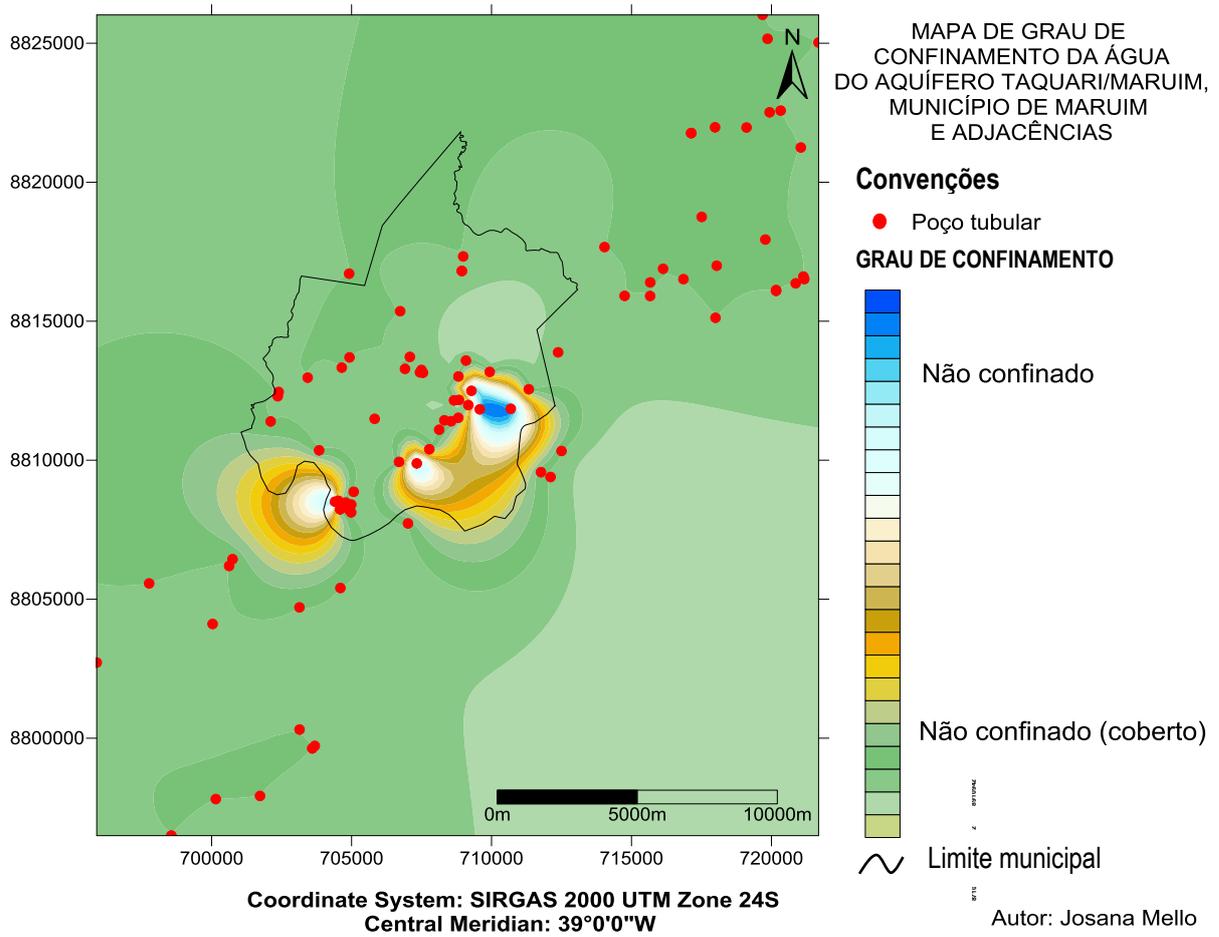
O município está passando por um processo de urbanização, além disso, a economia da região tem suas bases nas atividades agrícolas, pecuárias, indústria (fertilizante e têxtil), comércio (básico varejista) e mineração.

Atualmente os setores mais importantes são a agropecuária e a mineração. Através dos mapas gerados, para as variáveis utilizadas no método, é possível delinear a localização do município.

Para o método GOD foi feito levantamento de campo e consulta do mapa geológico para a determinação do tipo de ocorrência da água subterrânea. O nível de água nos poços cadastrados foi medido através do medidor de nível de água – modelo MNJ 200m, os tipos litológicos da zona não saturada, e ainda foi realizada a checagem de todas as informações coletadas em trabalhos anteriores.

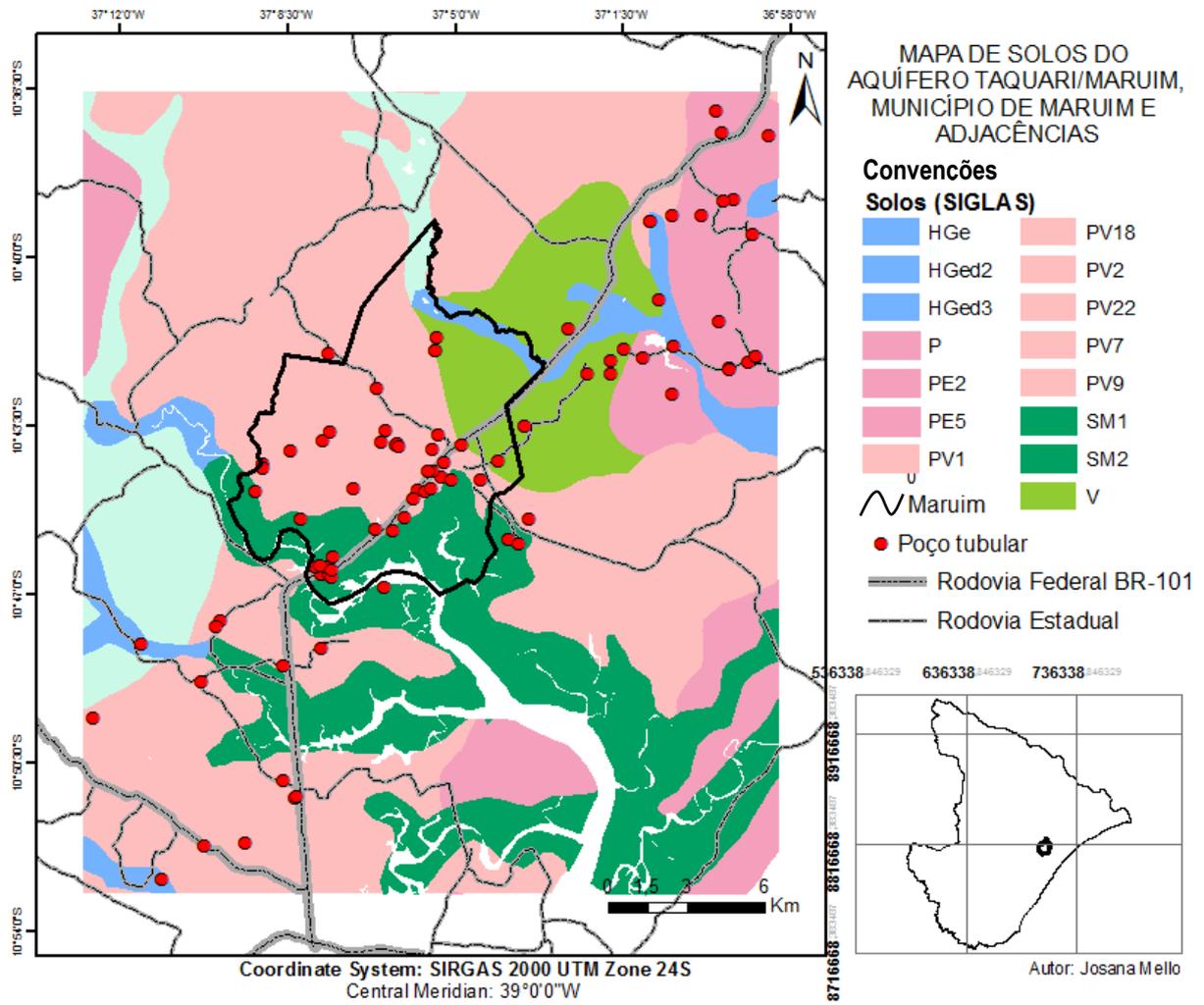
Para a confecção dos mapas de vulnerabilidade foi utilizada interpolações por *krigagem* universal, utilizando-se os softwares ArcGis 10.1 e SURFER 10.3.715 (GOLDEN SOFTWARE, 2011). Os dados encontrados foram inseridos na Planilha “TriVulnerabilidade”, na qual os cálculos para o método foram executados automaticamente. Para determinação do índice G foram encontradas ocorrências de não aquífero não confinado e aquífero não confinado (coberto) compreendendo os índices de classificação 0,6 a 1. A partir desses valores foi gerado o mapa do grau de confinamento da água no aquífero (Figura 6.3).

Figura 6.3 – Mapa de grau de confinamento da água no aquífero Taquari/Marum



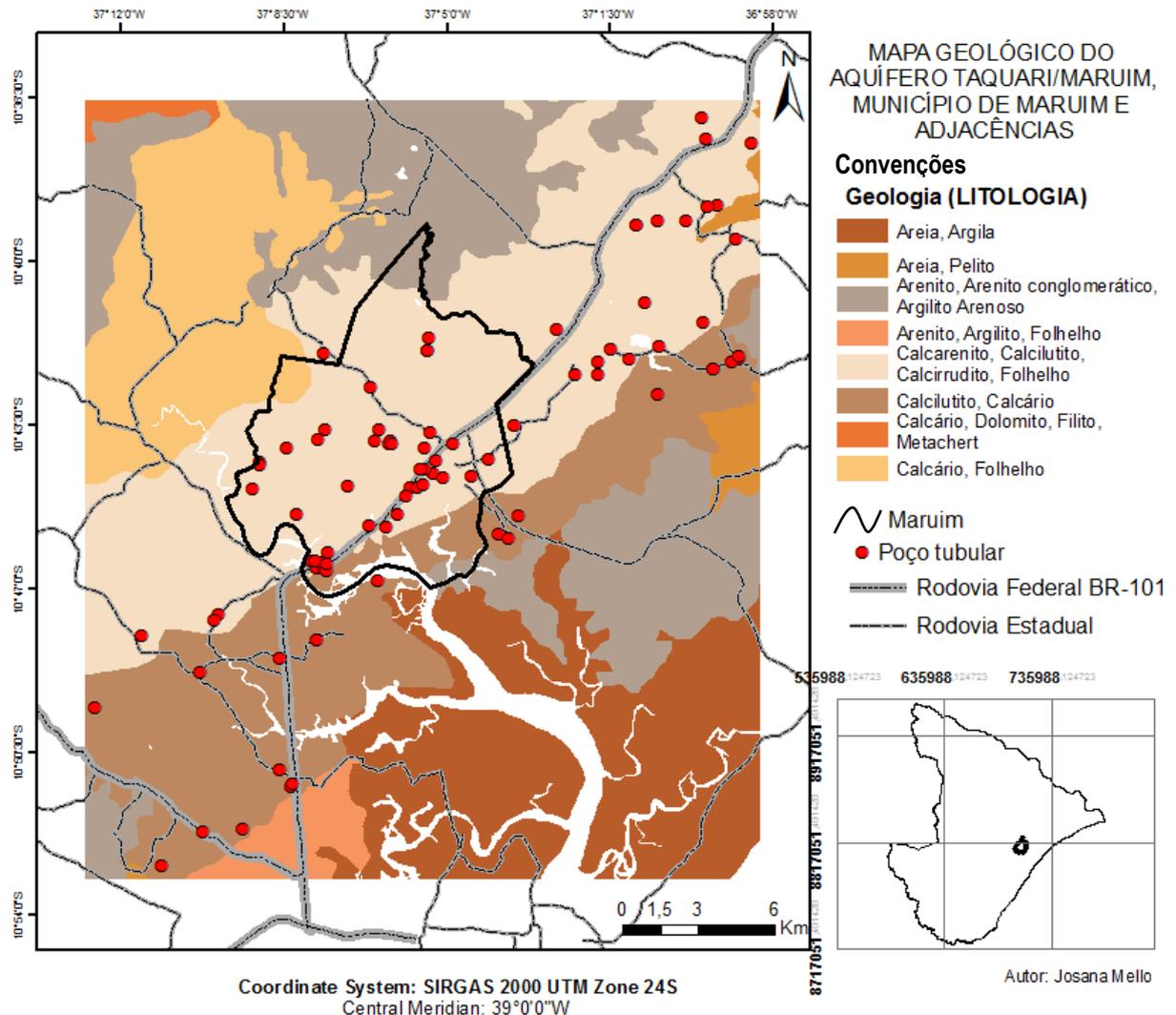
Para a avaliação e determinação do índice “O”, referente à “Ocorrência de estratos de cobertura” foram analisados os mapas pedológico (Figura 6.4) e geológico (Figura 6.5). Nos pontos analisados foram encontradas abrangências de areia, cascalho, calcário e calcarenito. Foram enquadrados nos índice de classificação 0,8 e 0,9. Esses valores foram adquiridos a partir do mapa de solos.

Figura 6.4 – Mapa Pedológico. Exploratório – Reconhecimento de solos do município de Maruim, SE. Escala original 1:400.000



Fonte: Adaptado de Jacomine, Montenegro e Formiga (1975) e Sergipe (2011)

Figura 6.5 – Mapa geológico do aquífero Taquari/Maruim

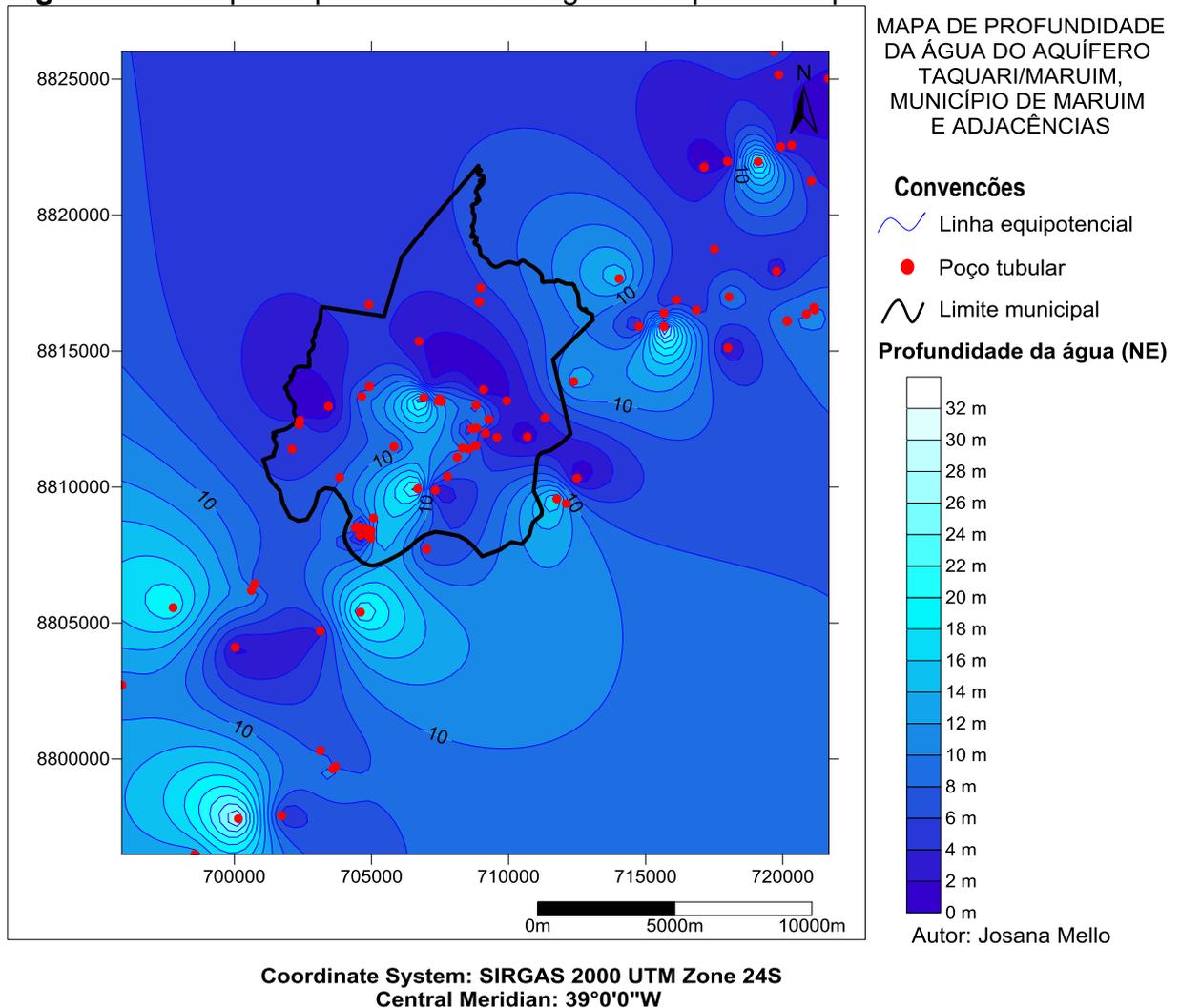


Fonte: Adaptado de SERGIPE (2011).

A variável “D”, referente à distância até o lençol freático ou nível estático, de acordo com a NBR 12244/92 (ABNT, 1992), é a “(...) profundidade do nível da água de um poço em repouso, isto é, sem bombeamento, medida em relação à superfície do terreno local”.

Foram encontrados valores de 0,20 m a 31m compreendendo os índices de classificação 0,8; 0,9 e 1. A partir desses valores foi gerado o mapa de profundidade da água do aquífero (Figura 6.6)

Figura 6.6 – Mapa da profundidade da água no aquífero Taquari/Maruim

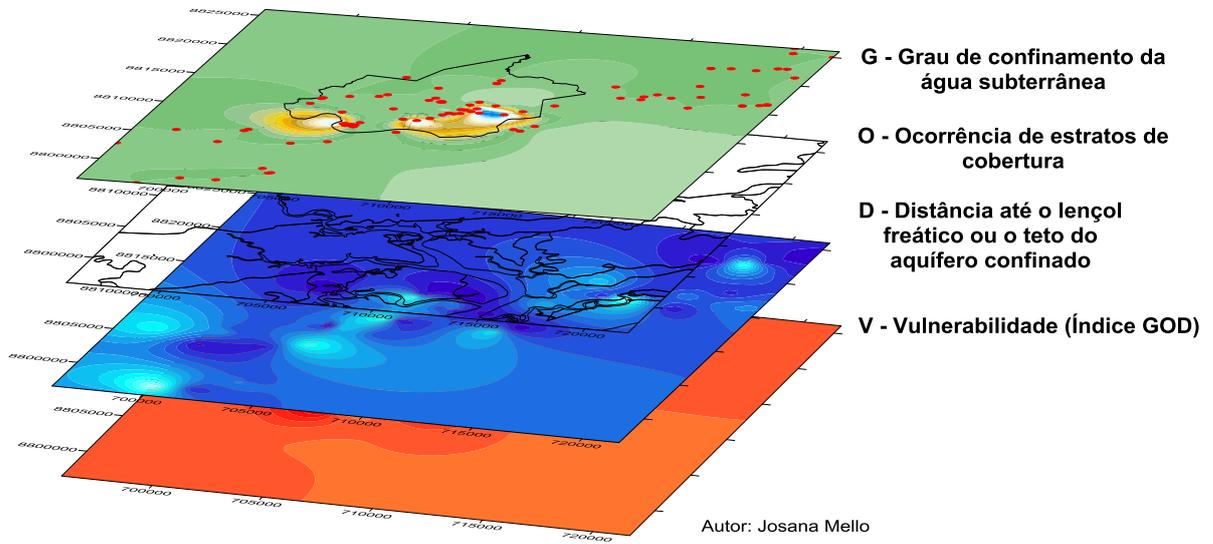


6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o cálculo do índice de vulnerabilidade pelo método GOD foi calculado o produto dos valores obtendo-se a(s) classe(s) de vulnerabilidade do aquífero, esses foram classificados de acordo com intervalos de significância próprios do método.

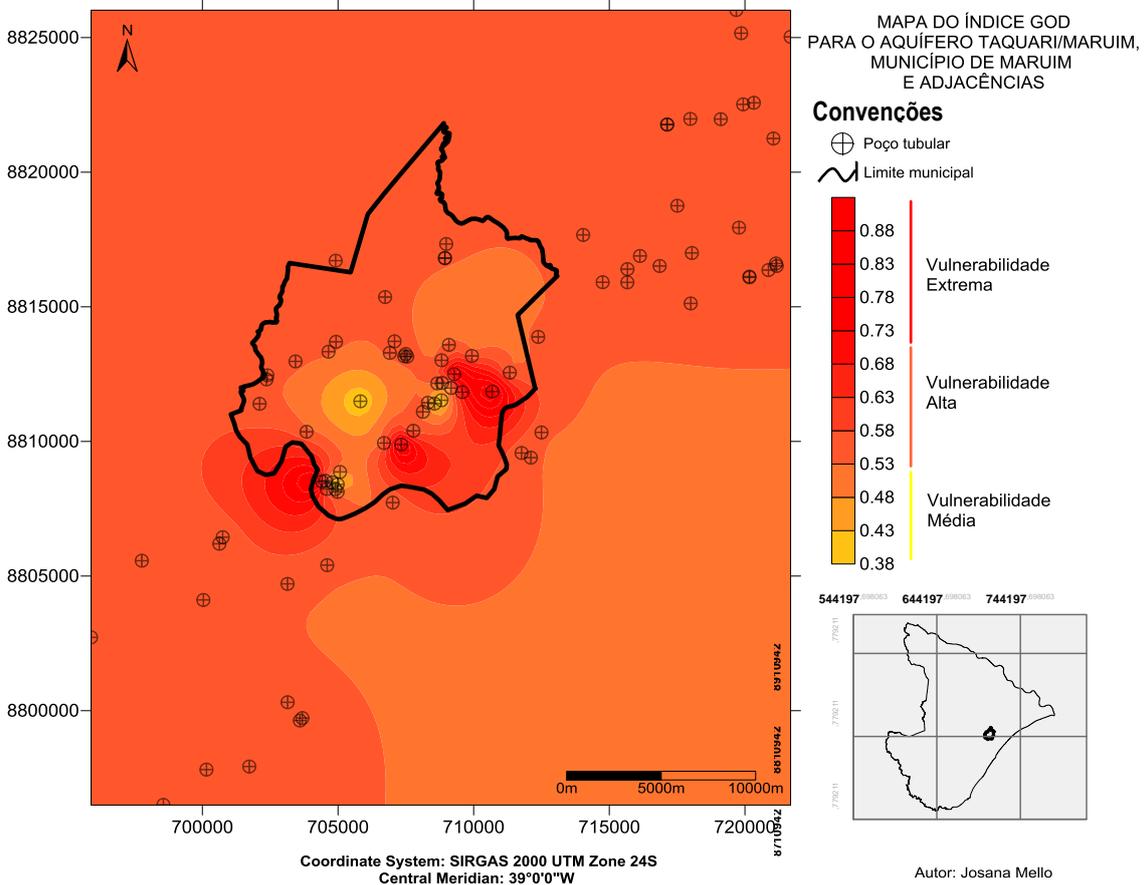
Foi construído o Stacmap (Figura 6.7) com a sobreposição de todos os mapas para a geração do mapa de vulnerabilidade do aquífero Taquari/Maruim, no município de Maruim (Figura 6.8).

Figura 6.7 – Representação gráfica do cálculo de vulnerabilidade do aquífero Taquari/Maruim para o método GOD



A partir do mapa representado na Figura 6.8, pode-se observar a tendência de vulnerabilidade de intermediária a alta com regiões com tendência de vulnerabilidade extrema.

Figura 6.8 – Mapa da vulnerabilidade do aquífero Taquari/Maruim para o método GOD



Dos setores que apresentam vulnerabilidade extrema é importante destacar a porção sudeste do município de Maruim, ao sul da sede municipal, onde se encontram os principais poços de abastecimento da cidade e ao sudoeste do município onde é encontradas atividades potencialmente poluidoras, como posto de combustível e indústrias de fertilizantes. Na região Centro-Sudoeste identifica-se a área mais específica de vulnerabilidade média, onde se localiza o ponto PC51. O grau de confinamento da água subterrânea, “G”, e, principalmente, a distância até o teto do lençol freático, “D”, foram variáveis importantes na delimitação final do mapa de vulnerabilidade. No entanto, a ocorrência de estratos de cobertura, “O”, levou ao extremo essa delimitação, pois, todos os pontos que apontaram a ocorrência de calcário e calcarenito tiveram os seus índices relativos ao parâmetro “D” elevados ao valor extremo. Portanto, é possível afirmar que esse parâmetro qualitativo foi decisivo no resultado final.

Foram realizados os cálculos de estatística descritiva para o método GOD (Tabela 6.1)

Tabela 6.1 – Estatística descritiva para a aplicação do método GOD

Média	0,55
Mediana	0,54
Modo	0,54
Desvio padrão	0,09
Variância da amostra	0,01
Curtose	9,31
Mínimo	0,38
Máximo	0,90
Soma	47,02
Contagem	86,00

A partir dos dados estatísticos é possível avaliar que a constância dos valores apresentados no “modo” é uma das consequências de usar parâmetros qualitativos, como a litologia/cobertura do aquífero, pois, dessa forma, o índice de vulnerabilidade torna-se, praticamente, constante numa área com a mesma litologia. E quanto mais restritiva essa litologia – como as que elevam os valores do parâmetro “D” para 1,0 – mais tendencioso fica o resultado final.

6.4 CONCLUSÕES

O uso da metodologia GOD e a cartografia de vulnerabilidade traçada com este método foram importantes para o desenvolvimento desse trabalho. O número reduzido de dados básicos permitiu agilidade na análise dos resultados e foi suficiente para ter uma ideia prévia do cenário de susceptibilidade, do aquífero, à contaminação e a visualização dos fatores que contribuíram para o resultado final dos índices de vulnerabilidade.

O mapa de gerado serve como fonte de dados para o desenvolvimento de outras metodologias e sua contribuição pode ser de muita utilidade como ferramenta de gestão dos aquíferos e, conseqüentemente, melhores condições sanitárias para a população.

Esse estudo pode ser utilizado pela sociedade e órgãos competentes como auxílio para tomadas de decisão acerca do uso e ocupação do solo, uma vez que o município encontra-se em processo de desenvolvimento urbano e industrial.

6.5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de auxílio através de bolsas de estudo a FAPESB pela concessão de auxílio através de diárias de campo.

6.6 REFERÊNCIAS

ALBINET, M ; MARGAT, J. Cartograhie de la vulnerabilite a la poluition des nappes d'eau soterraine. **Bulletin BRGM**. 2nd Series, v. 3, n. 4, p. 13-22, 1970.

BARBOZA, A. E. C.; ROCHA, S. F.; GUIMARÃES, W. D. Estudo preliminar da vulnerabilidade do aquífero livre localizado na região de Ponta da Fruta, Vila Velha – ES. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. 2007. **Anais ...**, 2011. Florianópolis: INPE, 2007. p. 3279-3286. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.16.00.42/doc/3279-3286.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2012.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12244**: Construção de poço para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro, 1992. 6 p.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. **Determinación del riesgo da contaminación de águas subterrâneas**: uma metodologia baseada em dados existentes. Lima: CEPIS, 1991.

FOSTER, S. S. D. **Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy**. Proceedings of International Conference: Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants. Noordwijk, Países Baixos, 1987.

FOSTER, S. S. D. et al. **Groundwater quality protection: a guide for water utilities municipal authorities and environment agencies**. Washington: The World Bank, 2002.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. **Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data**. WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual, Lima, 1988.

FOSTER, S. S. D. et al. **Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. São Paulo: SERVIMAR, 2006.

GOLDEN SOFTWARE, Inc; SURFER 10.3.715; Colorado, USA, 2011.

JACOMINE, P.K.T.; MONTENEGRO, J.O.; RIBEIRO, M.R.; FORMIGA, R.A. **Levantamento exploratório – Reconhecimento de solos do estado de Sergipe**. Recife, Embrapa /Sudene, 1975. 506p. (Boletim Técnico, 36; Série Recursos de Solos, 6)

RUSSO, A. S. **Estimativa da vulnerabilidade de aquíferos utilizando sistemas de informações geográficas e geoestatística – UGRHI – PCJ**. 2009. 75f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009, 75p.

SERGIPE (Estado). Superintendência de Recursos Hídricos. **Atlas digital sobre os recursos hídricos de Sergipe**. Aracaju: SEPLANTEC-SRH, 2011. CD-ROM.

7 ESTUDO DA VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO TAQUARI/MARUIM NO MUNICÍPIO DE MARUIM E ADJACÊNCIAS, SERGIPE: APLICAÇÃO DO MÉTODO DRASTIC E DRASTICP

Resumo: A degradação da qualidade ambiental das cidades gera diversos problemas que são afetados diretamente pelo processo de urbanização. O município de Maruim, apesar de possuir uma área pequena, tem passado por diversas mudanças decorrentes do processo de urbanização. O presente trabalho apresenta o mapeamento da vulnerabilidade do aquífero Taquari/Maruim no município baseado no método DRASTIC (ALLER et al., 1987), que usa fatores hidrogeológicos para determinar a vulnerabilidade de um aquífero. Para o tratamento e integração dos dados foi utilizado um Sistema de Informações Geográficas e, após o cruzamento dos mapas, foram quantificados os percentuais de cada classe de vulnerabilidade. Os resultados obtidos apontam para zonas de vulnerabilidade intermediária e alta, com algumas raras zonas de vulnerabilidade baixa, Devido à presença de áreas agricultáveis e com possibilidade de uso de pesticidas, foi aplicado o método DRASTICP, um caso especial do método DRASTIC, que apontou para uma tendência muito maior de vulnerabilidade alta em toda a área de abrangência do município de Maruim. Os métodos apresentam correlação visto que um é originado a partir do outro.

Palavras-chave: vulnerabilidade, urbanização, aquífero, DRASTIC, DRASTICP.

7.1 INTRODUÇÃO

A vulnerabilidade intrínseca de um aquífero é caracterizada por meio de fatores naturais que referem-se a acessibilidade da zona saturada à penetração de poluentes, capacidade de atenuação resultante da retenção físico-química ou reação ao poluente na zona não saturada e à diluição e a remobilização dos elementos na água e no solo (FOSTER et al., 2006)..

Apesar do surgimento de inúmeras definições, qualificações e metodologias sobre a vulnerabilidade dos aquíferos não existe um consenso acerca do alcance do termo (AUGE, 2004).

É imprescindível distinguir o conceito de risco do conceito de vulnerabilidade, o qual é definido como o perigo de deterioração na qualidade de um aquífero, devido a existência real ou potencial de substâncias contaminantes em seu entorno (FOSTER, 1991).

Foster e Hirata (1988) consideram que todos os aquíferos são vulneráveis em médio ou em longo prazo a contaminantes que apresentam características persistentes e móveis, gerados por uma atividade amplamente distribuída em uma

região. Pode-se controlar ou modificar a carga poluidora, mas, a vulnerabilidade, que é uma característica intrínseca ao aquífero, permanece intacta.

A metodologia DRASTIC, desenvolvida por Aller et al. (1987) consiste em uma abordagem popular nos estudos da vulnerabilidade intrínseca das águas subterrâneas devido ao seu baixo custo e simplicidade e, além disso, usa dados que estão geralmente disponíveis ou que podem ser estimados para a produção de mapas de vulnerabilidade (EL-NAQA; HAMMOURI, 2008).

Tem o objetivo de avaliar a vulnerabilidade intrínseca dos aquíferos, independentemente da carga poluidora, e tem uso muito difundido para a avaliação qualitativa e para o mapeamento da vulnerabilidade de uma região (AUGE 2004).

Para o método DRASTIC são utilizadas as variáveis: (D) profundidade da superfície freática; (R) recarga do aquífero; (A) tipo de aquífero; (S) tipo de solo; (T) topografia ou declividade do terreno; (I) Influência na zona não saturada; (C) condutividade hidráulica do aquífero.

