

XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E XVII
ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS

**POTENCIAIS FONTES DE CONTAMINAÇÃO E QUALIDADE DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS NA CIDADE DE MACEIÓ.**

Araceli Laranjeira Fazzio¹; Florilda Vieira da Silva²; Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira³; Cleuda Custódio Freire⁴; Maryelli Ludmylla Rodrigues da Silva⁵; Carlos Danillo Cavalcante Sampaio⁶.

Resumo - Este trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade das águas subterrâneas na cidade de Maceió, o que possibilitará a compreensão das alterações da qualidade da água em função das atividades antrópicas e dos potenciais poluidores que influenciam na qualidade de vida e na saúde da população que utiliza este recurso como a principal fonte de abastecimento. A água subterrânea geralmente é uma fonte de água mais segura e confiável que a água superficial. Os resultados apresentados dão indícios de contaminação das águas subterrâneas na cidade de Maceió.

Abstract – This study aims to evaluate the quality of groundwater in the city of Maceió, which will enable the understanding of changes in water quality due to human activities and pollution threats that influence the quality of life and health of the population using this resource as the main source of supply. Groundwater is often a source of water safer and more reliable than surface water. The results presented give evidence of groundwater contamination in the city of Maceio.

Palavras-Chave: Águas Subterrâneas, Fontes de Contaminação, Qualidade da Água.

¹ Graduanda em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Alagoas. Bolsista de Iniciação Científica do CNPq. Endereço: Avenida Lourival Melo Mota, s/n. Tabuleiro do Martins. Centro de Tecnologia. Universidade Federal de Alagoas - Maceió - AL - CEP: 57072-970 - Brasil - Tel: (82) 32141275 - e-mail: araceli.lm@hotmail.com

² Graduada em Química Industrial pela Universidade Federal de Sergipe/UFS. Licenciada em Química pela Fundação Universidade do Tocantins/UNITINS. Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas PPGRHS/CTEC/UFAL.

³ Engenheira Civil e Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UFPB/Compus II (Campina Grande). Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos EESC/USP. Professora do PPGRHS/CTEC/UFAL.

⁴ Engenheira Civil pela UFAL. Mestre em Recursos Hídricos pela UFPB/Campus II (Campina Grande). Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo IPH/UFRRGS. Professora do PPGRHS/CTEC/UFAL.

⁵ Graduanda em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Alagoas.

⁶ Graduando em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Alagoas.

1- INTRODUÇÃO

A água subterrânea geralmente é uma fonte de água mais segura e confiável que a água superficial. Possui um reservatório natural de regularização e permite a sua utilização e retirada de forma distribuída no espaço. Em Maceió, a exploração de água subterrânea remonta aos tempos do povoamento, mas somente a partir de 1970 a CASAL (Companhia de Saneamento de Alagoas) começou utilizar esse manancial, para complementar a oferta d'água da capital.

Devido ao processo acelerado de urbanização, algumas cidades, enfrentam desafios na demanda por água potável. Atualmente, a principal fonte de abastecimento de água da cidade de Maceió é a subterrânea com 60% da vazão produzida por poços profundos. O restante do abastecimento é feito por águas superficiais, em que os principais mananciais são os Riachos Catolé e Viação, que juntos respondem por 20% do abastecimento de Maceió. O restante do abastecimento é suprido pelo sistema Pratygy (CASAL, 2009a).

Essa exploração tem levado ao somatório de contaminantes lançados nas águas subterrâneas, oriundos das mais diversas fontes de contaminação, relacionadas com o espaço urbano, como: fossas sépticas, cemitérios, vazamentos em postos de combustível, lixões, agrotóxicos, poços profundos mal instalados ou abandonados, lançamento de resíduos domésticos e industriais de forma geral, dentre outros. Todos esses problemas colocam em risco a disponibilidade deste recurso.

1.1- Principais fontes de contaminação da águas subterrâneas

1.1.2 - Cemitérios

A implantação de cemitérios sem levar em consideração os critérios geológicos (características litológicas e estrutura do terreno) e hidrogeológicos (nível do lençol freático), constitui mais uma das causas de deterioração da qualidade das águas subterrâneas, pois substâncias provenientes da decomposição de cadáveres podem ter acesso às mesmas, representando um risco do ponto de vista sanitário e higiênico (MARTINS *et al.*, 1991).

