



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE GEOGRAFIA, DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

Robson Bezerra de Lima

**QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA BACIA ENDORREICA DO
TABULEIRO DO MARTINS, MACEIÓ-AL**

**Maceió, Alagoas
2019**

ROBSON BEZERRA DE LIMA

**QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA BACIA ENDORREICA DO
TABULEIRO DO MARTINS, MACEIÓ-AL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal de Alagoas, como parte das exigências para obtenção do grau de Mestre em Geografia: Organização do Espaço Geográfico.

Orientador: Prof. Dr. José Vicente Ferreira Neto

Maceió, Alagoas
2019

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

L732q Lima, Robson Bezerra de.
Qualidade das águas subterrâneas na bacia endorreica do Tabuleiro dos Martins / Robson Bezerra de Lima. – 2019.
89 f. : il. color.

Orientador: José Vicente Ferreira Neto.
Dissertação (mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente. Maceió, 2019.

Bibliografia: f. 83-87.

Anexo: f. 89.

1. Água - Poluição. 2. Geoestatística. 3. Vulnerabilidade de aquíferos. I. Título.

CDU: 911.2:556.33(813.5)

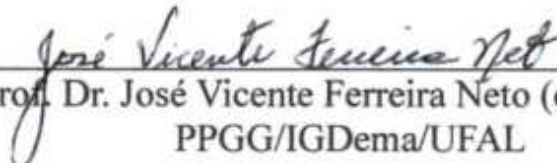
ROBSON BEZERRA DE LIMA

**QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA BACIA ENDORREICA DO
TABULEIRO DO MARTINS, MACEIÓ-AL**

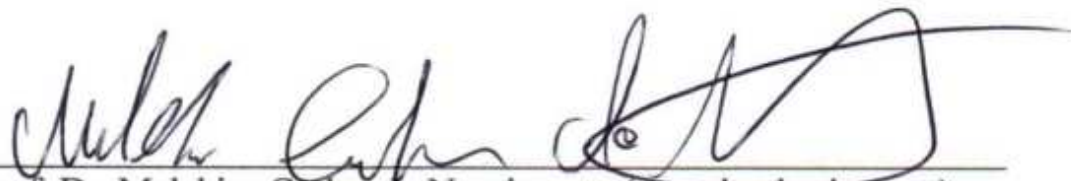
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal de Alagoas, como parte das exigências para obtenção do grau de Mestre em Geografia: Organização do Espaço Geográfico.

APROVADA EM: Maceió/AL, 15 de outubro de 2019.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. José Vicente Ferreira Neto (orientador)
PPGG/IGDema/UFAL



Prof. Dr. Melchior Carlos do Nascimento (examinador interno)
PPGG/IGDema/UFAL



Prof. Dr. Carlos Mauricio Rocha Barroso (examinador externo)
IGDema/Ufal

Aos meus pais, em especial à memória de Josias, com quem aprendi o valor da verdade e da honestidade. A minha esposa e filho, Janaina e Caleb, pois nos momentos mais difíceis me apoiaram em tudo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, autor de meu destino, meu guia, socorro presente na hora da angústia. O que seria de mim sem a fé que tenho nele?

Ao Prof. Dr. José Vicente Ferreira Neto, pela paciência, pela partilha de conhecimento, pelos ensinamentos para a vida, pela orientação, como também pela confiança e dedicação no Estágio em Laboratório.

Ao Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente (IGDema), ao Programa Institucional de Pós-Graduação em Geografia (PPGG), pela oportunidade e apoio de infraestrutura na realização do mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL) pela concessão de bolsa de mestrado para a realização do projeto de pesquisa.

Aos professores da graduação e do mestrado que estiveram ou estão na minha vida. Se não fossem vocês, não teria um motivo para lutar por algo chamado sonho, que através da transmissão de seus conhecimentos, contribuíram para minha formação profissional.

À Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL), em nome do Diretor Presidente Eng.º Wilde Clécio Falcão de Alencar, pela disponibilização dos relatórios das Análises Físico-Químicas realizadas em amostras coletadas na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins, Maceió-AL.

Às Pesquisadoras do Laboratório de Quantificação e Geoestatística – LQG/IGDema, pelo apoio no desenvolvimento dos trabalhos.

A todos os familiares e amigos pelo companheirismo.

Obrigado!

RESUMO

A água é um recurso natural limitado, provavelmente o único recurso natural que tem a ver com todos os aspectos da civilização humana, desde o desenvolvimento agrícola e industrial aos valores culturais e religiosos arraigados na sociedade. É essencial à vida, seja como componente bioquímico de seres vivos, como meio de vida de várias espécies vegetais e animais, como elemento representativo de valores sociais e culturais e até como fator de produção de vários bens de consumo final e intermediário. Esta pesquisa traz, como temática, o estudo da qualidade das águas subterrâneas da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins, Maceió/AL, localizada no domínio dos Tabuleiros Costeiros de Maceió, na Bacia Sedimentar Alagoas, onde essas águas são intensivamente exploradas para consumo humano e industrial. Trata-se de uma bacia endorreica, onde as águas superficiais se acumulam nas depressões do terreno natural, de onde evapora ou infiltra no solo. A região possui clima tropical, subúmido seco, com baixa amplitude térmica e precipitações anuais em torno de 1480 mm. A recarga dos sistemas aquíferos se dá principalmente pela infiltração do excedente de águas pluviais, estimada em 400 mm anuais. Das unidades litoestratigráficas, são exploradas as formações Barreiras, Marituba e Poção, isoladamente ou em conjunto, quando formam um só sistema aquífero. Dentre as atividades potencialmente poluidoras identificadas na região, destacam-se: sistema de esgotamento sanitário, constituído por fossas sépticas e sumidouros; efluentes líquidos industriais na área do Polo Multissetorial Governador Luiz Cavalcante; postos de combustíveis; e o sistema de drenagem superficial da região, constituído de lagoas para amortecimento de cheias que são também utilizadas como corpos receptores de efluentes domiciliares e industriais. Foi adotado o método hipotético dedutivo para a avaliação da qualidade das águas subterrâneas locais captadas por poços tubulares da Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL), inicialmente através da análise estatística dos parâmetros físico-químicos determinados pela CASAL nos anos de 2008 e 2018, visando também o estudo comparativo dos dados disponíveis nesse período. Foi avaliada a variabilidade espacial dos parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas, visando identificar áreas sujeitas à contaminação, principalmente em regiões que possuem relevância econômica e ambiental para a sociedade. Também foi identificado o grau de vulnerabilidade natural das águas subterrâneas da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins, através do modelo GOD, índice de vulnerabilidade baseado na litologia, na profundidade até o lençol freático e no grau de confinamento da água subterrânea. Por fim, a pesquisa identificou áreas na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins onde já há indícios de poluição ou degradação das águas subterrâneas comparando com o grau de vulnerabilidade natural correspondente.

Palavras-Chave: Poluição de águas subterrâneas. Geoestatística. Vulnerabilidade de aquíferos.

ABSTRACT

Water is a limited natural resource, probably the only natural resource that has to do with all aspects of human civilization, from agricultural and industrial development to cultural and religious values rooted in society. It is essential to life, whether as a biochemical component of living things, as a livelihood of various plant and animal species, as a representative element of social and cultural values, and even as a factor of production of various final and intermediate consumer goods. This research brings, as its theme, the study of the groundwater quality of the endorheic basin of Tabuleiro do Martins, Maceió / AL, located in the Coastal Tablelands of Maceió domain, in the Alagoas Sedimentary Basin, where these waters are intensively exploited for human consumption. industrial. It is an endorheic basin where surface water accumulates in the depressions of the natural terrain, from which it evaporates or infiltrates the soil. The region has a tropical climate, dry humid, with low thermal amplitude and annual precipitation around 1480 mm. The recharge of aquifer systems is mainly due to the infiltration of surplus rainwater, estimated at 400 mm per year. From the lithostratigraphic units, the Barreiras, Marituba and Potion formations are explored, alone or together, when they form a single aquifer system. Among the potentially polluting activities identified in the region, the following stand out: sanitary sewage system, consisting of septic tanks and sinks; industrial liquid effluents in the area of the Governador Luiz Cavalcante Multisectoral Complex; gas stations; and the region's surface drainage system, consisting of flood damping lagoons that are also used as household and industrial wastewater receiving bodies. The hypothetical deductive method was adopted to evaluate the quality of local groundwater captured by tubular wells of the Alagoas Sanitation Company (CASAL), initially through the statistical analysis of the physical-chemical parameters determined by CASAL in 2008 and 2018, aiming at also the comparative study of the data available in this period. The spatial variability of groundwater physicochemical parameters was evaluated in order to identify areas subject to contamination, especially in regions that have economic and environmental relevance to society. It was also identified the degree of natural vulnerability of the groundwater of the endorheic basin of Tabuleiro do Martins, through the GOD model, vulnerability index based on lithology, depth to the water table and the degree of groundwater confinement. Finally, the research identified areas in the endorheic basin of Tabuleiro do Martins where there is already evidence of groundwater pollution or degradation compared with the corresponding degree of natural vulnerability.

Keywords: Groundwater pollution. Geostatistics. Aquifer vulnerability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo hidrológico	23
Figura 2 - Tipos de aquíferos de acordo com as características geológicas	24
Figura 3 - Bacia endorreica do Tabuleiro do Martins.....	38
Figura 4 - Esquema das bacias hidrográficas de Maceió.....	39
Figura 5 - Mapa geológico de Maceió.....	40
Figura 6 - Solos de Maceió.....	43
Figura 7 - Histograma do pH da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008.....	50
Figura 8 - Histograma do pH da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018.....	50
Figura 9 - Bloxpot do pH da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018.....	52
Figura 10 - Histograma da cor aparente da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018	52
Figura 11 - Bloxpot da cor aparente da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018	53
Figura 12 - Histograma da turbidez da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008.....	53
Figura 13 - Histograma da turbidez da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018.....	53
Figura 14 - Bloxpot da turbidez da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018.....	54
Figura 15 - Bloxpot da turbidez da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018.....	54
Figura 16 - Histograma da condutância específica da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018	55
Figura 17 - Histograma da condutância específica da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008	55
Figura 18 - Bloxpot da condutância específica da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018	55

Figura 19 - Histograma da acidez da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008.....	56
Figura 20 - Histograma da acidez da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018.....	56
Figura 21 - Bloxpot da acidez da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018.....	56
Figura 22 - Histograma da alcalinidade da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008	57
Figura 23 - Histograma da alcalinidade da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018	57
Figura 24 - Bloxpot alcalinidade da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018	57
Figura 25 - Bloxpot alcalinidade da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018	57
Figura 26 - Histograma da dureza total da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008.....	58
Figura 27 - Histograma da dureza total da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018.....	58
Figura 28 - Bloxpot da dureza total da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018	58
Figura 29 - Bloxpot da dureza total da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018	59
Figura 30 - Histograma de cálcio da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008.....	59
Figura 31 - Histograma de cálcio da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018.....	59
Figura 32 - Bloxpot de cálcio da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018.....	60
Figura 33 - Histograma de magnésio da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008.....	60
Figura 34 - Histograma de magnésio da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018.....	60
Figura 35 - Bloxpot de magnésio da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018	60

Figura 36 - Bloxpot de magnésio da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018	61
Figura 37 - Histograma de cloretos da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008.....	61
Figura 38 - Histograma de cloretos da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018.....	61
Figura 39 - Bloxpot de cloretos da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018.....	62
Figura 40 - Histograma de sílica da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008.....	62
Figura 41 - Histograma de sílica da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018.....	62
Figura 42 - Bloxpot de sílica da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018.....	63
Figura 43 - Histograma de sulfatos da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008.....	63
Figura 44 - Histograma de sulfatos da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018.....	63
Figura 45 - Bloxpot de sulfatos da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018.....	63
Figura 46 - Histograma de amônia da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008.....	64
Figura 47 - Histograma de amônia da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018.....	64
Figura 48 - Bloxpot de amônia da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018.....	64
Figura 49 - Histograma de nitrato da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018.....	65
Figura 50 - Bloxpot de nitrato da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018.....	65
Figura 51 - Histograma de ferro total da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018.....	66
Figura 52 - Histograma de ferro total da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008.....	66

Figura 53 - Bloxpot de ferro total da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018	66
Figura 54 - Bloxpot de ferro total da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018	67
Figura 55 - Histograma de sódio da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008.....	67
Figura 56 - Histograma de sódio da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018.....	67
Figura 57 - Bloxpot de sódio da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018.....	68
Figura 58 - Histograma de potássio da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008.....	68
Figura 59 - Histograma de potássio da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018.....	68
Figura 60 - Bloxpot de potássio da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018.....	69
Figura 61 - Histograma de CO2 da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008.....	69
Figura 62 - Histograma de CO2 da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018.....	69
Figura 63 - Bloxpot de CO2 da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018.....	70
Figura 64 - Histograma de sólidos totais da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008	70
Figura 65 - Histograma de sólidos totais da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018	70
Figura 66 - Bloxpot de sólidos totais da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018.....	71
Figura 67 - Vulnerabilidade à contaminação da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins.....	72
Figura 68 - Distribuição dos poços da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins de 2008.....	74
Figura 69 - Distribuição dos poços da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins de 2018.....	75

Figura 70 - Distribuição espacial do pH na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008	76
Figura 71 - Distribuição espacial do pH na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018	76
Figura 72 - Distribuição espacial da cor na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018	76
Figura 73 - Distribuição espacial da turbidez na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008.....	77
Figura 74 - Distribuição espacial da turbidez na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018.....	77
Figura 75 - Distribuição espacial da condutância na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008	77
Figura 76 - Distribuição espacial da condutância na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018	77
Figura 77 - Distribuição espacial da acidez na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008	78
Figura 78 - Distribuição espacial da acidez na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018	78
Figura 79 - Distribuição espacial da alcalinidade na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008	79
Figura 80 - Distribuição espacial da alcalinidade na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018	79
Figura 81 - Distribuição espacial da dureza total na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008	79
Figura 82 - Distribuição espacial da dureza total na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018	79
Figura 83 - Distribuição espacial do cálcio na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008	80
Figura 84 - Distribuição espacial do cálcio na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018	80
Figura 85 - Distribuição espacial do magnésio na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008.....	80
Figura 86 - Distribuição espacial do magnésio na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018.....	80

Figura 87 - Distribuição espacial de cloretos na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008.....	81
Figura 88 - Distribuição espacial de cloretos na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018.....	81
Figura 89 - Distribuição espacial de sílica na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008	81
Figura 90 - Distribuição espacial de sílica na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018	81
Figura 91 - Distribuição espacial de sulfatos na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008.....	82
Figura 92 - Distribuição espacial de sulfatos na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008.....	82
Figura 93 - Distribuição espacial da amônia na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008.....	82
Figura 94 - Distribuição espacial da amônia na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018.....	82
Figura 95 - Distribuição espacial do nitrato na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008	83
Figura 96 - Distribuição espacial do nitrito na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008	83
Figura 97 - Distribuição espacial do nitrito na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018	83
Figura 98 - Distribuição espacial do ferro total na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008	84
Figura 99 - Distribuição espacial do ferro total na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018	84
Figura 100 - Distribuição espacial do sódio na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008	84
Figura 101 - Distribuição espacial do sódio na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018	84
Figura 102 - Distribuição espacial do potássio na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008.....	85
Figura 103 - Distribuição espacial do potássio na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018.....	85

Figura 104 - Distribuição espacial do CO ₂ na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018	85
Figura 105 - Distribuição espacial do CO ₂ na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018	85
Figura 106 - Distribuição espacial de sólidos totais na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008.....	86
Figura 107 - Distribuição espacial de sólidos totais na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018.....	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vulnerabilidade do aquífero a contaminação	37
Tabela 2 - Definições das classes de vulnerabilidade de um aquífero à contaminação.....	37
Tabela 3 - Uso e cobertura do solo na bacia endorreica nos anos de 1988, 2003 e 2013.....	45
Tabela 4 - Análise estatística dos parâmetros físico-químicos	51
Tabela 5 - Índice de vulnerabilidade GOD da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins	73

LISTA DE SIGLAS

ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas

ANA – Agência Nacional de Águas

CASAL – Companhia de Saneamento de Alagoas

CBH – Comitê de Bacia Hidrográfica

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IMA/AL – Instituto do Meio Ambiente do Estado de Alagoas

PNMH – Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas

RBMA – Reserva da Biosfera da Mata Atlântica

RPPN – Reservas Particulares do Patrimônio Natural

SEMARH/AL – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas

SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste

UFAL – Universidade Federal de Alagoas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	Objetivos	22
2	REVISÃO DA LITERATURA	23
2.1	Águas subterrâneas	23
2.2	Bacia hidrográfica	25
2.3	Qualidade da água	26
2.3.1	Características físicas das águas.....	27
2.3.2	Características químicas das águas.....	28
2.4	Vulnerabilidade de aquíferos	35
3	MATERIAL E MÉTODOS	38
3.1	Caracterização da área de estudo	38
3.1.2	Geologia.....	39
3.1.3	Geomorfologia.....	41
3.1.4	Solos.....	42
3.1.5	Vegetação.....	43
3.1.6	Clima.....	44
3.1.7	Hidrografia.....	45
3.1.8	Uso e ocupação do solo.....	45
3.1.9	Hidrogeologia.....	46
3.1.9.1	Aquífero Barreiras.....	46
3.1.9.2	Aquífero Marituba.....	47
3.2	Procedimentos metodológicos	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.1	Análise estatística da qualidade da água	50
4.1.1	pH.....	50

4.1.2	Cor aparente.....	52
4.1.3	Turbidez.....	53
4.1.4	Condutância específica.....	55
4.1.5	Acidez.....	56
4.1.6	Alcalinidade.....	56
4.1.7	Dureza Total.....	58
4.1.8	Cálcio.....	59
4.1.9	Magnésio.....	60
4.1.10	Cloretos.....	61
4.1.11	Sílica.....	62
4.1.12	Sulfatos.....	63
4.1.13	Amônia.....	64
4.1.14	Nitrato.....	65
4.1.15	Nitrito.....	65
4.1.16	Ferro Total.....	65
4.1.17	Sódio.....	67
4.1.18	Potássio.....	68
4.1.19	Gás carbônico (CO ₂).....	69
4.1.20	Sólidos Totais.....	70
4.2	Vulnerabilidade da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins.....	71
4.3	Análise espacial da qualidade da água.....	73
4.3.1	pH.....	75
4.3.2	Cor aparente.....	76
4.3.3	Turbidez.....	77
4.3.4	Condutância específica.....	77
4.3.5	Acidez.....	78
4.3.6	Alcalinidade.....	78

4.3.7	Dureza Total.....	79
4.3.8	Cálcio.....	79
4.3.9	Magnésio.....	80
4.3.10	Cloretos.....	81
4.3.11	Sílica.....	81
4.3.12	Sulfatos.....	82
4.3.13	Amônia.....	82
4.3.14	Nitrato.....	83
4.3.15	Nitrito.....	83
4.3.16	Ferro Total.....	84
4.3.17	Sódio.....	84
4.3.18	Potássio.....	85
4.3.19	Gás carbônico (CO ₂).....	85
4.3.20	Sólidos Totais.....	86
5	CONCLUSÃO.....	87
	REFERÊNCIAS.....	90
	ANEXO A.....	95

1 INTRODUÇÃO

A água constitui um elemento essencial para a manutenção da vida no planeta e, embora ocupe 3/4 da superfície da Terra, apenas 0,8% está disponível sob a forma de água doce e não se tem conhecimento de quanto dessa fração encontra-se contaminada (CETESB, 1996).

Considerando que praticamente todos os setores de atividade humana necessitam fazer uso da água para desempenhar suas funções, tal recurso natural possui altíssimo valor econômico, estratégico e social.

Nas últimas décadas, a preocupação de toda sociedade com a disponibilidade e qualidade da água decorre do fato de que, por mais abundante que pareça este recurso, não é rara também sua escassez, ora pela ocorrência de períodos prolongados de seca, ora pela alta carga poluidora a que é submetida (ESPÍNDULA, 2004).

A urbanização tem contribuído para a degradação da qualidade da água, em virtude do aumento da variedade e quantidade de poluentes transportados pela radiação superficial. Esses poluentes podem prejudicar todos os seres vivos, contaminando fontes de água potável.

A água subterrânea é a parcela que se encontra no subsolo da superfície terrestre, preenchendo os espaços vazios existentes entre os grãos do solo, rochas e fissuras, e está disponível em todas as regiões da Terra, constituindo importante recurso natural (TUNDISI, 2003).

As estratégias de preservação das águas subterrâneas devem englobar: controle e fiscalização na captação e concessão de outorga, minimização de contaminação físico-química, e evitar, ao máximo, as perdas de água.

O presente estudo foi desenvolvido na região norte do município de Maceió, Alagoas, em uma bacia endorreica que envolve áreas dos bairros: Tabuleiro do Martins, Cidade Universitária, Santos Dumont, Clima Bom, Antares e Santa Lucia, localizada no domínio dos Tabuleiros Costeiros de Maceió, pertencente à Bacia Sedimentar Alagoas, onde as águas subterrâneas são intensivamente exploradas para consumo humano e industrial.

Nesse contexto, esta pesquisa, cuja hipótese norteadora está relacionada diretamente a ação antrópica, teve por objetivo avaliar o grau de contaminação das águas subterrâneas na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins na cidade de Maceió, por meio de análise da qualidade físico-química, modelo no anexo A, com dados obtidos junto a Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL) nos anos de 2008 e 2018.

1.1 Objetivos

GERAL

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a qualidade das águas subterrâneas da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins na cidade de Maceió, por meio de análise dos parâmetros físico-químicos das águas, com dados obtidos junto à Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL) nos anos de 2008 e 2018.

ESPECÍFICO

- Avaliar estatisticamente os parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas captadas de poços tubulares da CASAL localizados na área de estudo, comparando os resultados nos dois períodos: ano 2008 e 2018;
- Caracterizar espacialmente os parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas locais;
- Identificar o grau de vulnerabilidade das águas subterrâneas da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins.
- Identificar áreas com valores dos parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas fora dos padrões de potabilidade comparando com as vulnerabilidades das respectivas áreas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Águas subterrâneas

Segundo alguns especialistas, a crise da água no século XXI é muito mais de gerenciamento do que uma crise real de escassez e estresse (ROGERS, 2006). Entretanto, para outros especialistas, é resultado de um conjunto de problemas ambientais agravados com outros problemas relacionados à economia e ao desenvolvimento social (GLEICK, 2000).

Para Somlyody e Varis (2006), o agravamento e a complexidade da crise da água decorrem de problemas reais de disponibilidade e aumento da demanda, e de um processo de gestão ainda setorial e de resposta a crises e problemas sem atitude preditiva e abordagem sistêmica.

Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008) ressaltam a necessidade de uma abordagem sistêmica, integrada e preditiva na gestão das águas com uma descentralização para a bacia hidrográfica. Segundo esses autores, uma base de dados consolidada e transformada em instrumento de gestão pode ser uma das formas mais eficazes de enfrentar o problema de escassez de água, estresse de água e deterioração da qualidade.

Segundo a Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS, 2017), as águas subterrâneas possuem distribuição bastante variável, assim como as águas superficiais, por estarem relacionadas ao ciclo hidrológico, dependendo das condições climáticas, porém as águas subterrâneas apresentam-se cerca de 100 vezes mais abundantes que as águas superficiais de lagos e rios (Figura 1).

Figura 1 - Ciclo hidrológico



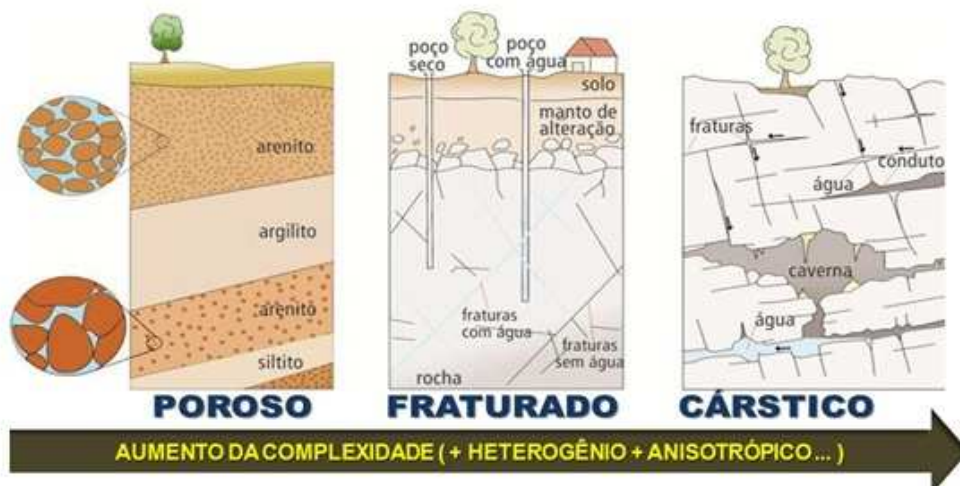
A partir do momento em que os contaminantes atingem o solo, inicia-se a sua infiltração de forma lenta no meio poroso, tendo acesso às águas do lençol freático. Para a recuperação das águas subterrâneas, quando contaminadas ou poluídas, é necessário alto investimento financeiro e com resultados em longo prazo (ABAS, 2017).

Segundo a Resolução CONAMA nº 396/08, águas subterrâneas são águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo. Quase toda essa água, tem origem no ciclo hidrológico, que é um sistema pelo qual a natureza faz a água circular do oceano para a atmosfera e para os continentes, de onde retorna superficial ou subterraneamente ao oceano (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000). Possui movimento lento, comparando com a água superficial. Uma alta velocidade estaria na faixa de 1 metro/dia, enquanto um rio rápido pode mover-se a uma velocidade de 1 metro/segundo (CLEARY, 1989).

Um aquífero é um corpo hidrológico, que tem a capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos (CONAMA n ° 396/2008). A quantidade de água subterrânea que se produz em uma região, depende das características do aquífero e da frequência de recarga (WENDLAND, 2003).

Os aquíferos podem ser classificados de acordo com as características hidrodinâmicas ou de acordo com as características geológicas. Quanto à primeira classificação são considerados confinados e não confinados (livres ou freáticos), dependendo da ausência ou da presença da linha da água (TUCCI *et al.*, 2007). De acordo com as características geológicas são considerados porosos, fraturados ou cársticos (Figura 2).

Figura 2 - Tipos de aquíferos de acordo com as características geológicas



Fonte: Tritani e Ezaki, 2010

O aquífero poroso ocorre em rochas sedimentares consolidadas, sedimentos inconsolidados e solos arenosos, decompostos *in situ*. Constituem os melhores e maiores reservatórios de água subterrânea (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2011).

O aquífero fraturado ou fissural ocorre em rochas ígneas e metamórficas. Normalmente abriga pouca água e geralmente de má qualidade como o cristalino do Nordeste Brasileiro (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2011).

O aquífero cárstico acontece em rochas carbonáticas, onde as feições cársticas mais comuns contêm canais de dissolução e cavidades de grande porte, neste caso, verdadeiros rios subterrâneos (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2011).

2.2 Bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. A bacia hidrográfica compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório (TUCCI, 1997).

De acordo com Guerra (2003), a bacia é constituída por um rio principal e seus afluentes, que transportam água e sedimentos ao longo dos seus canais, sendo delimitada pelos divisores de águas que separam a bacia das vizinhas (Figura 3).

Fernandes Neto (2013) descreve a importância da bacia hidrográfica como unidade básica de planejamento. Propõe uma visão sistêmica sobre os planos e políticas públicas que definem os princípios para gestão da água, garantindo seus usos múltiplos e de qualidade, sendo determinada pela Lei 9.433 em 1997, a qual definiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH).

Criado pela PNRH, o comitê de bacias hidrográficas é o órgão colegiado da gestão dos recursos hídricos, com contribuições de caráter normativo, consultivo e deliberativo, para discutir sobre ações de interesse comum. Segundo o dicionário HOUAISS (2001) apud ANA (2011), “comitê significa “confiar, entregar, comunicar”, é o termo empregado para dar significado à comissão, à junta, à delegação, à reunião de pessoas” (p.11). Portanto, o Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH) é o fórum em que um grupo de pessoas se reúne para discutir sobre o uso da água na bacia.

Kemerich et al. (2015), relatam que os comitês de bacias hidrográficas são colegiados instituídos oficialmente pelo Governo do Estado, composto por vários segmentos da sociedade, dentre eles: setores usuários da água, sociedade civil organizada e órgãos

públicos envolvidos na gestão dos recursos hídricos. Desse modo, os comitês acompanham a implementação dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos e amenizam os conflitos entre os atores sociais envolvidos, levando em consideração a conservação das águas.

Então, é de suma importância todas informações sobre uma determinada bacia hidrográfica, pois conhecendo suas características, pode-se conhecer seu funcionamento e as consequências que podem ocorrer se essas características forem modificadas de forma irresponsável e sem planejamento.

Além das consequências no meio rural e urbano, como a perda de qualidade das águas, que está diretamente relacionada às atividades humanas, tem-se as consequências para o meio ambiente e para as outras espécies que vivem na região de uma bacia.

2.3 Qualidade da água

A qualidade da água é um fator determinante para a saúde da sociedade humana. Para Silva, Hora e Oliveira (2017), a análise da qualidade da água requer que se observe um conjunto de características da natureza, geralmente mensuráveis, onde suas características devem ser mantidas dentro de certos limites, os quais são representados por padrões, valores orientadores da qualidade de água, dos sedimentos e da biota.

Em relação às atividades humanas que alteram a qualidade da água, destacam-se os esgotos sanitários que se caracterizam por apresentarem predominantemente matéria em estado coloidal, além de diversos efluentes industriais contendo taninos (efluentes de curtumes, por exemplo), anilinas (efluentes de indústrias têxteis, indústrias de pigmentos, etc.), lignina e celulose (efluentes de indústrias de celulose e papel, da madeira, etc.), (PIVELI, 1996).

A qualidade requerida está bem definida nas concentrações máximas permitidas para determinadas substâncias, conforme especificado nas Resoluções Conama nº 357/2005, nº 396/2008 e nº 430/2011, que dispõem sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e superficiais e estabelecem as condições e padrões de lançamento de efluentes.

Para se definir a qualidade da água em função dos padrões pré-estabelecidos pela legislação, são determinados diversos parâmetros que representam suas características físicas, químicas e biológicas. Os diversos componentes da água originam-se do próprio ambiente natural ou são introduzidos a partir de atividades humanas. Quando esses parâmetros sofrem

alterações além dos valores estabelecidos para determinado uso, constituem anomalias na qualidade da água.

As propriedades físicas são características de ordem estética, não caracterizando riscos à saúde do consumidor. Elevados valores de algumas delas, podem causar certa repugnância a consumidores mais exigentes. As águas subterrâneas dificilmente são portadoras de características perceptíveis, exceto o sabor decorrente de sais dissolvidos em quantidade excessiva. (FEITOSA; MANOEL FILHO, 1997).

2.3.1 Características físicas das águas

2.3.1.1 Cor aparente

Está associado ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la. Em geral íons dissolvidos pouco ou quase nada interferem na passagem da luz. A determinação da intensidade da cor da água é feita comparando-se a amostra com um padrão de cobalto-platina, sendo o resultado fornecido em unidades de cor, denominada uH (unidade Hazen). Segundo Sousa (2001) as águas naturais apresentam, em geral, intensidades de cor variando de 0 a 200 uH. Valores inferiores a dez unidades são dificilmente perceptíveis. Para efeito de caracterização de águas para abastecimento, distingue-se a cor aparente, na qual se consideram as partículas suspensas, da cor verdadeira. Para atender o padrão de potabilidade, a água deve apresentar intensidade de cor aparente inferior a 5,0 uH.

2.3.1.2 Turbidez

A turbidez da água é devido à presença de materiais sólidos em suspensão, que reduzem a sua transparência. Pode ser provocada também pela presença de algas, plâncton, matéria orgânica e muitas outras substâncias como o zinco, ferro, manganês e areia, resultantes do processo de erosão ou de despejos domésticos e industriais (FUNASA, 2009).