Os parâmetros do DRASTIC são distribuídos de acordo com o tempo de escoamento, fluxo e concentração associada à incidência de um poluente introduzido no local de estudo (ALLER et al., 1987).

As faixas de classificação de cada fator DRASTIC foram avaliadas com o objetivo de determinar a importância relativa de cada índice em relação à poluição potencial. Dessa forma, para cada fator DRASTIC foi atribuída uma classe que varia entre 1 e 10. Para os fatores D, R, S, T, e C foi atribuído um valor para cada série foi atribuída uma classe intitulada "típica" e uma variável de classificação.

Segundo Aller et al. (1987) a variável "Classificação" permite ao usuário escolher um valor típico ou ajustar o valor com base em um conhecimento mais específico da área de emprego do método.

O procedimento utilizado na aplicação dos fatores citados segue as três etapas.

A primeira consiste na atribuição de valores a cada parâmetro hidrogeológico, em função das condições locais de cada poço tubular utilizado. Valores elevados correspondem a uma maior vulnerabilidade sendo obtidos através das tabelas fornecidas pelo método, segundo Aller et al., 1987.

Na segunda etapa os valores são multiplicados pelo peso relativo (w) de cada parâmetro. Cada parâmetro tem um peso específico que reflete a sua importância relativa na quantificação do índice de vulnerabilidade. Os parâmetros

mais importantes têm um peso 5 enquanto os menos importantes tem um peso 1 (Quadro 7.1).

Quadro 7.1 – Índice de ponderação (w) do método DRASTIC

Parâmetros	DRASTIC (pesos)
Dw - Profundidade da água	5
Rw - Recarga (líquida)	4
Aw - Tipo de aquífero	3
Sw - Tipo de Solo	2
Tw - Topografia (declividade)	1
lw - Tipo de Impacto sobre a zona vadosa	5
Cw - Condutividade do Aquífero (hidráulica)	3

Fonte: Adaptado de ALLER et al., 1987, p. 19.

Na terceira etapa, fatores são relacionados entre si através de uma equação, aplicada em cada poço selecionado, através da Equação 7.1.

ÍNDICE DRASTIC = $Dr.Dw + Rr.Rw + Ar.Aw + Sr.Sw + Tr.Tw + lr.lw + Cr.Cw$ (Eq. 7.1)

Onde:

r = valores das variáveis nos seus respectivos intervalos de ocorrência.

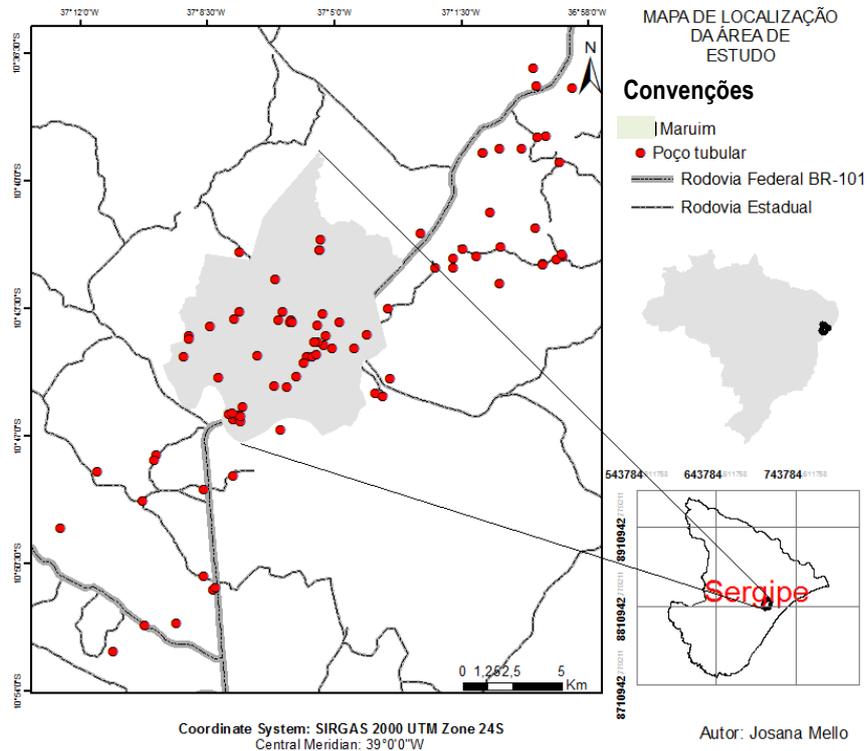
w = pesos dos fatores DRASTIC.

O índice DRASTIC é obtido somando-se os produtos de cada parâmetro pelo respectivo peso variando, no final, entre 23 (mínima) e 230 (máxima). Quanto mais elevado o índice maior a vulnerabilidade.

7.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Passando por processo de urbanização e com a preocupação de degradação da qualidade ambiental e a conseqüente geração de diversos problemas, o município de Maruim possui carência de dados sobre a situação atual do seu aquífero, do qual provém a principal forma de abastecimento de água. O método DRASTIC foi aplicado, neste trabalho ao aquífero Taquari/Maruim, no município de Maruim, Sergipe (Figura 7.1).

Figura 7.1 – Localização de poços do município de Maruim e acesso viário a partir da BR-101



Para o método DRASTIC foram medidos, levantados e/ou calculado os seguintes dados: profundidade da superfície freática, tipo de aquífero, tipo de solo e influência na zona não saturada e condutividade hidráulica.

Para a confecção de todos os mapas de vulnerabilidade foi utilizada interpolações por *krigagem* universal, utilizando-se os softwares ArcGis 10.1 e SURFER 10.3.715 (GOLDEN SOFTWARE, 2011).

Segundo Yassuda et al. (1965, p. 22), nível estático de um poço, “(...) É o nível de equilíbrio da água, no poço, quando o mesmo não está sendo bombeado”.

A profundidade é considerada uma variável com relação inversa com a vulnerabilidade, quanto maior a profundidade, menor a vulnerabilidade.

O Quadro 7.1 apresenta os índices estabelecidos por Aller et al. (1987) para o parâmetro D – Profundidade da água (nível estático).

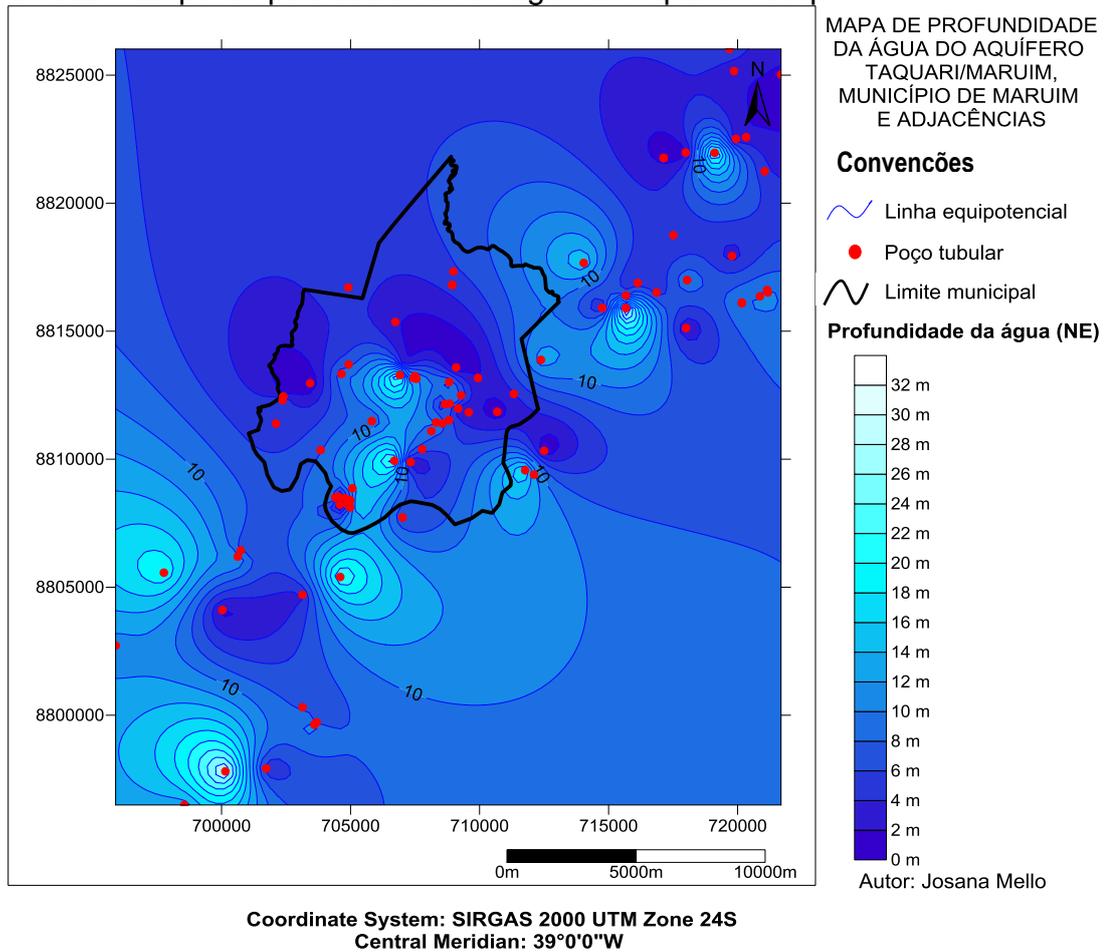
Quadro 7.2 – Índices para o parâmetro D do método DRASTIC

D - Depth to Water		
D - Profundidade da água		
Faixa (feet)	Faixa (m)	Classificação
0 - 5	0 - 1,52	10
5 - 15	1,52 - 4,57	9
15 - 30	4,57 - 9,14	7
30 - 50	9,14 - 15,24	5
50 - 75	15,24 - 22,86	3
75 - 100	22,86 - 30,48	2
> 100	> 30,48	1

Fonte: Adaptado de ALLER et al., 1987.

Foram encontrados valores de 0,20 m a 31m compreendendo os índices de classificação 10, 9, 7 e 5. A partir desses valores foi gerado o mapa de profundidade da água do aquífero (Figura 7.2).

Figura 7.2 – Mapa da profundidade da água no aquífero Taquari/Maruim



A recarga (líquida) é considerada uma variável com relação direta com a vulnerabilidade, quanto maior a recarga, maior a vulnerabilidade.

Não há uma metodologia consagrada para o cálculo da recarga de um aquífero livre. Dessa forma, foi empregado o método de VERMEULEN et al. (1993, 1994), por se tratar de um aquífero de formações porosas. Para estimar a recarga para o aquífero será considerado que a água disponível abaixo da camada de solo pode ser incorporada pelo aquífero.

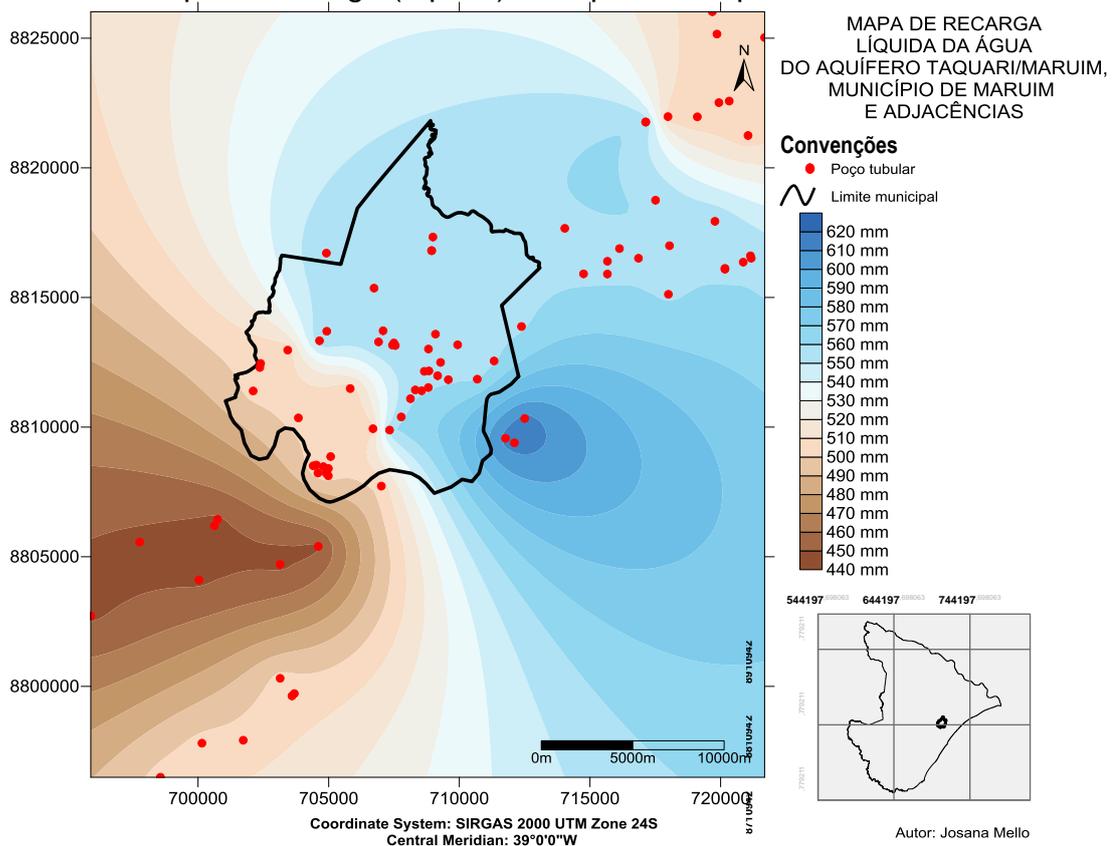
O Quadro 7.3 apresenta os índices estabelecidos por Aller et al. (1987) para o parâmetro R – Recarga (líquida).

Quadro 7.3 – Índices para o parâmetro R do método DRASTIC

R - (Net) Recharge		
R - Recarga (líquida)		
Faixa (inches)	Faixa (mm)	Classificação
0 - 2	0 - 50,8	1
2 - 4	50,8 - 101,6	3
4 - 7	101,6 - 177,8	6
7 - 10	177,8 - 254	8
>10	> 254	9

Fonte: Adaptado de ALLER et al., 1987.

Encontrados valores de 448,4 mm a 613 mm, sendo todos enquadrados no índice de classificação 9. A partir desses valores foi gerado o mapa de recarga da água do aquífero (Figura 7.3).

Figura 7.3 – Mapa da recarga (líquida) do aquífero Taquari/Maruim

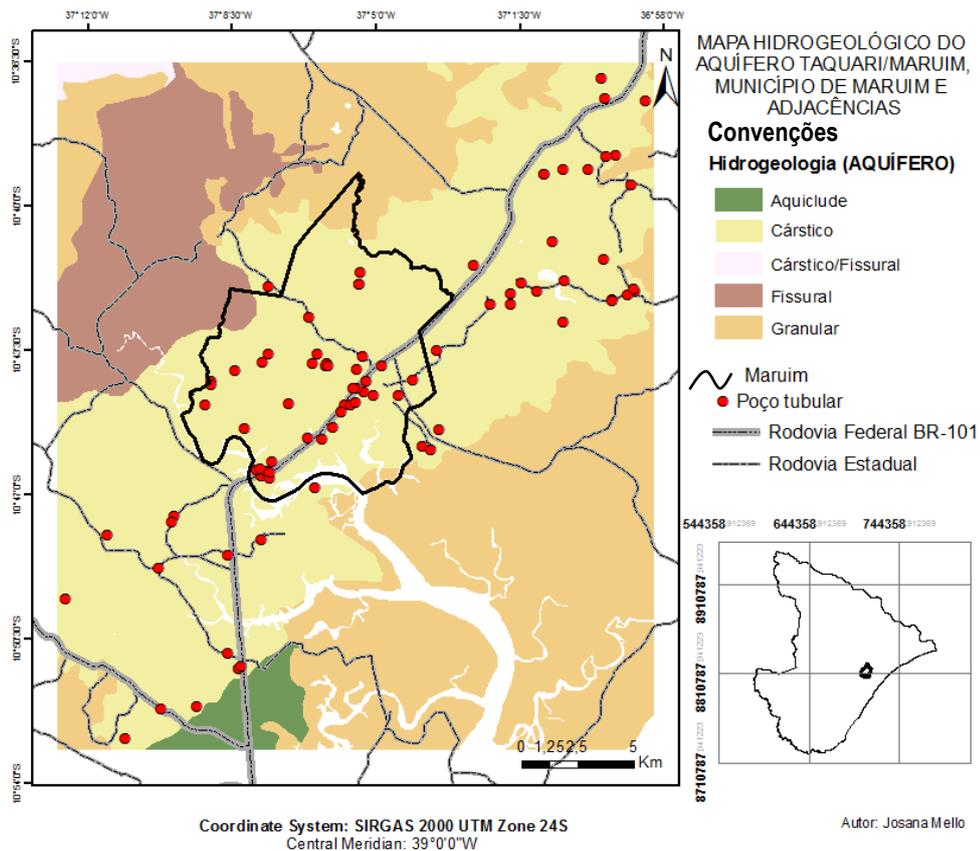
O Quadro 7.4 apresenta os índices estabelecidos por Aller et al. (1987) para o parâmetro material ou tipo de aquífero.

Quadro 7.4 – Índices para o parâmetro A do método DRASTIC

A - Aquífero Media			
A - Tipo de aquífero			
Faixa (Inglês)	Faixa (Português)	Classificação	Classificação típica
Massive Shale	Xisto (Folhelho) maciço	1 - 3	2
Metamorphic/Igneous	Metamórfica / Ígnea	2 - 5	3
Weathered Metamorphic/Igneous	Metamórfica / Ígnea intemperizadas	3 - 5	4
Glacial Till	Till Glacial	4 - 6	5
Bedded Sandstone, Limestone and Shale Sequences	Camadas de arenito, calcário e sequências de xisto	5 - 9	6
Massive Sandstone	Arenito maciço	4 - 9	6
Massive Limestone	Calcário maciço	4 - 9	6
Sand and Gravel	Areia e Cascalho	4 - 9	8
Basalt	Basalto	2 - 10	9
Karst Limestone	Calcário cárstico	9 - 10	10

Fonte: Adaptado de ALLER et al. (1987).

Encontradas abrangências de Camadas de arenito, calcário e sequências de xisto, e calcário maciço todos enquadrados no índice de classificação 6. Esses valores foram adquiridos a partir do mapa hidrogeológico (Figura 7.4).

Figura 7.4 – Mapa hidrogeológico do aquífero Taquari/Maruim

Fonte: Adaptado de SERGIPE (2011).

O Quadro 7.5 apresenta os índices estabelecidos por Aller et al. (1987) para o parâmetro tipo de solo.

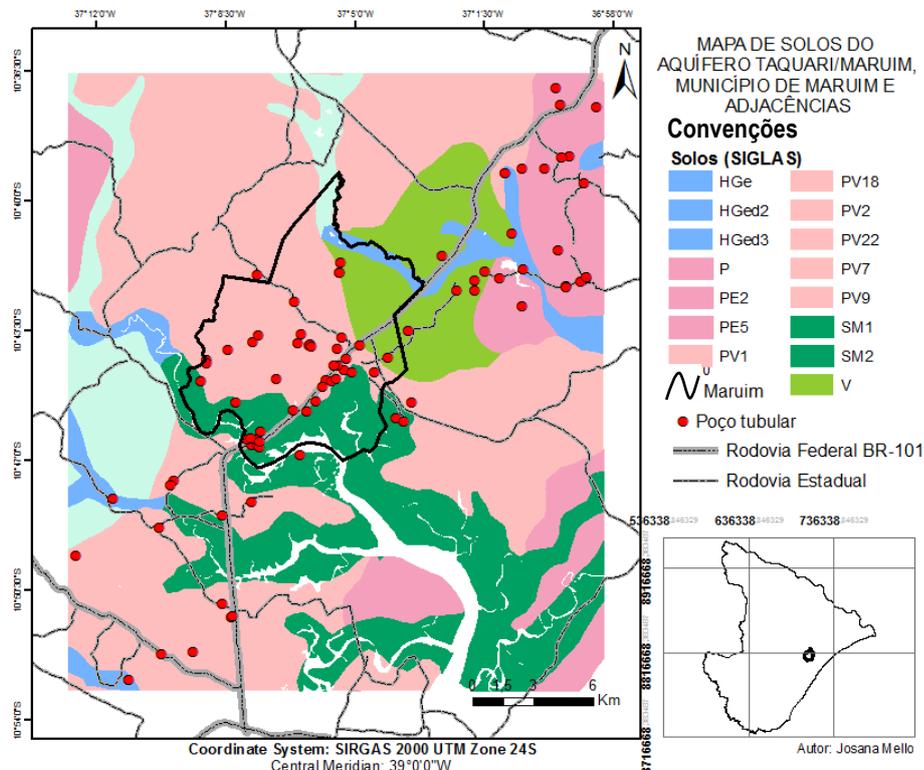
Quadro 7.5 – Índices para o parâmetro S do método DRASTIC

S - Soil Media		
S - Tipo de Solo		
Faixa (Inglês)	Faixa (Português)	Classificação
Thin or Absent	Fino ou ausente	10
Gravel	Cascalho (gravilhão)	10
Sand	Areia	9
Peat	Turfa	8
Shrinkng and/or Aggregated Clay	Argila expansiva ou agregada	7
Sandy Loam	Marga arenosa	6
Loam	Marga	5
Silty Loam	Marga siltosa	4
Clay Loam	Marga argilosa	3
Muck	Solo orgânico	2
Nonshrinking and Nonaggregated Clay	Argila não expansiva e agregada	1

Fonte: Adaptado de ALLER et al. (1987).

Encontradas abrangências de areia, argila expansiva ou agregada, marga e solo orgânico. Foram enquadrados nos índice de classificação 2, 5, 7 e 9. Esses valores foram adquiridos a partir do mapa de solos (Figura 7.5)

Figura 7.5 – Mapa pedológico do aquífero Taquari/Maruim



Fonte: Adaptado de Jacomine, Montenegro e Formiga (1975) e Sergipe (2011)

O Quadro 7.6 apresenta os índices estabelecidos por Aller et al. (1987) para o parâmetro topografia.

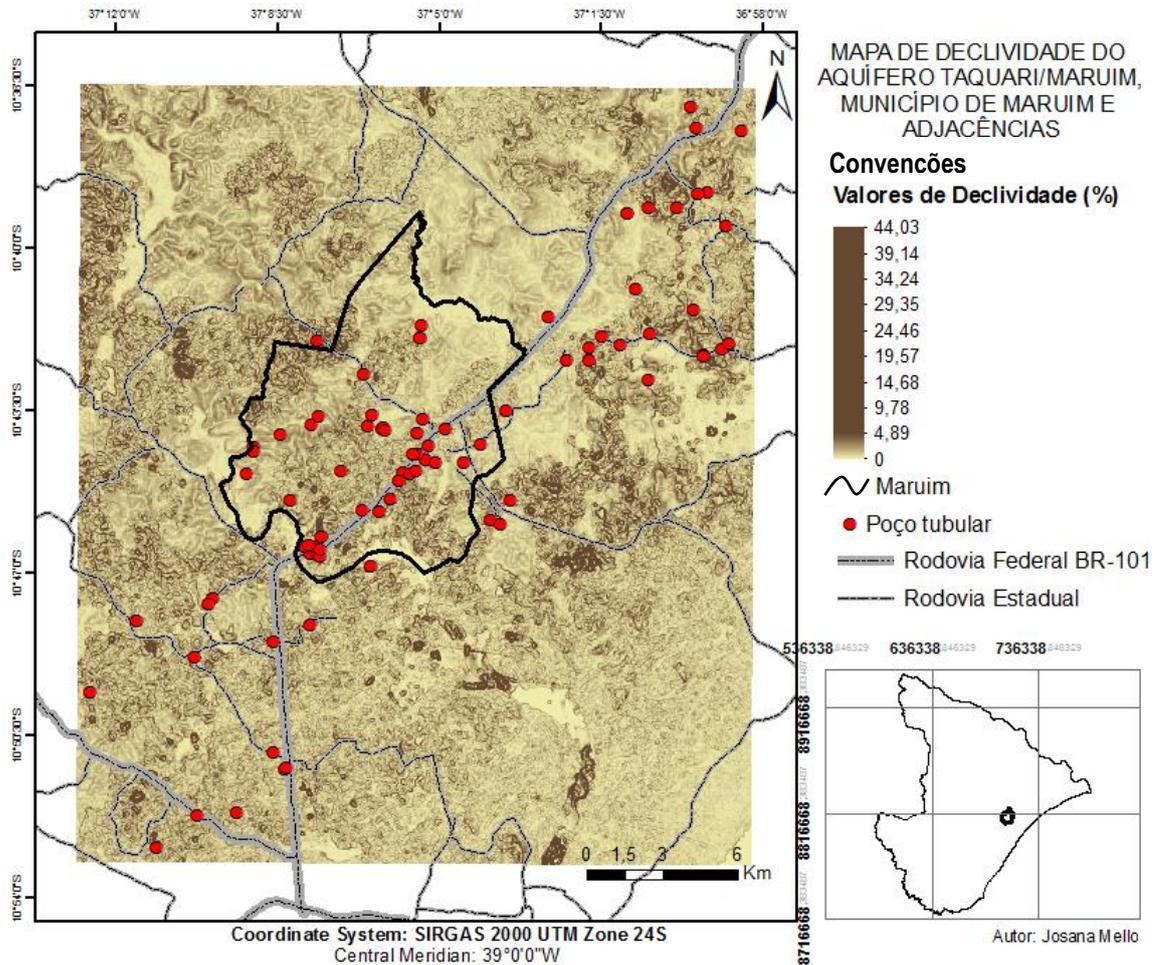
Quadro 7.6 – Índices para o parâmetro T do método DRASTIC

T - Topography (Slope)		
T - Topografia (declividade)		
Faixa (Percent Slope)	Faixa (Declividade %)	Classificação
0 - 2	0 - 2	10
2 - 6	2 - 6	9
6 - 12	6 - 12	5
12 - 18	12 - 18	3
> 18	> 18	1

Fonte: Adaptado de ALLER et al. (1987).

Foram encontrados valores de 0,09% a 5,18%. Estes valores foram enquadrados nos índice de classificação 9 e 10. Esses valores foram adquiridos a partir do mapa de conversão do modelo digital de elevação em mapa topográfico (Figura 7.6)

Figura 7.6 – Mapa topográfico do aquífero Taquari/Maruim



O Quadro 7.7 apresenta os índices estabelecidos por Aller et al. (1987) para o parâmetro impacto sobre a zona vadosa.

Quadro 7.7 – Índices para o parâmetro I do método DRASTIC

I - Impact of the Vadose Zone Media			
I - Tipo de Impacto sobre a zona vadosa			
Faixa (Inglês)	Faixa (Português)	Classificação	Classificação típica
Confining Layer	Camada de confinamento	1	1
Silt/Clay	Silte / argila	2 - 6	3
Shale	Xisto (Folhelho)	2 - 5	3
Limestone	Calcário	2 - 7	6
Sandstone	Arenito	4 - 8	6
Bedded Limestone, Sandstone, Shale	Camadas de calcário, arenito, xisto	4 - 8	6
Sand and Gravel with significant Silt and Clay	Areia e cascalho com silte e argila significativos	4 - 8	6
Metamorphic/Igneous	Metamórfica / Ígnea	2 - 8	4
Sand and Gravel	Areia e Cascalho	6 - 9	8
Basalt	Basalto	2 - 10	9
Karst Limestone	Calcário cárstico	8 - 10	10

Fonte: Adaptado de ALLER et al. (1987).

Foram encontradas abrangências de calcário, Areia e cascalho com silte e argila significativos, areia e cascalho. Enquadrados nos índice de classificação 9 e 10. Esses valores foram adquiridos, também, a partir do mapa pedológico, apresentado na Figura 7.5.

O Quadro 7.8 apresenta os índices estabelecidos por Aller et al. (1987) para o parâmetro condutividade hidráulica.

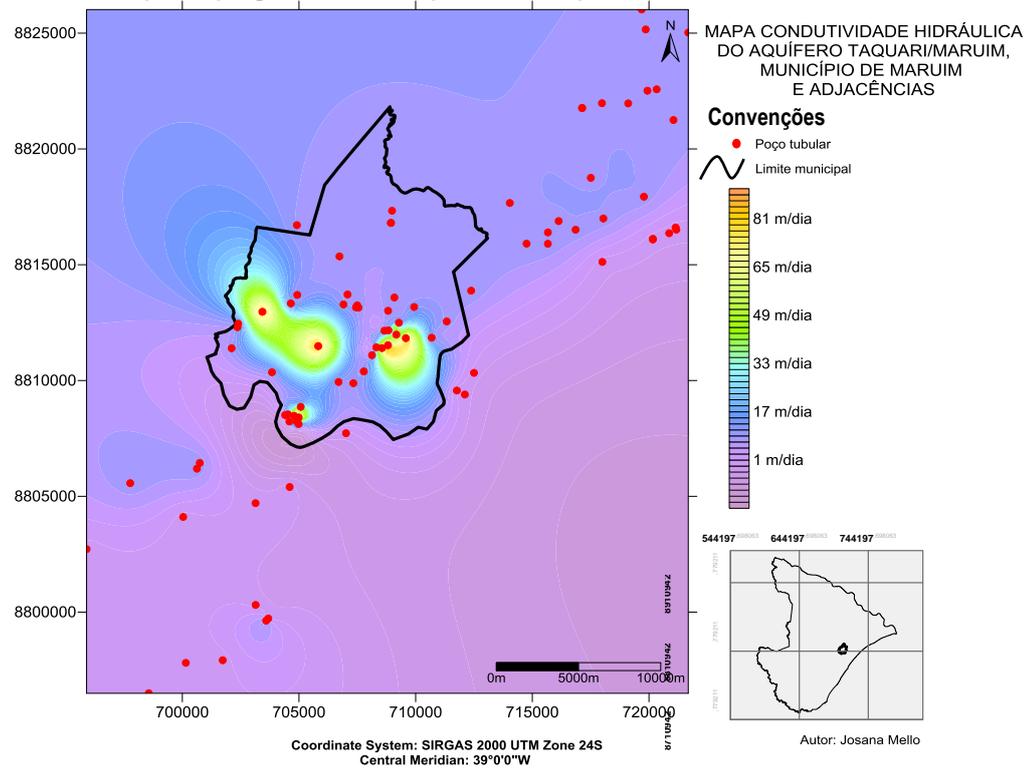
Quadro 7.8 – Índices para o parâmetro C do método DRASTIC

C - Conductivity (Hydraulic) of the Aquifer		
C - Condutividade do Aquífero (hidráulica)		
Faixa (GPD/ft²)	Faixa (m/dia)	Classificação
1 - 100	0,04 - 4,07	1
100 - 300	4,07 - 12,22	2
300 - 700	12,22 - 28,52	4
700 - 1000	28,52 - 40,75	6
1000 - 2000	40,75 - 81,49	8
> 2000	> 81,49	10

Fonte: Adaptado de ALLER et al. (1987).

Foram encontrados valores de 0,0864 m/dia a 86,4 m/dia compreendendo todos os índices de classificação. A partir desses valores foi gerado o mapa de condutividade hidráulica do aquífero (Figura 7.7).

Figura 7.7 – Mapa topográfico do aquífero Taquari/Maruim



7.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o cálculo do índice de vulnerabilidade pelo método DRASTIC foi feito o somatório do produto dos valores e respectivos pesos obtendo-se a(s) classe(s) de vulnerabilidade do aquífero, esses foram classificados de acordo com intervalos de significância próprios do método. Os dados encontrados foram inseridos na Planilha “TriVulnerabilidade”, na qual os cálculos para o método foram executados automaticamente.

Foi construído o Stacmap (Figura 7.8) com a sobreposição de todos os mapas para a geração do mapa de vulnerabilidade do aquífero Taquari/Maruim, no município de Maruim (Figura 7.9).