Pacheco (2000) aponta outro problema dos grandes centros urbanos brasileiros, onde há o "convívio" de cemitérios com a população de baixa renda que não dispõe de saneamento básico. Via de regra, usam água a partir de poços escavados e de nascentes, que devem receber substâncias lixiviadas do solo e subsolo das necrópoles. Neste caso a população ficará sujeita às doenças de veiculação hídrica como febre tifóide, paratifóide, cólera e outras (MATOS, 2001).

1.1.3- Atividades industriais

No Distrito Industrial Governador Luiz Cavalcante em Maceió, as empresas apresentam uma diversidade de unidades e processos de manufatura, dificultando estimar o potencial de contaminação. A contaminação industrial é preocupante em virtude da diversidade e da periculosidade dos contaminantes. Algumas dessas empresas destinam seus efluentes, sem tratamento, diretamente para sumidouros semelhantes aos dos sistemas de esgotamento sanitário utilizados na região ou para lagoas de acumulação de águas pluviais (NETO et al, 2002).

Normalmente os contaminantes produzidos pelas indústrias atingem os solos e rios, e em seguida, dependendo das condições de vulnerabilidade do aquífero, podem atingir as águas subterrâneas.

O Plano Diretor de Desenvolvimento Territorial da Cidade de Maceió (Lei nº 5486/2005), em seu Art 12, cita as medidas específicas para o desenvolvimento industrial, ou seja, efetivação de maior controle e fiscalização das atividades industriais perigosas e causadoras de impactos ambientais.

1.1.4- Postos de combustíveis

Os combustíveis armazenados em tanques enterrados constituem grande risco para a contaminação dos aquíferos, devido a instalações inadequadas, corrosão e perdas de encaixes. Vazamentos de postos de combustíveis em SASC's (Sistemas de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis - SASC's) contribuem com hidrocarbonetos monoaromáticos os chamados BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno). Estes contaminantes são os primeiros a atingirem as águas subterrâneas devido a sua grande solubilidade. Segundo Corseuil (1997) são considerados substâncias perigosas por serem depressantes do sistema nervoso central e por causarem leucemia em exposições crônicas. Em postos de combustíveis com tanques construídos com aço a vida útil destes varia de 05 a 30 anos. Este é um problema especialmente importante nas grandes áreas urbanas (AMORIM et al, 2005).

1.1.5- Resíduos sólidos

Os resíduos sólidos gerados e depositados em locais inadequados sem nenhum tipo de controle formam os chamados lixões, que representam um grande risco de contaminação para as

águas subterrâneas, por produzirem um líquido denominado chorume, que possui alto potencial de poluição para o solo, subsolo e para os recursos hídricos.

Em Maceió a destinação do lixo desde a década de 60, é em área dos tabuleiros costeiros, dentro do perímetro urbano, onde a água subterrânea é intensivamente explorada para o consumo humano (SEMARHN, 2004). Em 2010 está previsto funcionar a primeira célula do novo aterro sanitário.

1.1.6- Saneamento “in situ”

Em Maceió, apenas 30% das residências são atendidas pelo serviço de esgotamento sanitário (CASAL, 2008). Na maior parte do município, a coleta dos efluentes domésticos é feita através de fossas sépticas que drenam para sumidouros. Estes sistemas “in situ” geralmente estão próximos aos poços tubulares para captação de água subterrânea, principalmente nos conjuntos habitacionais.

Devido a problemas construtivos ou por falta da manutenção periódica preventiva, alguns sistemas de esgotamentos sanitários extravasam, sendo o excedente desviado para as depressões naturais ou lagoas escavadas nas proximidades, sem os devidos cuidados técnicos, tais como impermeabilização.

1.1.7- Intrusão salina

Ocorre pela super exploração de poços próximo ao litoral, fazendo com que a água do mar avance sobre a água doce, devido à diferença de densidade da água doce (menos densa) e da água salgada (mais densa). Segundo a Agência Nacional de Águas (2005) o uso excessivo de poços na região costeira causa a super exploração da água subterrânea, aumentando a intrusão da cunha de água do mar, gerando problemas de salinização das águas.