Para fins de abastecimento humano, os padrões internacionais da água da Organização Mundial de Saúde (2011), estabelecem que o nível de turbidez não deve exceder 5 unidades de turbidez. No Brasil, o padrão de potabilidade definido pela Portaria n° 36/1990 do Ministério da Saúde é de 1,0 uT.

Representa o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessar a água, provocado pela presença de materiais em suspensão que causam a absorção e o espalhamento da luz, conferindo uma aparência turva à água (VON SPERLING, 2005; PIVELI; KATO, 2005). Tem origem natural nas partículas de rocha, argila, silte, algas e

outros microrganismos, e antropogênica, como o lançamento dos despejos domésticos e industriais, e erosão (VON SPERLING, 2005).

2.3.1.3 Condutância específica

Facilidade de condução de corrente elétrica, está relacionada ao teor de sais dissolvidos. A condutividade elétrica da água é expressa em unidades de resistência por unidade de comprimento (Siemens/cm). Condutância específica é a condutividade medida à temperatura de 25 °C. Esta é a maneira padrão de medir condutividade, pois facilita a comparação de diversos valores, sendo medida em $\mu\text{S}/\text{cm}$. As águas naturais geralmente apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar a 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

2.3.1.4 Sólidos Totais

Carga sólida em suspensão que pode ser separada por simples filtração. A maioria dos poços não apresenta essa característica. Caso possuam, pode ser decorrente do mau dimensionamento dos filtros, pré-filtro ou da má complementação do aquífero ao redor do filtro.

Os sais dissolvidos e ionizados presentes na água transformam-na num eletrólito capaz de conduzir corrente elétrica. Como há uma relação de proporcionalidade entre o teor de sais dissolvidos e a condutividade elétrica, pode-se estimar o teor de sais pela medida de condutividade de uma água em uma dada temperatura (CPRM, 2011). A Resolução CONAMA nº 396 de 2008 estabelece para este parâmetro limites máximos de concentração de 1.000 mg/L em águas destinadas ao consumo humano.

As características químicas das águas subterrâneas refletem os meios percorridos, guardando uma relação com os tipos de rochas drenados e com os produtos das atividades humanas adquiridas ao longo de seu trajeto (ZIMBRES, 2006).

2.3.2 Características químicas das águas

2.3.2.1 pH

Os principais fatores que determinam o pH da água são o gás carbônico dissolvido e a alcalinidade.

No que se refere ao potencial Hidrogeniônico, o pH mede a condição de acidez, neutralidade ou basicidade da água. A escala de medição varia de 0 a 14, em que o pH inferior a 7 indica mais acidez, em 7 neutralidade e acima de 7 alcalinidade. Segundo a ANA (2009), o pH das águas subterrâneas varia geralmente entre 5,5 e 8,5. Conforme a CPRM (1995), as águas subterrâneas tendem ao neutro, mas, alto pH deve-se ao CO_3^{2-} e baixo pH ao SO_4^{2-} , normalmente.

Segundo Feitosa e Manoel Filho (2000), a maioria das águas subterrâneas tem pH entre 5,5 e 8,5 em casos excepcionais pode variar entre 3,0 e 11,0.

O excesso de matéria orgânica contribui para reduzir o pH na água devido à liberação de gás carbônico decorrente de compostos orgânicos ácidos e da decomposição, a qual origina o ácido carbônico em meio aquoso (MAROTTA et al., 2008). Além disso, pode interferir na solubilidade de nutrientes.

2.3.2.2 Acidez

Corresponde à presença de anidrido carbônico livre, de ácidos minerais e de sais de ácidos fortes e de bases fracas. No entanto, considera-se como se a acidez fosse unicamente devida à presença de ácido carbônico (H_2CO_3). A acidez total da água é expressa em miligramas equivalentes de CaCO_3 por litro de água. Segundo a Fundação Nacional de Saúde – FUNASA, a origem da acidez tanto pode ser natural (CO_2 absorvido da atmosfera, ou resultante da decomposição de matéria orgânica, presença de gás sulfídrico H_2S) como antropogênica (despejos industriais, passagem da água por minas abandonadas, etc.). A distribuição das formas de acidez é função do pH da água: $\text{pH} > 8,2$ – CO_2 livre ausente; pH entre 4,5 e 8,2 – acidez carbônica; $\text{pH} < 4,5$ – acidez por ácidos minerais fortes, geralmente resultantes de despejos industriais. Águas com acidez mineral são desagradáveis ao paladar (BRASIL, 2014).

Os ácidos minerais surgem em águas naturais principalmente através de descargas de efluentes industriais não neutralizados. São muito os ramos industriais que se utilizam de ácidos em seus processos industriais, destacando-se as metalurgias e a siderurgia.

Acidez de uma água pode ser definida como sua capacidade de reagir quantitativamente com uma base forte até um valor definido de pH, devido à presença de ácidos fortes (ácidos minerais: clorídrico, sulfúrico, nítrico, etc.), ácidos fracos (orgânicos: ácido acético, por exemplo, e inorgânicos: ácido carbônico, por exemplo) e sais que apresentam caráter ácido (sulfato de alumínio, cloreto férrico, cloreto de amônio, por exemplo).

2.3.2.3 Alcalinidade

A alcalinidade é devida principalmente à presença de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. Os compostos mais comuns são os seguintes:

- Hidróxidos de cálcio ou de magnésio;
- Carbonatos de cálcio ou de magnésio;
- Bicarbonatos de cálcio ou de magnésio;
- Bicarbonatos de sódio ou de potássio.

A alcalinidade das águas não representa risco potencial à saúde pública. Provoca alteração no paladar e a rejeição da água em concentrações inferiores àquelas que eventualmente pudessem trazer prejuízos mais sérios. A alcalinidade não se constitui em padrão de potabilidade. Segundo FUNASA, na maior parte dos ambientes aquáticos a alcalinidade é devida exclusivamente à presença de bicarbonatos. Valores elevados de alcalinidade estão associados a processos de decomposição da matéria orgânica e à alta taxa respiratória de microrganismos, com liberação e dissolução do gás carbônico (CO₂) na água. A maioria das águas naturais apresenta valores de alcalinidade na faixa de 30 a 500 mg/L de CaCO₃ (BRASIL, 2014).

2.3.2.4 Dureza Total

A dureza é um parâmetro característico da qualidade da água de consumo humano e de insumo industrial. Águas com dureza elevada pode causar incrustação nas tubulações e a elevação do consumo de sabão. A dureza das águas naturais varia consideravelmente de lugar para lugar, sendo em geral a dureza das águas superficiais menor do que a das águas subterrâneas. A dureza de uma água reflete a natureza das formações geológicas com as quais ela esteve em contato. É, em geral, expressa em mg/L de carbonato de cálcio (CaCO₃), e se deve à presença de cátions metálicos bivalentes principalmente cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) (SOUSA, 2001, pág. 5).

Dureza de uma água é a medida da sua capacidade de precipitar sabão, isto é, nas águas que a possuem, os sabões transformam-se em complexos insolúveis, não formando espuma até que o processo se esgote. É causada pela presença de cálcio e magnésio, principalmente, além de outros cátions como ferro, manganês, estrôncio, zinco, alumínio, hidrogênio, etc., associados a ânions carbonato (mais propriamente bicarbonato, que é mais solúvel) e sulfato, principalmente, além de outros ânions como nitrato, silicato e cloreto. São quatro os principais compostos que conferem dureza às águas: bicarbonato de cálcio, bicarbonato de magnésio, sulfato de cálcio e sulfato de magnésio.

A Portaria nº 1469/2000 do Ministério da Saúde, limita a dureza em 500 mg/L CaCO_3 como padrão de potabilidade. Este padrão não é muito restritivo, pois uma água com 500 mg/L de dureza é classificada como “muito dura” mas, por outro lado, uma restrição muito severa pode inviabilizar muitos abastecimentos públicos que utilizam água dura, por não disporem dos recursos necessários para a remoção da dureza ou abrandamento da água.

2.3.2.5 Cálcio

O íon Cálcio (Ca^{2+}) encontra-se combinado em duas formas principais: o carbonato de cálcio (CaCO_3) e o bicarbonato de cálcio ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$). A presença do cálcio nos corpos hídricos resulta do seu contato com depósitos de calcita, dolomita e gipsita. Sua solubilidade é controlada pelo pH e gás carbônico (CO_2) dissolvido. (PIVELI, op. cit., pág. 7).

2.3.2.6 Magnésio

O magnésio presente na massa de água é oriundo dos minerais magnetita e dolomita. Sua maior importância é a participação na formação da molécula de clorofila e, além disso, faz parte de diversos processos metabólicos celulares como, por exemplo, o metabolismo do nitrogênio.

O magnésio apresenta características químicas muito semelhantes ao cálcio, porém, é mais solúvel e mais difícil de precipitar, ocorrendo em menor concentração nas águas analisadas. Geralmente ocorre na forma de bicarbonato. Tem como principal fonte as rochas carbonatadas (minerais: magnesita, biotita, granada, hornblenda, clorita, alanita e olivina). Apresentam teores geralmente entre 1 e 40 mg/L nas águas subterrâneas (FEITOSA et al., 2008).

2.3.2.7 Cloretos

Os cloretos podem estar presentes naturalmente em águas salobras ou como resultado de poluição por efluentes industriais ou domésticos, constituídos, portanto, indicativo auxiliar de poluição ou contaminação. Em águas para consumo humano, a concentração de cloretos está diretamente associada à alteração de sabor e, conseqüentemente, à aceitação para consumo.

Os cloretos presentes na água que alteram sabor são, principalmente, os de sódio, potássio e cálcio, em concentrações superiores a 200 – 300 mg/L. No padrão de potabilidade brasileiro, o valor máximo permitido é o de 250 mg/L (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006).

O cloreto é um dos principais sais inorgânicos presentes na água e sua concentração é maior em águas residuais do que em água bruta. Em águas superficiais a principal fonte de cloreto são as descargas de esgotos sanitários; por

isto, durante algum tempo, foi utilizado como indicador da contaminação, associando-se a elevação das concentrações de cloreto de um rio com o lançamento de esgotos sanitários. (PIVELI, op. cit., pág. 7).

Os cloretos das águas naturais resultam da lixiviação das rochas e dos solos com as quais as águas contactam, e nas zonas costeiras, da intrusão salina. As águas de montanha contêm, em geral, baixos teores de cloretos, enquanto que as águas subterrâneas e de rios apresentam concentrações elevadas. (PIVELI, op. cit., pág. 8 e 9).

Os cloretos (Cl⁻) estão presentes em quase todas as águas e normalmente, associados ao sódio. Suas principais características são: alta solubilidade, altamente deliquescente, muito estável em solução e dificilmente se precipita. A alta solubilidade e o lento movimento das águas subterrâneas provocam um aumento gradativo do teor dos cloretos das áreas de recarga, em direção as áreas de descarga. As águas subterrâneas apresentam geralmente teores inferiores a 100 mg/L. São bons indicadores de poluição por lixão ou aterros sanitários (FEITOSA et al., 2008).

2.3.2.8 Sílica

Segundo elemento mais abundante da crosta terrestre. A Sílica está presente como silicatos na maioria das águas naturais. Concentrações típicas variam entre 1 e 30 mg/l. Concentrações mais elevadas podem ocorrer em certos mananciais. O teor de sílica na água deve ser determinado antes de seu uso em várias aplicações industriais. Em sistemas de resfriamento raramente a Sílica apresenta-se sob forma de incrustações vítreas, pois para tanto, necessitaria atingir uma concentração de 150 ppm. Em sistemas de geração de vapor a Sílica deve ser rigidamente controlada a fim de evitar deposições.

2.3.2.9 Sulfatos

Podendo ser de origem geológica (dissolução de gessos, oxidação de piritas, erosão de granitos e basalto), resultado de contaminação por águas residuais, fertilizantes (p. e. sulfato de amônio), intrusão salina, chuva ácida resultante da presença de óxidos de enxofre (dos combustíveis fósseis), tratamento de água (p. e. coagulação com sulfato de alumínio). Na água tratada para consumo humano, é importante o controle do sulfato, pois a sua ingestão provoca efeito laxativo. Já no abastecimento industrial, o sulfato pode provocar incrustações nas caldeiras e permutadores de calor.

O sulfato é um componente importante na interpretação da qualidade da água. Em grandes quantidades pode indicar, em determinadas situações, contaminação por esgoto doméstico, industrial ou práticas agrícolas. Também pode ocorrer naturalmente em grandes quantidades na água subterrânea como resultado da oxidação de minerais contendo enxofre, contudo sua concentração média nas águas subterrâneas é de 100 mg/L (MESTRINHO, 1997).

2.3.2.10 Amônia

A amônia é considerada um poluente por ter efeitos tóxicos. A sua forma dissolvida mais simples pode ser encontrada na água como amônia livre ou ionizada. Pode ser produzida, ou formada naturalmente pelas atividades dos micro-organismos, plantas e animais através do ciclo do nitrogênio. As águas subterrâneas não têm, normalmente, concentrações elevadas de amônia, contudo caso ocorram poderá ser um indício de eventuais processos de contaminação orgânica, de origem humana ou industrial. No caso da água potável, a Portaria Nº 2914/2011 do Ministério da Saúde limita uma concentração de amônia em 1,5 mg/L para água de consumo humano. (MILITÃO, op. cit.).

2.3.2.11 Nitrato

O nitrato e o nitrito são substâncias químicas derivadas do nitrogênio e são encontrados de forma natural na água e no solo em baixas concentrações. A deposição de matéria orgânica no solo, como acontece quando se utiliza fossas e sumidouros, aumenta drasticamente a quantidade de nitrogênio. Esse nitrogênio é biotransformado e por fim se transforma na substância inorgânica denominada nitrato que possui grande mobilidade no solo alcançando o manancial subterrâneo e ali se depositando. O nitrato por possuir essas características, se torna um ótimo indicativo para avaliar se um dado manancial subterrâneo está sendo contaminado pela atividade antrópica sobre ele exercida (MELLO, 1984 apud CAMPOS, 2013).

O nitrato é muito solúvel e dificilmente precipita. Ocorre geralmente em pequenas concentrações, representando o estágio final da oxidação da matéria orgânica. Teores acima de 5 mg/L pode indicar contaminação por esgotos, fossas sépticas, lixão, aterro sanitário, cemitérios, adubos, dentre outros resíduos. Em águas subterrâneas não poluídas, geralmente apresentam teores entre 0,1 e 10 mg/L (FEITOSA et al., 2008).

2.3.2.12 Nitrito

O íon nitrito (NO_2^-), forma intermediária do processo de oxidação, apresenta uma forte instabilidade no meio aquoso. Já o nitrato (NO_3^-), forma oxidada de nitrogênio, é encontrado em condições de aerobiose, (MILITÃO, 2004). O ciclo do nitrogênio conta com a intensa participação de bactérias, tanto no processo de nitrificação (oxidação bacteriana da amônia a nitrito e deste a nitrato), quanto no de desnitrificação (redução bacteriana do nitrato ao gás nitrogênio). O nitrogênio é um dos mais importantes nutrientes para o crescimento de algas e macrófitas (plantas aquáticas superiores), sendo facilmente assimilável nas formas de

amônia e nitrato. (MILITÃO, 2004). Segundo Brasil (2014), o nitrogênio tem uma significativa origem antropogênica, principalmente em decorrência do lançamento em corpos d'água de despejos domésticos, industriais e de criatórios de animais, assim como de fertilizantes, além de ser fortemente encontrado na natureza, na forma de proteínas e outros compostos orgânicos.

2.3.2.13 Ferro Total

O ferro é o segundo metal mais comum na crosta terrestre, apenas em menor quantidade que o alumínio. Suas fontes são minerais escuros (máficos) como: magnetita, biotita, pirita, piroxênios, anfibólios e no ambiente natural, a origem desse elemento pode estar relacionada a depósitos orgânicos, detritos de plantas, podendo associar-se a colóides ou húmus, o que dá a cor amarelada à água (CPRM, 1997 apud OLIVEIRA, 2013). Apesar de o organismo necessitar diariamente de 19 mg de ferro, a Portaria de potabilidade exige que a água de abastecimento público não ultrapasse 0,3 mg/L. Esse limite é estabelecido devido aos problemas estéticos relacionado a presença do ferro na água e do sabor ruim que o ferro lhe confere.

No corpo humano, o ferro atua na formação da hemoglobina (pigmento do glóbulo vermelho que transporta oxigênio dos pulmões para os tecidos). A sua carência pode causar anemia e seu excesso pode aumentar a incidência de problemas cardíacos e diabetes (CPRM, 1997 apud OLIVEIRA, 2013).

2.3.2.14 Sódio

É um dos elementos encontrado em maior abundância na Terra, sendo solúvel em água (LUCAS et al., 2014). Segundo a USEPA (2015) o sódio pode entrar nos corpos d'água por fontes naturais ou antrópicas.

A concentração do sódio nas águas subterrâneas varia entre 0,1 e 100 mg/L (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000).

2.3.2.15 Potássio

É um elemento que está em baixas concentrações nas águas naturais, sendo a lixiviação das rochas a sua principal fonte natural. Portanto, a fonte antrópica é uma das suas fontes, visto que é um elemento utilizado na indústria e na agricultura (ZUIN et al., 2009). Uma importante função do potássio é a troca e transporte de outros íons para os meios intracelular e extracelular (ESTEVES, 2011).

O potássio (K⁺) é um elemento abundante na crosta terrestre. Entretanto, é pouco observado nas águas subterrâneas devido a sua intensa atividade em processos de troca iônica, além de ser facilmente adsorvido pelos minerais de argila e bastante utilizado pelos vegetais (FEITOSA et al., 2008). Segundo Feitosa et al. (2008), os teores de potássio nas águas subterrâneas são inferiores a 10 mg/L.

2.3.2.16 Gás carbônico (CO₂)

A ocorrência de água subterrânea contendo gás carbônico natural dissolvido em elevadas concentrações naturais é rara e realmente parece caracterizar um grupo especial dentre as águas subterrâneas. O limite de 1000 mg/L de CO₂ dissolvido é utilizado hoje em dia para classificar a potabilidade (BRASIL, 2008; 2011), sendo mais frequentes valores entre 1 e 5 mg/L.

Ressalta-se assim a importância do conhecimento das características físico-químicas para identificar se a qualidade das águas subterrâneas está de acordo com as normas estabelecidas pelos órgãos ambientais e aptas para o abastecimento das comunidades.

2.4 Vulnerabilidade de aquíferos

Aquífero é uma formação geológica subterrânea capaz de armazenar água, formando imensos lagos no subsolo. Para que haja a formação de um aquífero, é necessária a existência de rochas porosas ou com características permeáveis, capazes de absorver a água da chuva e infiltrar-se no subsolo, servindo como fonte de abastecimento para os aquíferos.

Segundo Boscardin Borghetti et al. (2004), existem quatro principais tipos de aquíferos que variam de acordo com a forma de armazenamento da água:

- Aquíferos livres ou freáticos, são formados por rochas permeáveis, onde a base é constituída por uma camada impermeável ou semipermeável. As chuvas determinam o nível da água destes reservatórios, que são considerados os mais comuns e explorados.
- Aquíferos confinados ou artesianos, tanto a base como o teto são formados por rochas impermeáveis, e totalmente saturados de água, sem espaço para que haja pressão atmosférica. Estes aquíferos são explorados para a criação de poços artesianos nas residências.

- Aquíferos semi-confinados, se encontra limitado na base, no topo, ou em ambos, por camadas cuja permeabilidade é menor do que a do aquífero em si. O fluxo preferencial da água se dá ao longo da camada aquífera. Secundariamente, esse fluxo se dá através das camadas semi-confinantes, à medida que haja uma diferença de pressão hidrostática entre a camada aquífera e as camadas subjacentes ou sobrejacentes. Em certas circunstâncias, um aquífero livre poderá ser abastecido por água oriunda de camadas semi-confinadas subjacentes, ou vice-versa. Zonas de fraturas ou falhas geológicas poderão, também, constituir-se em pontos de fuga ou recarga da água da camada confinada.
- Aquíferos suspensos, são formados por uma base inferior impermeável e uma base superior permeável ou semipermeável, sem a capacidade de transmitir, acumular ou receber mais água.

Segundo Ribeira (2004), a vulnerabilidade pode ser definida como uma série de atributos ou características de determinado meio, que são o solo, a zona não saturada, os parâmetros hidráulicos do aquífero e a recarga, que controlam a habilidade do mesmo de resistir a determinado impacto e sua capacidade de auto restauração.

A degradação ambiental de uma bacia hidrográfica pode comprometer as reservas subterrâneas, dependendo da magnitude dos impactos ambientais decorrentes da intervenção antrópica sobre a mesma.

A urbanização no Brasil, intensificada a partir da década de 1970, estabeleceu-se, na maioria dos casos, de maneira rápida, intensa e desorganizada. É nesse cenário que a ação de políticas públicas tem enfrentado grandes dificuldades no sentido de promover a organização social e ambiental de áreas urbanas (TORRES et al., 2014).

O método GOD (FOSTER; HIRATA, 1988) corresponde a uma das técnicas de determinação de vulnerabilidade mais utilizadas devido a sua simplicidade de conceitos e implementação, uma vez que utiliza dados básicos de estudos hidrogeológicos, como o grau de inacessibilidade hidráulica da zona saturada e a capacidade de atenuação da zona não saturada.

Para a determinação do índice de vulnerabilidade natural do aquífero pode ser utilizado o método simplificado GOD, referência às iniciais em inglês dos parâmetros utilizados: Grau de confinamento da água subterrânea (**G**roundwater), Ocorrência de estratos de cobertura (**O**verall) e Distância até o lençol freático ou teto do aquífero confinado (**D**ePTH) (FOSTER, et al.,1987; FOSTER; HIRATA, 1988) apud (FOSTER et al.,2006).

A cada um desses parâmetros é atribuído um valor nos limites de 0 e 1 (Tabela 1) cujo índice qualitativo é obtido multiplicando os três valores, indicando o grau de vulnerabilidade: nula (insignificante), baixa, média (moderada), alta e extrema (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000).

Tabela 1 - Vulnerabilidade do aquífero a contaminação

Insignificante	Baixa	Média	Alta	Extrema
0 – 0,1	0,1-0,3	0,3-0,5	0,5-0,7	0,7-1,0

Fonte: Foster *et al.* (2006).

Conforme indicado na Tabela 2, segundo os autores, são determinadas as classes de vulnerabilidade determinadas pelo método GOD.

Tabela 2 - Definições das classes de vulnerabilidade de um aquífero à contaminação

Classes de vulnerabilidade	Definição correspondente
Insignificante	Não ocorre aquífero, pela ausência de água em quantidade significativa, e pela baixa qualidade natural.
Baixa	Vulnerável somente aos poluentes conservadores em longo prazo, quando descarregado ou lixiviado continuamente.
Média	Vulnerável a alguns contaminantes, mas somente quando descarregado continuamente ou lixiviado (sais, nitratos e alguns solventes organo-sintéticos).
Alta	Vulnerável a muitos contaminantes (excetos aqueles fortemente adsorvidos ou facilmente transformados) em muitos cenários de contaminação.
Extrema	Vulnerável à maioria dos contaminantes da água com rápido impacto em muitos cenários de poluição (sensibilidade para contaminantes degradáveis, como bactérias e vírus).

Fonte: Foster *et al.* (2006).

A intervenção humana no meio ambiente, na maioria das vezes tem sido devastadora, desmatando, contaminando a água, degradando os solos, destruindo a fauna e extraindo recursos naturais de maneira predatória. Um agravante neste contexto é o crescimento desordenado dos centros urbanos, que em sua maioria estão localizados próximos aos recursos hídricos (CRIADO, 2012).

É fundamental, expor para a população em geral o quanto os recursos hídricos são importantes, evidenciando sua manutenção e gestão. Devemos ressaltar as intervenções antrópicas, como: contaminação de rios com metais pesados oriundos do garimpo, o uso de agrotóxicos na agricultura, o despejo de esgotos domésticos e industriais, etc. Sendo assim, a população deve evitar esses fatores que reduzem a qualidade de nossas águas, além da necessidade de uma política de fiscalização eficaz para evitar desastres.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

3.1.1 Localização

A área estudada corresponde à bacia endorreica do Tabuleiro do Martins (Figura 3), localizada a noroeste do município de Maceió, capital do estado de Alagoas, e engloba totalmente o bairro Cidade Universitária e, parcialmente, áreas dos bairros Antares, Benedito Bentes, Clima Bom, Santa Lúcia, Santos Dumont e Tabuleiro do Martins.

Salientamos que toda essa região era conhecida como Tabuleiro do Martins, antes da atual divisão de bairros da capital alagoana, definida pela Lei municipal 4.952, de 06/01/2000.

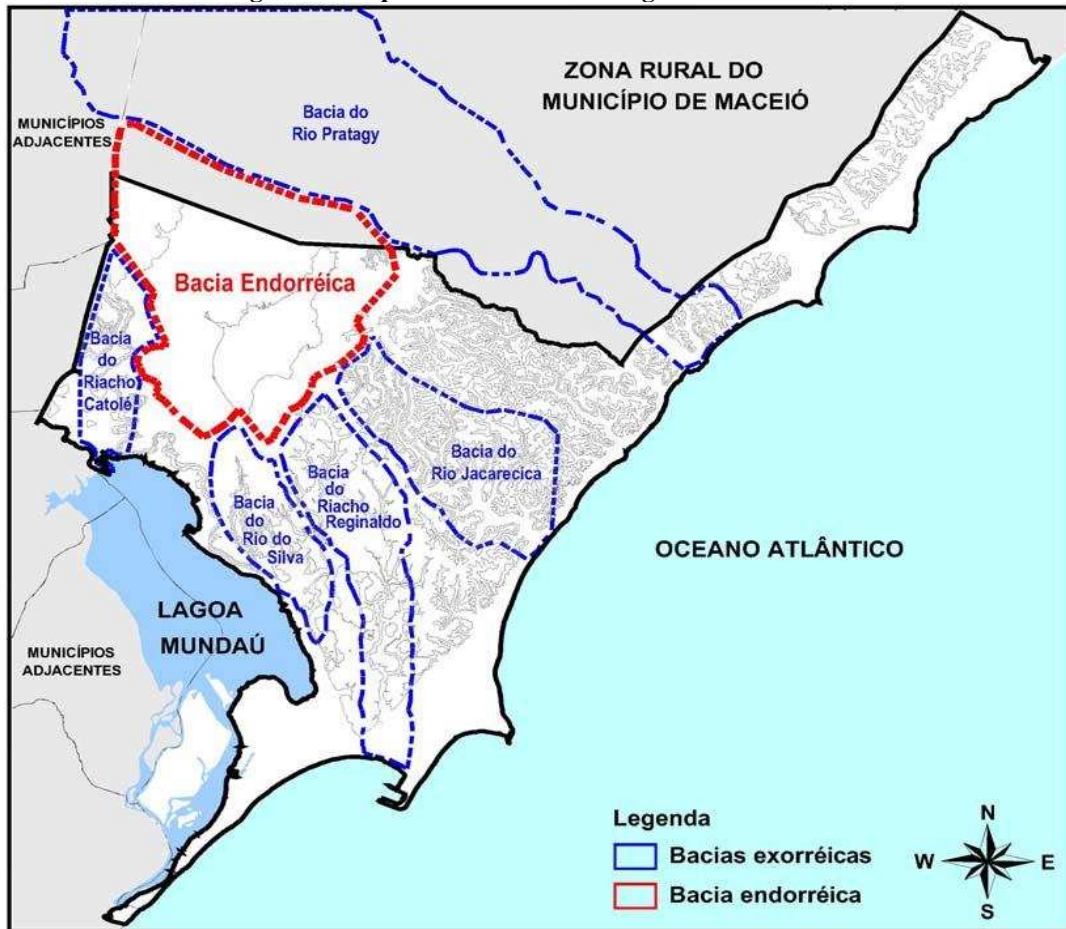
Segundo Peplau (2005), a área dessa bacia é de aproximadamente 50 Km², com cotas variando de 115m no norte-noroeste e menos de 70 metros na parte mais baixa. As características físicas da área da bacia a definem como endorreica, pois as águas se acumulam no seu interior (Figura 4).

Figura 3 - Bacia endorreica do Tabuleiro do Martins



Fonte: adaptado de FERREIRA NETO, 2005 apud SOUZA, 2006.

Figura 4 - Esquema das bacias hidrográficas de Maceió



Fonte: Base Cartográfica de Maceió, PMM, 1999/2000; Souza e Conceição, 2006; Peplau, 2005.

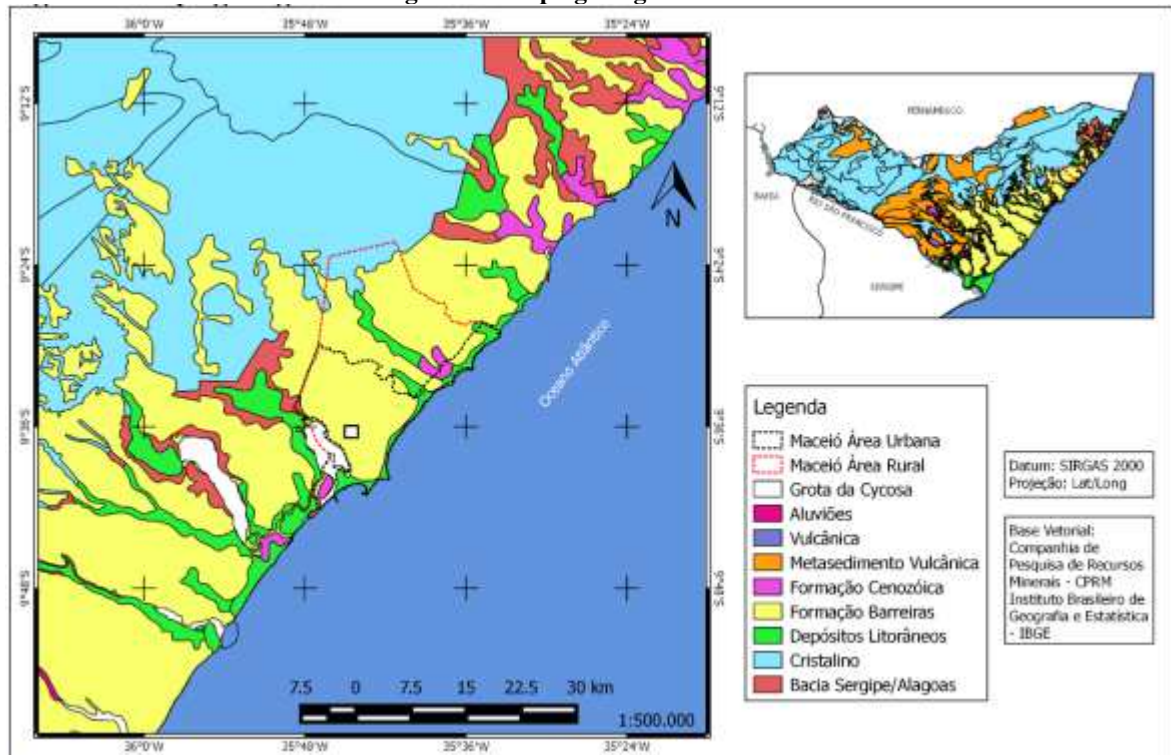
3.1.2 Geologia

Geologicamente o nordeste brasileiro é composto por diversas bacias sedimentares unidas a um grande escudo cristalino, definindo assim os sistemas aquíferos da região. Dessa forma, “os sistemas encontram-se subdivididos em dois compartimentos litoestruturais: o da Província Costeira e o da Borborema. O primeiro composto por rochas sedimentares ocupa quase a totalidade da área de estudo, enquanto o segundo é formado por rochas cristalinas” (ALMEIDA et al., 1977 apud MACEIÓ, 2007, p. 44).

A Figura 5 mostra o mapa geológico englobando o município de Maceió, onde predomina a Formação Barreiras.

A Bacia Endorréica está assentada completamente sobre os sedimentos da Formação Barreiras, que constitui a unidade estratigráfica que recobre a Bacia Sedimentar de Alagoas e ultrapassa os limites com o embasamento cristalino.

Figura 5 - Mapa geológico de Maceió



Fonte: Instituto de Meio Ambiente de Alagoas – IMA.