Figura 7.8 – Representação gráfica do calculo de vulnerabilidade do aquífero Taquari/Maruim para o método DRASTIC

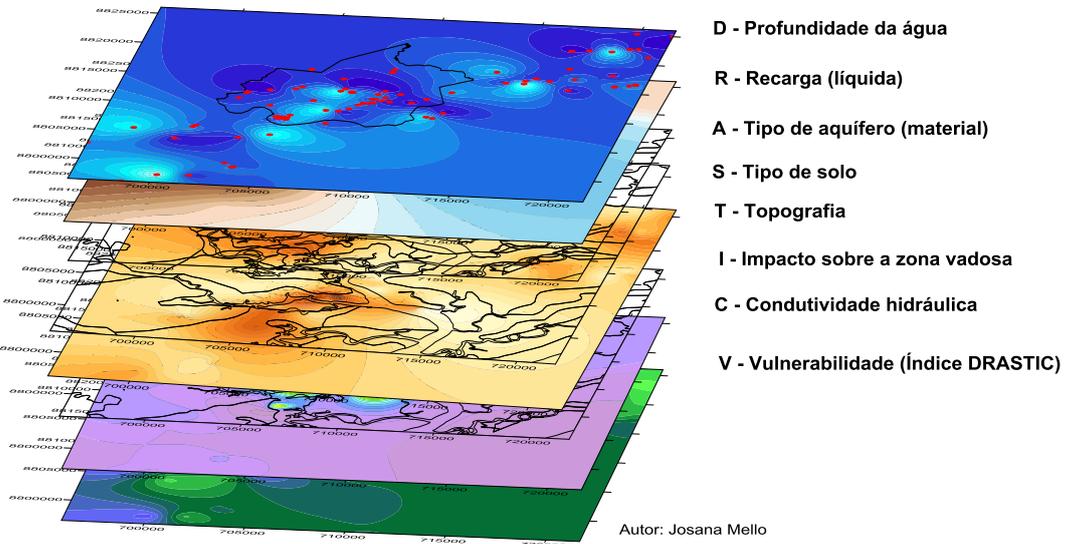
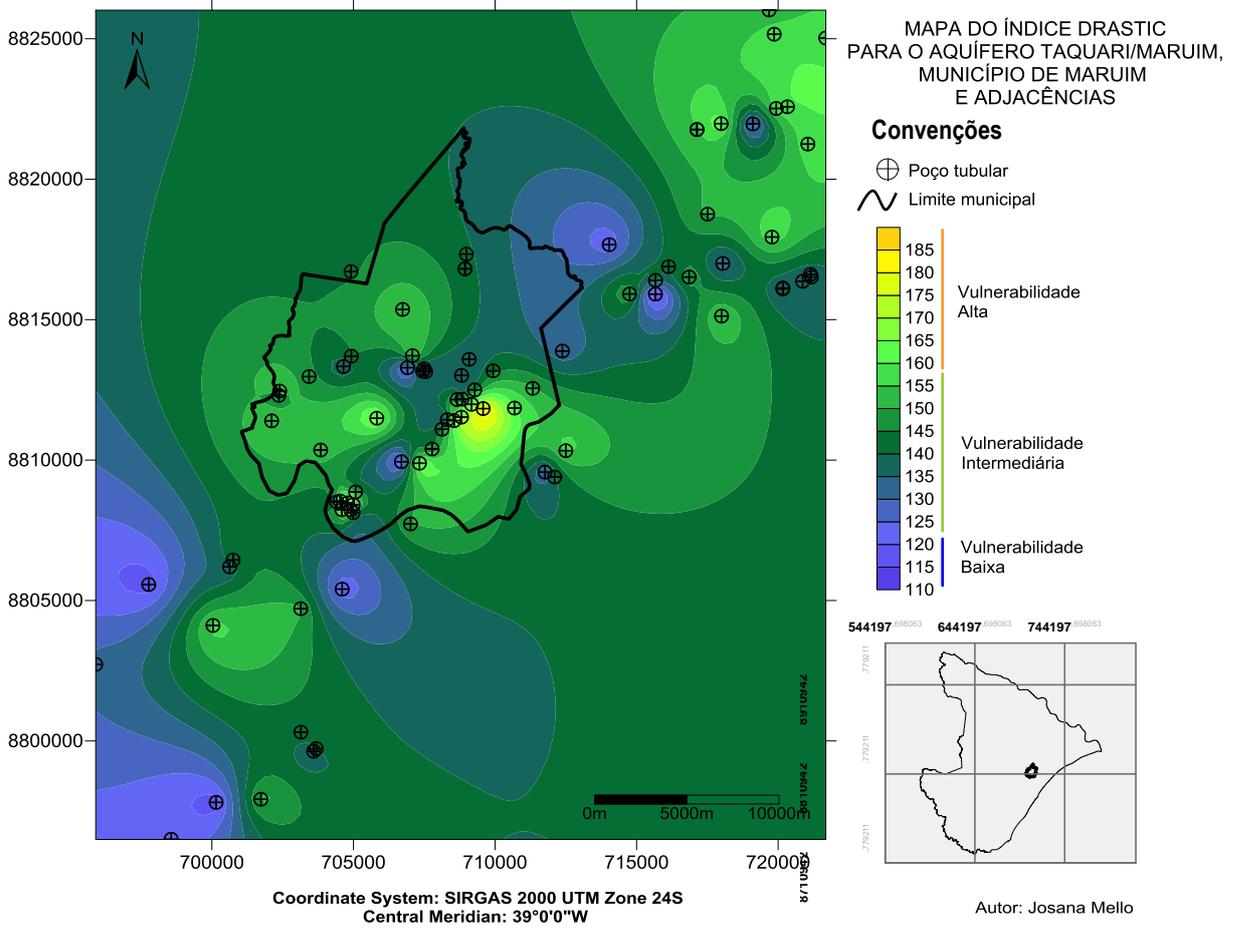


Figura 7.9 – Mapa da vulnerabilidade do aquífero Taquari/Maruim para o método DRASTIC



A partir do mapa representado na Figura 7.9, pode-se observar a tendência de vulnerabilidade de intermediária a alta, na porção sudeste do município de Maruim, ao sul da sede municipal, onde se encontram os principais poços de abastecimento da cidade. Essa tendência é devida principalmente aos índices D, R, A, T.

Foram realizados os cálculos de estatística descritiva para o método DRASTIC (Tabela 7.1).

Tabela 7.1 – Estatística descritiva para a aplicação do método DRASTIC

Média	146,29
Mediana	145,00
Modo	135,00
Desvio padrão	15,46
Variância da amostra	239,01
Curtose	0,07
Mínimo	111,00
Máximo	187,00
Soma	12142,00
Contagem	83,00

Da estatística descritiva é possível avaliar uma tendência à constância dos valores apresentados e uma baixa variabilidade dos valores, observando que os valores para o índice DRASTIC variam de 23 a 230. É possível afirmar que está é uma das consequências de usar parâmetros qualitativos, como a geologia, tipo de solo e tipo de aquífero, o que pode tornar o índice de vulnerabilidade constante numa área com identidades litológicas semelhantes.

Para tornar o trabalho mais abrangente já que o município possui várias áreas destinadas a agricultura e conseqüentemente o uso de pesticidas foi empregado o método DRASTICP, também, desenvolvido por Aller et al. (1987).

O DRASTIC Pesticida (DRASTICP) é designado, segundo ALLER et al. (1987), em casos nos quais há atividade de aplicação de pesticida na área. Consiste em um caso especial do Índice DRASTIC.

A diferença entre ambos está na diferença pesos atribuídos para cada um dos 7 fatores do DRASTIC (Quadro 7.9).

A sua aplicação é importante para avaliar a contaminação do aquífero por pesticidas em áreas agrícolas onde estes podem vir a ser utilizados.

Quadro 7.9 – Índice de ponderação (w) do método DRASTICP

Parâmetros	DRASTIC (pesos)
Dw - Profundidade da água	5
Rw - Recarga (líquida)	4
Aw - Tipo de aquífero	3
Sw - Tipo de Solo	5
Tw - Topografia (declividade)	3
Iw - Tipo de Impacto sobre a zona vadosa	4
Cw - Condutividade do Aquífero (hidráulica)	2

Fonte: Adaptado de ALLER et al. (1987).

Da mesma forma que o DRASTIC, Foi construído o Stacmap (Figura 7.10) com a sobreposição de todos os mapas para a geração do mapa de vulnerabilidade do aquífero Taquari/Maruim, utilizando o DRASTICP, no município de Maruim (Figura 7.11).

Figura 7.10 – Representação gráfica do calculo de vulnerabilidade do aquífero Taquari/Maruim para o método DRASTICP

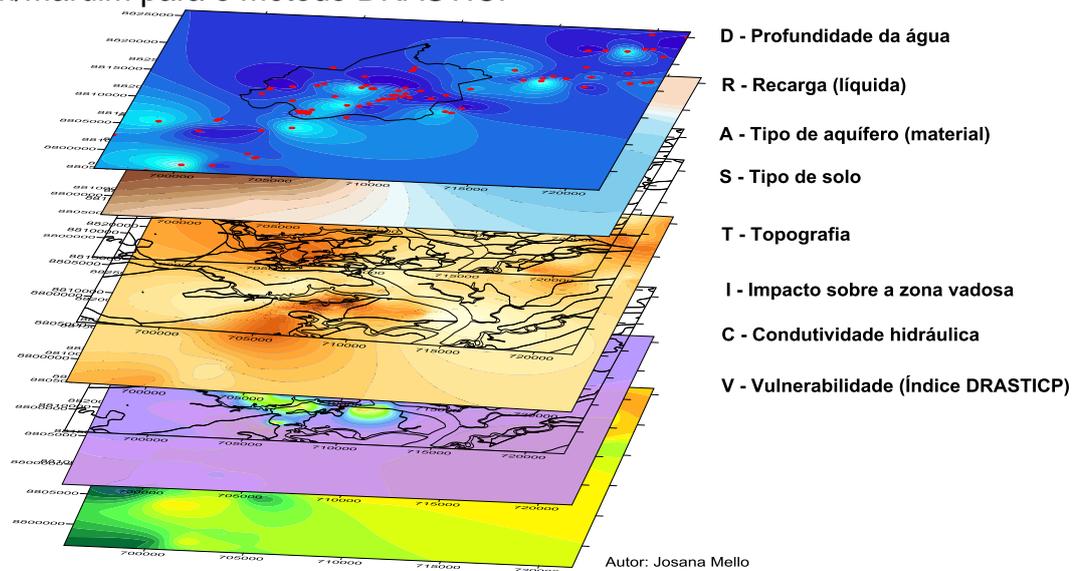
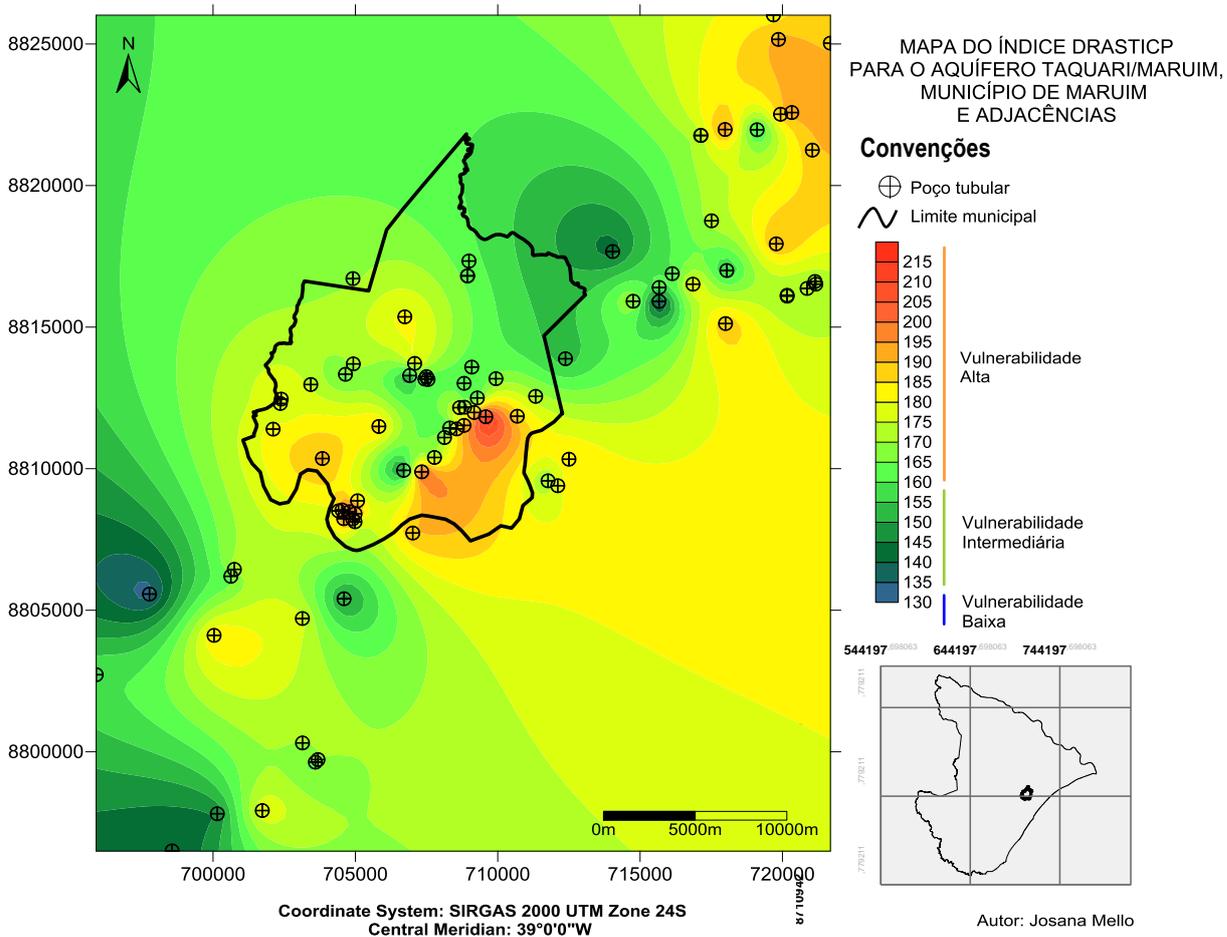


Figura 7.11 – Mapa da vulnerabilidade do aquífero Taquari/Maruim para o método DRASTIC



O mapa representado na Figura 7.11 mostra uma enorme tendência de vulnerabilidade alta, intercaladas com algumas zonas de vulnerabilidade intermediária, para praticamente toda a região de abrangência do município de Maruim. Observando que se trata de uma região com grandes áreas agricultáveis essa vulnerabilidade alta pode tornar-se um risco alto para o aquífero da região quando da utilização de pesticidas.

A Tabela 7.2 mostra os cálculos de estatística descritiva para o método DRASTICP.

Tabela 7.2 – Estatística descritiva para a aplicação do método DRASTICP

Média	174,01
Mediana	172,00
Modo	172,00
Desvio padrão	17,41
Variância da amostra	303,01
Curtose	0,26
Mínimo	132,00
Máximo	218,00
Soma	14443,00
Contagem	83,00

A variação na análise estatística descritiva está presente, comparado ao método DRASTIC. Tal fato é devido a alteração dos índices de ponderação para o DRASTICP. Entretanto as afirmações feitas acerca da análise estatística para o método DRASTIC são válidas para o DRASTICP.

Por se tratar de métodos similares, no qual um é derivado do outro, foi apresentada uma excelente correlação entre estes (Tabela 7.3).

Tabela 7.3: Correlação dos métodos DRASTIC e DRASTICP

DRASTIC X DRASTICP	
Correlação	0,93874

7.4 CONCLUSÕES

O uso da metodologia DRASTIC e os mapas gerados foram importantes para o desenvolvimento desse trabalho. A facilidade de acesso aos dados necessários para o cálculo do índice DRASTIC permitiu agilidade na análise dos resultados e foi imprescindível para a construção do cenário de susceptibilidade do aquífero à contaminação. Da mesma forma, facilitou a visualização dos fatores que contribuíram para o resultado final dos índices de vulnerabilidade. Foram indicadas duas classes principais de vulnerabilidade, com a utilização desse método: intermediária e alta.

Fato que leva à análise de que quaisquer alterações nos principais parâmetros, que tiveram maiores contribuições para o índice final, pode alterar para melhor ou pior a situação do aquífero em relação à susceptibilidade a contaminação.

A utilidade gerada por esse estudo para a tomada de decisões, seja pela sociedade ou seja pelos órgãos públicos responsáveis é de grande importância, pois auxiliam na gestão adequada em relação ao uso e ocupação do solo tendo em vista a conservação da qualidade da água do aquífero e a utilização de medidas mais restritivas em relação às atividades que podem ser desenvolvidas na área.

Através da análise do índice de vulnerabilidade a partir do método DRASTICP é necessário que haja restrições de atividades agrícolas e industriais nos setores de confluência dos fluxos subterrâneos, uma vez que estes locais se apresentam vulneráveis à contaminação dos recursos hídricos subterrâneos.

7.5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de auxílio através de bolsas de estudo a FAPESB pela concessão de auxílio através de diárias de campo.

7.6 REFERÊNCIAS

ALLER, L.; BENNET, T.; LEHR, J.H.; PETTY, R.J. **DRASTIC**: a standardized system for evaluating groundwater pollution using hydrological settings. Ada, USA: National Water Well Association, 1987.

AUGE, M. Vulnerabilidade de aquíferos. **Revista Latino-Americana de Hidrogeologia**, Curitiba, n.4, p. 85-103, 2004.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. **Determinación del riesgo da contaminación de águas subterrâneas**: uma metodologia baseada em dados existentes. Lima: CEPIS, 1991.

FOSTER, S. S. D. et al. **Proteção da qualidade da água subterrânea**: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. São Paulo: SERVIMAR, 2006.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. **Groundwater pollution risk assessment**: a methodology using available data. Lima: WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual, 1988.

GOLDEN SOFTWARE, Inc. SURFER 10.3.715; Colorado, USA, 2011.

JACOMINE, P.K.T.; MONTENEGRO, J.O.; RIBEIRO, M.R.; FORMIGA, R.A. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do estado de Sergipe**. Recife, Embrapa /Sudene, 1975. 506p. (Boletim Técnico, 36; Série Recursos de Solos, 6)

SERGIPE (Estado). Superintendência de Recursos Hídricos. **Atlas digital sobre os recursos hídricos de Sergipe**. Aracaju: SEPLANTEC-SRH, 2011. CD-ROM.

YASSUDA, E. R.; NOGAMI, P. S.; MONTRIGAUD, R. de. **Poços profundos: Manual Técnico**. São Paulo: Faculdade de Higiene e Saúde Pública, 1965.

8 ESTUDO DA VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO TAQUARI/MARUIM NO MUNICÍPIO DE MARUIM E ADJACÊNCIAS, SERGIPE: APLICAÇÃO DO MÉTODO MAIA

Resumo: O método desenvolvido por Maia e Cruz (2010) denominado método MAIA (Método de Avaliação da Vulnerabilidade Intrínseca de Aquíferos) ancorou em uma formulação matemática simples, na qual cada termo da equação está direta ou inversamente relacionado com a vulnerabilidade. É um método novo que utiliza variáveis essencialmente medidas e relacionadas aos efeitos de proteção, acessibilidade ou atenuação de contaminantes. Apresenta uma relação matemática com a vulnerabilidade, direta ou inversa. Este trabalho tem como objetivo a aplicação do método no aquífero Taquari/Maruim, município de Maruim e áreas adjacentes. Os resultados apresentaram índice de vulnerabilidade de baixo a médio com algumas tendências de vulnerabilidade alta a extrema na zona leste do município.

Palavras-chave: vulnerabilidade, aquífero, método MAIA.

8.1 INTRODUÇÃO

Nas últimas três décadas tem-se verificado um crescente desenvolvimento de modelos e técnicas de mapeamento de vulnerabilidade à poluição de aquíferos, como ferramenta de proteção (HIRATA, 2001). Dentre os métodos mais utilizados para a avaliação da vulnerabilidade destacam-se as metodologias clássicas: GOD (G: *groundwater occurrence*, O: *overall litology of aquifer*, D: *depth of water*) e DRASTIC (D: *Depth to Groundwater*, R: *Recharge*, A: *Aquifer*, S: *Soil media*, T: *Topography*).

De acordo com Maia e Cruz (2010) e Foster et al. (2006), o método DRASTIC e o GOD são considerados sistemas paramétricos por utilizarem parâmetros selecionados como indicadores de vulnerabilidade, produzindo um índice relativo ou absoluto.

O método desenvolvido por Maia e Cruz (2010) denominado método MAIA (Método de Avaliação da Vulnerabilidade Intrínseca de Aquíferos) apresenta características de um modelo análogo, paramétrico e quantitativo utilizando uma expressão matemática constituída por uma seleção de parâmetros indicadores de vulnerabilidade que estão ancorados em uma formulação matemática simples, na qual cada termo da equação está direta ou inversamente relacionado com a vulnerabilidade.

A partir da decomposição dos métodos tradicionais e avaliação das variáveis de cada um foram selecionadas aquelas consideradas mais adequadas para compor a equação do método, ponderando: a forma de obtenção; variáveis essencialmente medidas; efeitos de proteção, acessibilidade ou atenuação de contaminantes; relação matemática com a vulnerabilidade, direta ou inversa e natureza da variável.

Foram, então, definidas as relações entre as variáveis escolhidas com a vulnerabilidade: profundidade da água (PA) – relação inversa, espessura do solo (ES) – relação inversa, declividade do terreno (DT) – relação inversa, capacidade específica (CE) – relação direta, transmissividade do aquífero (TA) – relação direta, recarga potencial (RE) – relação direta e densidade de fraturas (DF) – relação direta. (MAIA; CRUZ, 2011)

De acordo com Maia e Cruz (2010), para o mapeamento da vulnerabilidade regional deve-se utilizar a equação 8.1:

$$V = \left[\left(\frac{1}{PA} + \frac{1}{ES} + \frac{1}{DT} \right) + CE + RE \right] \quad (\text{Eq. 8.1})$$

Em ambientes aquíferos fissurais e cársticos com dados de DF, se utiliza a equação 8.2:

$$V = \left[\left(\frac{1}{PA} + \frac{1}{ES} + \frac{1}{DT} \right) + CE + RE + DF \right] \quad (\text{Eq. 8.2})$$

Em ambientes aquíferos granulares que dispõe de dados confiáveis de TA deve ser aplicada equação 8.3:

$$V = \left[\left(\frac{1}{PA} + \frac{1}{ES} + \frac{1}{DT} \right) + CE + RE + TA \right] \quad (\text{Eq. 8.3})$$

Sendo um método versátil, este não limita a inserção de outras variáveis, desde que estas tenham uma relação matemática com a vulnerabilidade. Entretanto, é imprescindível notar que apesar de considerar novas variáveis a estratégia adotada pelo autor na pesquisa foi a de usar somente parâmetros mensuráveis (MAIA; CRUZ, 2010).

Em muitos casos, a falta de dados confiáveis, para uma avaliação mais eficaz e precisa, limita a equação a cinco variáveis relacionadas à vulnerabilidade ou a proteção dos aquíferos. Maia (2011) considera razoável a contemplação de cinco ou seis variáveis. Dessa forma, nos casos de indisponibilidade da TA e de DF, para aquíferos mistos pode ser utilizada a equação 8.1.

Após a obtenção do índice de vulnerabilidade (V), esse valor é comparado na tabela de classificação do método, na qual, está definida em relação aos seguintes limites: Baixa $\leq 7,5$; $7,5 < Média \leq 12,5$; $12,5 < Alta \leq 17,5$; $17,5 < Extrema < 23,0$.

Para eliminar os fatores de ponderação, utilizado nos métodos tradicionais e para corrigir os impactos distintos produzidos pelas diferentes amplitudes nos valores das variáveis, os valores das variáveis foram colocadas em uma escala equivalente, considerando o menor valor 1 e o maior 10, todas as escalas ficam proporcionais e com a mesma amplitude. Segundo MAIA (2011), esse artifício permite a proposição de um método quantitativo e universal para o cálculo da vulnerabilidade dos aquíferos.

Maia (2011) simulou a modelagem da vulnerabilidade demonstrando a permissividade de avaliar, por meio da análise das relações entre os fatores de proteção das variáveis, constatando que os índices obtidos na modelagem estão coerentes.

Considerando x os valores das variáveis que apresentam uma relação direta com a vulnerabilidade: CE, RE, TA ou DF e, $y=1/x$, os valores das variáveis que apresentam uma relação inversa com a vulnerabilidade: PA, ES e DT (Tabela 8.1).

Tabela 8.1 – Variáveis com relação direta (x) e variáveis com relação inversa (y)

x	1/x
1	1,00
2	0,50
3	0,33
4	0,25
5	0,20
6	0,16
7	0,14
8	0,12
9	0,11
10	0,10

Fonte: Adaptado de MAIA (2011)

Os valores dos índices foram aplicados na equação 8.3. A vulnerabilidade foi modelada e os índices de vulnerabilidade calculados (Tabela 8.2), quando a equação possui seis parâmetros, foram classificados:

Baixa $\leq 10,5$; $10,5 < \text{Média} \leq 18,0$; $18,0 < \text{Alta} \leq 25,5$; Extrema $> 25,5$.

Tabela 8.2 – Índices de vulnerabilidade obtidos na simulação

x	1/x	Índice de vulnerabilidade
1	1,00	6,00
2	0,50	7,50
3	0,33	9,99
4	0,25	12,75
5	0,20	15,60
6	0,16	18,48
7	0,14	21,42
8	0,12	24,36
9	0,11	27,33
10	0,10	30,30

Fonte: Adaptado de MAIA (2011)

Maia e Cruz (2011) consideram o método MAIA simples e consistente, devido a obtenção dos termos utilizados ser a partir de medidas diretas de atributos do aquífero relacionados à vulnerabilidade. Permitindo a comparação da vulnerabilidade de toda a diversidade de aquíferos de uma mesma região ou de regiões distintas, como resultado de sua aplicação, demonstrando com isso o caráter universal do método.

A maioria dos métodos desenvolvidos para avaliação da vulnerabilidade intrínseca de aquíferos foi desenvolvida para aquíferos granulares. O MAIA pode ser aplicado em todos os tipos de aquíferos.

8.2 MATERIAIS E MÉTODOS

O aquífero Taquari/Maruim, no município de Maruim, área escolhida para aplicação deste método, está localizado na mesorregião região leste do Estado de Sergipe, na microrregião do Baixo Cotinguiba. O acesso a partir de Aracaju é feito pelas rodovias pavimentadas BR-235 e BR-101. A região apresenta carência de dados e de estudos referentes ao aquífero. Tal estudo é de extrema importância pois, a população depende diretamente deste recurso para obtenção de água com qualidade necessária para o consumo e outras atividades.

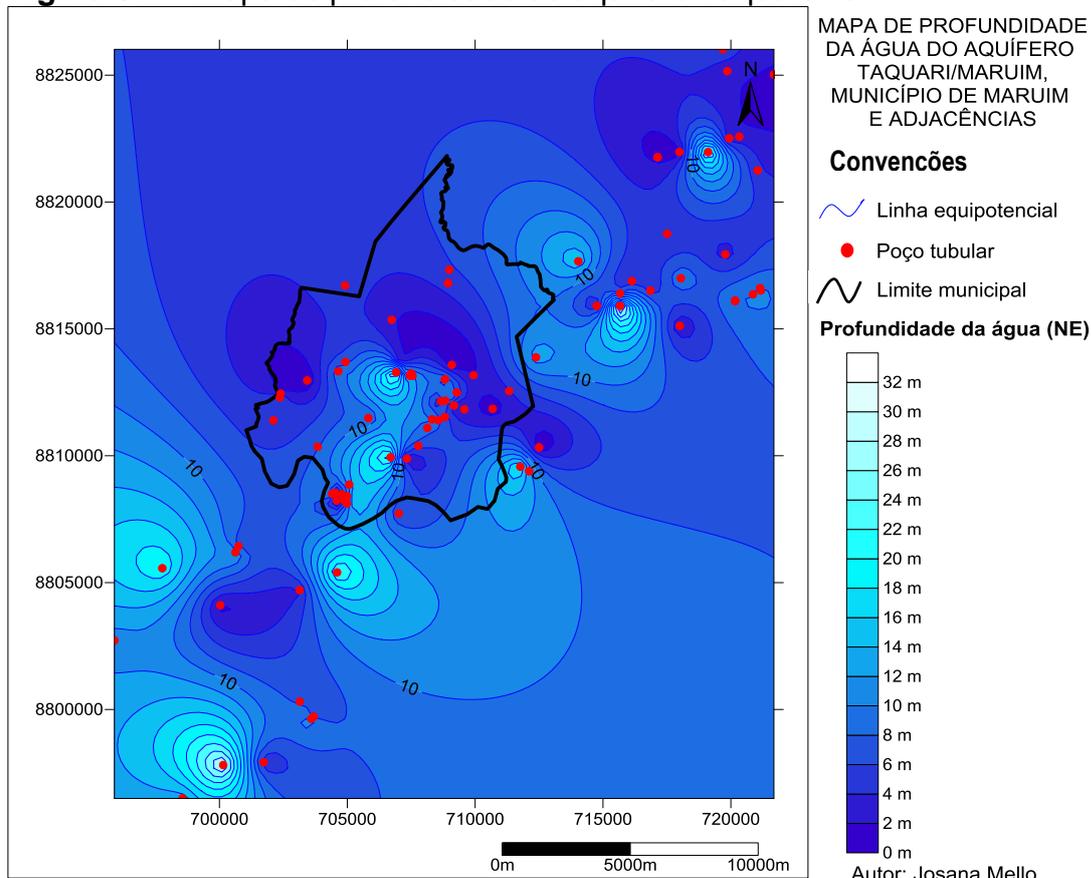
Para o método MAIA foram medidos, levantados e/ou calculado os seguintes dados: a profundidade da água; a espessura do solo que foi obtida através dos perfis de poços, disponibilizados por CPRM (2011), online; a declividade do terreno; capacidade específica e recarga potencial.

Para a confecção de todos os mapas de vulnerabilidade foi utilizada interpolações por *krigagem* universal, utilizando-se os softwares ArcGis 10.1 e SURFER 10.3.715 (GOLDEN SOFTWARE, 2011).

A profundidade da água ou nível estático é o nível no qual a água permanece no poço quando não está sendo extraída do aquífero, quer por bombeamento ou por fluxo livre. Os níveis dos poços, em uma dada região, indicam o comportamento do lençol freático quanto à direção geral de seu fluxo (Leinz & Leonardos, 1970).