Alguns poços, na região de Maceió, tiveram suas vazões reduzidas para diminuir a salinização e outros foram desativados por terem atingido alto valor de sais (SEMARH, 2004).

1.1.8- Atividades Agrícolas

A contaminação do solo ocorre pelo uso indevido de defensivos agrícolas (pesticidas, inseticidas organoclorados) e fertilizantes. O Plano Diretor de Desenvolvimento Territorial (Lei nº 5486/2005), em seu Art 13 diz: – II – O desenvolvimento de atividades rurais será baseado nos princípios da agroecologia.

A principal cultura do Estado de Alagoas, a cana-de-açúcar, constitui um potencial risco para a contaminação das águas subterrâneas.

1.1.9- Águas Superficiais

A contaminação ocorre pelo lançamento excessivo sem tratamento de esgotos domésticos, industriais e vários outros poluentes, além do lixo jogado pela população, nos córregos. O Plano Diretor de Desenvolvimento Territorial (Lei nº 5486/2005), no seu Art 24 fala dos objetivos gerais para o desenvolvimento do Município de Maceió dentre eles, promover o saneamento ambiental. Pesquisas realizadas na bacia hidrográfica do Rio Reginaldo, situada na zona urbana de Maceió, indicaram que a qualidade microbiológica e físico-química de suas águas encontra-se bastante comprometida em função das condições de saneamento e do meio ambiente, o que expõe a população às doenças de veiculação hídrica (FERREIRA et al., 2008).

2. LEGISLAÇÃO

Em abril de 2008 entrou em vigor a Resolução nº 396 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Resolução CONAMA nº 396), que trata da classificação das águas subterrâneas e estabelece as diretrizes para seu enquadramento. Com essa nova legislação, é possível monitorar os aquíferos e suas fontes de poluição, protegendo assim a qualidade das águas subterrâneas.

No âmbito Municipal, a Lei nº 4.548, de 21 de novembro de 1996 Institui o Código Municipal de Meio Ambiente, do controle das fontes poluidoras, da ordenação do uso do solo do território do Município de Maceió, de forma a garantir o desenvolvimento sustentável. Já o código de posturas do município de Maceió – Lei nº 3.538, 23 de dezembro de 1985 no Art.5º descreve que compete a Prefeitura zelar pela higiene pública, visando a melhoria das condições do meio ambiente, da saúde e do bem-estar da população.

Conforme exigência do Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001) em dezembro de 2005 foi aprovado o Plano Diretor de Desenvolvimento Territorial da Cidade de Maceió (Lei nº 5486/2005). Conforme o Art 3º este Plano Diretor se fundamenta nas seguintes premissas:

I – inclusão social, mediante ampliação da oferta de terra urbana, moradia digna, saneamento básico, infra-estrutura urbana, transporte coletivo, serviços públicos, trabalho, renda, cultura e lazer para a população de Maceió.

III – proteção ao meio ambiente.

Como visto, diferentes legislações, no âmbito municipal e federal, versam sobre a proteção ambiental, embora estudos na área urbana de Maceió demonstrem uma crescente deterioração da qualidade ambiental, inclusive de seus recursos hídricos superficiais e subterrâneos (PIMENTEL et al., 2008; SANTOS et al., 2007).

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Localizada na parte central da faixa litorânea do Estado de Alagoas, Brasil, Maceió está inserida na mesorregião do leste alagoano. Estende-se entre os paralelos 09°21'31" e 09°42'49" de latitude sul e os meridianos 35°33'56" e 35°38'36" de longitude oeste, ocupando uma área de aproximadamente 511 km² (dos quais 233 km² compõem a sua área urbana), para uma população de 2.822.621 habitantes (a grande Maceió possui cerca de 800 mil habitantes) o que corresponde a 1,76% do território alagoano.

Inserida na Região Nordeste do Brasil, nos domínios da Mata Atlântica, apresenta atualmente uma cobertura vegetal diversificada. Ao longo do litoral ocorre a vegetação de restingas, com coqueirais e manguezais margeando praias e estuários, em plena zona tropical e banhada pelo Oceano Atlântico, Maceió apresenta clima quente e úmido. A temperatura anual atinge as máximas nos meses de dezembro a março e as mínimas nos meses de julho a setembro. O clima é enquadrado como tropical chuvoso, possui uma pluviometria anual regular, o índice pluviométrico é sempre superior a 1.410 mm/ano. Apresenta duas estações bem definidas: a chuvosa de março a agosto e a seca de setembro a fevereiro.