Elaboração: NETO, I. L. G. (2015)

A Bacia Alagoas assenta-se sobre rochas do Proterozóico, e compreende uma faixa costeira de cerca de 220 km de extensão e 40 km de largura média, limitando-se ao norte, com a Bacia Pernambuco-Paraíba, o Alto de Maragogi e ao sul, o Alto de Japoatã-Penedo, da Bacia Sergipe (SEMARH, 2008).

Segundo SEMARH (2008), a sedimentação na Bacia Alagoas teve seu início no Paleozóico Superior, com os clásticos do Grupo Igreja Nova (formações Batinga e Aracaré), sendo depois depositados os clásticos flúvio-lacustres do Grupo Perucaba (formações Candeeiro, Bananeiras e Serraria). Acima destas, vêm os sedimentos clásticos e evaporitos do Grupo Coruripe, caracterizados pela rápida variação de fácies, correspondentes às fases rift e transicional da bacia (formações Barra de Itiúba, Penedo, Rio Pitanga, Coqueiro Seco, Ponta Verde, Poção e Maceió).

Ainda no Cretáceo Inferior deu-se a primeira transgressão marinha na bacia, com as deposições dos clásticos grosseiros, evaporitos e carbonatos constituintes do Grupo Sergipe (formações Riachuelo e Cotinguiba). Acima do Grupo Sergipe, depositou-se o Grupo Piaçabuçu, constituído pelas formações Calumbi, Mosqueiro e Marituba, formada por clásticos grosseiros e carbonatos marinhos Neocretáceos e Terciários, que em Alagoas só são encontrados em sub-superfície (SEMARH, 2008).

Ainda segundo este autor, no final do Terciário (Plioceno) e início do Quaternário (Pleistoceno), já em ambiente continental, foram depositados os clásticos da Formação Barreiras, que serviram de cobertura para o registro sedimentar. Por final, já no Quaternário, a variação do nível do mar e os agentes de erosão, propiciaram e propiciam até hoje, o acúmulo dos sedimentos marinhos, fluviais, eólicos e flúvio-lagunares que compõem as planícies fluviais, lagunares e marinha costeira, conhecidos como Sedimentos de Praia e Aluvião.

Poços da Petrobras localizados no interior e no entorno da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins, perfuraram, do topo para a base, as formações Barreiras, Marituba, Poção, Maceió e Ponta Verde, constituindo, as duas primeiras, os sistemas aquíferos explorados na bacia Endorreica.

3.1.3 Geomorfologia

A morfologia predominante na região é a dos tabuleiros costeiros elaborados desde o Terciário Superior a partir dos depósitos da Formação Barreiras. Essa superfície é designada de “Superfície dos Tabuleiros” (MABESSONE; CASTRO, 1975). Apresenta declividade média de 3 metros por quilômetro no sentido leste e termina próximo à costa sob a forma de falésias que bordejam a planície costeira.

SEMARH (2008) afirma que os Tabuleiros Costeiros são representados por uma superfície de agradação, definida como processo de construção de superfície por deposição, composta basicamente por terrenos plio-pleistocênicos, também conhecidos como baixo planalto sedimentar costeiro.

Na faixa costeira, o trabalho de abrasão marinha A.P. (antes do presente), estabelecia contato direto com o oceano sobre as encostas do tabuleiro, o que originou falésias fósseis, separadas atualmente por depósitos quaternários.

Os tabuleiros são cortados transversalmente por rios que correm em cursos paralelos, separados por interflúvios tabuliformes (dissecados), formando vales e encostas fluviais, várzeas e lagunas.

A região do Tabuleiro do Martins localiza-se ao norte do município de Maceió, formando uma grande depressão natural, morfologia comum e típica dos tabuleiros costeiros de Alagoas. O relevo é bastante suave, com declividade média de 3 metros por quilômetro. Regionalmente, essa declividade tem sentido sudeste, terminando próximo à costa sob a forma de falésias que bordejam a planície costeira.

Localmente, o relevo indica uma conformação de bacia endorreica ou evaporimétrica, com as menores altitudes (originalmente em torno de 64m) formando uma grande depressão ou lagoa, localizada no centro da área estudada, no Polo Multisetorial Gov. Luiz Cavalcante. As maiores altitudes ocorrem na parte noroeste da área, sendo a máxima observada de 112m, contrastando com a falésia que logo se inicia em direção ao vale do rio Mundaú. Essa configuração é de grande importância para os aquíferos subjacentes, fazendo da área preferencialmente uma zona de recarga, por favorecer sobremaneira a infiltração direta a partir das precipitações.

Essa depressão, devido à ocupação urbana ocorrida na área, teve sua topografia alterada com os aterros necessários à implantação das construções civis: conjuntos residenciais, indústrias, ruas e estradas. As áreas não ocupadas se constituíram em outras depressões, como a do Conjunto Residencial Salvador Lira que, juntamente com a do Distrito Industrial, foram ampliadas e aprofundadas para compor um sistema mais eficiente de contenção das cheias, já em conformidade com o projeto de drenagem da área, denominado “Projeto de Macrodrenagem da Região do Tabuleiro do Martins”. Esse projeto prevê o lançamento de toda a água precipitada na região e acumulada nessas lagoas para a calha do rio Jacarecica.

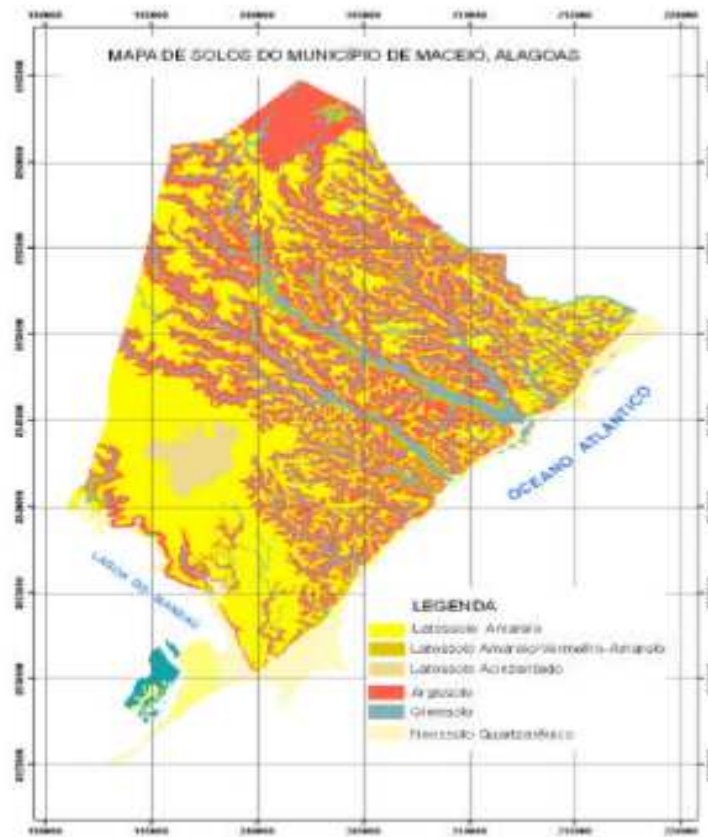
3.1.4 Solos

Maceió possui uma grande variedade litológica e ampla diversidade de solos (Latosolos, Argissolos, Gleissolos e Neossolos). Esses grupos de solos estão associados aos fatores físicos-ambientais e paleoambientais, por exemplo: as localizações na parte tropical do globo predominam a ocorrência de Latossolos que interage com as classes de vegetação.

A área de estudo da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins, apresenta majoritariamente o Latossolo. (COHIDRO, 2005. sp.) (Figura 6).

A topografia da área é bastante plana, com baixa declividade, enquanto o solo, constituído por Latossolos decorrentes da Formação Barreiras, apresenta boa resistência natural para as fundações de obras civis.

Figura 6 - Solos de Maceió



Fonte: IBGE 2010

Elaboração: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

3.1.5 Vegetação

Inserido nos domínios da Mata Atlântica, Maceió apresenta uma vasta diversidade na sua cobertura vegetal composta por espécies exógenas e nativas. O município integra a Área Piloto da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica – RBMA e dispõe do Parque Municipal de Maceió, com 82 ha, localizado no bairro de Bebedouro e duas Reservas Particulares do Patrimônio Natural - RPPN: Aldeia Verde com 11,42 ha e Tobogã com 1,0 ha (INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE – IMA, 2015).

A flora original da Mata Atlântica foi substituída em sua maior parte pela monocultura da cana-de-açúcar, pela pecuária e extração de madeira que reduziu a vegetação original a pequenos remanescentes, que geraram desequilíbrios ecológicos (COSTA; RAMOS, 2004).

As áreas com vegetação original localizadas são de responsabilidade de manutenção dos órgãos ambientais como o Instituto do Meio Ambiente de Alagoas (IMA) e Instituto

Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), além de áreas de usos particulares de relevada inclinação, ou seja, acima de 45° de inclinação.

Em Maceió a Floresta Ombrófila compreende a porção leste do município, enquanto que a Floresta Semidecidual ocupa o lado oeste, compreendendo as áreas das nascentes dos rios que compõem a rede hidrográfica local. Entretanto, vale salientar que, apesar do grande avanço dos desmatamentos generalizados, no interior de cada uma delas ainda são encontrados remanescentes dessas referidas formações (COHIDRO, 2005, p.48).

A área de estudo praticamente não possui remanescentes dessas Florestas, apresentando em sua porção norte, áreas de cultivo de cana-de-açúcar, constituindo parte da zona rural do município de Maceió.

3.1.6 Clima

A área de estudo pertencente ao município de Maceió que está situado na região Ambiental Litoral do Estado de Alagoas e, de acordo com a classificação de Köppen, o clima dessa região é classificado como do tipo As', correspondendo a um clima tropical chuvoso com verão seco e estação chuvosa a partir de abril com término em agosto. A classificação climática de Köppen, define o clima do município como úmido, segundo características climáticas, tais como: temperatura, precipitação e suas distribuições ao longo do ano.

Os ventos que sopram na cidade de Maceió são os alísios de Sudeste a Leste e os de retorno de Nordeste, ambos com velocidades variando de fraca a moderada, cujo valor oscila de 4,8 km/h a 7,9 km/h. A pluviosidade média anual é de 1.654 mm, com meses mais chuvosos de abril a julho (ALAGOAS, 1998a).

De acordo com a classificação climática de THORNTHWAITE-MATHER (1955), a região possui clima sub-úmido seco, com deficiência d'água moderada, megatérmico, com evapotranspiração potencial anual média de 1.193 mm e concentração da evapotranspiração potencial igual a 39% no quadrimestre outubro-janeiro, correspondente aos meses mais quentes do verão. Caracteriza um clima tropical, com baixa amplitude térmica. A umidade relativa do ar atinge o máximo de 82,9% no mês de maio e a mínima de 75,7% no mês de novembro (FERREIRA NETO *et al.*; 2002).

De clima “quente e úmido, Maceió constitui um bom exemplo de constância de nível térmico que caracteriza o litoral do Nordeste brasileiro, com temperatura média anual de 25,4°C e variação anual de 3,4°C” (BARBIRATO *et al.*, 2000, p.628).

3.1.7 Hidrografia

Segundo Silva (2013, p.67) a bacia endorreica do Tabuleiro, “tem seu ponto mais baixo na lagoa do Polo Multisetorial Governador Luiz Cavalcante. Atualmente suas águas são transpostas para a bacia do rio Jacarecica pelo canal da macrodrenagem que deságua na nascente principal deste rio”.

A área da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins está situada num interflúvio tabuliforme pouco dissecado delimitado pelos rios Carrapatinho, Messias ou do Meio, Pratagy, riacho Garça Torta, rio Jacarecica e riacho Reginaldo, totalizando cerca de 49 km².

Toda a água superficial dessa região provém das chuvas e esco, geralmente, para as depressões naturais existentes ou para as lagoas de acumulação escavadas com a finalidade de atenuar as cheias, muito comuns na região, de onde evapora ou infiltra no solo, contribuindo para a recarga dos sistemas aquíferos locais.

Por se tratar de uma bacia endorreica em elevado estágio de ocupação urbana, não possui uma rede de drenagem bem definida. As vias e ruas, com suas sarjetas se constituem na rede de drenagem urbana da área, direcionando as águas das chuvas para as depressões naturais que foram aprofundadas e acumulam as águas superficiais da bacia e de onde são direcionadas para a calha principal do rio Jacarecica.

3.1.8 Uso e ocupação do solo

Segundo Almeida (2016), estudando a urbanização da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins, através de cenários dos anos 1988, 2002 e 2013, obteve como resultado os valores constantes da tabela 03.

Tabela 3 - Uso e cobertura do solo na bacia endorreica nos anos de 1988, 2003 e 2013

Classes de Uso e Cobertura	Ano					
	1988		2002		2013	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Zonas florestais e vegetação densa	8,3	0,18	7,6	0,17	14,13	0,31
Campo e áreas verdes	3.433,12	75,02	2.548,26	55,69	2.048,20	44,76
Edificações	677,76	14,80	1.361,3	29,75	1.719,03	37,56
Zonas industriais e comerciais	173,38	3,79	224,83	4,91	326,69	7,14
Ruas e vias	279,78	6,11	390,65	8,54	443,41	9,69
Corpos d'água	3,85	0,08	43,55	0,95	24,73	0,54
Total	4.576,19	100,00	4.576,19	100,00	4.576,19	100,00

Fonte: Adaptado de Almeida (2016)

Esses resultados mostram, em 2013, uma predominância de áreas de campo e áreas verdes, com 44,76% da área da bacia, porém as áreas edificadas já superam esse valor, representando 54,39% da área da bacia.

3.1.9 Hidrogeologia

As feições litológicas, estratigráficas e estruturais de algumas unidades litoestratigráficas da Bacia Alagoas, da Formação Barreiras e da Sedimentos de Praia e Aluviões e as condições climáticas privilegiadas da região são favoráveis à acumulação de águas subterrâneas (FERREIRA NETO *et al.*; 2000).

As águas subterrâneas por apresentarem baixos custos de exploração e normalmente excelente potabilidade, têm tido grande importância para o abastecimento d'água urbana, industrial e rural da região dos Tabuleiros Costeiros do Estado de Alagoas (FERREIRA NETO *et al.*; 2000).

Os poços tubulares para captação de água subterrânea na região, penetraram as unidades litoestratigráficas Formação Barreiras e Formação Marituba, exploradas como aquífero na área de estudo.

3.1.9.1 Aquífero Barreiras

A Formação Barreiras que é aflorante em quase toda a bacia Alagoas sob a forma de extensos tabuleiros costeiros, tem uma área estimada de 3.843 km². Esta unidade tem uma espessura média de 72 m, com valores variando entre 5 e 118 m, conforme indicam os poços da PETROBRAS perfurados na região e os que exploram água subterrânea (SEMARH, 2008).

O aquífero Barreiras, isoladamente ou em conjunto com outras unidades litoestratigráficas é o mais explorado na região. Segundo Cavalcante (1975) *apud* SEMARH (2008):

esse aquífero é, isoladamente, um complexo sistema hidrodinâmico com uma zona livre superior e diversas camadas confinantes não contínuas que separam estratos mais permeáveis. A descontinuidade horizontal dos níveis confinantes faz com que o potencial das águas subterrâneas seja comandado pela superfície piezométrica da zona livre, podendo se comportar como um sistema livre ou livre coberto, conforme a sequência litológica predominante.

Sua litologia é representada por areias quartzosas com intercalações de argilas e siltes de cores variegadas e, ocasionalmente, bolsões ou camadas de seixos rolados e cangas ferruginosas. Na maioria dos perfis é encontrado um horizonte basal de arenito conglomerático ou mesmo conglomerado (p. 23).

A recarga por infiltração direta dos excedentes pluviométricos é facilitada pela morfologia predominante de tabuleiros, com drenagem pouco desenvolvida e incipiente e o alto índice pluviométrico e a regularidade das precipitações

Também principalmente na borda da Bacia Alagoas, quando os rios penetram no domínio sedimentar ocorre a alimentação deste aquífero pelas águas fluviais.

Cavalcante *et al.* (1992) estimaram o valor de 268 mm/ano, para a lâmina infiltrada na bacia do rio Messias, que representa, aproximadamente, 20% da precipitação média anual de 1.478,6 mm, calculada para a Estação Maceió (SUDENE, 1990), relativa ao período 1913 a 1985.

Ferreira Neto *et al.* (2000) estimaram a recarga para a região do Tabuleiros Costeiros do município de Maceió, com base no balanço hídrico cíclico, obtido pelo método de THORNTHWAITE-MATHER (1955), a partir das normais climatológicas de temperatura (INMET) e da pluviometria média mensal (SUDENE, 1990) do local, obtendo o valor de 288 mm/ano, bem próximo do valor obtido por Cavalcante *et al.* (1992).

3.1.9.2 Aquífero Marituba

A Formação Marituba do grupo Piaçabuçu não aflora, mas como subafloramento Pré-Barreiras é encontrado no litoral entre Barra de São Miguel e Piaçabuçu e em outra área que se inicia ao Norte da lagoa Mundaú e se estende para Nordeste até Barra de Santo Antônio, totalizando uma superfície de 605 km² (CAVALCANTE, 1975).

Segundo esse autor, os parâmetros hidrodinâmicos indicam um aquífero geralmente semi-confinado. Sua espessura é muito variável podendo alcançar até 500 metros nas regiões Norte de Maceió e na foz do rio São Francisco. Esta formação é representada por uma sequência de areia quartzosa de granulometria média a grosseira, conforme a secção tipo adotada pela PETROBRAS. A recarga nesse aquífero é exclusivamente por filtração vertical através dos clásticos da Formação Barreiras ou de outras unidades mais recentes.

3.2 Procedimentos metodológicos

Esta pesquisa possui natureza qualitativa e quantitativa. Utiliza o método hipotético dedutivo com o objetivo de analisar o grau de contaminantes onde a ação antrópica pode comprometer a qualidade das águas subterrâneas da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins, identificando áreas já comprometidas e avaliando essas áreas quanto ao grau de vulnerabilidade dos aquíferos locais.

A pesquisa foi dividida nas seguintes etapas:

- Levantamento de dados e informações: foram realizadas visitas à CASAL para obtenção dos relatórios das análises de qualidade das águas coletadas nos poços tubulares da área de estudo, nos anos de 2008 e 2018.

- Levantamento da bibliografia sobre o tema: compreendeu uma leitura da bibliografia dando destaque para as obras de Feitosa & Manoel Filho (2000), Macedo (1994), Guedes (1999), Criado (2012), além de artigos publicados em anais de eventos e em periódicos. Também foram feitas pesquisas em portais na internet buscando material bibliográfico necessário à elaboração dessa dissertação.

- Análise estatística dos dados coletados: as informações constantes nas análises da qualidade da água realizadas pela CASAL na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins foram tabuladas e permitiram a elaboração de gráficos de histograma e bloxpot para análise do comportamento dos diversos parâmetros físicos e químicos da água, permitindo classificar as águas analisadas conforme a legislação. Também foi elaborada planilha com as principais estatísticas descritivas, tais sejam: mínimo, máximo, média, mediana, variância, desvio padrão, assimetria e curtose.

- Cálculo e elaboração do mapa de vulnerabilidade do sistema aquífero local: a determinação da vulnerabilidade natural de aquíferos foi realizada através do método GOD, referência às iniciais em inglês dos parâmetros utilizados: Grau de confinamento da água subterrânea (**G**roundwater), Ocorrência de estratos de cobertura (**O**verall) e Distância até o lençol freático ou teto do aquífero confinado (**D**ePTH) (FOSTER, et al., 1987; FOSTER; HIRATA, 1988) apud (FOSTER et al., 2006).

A cada um desses parâmetros, os autores do método GOD atribuíram um valor nos limites de 0 a 1. O índice qualitativo é obtido pelo produto dos três valores, indicando o grau de vulnerabilidade, podendo ser classificada em: nula (insignificante), baixa, média (moderada), alta e extrema (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000).

Os parâmetros hidrogeológicos, fisiográficos e antrópicos foram qualificados e quantificados, ou seja, foram caracterizados através da atribuição de índices e conseqüentemente pesos. Conforme dados disponíveis, foram selecionados e analisados um total de 27 poços para o ano de 2008 e 19 poços para o ano de 2018 na área de estudo.

- Análise espacial dos dados: Consistiu na elaboração dos mapas de isovalores (isolinhas) referentes aos parâmetros físico-químicos constantes das análises da CASAL. Foi utilizado o software SURFER[®] versão 8 da Golden Software. Esses mapas permitiram a análise da distribuição espacial dos parâmetros relativos aos dados obtidos nos poços nos anos de 2008 e 2018. Salienta-se que os poços da CASAL, por serem destinados ao consumo

humano, estão localizados nas áreas urbanas, principalmente aquelas com urbanização mais densa devido à implantação de conjuntos residenciais. Áreas com plantio de cana-de-açúcar ocupam a porção superior da bacia, onde não há poços da CASAL.

- Finalizando a pesquisa, os mapas de distribuição dos valores dos parâmetros físico-químicos foram comparados com o mapa do grau de vulnerabilidade dos aquíferos locais, identificando as áreas que apresentaram comprometimento da qualidade das águas e que estão em áreas de risco quanto à vulnerabilidade natural dos aquíferos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise estatística da qualidade da água

A análise da qualidade da água correspondeu à determinação das principais estatísticas dos valores dos parâmetros físicos e químicos constantes dos relatórios da CASAL relativos às águas brutas coletadas em 27 poços para o ano de 2008 e 19 poços para o ano de 2018 na área de estudo.

Os resultados foram interpretados com base na Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde, na Resolução CONAMA nº 335/2003 e suas alterações, a partir das tabelas e dos gráficos que ilustram os resultados do monitoramento.

Os parâmetros físicos analisados foram: cor, turbidez, condutância específica e sólidos totais, enquanto que os parâmetros químicos foram: pH, acidez, alcalinidade, dureza, cálcio, magnésio, cloretos, sílica, sulfato, série nitrogenada (amônia, nitrito e nitrato), ferro total, sódio, potássio, e CO₂, todos disponíveis nos relatórios das análises da CASAL. Os resultados constam da tabela 4 e são apresentados a seguir.

4.1.1 pH

As águas subterrâneas locais variaram de ácidas a neutras. Segundo a portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde que estabelece os limites de 6,0 a 9,5 para o pH, em todos os poços estudados no ano de 2008 as águas não são adequadas para o consumo humano (Figura 7).

Figura 7 - Histograma do pH da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008

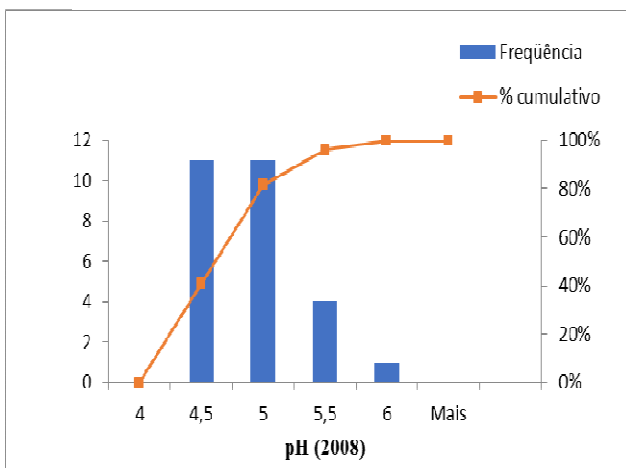


Figura 8 - Histograma do pH da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018

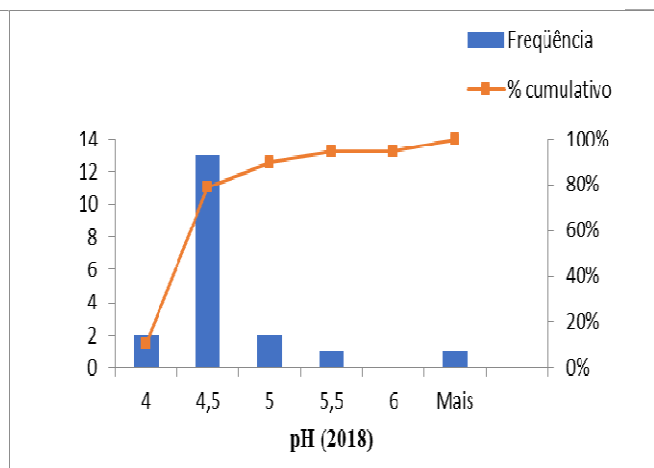


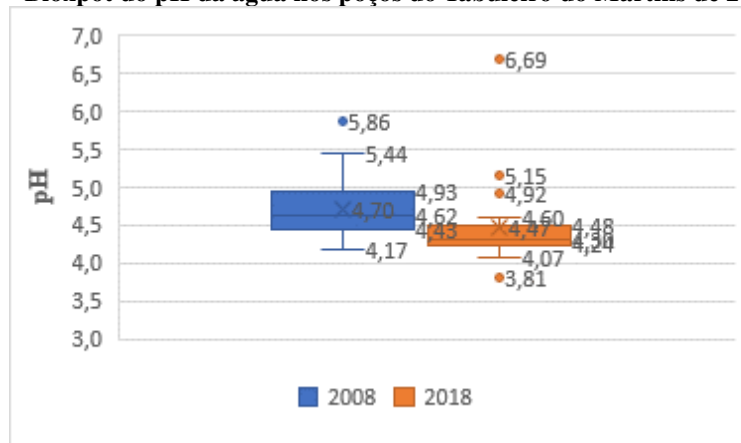
Tabela 4 - Análise estatística dos parâmetros físico-químicos

PARÂMETRO	MÍNIMO		MÁXIMO		MÉDIA		MEDIANA		VARIÂNCIA		DES VIO-PADRÃO		ASSIMETRIA		CURTOSE	
	2008	2018	2008	2018	2008	2018	2008	2018	2008	2018	2008	2018	2008	2018	2008	2018
pH	4,17	3,81	5,86	6,69	4,70	4,47	4,62	4,30	0,17	0,39	0,412	0,62	1,28	2,80	1,21	9,55
Cor (uH)	0,00	2,00	175,00	11,00	6,48	6,16	0,00	6,00	1134,26	8,92	33,679	2,99	5,20	0,14	27,00	-1,25
Turbidez (uT)	0,22	0,59	32,50	4,12	3,61	1,79	1,06	1,22	69,27	1,49	8,323	1,22	3,36	1,13	10,26	-0,39
Condutância Específica (uS/cm)	28,10	27,50	364,00	140,30	101,49	73,20	80,70	62,70	4828,53	904,19	69,488	30,07	2,30	1,18	7,06	1,15
Acidez (mg/L CaCO ₃)	8,00	12,00	44,00	78,00	21,26	31,05	22,00	28,00	80,05	222,83	8,947	14,93	0,76	1,82	0,38	4,63
Alcalinidade HCO ₃ (mg/L CaCO ₃)	2,00	2,00	28,00	120,00	7,85	11,89	8,00	6,00	27,98	688,21	5,289	26,23	2,63	4,33	8,40	18,81
Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	4,00	6,00	50,00	132,00	16,67	19,56	12,00	14,00	152,31	777,54	12,341	27,88	1,47	4,03	1,52	16,97
Cálcio (mg/L CaCO ₃)	2,00	0,00	20,00	56,00	5,93	6,21	6,00	4,00	19,23	148,84	4,385	12,20	1,78	4,19	3,59	17,97
Magnésio (mg/L CaCO ₃)	0,00	2,00	48,00	76,00	10,74	13,36	8,00	8,00	107,74	256,63	10,380	16,02	2,15	3,65	5,81	14,63
Cloretos (mg/L Cl ⁻)	9,00	8,30	120,00	119,10	22,63	32,09	18,00	25,00	447,17	663,24	21,146	25,75	4,04	2,47	18,49	7,08
Sílica (mg/L SiO ₂)	0,82	3,40	3,97	11,80	3,17	8,46	3,25	8,50	0,31	3,35	0,557	1,83	-2,95	-0,78	12,39	2,66
Sulfatos (mg/L SO ₄ ⁻)	0,00	0,20	4,65	8,30	0,76	2,21	0,51	1,80	1,06	5,03	1,028	2,24	2,51	1,79	7,48	2,96
Amônia (mg/L NH ₃)	0,00	0,00	1,92	0,80	0,22	0,17	0,01	0,10	0,20	0,04	0,449	0,20	2,68	2,53	7,62	6,04
Nitrato (mg/L N)	0,00	1,69	0,00	9,08	0,00	5,06	0,00	5,98	0,00	6,82	0,000	2,61	0,00	0,00	0,00	-1,64
Nitrito (mg/L N)	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,004	0,00	4,05	4,36	16,71	19,00
Ferro Total (mg/L Fe)	0,06	0,00	3,44	0,26	0,31	0,11	0,18	0,08	0,40	0,01	0,631	0,08	5,06	0,40	26,01	-0,99
Sódio (mg/L Na ⁺)	6,00	6,00	65,20	23,00	22,08	14,83	21,00	16,00	150,00	24,69	12,247	4,97	1,70	-0,28	4,83	-0,81
Potássio (mg/L K ⁺)	0,20	0,00	2,40	2,00	0,93	0,75	0,70	1,00	0,40	0,30	0,633	0,54	1,10	-0,04	0,33	0,07
CO ₂ (mg/L CO ₂)	31,59	49,70	1097,90	1886,50	375,20	637,75	292,18	610,40	74202,22	233572,21	272,401	483,29	0,82	1,36	0,27	2,09
Sólidos Totais (mg/L)	22,00	28,00	278,00	198,00	88,15	90,63	70,00	92,00	3811,05	1949,80	61,734	44,16	1,59	0,57	2,75	0,56

No ano de 2018 (Figura 8) o poço PLSL-02 situado no conjunto Salvador Lyra apresentou pH de 6,69, único no referido ano com pH dentro dos padrões adequados para consumo humano.

No caso da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins observa-se uma acidificação da água no período estudado, de 2008 a 2018, conforme mostrada na figura 9, reforçando uma possível contaminação por esgoto.

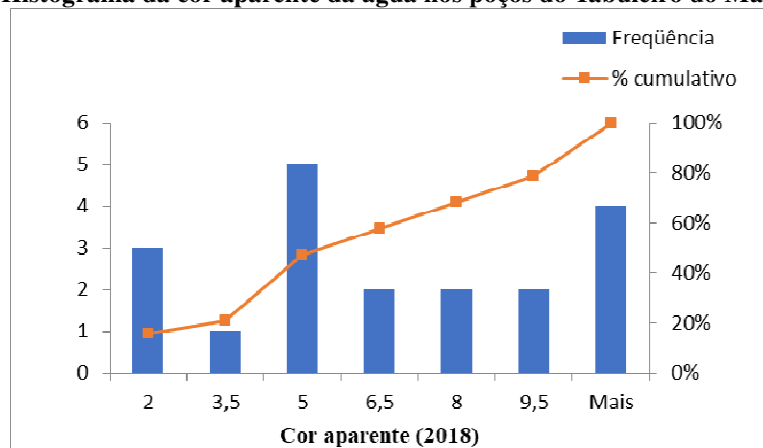
Figura 9 - Bloxpot do pH da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018



4.1.2 Cor aparente

No período de 2018 (Figura 10), verifica-se uma mudança drástica ao comparar com os dados do ano de 2008, onde a cor aparente foi igual a 0 uH.

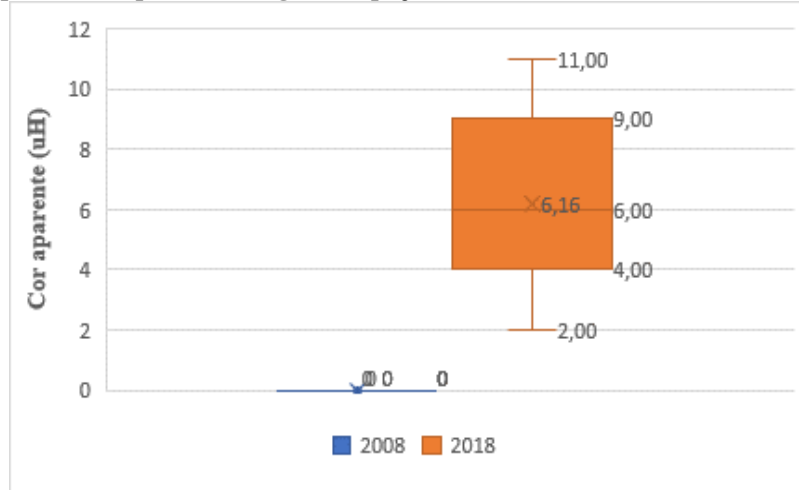
Figura 10 - Histograma da cor aparente da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018



Para atender o padrão de potabilidade, a água deve apresentar intensidade de cor aparente inferior a 5,0 uH. Dados colhidos em 2018 mostraram que mais da metade dos poços analisados apresentaram cor acima de 5,0 uH, destacando-se o poço PCB-06 (poço Clima Bom) cuja cor aparente apresentou 11,0 uH (Figura 11).