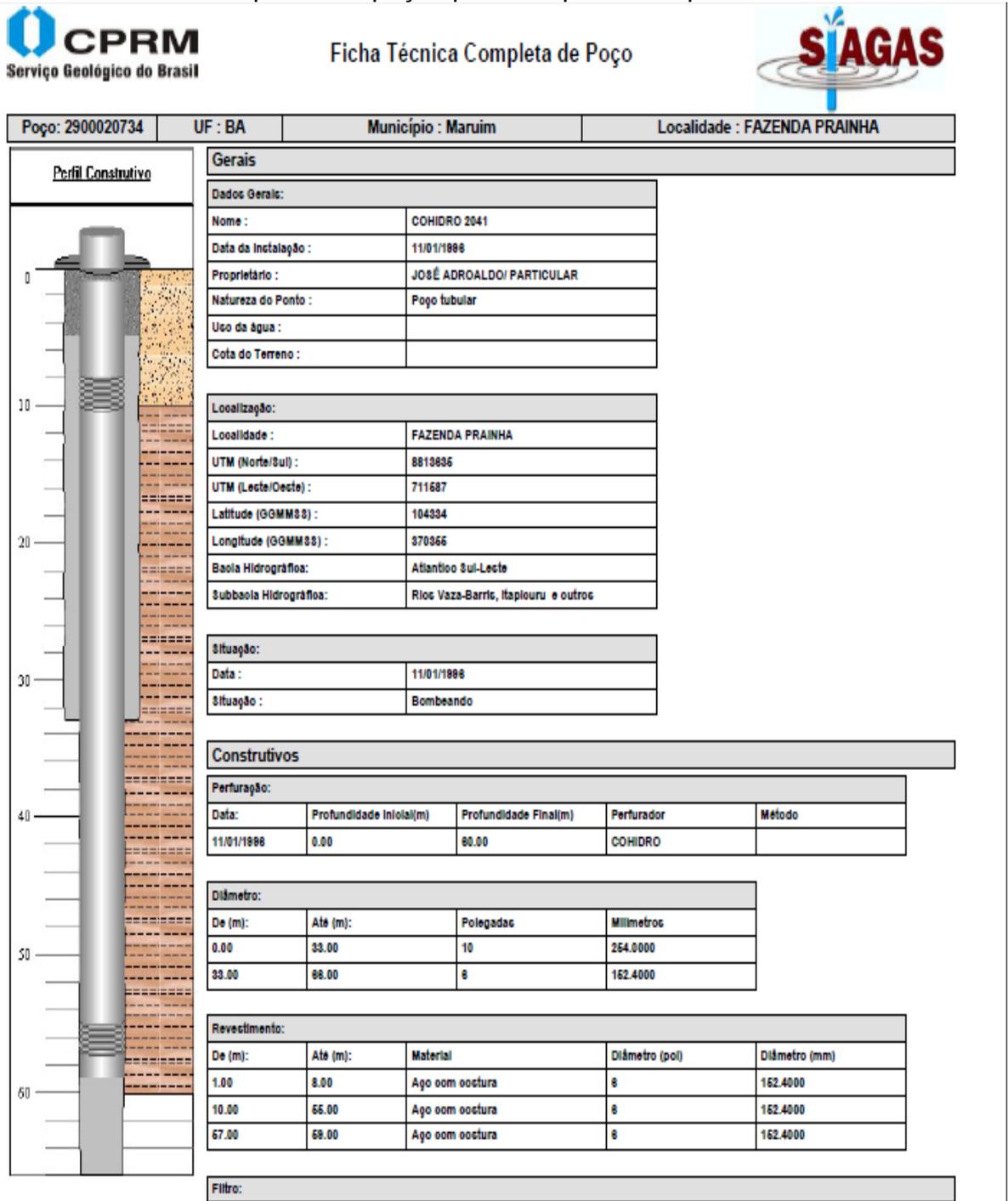
Para essa variável foram encontrados valores de 0,20 m a 31m. A partir desses valores foi gerado o mapa de profundidade da água do aquífero (Figura 8.1)

Figura 8.1 – Mapa de profundidade do aquífero Taquari/Maruim



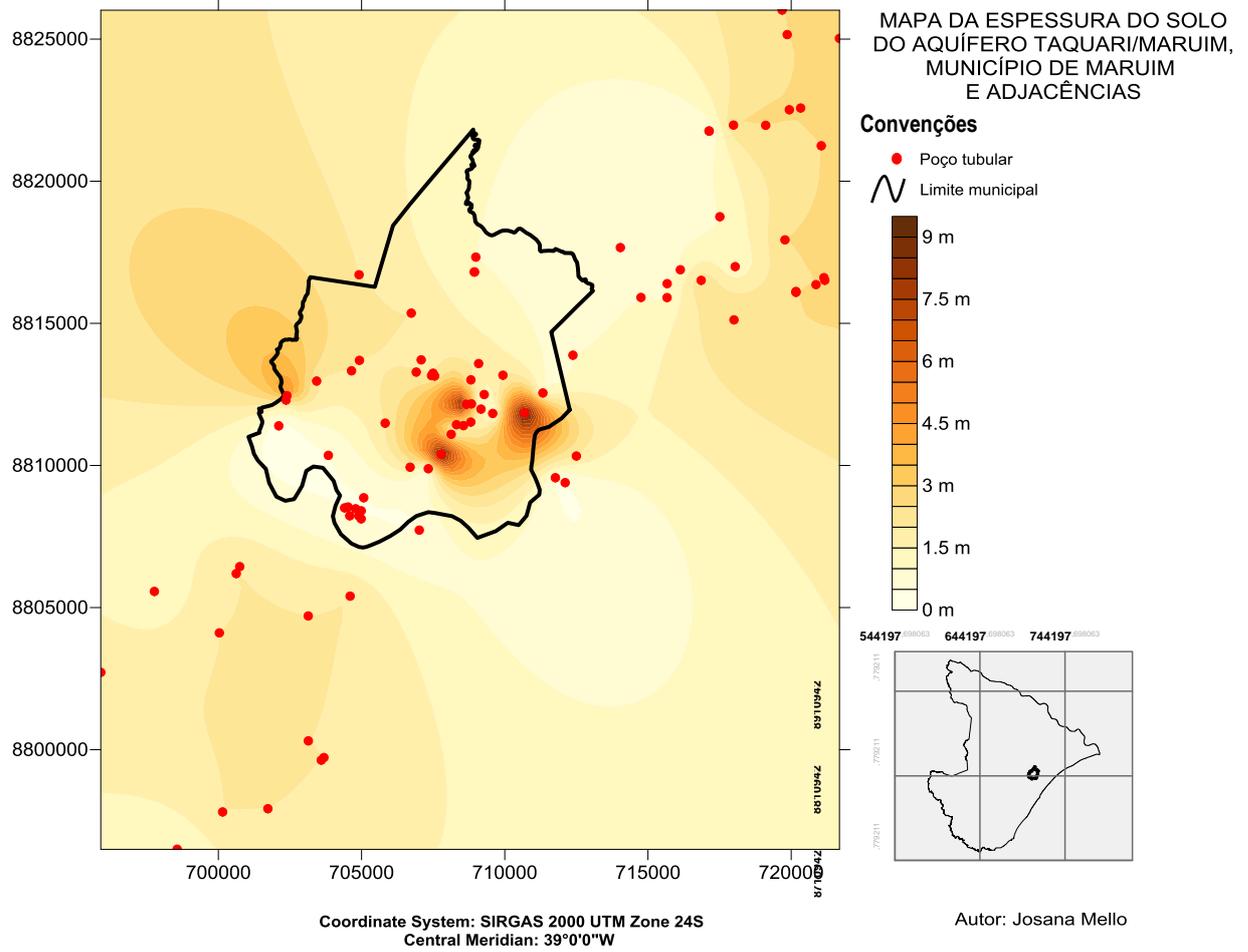
Ao observar e interpretar os perfis de poços existentes no SIAGAS (Figura 8.2) foram encontrados valores de 0,2 m a 10,0m, com uma mediana de 2,0m. A partir desses valores foi gerado o mapa de recarga da água do aquífero (Figura 8.3).

Figura 8.2 – Modelo do perfil dos poços para o aquífero Taquari/Maruim



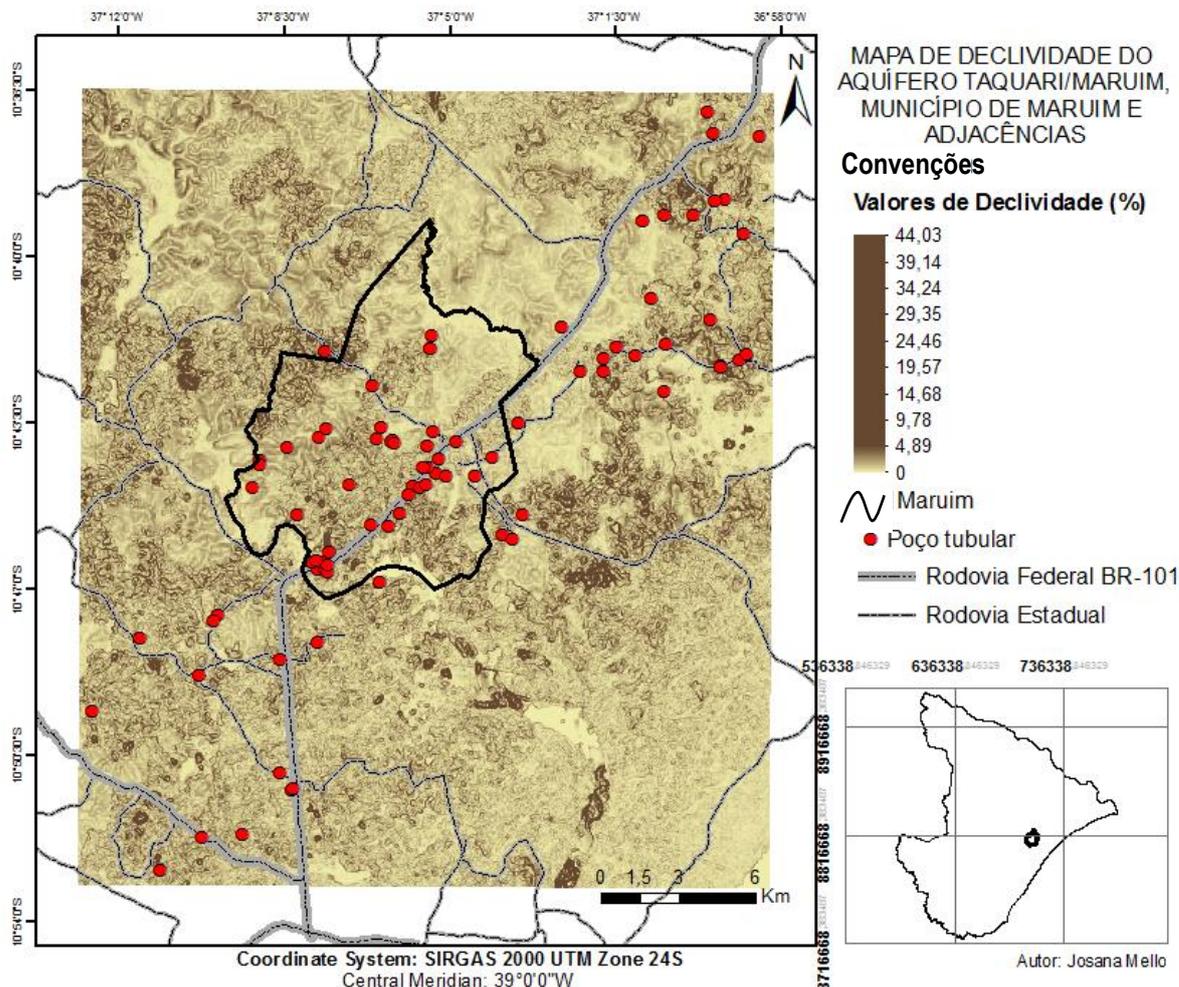
Fonte: CPRM (2011)

Figura 8.3 – Mapa de isovalores para a espessura do solo para o aquífero Taquari/Maruim



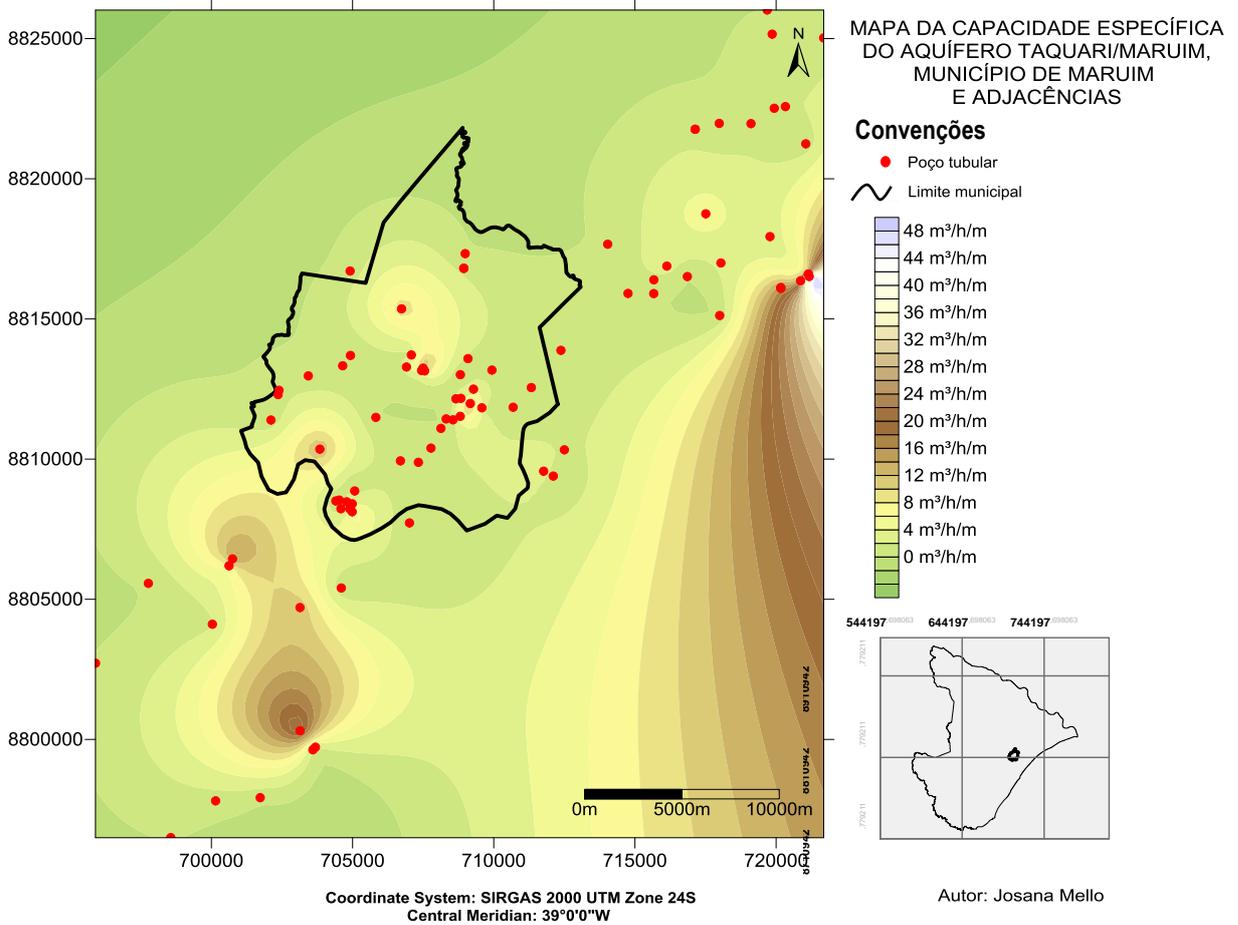
Foram encontrados valores de 0,09% a 5,18%. Esses valores foram adquiridos a partir do mapa de conversão do modelo digital de elevação em mapa topográfico (Figura 8.4).

Figura 8.4 – Mapa topográfico do aquífero Taquari/Marum



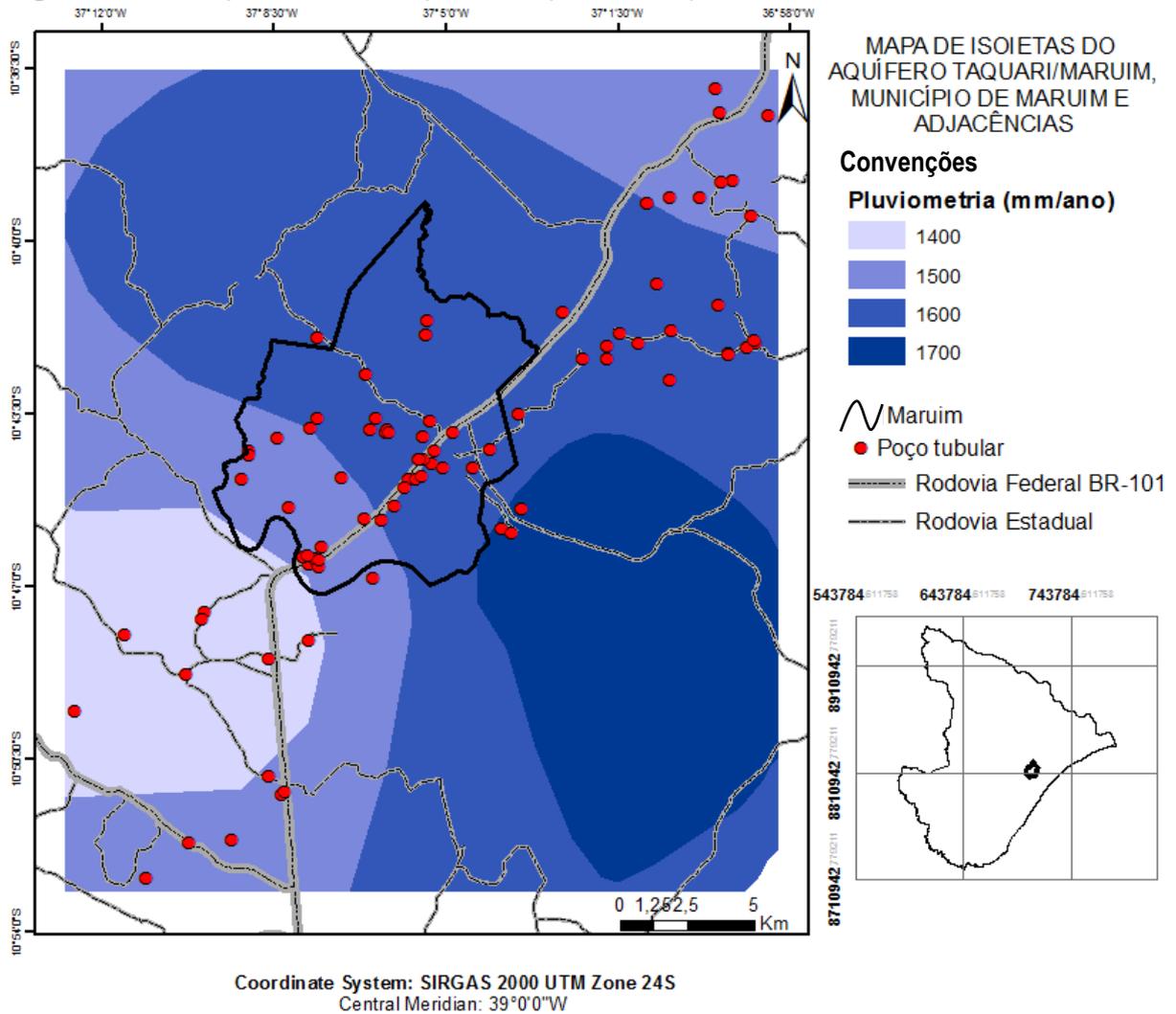
Com relação à Capacidade Específica, a análise do mapa de distribuição pontual dos valores deste parâmetro (Figura 8.5) permite verificar que a faixa de valores compreendida entre 0,0056 e 56,57 m³/h/m é predominante em área. O valor médio encontrado para este parâmetro foi de 1,52 m³/h/m. A mediana, de 1,52 m³/h/m, mostra a predominância de baixos valores de Capacidade Específica.

Figura 8.5 – Mapa de isovalores da capacidade específica para o aquífero Taquari/Maruim



Em relação à recarga potencial foram considerados os valores de precipitação média anual, que variaram de 1400 mm/ano a 1700 mm/ano. Os dados foram obtidos pontualmente em cada poço cadastrado através do software de geoprocessamento.

Figura 8.6 – Mapa de isoietas para o aquífero Taquari/Maruim



Fonte: Adaptado de SERGIPE, 2011.

8.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o cálculo do índice de vulnerabilidade pelo método MAIA foi utilizada a Equação 8.1. Os índices de vulnerabilidade do aquífero foram classificados de acordo com as especificações e significância próprios do método. Os dados encontrados foram inseridos na Planilha “TriVulnerabilidade”, na qual os cálculos para o método foram executados automaticamente. Foram construídas tabelas de output dos dados e os modelos de linearização dos valores, com suas respectivas equações da reta.

Foi construído o Stacmap (Figura 8.7) com a sobreposição de todos os mapas para a geração do mapa de vulnerabilidade do aquífero Taquari/Maruim, no município de Maruim (Figura 8.8).

Figura 8.7: Representação gráfica do cálculo de vulnerabilidade do aquífero Taquari/Maruim para o método MAIA

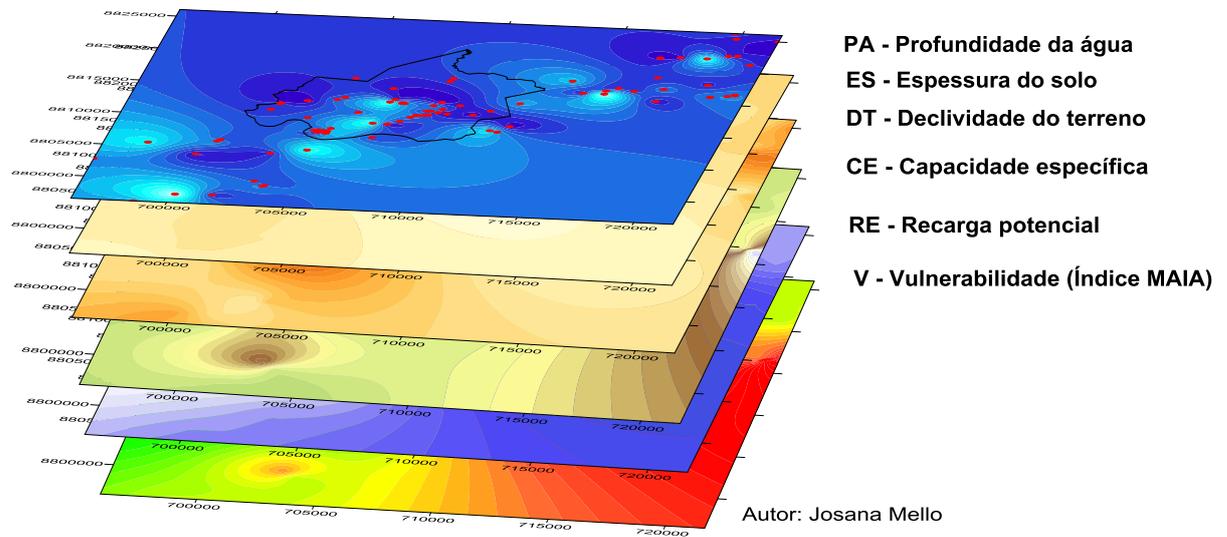
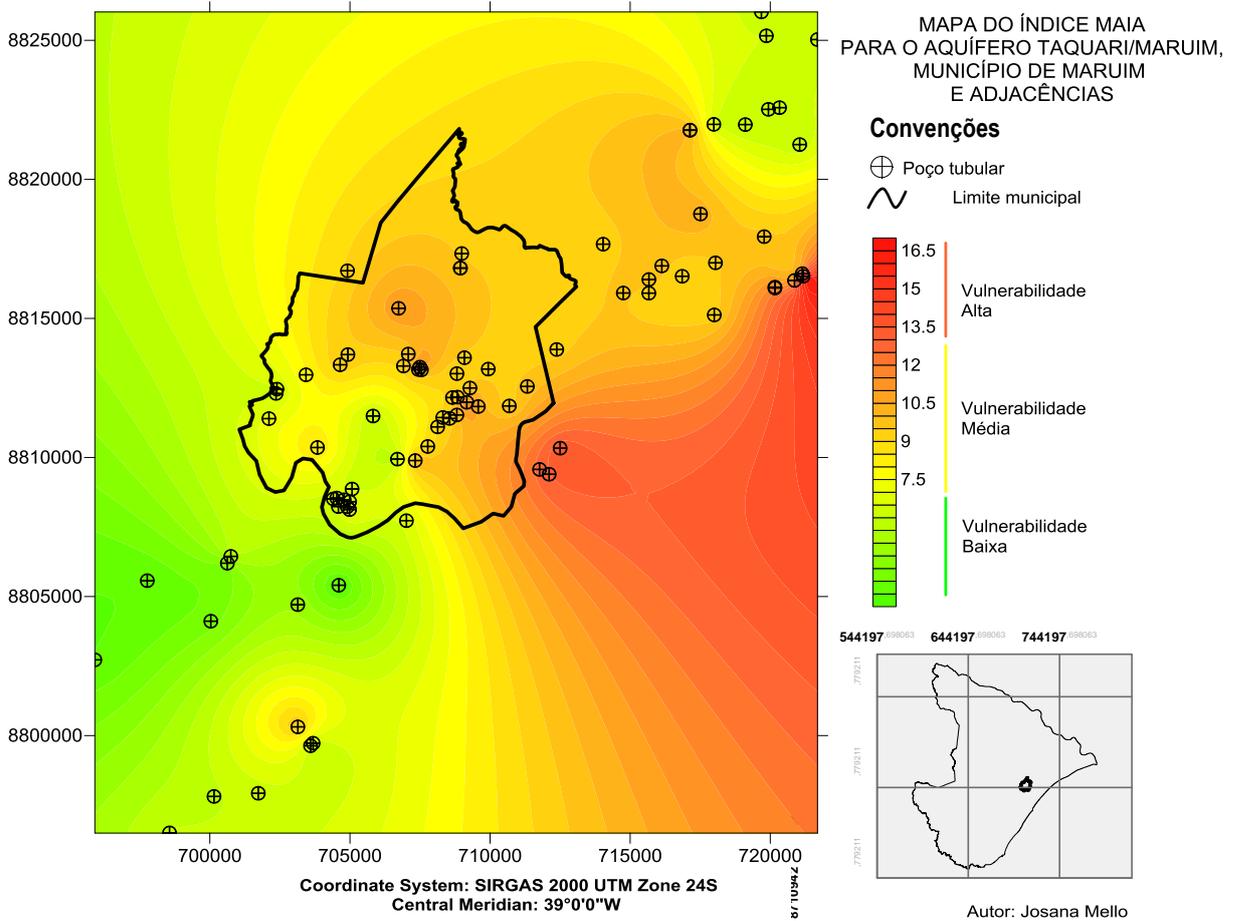


Figura 8.8 – Mapa]da vulnerabilidade do aquífero Taquari/Maruim para o método MAIA



A partir do mapa representado na Figura 8.8, pode-se observar a tendência de vulnerabilidade de baixa a média com regiões com tendência de vulnerabilidade alta. Por apresentar uma melhor representação, além da não utilização de variáveis estimadas, somente medidas, o método MAIA apresenta uma melhor representatividade da situação real da vulnerabilidade do município de Maruim e adjacências.

O mapa com Índice de vulnerabilidade MAIA apresenta valores baixos no setor oeste do município, valores médios no setor central até atingir os valores mais altos no setor sudeste, variando de 2,71 a 17,83.

Os índices de vulnerabilidade calculados estão coerentes com a distribuição da capacidade específica e, principalmente, com a recarga potencial (Figura 8.6).

Foram realizados os cálculos de estatística descritiva para o método GOD que confirmam os valores apresentados e dá mais contribuições acerca do comportamento numérico do índice de vulnerabilidade (Tabela 8.3).

Tabela 8.3: Estatística descritiva para a aplicação do método MAIA

Média	8,46
Mediana	9,11
Modo	-
Desvio padrão	2,56
Variância da amostra	6,56
Curtose	1,29
Mínimo	2,71
Máximo	17,83
Soma	702,17
Contagem	83,00

Da estatística descritiva é possível avaliar a falta de tendência de valores constantes, seja pela modelagem dos dados, através da normalização dos valores, ou ainda pela falta de valores suficientemente repetitivos já que os valores apresentados são medidos, o que torna esse tendenciamento, praticamente, inexistente. É possível afirmar que está é uma das consequências de usar parâmetros quantitativos, reduz a continuidade de índices de vulnerabilidade iguais para um mesmo ponto, em comparação com estudos anteriores.

8.4 CONCLUSÕES

Em comparação a outros métodos previamente utilizados na área, o método MAIA e os mapas gerados foram precisos, em nível pontual, e importantes para o desenvolvimento desse trabalho.

Para sistemas aquíferos com pouca variação litológica a ferramenta foi empregada sem restrições, estudos de caso em escalas maiores, e com maior controle das características hidrogeológicas devem apresentar resultados satisfatórios.

A análise dos resultados foi útil para a construção do cenário de susceptibilidade do aquífero à contaminação. De forma que facilitou a visualização dos fatores que contribuíram para o resultado final dos índices de vulnerabilidade. Foram identificadas três classes principais de vulnerabilidade, com a utilização desse método: baixa, média e alta. Confirmando o melhor entendimento do que está acontecendo na área pontualmente.

Sendo parâmetros, essencialmente medidos e que podem variar sazonalmente ou devido a intervenções antrópicas, as alterações nos parâmetros pode alterar para melhor ou pior a situação do aquífero em relação à susceptibilidade a contaminação, no índice final.

Esse estudo tem sua importância ressaltada como ferramenta indispensável na tomada de decisões pelos gestores e responsáveis pelo aquífero, da mesma forma, pelos usuários diretos da água pois o uso e ocupação do solo destinados a esta área contribuem significativamente na conservação da qualidade da água do aquífero.

8.5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de auxílio através de bolsas de estudo a FAPESB pela concessão de auxílio através de diárias de campo.

8.6 REFERÊNCIAS

CPRM – SIAGAS: Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br>>. Acesso em 04 nov. 2011.

FOSTER, S. S. D. et al. **Proteção da qualidade da água subterrânea**: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. São Paulo: SERVIMAR, 2006.

GOLDEN SOFTWARE, Inc; SURFER 10.3.715; Colorado, USA, 2011.

HIRATA, R. C. A.. Oito perguntas e oito tentativas de respostas sobre a vulnerabilidade à poluição de aquífero. In: Seminario - Taller: Protección de Acuíferos frente a la contaminación, 1. 2001. **Anais...**, Toluca, Mexico, 2001. Disponível em <<http://tierra.rediris.es/hidrored/ponencias/Hirata.html>>. Acesso em 22 de out. de 2012.

LEINZ, V.; LEONARDOS, O. H. **Glossário geológico**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1970.

MAIA, P. H. P. **Um novo método para avaliar a vulnerabilidade dos aquíferos**. 2011. 132 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, 2011.

MAIA, P. H. P.; CRUZ, M. J. M. Um novo método para avaliar a vulnerabilidade de aquíferos. **Braz. J. Aquat. Sci. Technol.**, n. 15 v.2, p. 29-40, 2011.

MAIA, P. H. P.; CRUZ, M. J. M. Um novo método para avaliar a vulnerabilidade de aquíferos. In: X Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa – XVI Semana de Geoquímica. 2010. **Anais ..** Portugal, 2010.

9 CONCLUSÕES

Levando em consideração a carência de dados e informações acerca da qualidade águas do aquífero Taquari/Maruim apesar da grande importância que exerce para a população do município, sendo a principal fonte de abastecimento de água este estudo foi conduzido e obteve resultados apreciáveis.

As águas subterrâneas do Taquari/Maruim são armazenadas em dois domínios hidrogeológicos: Bacias Sedimentares, que ocupa aproximadamente 60% do território municipal e Formações Superficiais Cenozoicas, de natureza livre e, e de comportamento heterogêneo e anisotrópico, exibindo feições típicas de circulação cárstica, a partir de análise por meio de testes de aquífero e perfis litológicos onde. Em face da litologia predominantemente carbonática, é válido admitir que a anisotropia seja devida a existência de carstificações.

Com espessuras que variam entre 100m e 350m, o aquífero, em geral, é caracterizado litologicamente por calcários dolomitizados. Apresenta, ainda, uma taxa de recarga contínua, já que está inserido numa região de elevada pluviosidade anual. Entretanto, não está isento de alterações provenientes de períodos de meteorologia atípica.

No que se refere aos dados físico químicos o aquífero apresentou um aumento negativo, em alguns parâmetros, em comparação com valores legislados, implicando para a impropriedade da água para o consumo, constituindo-se em um limitante natural que deve ser considerado em planos de gestão para a bacia na qual o aquífero está inserido.

As águas subterrâneas do Aquífero Taquari/Maruim em Maruim apresentaram-se predominantemente cálcicas (60%), sódicas (30%) e, secundariamente, de natureza mista (10%) e em relação aos ânions, as águas foram divididas em cloretadas (56,7%) e bicarbonatadas (43,3%). A alta incidência de cálcio e bicarbonato estão associadas à alteração, em grande parte, com a dissolução dos tipos litológicos do Membro Maruim.

Em consideração à composição geral, cátions e ânions, as águas foram classificadas como bicarbonatadas cálcicas (40%), cloretadas cálcicas (30%), cloretadas sódicas (26,7%) e bicarbonatada sódica 3,3% .