3.1- Uso e ocupação do solo

A cidade de Maceió apresenta vários cursos d'água naturais de pequena extensão e áreas alagadiças, suas margens normalmente contêm ocupações irregulares, conferindo à cidade um baixo potencial hídrico de superfície, agravado também pelas condições dessas drenagens que são utilizadas como corpos receptores de lixo e esgotos sanitários. A ocupação urbana desordenada provocou o aterramento e a impermeabilização de grande parte dessas áreas e a favelização da mesma.

4. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade das águas subterrâneas na cidade de Maceió, o que possibilitará a compreensão das alterações da qualidade da água em função das atividades antrópicas e dos potenciais poluidores (resíduos sólidos, saneamento “in situ” - fossas sépticas -, intrusão salina, atividade cemiterial, postos de combustíveis, atividades industriais, atividades agrícolas e águas superficiais), que influenciam na qualidade de vida e na saúde da população que utiliza este recurso como a principal fonte de abastecimento.

5. METODOLOGIA

5.1- Pontos e frequência de coleta

O monitoramento da qualidade das águas subterrâneas foi realizado mediante coletas periódicas, análises físico-químicas e exames microbiológicos nos pontos escolhidos.

Foram avaliados 18 poços, escolhidos de acordo com as potenciais fontes de contaminação dos aquíferos da região metropolitana de Maceió (Tabela 1) como também por distribuição espacial. A localização destes poços pode ser visualizada na Figura 2. O período de monitoramento compreendeu janeiro a dezembro de 2009.

Tabela 1 - Poços de coleta e respectivas localizações.

POÇO DE COLETA	LOCALIZAÇÃO	GEORREFERENCIAMENTO (GPS)	
		Latitude	Longitude
P ₁	Cemitério público 1	09° 40' 10,2"	35° 43' 07,6"
P ₂	Lava-jato 1	09° 40' 08,1"	35° 43' 11,2"
P ₃	Lava-jato 2	09° 40' 13,8"	35° 44' 44,5"
P ₄	Cemitério público 2	9°40'20.63"	35°45'16.10"
P ₅	Cemitério público 2	09° 40' 18,0"	35° 45' 10,9"
P ₆	Empresa distribuidora	09° 36' 25,1"	35° 44' 23,0"
P ₇	Condomínio residencial 1	09° 35' 34,6"	35° 44' 18,1"
P ₈	Condomínio residencial 2	09° 38' 32,8"	35° 44' 15,9"
P ₉	Poço situado no sopé da região do Lixão de Maceió	09° 37' 01,9"	35° 41' 33,7"
P ₁₀	Empresa - água mineral	09° 34' 39,9"	35° 39' 34,0"
P ₁₁	Floricultura	09° 39' 31,9"	35° 43' 43,9"
P ₁₂	Empresa pública	09° 34' 11,3"	35° 46' 12,5"
P ₁₃	Condomínio residencial 3	09° 33' 38,0"	35° 44' 33,2"

P ₁₄	Igreja	09° 33' 31,4"	35° 44' 35,8"
P ₁₅	Posto de combustível	09° 32' 49,8"	35° 43' 44,9"
P ₁₆	Condomínio residencial 4	09° 35' 17,9"	35° 46' 41,3"
P ₁₇	Órgão Público	09° 37' 18,7"	35° 44' 56,0"
P ₁₈ ⁷	Montante do Cemitério público 1	9°40'4.13"	35°43'2.95"