Valores elevados de cor aparente são característicos de águas com presença considerável de partículas em suspensão.

Figura 11 - Bloxpot da cor aparente da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018

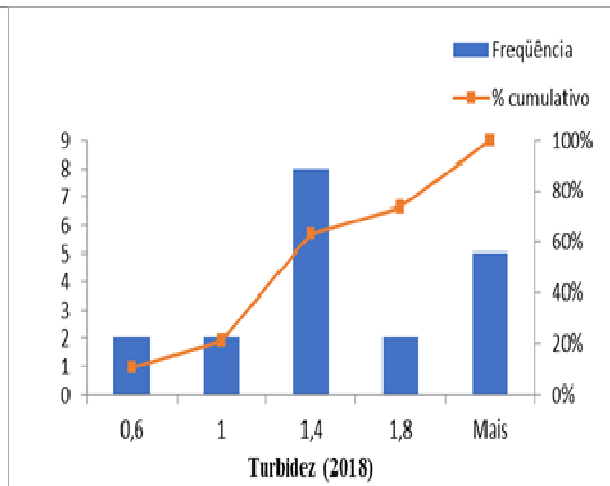
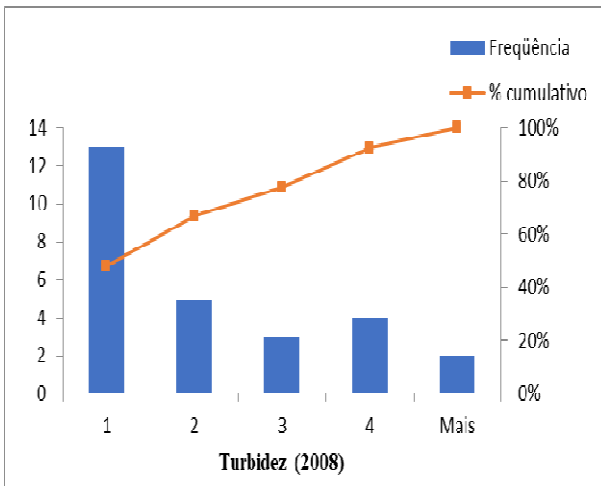


4.1.3 Turbidez

Os dados de 2008 (Figura 12) apresenta relevância ao analisarmos os poços PCB-06 (poço Clima Bom) e PHV-03 (poço Hélio Vasconcelos), com turbidez 32,02 uT e 32,05 uT, respectivamente.

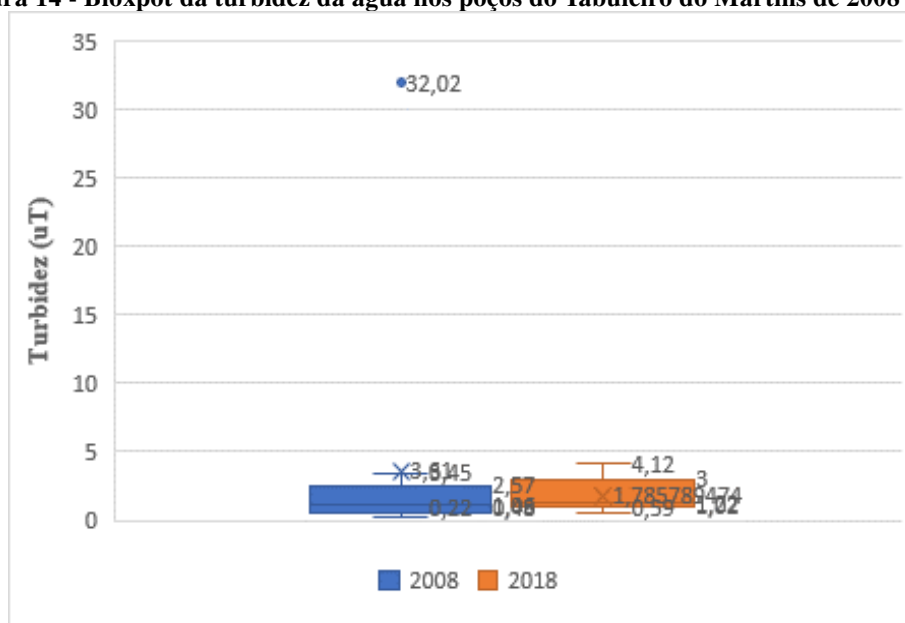
Figura 12 - Histograma da turbidez da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008

Figura 13 - Histograma da turbidez da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018



No ano de 2018 (Figura 13), maior parte dos dados está fora do padrão estabelecido. No Brasil, o padrão de potabilidade para turbidez definido pela Portaria n° 36/1990 do Ministério da Saúde é de 1,0 uT.

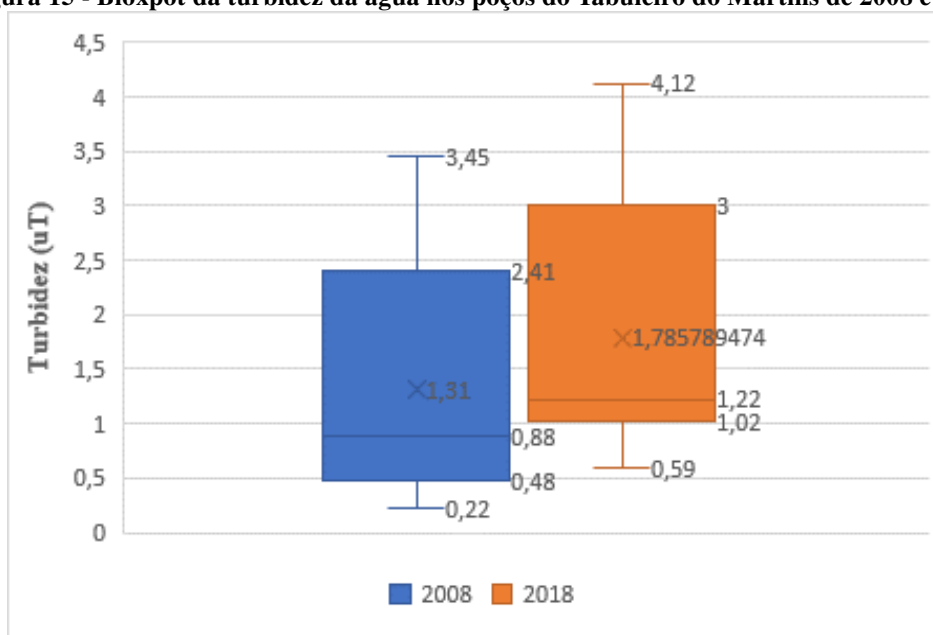
Figura 14 - Bloxpot da turbidez da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018



Por apresentar um provável erro grosseiro de 32,02 uT (poço PCB 06-Clima Bom) para o ano de 2008, o bloxpot de turbidez foi refeito, expurgando o valor referido (Figura 15).

Observa-se também um aumento da turbidez ao compararmos os dados de 2008 e 2018 (Figura 14), evidenciando anormalidade no parâmetro analisado para a maioria dos poços.

Figura 15 - Bloxpot da turbidez da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018



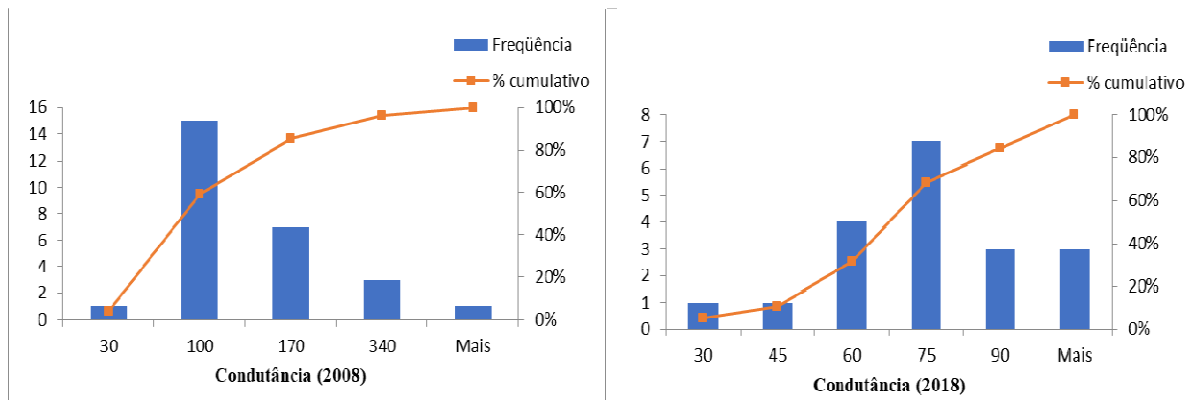
4.1.4 Condutância específica

A partir da medida de condutividade elétrica podemos estimar a salinidade da água, definida como a quantidade total de sais dissolvidos na água. As águas naturais geralmente apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

No ano de 2008 (Figura 16), os dados cedidos pela CASAL, apontam poços fora do padrão estabelecido pela Agência Nacional de Águas (ANA) para esse parâmetro.

Figura 17 - Histograma da condutância específica da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008

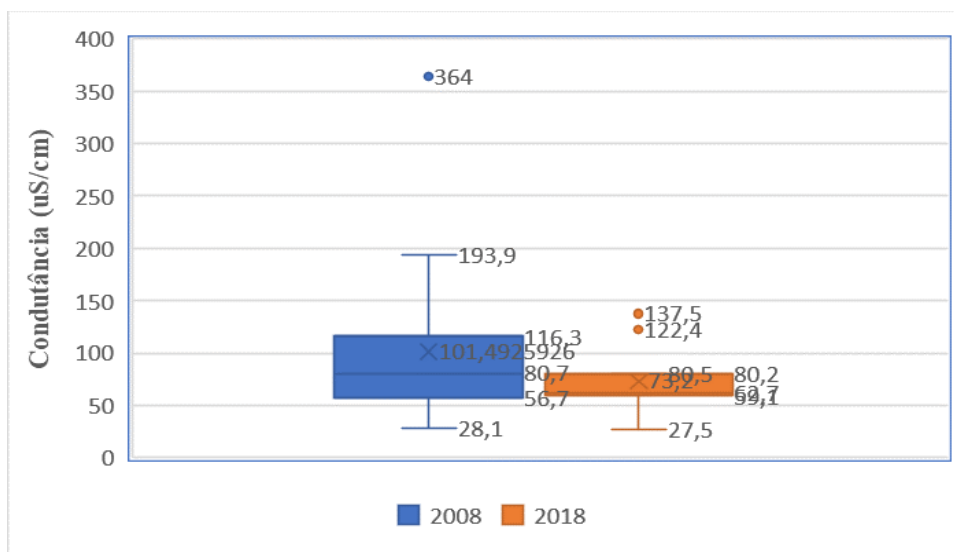
Figura 16 - Histograma da condutância específica da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018



Já no ano de 2018 (Figura 17), só os poços PT-03 (poço Tabuleiro), PCB-05 (poço Clima Bom) e PCB-06 (poço Clima Bom), ficaram fora do padrão estabelecido.

Observamos uma diminuição da condutância específica ao compararmos os dados de 2008 e 2018 (Figura 18), constatando uma eventual melhora no parâmetro analisado.

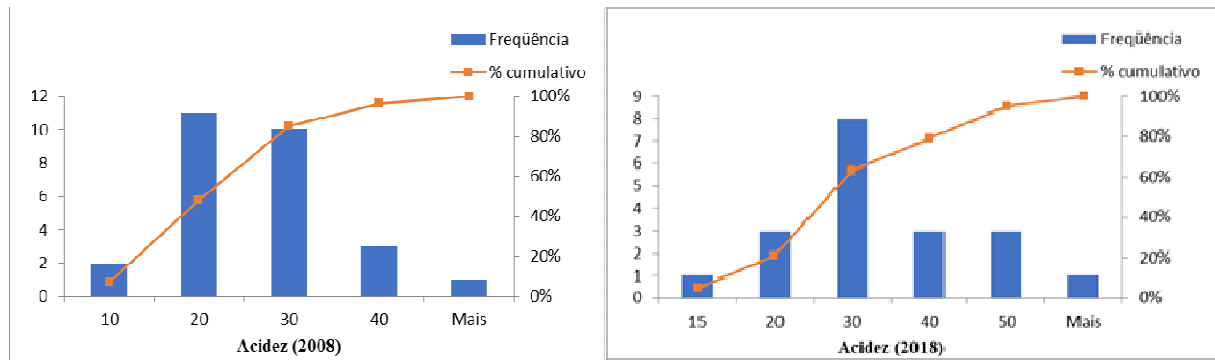
Figura 18 - Bloxpot da condutância específica da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018



4.1.5 Acidez

No período de 2008 (Figura 19), caracteriza-se por uma concentração significativa de ácidos, denominando assim como uma acidez carbônica.

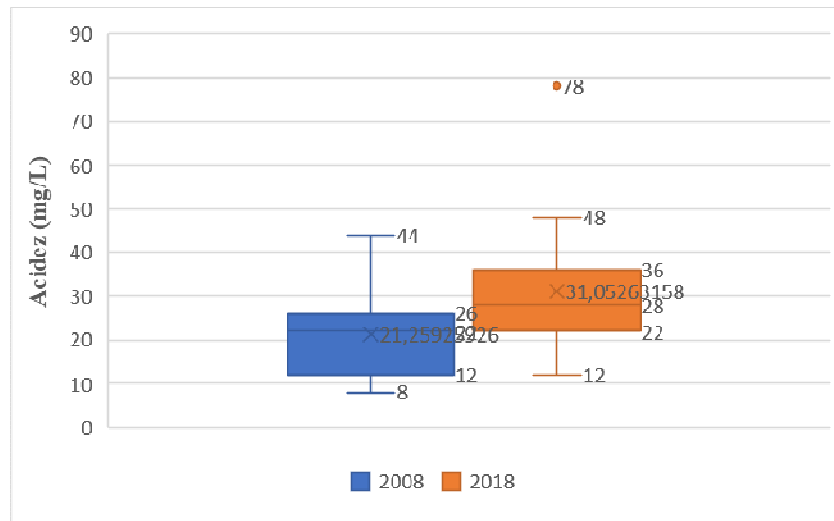
Figura 19 - Histograma da acidez da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008 **Figura 20 - Histograma da acidez da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018**



No período de 2018 (Figura 20), os dados mediante acidez continuam altos, permanecendo na classificação denominada como acidez carbônica.

Os dados de 2008 e 2018 (Figura 21), corroboram para um possível processo de acidificação das águas da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins.

Figura 21 - Bloxpot da acidez da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018



4.1.6 Alcalinidade

A alcalinidade das águas não representa risco potencial à saúde pública. Provoca alteração no paladar e a rejeição da água em concentrações inferiores àquelas que eventualmente pudessem trazer prejuízos mais sérios. A alcalinidade está limitada pelo valor do pH.

Podemos observar uma pequena melhora nos parâmetros da alcalinidade, nas figuras 22 e 23, respectivamente 2008 e 2018.

Figura 22 - Histograma da alcalinidade da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008

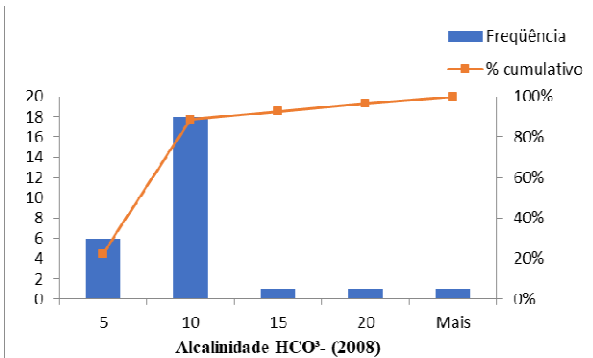
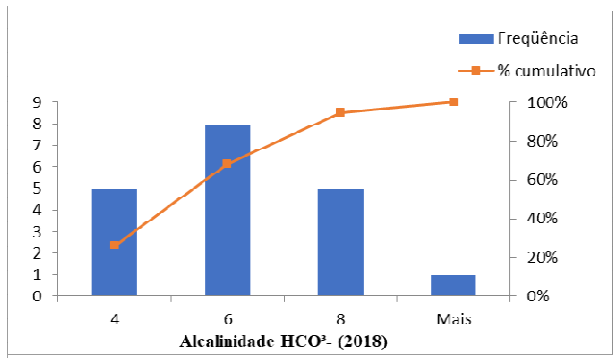
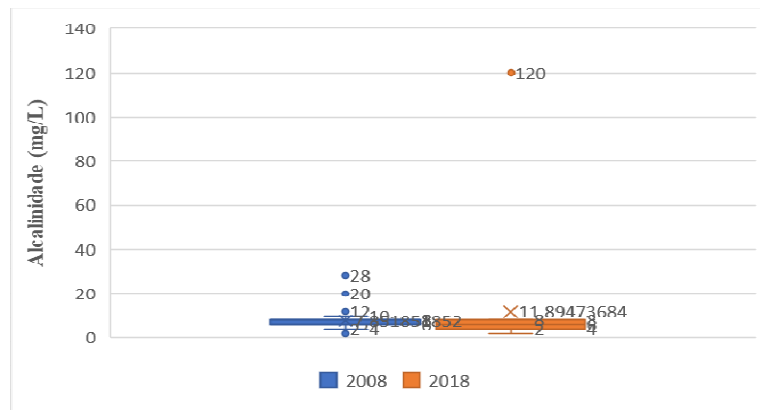


Figura 23 - Histograma da alcalinidade da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018



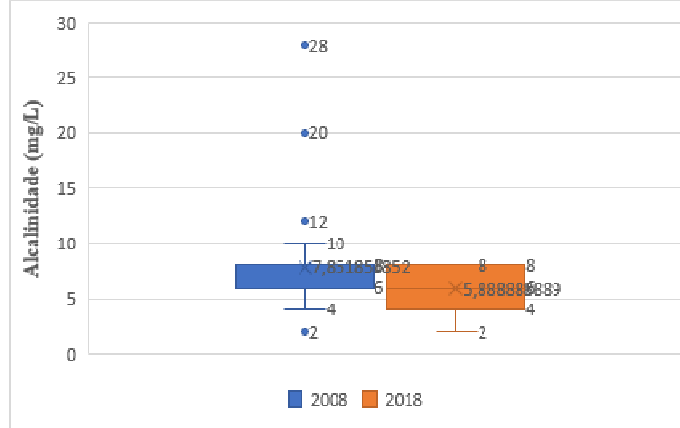
Sendo assim, na figura 24, a grande maioria dos poços apresentou valores relativamente baixos de alcalinidade nos dois períodos, excetuando-se o poço PLSL-02 (poço Salvador Lyra) com um valor atípico na ordem de 120 mg/l.

Figura 24 - Bloxpot alcalinidade da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018



Por apresentar um provável erro grosseiro de 120 (poço PLSL 02-Santa Lúcia) para o ano de 2018, o bloxpot de alcalinidade foi refeito, expurgando o valor referido (Figura 25).

Figura 25 - Bloxpot alcalinidade da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018



4.1.7 Dureza Total

Partindo dos dados obtidos junto a CASAL dos anos de 2008 e 2018 (figuras 26 e 27), a dureza total possui potabilidade dentro dos padrões estabelecidos.

Figura 26 - Histograma da dureza total da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008

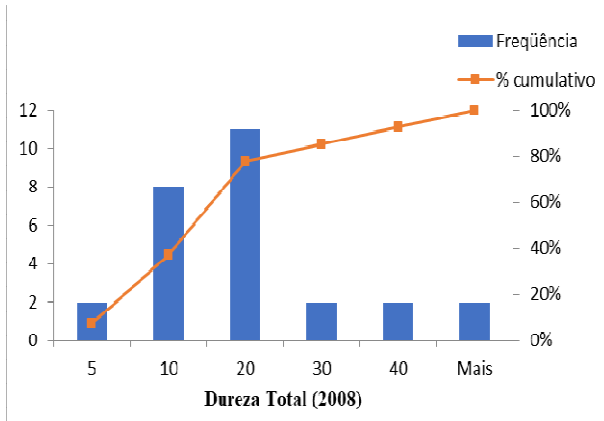
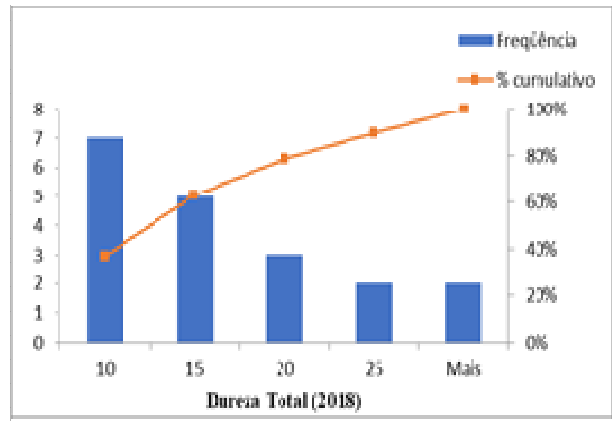
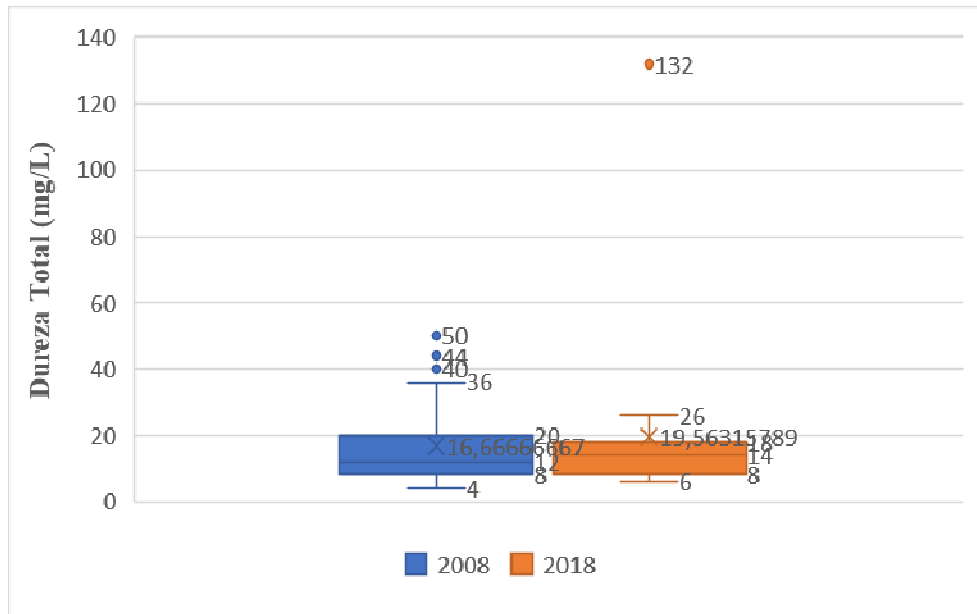


Figura 27 - Histograma da dureza total da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018



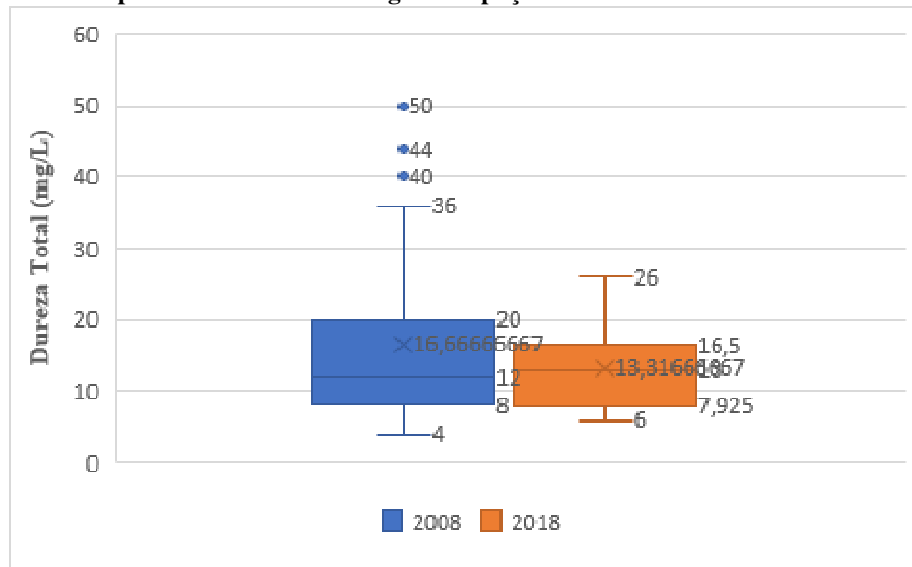
Registra-se, conforme Figura 28, que em ambos os períodos, a dureza total apresentou valores relativamente baixos.

Figura 28 - Bloxpot da dureza total da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018



Por apresentar um provável erro grosseiro de 132 (poço PLSL 02-Santa Lúcia) para o ano de 2018, o bloxpot de dureza total foi refeito, expurgando o valor referido (Figura 29).

Figura 29 - Bloxpot da dureza total da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018



4.1.8 Cálcio

Durante o decorrer do tempo observa-se, na Figura 30, uma estabilidade na concentração de cálcio nas águas explotadas pelos poços tubulares. Na Figura 31 é representada a evolução gradual destas concentrações para as águas explotadas, principalmente pelo poço tubular PLSL-02 (poço Salvador Lyra). Na figura 32, as concentrações são praticamente estáveis nos períodos 2008 e 2018.

Figura 30 - Histograma de cálcio da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008

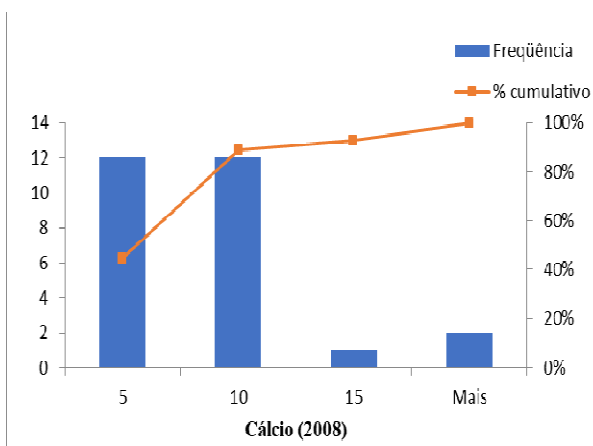


Figura 31 - Histograma de cálcio da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018

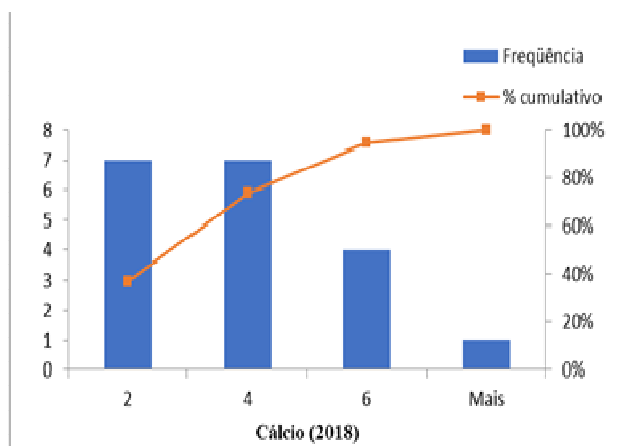
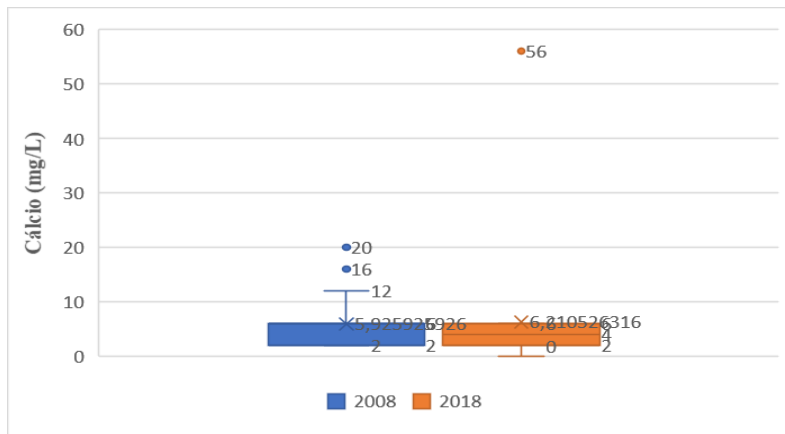


Figura 32 - Bloxpot de cálcio da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018



4.1.9 Magnésio

Os poços PSL-03 (poço Santa Lúcia) e PLSL-02 (poço Salvador Lyra) foram os únicos que apresentaram valores acima do recomendado (40mg/L), 48mg/L em 2008 (Figura 33) e 76mg/L em 2018 (Figura 34), respectivamente.

Figura 33 - Histograma de magnésio da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008

Figura 34 - Histograma de magnésio da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018

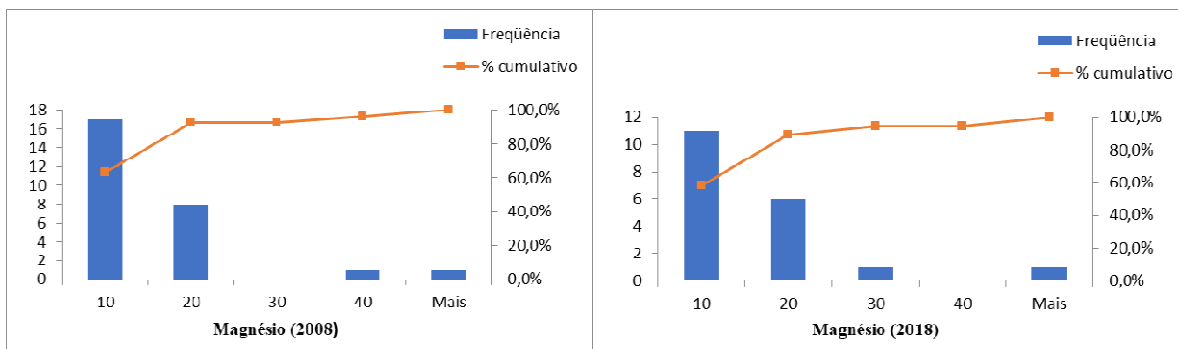
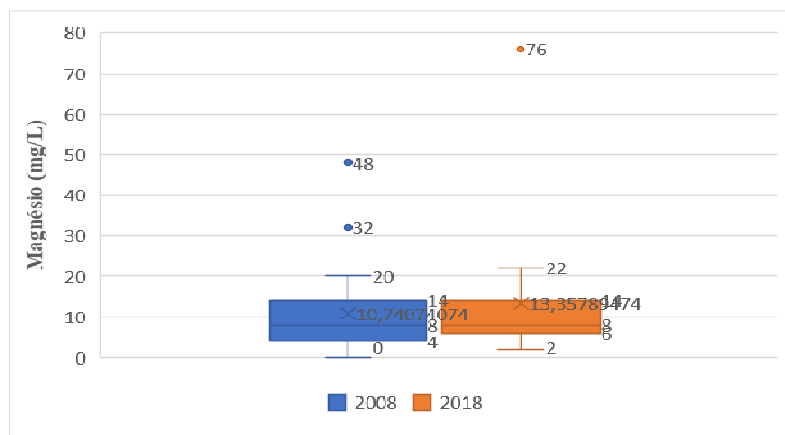
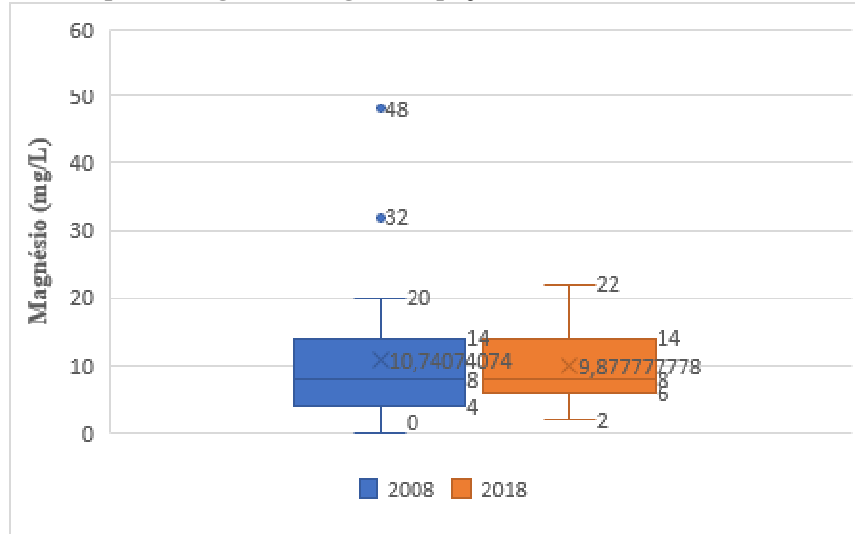


Figura 35 - Bloxpot de magnésio da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018



Por apresentar um provável erro grosseiro de 76 (poço PLSL 02-Santa Lúcia) para o ano de 2018, o bloxpot de magnésio foi feito, expurgando o valor referido (Figura 36).