Apesar de algumas alterações em relação ao estudo de erro das análises, com erros acima dos admitidos pelos métodos utilizados, acredita-se na

possibilidade de “algum íon com concentração apreciável na água não ter sido analisado, o que poderia ter desequilibrado o balanço iônico para o lado dos cátions, em algumas amostras.”, excetuando-se todos os demais fatores que podem levar a esses erros, esse estudo pode vir a ser complementados com outros dados, principalmente os que constam no Apêndice D.

A partir dos dados foram gerados mapas que servirão para racionalizar ações de proteção de aquíferos, à medida que as atividades antrópicas são compatibilizadas com a capacidade do terreno em suportá-las, sem prejuízo das águas subterrâneas. Estes servirão, também, como base para futuros estudos na região.

O estudo da vulnerabilidade do aquífero foi um fato imprescindível na realização deste trabalho. O emprego de três métodos distintos que apresentaram resultados ora semelhante e ora discordantes foi fundamental para a escolha da utilização de métodos a serem empregados em outros estudos, seja pela facilidade de aquisição dos dados empregados na utilização do método ou na precisão do resultado final.

A presença de áreas altamente e extremamente vulneráveis é um fator que deve ser observado e analisado, pois, interfere diretamente na prevenção da qualidade dos recursos e na tomada de decisão do uso e ocupação do solo.

Dos métodos utilizados o método MAIA foi o que apresentou menor continuidade dos índices finais, representando sua tendência a apresentar resultados mais pontuais. Diferentemente da generalização de valores apresentados pelos métodos GOD e DRASTIC.

Outros artigos ainda serão gerados dessa pesquisa, devido, principalmente a quantidade de dados não tratados e das inúmeras possibilidades de tratamento destes, inclusive os tratamentos estatísticos multivariados.

REFERÊNCIAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Abastecimento urbano de água: alternativas de oferta de água para as sedes municipais da Região Nordeste do Brasil e do Norte de Minas Gerais**. Brasília: ANA, 2006.

ALBINET, M ; MARGAT, J. Cartographie de la vulnerabilite a la pollution des nappes d'eau soterraine. **Bulletin BRGM**. 2nd Series, v. 3, n. 4, p. 13-22, 1970.

ALLER, L.; BENNET, T.; LEHR, J.H.; PETTY, R.J. **DRASTIC**: a standardized system for evaluating groundwater pollution using hydrological settings. Ada, USA: National Water Well Association, 1987.

ARAÚJO et. al. Caracterização dos aquíferos da bacia do rio Siriri e estimativa de recarga subterrânea com os modelos WEAP e SMAP. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO, 1. 2009. São Paulo. **Anais ...**, São Paulo, 2009.

APHA - American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19 th ed. Washington: APHA/AWWA, 1995.

APHA – American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20 th ed. Washington: APHA/AWWA, 1998.

APHA – American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21 th ed. Washington: APHA/AWWA, 2005.

ABNT – Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 12244**: Construção de poço para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro, 1992. 6p.

AUGE, M. Vulnerabilidade de aquíferos. **Revista latino-americana de hidrogeologia**, Curitiba, n.4, p. 85-103, 2004.

BARBOZA, A. E. C.; ROCHA, S. F.; GUIMARÃES, W. D. Estudo preliminar da vulnerabilidade do aquífero livre localizado na região de Ponta da Fruta, Vila Velha – ES. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. 2007. **Anais ...**, 2011. Florianópolis: INPE, 2007. p. 3279-3286. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.16.00.42/doc/3279-3286.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2012.

BARTH, F.T. Legislação sobre Águas Subterrâneas. In: ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, Campo Grande/MS, 1997. **Anais...**, p.145-152, 1997.

BOMFIM, L. F. C.; COSTA, I. V. G.; BEVENUTI, S. M. P. (Org.). Projeto Cadastro da Infra-Estrutura Hídrica do Nordeste: Estado de Sergipe. **Diagnóstico do município de Maruim**. Aracaju: CPRM, 2002.

BRASIL. Portaria ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária). **Portaria nº 2.914**, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2004.

BRASIL. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, **Resolução nº 396**, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/port/conama L-1egiabre.cfm?codlegi=562](http://www.mma.gov.br/port/conama/L1egiabre.cfm?codlegi=562)>. Acesso em: 25 nov. 2012.

CETESB. **Amostragem e monitoramento das águas subterrâneas** – Norma CETESB. Projeto CETESB – GTZ: São Paulo, 1999.

CLEARY, R. W. **Águas subterrâneas**. Princeton Groundwater Inc.: Clean Environment Brasil, 117 p., 1989. Disponível em: <http://www.clean.com.br/cleary.pdf>. Acesso em: Set., 2013.

CPRM – SIAGAS: Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br>>. Acesso em: 04 nov. 2011.

CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia subterrânea**. 2. ed. Barcelona: OMEGA. 1983. 2 v.

CUTRIM, A.; CAMPOS, J. E. G. Avaliação da vulnerabilidade e perigo à contaminação do aquífero Furnas na cidade de Rondonópolis (MT) com aplicação dos métodos GOD e POSH. **Geociências**, São Paulo, v. 29, n. 3, p. 401-411, 2010.

DEUTSCH, C.V.; JOURNAL, A.G. (1992) - GSLIB - **Geostatistical software library and user's guide**. Oxford University Press.

EL-NAQA, A.; HAMMOURI, N. GIS based hidrogeological vulnerability mapping of groundwater resources in Jarash area – Jordan. **Geofísica internacional**, v. 47, n. 2, p. 85-97, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. 2. Ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006.

EMDAGRO. **Pesquisa diária de dados pluviométricos**. ESLOC DE MARUIM: EMDAGRO. [s.d]

FEITOSA, A. C. F.; MANOEL FILHO, J. (Coord.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM L-1ABHID, 1997. 412 p.

FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A.; MANOEL FILHO, J. **Avaliação dos aquíferos da bacia Sergipe/Alagoas entre Aracaju e Capela**. Recife: CTG/UFPE, 1998.

FEITOSA, A. C. F.; MANOEL FILHO, J. (Coord.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3 ed. rev e amp. Rio de Janeiro: CPRM L-1ABHID, 2008. 812 p.

FENZEL, N. J. **Introdução à hidrogeoquímica**. Belém: Universidade Federal do Pará, 1986.

FERNANDES, J.; FRANCÉS, A.; COSTA, A. M.; MIDÕES, C. Utilização de ferramentas informáticas no âmbito do estudo dos recursos hídricos subterrâneos do Alentejo (ERHSA). In: SEMINÁRIO SOBRE A HIDROINFORMÁTICA EM PORTUGAL, 2001. **Anais ...**, Lisboa, LNEC, 15-16 Nov. 2001.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. **Determinación del riesgo da contaminación de águas subterrâneas: uma metodologia baseada em dados existentes**. Lima: CEPIS, 1991.

FOSTER, S. S. D. **Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy**. Proceedings of International Conference: Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants. Noordwijk, Países Baixos, 1987.

FOSTER, S. S. D. et al. **Groundwater quality protection: a guide for water utilities municipal authorities and environment agencies**. Washington: The World Bank, 2002.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. **Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data**. WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual, Lima, 1988.

FOSTER, S. S. D. et al. **Proteção da qualidade da água subterrânea**: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. São Paulo: SERVIMAR, 2006.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Manual prático de análise de água**. 2. ed. rev. Brasília: FUNASA, 2006.

GOLDEN SOFTWARE, Inc; SURFER 10.3.715; Colorado, USA, 2011.

IBGE. **Dados populacionais por Município**. 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 10 nov. 2011.

HEATH, R, C. **Hidrologia básica de águas subterrâneas**. Denver: 1983. 86 p. USGS Paper nº20. Wrege, M. e Potter, P. (Trad.) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS.

HIRATA, R. C. A.. Oito perguntas e oito tentativas de respostas sobre a vulnerabilidade à poluição de aquífero. In: Seminario - Taller: Protección de Acuíferos frente a la contaminación, 1. 2001. **Anais...**, Toluca, Mexico, 2001. Disponível em <<http://tierra.rediris.es/hidrored/ponencias/Hirata.html>>. Acesso em 22 de out. de 2012.

JACOMINE, P.K.T.; MONTENEGRO, J.O.; RIBEIRO, M.R.; FORMIGA, R.A. **Levantamento exploratório – Reconhecimento de solos do estado de Sergipe**. Recife, Embrapa /Sudene, 1975. 506p. (Boletim Técnico, 36; Série Recursos de Solos, 6)

JOURNEL, A.G. **Etudes ur l'estimation d'une variable regionalisée**. Application à la Cartographie Sous-Marine: Service Central Hydrographique de la Marine, Paris, 1969.

LEINZ, V.; LEONARDOS, O. H. **Glossário geológico**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1970.

LOGAN, J. **Interpretação de análises químicas de água**. Recife: [U.S. Agency for International Development], 1965. 67 p.

MAIA, P. H. P. **Um novo método para avaliar a vulnerabilidade dos aquíferos**. 2011. 132 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, 2011.

MAIA, P. H. P.; CRUZ, M. J. M. Um novo método para avaliar a vulnerabilidade de aquíferos. **Braz. J. Aquat. Sci. Technol.**, n. 15 v.2, p. 29-40, 2011.

MAIA, P. H. P.; CRUZ, M. J. M. Um novo método para avaliar a vulnerabilidade de aquíferos. In: X Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa – XVI Semana de Geoquímica. 2010. **Anais...** Portugal, 2010.

MANUAL técnico para coleta de amostras de água. Florianópolis: [s.n.], 2009.

MATTA, M. A. da S. et al. Vulnerabilidade e risco de contaminação do sistema aquífero superior da Região de Barcaena/PA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17. 2007. **Anais...** São Paulo, 2007. p. 1 – 10. Disponível em: <<http://www.hidro.ufcg.edu.br/twiki/pub/ASUB/Revis%E3oBibliografica/541.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2012.

MENDES, B., OLIVEIRA, J.F.S. **Qualidade da água para consumo humano**. Lisboa: Lidel, Edições Técnicas Ltda., 2004, 626p.

MOBUS, G. **Qualifraf**. Programa para análise da qualidade de água. FUNCEME. <http://www.funceme.br/DEHID/index.html>. 2003. Acesso em 22 de out. de 2011.

MOREIRA, C. M. D. **Aspectos qualitativos da água subterrânea no Campus da UFSM**, Santa Maria - RS. 2005. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

NASCIMENTO, S. A. de M. **Diagnóstico hidrogeológico, hidroquímico e da qualidade da água do aquífero freático do alto cristalino de Salvador, Bahia**. 2008. 194 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, 2008.

OLIVEIRA, M.M., MOINANTE, M.J., LOBO-FERREIRA, J.P. - **Cartografia automática da vulnerabilidade de aquíferos com base na aplicação do método DRASTIC. Relatório final**. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, relatório 60/97-GIAS, 1997.

OLIVEIRA, M.M., MOINANTE, M.J., LOBO-FERREIRA, J.P. - "Determinação da Recarga de Águas Subterrâneas a partir da Análise de Hidrogramas de Escoamento", in **Seminário sobre águas subterrâneas**, Lisboa, APRH, 10 a 12 de Dezembro, 1997a.

OSÓRIO, Q. S. **Vulnerabilidade natural de aquíferos e potencial de poluição das águas subterrâneas**. 2007. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

PIPER, A. M. A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analysis. **Trans. Am. Geophysical Union**, n. 25, p. 911-923, 1944.

RONCHI, L. H.; COELHO, O. G. W. (Org.). **Tecnologia, diagnóstico e planejamento ambiental**. São Leopoldo, RS: Unisinos, 2003.

RUSSO, A. S. **Estimativa da vulnerabilidade de aquíferos utilizando sistemas de informações geográficas e geoestatística – UGRHI – PCJ**. 2009. 75f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009, 75p.

SANTOS, R. A. (Org.). **Geologia e recursos minerais do Estado de Sergipe**: texto explicativo do mapa geológico do Estado de Sergipe. Brasília: PRM/DIEDIG/DEPAT, CODISE, 2001. 1 mapa. Escala: 1:250.000.

SANTOS, R. A. **O Sistema cárstico da caverna Lapa Doce: caracterização física e da atividade turística no município de Iraquara**. 2008. Monografia (Graduação em Geografia) – Departamento de Ciências Humanas – Campus IV, Universidade do Estado da Bahia – UNEB, Jacobina, 2008.

SANTOS, R. A. **Hidrogeoquímica das águas subterrâneas do município de Iraquara, Bahia**. 2011. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, 2011.

SANTOS, R. A.; CRUZ, M. J. M.; NASCIMENTO, S. A. M. Avaliação da vulnerabilidade natural de aquíferos cársticos: subsídios para uma gestão dos recursos hídricos subterrâneos. **Cadernos de graduação**, n. 7, p. 54-61, 2010.

SCHOELLER, H. **Lês eaux souterraines**. Paris: Mason, 1962. cap 7.

SEPLANTEC – SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO E DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Perfis municipais**. 75v. Aracaju, 1997.

SERGIPE (Estado). Superintendência de Recursos Hídricos. **Atlas digital sobre os recursos hídricos de Sergipe**. Aracaju: SEPLANTEC-SRH, 2011. CD-ROM.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104p. 1955.

UNB – Laboratório de Psicologia Ambiental. Padronização e Escores z [S.n.t] .Disponível em: < <http://www.psi-ambiental.net/pdf/SPS05EscoreZ.pdf>>. Acesso em 20 jul. 2013.

WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. **Soil Sci**. n. 63, p.251-263, 1934.

WIKIPÉDIA (2013). **Maruim (Sergipe)**. Disponível em: <[http://pt.wikipedia.org/wiki/Maruim_\(Sergipe\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/Maruim_(Sergipe))>. Acesso em 20 jul. 2013.

YASSUDA, E. R.; NOGAMI, P. S.; MONTRIGAUD, R. de. **Poços Profundos: Manual Técnico**. São Paulo: Faculdade de Higiene e Saúde Pública, 1965.

APÊNDICE A – FORMULÁRIO DE CAMPO

MULTIPARÂMETROS:

Data	Temp. °C (água)	pH	pH (mV)	ORP (mV)	C.E. (mS cm- 1)	Turb (NTU)	OD (mg L-1)	OD (%)	STD (g L-1)	Sal. (g L-1)	Cl ⁻ (mg L-1)	NO ₃ ⁻ (mg L-1)	NH ₄ ⁺ (mg L- 1)

Referência do equipamento: Multi Water Quality Checker U-50 Series (HORIBA). Manta 2.

DADOS DA CAPTAÇÃO:

Data	Fonte de energia	Material do reservatório	Tipo de distribuição	Sistema de bombeamento (Bomba + motor + educação)/ (Boa, regular ou ruim)	Sistema de distribuição (Adução + reservatório + distribuição)/ (Boa, regular ou ruim)	Abrigo (casa de bomba)/ (Boa, regular ou ruim)	Proteção sanitária (Laje + tampa + cercado)/ (Boa, regular ou ruim)

Situação:

Em operação Paralisada Não instalada Abandonada

Paralisada:

Salinização Quebra de equipamento Peça de reposição Baixa vazão Uso estratégico

Não instalada:

Salinização Falta de Energia Não definido

Abandonada:

Seco Obstruído

O poço tem perfil?

Sim Não Não sabe Observações: _____

ASPECTOS AMBIENTAIS E SOCIAIS:

Fontes potenciais de contaminação

Posto de combustível Garagem de ônibus Oficina mecânica Clínica/hospital/posto médico
 Lixão/aterro Cemitério Ferro-velho Metalúrgica Clube social Hotel/bar/restaurante
 Residência/condomínio Indústria em geral Estabelecimento comercial Escola/colégio
 Sítio/Fazenda Oficina de pintura e chaparia Igreja Troca de óleo Curtume Lavanderia
 Lava-à-jato Horta/jardim Estábulo Via Pública Curral Pocilga Granja Outros

Distância à fonte de contaminação em metros _____

Observação:

Formulário de campo adaptado de NASCIMENTO (2008) e SANTOS (2011).

APENDICE B – TRABALHO ENVIADO PARA XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS I

XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
VII FENÁGUA - Feira Nacional da Água
XVIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços

**TESTE DE CONFIABILIDADE PARA NOVO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA
VULNERABILIDADE INTRÍNSECA DE AQUÍFEROS**

Josana de Mello Dantas¹; Manoel Jerônimo Moreira Cruz²

Resumo – O projeto de pesquisa Hidrogeoquímica e Estudo da vulnerabilidade do aquífero Taquari/Maruim no município de Maruim – SE vem desenvolvendo atividades visando ampliar os conhecimentos sobre as potencialidades, a qualidade e a vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos. Com a finalidade de conhecer a importância do estudo da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas e a confiabilidade dos métodos DRASTIC (Aller et al., 1985), GOD (Foster e Hirata, 1988) e MAIA (Maia e Cruz, 2011), foi analisada a sensibilidade de variação dos resultados a partir das circunstâncias hidrológicas e hidrogeológicas, entre outros fatores. Sabendo do grande perigo de contaminação desse recurso hídrico e visando a proteção de sua qualidade, o uso do método de avaliação mais adequado é importante para a melhoria da gestão e manejo desse recurso natural. Como resultado observado, o método MAIA apresenta uma maior sensibilidade por ser construído a partir de medidas diretas de atributos do aquífero relacionados à vulnerabilidade permitindo um uso mais amplo.

Palavras-Chave – Vulnerabilidade; confiabilidade; métodos.

OBSERVAÇÃO: O trabalho completo poderá ser acessado nos anais do congresso.

APÊNDICE C – TRABALHO ENVIADO PARA XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS II

XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
VII FENÁGUA - Feira Nacional da Água
XVIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços

**UTILIZAÇÃO DE PLANILHA ELETRÔNICA NO ÂMBITO DO ESTUDO DE
VULNERABILIDADE INTRÍSECA DE AQUÍFEROS**

Josana de Mello Dantas¹; Manoel Jerônimo Moreira Cruz²

Resumo – No contexto do projeto, Hidrogeoquímica e Estudo da vulnerabilidade do aquífero Taquari/Maruim no município de Maruim – SE, foi desenvolvida uma planilha eletrônica simples, nos últimos 8 meses que, atualmente, serve como suporte facilitador para o cálculo dos índices de vulnerabilidade intrínseca, a partir de três métodos específicos DRASTIC (Aller et al., 1985), GOD (Foster e Hirata, 1988) e MAIA (Maia e Cruz, 2011). O uso de *softwares* de planilha eletrônica ainda é muito superficial, nos mais conhecidos existem diversas funções matemáticas, lógicas, estatísticas, entre outras que podem auxiliar na redução do tempo utilizado para o processamento e análise de dados. Para o desenvolvimento dessa ferramenta foram utilizadas funções simples de uma planilha conhecida. Os dados gerados são facilmente utilizados como arquivos de *input* para *softwares* específicos de análises geoestatísticas e para sistemas de informações geográficas, permitindo a análise espacial dos índices de vulnerabilidade calculados e possibilitam o cruzamento desses entre variáveis e parâmetros diversos, resultando na produção de mapas temáticos.

Palavras-Chave – Planilha eletrônica; vulnerabilidade; aquífero.

OBSERVAÇÃO: O trabalho completo poderá ser acessado nos anais do congresso.

APÊNDICE D – RESULTADO DAS ANÁLISES HIDROQUÍMICAS
MULTIELEMENTAR

Quadro 1 – Análises químicas dos poços tubulares do município de Maruim

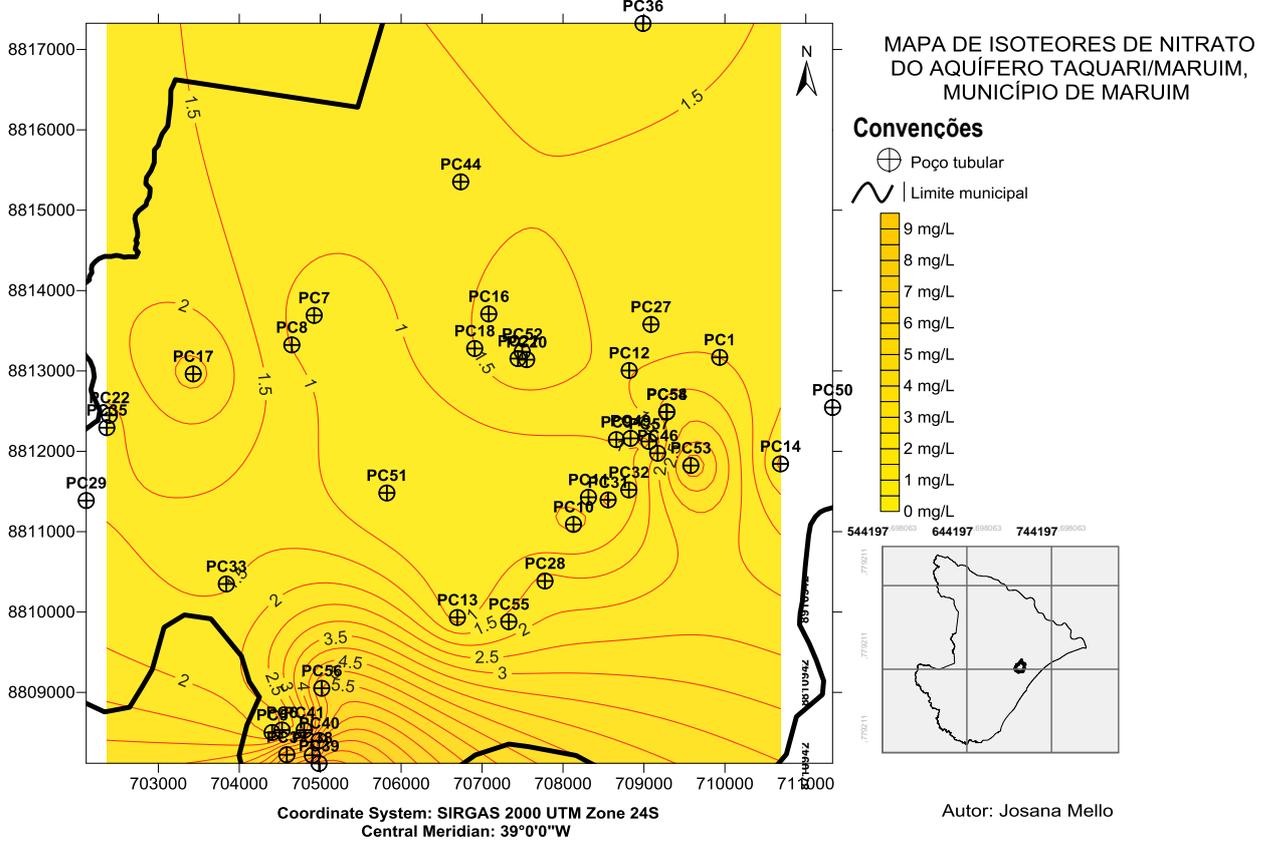
Poço	Data da coleta	Coordenadas UTM		STD	Turb (UNT)	Nitrato (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)	pH	Eh (mV)	C.E. (µS/cm)	Ca	Ba	Mn	Fe	Mg	Na	Zn	Cu	Pb	K
		X	Y																				
PC5	16/05/2013	704406,41	8808503,53	2,17	4,00	1,74	136,275	742,940	<5,22	336,50	7,71	231,00	3390	76,194	0,027	0,012	0,007	15,256	254,780	0,075	0,026	0,010	17,456
PC7	15/05/2013	704925,41	8813693,55	0,54	3,30	0,65	4,218	47,241	<5,22	380,2	7,22	265,00	848	93,469	0,048	<LDM	0,006	13,656	29,230	0,005	<LDM	<LDM	1,450
PC8	15/05/2013	704649,41	8813326,55	0,44	1,10	0,97	8,054	40,566	<5,22	282,3	7,22	282,00	686	89,831	0,022	0,011	ND	7,466	23,586	0,020	<LDM	<LDM	2,848
PC10	14/05/2013	708129,42	8811092,54	0,38	1,10	0,35	0,887	23,693	ND	5,43	6,83	311,00	596	60,950	0,016	0,006	0,012	17,138	11,071	0,004	<LDM	<LDM	0,889
PC11	14/05/2013	708314,42	8811430,54	0,14	11,10	0,72	5,712	9,973	ND	1,23	6,86	240,00	209	13,488	0,007	0,009	0,085	7,351	3,876	0,013	<LDM	0,001	1,643
PC13	15/05/2013	706695,41	8809934,53	0,13	0,00	0,74	ND	42,482	<5,22	347,3	4,30	417,00	205	1,715	0,011	0,002	0,003	2,392	21,505	0,005	<LDM	ND	0,606
PC14	16/05/2013	710686,43	8811845,54	0,19	43,20	0,35	4,833	35,003	<5,22	82,86	6,64	301,00	286	27,425	0,019	0,037	0,128	6,827	15,386	0,001	ND	0,003	2,048
PC17	15/05/2013	703431,40	8812965,54	0,54	0,50	2,76	12,440	57,855	<5,22	<5,22	6,34	360,00	836	51,627	0,040	0,014	0,019	8,823	24,200	0,016	<LDM	<LDM	2,980
PC18	15/05/2013	706909,00	8813282,00	0,47	0,00	1,49	ND	36,548	<5,22	328,1	7,07	299,00	726	79,188	0,058	0,001	<LDM	19,958	18,997	0,018	0,005	<LDM	2,620
PC22	15/05/2013	702394,40	8812450,54	0,51	3,10	1,37	39,930	41,389	<5,22	313,1	6,95	270,00	800	69,963	0,052	0,001	0,010	17,375	45,542	0,004	ND	<LDM	6,318
PC27	16/05/2013	709087,00	8813581,00	0,48	1,50	1,08	ND	40,195	<5,22	339,4	7,49	295,00	745	72,706	0,031	0,000	0,006	22,100	24,236	0,001	ND	<LDM	2,134
PC28	14/05/2013	707777,00	8810389,00	0,13	60,50	1,67	1,044	38,341	ND	0,433	5,80	349,00	194	7,984	0,016	0,011	0,018	2,500	17,280	0,006	<LDM	<LDM	0,696
PC31	14/05/2013	708557,42	8811397,54	0,38	0,80	0,44	ND	20,356	ND	5,96	6,91	324,00	623	74,250	0,018	0,129	0,013	19,556	10,279	0,030	0,003	ND	5,876
PC32	14/05/2013	708814,00	8811522,00	0,44	0,00	0,7	ND	27,587	ND	6,91	6,98	311,00	687	73,594	0,021	0,004	0,006	21,938	14,617	0,010	<LDM	<LDM	1,258
PC33	15/05/2013	703840,40	8810351,53	0,49	0,00	1,44	3,769	43,718	<5,22	345,6	7,31	214,00	769	76,475	0,013	0,001	0,012	21,938	23,605	0,043	0,013	ND	1,700
PC35	15/05/2013	702363,40	8812296,54	0,35	6,00	1,38	3,036	25,640	<5,22	22,07	6,74	290,00	545	4,622	0,072	0,054	0,061	4,409	14,549	0,040	0,069	<LDM	3,950
PC36	16/05/2013	708988,42	8817326,56	0,43	35,70	1,77	1,637	33,458	<5,22	304,6	7,36	189,00	673	88,019	0,047	0,001	0,004	13,206	21,280	ND	0,007	<LDM	1,459
PC37	15/05/2013	704587,41	8808226,53	0,33	0,00	5,66	0,537	40,380	<5,22	109,1	6,49	180,00	58	18,006	0,006	0,026	0,002	9,627	22,749	0,018	<LDM	<LDM	0,535
PC38	14/05/2013	704903,00	8808220,00	0,73	0,00	6,04	16,643	134,940	ND	6,18	6,78	314,00	1140	108,019	0,018	0,005	0,004	16,781	51,930	ND	0,001	<LDM	1,829
PC39	14/05/2013	704985,00	8808118,00	0,44	32,10	8,84	78,675	111,300	ND	0,183	5,65	280,00	681	9,804	0,017	0,021	0,024	8,124	67,236	0,011	<LDM	<LDM	1,328
PC40	14/05/2013	704987,00	8808401,00	0,79	0,10	6,71	23,320	166,831	ND	6,02	6,83	325,00	1230	100,619	0,053	241,124	0,007	18,119	64,049	0,015	<LDM	<LDM	2,311
PC41	14/05/2013	704801,41	8808532,53	4,07	1,30	2,75	193,950	1625,192	ND	7,36	6,13	185,00	6460	113,250	0,050	17,789	0,016	35,869	225,067	0,020	<LDM	<LDM	34,888
PC49	16/05/2013	708835,42	8812163,54	0,44	0,00	1,16	2,124	29,626	<5,22	331	7,45	275,00	693	79,769	0,026	<LDM	0,004	20,944	17,636	0,002	0,002	<LDM	1,970
PC51	15/05/2013	705824,00	8811484,00	0,05	0,01	0,54	ND	16,065	<5,22	<5,22	4,43	399,00	75	0,251	0,009	0,003	0,019	1,209	8,093	0,011	0,011	ND	0,333
PC52	16/05/2013	707496,00	8813242,00	0,43	0,00	2,02	ND	25,609	<5,22	324,40	7,26	312,00	666	76,863	0,030	ND	0,003	22,013	15,374	0,003	<LDM	<LDM	1,125
PC53	14/05/2013	709579,00	8811826,00	0,39	44,10	4,03	10,980	34,632	ND	4,74	6,54	269,00	603	52,413	0,028	0,004	0,010	17,369	23,799	0,013	0,010	<LDM	3,727
PC54	16/05/2013	709282,00	8812492,00	0,06	11,00	2,24	ND	14,844	<5,22	<5,22	6,29	34,40	87	1,711	0,028	0,014	0,008	1,784	8,544	ND	ND	<LDM	0,339
PC56	14/05/2013	705018,41	8809053,53	0,69	0,08	5,67	4,850	285,742	ND	ND	4,26	445,00	1090	2,784	0,113	252,999	0,025	17,000	116,505	0,008	0,016	0,003	3,826
PC57	14/05/2013	709063,00	8812125,00	0,44	4,40	0,83	ND	31,666	ND	6,47	6,71	302,00	683	70,400	0,030	0,005	0,009	21,319	18,130	0,000	0,012	<LDM	1,924
PC58	16/05/2013	709282,00	8812492,00	0,59	0,00	4,32	12,195	54,533	<5,22	381,80	7,15	301,00	920	84,031	0,032	0,001	0,003	25,744	33,630	0,025	ND	<LDM	7,366

Quadro 2 – Padrão de potabilidade de água para consumo humano conforme a Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde

Parâmetro	Valores máximos na área de estudo	VMP pela Portaria nº 2.914/2011 MS	Unidade
CE	6460	*	µS/cm
pH	7,71	*	
Eh	445	*	mV
Turbidez	60,5	5	UT
Cloretos	1625,19	250	mg/L
Sulfatos	193,95	250	mg/L
Cálcio	113,25	*	mg/L
Magnésio	35,87	*	mg/L
Sódio	254,78	200	mg/L
Potássio	34,89	*	mg/L
Alcalinidade Carbonato	0	*	mg/L
Alcalinidade Bicarbonato	381,80	500	mg/L
Nitrato	8,84	10	mg/L
Ferro	0,13	0,2	mg/L
Manganês	253,00	0,1	mg/L
Zinco	0,075	5	mg/L
Cobre	0,069	2	mg/L
Chumbo	0,0099	0,01	mg/L
Bário	0,11	0,7	mg/L

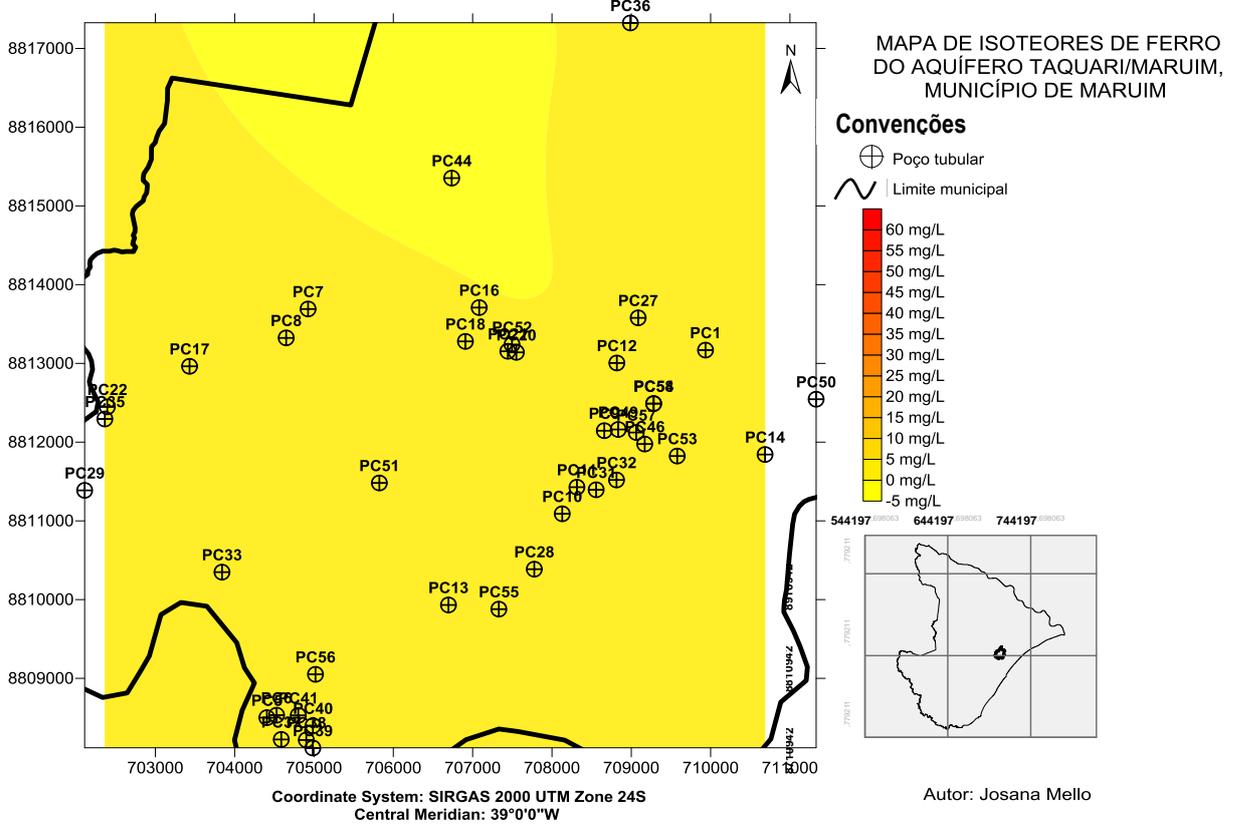
D.1 Nitrato

Figura 1 – Mapa de distribuição dos valores de nitrato nas águas subterrâneas de Maruim



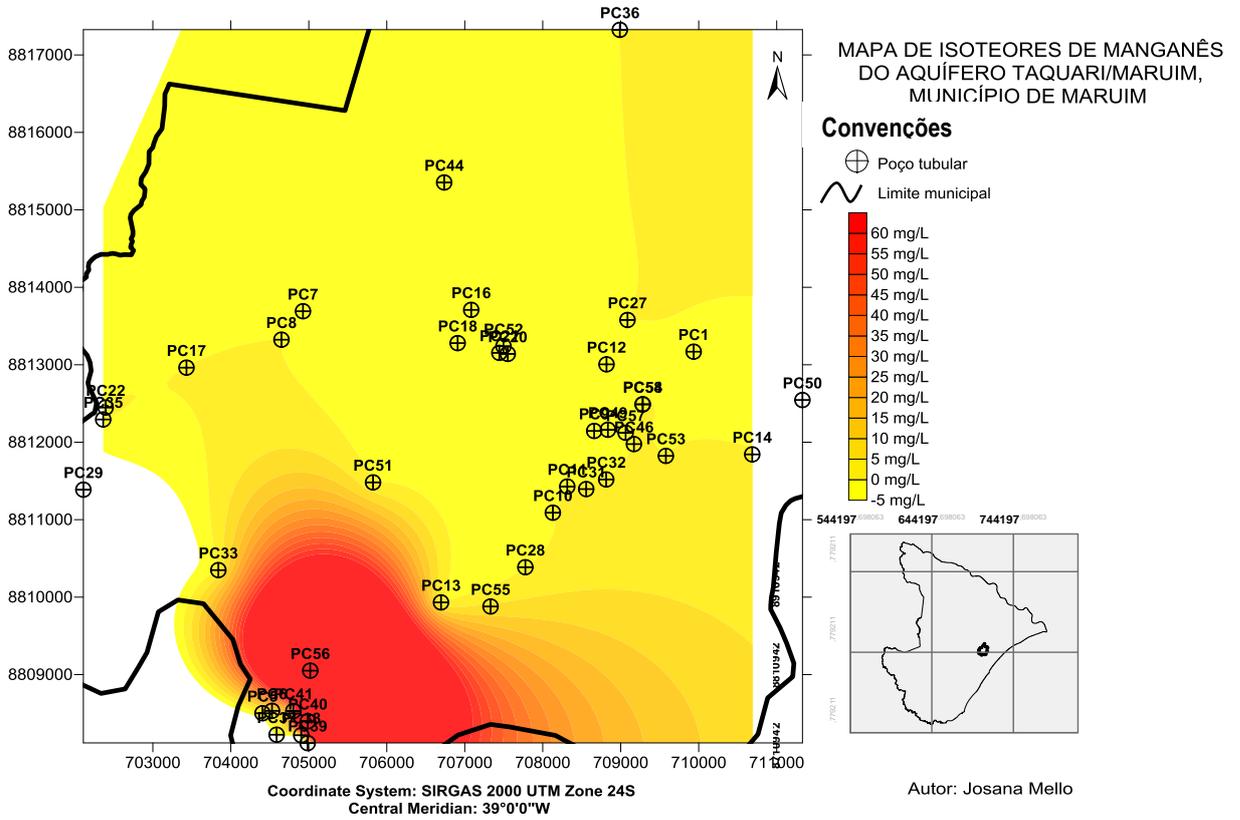
D.2 Ferro

Figura 2 – Mapa de distribuição dos valores de ferro nas águas subterrâneas de Maruim



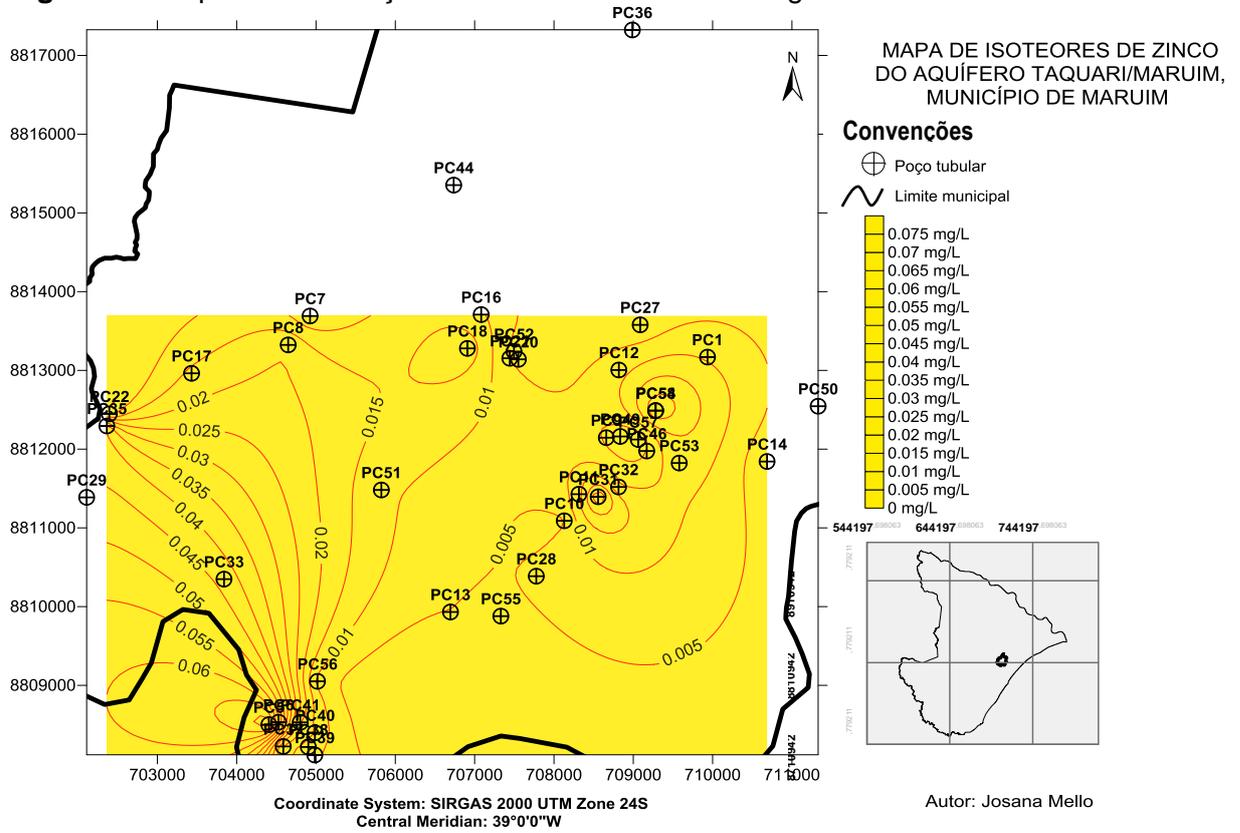
D.3 Manganês

Figura 3 – Mapa de distribuição dos valores de manganês nas águas subterrâneas de Maruim



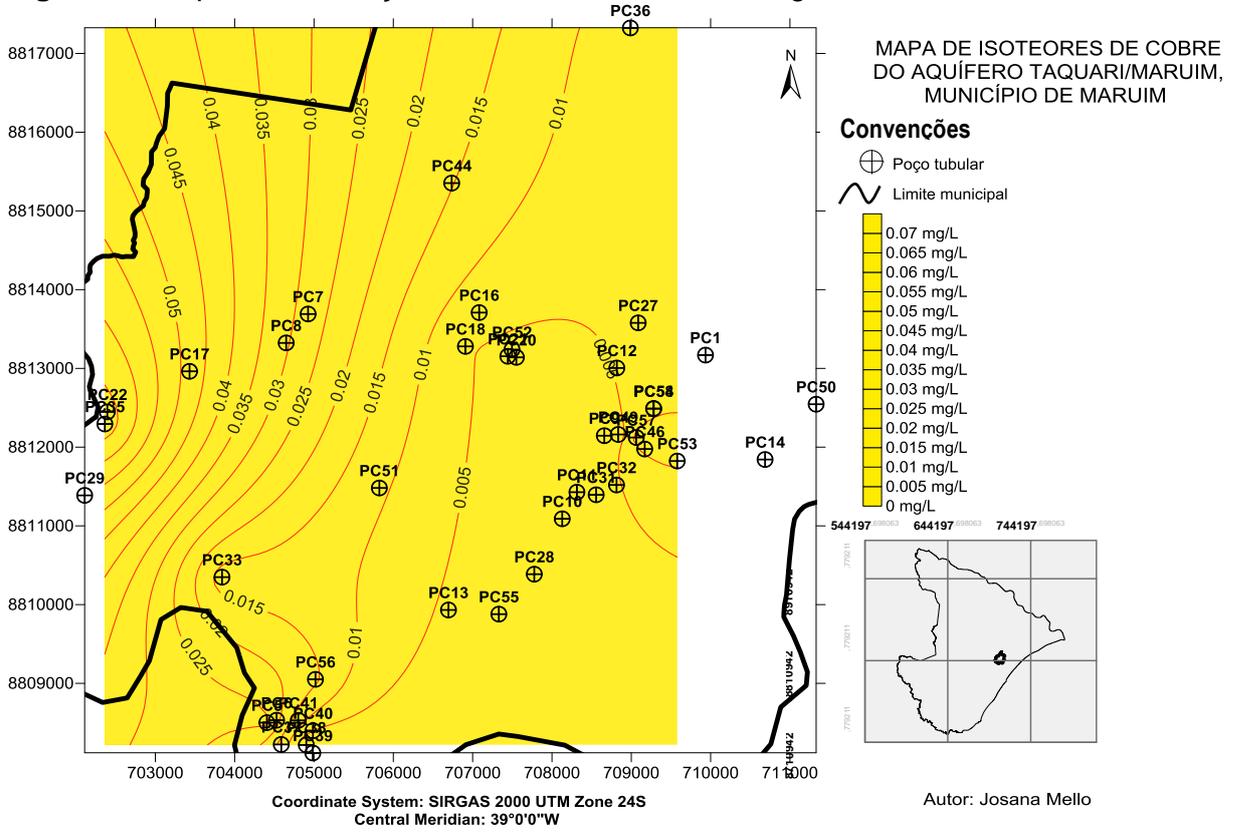
D.4 Zinco

Figura 4 – Mapa de distribuição dos valores de zinco nas águas subterrâneas de Maruim



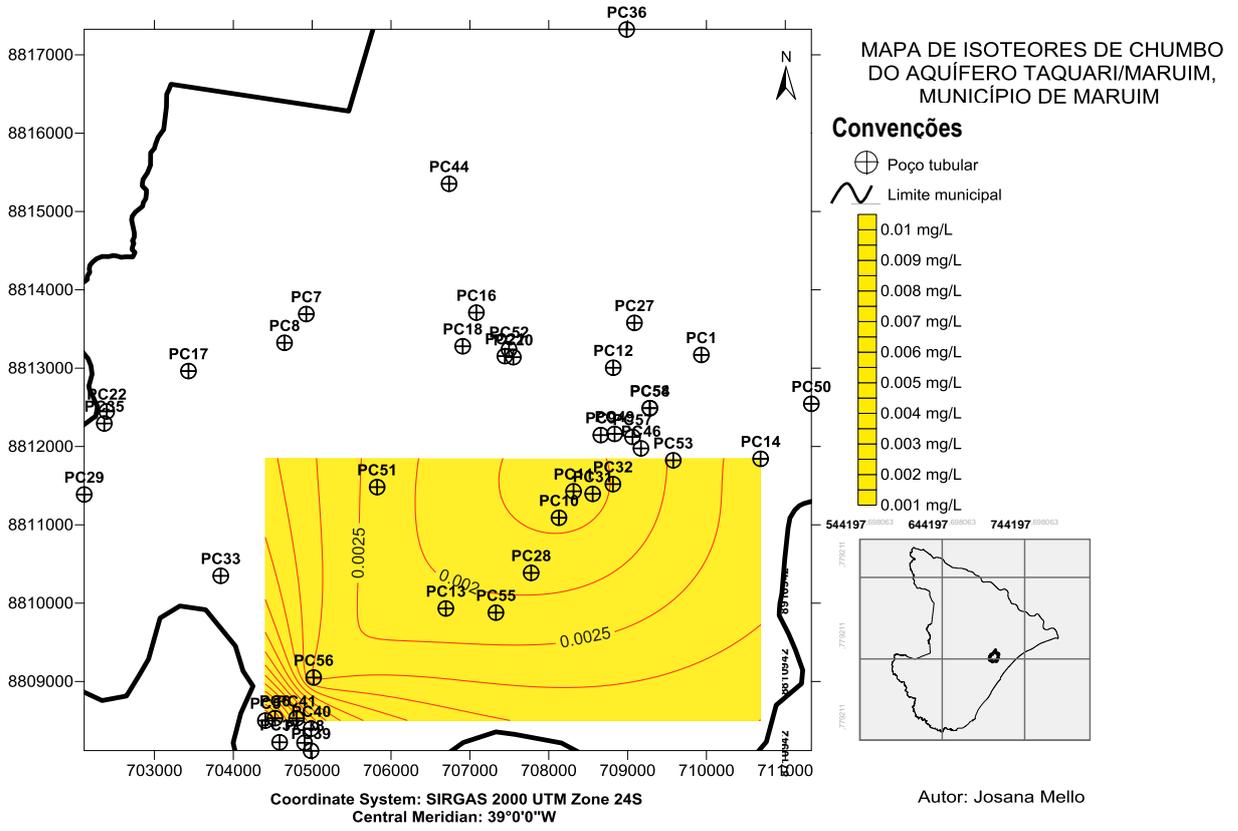
D.5 Cobre

Figura 5 – Mapa de distribuição dos valores de cobre nas águas subterrâneas de Maruim



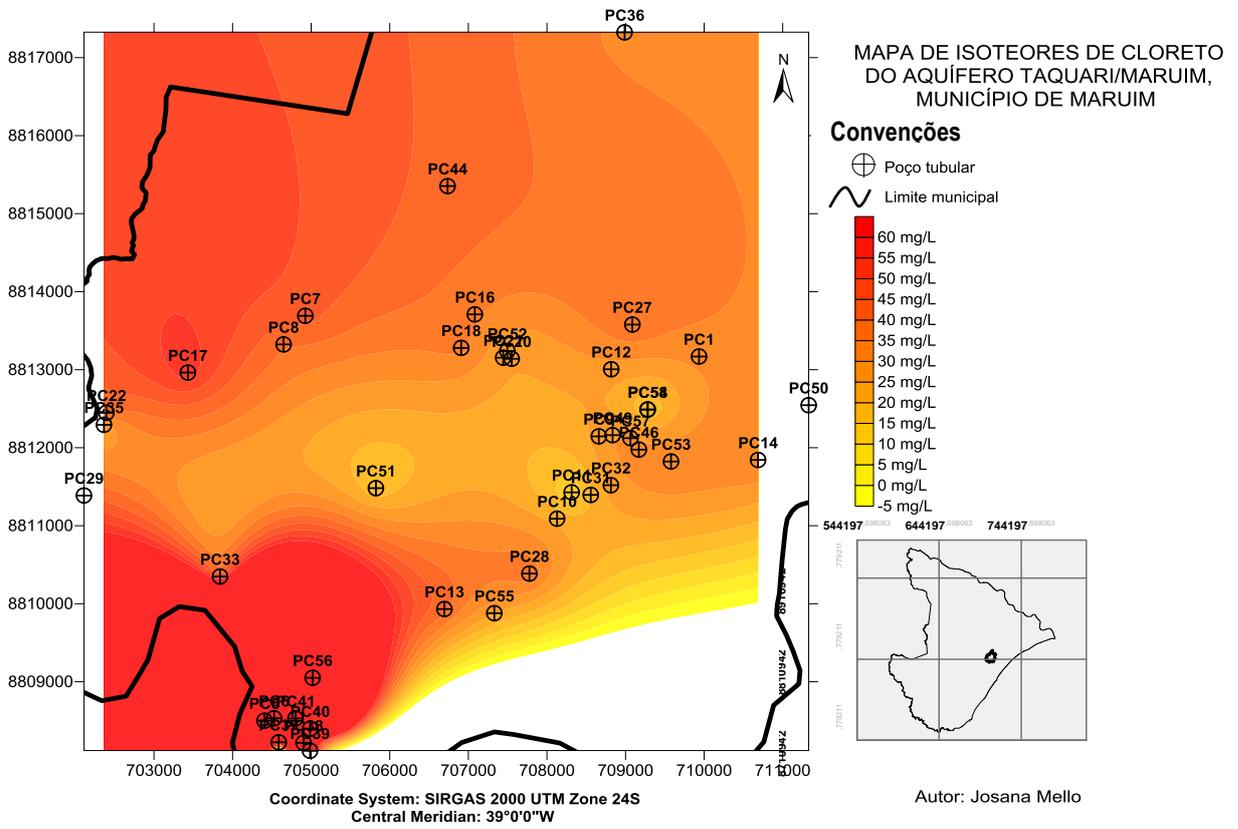
D.6 Chumbo

Figura 6 – Mapa de distribuição dos valores de chumbo nas águas subterrâneas de Marum



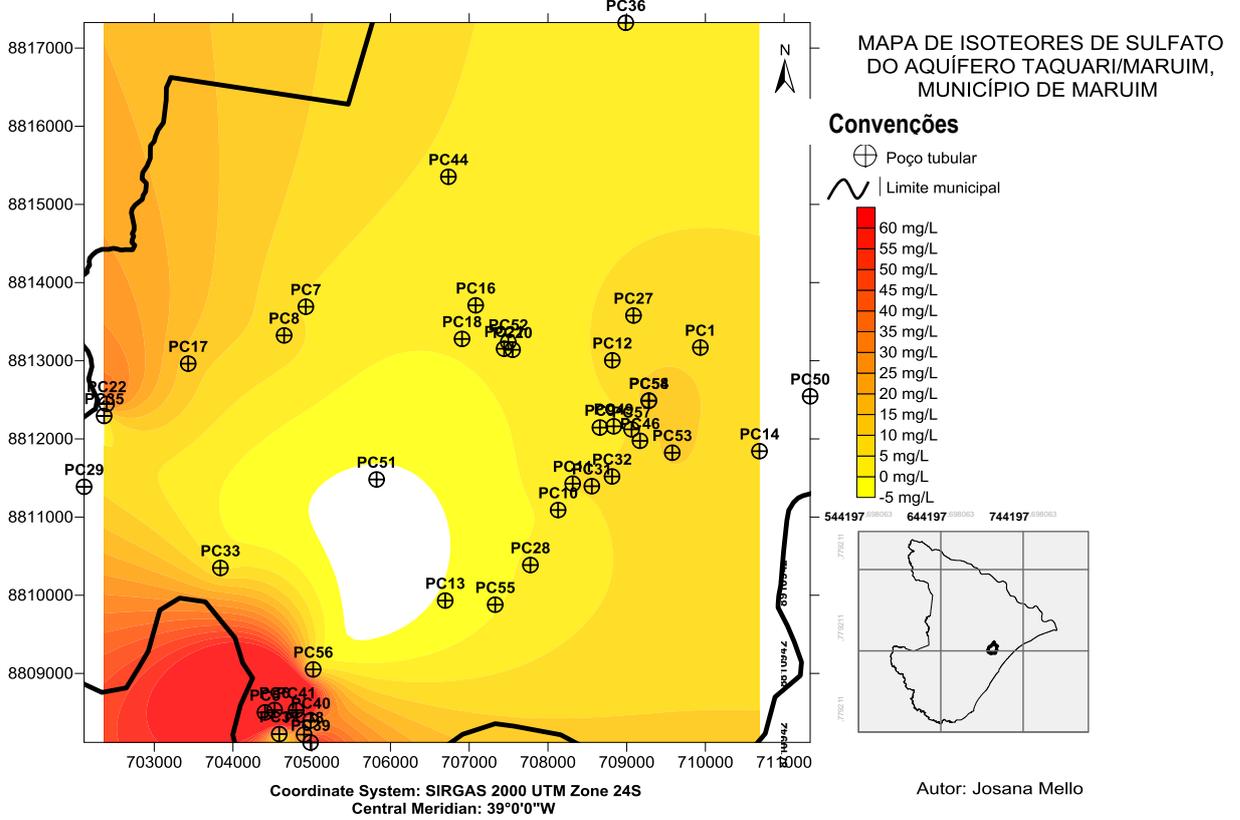
D.7 Cloreto

Figura 7 – Mapa de distribuição dos valores de cloreto nas águas subterrâneas de Maruim



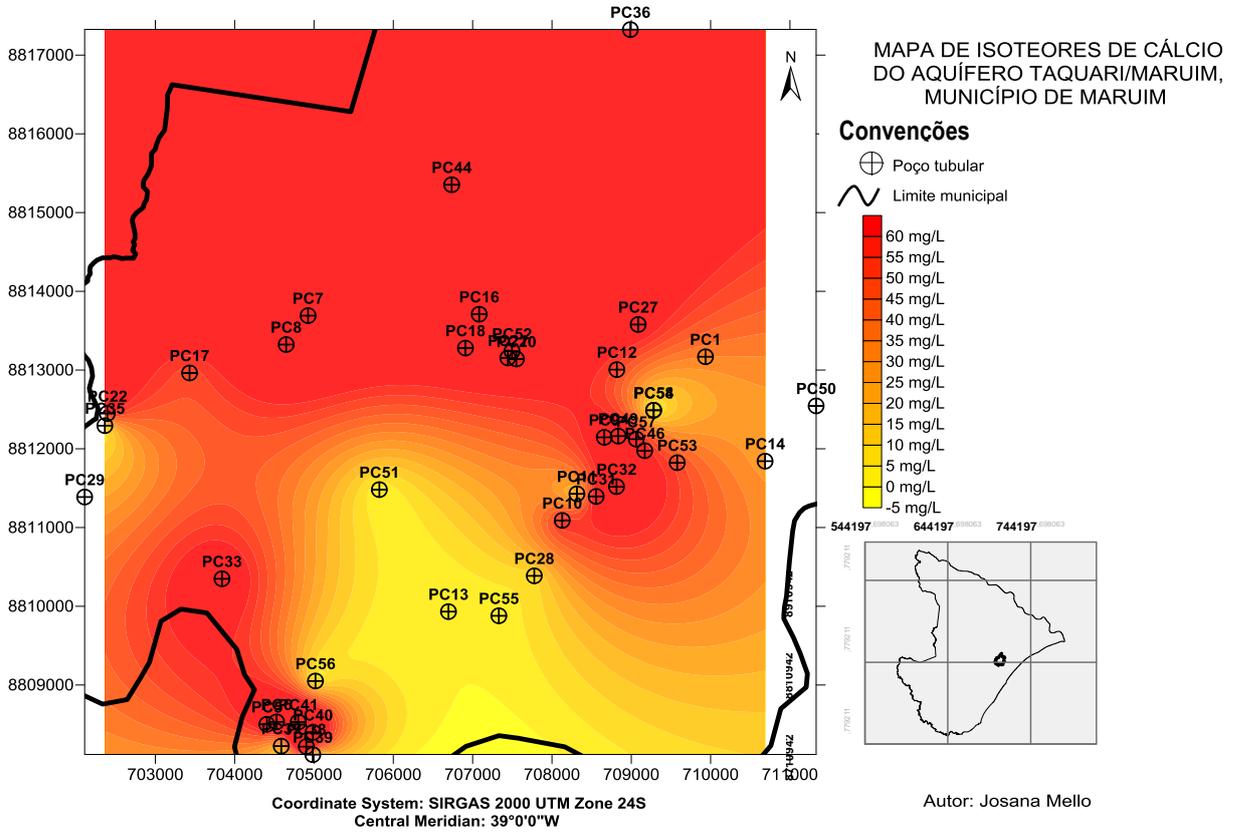
D.8 Sulfato

Figura 8 – Mapa de distribuição dos valores de sulfato nas águas subterrâneas de Maruim



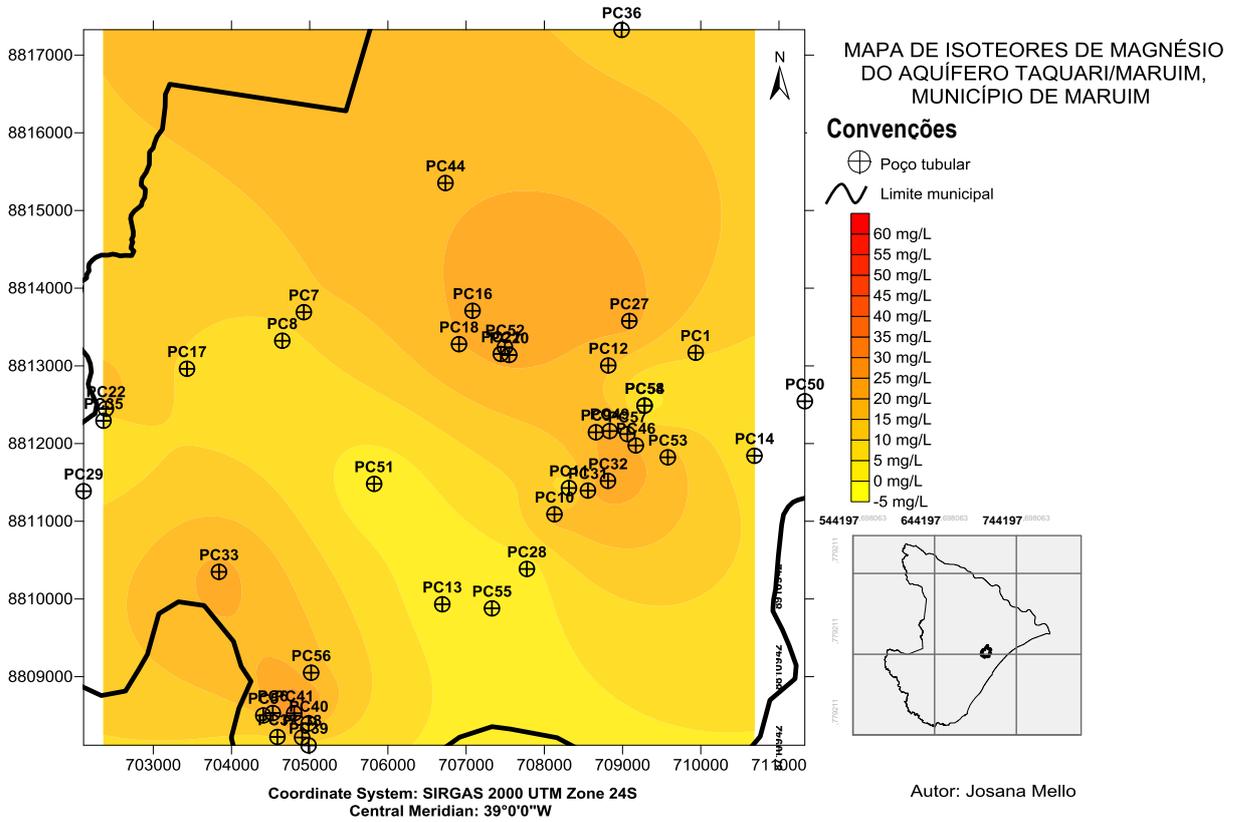
D.9 Cálcio

Figura 9 – Mapa de distribuição dos valores de cálcio nas águas subterrâneas de Marum



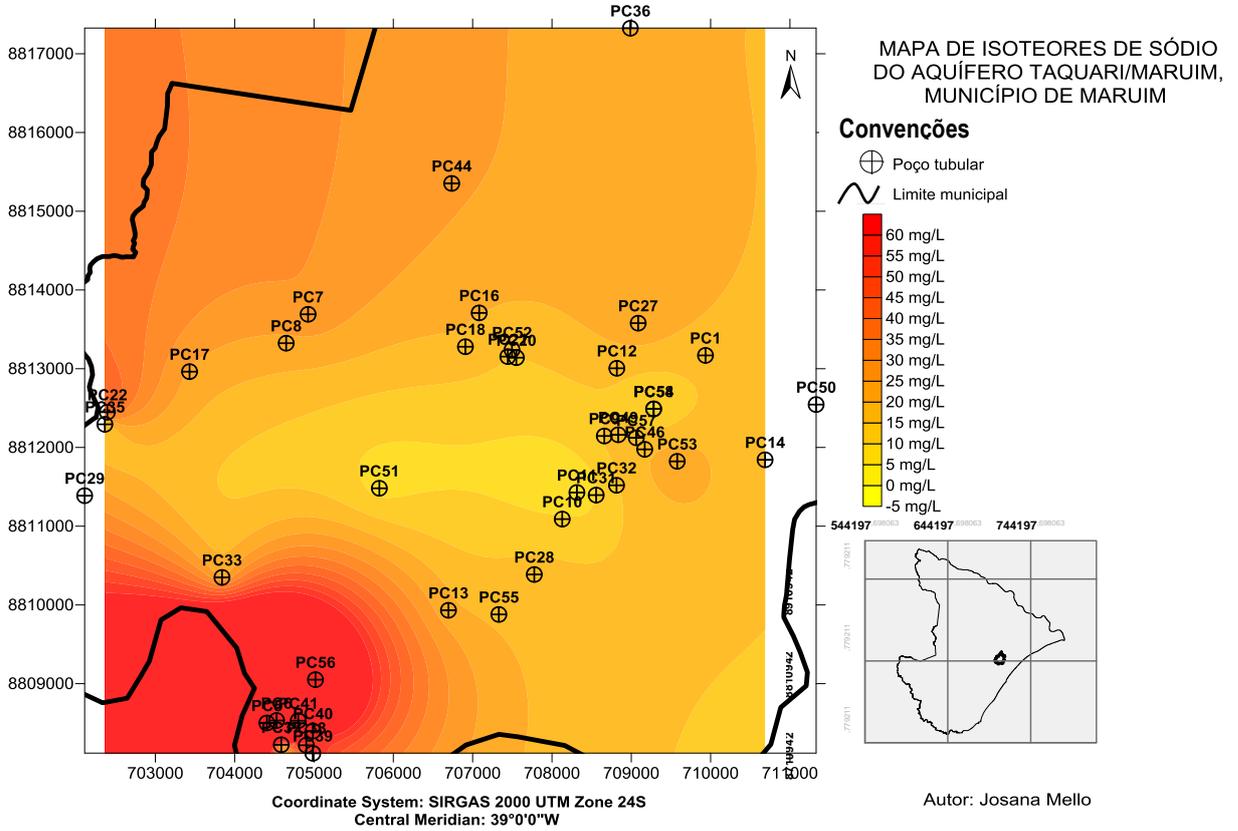
D.10 Magnésio

Figura 10 – Mapa de distribuição dos valores de magnésio nas águas subterrâneas de Maruim