Figura 36 - Bloxpot de magnésio da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018



4.1.10 Cloretos

No ano de 2008 (Figura 37) o poço PJDL-01A situado no conjunto José Dubeaux Leão apresentou cloreto de 120m/L, único no referido ano apresentando cloretos fora do padrão adequado para consumo.

Figura 37 - Histograma de cloretos da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008

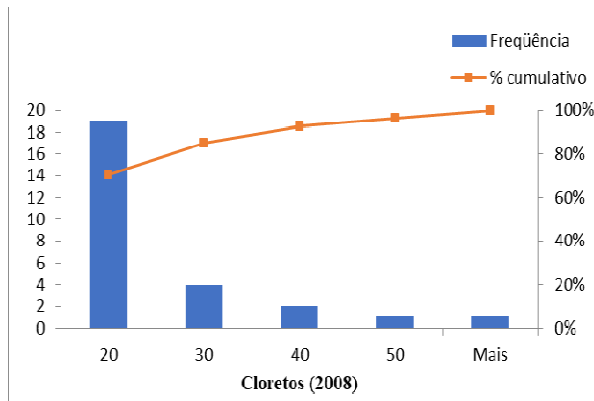
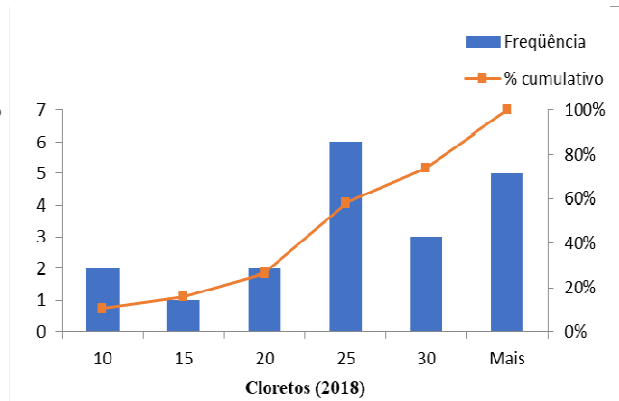


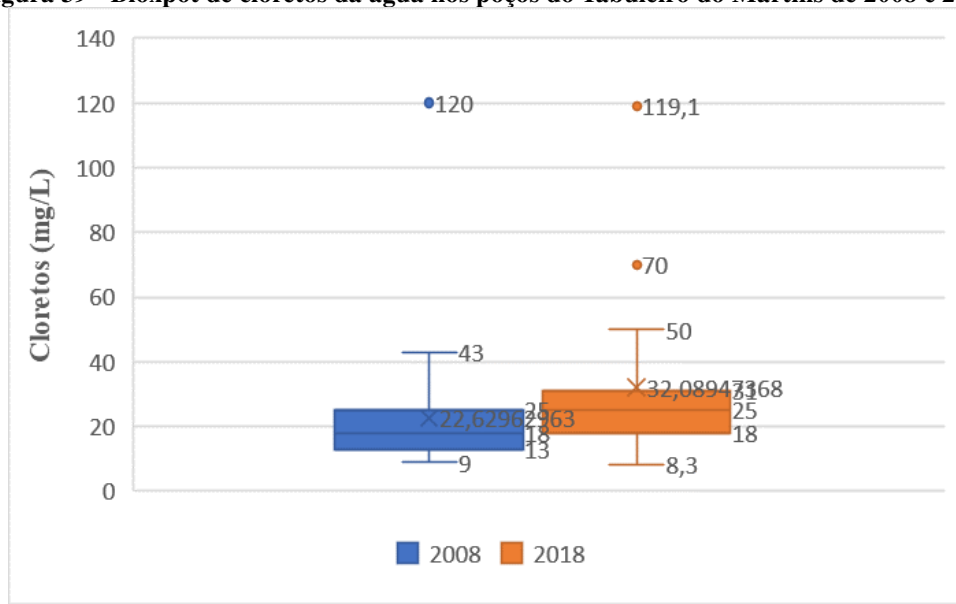
Figura 38 - Histograma de cloretos da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018



No ano de 2018 (Figura 38) o poço PCU-01 situado no conjunto Cidade Universitária, apresentou cloreto de 119,1m/L, único no referido ano apresentando cloreto fora do padrão adequado para consumo.

Observamos aumento dos cloretos ao compararmos os dados de 2008 e 2018 (Figura 39), constatando eventual acréscimo no parâmetro analisado.

Figura 39 - Bloxpot de cloretos da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018



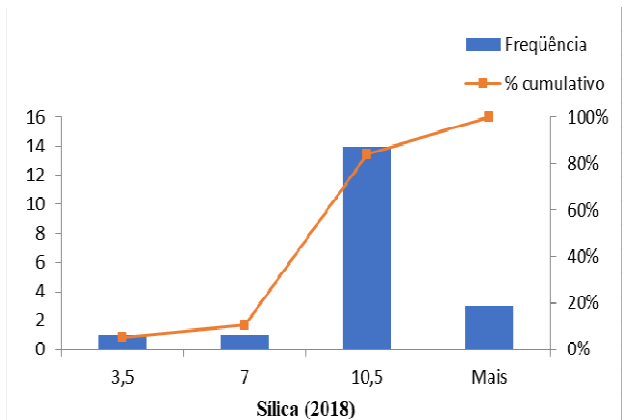
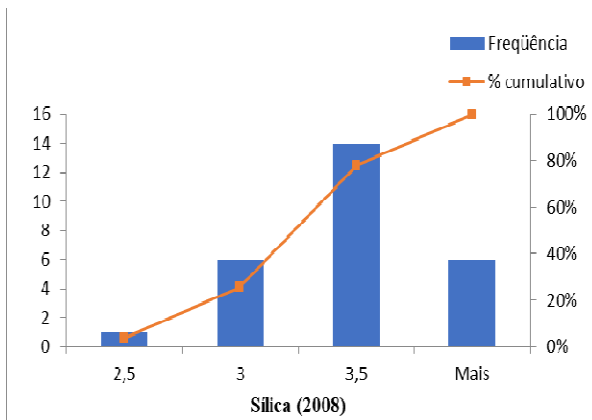
4.1.11 Sílica

A Sílica está presente como silicatos na maioria das águas naturais. Concentrações típicas variam entre 1 e 30 mg/l.

Todos poços estudados nos anos de 2008 (Figura 40) e 2018 (Figura 41), apresentaram sílica dentro do padrão estabelecido.

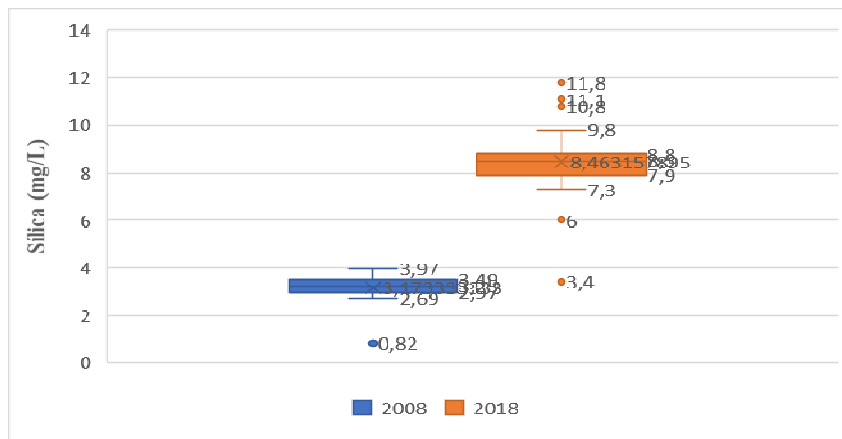
Figura 40 - Histograma de sílica da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008

Figura 41 - Histograma de sílica da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018



Mesmo apresentando a sílica dentro dos padrões, a figura 42 revela aumento significativo no comparativo entre 2008 e 2018.

Figura 42 - Bloxpot de sílica da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018

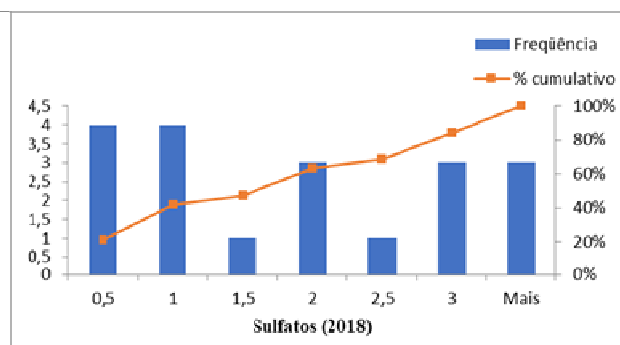
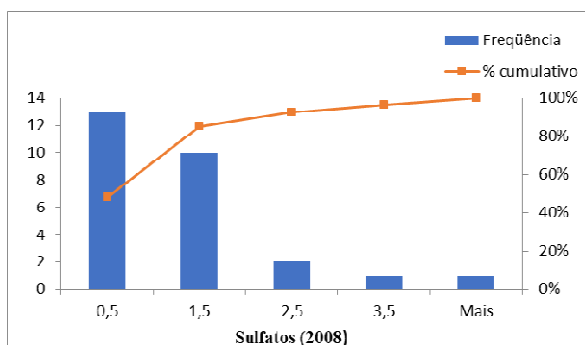


4.1.12 Sulfatos

Todos poços estudados nos anos de 2008 (Figura 43) e 2018 (Figura 44), apresentaram sulfatos dentro do padrão estabelecido.

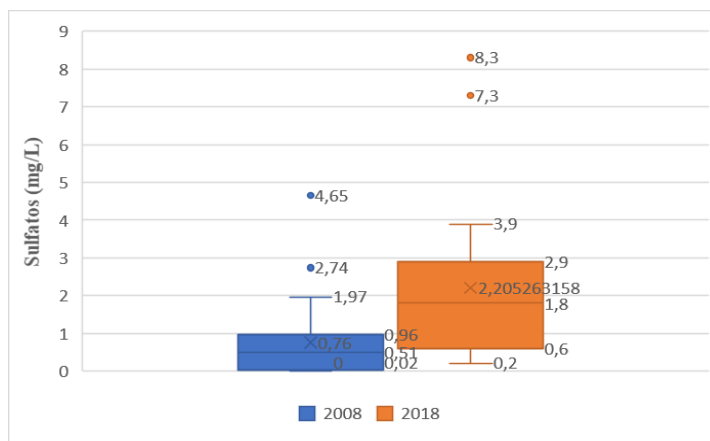
Figura 43 - Histograma de sulfatos da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008

Figura 44 - Histograma de sulfatos da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018



Mesmo apresentando sulfatos dentro do padrão, a figura 45 evidencia aumento significativo no comparativo entre 2008 e 2018.

Figura 45 - Bloxpot de sulfatos da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018



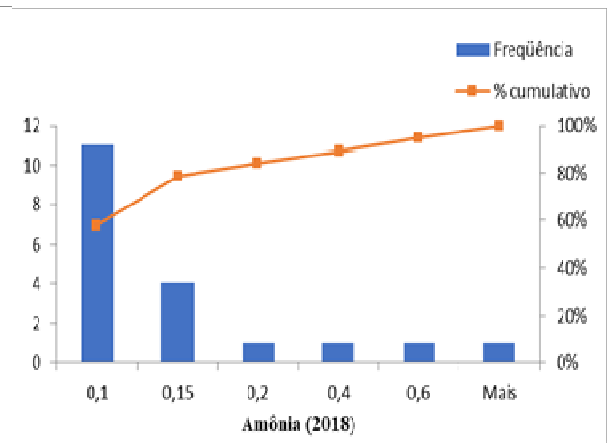
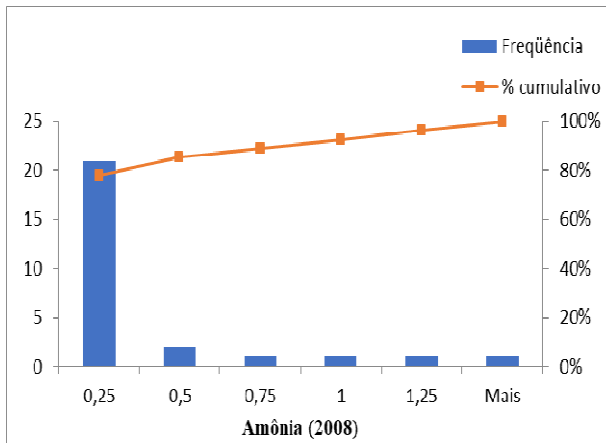
4.1.13 Amônia

Amônia pode estar presente naturalmente em águas superficiais ou subterrâneas, sendo que usualmente sua concentração é bastante baixa devido à sua fácil adsorção por partículas do solo ou à oxidação a nitrito e nitrato. Entretanto, a ocorrência de concentrações elevadas pode ser resultante de fontes de poluição próximas, bem como da redução de nitrato por bactérias ou por íons ferrosos presentes no solo.

No ano de 2008 (Figura 46) o poço PT-01 situado no bairro Tabuleiro do Martins, apresentou amônia de 1,92mg/L, podendo caracterizar contaminação.

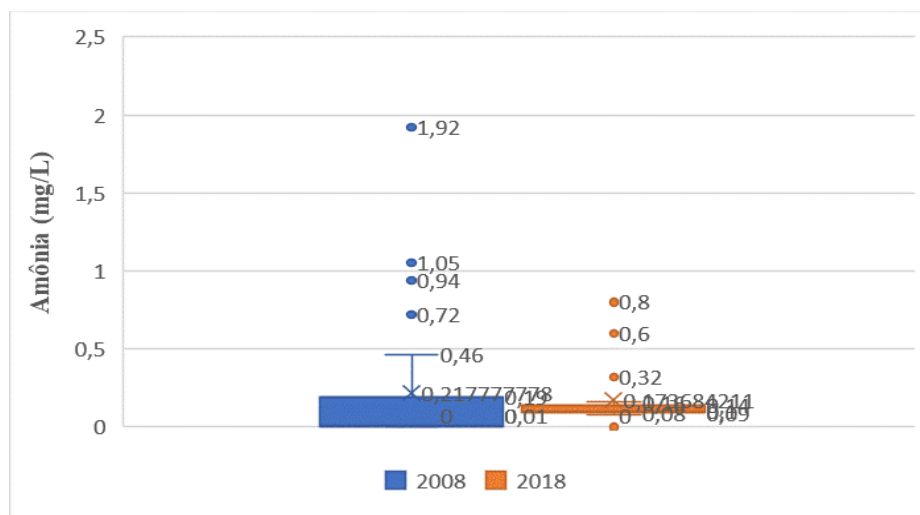
Figura 46 - Histograma de amônia da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008

Figura 47 - Histograma de amônia da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018



No ano de 2018 (Figura 47) todos os poços apresentaram teores dentro do padrão. Na figura 48, detecta-se uma relativa melhora nos dados de 2008 para 2018.

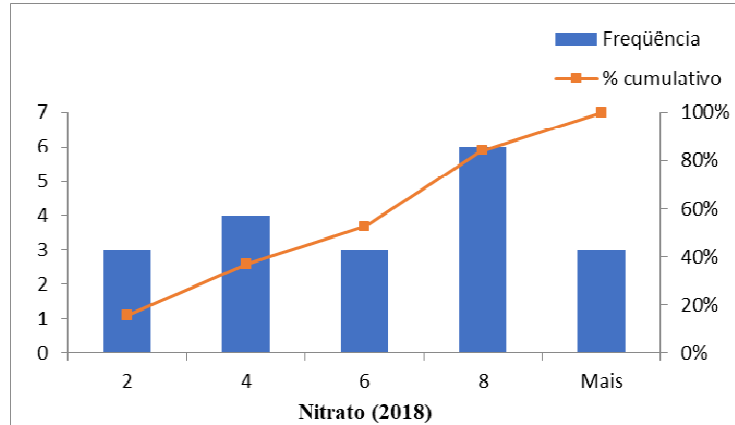
Figura 48 - Bloxpot de amônia da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018



4.1.14 Nitrato

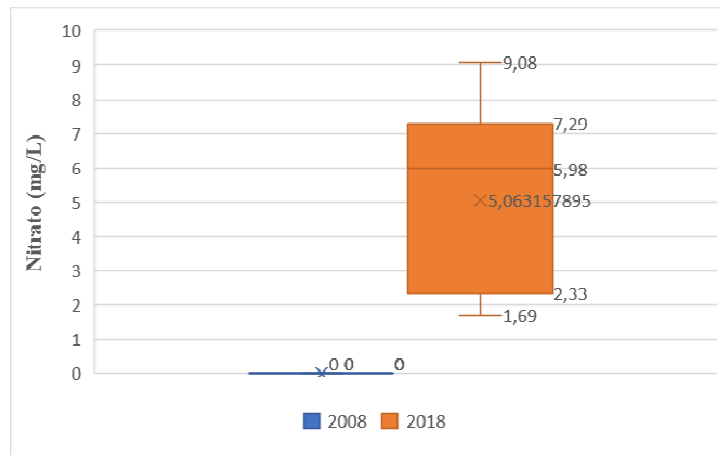
Os dados analisados do nitrato no ano de 2018 (Figura 49) são preocupantes por apresentarem nove poços (PHE-01, PIN-02, PLSL-02, PCB-05, PCB-06, PMAL-01, PMAL-02, PCJ-03 e PCJS-02) ultrapassando teores acima de 5mg/L.

Figura 49 - Histograma de nitrato da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018



Observando a figura 50 do nitrato, há grande possibilidade de contaminação por dejetos pela total inexistência do mesmo no ano de 2008.

Figura 50 - Bloxpot de nitrato da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018



4.1.15 Nitrito

O nitrito é um contaminante das águas subterrâneas preocupante, devido ao risco que acarreta à saúde humana quando ingerido acima de 1 mg/litro.

Foi identificado ausência de nitrito na série de dados obtido nos anos de 2008 e 2018.

4.1.16 Ferro Total

Apesar de o organismo necessitar diariamente de 19 mg de ferro, a portaria de potabilidade exige que a água de abastecimento público não ultrapasse 0,3 mg/L. Esse limite é

estabelecido devido aos problemas estéticos relacionado a presença do ferro na água e do sabor ruim que o ferro lhe confere.

Em 2008 (Figura 51), os poços PJDL-01A (poço José Dubeaux Leão) com 0,32mg/L, POL-01 (poço Osman Loureiro) com 0,33mg/L, PSL-02 (poço Salvador Lyra) com 0,39mg/L e o PHV-03 (poço Hélio Vasconcelos) com 3,44mg/L, ultrapassaram os dados recomendados, principalmente o poço PHV-03. Em 2018 (Figura 52), todos poços se enquadram nas normas vigentes para o Ferro Total.

Figura 52 - Histograma de ferro total da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008

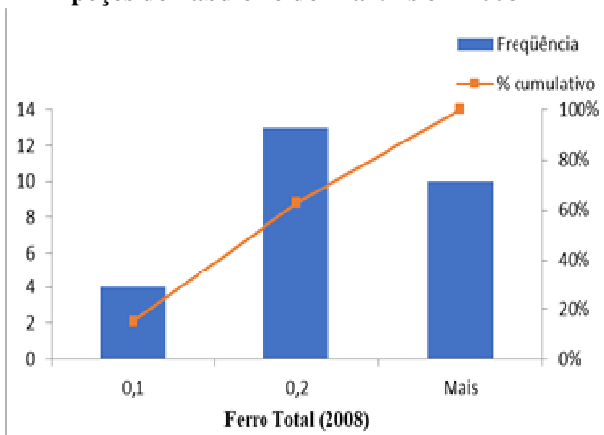
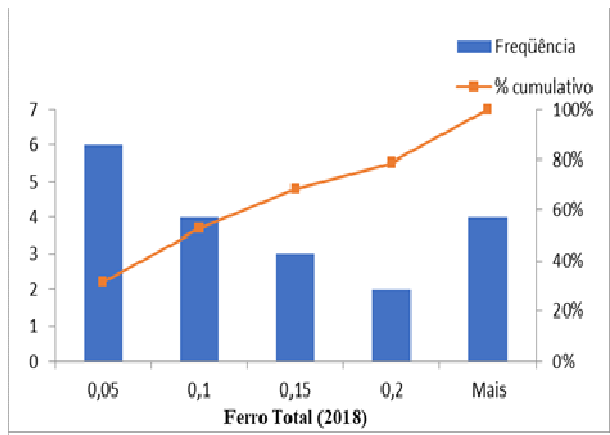
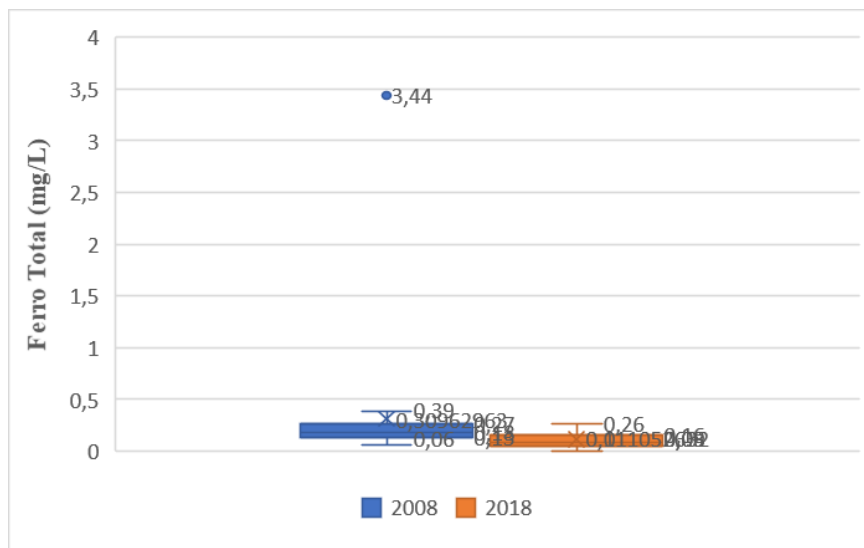


Figura 51 - Histograma de ferro total da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018



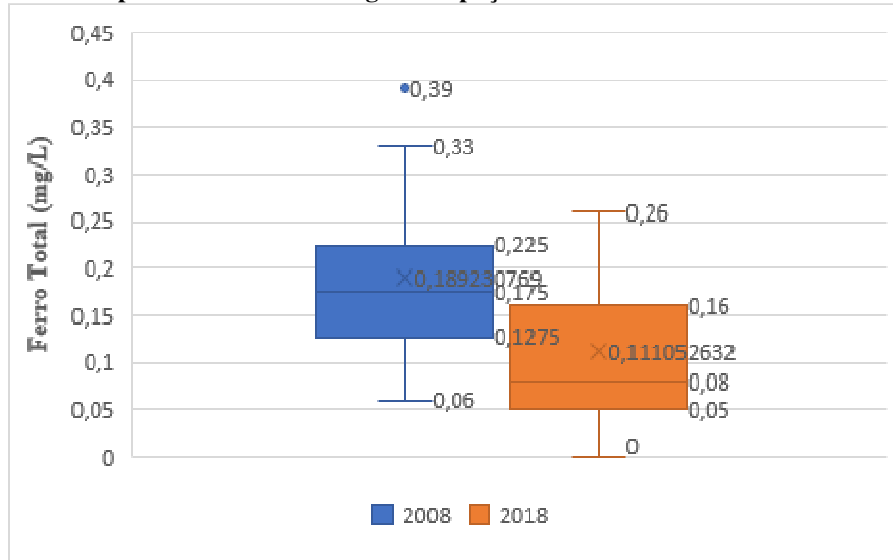
Observamos redução do Ferro Total ao compararmos os dados de 2008 e 2018 (Figura 53).

Figura 53 - Bloxpot de ferro total da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018



Por apresentar um provável erro grosseiro de 3,44 (poço PHV 03-Hélio Vasconcelos) para o ano de 2008, o bloxpot de ferro total foi refeito, expurgando o valor referido (Figura 54).

Figura 54 - Bloxpot de ferro total da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018

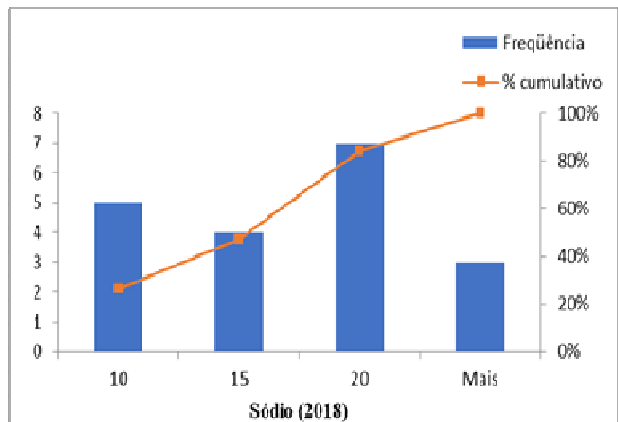
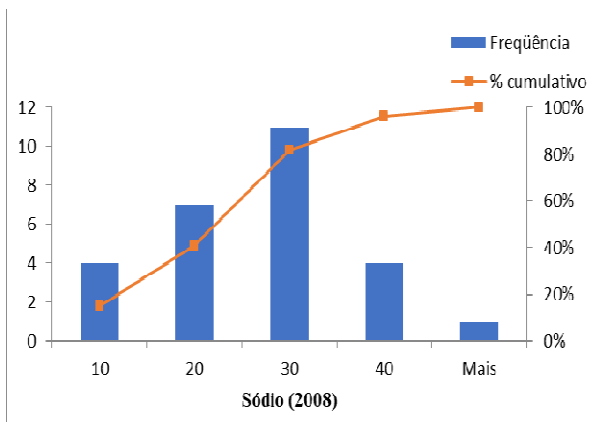


4.1.17 Sódio

Nas águas estudadas, as concentrações de Na⁺ apresentaram concentração entre 6 e 65,2 mg/L, nos anos de 2008 e 2018 (Figuras 55 e 56), estando, portanto, de acordo com o padrão de potabilidade estabelecido pela legislação vigente.

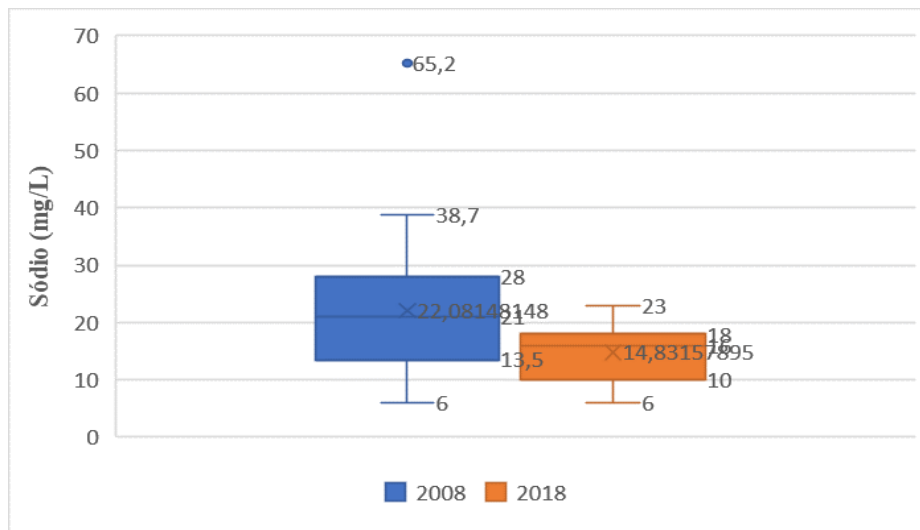
Figura 55 - Histograma de sódio da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008

Figura 56 - Histograma de sódio da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018



Observa-se redução do sódio ao comparar os dados de 2008 e 2018 (Figura 57).

Figura 57 - Bloxpot de sódio da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018



4.1.18 Potássio

As concentrações de potássio nos anos de 2008 e 2018 (Figuras 58 e 59), estão de acordo com o padrão de potabilidade estabelecido pela legislação vigente.

Figura 58 - Histograma de potássio da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008

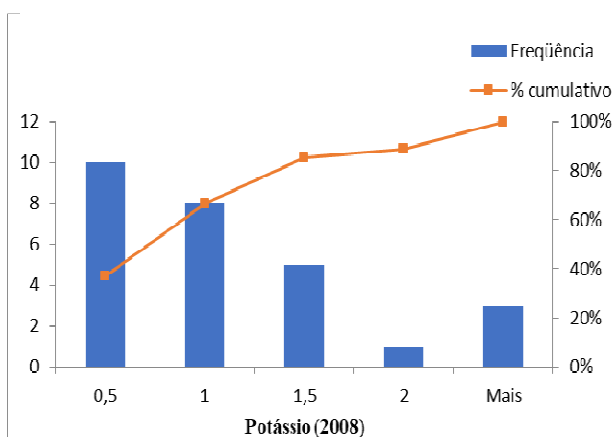
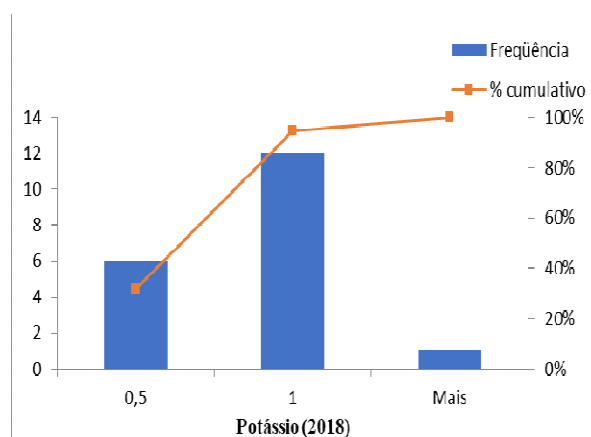
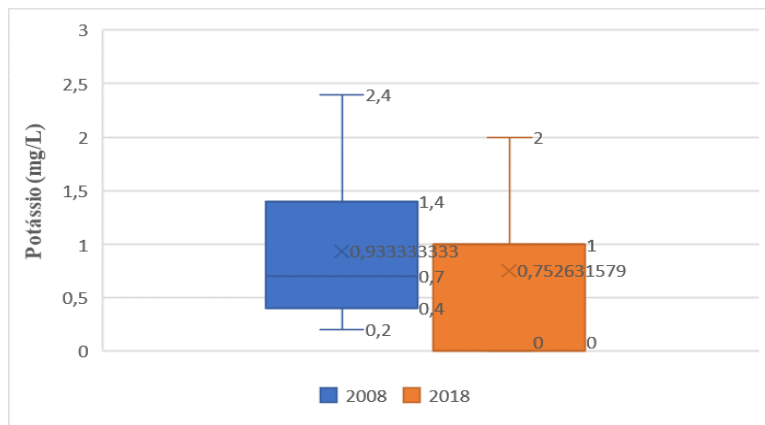


Figura 59 - Histograma de potássio da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018



Observa-se redução do potássio ao compararmos os dados de 2008 e 2018 (Figura 60).

Figura 60 - Bloxpot de potássio da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018



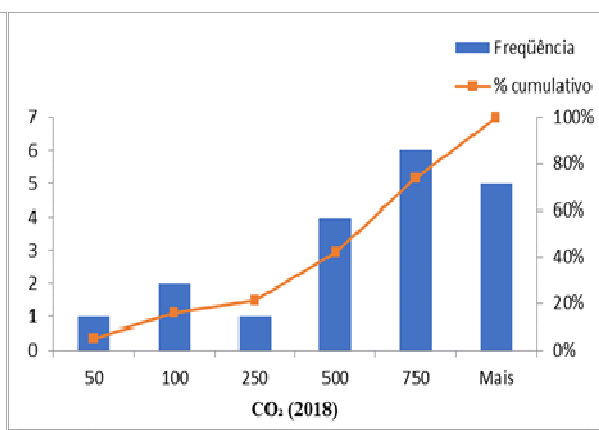
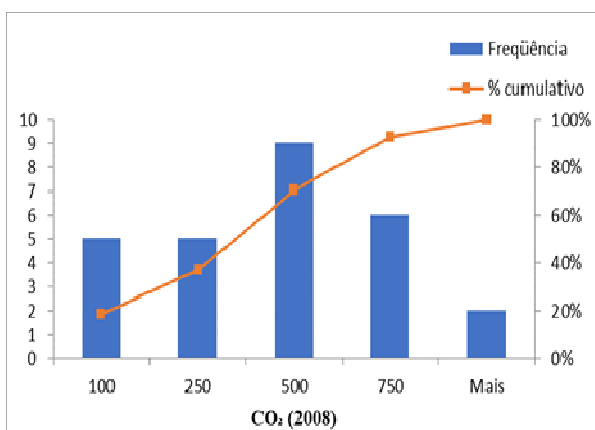
4.1.19 Gás carbônico (CO₂)

As concentrações de gás carbônico (CO₂) em 2008 (Figura 61), estão de acordo com o padrão de potabilidade, o poço com maior gás carbônico (CO₂) foi o PCB-05 (poço Clima Bom), 845,25mg/L.

Já as concentrações de gás carbônico (CO₂) em 2018 (Figuras 62), os poços PMM-02 e PMM-03 (poço Mário Mafra) apresentaram respectivamente 1886,5mg/L e 1681,3mg/L.

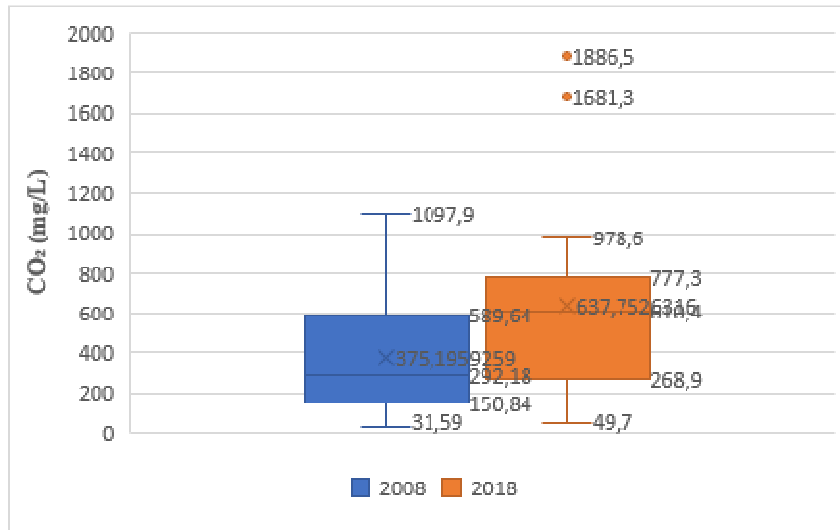
Figura 61 - Histograma de CO₂ da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008

Figura 62 - Histograma de CO₂ da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018



Na figura 63, observa-se aumento do gás carbônico (CO₂) ao comparar os dados de 2008 e 2018.

Figura 63 - Bloxpot de CO₂ da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018

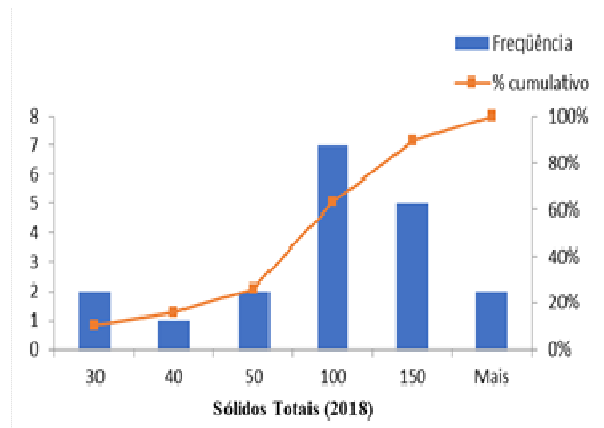
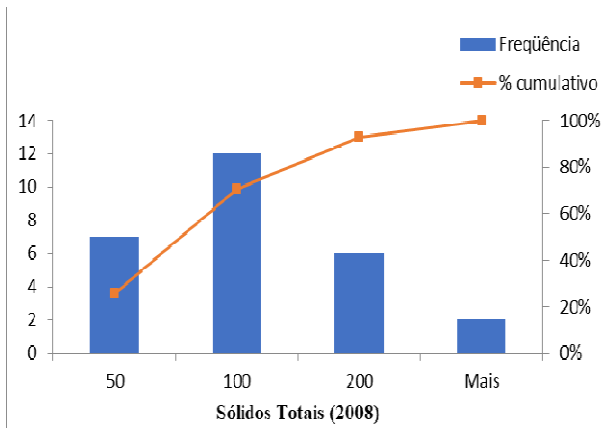


4.1.20 Sólidos Totais

As concentrações de sólidos totais nos anos de 2008 e 2018 (Figuras 64 e 65), estão de acordo com o padrão de potabilidade estabelecido pela legislação vigente.

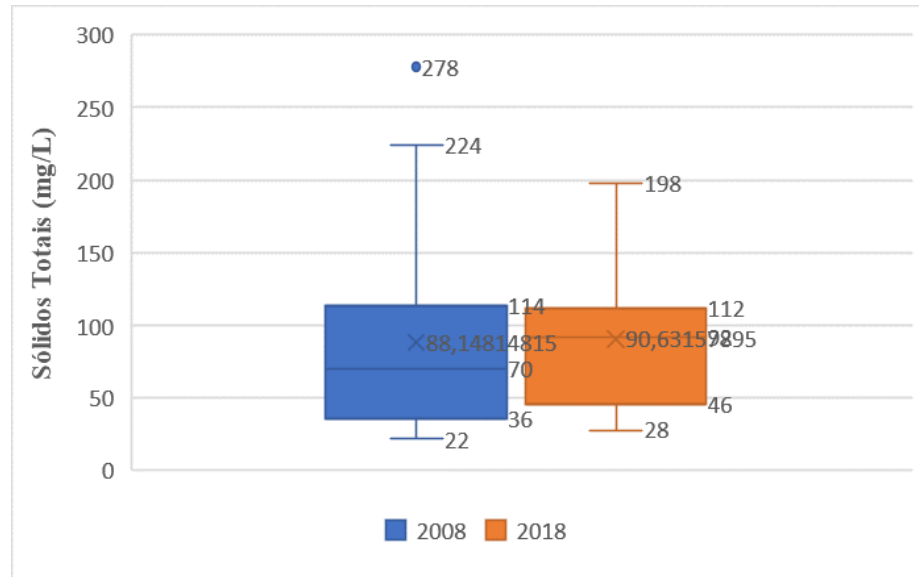
Figura 64 - Histograma de sólidos totais da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2008

Figura 65 - Histograma de sólidos totais da água nos poços do Tabuleiro do Martins em 2018



Observa-se uma redução dos sólidos totais ao compararmos os dados de 2008 e 2018 (Figura 66).

Figura 66 - Bloxpot de sólidos totais da água nos poços do Tabuleiro do Martins de 2008 e 2018



4.2 Vulnerabilidade da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins

A vulnerabilidade natural da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins foi encontrada por meio do método GOD, como mostra a Tabela 5. Na ocorrência dos estratos de cobertura foram consideradas em toda parte areias e cascalhos, conforme informações obtidas nos relatórios técnicos de execução dos poços. Quanto ao grau de confinamento, os poços apresentaram-se como não confinados (cobertos), não confinados e confinados. Já a distância da água subterrânea à superfície do terreno (NE) foram consideradas em sua maior parte entre 20 e 50m, enquanto na sua minoria observou-se NE maior que 50m os poços PEGM-01 (poço Eustáquio Gomes de Melo), PCB-05 (poço Clima Bom), PCB-06 (poço Clima Bom) e PMM-03(poço Mário Mafra), já os poços com o NE entre 5 e 20m são o PSL-02 (poço Salvador Lyra) e PT-05 (poço Tabuleiro). Pode-se observar que o índice de vulnerabilidade GOD variou de 0,17 a 0,42 provavelmente devido à repetição dos valores das variáveis, sendo que duas das três variáveis que compõe o método são vinculadas a litologia dos aquíferos. Também produziram três classes de vulnerabilidade, apresentando índices baixos, médios e insignificantes.

Os valores dos índices calculados foram espacializados utilizando o software SURFER[®] versão 7.0 (1999), gerando o mapa de vulnerabilidade GOD, apresentado na Figura 67.

Figura 67 - Vulnerabilidade à contaminação da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins

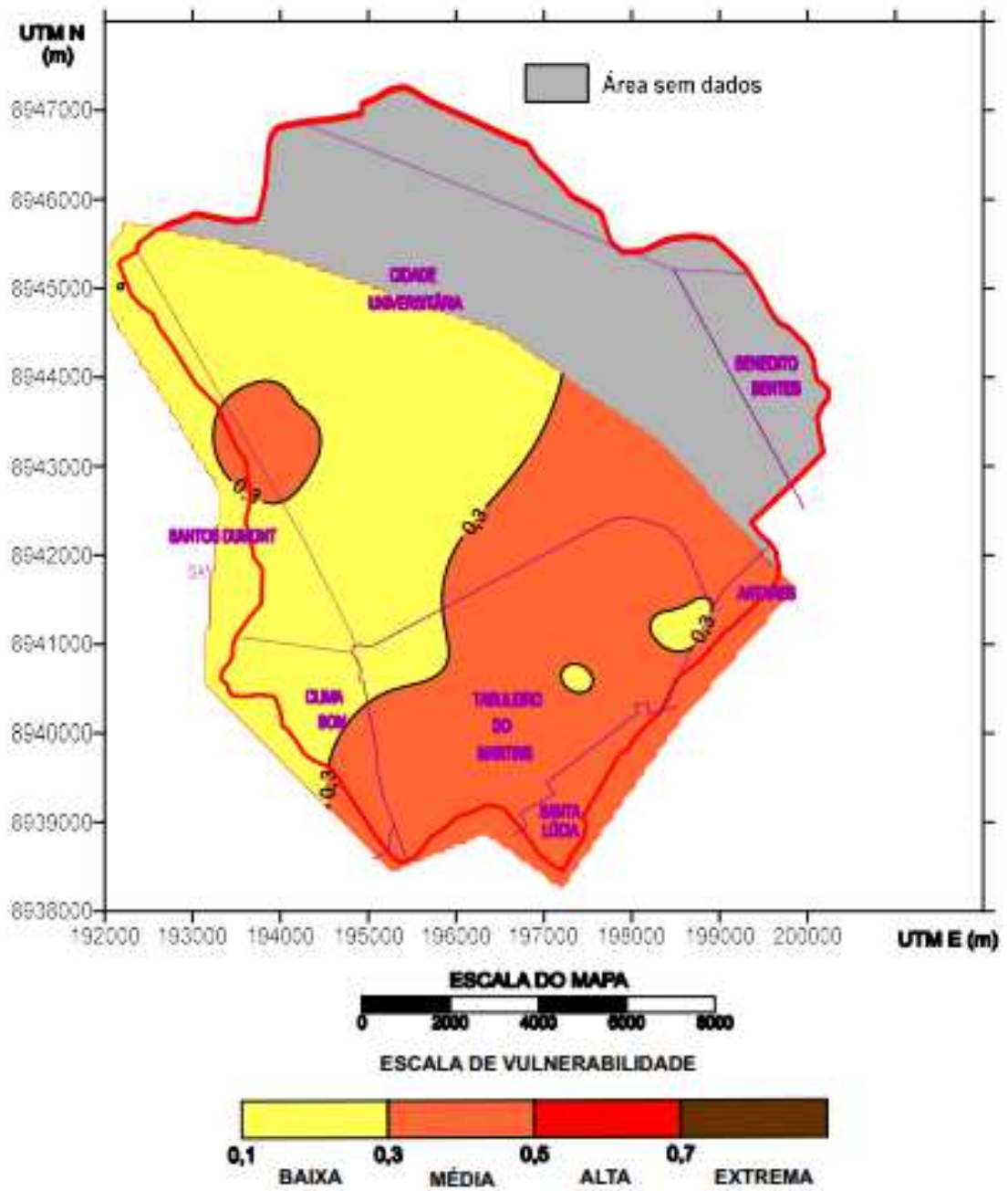


Tabela 5 - Índice de vulnerabilidade GOD da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins

DISTRIBUIÇÃO DOS POÇOS DA CASAL NA BACIA ENDORREICA											
TABULEIRO DO MARTINS - MACEIÓ - AL											
REF.	NOME	COORDENADAS		Aquífero		Litologia		Profundidade		Índice	Grau de Vulnerabilidade
		ESTE	NORTE	Tipo	G	Tipo	O	NE (m)	D		
1	PCLT-01	196219	8943901	N/conf.(cob.)	0,60	Areia e casc.	0,70	33,75	0,60	0,25	BAIXO
2	PCU-01	194757	8942783	N/conf.(cob.)	0,60	Areia e casc.	0,70	37,50	0,60	0,25	BAIXO
4	PGL-02	195969	8944175	N/conf.(cob.)	0,60	Areia e casc.	0,70	31,00	0,60	0,25	BAIXO
5	PHE-01	198931	8941445	N/conf.(cob.)	0,60	Areia e casc.	0,70	38,00	0,60	0,25	BAIXO
6	PHE-02	198951	8941447	N/conf.	1,00	Areia e casc.	0,70	36,15	0,60	0,42	MÉDIO
7	PIN-01A	194190	8943736	N/conf.(cob.)	0,60	Areia e casc.	0,70	42,30	0,60	0,25	BAIXO
8	PIN-02	194109	8943668	N/conf.	1,00	Areia e casc.	0,70	39,75	0,60	0,42	MÉDIO
9	PJDL-01A	198039	8941261	N/conf.	1,00	Areia e casc.	0,70	28,80	0,60	0,42	MÉDIO
10	PJDL-02A	198273	8941211	N/conf.(cob.)	0,60	Areia e casc.	0,70	34,28	0,60	0,25	BAIXO
11	PLSL-01A	197261	8939723	N/conf.	1,00	Areia e casc.	0,70	37,45	0,60	0,42	MÉDIO
12	PLSL-02	197362	8940121	N/conf.	1,00	Areia e casc.	0,70	37,99	0,60	0,42	MÉDIO
13	PLSL-04	197427	8940582	N/conf.(cob.)	0,60	Areia e casc.	0,70	40,10	0,60	0,25	BAIXO
14	PLSL-05	197866	8940854	N/conf.	1,00	Areia e casc.	0,70	36,20	0,60	0,42	MÉDIO
15	PNSA-01	197419	8 940877	N/conf.	1,00	Areia e casc.	0,70	37,00	0,60	0,42	MÉDIO
16	POL-01	195081	8 940108	N/conf.(cob.)	0,60	Areia e casc.	0,70	37,90	0,60	0,25	BAIXO
17	POL-02	195105	8 940095	N/conf.(cob.)	0,60	Areia e casc.	0,70	38,97	0,60	0,25	BAIXO
18	POL-03	195340	8 939743	N/conf.	1,00	Areia e casc.	0,70	46,00	0,60	0,42	MÉDIO
19	PPG-01	198659	8 941421	N/conf.(cob.)	0,60	Areia e casc.	0,70	36,72	0,60	0,25	BAIXO
20	PSH-01	196060	8 943818	N/conf.(cob.)	0,60	Areia e casc.	0,70	31,98	0,60	0,25	BAIXO
22	PSL-02	198040	8941762	N/conf.(cob.)	0,60	Areia e casc.	0,70	18,72	0,80	0,34	MÉDIO
23	PSL-03	198418	8941708	N/conf.	1,00	Areia e casc.	0,70	28,00	0,60	0,42	MÉDIO
24	PT-01	195725	8940887	N/conf.(cob.)	0,60	Areia e casc.	0,70	31,46	0,60	0,25	BAIXO
25	PT-03	196395	8941001	N/conf.	1,00	Areia e casc.	0,70	22,10	0,60	0,42	MÉDIO
26	PT-04	195626	8940818	N/conf.(cob.)	0,60	Areia e casc.	0,70	39,18	0,60	0,25	BAIXO
27	PT-05	196476	8940882	N/conf.(cob.)	0,60	Areia e casc.	0,70	14,20	0,80	0,34	MÉDIO
28	PT-06	195795	8940036	N/conf.	1,00	Areia e casc.	0,70	40,29	0,60	0,42	MÉDIO
29	PT-07	195529	8939760	N/conf.	1,00	Areia e casc.	0,70	49,36	0,60	0,42	MÉDIO
30	PEGM-01	193607	8944203	N/conf.(cob.)	0,60	Areia e casc.	0,70	50,13	0,40	0,17	BAIXO
31	PCB 05	193912	8941565	N/conf.(cob.)	0,60	Areia e casc.	0,70	66,68	0,40	0,17	BAIXO
32	PCB 06	194008	8941812	N/conf.	1,00	Areia e casc.	0,70	64,30	0,40	0,28	BAIXO
33	PHV 03	192688	8944747	N/conf.(cob.)	0,60	Areia e casc.	0,70	42,26	0,60	0,25	BAIXO
34	PMM 02	192182	8945061	Conf.	0,20	Areia e casc.	0,70	45,00	0,60	0,08	INSIGNIFICANTE
35	PMM 03	192168	8945173	Conf	0,60	Areia e casc.	0,70	56,20	0,40	0,17	BAIXO
36	PMAL 01	198578	8936483	N/conf.(cob.)	0,60	Areia e casc.	0,70	43,70	0,60	0,25	BAIXO
37	PMAL 02	198527	8936667	N/conf.(cob.)	0,60	Areia e casc.	0,70	49,00	0,60	0,25	BAIXO
38	PCJ 03	198754	8936309	N/conf.(cob.)	0,60	Areia e casc.	0,70	41,00	0,60	0,25	BAIXO
39	PCJS 02	196890	8937059	N/conf.(cob.)	0,60	Areia e casc.	0,70	50,00	0,60	0,25	BAIXO

4.3 Análise espacial da qualidade da água

A análise espacial se constituiu basicamente da análise dos mapas de contornos (mapa de isovalores) dos diversos parâmetros físicos e químicos constantes dos relatórios da CASAL relativos às águas coletadas nos poços (Figuras 68 e 69) de sua propriedade existentes na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins, Maceió-AL, período 2008 e 2018.

Figura 68 - Distribuição dos poços da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins de 2008

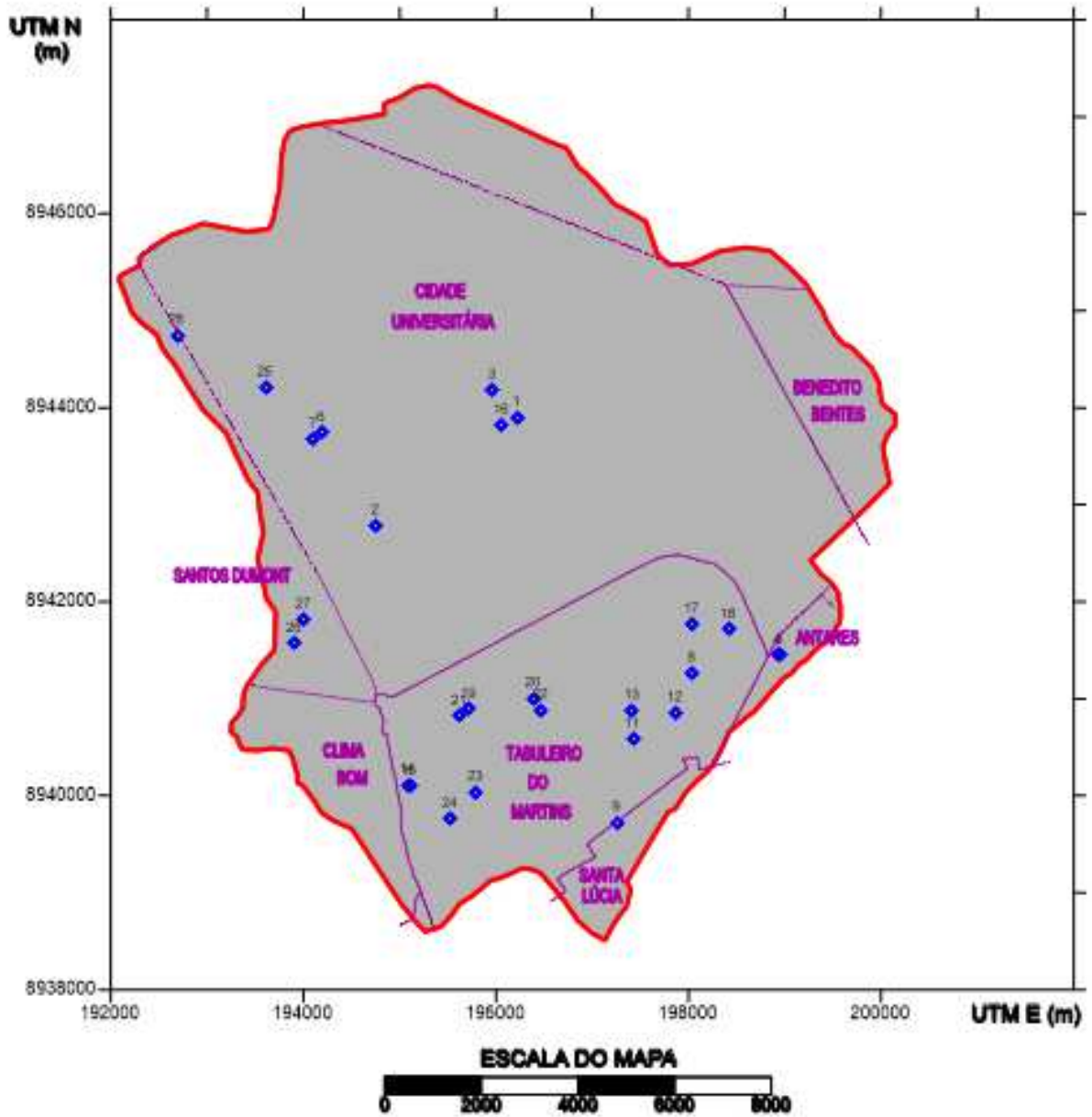
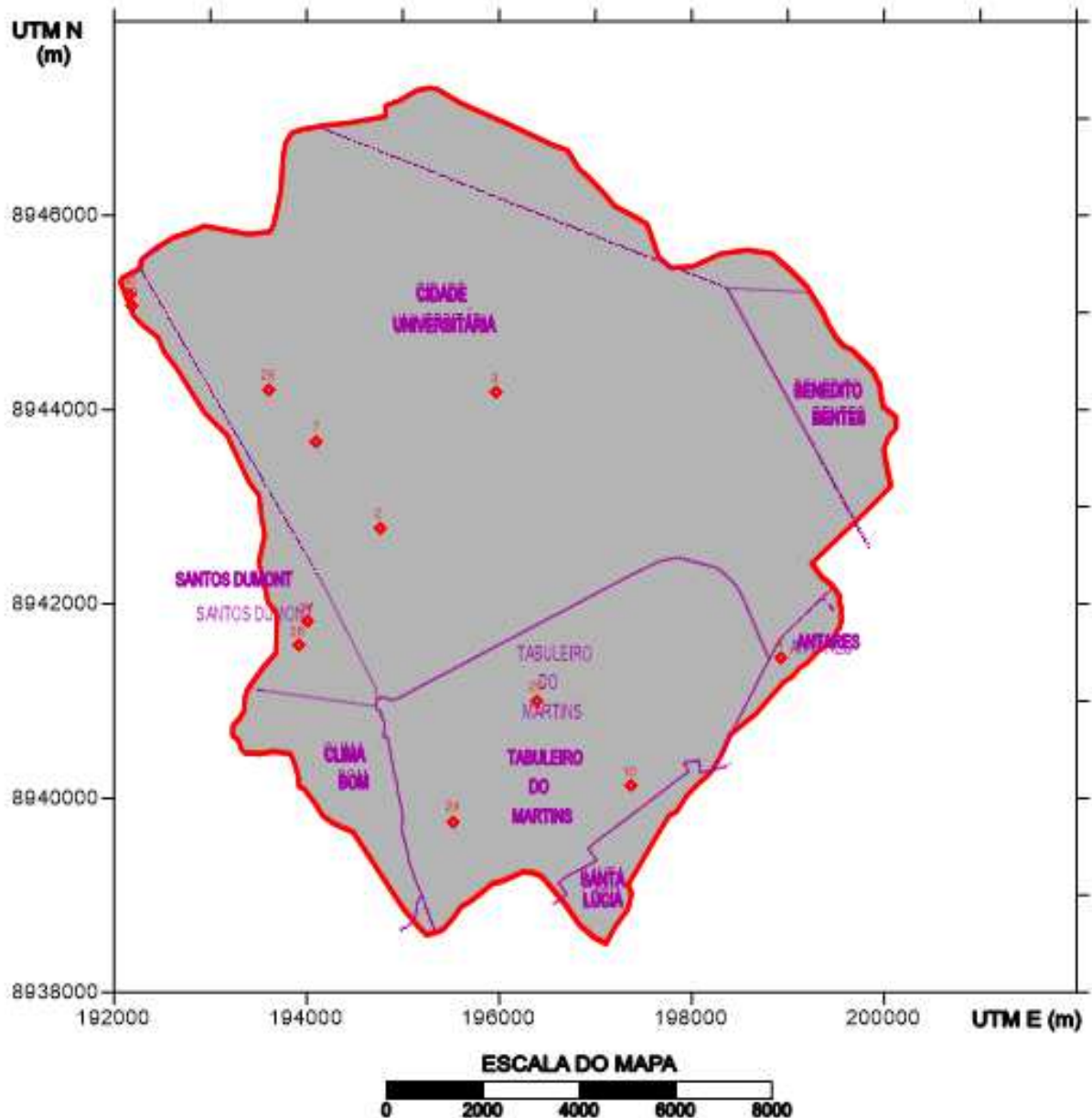


Figura 69 - Distribuição dos poços da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins de 2018



Os parâmetros físicos e químicos mapeados foram os mesmos parâmetros apresentados no item anterior. Os resultados são analisados em seguida.

4.3.1 pH

Na figura 70, chama atenção o maior número de isolinhas no setor sul (bairro Santa Lúcia e Tabuleiro do Martins) da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins, onde se concentram as águas subterrâneas com os menores valores de pH para o ano de 2008 e vulnerabilidade média.

Figura 70 - Distribuição espacial do pH na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008

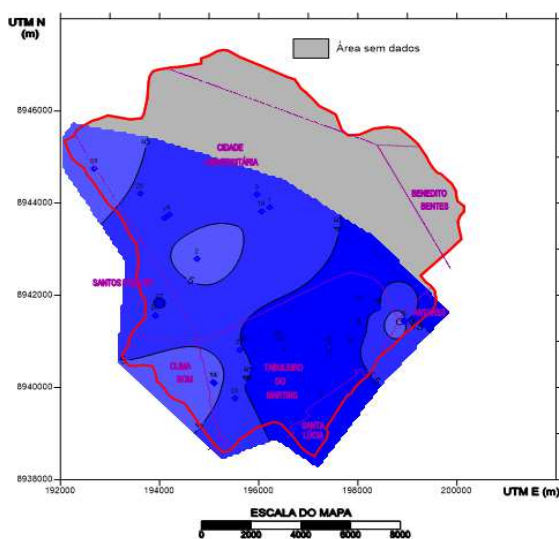
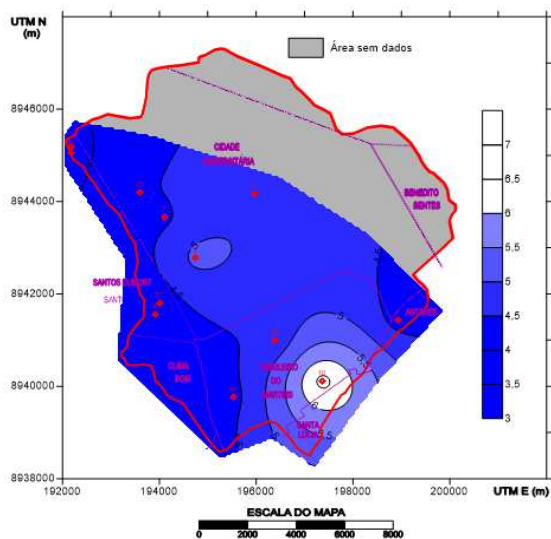


Figura 71 - Distribuição espacial do pH na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018

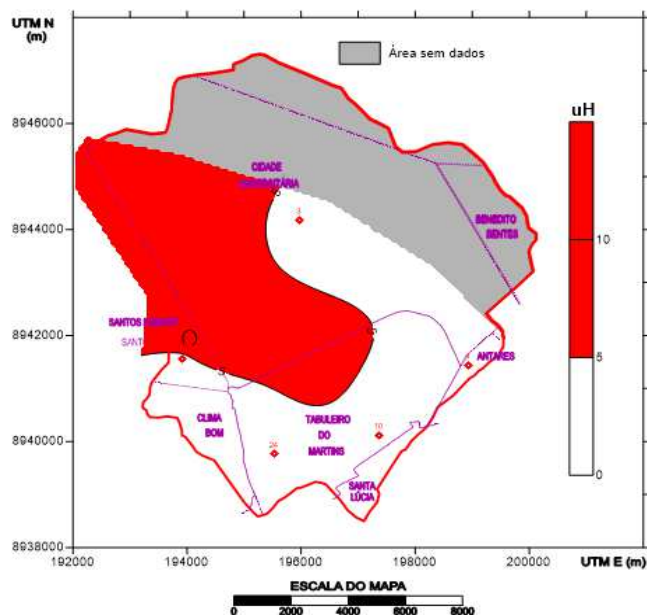


Já na figura 71, os menores valores de pH encontram-se no setor oeste (poços nos bairros Santos Dumont, Clima Bom e Cidade Universitária) da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins, correspondendo com área de vulnerabilidade média do aquífero.

4.3.2 Cor aparente

Analisando o parâmetro cor de 2018 (Figura 72), os poços nos bairros com concentrações máximas são no Tabuleiro do Martins, Cidade Universitária e Santos Dumont, compatível com a área de vulnerabilidade média. Devemos levar em consideração que para o referido parâmetro no ano de 2008 não foi detectado anormalidade.

Figura 72 - Distribuição espacial da cor na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018



4.3.3 Turbidez

Para turbidez 2018 (Figura 74), nota-se que os pontos de concentrações máxima estão nos bairros do Santos Dumont e Cidade Universitária, equivalente a mesma região de vulnerabilidade baixa e média.