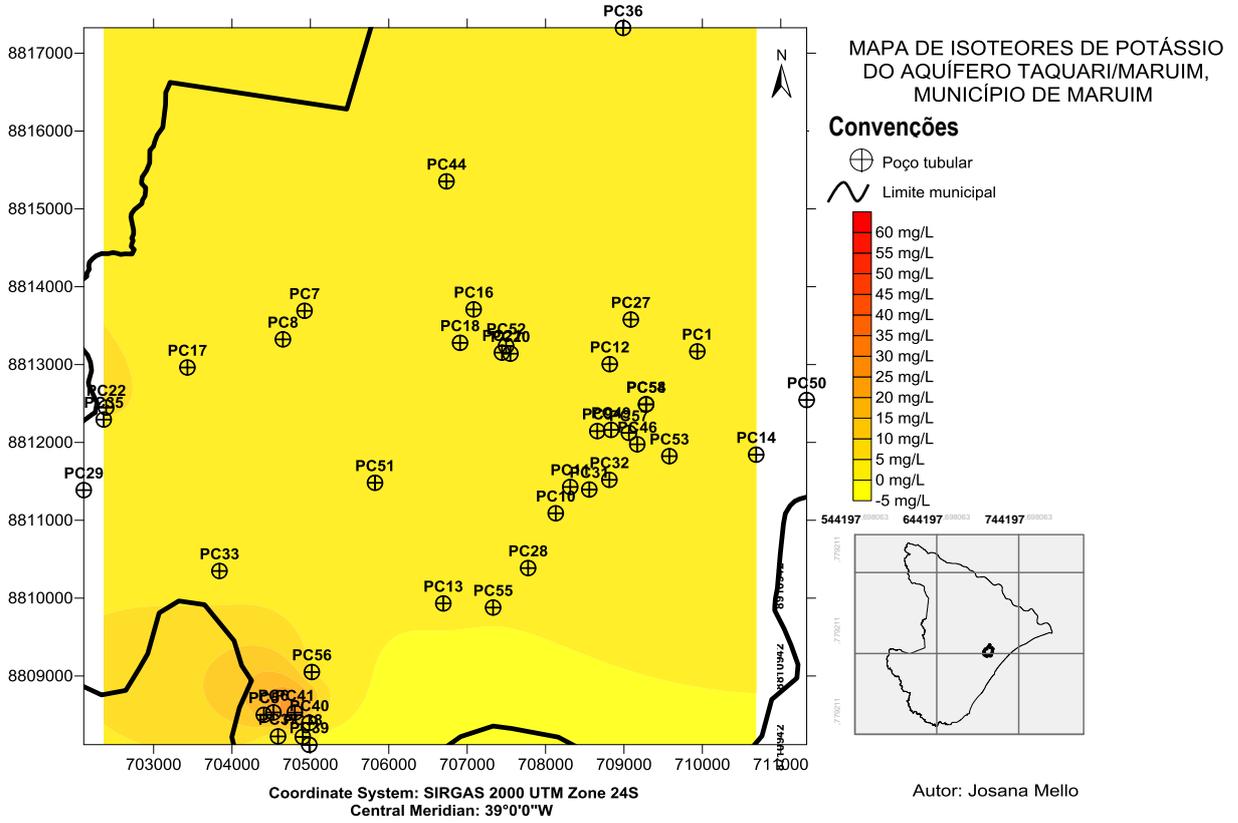
D.11 Sódio

Figura 11 – Mapa de distribuição dos valores de sódio nas águas subterrâneas de Maruim



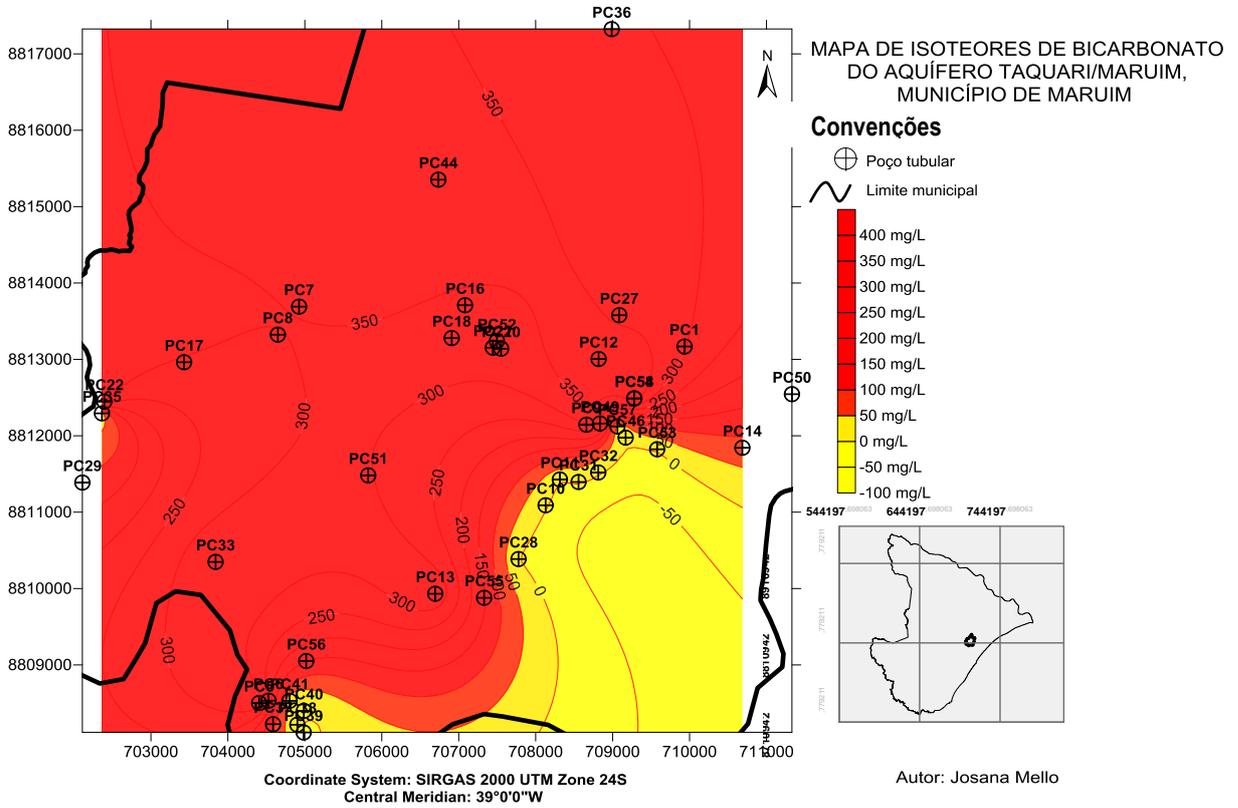
D.12 Potássio

Figura 12 – Mapa de distribuição dos valores de potássio nas águas subterrâneas de Maruim



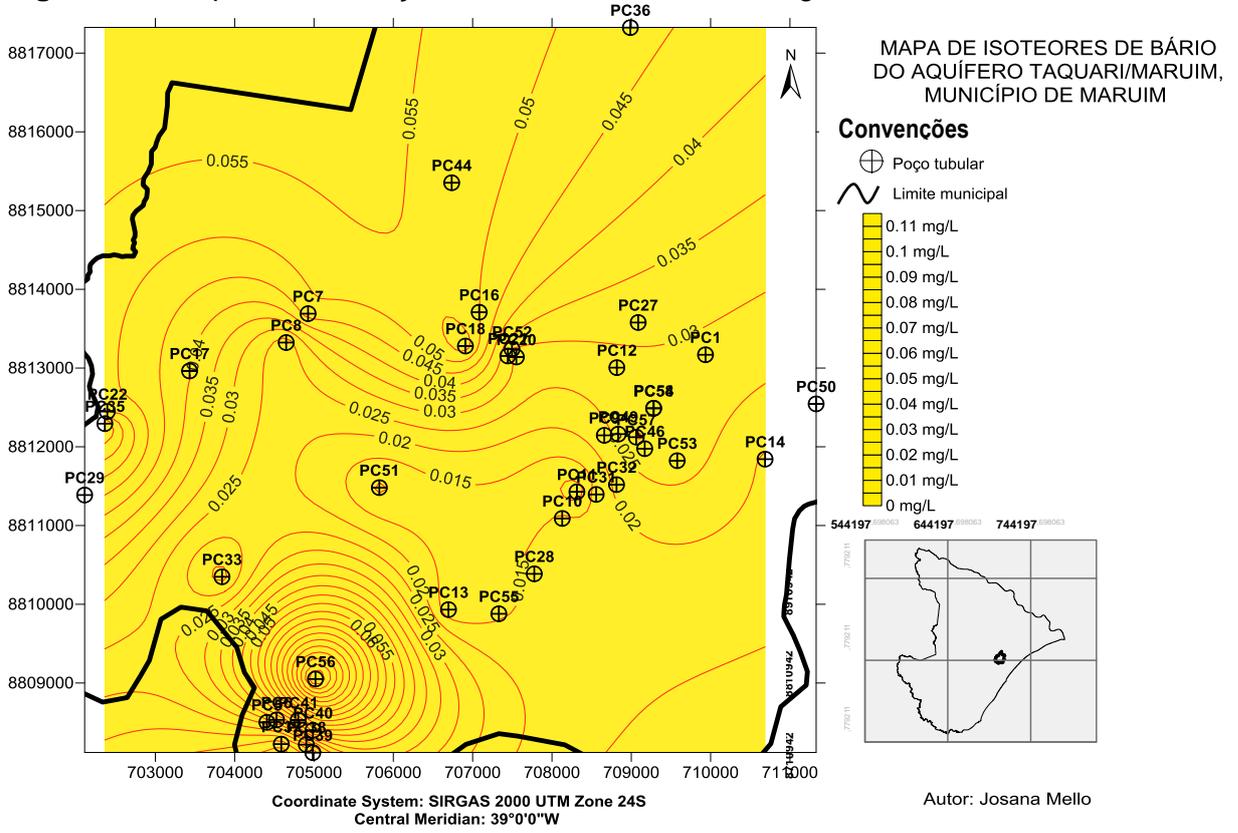
D.13 Alcalinidade bicarbonato

Figura 13 – Mapa de distribuição dos valores de bicarbonato nas águas subterrâneas de Maruim



D.14 Bário

Figura 14 – Mapa de distribuição dos valores de bário nas águas subterrâneas de Maruim



APÊNDICE E – PLANILHAS COM OS DADOS UTILIZADOS NOS MÉTODOS DE
VULNERABILIDADE

E.1 GOD

Figura 1 – Legenda para o método GOD da Planilha “TriVulnerabilidade”

Legenda (Parâmetros)		
Valores para fase 1	Valores para fase 2	Valores para fase 3
1 AUSÊNCIA/ NENHUM 2 FLUXO JORRANTE 3 CONFINADO 4 SEMICONFINADO 5 NÃO CONFINADO (COBERTO) 6 NÃO CONFINADO	Não consolidados (Sedimentos) <ul style="list-style-type: none"> 1 ARGILA LACUSTRINA ESTUARINA/ SOLOS RESIDUAIS 2 SILTE, LOESS, TILL GLACIAL 3 AREIA EÓLICA 4 AREIA ALUVIAL E FLUVIOGLACIAL 5 CASCALHO DE LEQUES ALUVIAIS 	Inserir valores em metros direto na tabela de cálculo
	Consolidados (rochas porosas) <ul style="list-style-type: none"> 6 LAMITO 7 XISTO 8 SILTITO 9 TUFO VULCÂNICO 10 ARENITO 11 CALCÁRIO 11 CALCARENITO 	
	Consolidados (rochas compactas) <ul style="list-style-type: none"> FORMAÇÕES MAGMÁTICAS 12 METAMÓRFICAS VULCÂNICAS MAIS ANTIGAS 13 LAVA VULCÂNICA RECENTE 14 CALCRETE + CALCÁRIO CÁRSTICO 	

Figura 2 – Dados inseridos e resultados para o método GOD da Planilha “TriVulnerabilidade”

Cordenadas		Ponto		Fase 1		Fase 2		Fase 3		Índice de Vulnerabilidade	
				Grau de confinamento da água subterrânea		Ocorrência de estratos de cobertura		Distância até o lençol freático ou o teto do aquífero confinado			
X	Y	Código	Nome	Valor	Índice	Valor	Índice	Valor	Índice		
709935,4272700	8813171,5436200	PC1	28BC	5	0,6	11	0,9	2,00	1,0	0,54	ALTA
708129,4200390	8811092,5362800	PC10	CHACARA QUE QUE	5	0,6	11	0,9	8,80	1,0	0,54	ALTA
718044,4584310	8816992,5559100	PC101	COMPANHIA VALE DO RIO DOCE	5	0,6	11	0,9	10,00	1,0	0,54	ALTA
720866,4687830	8816358,5528100	PC102	BOA ESPERANCA	5	0,6	11	0,9	10,00	1,0	0,54	ALTA
721142,4698750	8816603,5536500	PC103	PEDRO GONCALVES	5	0,6	11	0,9	10,00	1,0	0,54	ALTA
715666,4492930	8815901,5524200	PC104	FAZENDA DOS PADRES	5	0,6	11	0,9	31,00	1,0	0,54	ALTA
717985,4594880	8821971,5746200	PC105	BOM JARDIM	5	0,6	11	0,9	0,80	1,0	0,54	ALTA
708314,4208090	8811430,5375000	PC11	CHACARA SANTA BARBARA	5	0,6	11	0,9	10,47	1,0	0,54	ALTA
720166,4661120	8816117,5520800	PC111	COMPANHIA VALE DO RIO DOCE	5	0,6	11	0,9	10,00	1,0	0,54	ALTA
720165,4661010	8816086,5519700	PC112	CAPIM DE BURRO	5	0,6	11	0,9	10,00	1,0	0,54	ALTA
716129,4512670	8816881,5559800	PC113	FAZENDA GRANJA	5	0,6	11	0,9	5,00	1,0	0,54	ALTA
717133,4562550	8821762,5740600	PC114	FAZENDA SANTA BARBARA	5	0,6	11	0,9	1,50	1,0	0,54	ALTA
707015,4150730	8807720,5239300	PC117	PINDOBECA (CEDRO)	5	0,6	11	0,9	6,00	1,0	0,54	ALTA
695895,3726050	8802716,5078700	PC118	FAZENDA SERGIPE	5	0,6	11	0,9	11,00	1,0	0,54	ALTA
703684,4007760	8799719,4948500	PC119	FAZENDA SANTISTA TEXTIL	5	0,6	11	0,9	7,20	1,0	0,54	ALTA
708818,0000000	8813008,0000000	PC12	COMUNIDADE PADRE LOYOLA	5	0,6	11	0,9	10,45	1,0	0,54	ALTA
717133,4562550	8821762,5740600	PC120	FAZENDA SANTA BARBARA	5	0,6	11	0,9	2,00	1,0	0,54	ALTA
706695,4144230	8809934,5322900	PC13	CRENOR	5	0,6	11	0,9	23,75	1,0	0,54	ALTA
710686,4297360	8811845,5384700	PC14	FAZENDA PRAINHA	6	1,0	11	0,9	0,90	1,0	0,9	EXTREMA
707082,4167830	8813711,5463500	PC16	FAZENDA SAO JOAO	5	0,6	11	0,9	2,10	1,0	0,54	ALTA
703431,4030140	8812965,5444300	PC17	FAZENDA TANQUE VERDE	5	0,6	11	0,9	0,00	1,0	0,54	ALTA
706909,0000000	8813282,0000000	PC18	GENTIL	5	0,6	11	0,9	26,00	1,0	0,54	ALTA
707551,0000000	8813143,0000000	PC20	GRANJA ESTRELA II	5	0,6	11	0,9	12,84	1,0	0,54	ALTA
707443,4179910	8813156,5441800	PC21	GRANJA ESTRELA I	5	0,6	11	0,9	8,49	1,0	0,54	ALTA
702394,3990330	8812450,5427500	PC22	POVOADO MATAS I	5	0,6	11	0,9	1,94	1,0	0,54	ALTA
709087,0000000	8813581,0000000	PC27	ESTACAO SAO VICENTE	5	0,6	11	0,9	0,00	1,0	0,54	ALTA
707777,0000000	8810389,0000000	PC28	PICARREIRA I	5	0,6	11	0,9	7,04	1,0	0,54	ALTA
702109,0000000	8811390,0000000	PC29	POVOADO BORDA DA MATA/ POVOADO MATAS SAO JOSE	5	0,6	11	0,9	4,21	1,0	0,54	ALTA
712379,0000000	8813876,0000000	PC30	POVOADO FAVELA	5	0,6	11	0,9	13,22	1,0	0,54	ALTA

Figura 2 – Dados inseridos e resultados para o método GOD da Planilha “TriVulnerabilidade” (Continua)

708557,4217050	8811397,5373200	PC31	POVOADO FLORISTA	5	0,6	5	0,8	8,55	0,8	0,384	MÉDIA
708814,0000000	8811522,0000000	PC32	POVOADO FLORISTA (DESO P2)	5	0,6	5	0,8	7,32	0,8	0,384	MÉDIA
703840,4039090	8810351,5345400	PC33	POVOADO GUIOMARDIA	5	0,6	11	0,9	7,80	1,0	0,54	ALTA
702363,3988800	8812296,5421800	PC35	MATAS II	5	0,6	11	0,9	6,41	1,0	0,54	ALTA
708988,4247670	8817326,5594400	PC36	POVOADO OITEIRO	5	0,6	11	0,9	5,71	1,0	0,54	ALTA
704587,4061740	8808226,5264100	PC37	KORPUS MOTEL	5	0,6	11	0,9	0,00	1,0	0,54	ALTA
704903,0000000	8808220,0000000	PC38	POVOADO PAU FERRO (ASSOCIACAO DE MORADORES)	5	0,6	5	0,8	2,23	0,9	0,432	MÉDIA
704985,0000000	8808118,0000000	PC39	POVOADO PAU FERRO (ESCOLA)	5	0,6	11	0,9	13,02	1,0	0,54	ALTA
704987,0000000	8808401,0000000	PC40	POVOADO PAU FERRO (CLINICA)	5	0,6	5	0,8	12,56	0,8	0,384	MÉDIA
704801,4070430	8808532,5275100	PC41	POVOADO PEDRA BRANCA	5	0,6	5	0,8	5,35	0,8	0,384	MÉDIA
706736,0000000	8815356,0000000	PC44	RODOVIA MARUIM/DIVINA PASTORA	5	0,6	11	0,9	2,27	1,0	0,54	ALTA
712108,0000000	8809391,0000000	PC45	RUA DA FABRICA	5	0,6	11	0,9	12,30	1,0	0,54	ALTA
709169,4241250	8811978,5393400	PC46	LACHEZ (DESO P3)	5	0,6	11	0,9	1,22	1,0	0,54	ALTA
708835,4229280	8812163,5401200	PC49	MARGEM BR - 101/SANTA LUZIA/BR-101, KM 70 (DESO) P1	5	0,6	11	0,9	12,38	1,0	0,54	ALTA
704406,4055680	8808503,5274900	PC5	FLEXA BR-101, KM 75	6	1,0	11	0,9	10,24	1,0	0,9	EXTREMA
711330,4323060	8812547,5409400	PC50	SITIO JOAO PEREIRA	5	0,6	11	0,9	3,89	1,0	0,54	ALTA
705824,0000000	8811484,0000000	PC51	FAZENDA ZABELE	5	0,6	5	0,8	7,36	0,8	0,384	MÉDIA
707496,0000000	8813242,0000000	PC52	GRANJA ESTRELA III	5	0,6	11	0,9	11,50	1,0	0,54	ALTA
709579,0000000	8811826,0000000	PC53	FABRICA TEXTIL	6	1,0	5	0,8	2,76	0,9	0,72	EXTREMA
709282,0000000	8812492,0000000	PC54	CASA NO OITEIROS	6	1,0	11	0,9	7,44	1,0	0,9	EXTREMA
707330,3000000	8809881,6600000	PC55	PICARREIRA II	6	1,0	11	0,9	1,20	1,0	0,9	EXTREMA
705018,4079760	8809053,5294000	PC56	SITIO PEDRA BRANCA	5	0,6	11	0,9	13,34	1,0	0,54	ALTA
709063,0000000	8812125,0000000	PC57	CANOAS ECOCLUBE	5	0,6	5	0,8	8,95	0,8	0,384	MÉDIA
709282,0000000	8812492,0000000	PC58	SITIO BELA VISTA	5	0,6	11	0,9	5,00	1,0	0,54	ALTA
704528,4060290	8808534,5275800	PC6	FLEXA BR-101, KM 75	5	0,6	11	0,9	0,69	1,0	0,54	ALTA
717508,4568830	8818747,5626400	PC63	FAZENDA MARRECCAS	5	0,6	11	0,9	4,00	1,0	0,54	ALTA
715669,4494280	8816392,5542700	PC65	CRUZ DO EVARISTO	5	0,6	11	0,9	7,00	1,0	0,54	ALTA
720329,4683920	8822571,5762700	PC66	LAVANDERIA GURDURA	5	0,6	11	0,9	3,00	1,0	0,54	ALTA
714755,4459000	8815906,5526700	PC67	VILA CAJA	5	0,6	11	0,9	3,75	1,0	0,54	ALTA
716856,4538810	8816508,5544000	PC68	POVOADO TAMANDARE	5	0,6	11	0,9	4,91	1,0	0,54	ALTA
719934,4669020	8822511,5761500	PC69	BALNEARIO PARQUE DA MANGUEIRA	5	0,6	11	0,9	2,00	1,0	0,54	ALTA
704925,4087500	8813693,5468000	PC7	CAITITU	5	0,6	11	0,9	6,98	1,0	0,54	ALTA
700748,3914860	8806436,5206300	PC73	SALINAS	5	0,6	11	0,9	7,00	1,0	0,54	ALTA
721050,4707390	8821244,5711000	PC74	MATADOURO PUBLICO	5	0,6	11	0,9	4,40	1,0	0,54	ALTA
718001,4577900	8815118,5488900	PC76	FAZENDA MARACUJPA	5	0,6	11	0,9	2,00	1,0	0,54	ALTA
714036,4436640	8817662,5594400	PC77	SITIO BOA ESPERANCA	5	0,6	11	0,9	16,00	1,0	0,54	ALTA
700149,3872250	8797805,4885500	PC78	OITEIROS	5	0,6	11	0,9	29,00	1,0	0,54	ALTA

Figura 2 – Dados inseridos e resultados para o método GOD da Planilha “TriVulnerabilidade” (Conclusão)

700035,3882890	8804105,5120900	PC79	POSTO XAVIER	5	0,6	11	0,9	1,30	1,0	0,54	ALTA
704649,4076340	8813326,5454900	PC8	CAITITU I	5	0,6	11	0,9	9,62	1,0	0,54	ALTA
697766,3802090	8805563,5180700	PC80	BOA VISTA	5	0,6	11	0,9	20,00	1,0	0,54	ALTA
704912,4094280	8816706,5581000	PC81	SAO JOSE DA MATA	5	0,6	11	0,9	5,00	1,0	0,54	ALTA
721172,4699630	8816510,5533000	PC82	PEDRO GONCALVES	5	0,6	11	0,9	10,40	1,0	0,54	ALTA
721684,4740890	8825020,5851300	PC83	FORGES	5	0,6	11	0,9	1,60	1,0	0,54	ALTA
703137,3999430	8804701,5135800	PC84	VARZEA	5	0,6	11	0,9	3,60	1,0	0,54	ALTA
698561,3810360	8796493,4840300	PC85	POVOADO BITA	5	0,6	11	0,9	12,80	1,0	0,54	ALTA
704600,4055410	8805398,5158300	PC87	POVOADO CEDRO	5	0,6	11	0,9	22,57	1,0	0,54	ALTA
701729,3931030	8797918,4886000	PC88	OITEIROS	5	0,6	11	0,9	4,20	1,0	0,54	ALTA
708660,0000000	8812148,0000000	PC9	CANTO ALEGRE (SEDE)	5	0,6	11	0,9	2,70	1,0	0,54	ALTA
719109,4636810	8821963,5743000	PC90	DISTRITO INDUSTRIAL	5	0,6	11	0,9	24,40	1,0	0,54	ALTA
719782,4651510	8817933,5590000	PC91	OLHO D'AGUA	5	0,6	11	0,9	3,00	1,0	0,54	ALTA
719860,4673090	8825155,5861100	PC92	PATIOBA	5	0,6	11	0,9	2,50	1,0	0,54	ALTA
700625,3909710	8806191,5197500	PC93	SALINAS	5	0,6	11	0,9	12,50	1,0	0,54	ALTA
703141,3989050	8800306,4971700	PC94	IBURA	5	0,6	11	0,9	7,62	1,0	0,54	ALTA
719683,4668700	8826017,5894000	PC95	PATIOBA	5	0,6	11	0,9	5,65	1,0	0,54	ALTA
712500,4361040	8810327,5323300	PC96	FAZENDA LOMBADA	5	0,6	11	0,9	0,20	1,0	0,54	ALTA
711766,4331850	8809564,5296600	PC98	FAZENDA SANTA MARGUERITE	5	0,6	11	0,9	19,00	1,0	0,54	ALTA
703593,4004170	8799627,4945300	PC99	FABRICA SANTISTA TEXTIL	5	0,6	11	0,9	11,40	1,0	0,54	ALTA

E.2 DRASTIC E DRASTICP

Figura 3 – Legenda para o método DRASTIC e DRASTICP da Planilha “TriVulnerabilidade”

Legenda (Parâmetros)								
Valores para fase 1 (m)	Valores para fase 2 (mm)	Valores para fase 3		Valores para fase 4	Valores para fase 5 (%)	Valores para fase 6		Valores para fase 7 (m/dia)
Inserir valores (Profundidade do nível piezométrico) em metros direto na tabela de cálculo	Inserir valores (Recarga bruta) em milímetros direto na tabela de cálculo	1 - 3	1 Xisto (Folhelho) maciço	1 Fino ou ausente	Inserir valores (Declividade do terreno) em % direto na tabela de cálculo	1	1 Camada de confinamento	Inserir valores (Condutividade hidráulica) em "m/dia" direto na tabela de cálculo
		2 - 5	2 Metamórfica / Ígnea	2 Cascalho (gravilhão)		2 - 6	2 Silte / argila	
		3 - 5	3 Metamórfica / Ígnea intemperizadas	3 Areia		2 - 5	3 Xisto (Folhelho)	
			4 Till Glacial	4 Turfa		2 - 7	4 Calcário	
		5 - 9	5 Camadas de arenito, calcário e sequências de xisto	5 Argila expansiva ou agregada		4 - 8	5 Arenito	
		4 - 9	6 Arenito maciço	6 Marga arenosa		4 - 8	6 Camadas de calcário, arenito, xisto	
		4 - 9	7 Calcário maciço	7 Marga		4 - 8	7 Areia e cascalho com silte e argila	
		4 - 9	8 Areia e Cascalho	8 Marga siltosa		2 - 8	8 Metamórfica / Ígnea	
		2 - 10	9 Basalto	9 Marga argilosa		6 - 9	9 Areia e Cascalho	
		9 - 10	10 Calcário cárstico	10 Solo orgânico		2 - 10	10 Basalto	
				11 Argila não expansiva e agregada		8 - 10	11 Calcário cárstico	
Pesos dos Parâmetros								
Dw	Rw	Aw		Sw	Tw	lw		Cw
5	4	3		2	1	5		3
Pesos dos Parâmetros (Uso de Pesticidas Agrícolas)								
Dw	Rw	Aw		Sw	Tw	lw		Cw
5	4	3		5	3	4		2

Figura 4 – Dados inseridos e resultados para o método DRASTIC e DRASTICP da Planilha “TriVulnerabilidade”