Figura 73 - Distribuição espacial da turbidez na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008

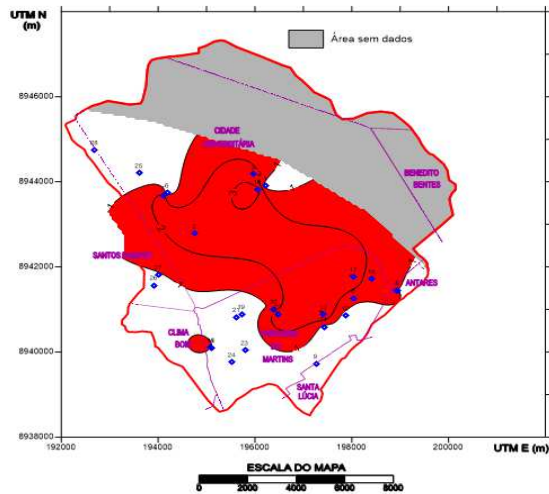
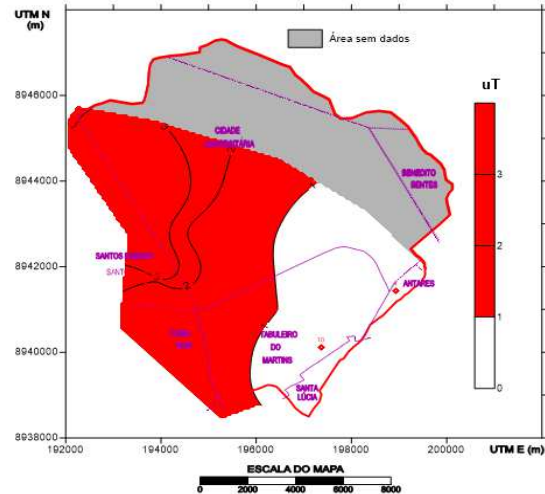


Figura 74 - Distribuição espacial da turbidez na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018



Na figura 73, as isolinhas com concentrações elevadas localizam-se no setor noroeste (bairro Santos Dumont e Cidade Universitária) da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins, com vulnerabilidade do aquífero baixa.

4.3.4 Condutância específica

Quanto a condutância específica (Figura 75), para o ano de 2008, poços nos bairros da porção sul (Clima Bom, Tabuleiro do Martins e Antares) apresentando as maiores concentrações em desacordo com os padrões de consumo e vulnerabilidade média.

Figura 75 - Distribuição espacial da condutância na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008

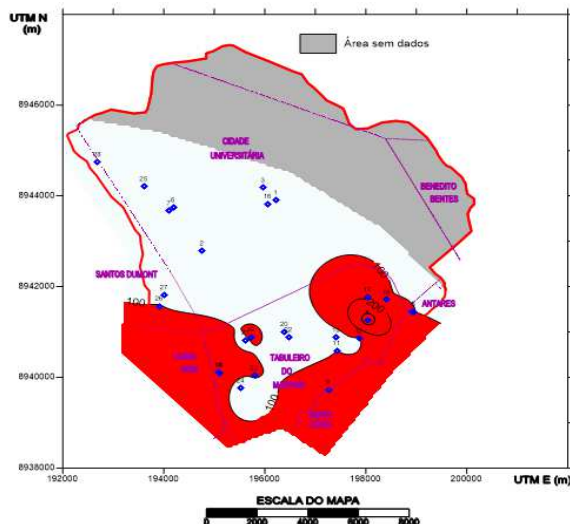
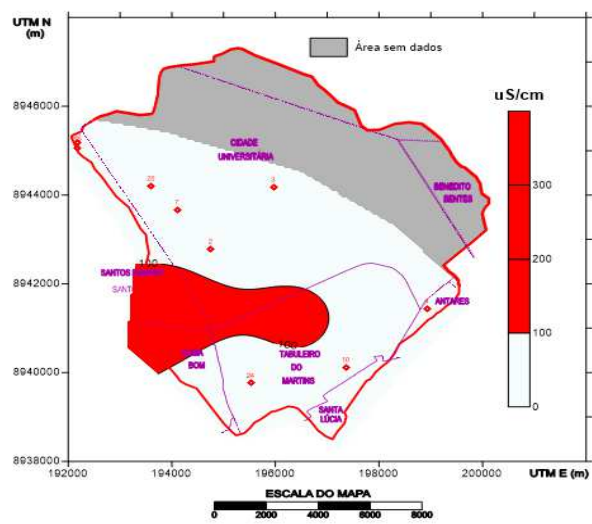


Figura 76 - Distribuição espacial da condutância na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018



Na figura 76, para o ano de 2018, os bairros da porção central e sul (Clima Bom, Tabuleiro do Martins, Cidade Universitária e Santos Dumont) exibem as maiores concentrações do parâmetro analisado.

4.3.5 Acidez

Na figura 77, para o ano de 2008, os bairros da porção sul (Tabuleiro do Martins e Santa Lúcia) exibem as maiores concentrações do parâmetro analisado, corroborando com a área de vulnerabilidade média do aquífero.

Figura 77 - Distribuição espacial da acidez na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008

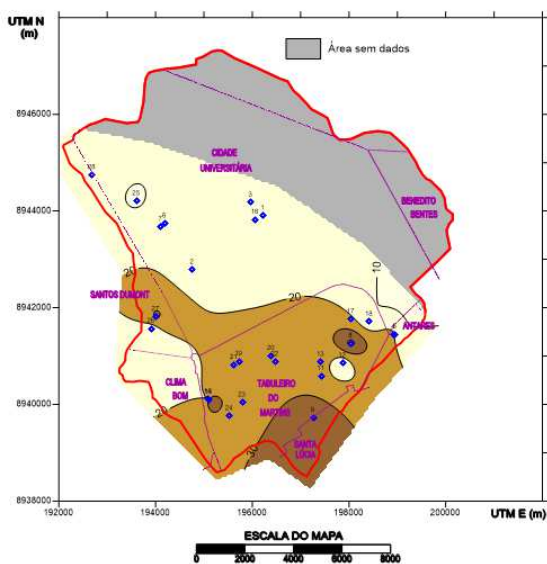
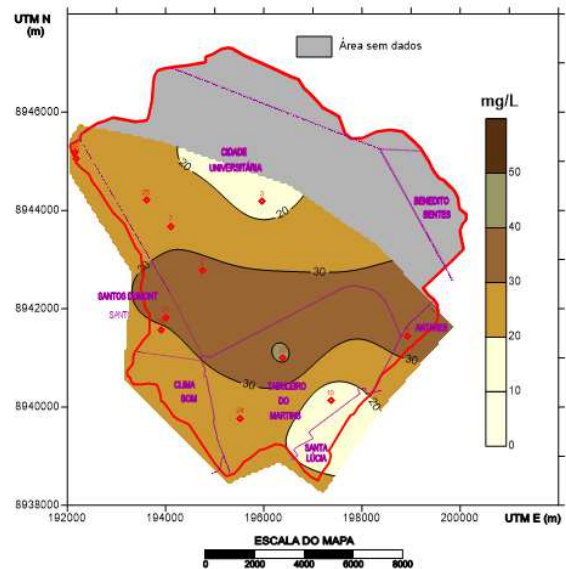


Figura 78 - Distribuição espacial da acidez na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018



Quanto acidez para o ano de 2008 (Figura 78), os bairros da porção central da bacia endorreica (Tabuleiro do Martins e Cidade Universitária) exibem as maiores concentrações de acidez. Sendo essas áreas correspondentes a vulnerabilidade baixa e média.

4.3.6 Alcalinidade

Analisando espacialmente as figuras 79 e 80, poços nos bairros Santa Lúcia e Tabuleiro do Martins, ambos na porção sul da bacia endorreica, agrupam as maiores concentrações. Correlato a área de vulnerabilidade média do aquífero.

Figura 79 - Distribuição espacial da alcalinidade na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008

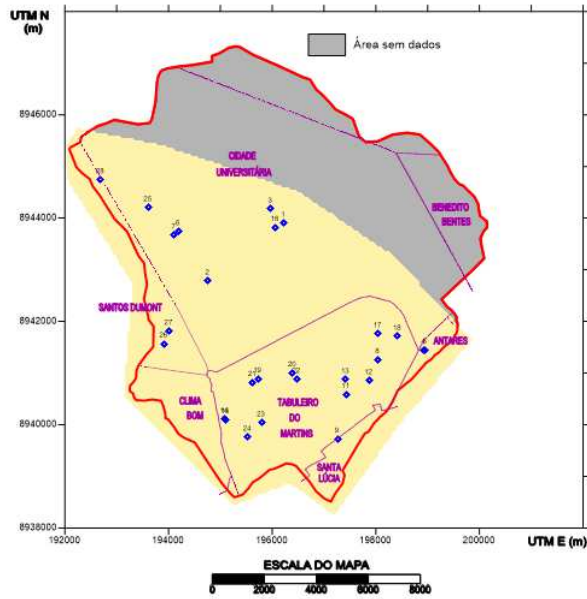
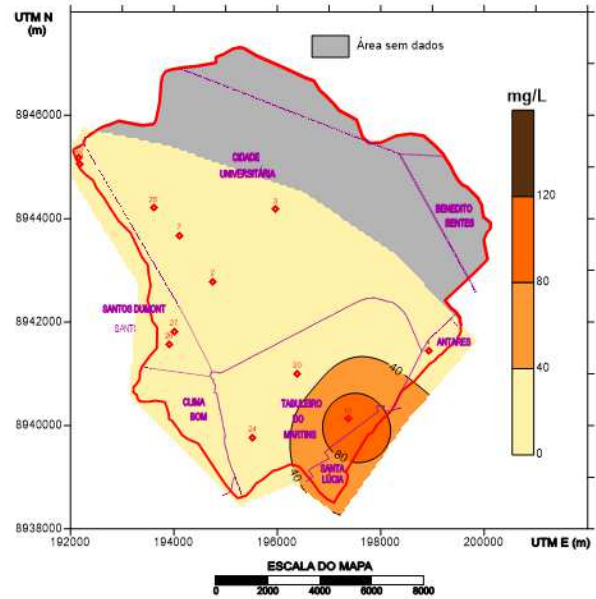


Figura 80 - Distribuição espacial da alcalinidade na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018



4.3.7 Dureza Total

Os maiores valores dos poços encontram-se na porção sul (Figura 81 e 82) da bacia endorreica, nos bairros Santa Lúcia e Tabuleiro do Martins. Correspondendo a área de vulnerabilidade média do aquífero.

Figura 81 - Distribuição espacial da dureza total na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008

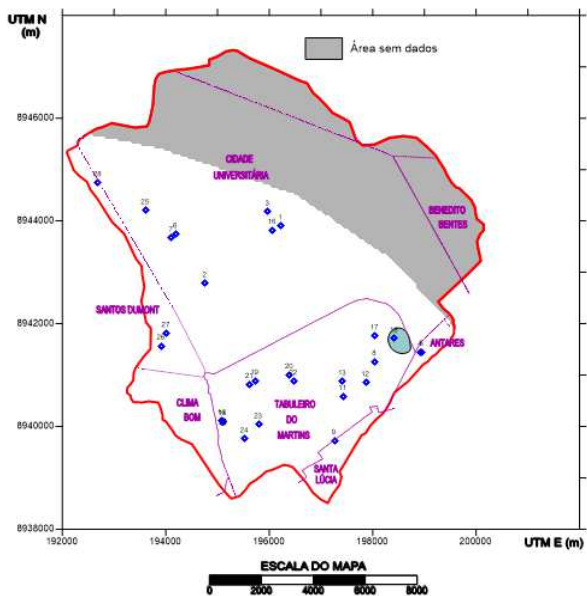
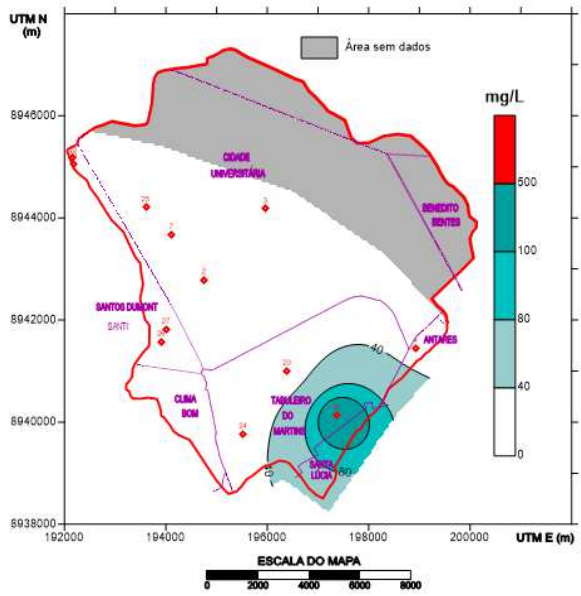


Figura 82 - Distribuição espacial da dureza total na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018



4.3.8 Cálcio

Os maiores valores dos poços encontram-se na porção sul (Figura 83 e 84) da bacia endorreica, nos bairros Santa Lúcia e Tabuleiro do Martins. Sendo área de vulnerabilidade média do aquífero.

Figura 83 - Distribuição espacial do cálcio na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008

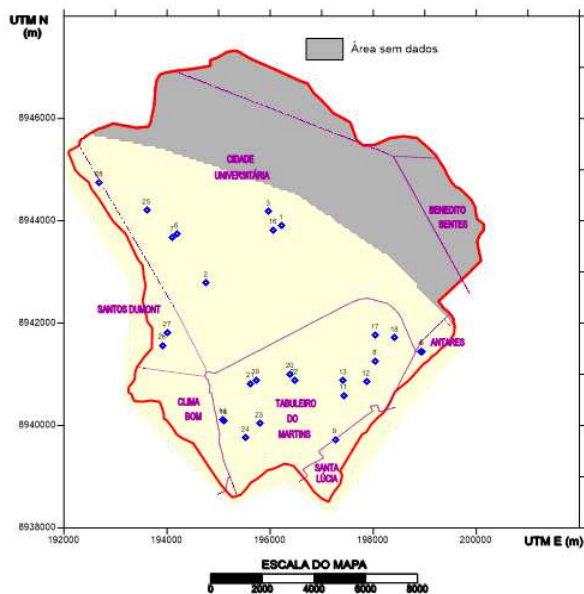
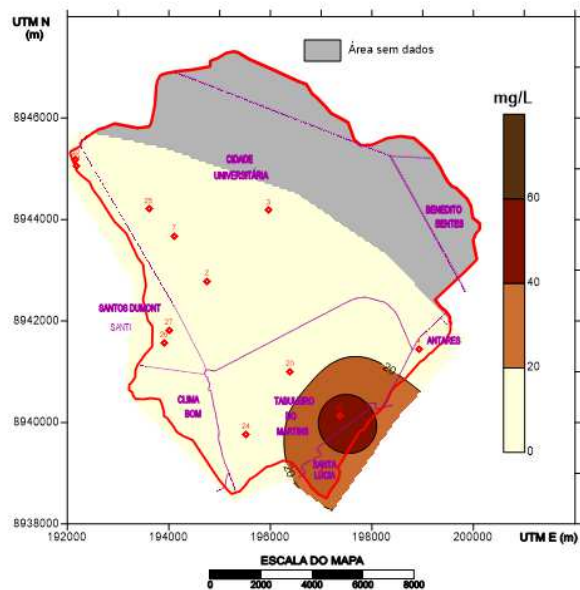


Figura 84 - Distribuição espacial do cálcio na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018



4.3.9 Magnésio

Os maiores valores dos poços encontram-se na porção sul (Figura 85 e 86) da bacia endorreica, nos bairros Santa Lúcia e Tabuleiro do Martins. Correspondendo a área de vulnerabilidade média do aquífero.

Figura 85 - Distribuição espacial do magnésio na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008

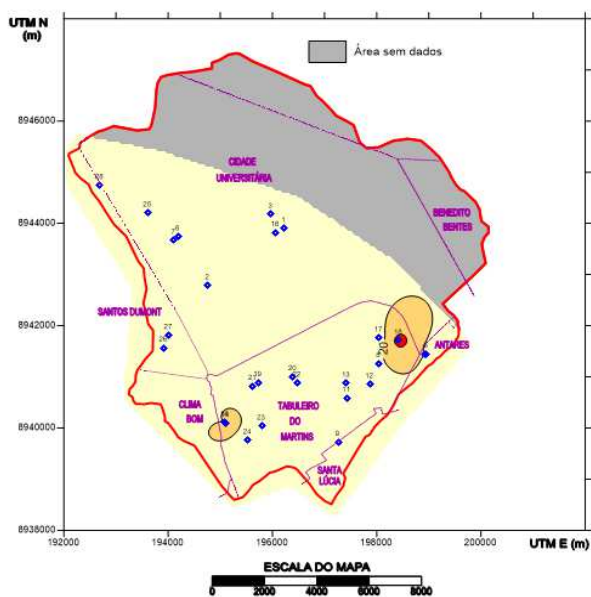
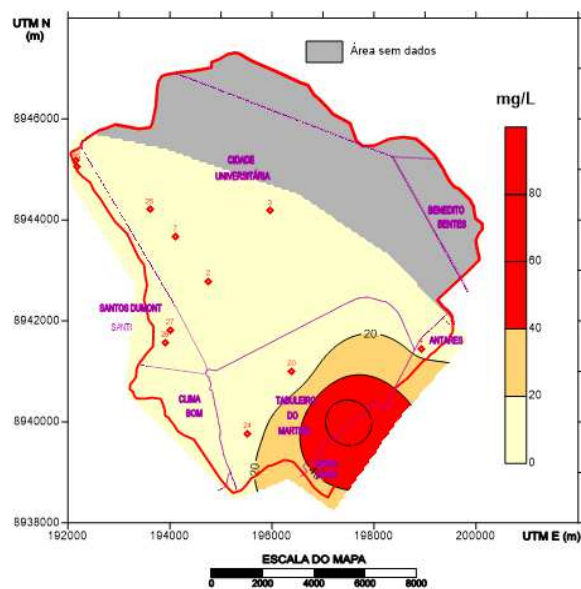


Figura 86 - Distribuição espacial do magnésio na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018



4.3.10 Cloretos

Os maiores valores dos poços, para o ano de 2008, encontram-se na porção sul (Figura 87) da bacia endorreica, nos bairros Santa Lúcia e Tabuleiro do Martins.

Figura 87 - Distribuição espacial de cloretos na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008

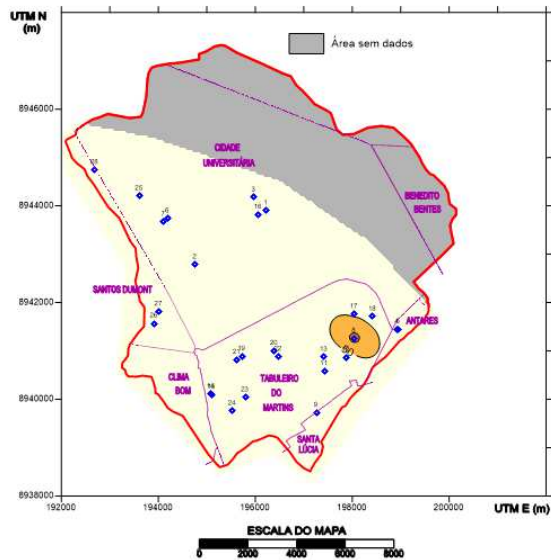
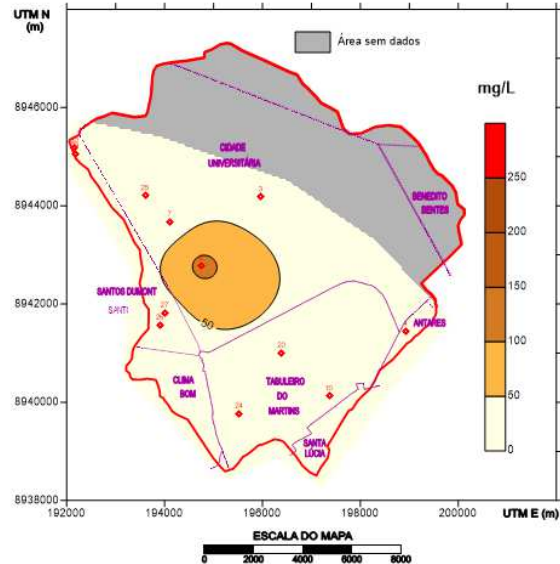


Figura 88 - Distribuição espacial de cloretos na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018



Os maiores valores dos poços, para o ano de 2018, encontram-se na porção oeste e central (Figura 88) da bacia endorreica, nos bairros Cidade Universitária e Santos Dumont.

4.3.11 Sílica

Os maiores valores dos poços, para o ano de 2018, encontram-se na porção sul (Figura 90) da bacia endorreica, nos bairros Santa Lúcia e Tabuleiro do Martins, quanto ao ano de 2008, figura 89) toda área possuía uniformidade com o padrão analisado.

Figura 89 - Distribuição espacial de sílica na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008

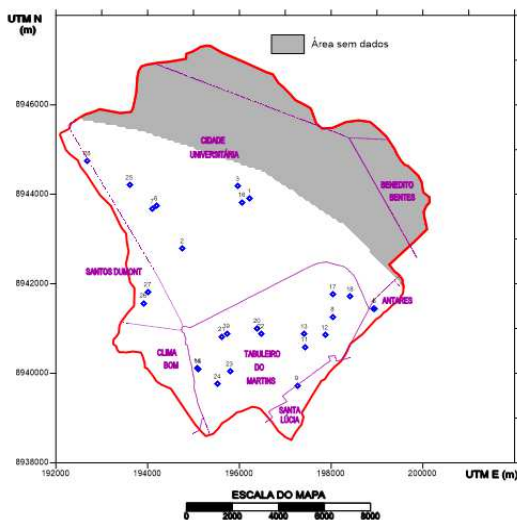
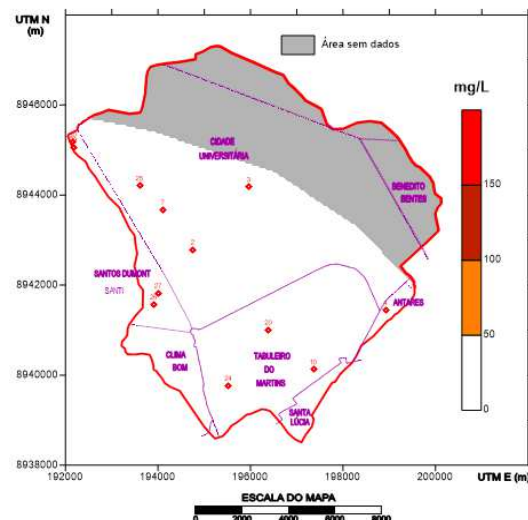


Figura 90 - Distribuição espacial de sílica na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018



4.3.12 Sulfatos

Mais uma vez, os maiores valores dos poços para o ano de 2008 e 2018, encontram-se na porção sul (Figura 91 e 92) da bacia endorreica, nos bairros Santa Lúcia e Tabuleiro do Martins. Semelhante a área de vulnerabilidade média do aquífero.

Figura 91 - Distribuição espacial de sulfatos na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008

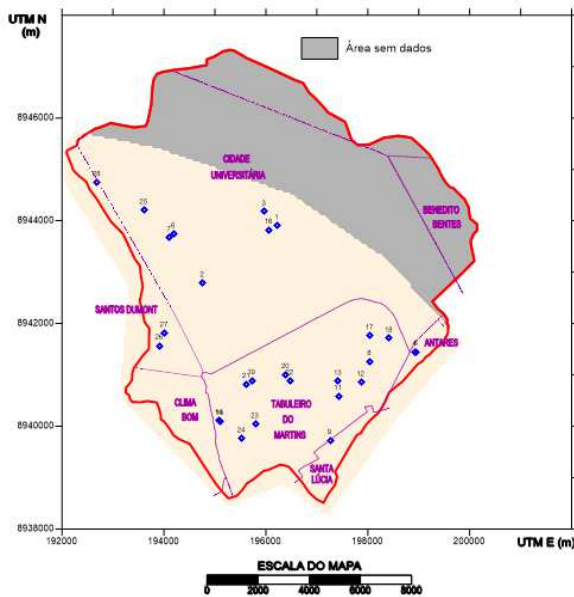
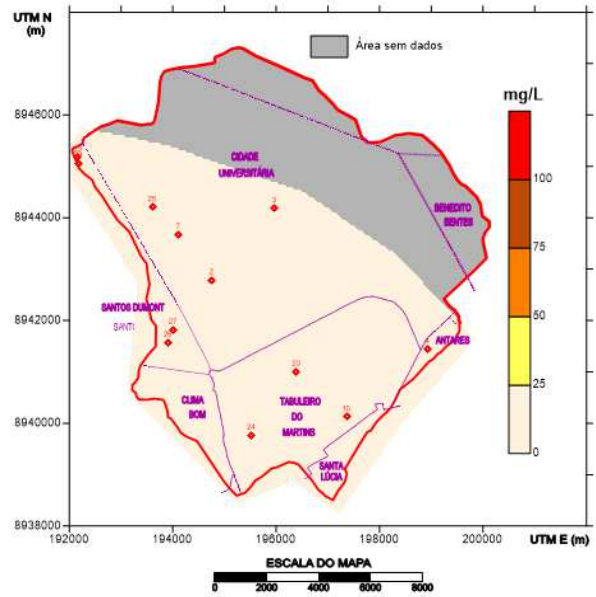


Figura 92 - Distribuição espacial de sulfatos na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008



4.3.13 Amônia

Os maiores valores de amônia nos poços para o ano de 2008 e 2018, encontram-se na porção sul (Figura 93 e 94) da bacia endorreica, nos bairros Santa Lúcia e Tabuleiro do Martins. Correspondente a área de vulnerabilidade média do aquífero.

Figura 93 - Distribuição espacial da amônia na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008

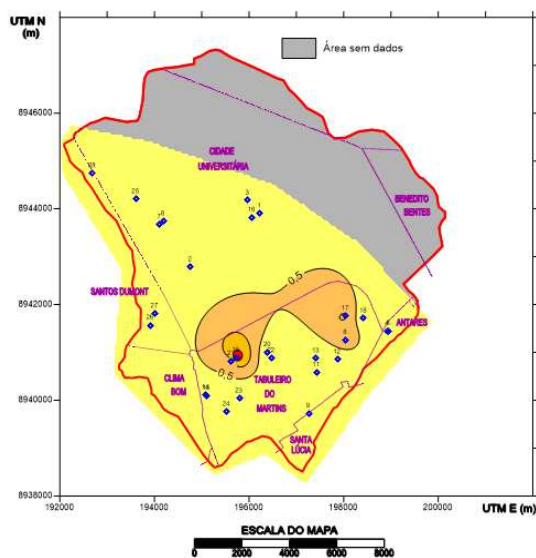
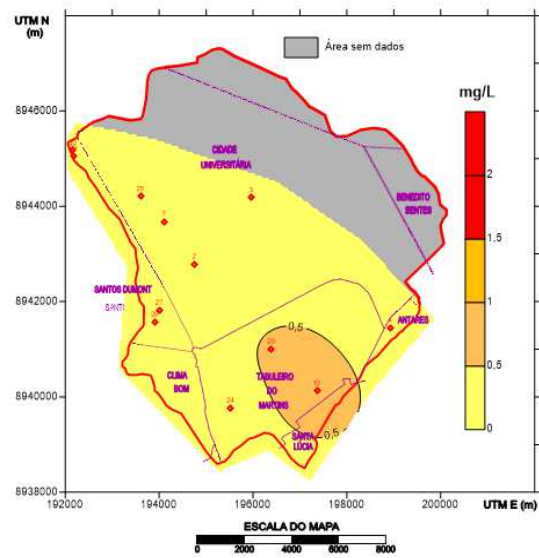


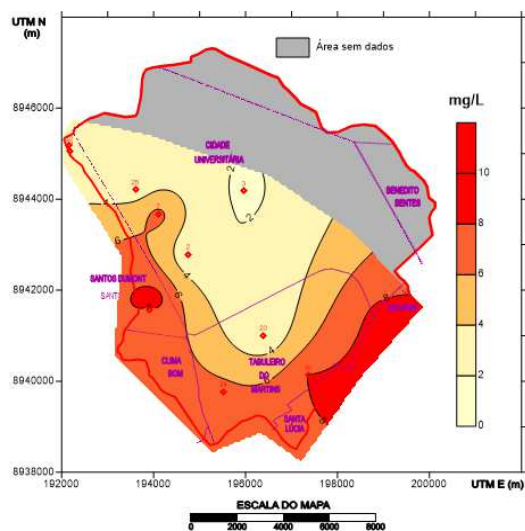
Figura 94 - Distribuição espacial da amônia na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018



4.3.14 Nitrato

Na figura 95, chama a atenção valores fora do padrão de potabilidade no setor sul e oeste (bairro Santa Lúcia, Santos Dumont, Clima Bom, Tabuleiro do Martins e Antares) da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins. Quanto ao nitrato, as áreas com os maiores valores, correspondem precisamente com a área de vulnerabilidade média do aquífero.

Figura 95 - Distribuição espacial do nitrato na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008



4.3.15 Nitrito

Na figura 96, o conjunto com maior valor, localizam-se no setor noroeste (bairro Santos Dumont e Cidade Universitária) da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins.

No ano de 2018 (Figura 97), toda área de estudo mantém uma uniformidade com o parâmetro nitrito.

Figura 96 - Distribuição espacial do nitrito na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008

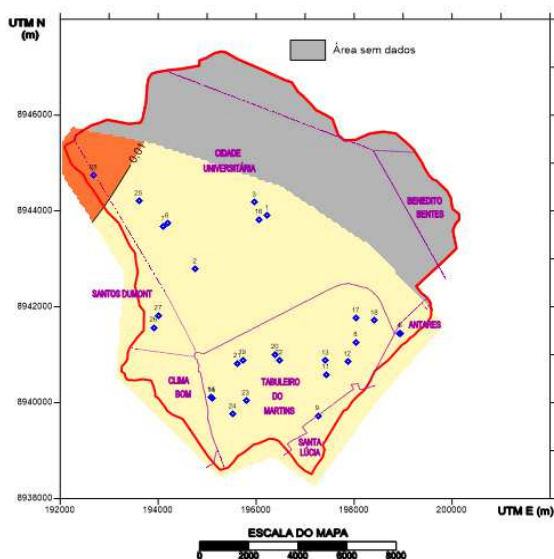
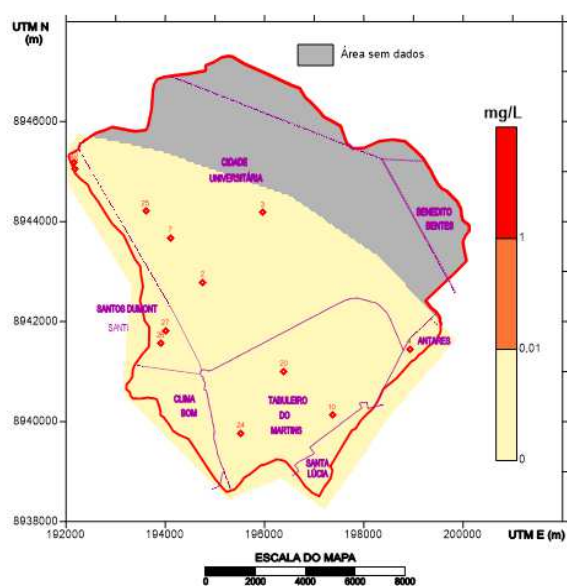


Figura 97 - Distribuição espacial do nitrito na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018



4.3.16 Ferro Total

Na figura 98, os valores de ferro total que ultrapassam os padrões de potabilidade, localiza-se na parte central da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins, poços do bairro Tabuleiro e Cidade Universitária.

Figura 98 - Distribuição espacial do ferro total na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008

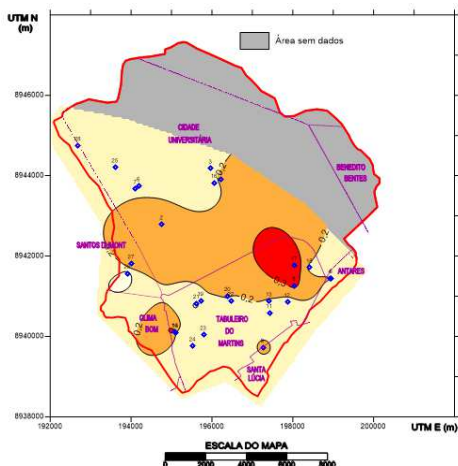
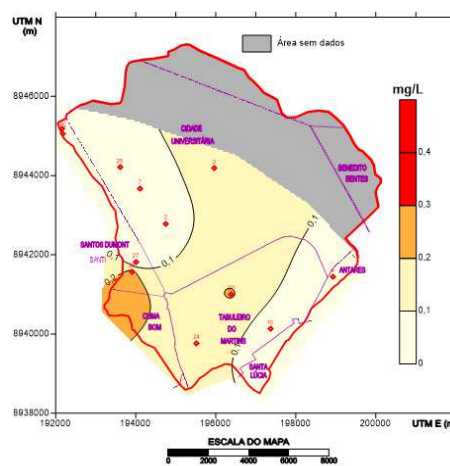


Figura 99 - Distribuição espacial do ferro total na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018



Na figura 99, a maior concentração de ferro total para o ano de 2018, localiza-se na parte sudoeste da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins, poços do bairro Clima Bom e Santos Dumont.

4.3.17 Sódio

Os maiores valores de sódio nos poços para o ano de 2008 e 2018, encontram-se na porção sul (Figura 100 e 101) da bacia endorreica, nos bairros Santa Lúcia e Tabuleiro do Martins. Correspondente a área de vulnerabilidade média do aquífero.

Figura 100 - Distribuição espacial do sódio na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008

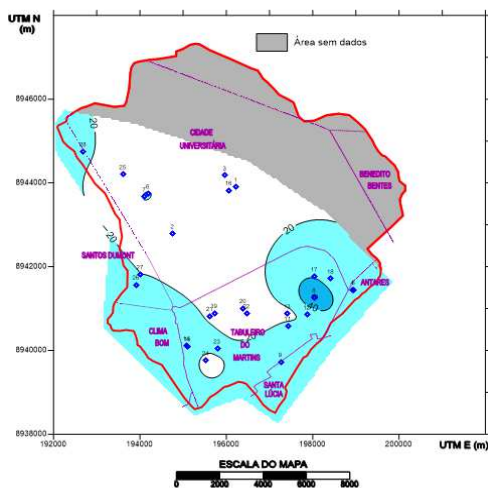
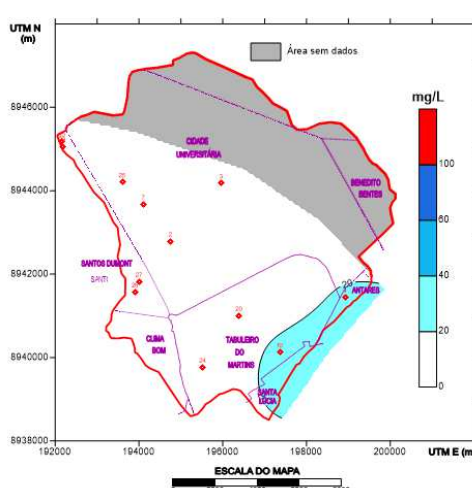


Figura 101 - Distribuição espacial do sódio na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018



4.3.18 Potássio

Os valores de potássio nos poços para o ano de 2008 e 2018, encontram-se na porção sul (Figura 102 e 103) da bacia endorreica, nos bairros Santa Lúcia e Tabuleiro do Martins.

Figura 102 - Distribuição espacial do potássio na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008

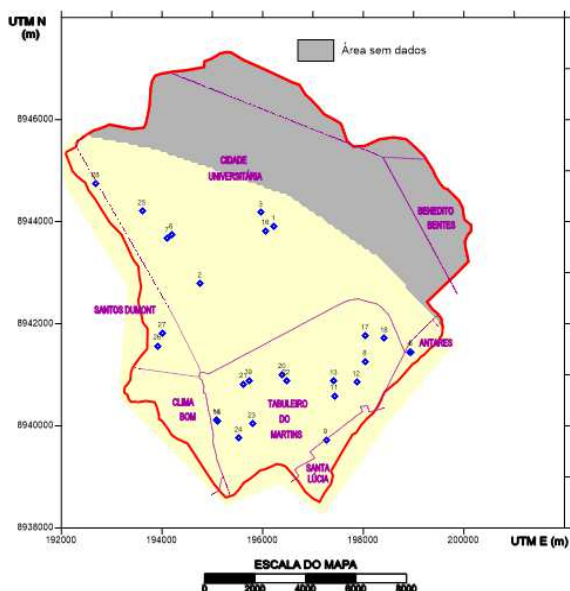
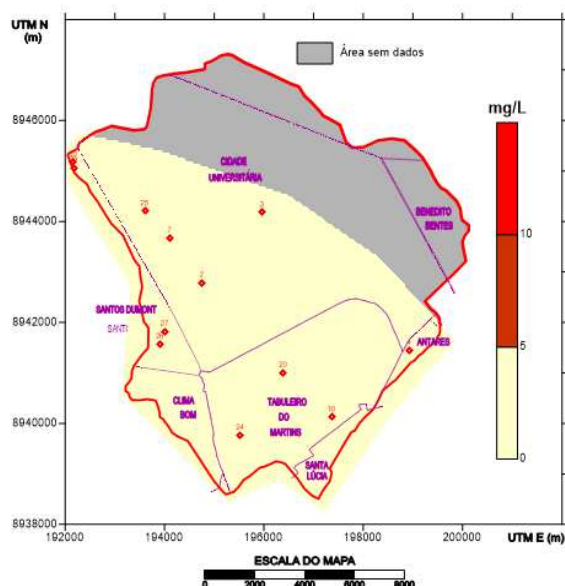


Figura 103 - Distribuição espacial do potássio na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018



4.3.19 Gás carbônico (CO₂)

Os maiores valores de gás carbônico (CO₂) nos poços para o ano de 2008, encontram-se na porção sul (Figura 104) da bacia endorreica, nos bairros Santa Lúcia e Tabuleiro do Martins. Consonante a área de vulnerabilidade média do aquífero.

Figura 104 - Distribuição espacial do CO₂ na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018

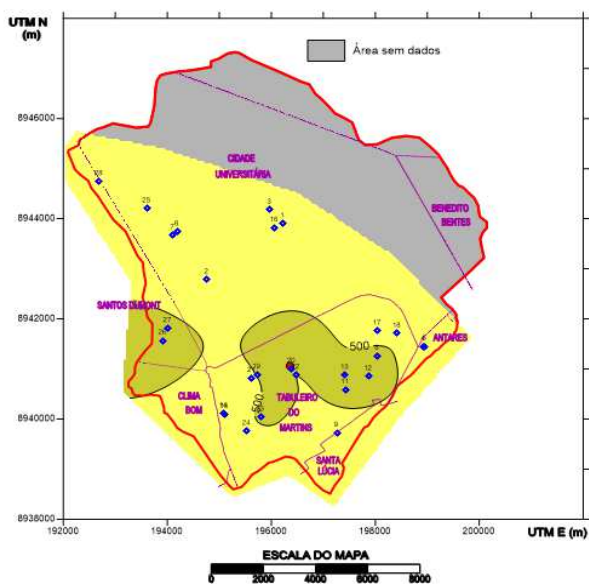
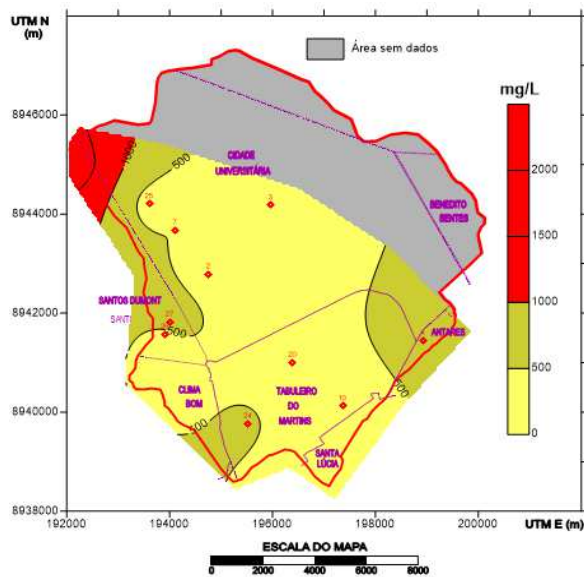


Figura 105 - Distribuição espacial do CO₂ na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018



Já para o ano de 2018 (Figura 105), a maior concentração de gás carbônico (CO_2), localiza-se no setor noroeste (bairro Santos Dumont e Cidade Universitária) da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins.

4.3.20 Sólidos Totais

No ano de 2008 (Figura 106), a concentração de sólidos totais está presente no setor noroeste, oeste e sul (bairro Santos Dumont, Antares, Clima Bom, Tabuleiro do Martins, Santa Lúcia e Cidade Universitária) da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins.

Figura 106 - Distribuição espacial de sólidos totais na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008

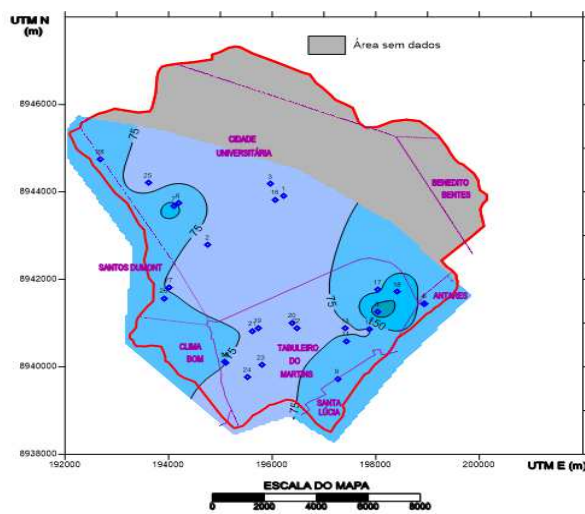
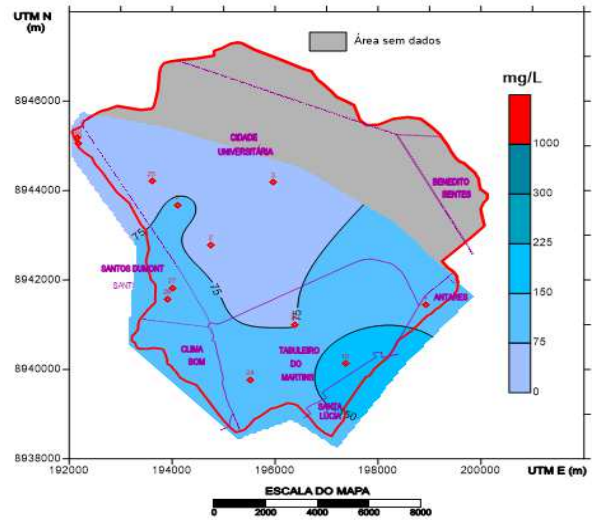


Figura 107 - Distribuição espacial de sólidos totais na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018



Os valores de sólidos totais nos poços para o ano de 2008 e 2018, encontram-se na porção sul (Figura 107) da bacia endorreica, nos bairros Santa Lúcia e Tabuleiro do Martins. Idêntico a área de vulnerabilidade média do aquífero.

5 CONCLUSÃO

Os estudos realizados permitiram inferir as seguintes conclusões:

O sistema de esgotamento sanitário da região, utilizando fossas sépticas individuais e condominiais, juntamente com sumidouros, pode ser responsável pelas anomalias registradas em diversos parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas locais, com base nos resultados das análises das águas coletadas nos poços da CASAL.

As características geológicas locais imprimem nas águas subterrâneas uma acidez elevada, comprovada pelos baixos valores do pH.

As análises estatísticas realizadas nos dados disponíveis possibilitaram diagnosticar que:

- O pH não é adequado para o consumo humano, exceto no poço PLSL-02 situado no conjunto Salvador Lyra, único que apresentou pH igual a 6,69;
- A cor aparente em 2008 foi igual a zero para todos os poços avaliados. No entanto, os dados colhidos em 2018 mostraram que mais da metade dos poços analisados apresentaram cor acima de 5,0 uH;
- 75% dos dados para turbidez estão fora do padrão estabelecido, caracterizando uma possível contaminação da água subterrânea por esgoto;
- Quanto à condutância específica, os poços PT-03 (poço Tabuleiro), PCB-05 (poço Clima Bom) e PCB-06 (poço Clima Bom), ficaram fora do padrão estabelecido, 122,40 uS/cm, 137,50 uS/cm e 140,30 uS/cm, respectivamente. Esses dados corroboram com a hipótese de poluição por esgoto doméstico;
- Quanto à acidez, que está associada aos valores de pH, caracteriza-se por uma concentração significativa, denominando assim como uma acidez carbônica;
- Já alcalinidade, a grande maioria dos poços apresentou valores dentro do padrão de potabilidade nos dois períodos, excetuando-se o poço PLSL-02 (poço Santa Lúcia) com um valor atípico na ordem de 120 mg/l;
- A dureza total das águas locais mostrou-se com valores baixos, inferiores a 100 mg/L, classificando como água com dureza branda, exceto o poço PLSL-02 (Santa Lúcia) com valor 132 mg/L;
- As concentrações de cálcio são praticamente estáveis nos períodos 2008 e 2018, não ultrapassando o padrão de potabilidade, até 50 mg/L;
- Os poços PSL-03 (poço Santa Lúcia) e PLSL-02 (poço Salvador Lyra) foram os únicos que apresentaram valores acima do recomendado para o magnésio,

48mg/L e 76mg/L, respectivamente. Corroborando também como uma evidência de contaminação;

- Os poços PJDL-01A (poço José Dubeaux Leão) e PCU-01 (poço Cidade Universitária) foram os únicos a apresentarem cloreto fora do padrão adequado para consumo, 120m/L e 119,1m/L, respectivamente. Podendo, também, advir dos esgotos domésticos ou industriais;
- No ano de 2008 o poço PT-01 (poço Tabuleiro), apresentou amônia de 1,92mg/L. Já no ano de 2018, o poço PCB-05 (poço Clima Bom), para o mesmo parâmetro, expôs 0,9mg/L, valores que caracterizam contaminação;
- Os dados analisados do nitrato no ano de 2018 são preocupantes por apresentarem nove poços (PHE-01, PIN-02, PLSL-02, PCB-05, PCB-06, PMAL-01, PMAL-02, PCJ-03 e PCJS-02) ultrapassando teores acima de 5mg/L, principal indicador de contaminação por esgoto;
- Foi identificado ausência de nitrito na série de dados obtido nos anos de 2008 e 2018;
- O ferro total nos poços PJDL-01A (poço José Dubeaux Leão) com 0,32mg/L, POL-01 (poço Osman Loureiro) com 0,33mg/L, PSL-02 (poço Salvador Lyra) com 0,39mg/L e o PHV-03 (poço Hélio Vasconcelos) com 3,44mg/L, ultrapassaram os parâmetros de potabilidade;
- As concentrações de gás carbônico (CO₂) em 2018, nos poços PMM-02 e PMM-03 (poço Mário Mafra) apresentaram respectivamente 1.886,5mg/L e 1.681,3mg/L, ultrapassando os dados recomendados de potabilidade. Esses valores reforçam a hipótese de contaminação das águas subterrâneas;
- Todos os poços estudados nos anos de 2008 e 2018, apresentaram sílica, sulfatos, sódio, potássio e sólidos totais dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação brasileira.
- Os mapas de distribuição espacial dos parâmetros físico-químicos mostraram que a bacia endorreica apresenta áreas com problemas de qualidade das águas subterrâneas, tanto no período correspondente ao ano 2008 como também em 2018, principalmente na porção Noroeste e no extremo Sul da bacia, áreas estas pertencentes aos bairros Santos Dumont, Clima Bom, Cidade Universitária, Tabuleiro do Martins e Santa Lúcia.

- Destacaram-se com comprometimento da qualidade das águas, os parâmetros: pH, cor aparente, turbidez, condutância específica, acidez, alcalinidade, magnésio, cloreto, amônia, nitrato, ferro total e CO₂.
- A partir dos resultados gerados nota-se que a metodologia GOD indicou o potencial de vulnerabilidade natural à contaminação da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins. Os resultados mostram que a bacia apresenta vulnerabilidade baixa a moderada. Contudo, a presença de atividades potencialmente contaminantes não é considerada pelo método GOD, as quais aumentam o risco de poluição ambiental do sistema estudado.
- As informações constantes nas análises da qualidade da água realizadas pela CASAL permitiram a análise estatística dos diversos parâmetros físicos e químicos da água, possibilitando avaliar a qualidade das águas comparando com os padrões de potabilidade estabelecidos conforme a legislação, como também comparar os resultados nos dois períodos (2008 e 2018) para avaliação da evolução temporal da qualidade das águas subterrâneas locais.
- A análise geoestatística (análise espacial) desses parâmetros permitiu identificar as áreas onde os mesmos apresentam-se fora dos padrões e também comparar essas ocorrências com o grau de vulnerabilidade local.

Os resultados ora apresentados são indicativos de que já há comprometimento da qualidade das águas subterrâneas na região do Tabuleiro do Martins, evidenciados pela análise espacial dos dados, identificando áreas onde os diversos parâmetros estudados mostram valores fora do padrão de potabilidade, como os bairros do Santos Dumont, Clima Bom, Cidade Universitária, Tabuleiro do Martins e Santa Lúcia, considerando que essas águas têm como uso preponderante o abastecimento humano através da captação por poços tubulares e distribuição da água pela CASAL para a população de grande parte da cidade de Maceió.

REFERÊNCIAS

AGRA, Sidnei Gusmão; SILVA JÚNIOR, Omar Barbosa; CARVALHO, Gustavo Silva. **Avaliação Hidrológica do Projeto de Macrodrenagem do Tabuleiro do Martins – Maceió/AL**. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. VI. Maceió. 2002. CD ROOM.

ALAGOAS. (a) Secretaria de Infraestrutura de Alagoas – SEINFRA. **Adequação do Projeto Básico de Macrodrenagem do Grande Tabuleiro – Maceió (AL). Memorial Descritivo**. Maceió, 1998.

ALAGOAS. (b) Secretaria de Infraestrutura de Alagoas – SEINFRA. **Informações Complementares e comentários à análise do EIA/RIMA do Empreendimento Macrodrenagem do Tabuleiro**. Volumes 1. Maceió, 1998.

ALAGOAS: SEMARHN - Secretaria Executiva de Meio Ambiente, Recursos Hídricos e Naturais. 2004. **Gerenciamento integrado dos recursos hídricos subterrâneos do estado de Alagoas**. 44p.

ALMEIDA, A. J. P. **Implicações da urbanização no comportamento hidrológico da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins, Maceió-AL** 2016. 76f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (ABAS). **Águas subterrâneas: o que são?** 2017. Disponível em: <<http://www.abas.org/educacao.php>>. Acesso em: 02 de jan de 2018.

BARBIRATO, G. M.; FERNANDES, E. F.; BARBOSA, R. V. R.; TELES, V. R.; OLIVEIRA, T. C. **Análise do clima urbano de Maceió-AL comparações entre diversas escalas**. In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2000, Rio de Janeiro-RJ. Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Rio de Janeiro, 2000. p. 628-634.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 396, de 03 de abril de 2008**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 Abr. 2008. Seção Resoluções, 71 p., 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. Brasília: Funasa, 2014.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://www.camara.gov.br/sileg/integras/470365.pdf>> Acesso em: 09 julho de 2017.

BRASIL. **Portaria do Ministério da Saúde nº 2914, de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF, 2011b.

BRASIL. **Resolução Conama n° 430, de 13 de maio de 2011.** Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de mar. de 2005. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>> Acesso em: 22 de maio de 2019.

BRASIL. **Resolução CONAMA n° 396, de 03 de abril de 2008.** Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasília, DF, 2008 b.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Boas Práticas no Abastecimento de Água:** procedimento para a minimização de riscos a saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. Disponível em: < http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/boas_praticas_agua.pdf> Acesso em: 22 junho de 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – Conama. **Resolução n° 357, de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>> Acesso em: 22 maio de 2019.

BORGHETTI, N.; BORGHETTI, J. R; ROSA, E.F.F. **Aquífero Guarani** – A verdadeira integração dos países do Mercosul. Curitiba, 2004.

CAVALCANTE, A. T. ; WANDERLEY, P. R. de M. e COSTA FILHO, O. de A. - 1975. **Contribuição ao conhecimento do aquífero Terciário Barreiras / Marituba na área de Maceió.** ATAS do VI Simpósio de Geologia do Nordeste, Fortaleza – CE, p.275-288.

CAVALCANTE, A. T.; WANDERLEY, P.R. de M.; LIMA, e R.C.de A. - 1992. **As reservas dinâmicas dos sistemas aquíferos Barreiras e Barreiras/Marituba a partir da análise das hidrógrafas dos rios Pratagi, Messias e Remédios. Maceió-Alagoas.** Anais do 10o Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Recife. Pernambuco, p. 397-402.

CLEARY, W. R. **Águas subterrâneas.** 1989. Disponível em: <<http://www.clean.com.br/cleary.pdf>>. Acesso em: 26 jan. 2009.

COHIDRO. **Relatório síntese do plano diretor da região hidrográfica do Pratagi.** Maceió, 2005.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB., 1996. **Métodos simplificados para análises bacteriológicas de água** / Petra S. Sanchez. São Paulo. 67 p.

COSTA, J. de A.; RAMOS, V. Á. Espaço urbano de Maceió: ambiente físico e organização socioeconômica. In: ARAUJO, L. M. (Org). **Geografia: espaço, tempo e planejamento.** Edufal. Maceió, 2004.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS. **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas** – SIAGAS Disponível em: < <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/apresentacao.php>>. Acesso em 25/08/2019.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, estado do Maranhão: relatório diagnóstico do município de Pindaré.** Teresina: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2011.

ESPINDULA, C. J. **Caracterização bacteriológica e físico-química das águas do aquífero freático do cemitério da Várzea - Recife.** 2004. 131f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

ESTEVES, F. **Fundamentos de limnologia.** 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826 p.

FEITOSA, A C.F.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações;** CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Fortaleza: Editora Gráfica LCR, 1997.

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

FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M.; FEITOSA, E. C.; e DEMETRIO, J. G. A. (Coordenadores). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** Rio de Janeiro: CPRM - LABHID, 3 Ed, 812p, 2008.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações.** 2. ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2011. 391 p il.

FERREIRA NETO, J. V.; SANTOS, R. J. Q. dos, WANDERLEY, P. R. B.; WANDERLEY, P. R. de M. & CAVALCANTE, A. T. - 2000. **Vulnerabilidade natural das águas subterrâneas em áreas do Tabuleiro do Martins – Maceió – Alagoas - BR.** Anais do 1º Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas. 31/07 a 04/08/2000. Fortaleza-CE.

FERREIRA NETO, J. V.; SANTOS, R. J. Q. dos, CAVALCANTE, A. T. & WANDERLEY, P. R. de M. - 2002. **Gerenciamento dos recursos hídricos da bacia evaporimétrica do Tabuleiro do Martins – Maceió / AL.** Anais do VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Dezembro/2002. Maceió-AL.

FERNANDES NETO, S. Discente da UFCG: **Zoneamento geoambiental em microbacia hidrográfica do semiárido paraibano.** 2013.121 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2013.

GLEICK, P. H. The world's water. 2000-2001. **Report on Freshwater Resources.** Island Press, 2000. 315p.

GUERRA, A.J.T. A contribuição da geomorfologia do estudo dos recursos hídricos. **Revista Bahia Análise & Dados,** Salvador, v. 13, n. edição especial, p.385 – 389. 2003.

LUCAS, A. A. T.; MOURA, A. S. A; NETTO, A de O. A; FACCIOL, G. G; SOUSA, I. F. Qualidade da água no riacho Jacaré, Sergipe e Brasil usada para irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada,** v. 8, n. 2, p. 98-105, 2014.

MACEIÓ, Prefeitura Municipal de. **Plano Municipal de Redução de Riscos**. Org. FIGUEIREDO, M.; CALHEIROS, M. M.; RAMOS, V. C. L.; SILVA, H, F, da.; FERREIRA, A. C. 2007.

MAROTTA, H.; SANTOS, R. O.; ENRICH-PRAST, A. Monitoramento limnológico: um instrumento para a conservação dos recursos hídricos no planejamento e na gestão urbano-ambientais. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. 11, n. 1, p. 67-79, 2008.

MESTRINHO, S. S. P. **Geoquímica e Contaminação de Águas Subterrâneas**. In: Curso de Atualização. Convênio Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – ABAS e Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, Recife – PE, 1997.

MILITÃO, C. M. T. **Estudo do ciclo do azoto**: Uma aplicação para o ensino. 2004.87 p. Dissertação (Mestrado em biologia para o ensino) - Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Porto, 2004.

PEPLAU, Guilherme Rocha. **Influência da Variação da Urbanização nas Vazões de Drenagem na Bacia do Rio Jacarecica em Maceió-AL**. Dissertação de Mestrado. Recife, 2005.

PIVELI, R.P. **Curso: qualidade das águas e poluição: Aspectos Físico-Químicos**. 1996. Disponível em: <<http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Fernando/leb360/Fasciculo%20%20-%20Caracteristicas%20Fisicas%20das%20Aguas.pdf>> Acesso em: 28/02/2019.

ROCHA, W. J. S. da. **Estudo da salinização das águas subterrâneas na região de Maceió a partir da integração de dados hidrogeológicos, hidrogeoquímicos e geoeletricos**. 2005. 203 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

ROGERS, P. P. Water governance, water security and water sustainability. In: ROGERS, P. P. et al. (Ed.) **Water crisis: myth or reality?** London: Fundación Marcelino Botín, Taylor & Francis, 2006. p.3-36.

SILVA, R. A. ; HORA, H. R. M. ; OLIVEIRA, V. P. S. Georeferenciamento dos índices de qualidade da água subterrânea na foz das bacias do Paraíba do Sul e Itabapoana (Brasil). **Águas Subterrâneas** (2017) 31(3):255-271.

SILVA, W. F. da; **Análise da Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas à Contaminação na Região Metropolitana de Maceió**. 2013, 158 p, Universidade Federal de Alagoas – UFAL.

SOMLYODY, L; VARIS, O. **Freshwater under pressure**. International Review for Environmental Strategies, v.6, n.2, p.181-204, 2006.

SOUSA, E. R. **Noções sobre qualidade da água**. Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura secção de hidráulica e dos recursos hídricos e ambientais Licenciatura em Engenharia Civil. Lisboa, 2001. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779577242158/Nocoos_Qualidade_Agua_ERS.pdf> Acesso em: 11/01/2019.

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

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

TUCCI, C. E. M. 1997. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997. (Col. ABRH de Recursos Hídricos, v.4).

TUCCI, C. E. M. (Org). **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRS/ABRH, 2007.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: RiMa, IIE, 2003. 248p.




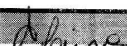
TUNDISI, J. G. et al. Conservação e uso sustentável de recursos hídricos. In: BARBOSA, F. A. (Org.) **Ângulos da água: desafios da integração**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2008. p.157-83.

UNITED STATES. Environmental Protection Agency - USEPA. **Secondary maximum contaminant levels: a strategy for drinking water quality and consumer acceptability**. 2015. Disponível em: <http://www.waterrf.org/PublicReportLibrary/4537.pdf>. Acesso em: 01 de jan de 2019.

WENDLAND, E. **Modelos Matemáticos e Métodos Numéricos em Águas Subterrâneas**. São Carlos, SP: SBMAC, 2003 xii, 95 p. - (Notas em Matemática Aplicada; 3).

ZUIN, V. G.; IORIATTI, M. C. S.; MATHEUS C. E. O emprego de parâmetros físicos e químicos para a avaliação da qualidade de águas naturais: uma proposta para a educação química e ambiental na perspectiva CTSA. **Química Nova na Escola**, v. 31. 2009.

ANEXO A

		COMPANHIA DE SANEAMENTO DE ALAGOAS			
		Rua Ver. José Raimundo dos Santos, S/N - Benedito Bentes - CEP: 57084-440 - Fones: 3315-4330/4331FAX			
		GERÊNCIA DE CONTROLE DA QUALIDADE DO PRODUTO		GEQPRO	
		SUPERVISÃO DE LABORATÓRIO DE ÁGUA		SUPLAG	
LAUDO DE ANÁLISE - ÁGUA			Amostras Nº	6762	558/18
DADOS DO INTERESSADO:					
Interessado:		COMPANHIA DE SANEAMENTO DE ALAGOAS - CASAL			
Endereço do Interessado:		Rua Barão de Atalaia, 200 - Poço - Maceió - AL			
DADOS DA AMOSTRA:					
Procedência:		Poço PCB-05			
Data da Coleta:		28/06/2018	Entrada no Laboratório:		28/06/2018
Coletor:		Rafael			
Análise:		FÍSICO-QUÍMICA			
Nº	Parâmetros	Método/Referência	VMP/VR	Resultado	Conclusão
1	pH	Potenciometro Digital	6,0 a 9,5	4,24	Recomendado
2	Cor Aparente	Colorímetro Digital	15,0 UC	2,0	Satisfatório
3	Turbidez	Turbidímetro Digital	5,0 NTU	1,17	Satisfatório
4	Condutância Específica	Conduvímímetro Digital	µhms/cm	137,5	Sem Referência
5	Acidez	Titulometria	mg/L CaCO ₃	26,0	Sem Referência
6	Alcalinidade OH ⁻	Titulometria	mg/L CaCO ₃	0,0	Sem Referência
7	Alcalinidade CO ₃ ⁻	Titulometria	mg/L CaCO ₃	0,0	Sem Referência
8	Alcalinidade HCO ₃ ⁻	Titulometria	mg/L CaCO ₃	2,0	Sem Referência
9	Dureza Total	Titulometria	500,0 mg/L CaCO ₃	16,0	Satisfatório
10	Dureza (carbonatos)	Titulometria	mg/L CaCO ₃	2,0	Sem Referência
11	Dureza (n/carbonatos)	Titulometria	mg/L CaCO ₃	14,0	Sem Referência
12	Cálcio	Titulometria	mg/L CaCO ₃	4,0	Sem Referência
13	Magnésio	Titulometria	mg/L CaCO ₃	12,0	Sem Referência
14	Cloretos	Titulometria	250,0 mg/L Cl ⁻	23,0	Satisfatório
15	Sílica	Espectrofotômetro Digital	mg/L SiO ₂	8,5	Sem Referência
16	Sulfato	Espectrofotômetro Digital	250,0 mg/L SO ₄ ⁻	1,9	Satisfatório
17	Amônia	Espectrofotômetro Digital	1,5 mg/L NH ₃	0,09	Satisfatório
18	Nitrato	Espectrofotômetro Digital	10,0 mg/L N	7,72	Satisfatório
19	Nitrito	Espectrofotômetro Digital	1,0 mg/L N	0,00	Satisfatório
20	Ferro Total	Espectrofotômetro Digital	0,30 mg/L Fe	0,24	Satisfatório
21	Sódio	Fotômetro de Chama	200,0 mg/L Na ⁺	20,0	Satisfatório
22	Potássio	Fotômetro de Chama	mg/L K ⁺	1,0	Sem Referência
23	CO ₂ (graficamente)	Fórmula de Tillman	mg/L CO ₂	233,6	Sem Referência
24	Sólidos Totais	Evaporação-Pesagem	1000,0 mg/L	82,0	Satisfatório
Análise:		NO MOMENTO DA COLETA			
Nº	Parâmetro				
25	Cloro Residual Livre (CRL)	Comparador Colorimétrico	≥ 0,2 mg/L	NR	Sem Dados
Análise:		MICROBIOLOGIA		Início:	Término:
Nº	Parâmetros				
26	Coliformes Totais	Tubos Múltiplos/Substrato Enzimático	Ausência em 100mL	0	Satisfatório
27	Escherichia Coli	Tubos Múltiplos/Substrato Enzimático	Ausência em 100mL	0	Satisfatório
Referências Normativa:		Portaria de Consolidação nº 05 de 28 de setembro de 2017, Anexo XX			
CONCLUSÃO A amostra está em conformidade com a Portaria do MS para os parâmetros analisados.					
Notas:					
1 - VMP: Valor Máximo Permitido na rede de distribuição; VR: Valor de Referência					
2 - SAA: Sistema de Abastecimento de Água					
3 - São de responsabilidade do requerente o plano amostral, os dados da coleta, e a coleta					
4 - Este laudo não pode ser utilizado em publicidade, propaganda ou fins comerciais					
5 - NR: Não Realizado					
Chefia (GEQPRO)		Chefia (SUPLAG)		DATA	
 Alfredo Brecho Monteiro Eng ^o Químico CRQ 17.3.001.73 CREA 02130410221 GEQPRO/SUPLAG		 Ana Cláudia Alves de Lira Nunes Téc. Industrial - Química CRQ 17.4.005.02 SUPLAG/GEQPRO		19/07/2018	