Cordenadas		Ponto		Fase 1		Fase 2		Fase 3		Fase 4		Fase 5		Fase 6		Fase 7		Índice de Vulnerabilidade	Índice de Vulnerabilidade (Uso de Pesticidas Agrícolas)			
				Profundidade da água (D)		Recarga bruta (R)		Material do aquífero (A)		Tipo de solo (S)		Topografia (T)		Impacto sobre a zona não saturada (I)		Condutividade hidráulica (C)						
X	Y	Código	Nome	Valor	Índice	Valor	Índice	Valor	Índice	Atribuir	Valor	Índice	Valor	Índice	Valor	Índice	Atribuir	Valor	Índice			
709935,4272700	8813171,5436200	PC1	288C	2,00	9	558,6	9	5	6		7	5	1,2800	10	6	6		8,64000	2	155	182	ALTA
708129,4200390	8811092,5362800	PC10	CHACARA QUE QUE	8,80	7	558,6	9	5	6		7	5	1,0000	10	6	6		8,64000	2	145	172	ALTA
718044,4584310	8816992,5559100	PC101	COMPANHIA VALE DO RIO DOCE	10,00	5	558,6	9	5	6		9	3	1,9300	10	6	6		8,64000	2	131	152	INTERMEDIÁRIA
720866,4687830	8816358,5528100	PC102	BOA ESPERANCA	10,00	5	558,6	9	7	6		5	7	1,1500	10	4	6		0,08640	1	136	170	ALTA
721142,4698750	8816603,5536500	PC103	PEDRO GONCALVES	10,00	5	558,6	9	7	6		5	7	0,5700	10	4	6		0,08640	1	136	170	ALTA
715666,4492930	8815901,5524200	PC104	FAZENDA DOS PADRES	31,00	1	558,6	9	5	6		9	3	0,9400	10	6	6		8,64000	2	111	132	INTERMEDIÁRIA
717985,4594880	8821971,5746200	PC105	BOM JARDIM	0,80	10	503,5	9	5	6		5	7	1,7300	10	6	6		8,64000	2	164	197	ALTA
708314,4208090	8811430,5375000	PC11	CHACARA SANTA BARBARA	10,47	5	558,6	9	5	6		7	5	2,3000	9	6	6		8,64000	2	134	159	INTERMEDIÁRIA
720166,4661120	8816117,5520800	PC111	COMPANHIA VALE DO RIO DOCE	10,00	5	558,6	9	7	6		5	7	0,6400	10	4	6		0,08640	1	136	170	ALTA
720166,4661010	8816086,5519700	PC112	CAPIM DE BURRO	10,00	5	558,6	9	7	6		5	7	0,2300	10	4	6		0,08640	1	136	170	ALTA
716129,4512670	8816881,5559800	PC113	FAZENDA GRANJA	5,00	7	558,6	9	5	6		9	3	2,6300	9	6	6		8,64000	2	140	159	INTERMEDIÁRIA
717133,4562550	8821762,5740600	PC114	FAZENDA SANTA BARBARA	1,50	10	558,6	9	5	6		10	2	1,0200	10	6	6		8,64000	2	154	172	ALTA
707015,4150730	8807720,5239300	PC117	PINDOBECA (CEDRO)	6,00	7	503,5	9	7	6		3	9	0,9100	10	4	6		0,08640	1	150	190	ALTA
695895,3726050	8802716,5078700	PC118	FAZENDA SERGIPE	11,00	5	448,4	9	7	6		7	5	1,0300	10	4	6		0,08640	1	132	160	ALTA
703684,4007760	8799719,4948500	PC119	FAZENDA SANTISTA TEXTIL	7,20	7	503,5	9	7	6		7	5	1,5900	10	4	6		0,08640	1	142	170	ALTA
708818,0000000	8813008,0000000	PC12	COMUNIDADE PADRE LOYOLA	10,45	5	558,6	9	5	6		7	5	1,3700	10	6	6		8,64000	2	135	162	ALTA
717133,4562550	8821762,5740600	PC120	FAZENDA SANTA BARBARA	2,00	9	558,6	9	5	6		10	2	1,0200	10	6	6		8,64000	2	149	167	ALTA
706695,4144230	8809934,5322900	PC13	CRENOR	23,75	2	503,5	9	5	6		7	5	4,2700	9	6	6		8,64000	2	119	144	INTERMEDIÁRIA
710686,4297360	8811845,5384700	PC14	FAZENDA PRAINHA	0,90	10	558,6	9	5	6		7	5	1,4000	10	6	6		8,64000	2	160	187	ALTA
707082,4167830	8813711,5463500	PC16	FAZENDA SAO JOAO	2,10	9	558,6	9	5	6		7	5	1,5000	10	6	6		8,64000	2	155	182	ALTA
703431,4030140	8812965,5444300	PC17	FAZENDA TANQUE VERDE			503,5	9	5	6		7	5	0,9500	10	7	6		86,40000	10			
706909,0000000	8813282,0000000	PC18	GENTIL	26,00	2	558,6	9	5	6		7	5	1,3600	10	6	6		8,64000	2	120	147	INTERMEDIÁRIA
707551,0000000	8813143,0000000	PC20	GRANJA ESTRELA II	12,84	5	558,6	9	5	6		7	5	1,5700	10	6	6		8,64000	2	135	162	ALTA
707443,4179910	8813156,5441800	PC21	GRANJA ESTRELA I	8,49	7	558,6	9	5	6		7	5	0,1400	10	6	6		8,64000	2	145	172	ALTA
702394,3990330	8812450,5427500	PC22	POVOADO MATAS I	1,94	9	503,5	9	5	6		7	5	0,8600	10	6	6		8,64000	2	155	182	ALTA
709087,0000000	8813581,0000000	PC27	ESTACAO SAO VICENTE			558,6	9	5	6		7	5	0,3200	10	6	6		8,64000	2			
707777,0000000	8810389,0000000	PC28	PICARREIRA I	7,04	7	558,6	9	5	6		7	5	5,1800	9	6	6		8,64000	2	144	169	ALTA
702109,0000000	8811390,0000000	PC29	POVOADO BORDA DA MATA/ POVOADO MATAS SAO JOSE	4,21	9	503,5	9	5	6		7	5	0,3700	10	6	6		8,64000	2	155	182	ALTA
712379,0000000	8813876,0000000	PC30	POVOADO FAVELA	13,22	5	558,6	9	5	6		9	3	1,2100	10	6	6		8,64000	2	131	153	INTERMEDIÁRIA
708557,4217050	8811397,5373200	PC31	POVOADO FLORISTA	8,55	7	558,6	9	5	6		7	5	1,8200	10	7	6		86,40000	10	169	188	ALTA
708814,0000000	8811522,0000000	PC32	POVOADO FLORISTA (DESO P2)	7,32	7	558,6	9	5	6		7	5	1,3800	10	7	6		86,40000	10	169	188	ALTA
703840,4039090	8810351,5345400	PC33	POVOADO GUIOMARDIA	7,80	7	503,5	9	5	6		3	9	0,4500	10	6	6		8,64000	2	153	192	ALTA
702363,3988800	8812296,5421800	PC35	MATAS II	6,41	7	503,5	9	5	6		7	5	1,4600	10	6	6		8,64000	2	145	172	ALTA
708988,4247670	8817326,5594400	PC36	POVOADO OITEIRO	5,71	7	558,6	9	5	6		9	3	0,7700	10	6	6		8,64000	2	141	162	ALTA
704587,4061740	8808226,5264100	PC37	KORPUS MOTEL			503,5	9	5	6		3	9	2,2800	9	6	6		8,64000	2			
704903,0000000	8808220,0000000	PC38	POVOADO PAU FERRO (ASSOCIACAO DE MORADORES)	2,23	9	503,5	9	5	6		3	9	2,7400	9	7	6		86,40000	10	186	215	ALTA
704985,0000000	8808118,0000000	PC39	POVOADO PAU FERRO (ESCOLA)	13,02	5	503,5	9	7	6		3	9	3,1600	9	4	6		0,08640	1	139	177	ALTA
704987,0000000	8808401,0000000	PC40	POVOADO PAU FERRO (CLINICA)	12,56	5	503,5	9	5	6		3	9	0,7700	10	7	6		86,40000	10	167	198	ALTA
704801,4070430	8808532,5275100	PC41	POVOADO PEDRA BRANCA	5,35	7	503,5	9	5	6		3	9	1,2600	10	7	6		86,40000	10	177	208	ALTA
706736,0000000	8815356,0000000	PC44	RODOVIA MARIUM/DIVINA PASTORA	2,27	9	558,6	9	5	6		7	5	0,6000	10	6	6		8,64000	2	155	182	ALTA
712108,0000000	8809391,0000000	PC45	RUA DA FABRICA	12,30	5	613,7	9	7	6		3	9	0,0900	10	4	6		0,08640	1	140	180	ALTA
709169,4241250	8811978,5393400	PC46	LACHEZ (DESO P3)	1,22	10	558,6	9	5	6		7	5	0,2800	10	6	6		8,64000	2	160	187	ALTA
708835,4229280	8812163,5401200	PC49	MARGEM BR - 101/SANTA LUZIA/BR-101, KM 70 (DESO) P1	12,38	5	558,6	9	5	6		7	5	1,1500	10	6	6		8,64000	2	135	162	ALTA
704406,4055680	8808503,5274900	PC5	FLEXA BR-101, KM 75	10,24	5	503,5	9	5	6		3	9	2,3000	9	6	6		8,64000	2	142	179	ALTA
711330,4323060	8812547,5409400	PC50	SITIO JOAO PEREIRA	3,89	9	558,6	9	5	6		9	3	0,4000	10	6	6		8,64000	2	151	172	ALTA
705824,0000000	8811484,0000000	PC51	FAZENDA ZABELE	7,36	7	503,5	9	5	6		7	5	0,9900	10	7	6		86,40000	10	169	188	ALTA
707496,0000000	8813242,0000000	PC52	GRANJA ESTRELA III	11,50	5	558,6	9	5	6		7	5	0,3200	10	6	6		8,64000	2	135	162	ALTA
709579,0000000	8811826,0000000	PC53	FABRICA TEXTIL	2,76	9	558,6	9	5	6		3	9	0,3900	10	7	6		86,40000	10	187	218	ALTA
709282,0000000	8812492,0000000	PC54	CASA NO OITEIROS	7,44	7	558,6	9	5	6		9	3	1,5900	10	6	6		8,64000	2	141	162	ALTA
707330,3000000	8809881,6600000	PC55	PICARREIRA II	1,20	10	558,6	9	5	6		3	9	1,5500	10	6	6		8,64000	2	168	207	ALTA

Figura 4 – Dados inseridos e resultados para o método DRASTIC e DRASTICP da Planilha “TriVulnerabilidade” (Conclusão)

705018,4079760	8809053,5294000	PC56	SITIO PEDRA BRANCA	13,34	5	503,5	9	5	6	3	9	2,7400	9	6	6	8,64000	2	142	INTERMEDIÁRIA	179	ALTA
709063,0000000	8812125,0000000	PC57	CANOAS ECOCLUBE	8,95	7	558,6	9	5	6	9	3	1,0800	10	7	6	86,40000	10	165	ALTA	178	ALTA
709282,0000000	8812492,0000000	PC58	SITIO BELA VISTA	5,00	7	558,6	9	5	6	7	5	1,6400	10	6	6	8,64000	2	145	INTERMEDIÁRIA	172	ALTA
704528,4060290	8808534,5275800	PC6	FLEXA BR-101, KM 75	0,68	10	503,5	9	5	6	3	9	2,0400	9	6	6	8,64000	2	167	ALTA	204	ALTA
717508,4568830	8818747,5626400	PC63	FAZENDA MARREAS	4,00	9	558,6	9	5	6	9	3	0,7100	10	6	6	8,64000	2	151	INTERMEDIÁRIA	172	ALTA
715669,4494280	8816392,5542700	PC65	CRUZ DO EVARISTO	7,00	7	558,6	9	5	6	9	3	0,3200	10	6	6	8,64000	2	141	INTERMEDIÁRIA	162	ALTA
720329,4683920	8822571,5762700	PC66	LAVANDERIA GURDURA	3,00	9	503,5	9	5	6	5	7	1,3400	10	6	6	8,64000	2	159	INTERMEDIÁRIA	192	ALTA
714755,4459000	8815906,5526700	PC67	VILA CAJA	3,75	9	558,6	9	5	6	9	3	1,2900	10	6	6	8,64000	2	151	INTERMEDIÁRIA	172	ALTA
716856,4538810	8816508,5544000	PC68	POVOADO TAMANDARE	4,91	7	558,6	9	5	6	5	7	1,8400	10	6	6	8,64000	2	149	INTERMEDIÁRIA	182	ALTA
711934,4669020	8822511,5761500	PC69	BALNEARIO PARQUE DA MANGUEIRA	2,00	9	503,5	9	5	6	5	7	3,0200	9	6	6	8,64000	2	158	INTERMEDIÁRIA	189	ALTA
704925,4087500	8813693,5468000	PC7	CAITITU	6,98	7	558,6	9	5	6	7	5	0,6000	10	6	6	8,64000	2	145	INTERMEDIÁRIA	172	ALTA
700748,3914860	8806436,5206300	PC73	SALINAS	7,00	7	448,4	9	5	6	7	5	0,5700	10	6	6	8,64000	2	145	INTERMEDIÁRIA	172	ALTA
721050,4077390	8821244,5711000	PC74	MATADOURO PUBLICO	4,40	9	503,5	9	5	6	5	7	2,6100	9	6	6	8,64000	2	158	INTERMEDIÁRIA	189	ALTA
718001,4577900	8815118,5488900	PC76	FAZENDA MARACUJIPA	2,00	9	558,6	9	7	6	5	7	1,9900	10	4	6	0,08640	1	156	INTERMEDIÁRIA	190	ALTA
714036,4436640	8817662,5594400	PC77	SITIO BOA ESPERANCA	16,00	3	558,6	9	5	6	9	3	0,9200	10	6	6	8,64000	2	121	INTERMEDIÁRIA	142	INTERMEDIÁRIA
700149,3872250	8797805,4885500	PC78	OITEIROS	29,00	2	503,5	9	7	6	7	5	1,8800	10	4	6	0,08640	1	117	BAIXA	145	INTERMEDIÁRIA
700035,3882890	8804105,5120900	PC79	POSTO XAVIER	1,30	10	448,4	9	7	6	7	5	0,9900	10	4	6	0,08640	1	157	INTERMEDIÁRIA	185	ALTA
704649,4076340	8813326,5454900	PC8	CAITITU I	9,62	5	558,6	9	5	6	7	5	0,3200	10	6	6	8,64000	2	135	INTERMEDIÁRIA	162	ALTA
697766,3802090	8805563,5180700	PC80	BOA VISTA	20,00	3	448,4	9	5	6	11	1	1,2200	10	6	6	8,64000	2	117	BAIXA	132	INTERMEDIÁRIA
704912,4094280	8816706,5581000	PC81	SAO JOSE DA MATA	5,00	7	558,6	9	5	6	7	5	3,1800	9	6	6	8,64000	2	144	INTERMEDIÁRIA	169	ALTA
721172,4699630	8816510,5533000	PC82	PEDRO GONCALVES	10,40	5	558,6	9	7	6	5	7	1,6800	10	4	6	0,08640	1	136	INTERMEDIÁRIA	170	ALTA
721684,4740890	8825020,5851300	PC83	FORGES	1,60	9	503,5	9	5	6	5	7	2,2300	9	6	6	8,64000	2	158	INTERMEDIÁRIA	189	ALTA
703137,3999430	8804701,5135800	PC84	VARZEA	3,60	9	448,4	9	7	6	7	5	2,4000	9	4	6	0,08640	1	151	INTERMEDIÁRIA	177	ALTA
698561,3810360	8796493,4840300	PC85	POVOADO BITA	12,80	5	503,5	9	7	6	11	1	1,8700	10	4	6	0,08640	1	124	INTERMEDIÁRIA	140	INTERMEDIÁRIA
704600,4055410	8805398,5158300	PC87	POVOADO CEDRO	22,57	3	448,4	9	7	6	7	5	3,1000	9	4	6	0,08640	1	121	INTERMEDIÁRIA	147	INTERMEDIÁRIA
701729,3931030	8797918,4886000	PC88	OITEIROS	4,20	9	503,5	9	7	6	7	5	1,0300	10	4	6	0,08640	1	152	INTERMEDIÁRIA	180	ALTA
708660,0000000	8812148,0000000	PC9	CANTO ALEGRE (SEDE)	2,70	9	558,6	9	5	6	7	5	0,7200	10	6	6	8,64000	2	155	INTERMEDIÁRIA	182	ALTA
719109,4636810	8821963,5743000	PC90	DISTRITO INDUSTRIAL	24,40	2	503,5	9	5	6	5	7	2,3100	9	6	6	8,64000	2	123	INTERMEDIÁRIA	154	INTERMEDIÁRIA
719782,4651510	8817933,5590000	PC91	OLHO D'AGUA	3,00	9	558,6	9	5	6	5	7	1,5300	10	6	6	8,64000	2	159	INTERMEDIÁRIA	192	ALTA
719860,4673090	8825155,5861100	PC92	PATIOBA	2,50	9	503,5	9	5	6	5	7	0,9000	10	6	6	8,64000	2	159	INTERMEDIÁRIA	192	ALTA
700625,3909710	8806191,5197500	PC93	SALINAS	12,50	5	448,4	9	5	6	7	5	1,9300	10	6	6	8,64000	2	135	INTERMEDIÁRIA	162	ALTA
703141,3989050	8800306,4971700	PC94	IBURA	7,62	7	503,5	9	7	6	7	5	0,9600	10	4	6	0,08640	1	142	INTERMEDIÁRIA	170	ALTA
719683,4668700	8826017,5894000	PC95	PATIOBA	5,65	7	503,5	9	5	6	5	7	0,5700	10	6	6	8,64000	2	149	INTERMEDIÁRIA	182	ALTA
712500,4361040	8810327,5323300	PC96	FAZENDA LOMBADA	0,20	10	613,7	9	7	6	7	5	0,2800	10	4	6	0,08640	1	157	INTERMEDIÁRIA	185	ALTA
711766,4331850	8809564,5296600	PC98	FAZENDA SANTA MARGUERITE	19,00	3	613,7	9	7	6	3	9	2,3000	9	4	6	0,08640	1	129	INTERMEDIÁRIA	167	ALTA
703593,4004170	8799627,4945300	PC99	FABRICA SANTISTA TEXTIL	11,40	5	503,5	9	5	6	7	5	0,9700	10	6	6	8,64000	2	135	INTERMEDIÁRIA	162	ALTA

E.3 MAIA

Figura 5 – Dados inseridos e resultados para o método MAIA da Planilha “TriVulnerabilidade”

Cordenadas		Ponto		Fase 1		Fase 2		Fase 3		Fase 4		Fase 5		Fase 6		Fase 7		Índice de Vulnerabilidade	
				Profundidade da água (PA)		Espessura do solo (ES)		Declividade do terreno (DT)		Capacidade específica (CE)		Recarga potencial (RE)		Transmissividade do aquífero (TA)		Densidade de fraturas (DF)			
X	Y	Código	Nome	Valor	Índice	Valor	Índice	Valor	Índice	Valor	Índice	Valor	Índice	Valor	Índice	Valor	Índice		
709935,4272700	8813171,5436200	PC1	28BC	2,00	1,53	2	2,65	1,2800	3,10	0,0056	1	1600	7					9,35	MÉDIA
708129,4200390	8811092,5362800	PC10	CHACARA QUE QUE	8,80	3,51	2	2,65	1,0000	2,61	0,3297	1,05156175	1600	7					9,10	MÉDIA
718044,4584310	8816992,5559100	PC101	COMPANHIA VALE DO RIO DOCE	10,00	3,86	1	1,73	1,9300	4,25	2,5000	1,39687565	1600	7					9,47	MÉDIA
720866,4687830	8816358,5528100	PC102	BOA ESPERANCA	10,00	3,86	2,5	3,11	1,1500	2,87	13,0000	3,06749557	1600	7					11,00	MÉDIA
721142,4698750	8816603,5536500	PC103	PEDRO GONCALVES	10,00	3,86	2,5	3,11	0,5700	1,85	13,0000	3,06749557	1600	7					11,19	MÉDIA
715666,4492930	8815901,5524200	PC104	FAZENDA DOS PADRES	31,00	10,00	1	1,73	0,9400	2,50	0,2500	1,03888567	1600	7					9,11	MÉDIA
717985,4594880	8821971,5746200	PC105	BOM JARDIM	0,80	1,18	2,5	3,11	1,7300	3,90	0,1200	1,0182018	1500	4					6,45	BAIXA
708314,4208090	8811430,5375000	PC11	CHACARA SANTA BARBARA	10,47	4,00	2	2,65	2,3000	4,91	0,2000	1,03093033	1600	7					8,86	MÉDIA
720166,4661120	8816117,5520800	PC111	COMPANHIA VALE DO RIO DOCE	10,00	3,86	2,5	3,11	0,6400	1,97	16,0000	3,54481555	1600	7					11,63	MÉDIA
720165,4661010	8816086,5519700	PC112	CAPIM DE BURRO	10,00	3,86	2,5	3,11	0,2300	1,25	16,0000	3,54481555	1600	7					11,93	MÉDIA
716129,4512670	8816881,5559800	PC113	FAZENDA GRANJA	5,00	2,40	1	1,73	2,6300	5,49	3,0400	1,48279325	1600	7					9,66	MÉDIA
717133,4562550	8821762,5740600	PC114	FAZENDA SANTA BARBARA	1,50	1,38	0,5	1,28	1,0200	2,64	1,5200	1,24095112	1600	7					10,13	MÉDIA
707015,4150730	8807720,5239300	PC117	PINDOBECA (CEDRO)	6,00	2,69	0,5	1,28	0,9100	2,45	0,3619	1,05669046	1500	4					6,62	BAIXA
695895,3726050	8802716,5078700	PC118	FAZENDA SERGIPE	11,00	4,16	2	2,65	1,0300	2,66	0,1751	1,026971	1400	1					3,02	BAIXA
703684,4007760	8799719,4948500	PC119	FAZENDA SANTISTA TEXTIL	7,20	3,05	2	2,65	1,5900	3,65	1,5200	1,24095112	1500	4					6,22	BAIXA
708818,0000000	8813008,0000000	PC12	COMUNIDADE PADRE LOYOLA	10,45	4,00	2	2,65	1,3700	3,26	0,0144	1,00139548	1600	7					8,94	MÉDIA
717133,4562550	8821762,5740600	PC120	FAZENDA SANTA BARBARA	2,00	1,53	0,5	1,28	1,0200	2,64	1,5200	1,24095112	1600	7					10,06	MÉDIA
706695,4144230	8809934,5322900	PC13	CRENOR	23,75	7,88	2	2,65	4,2700	8,39	1,5200	1,24095112	1500	4					5,86	BAIXA
710686,4297360	8811845,5384700	PC14	FAZENDA PRAINHA	0,90	1,20	10	10,00	1,4000	3,32	0,5000	1,07866233	1600	7					9,31	MÉDIA
707082,4167830	8813711,5463500	PC16	FAZENDA SAO JOAO	2,10	1,56	2	2,65	1,5000	3,49	1,5200	1,24095112	1600	7					9,55	MÉDIA
703431,4030140	8812965,5444300	PC17	FAZENDA TANQUE VERDE			2	2,65	0,9500	2,52	0,6667	1,10518541	1500	4						
706909,0000000	8813282,0000000	PC18	GENTIL	26,00	8,54	2	2,65	1,3600	3,25	2,7473	1,43621521	1600	7					9,24	MÉDIA
707551,0000000	8813143,0000000	PC20	GRANJA ESTRELA II	12,84	4,69	2	2,65	1,5700	3,62	7,0370	2,11874846	1600	7					9,99	MÉDIA
707443,4179910	8813156,5441800	PC21	GRANJA ESTRELA I	8,49	3,42	2	2,65	0,1400	1,09	4,5584	1,72438152	1600	7					10,31	MÉDIA
702394,3990330	8812450,5427500	PC22	POVOADO MATAS I	1,94	1,51	5	5,41	0,8600	2,36	1,5463	1,24513354	1500	4					6,52	BAIXA
709087,0000000	8813581,0000000	PC27	ESTACAO SAO VICENTE			2	2,65	0,3200	1,41	1,5200	1,24095112	1600	7						
707777,0000000	8810389,0000000	PC28	PICARREIRA I	7,04	3,00	10	10,00	5,1800	10,00	1,2709	1,20131813	1600	7					8,73	MÉDIA
702109,0000000	8811390,0000000	PC29	POVOADO BORDA DA MATA/ POVOADO MATAS SAO JOSE	4,21	2,17	0,2	1,00	0,3700	1,50	0,3903	1,06120512	1500	4					7,19	BAIXA
712379,0000000	8813876,0000000	PC30	POVOADO FAVELA	13,22	4,80	1	1,73	1,2100	2,98	0,9774	1,15462454	1600	7					9,27	MÉDIA
708557,4217050	8811397,5373200	PC31	POVOADO FLORISTA	8,55	3,44	2	2,65	1,8200	4,06	0,3800	1,05956953	1600	7					8,97	MÉDIA
708814,0000000	8811522,0000000	PC32	POVOADO FLORISTA (DESO P2)	7,32	3,08	2	2,65	1,3800	3,28	6,4067	2,01845529	1600	7					10,02	MÉDIA
703840,4039090	8810351,5345400	PC33	POVOADO GUIOMARDIA	7,80	3,22	0,5	1,28	0,4500	1,64	12,5000	2,98794224	1500	4					8,69	MÉDIA
702363,3988800	8812296,5421800	PC35	MATAS II	6,41	2,81	2	2,65	1,4600	3,42	1,2000	1,19003699	1500	4					6,21	BAIXA
708988,4247670	8817326,5594400	PC36	POVOADO OITEIRO	5,71	2,61	1	1,73	0,7700	2,20	0,2198	1,0340775	1600	7					9,45	MÉDIA

Figura 5 – Dados inseridos e resultados para o método MAIA da Planilha “TriVulnerabilidade” (Conclusão)

704587,4061740	8808226,5264100	PC37	KORPUS MOTEL			0,5	1,28	2,2800	4,87	1,0000	1,15821566	1500	4	
704903,0000000	8808220,0000000	PC38	POVOADO PAU FERRO (ASSOCIACAO DE MORADORES)	2,23	1,59	0,5	1,28	2,7400	5,69	0,1844	1,02844988	1500	4	6,62
704985,0000000	8808118,0000000	PC39	POVOADO PAU FERRO (ESCOLA)	13,02	4,75	0,5	1,28	3,1600	6,43	7,6768	2,22053386	1500	4	7,37
704987,0000000	8808401,0000000	PC40	POVOADO PAU FERRO (CLINICA)	12,56	4,61	0,5	1,28	0,7700	2,20	2,7941	1,44367173	1500	4	6,90
704801,4070430	8808532,5275100	PC41	POVOADO PEDRA BRANCA	5,35	2,50	0,5	1,28	1,2600	3,07	3,5000	1,55598231	1500	4	7,07
706736,0000000	8815356,0000000	PC44	RODOVIA MARUIM/DIVINA PASTORA	2,27	1,60	2	2,65	0,6000	1,90	9,3252	2,482803	1600	7	11,01
712108,0000000	8809391,0000000	PC45	RUA DA FABRICA	12,30	4,54	0,5	1,28	0,0900	1,00	0,0126	1,00110682	1700	10	13,01
709169,4241250	8811978,5393400	PC46	LACHEZ (DESO P3)	1,22	1,30	2	2,65	0,2800	1,34	15,6951	3,49629872	1600	7	12,39
708835,4229280	8812163,5401200	PC49	MARGEM BR - 101/SANTA LUZIA/BR-101, KM 70 (DESO) P1	12,38	4,56	2	2,65	1,1500	2,87	6,2092	1,98702617	1600	7	9,93
704406,4055680	8808503,5274900	PC5	FLEXA BR-101, KM 75	10,24	3,93	0,5	1,28	2,3000	4,91	0,3500	1,05479633	1500	4	6,30
711330,4323060	8812547,5409400	PC50	SITIO JOAO PEREIRA	3,89	2,08	1	1,73	0,4000	1,55	0,1500	1,022975	1600	7	9,73
705824,0000000	8811484,0000000	PC51	FAZENDA ZABELE	7,36	3,09	2	2,65	0,9900	2,59	0,0772	1,01139189	1500	4	6,10
707496,0000000	8813242,0000000	PC52	GRANJA ESTRELA III	11,50	4,30	2	2,65	0,3200	1,41	15,2000	3,41753022	1600	7	11,74
709579,0000000	8811826,0000000	PC53	FABRICA TEXTIL	2,76	1,75	0,5	1,28	0,3900	1,53	1,6102	1,25529769	1600	7	10,26
709282,0000000	8812492,0000000	PC54	CASA NO OITEIROS	7,44	3,12	1	1,73	1,5900	3,65	3,8384	1,60982143	1600	7	9,78
707330,3000000	8809881,6600000	PC55	PICARREIRA II	1,20	1,29	0,5	1,28	1,5500	3,58	1,5200	1,24095112	1600	7	10,08
705018,4079760	8809053,5294000	PC56	SITIO PEDRA BRANCA	13,34	4,84	0,5	1,28	2,7400	5,69	0,2391	1,0371468	1500	4	6,20
709063,0000000	8812125,0000000	PC57	CANOAS ECOCLUBE	8,95	3,56	1	1,73	1,0800	2,75	1,5200	1,24095112	1600	7	9,46
709282,0000000	8812492,0000000	PC58	SITIO BELA VISTA	5,00	2,40	2	2,65	1,6400	3,74	2,1714	1,34459775	1600	7	9,41
704528,4060290	8808534,5275800	PC6	FLEXA BR-101, KM 75	0,69	1,14	0,5	1,28	2,0400	4,45	0,3000	1,046841	1500	4	6,93
717508,4568830	8818747,5626400	PC63	FAZENDA MARREAS	4,00	2,11	1	1,73	0,7100	2,10	5,3333	1,84767785	1600	7	10,38
715669,4494280	8816392,5542700	PC65	CRUZ DO EVARISTO	7,00	2,99	1	1,73	0,3200	1,41	1,5200	1,24095112	1600	7	9,86
720329,4683920	8822571,5762700	PC66	LAVANDERIA GURDURA	3,00	1,82	2,5	3,11	1,3400	3,21	2,0571	1,32641413	1500	4	6,51
714755,4459000	8815906,5526700	PC67	VILA CAJA	3,75	2,04	1	1,73	1,2900	3,12	1,5278	1,24218862	1600	7	9,63
716856,4538810	8816508,5544000	PC68	POVOADO TAMANDARE	4,91	2,38	2,5	3,11	1,8400	4,09	0,0697	1,01019842	1600	7	9,00
719934,4669020	8822511,5761500	PC69	BALNEARIO PARQUE DA MANGUEIRA	2,00	1,53	2,5	3,11	0,3200	6,18	0,0855	1,01271785	1500	4	6,15
704925,4087500	8813693,5468000	PC7	CAITITU	6,98	2,98	2	2,65	0,6000	1,90	0,4355	1,06840633	1600	7	9,31
700748,3914860	8806436,5206300	PC73	SALINAS	2,00	2,99	2	2,65	0,5700	1,85	15,2000	3,41753022	1400	1	5,67
721050,4707390	8821244,5711000	PC74	MATADOURO PUBLICO	4,40	2,23	2,5	3,11	2,6100	5,46	0,8403	1,13281346	1500	4	6,09
718001,4577900	8815118,5488900	PC76	FAZENDA MARACUJPA	2,00	1,53	2,5	3,11	1,9900	4,36	0,3111	1,04860885	1600	7	9,25
714036,4436640	8817662,5594400	PC77	SITIO BOA ESPERANCA	16,00	5,62	1	1,73	0,9200	2,47	0,2000	1,03093033	1600	7	9,19
700149,3872250	8797805,4885500	PC78	OITEIROS	29,00	9,42	2	2,65	1,8800	4,17	1,0000	1,15821566	1500	4	5,88
700035,3882890	8804105,5120900	PC79	POSTO XAVIER	1,30	1,32	2	2,65	0,9900	2,59	1,5944	1,25278121	1400	1	3,77
704649,4076340	8813326,5454900	PC8	CAITITU I	9,62	3,75	2	2,65	0,3200	1,41	0,3500	1,05479633	1600	7	9,41
697766,3802090	8805563,5180700	PC80	BOA VISTA	20,00	6,79	1	1,73	1,2200	3,00	0,2143	1,03320329	1400	1	3,09
704912,4094280	8816706,5581000	PC81	SAO JOSE DA MATA	5,00	2,40	2	2,65	3,1800	6,46	0,8889	1,14053714	1600	7	9,09
721172,4699630	8816510,5533000	PC82	PEDRO GONCALVES	10,40	3,98	2,5	3,11	1,6800	3,81	56,5714	10	1600	7	17,83
721684,4740890	8825020,5851300	PC83	FORGES	1,60	1,41	2,5	3,11	2,2300	4,78	0,0734	1,01078942	1500	4	6,25
703137,3999430	8804701,5135800	PC84	VARZEA	3,60	1,99	2	2,65	2,4000	5,08	11,5789	2,84139663	1400	1	4,92
698561,3810360	8796493,4840300	PC85	POVOADO BITA	12,80	4,68	1	1,73	1,8700	4,15	0,1004	1,01508989	1500	4	6,05
704600,4055410	8805398,5158300	PC87	POVOADO CEDRO	22,57	7,54	2	2,65	3,1000	6,32	0,3000	1,046841	1400	1	2,71
701729,3931030	8797918,4886000	PC88	OITEIROS	4,20	2,17	2	2,65	1,0300	2,66	0,4641	1,07295598	1500	4	6,29
708660,0000000	8812148,0000000	PC9	CANTO ALEGRE (SEDE)	2,70	1,73	10	10,00	0,7200	2,11	0,5710	1,0899641	1600	7	9,24
719109,4636810	8821963,5743000	PC90	DISTRITO INDUSTRIAL	24,40	8,07	2,5	3,11	2,3100	4,93	2,1148	1,33558241	1500	4	5,98
719782,4651510	8817933,5590000	PC91	OLHO D'AGUA	3,00	1,82	2,5	3,11	1,5300	3,55	3,3333	1,52946453	1600	7	9,68
719860,4673090	8825155,5861100	PC92	PATIOBA	2,50	1,67	2,5	3,11	0,9000	2,43	1,1667	1,18473344	1500	4	6,52
700625,3909710	8806191,5197500	PC93	SALINAS	12,50	4,59	2	2,65	1,9300	4,25	6,0000	1,95374896	1400	1	3,78
703141,3989050	8800306,4971700	PC94	IBURA	7,62	3,17	2	2,65	0,9600	2,54	22,6286	4,5994654	1500	4	9,69
719683,4668700	8826017,5894000	PC95	PATIOBA	5,65	2,59	2,5	3,11	0,5700	1,85	0,0118	1,00098085	1500	4	6,25
712500,4361040	8810327,5323300	PC96	FAZENDA LOMBADA	0,20	1,00	2	2,65	0,2800	1,34	1,8561	1,29442618	1700	10	13,42
711766,43331850	8809564,5296600	PC98	FAZENDA SANTA MARGUERITE	19,00	6,49	0,5	1,28	2,3000	4,91	3,6000	1,57189298	1700	10	12,71
703593,4004170	8799627,4945300	PC99	FABRICA SANTISTA TEXTIL	11,40	4,27	2	2,65	0,9700	2,56	1,5200	1,24095112	1500	4	6,24