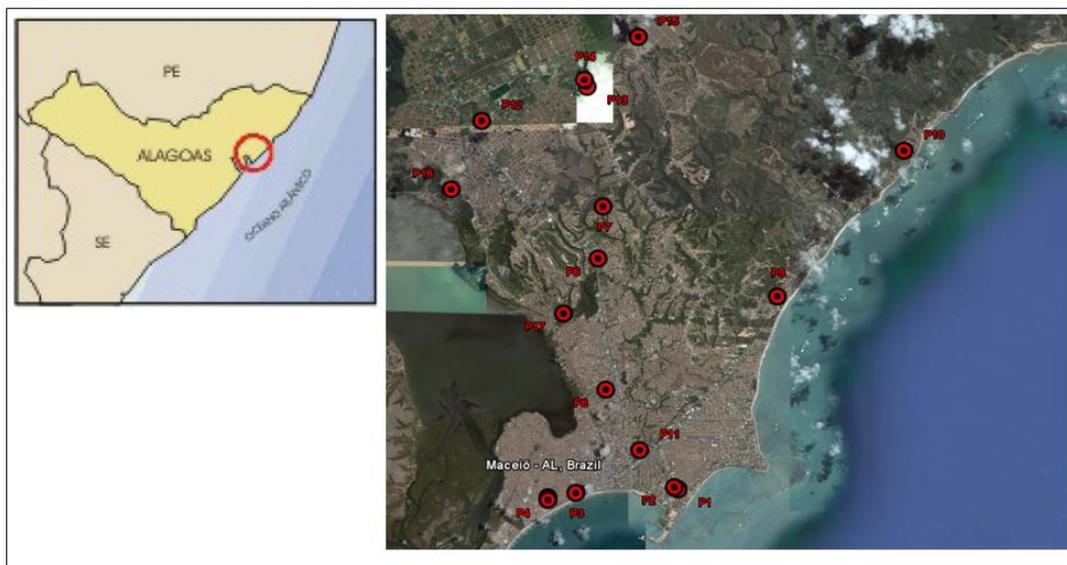


Figura 2 - Mapa de localização dos poços monitorados. Fonte: Google Earth (2009).

5.2- Parâmetros Monitorados

Considerando a Resolução CONAMA n° 396/2008, os parâmetros escolhidos para a análise da água foram: cor, turbidez, pH, sólidos totais dissolvidos (STD), nitrato, nitrito, sulfatos, cloretos, condutividade elétrica, temperatura e oxigênio dissolvido. Os indicadores de contaminação microbiológica avaliados foram *E. coli* e coliformes totais. A partir da 4ª coleta (Jul/ago/2009) passou-se a monitorar o parâmetro *Clostridium perfringens* nos poços com atividade cemiterial.

As análises para caracterização físico-química e os exames microbiológicos das águas subterrâneas foram realizadas no Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) do Centro de Tecnologia da UFAL, conforme os procedimentos descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998). Na Tabela 2 estão indicados os métodos analíticos e equipamentos utilizados.

Tabela 2 – Análises físico-químicas e métodos analíticos.

Parâmetros	Método Utilizado
Temperatura (°C)	Determinação direta com sonda LUTRON – DO-5510

⁷ O poço P18 começou a ser monitorado a partir da terceira coleta (Mai-Jun/2009)

Oxigênio dissolvido (mg/L)	Sonda com membrana seletiva de oxigênio – LUTRON – DO - 5510
pH	Potenciométrico – peagâmetro com eletrodo combinado ANALION
Cor (uC)	Aquacolor Marca Policontrol
Turbidez (NTU)	Modelo AP2000iR Marca Policontrol
pH (unidades de pH)	MV-TEMP-METER marca LT-Lutron, pH-206
SDT (mg/L)	Gravimétrico
Condutividade elétrica (mS/cm)	Condutivímetro marca Analion modelo C708
Cloretos (mg Cl ⁻ /L)	Método Argentométrico (Método de Mohr)
Nitrito (mg N-O ₂ /L)	Método de Bendschneider & Robinson (1952) segundo GOLTERMAN <i>et al.</i> , 1978
Nitrato (mg N-NO ₃ /L)	Determinação segundo MACKERETH <i>et al.</i> (1978)
Sulfato (mg SO ₄ ⁼ /L)	Método Turbidimétrico

A quantificação de coliformes foi realizada por meio da técnica de filtração em membrana, utilizando como meio de cultura o Chomocult Coliforme® Agar da Merck (cat. 1.10426) com substrato cromogênico. O meio permite a determinação simultânea de coliformes totais e *E. coli*. Os resultados foram expressos em UFC/100 mL.

A metodologia utilizada para determinação da concentração de *Clostridium perfringens* foi baseada na técnica de tubos múltiplos, descrita no método de ensaio CETESB/ L5. 213 (CETESB, 1993).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1- Caracterização microbiológica das águas subterrâneas

As características físicas, químicas e microbiológicas das águas subterrâneas coletadas apresentam-se influenciadas pelo uso e ocupação do solo, pelas condições climáticas locais, pelo tipo de solo e pela falta de saneamento básico.

O padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano é ausência em 100 mL para coliformes totais e *E. coli*. Todos os pontos coletados apresentaram *E. coli* e/ou coliformes totais no período de monitoramento, apesar de em certos meses estarem ausentes em alguns poços, estando todos em desconformidade com a portaria sobre potabilidade da água. Verifica-se, como esperado, a maior densidade de coliformes totais em relação à *E. coli*, tendo em vista que esta bactéria é de origem exclusivamente fecal, enquanto os coliformes totais podem estar presentes em outras matrizes ambientais como solo e águas naturais. Os resultados dos exames microbiológicos

estão apresentados nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3- Concentração de *E. Coli* nas amostras coletadas no período de janeiro a dezembro/2009

Exames Microbiológicos							
<i>E. Coli</i> (UFC/100 mL)							
Poços de coleta	Jan/fev	Mar/abr	Mai/jun	Jul/ago	Set/out	Out/nov	Dez
P ₁	Ausente	2,0	1,0 x 10 ¹	1,1x10 ³	2,82 x 10 ²	3,0 x 10 ²	3,3x 10 ¹
P ₂	Ausente	1,0 x 10 ¹	3,8 x10 ¹	8,0	1,03 x 10 ²	1,0 x 10 ¹	***
P ₃	Ausente	4,0	5,0 x10 ¹	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
P ₄	Ausente	1,0 x 10 ³	5,0 x10 ¹	2,1 x10 ²	5,4 x10 ¹	6,0	3,6 x10 ²
P ₅	Ausente	1,0 x10 ⁴	4,2 x10 ¹	8,0	7,0 x 10 ⁻²	Ausente	4,1 x10 ¹
P ₆	Ausente	2,5 x10 ¹	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
P ₇	Ausente	Ausente	2,0	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
P ₈	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	1,0	1,0
P ₉	Ausente	1,29x 10 ²	1,0	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
P ₁₀	Ausente	5,0 x10 ¹	1,0	Ausente	1,0	Ausente	7,0
P ₁₁	Ausente	Ausente	1,16 x10 ²	Ausente	Ausente	Ausente	***
P ₁₂	Ausente	Ausente	Ausente	3,0	3,0	1,0	9,0
P ₁₃	1,0	1,0	1,0	1,0	Ausente	Ausente	Ausente
P ₁₄	Ausente	9,0	2,0	3,0	Ausente	1,0	6,0
P ₁₅	9,0	Ausente	Ausente	4,0	3,2 x10 ¹	3,0	2,0x 10 ¹
P ₁₆	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	1,0	Ausente	1,0
P ₁₇	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
P ₁₈ **	-	-	10	1,0	9 x 10 ⁻³	1 x 10 ⁻¹	1,7x 10 ¹

** Amostras coletadas a partir do mês de maio. *** O local está fechado (P2) o poço foi desativado (P11).

Tabela 4 - Concentração de Coliformes Totais nas amostras coletadas no período de janeiro a dezembro/2009.

Exames microbiológicos							
Coliformes Totais (UFC/100 mL)							
Poços de coleta	Jan/fev	Mar/abr	Mai/jun	Jul/ago	Set/out	Out/nov	Dez
P ₁	2,3 x 10 ³	2,0 x 10 ⁴	1,2 x 10 ⁴	5,1 x 10 ⁴	6,16 x 10 ⁴	1,0 x 10 ¹	8,0 x 10 ²
P ₂	2,1 x 10 ³	7,6 x 10 ⁵	7,5 x 10 ¹	2,8 x 10 ¹	1,28 x 10 ²	4 x 10 ²	***
P ₃	Ausente	2,4 x 10 ²	2,4 x 10 ²	6,0	1,0	Ausente	Ausente
P ₄	1,4 x 10 ⁴	2,0 x 10 ⁴	1,7 x 10 ⁴	7,0 x 10 ³	2,24 x 10 ⁴	3,3 x 10 ¹	6,3 x 10 ⁴
P ₅	2,15 x 10 ⁴	1,4 x 10 ⁵	8,1 x 10 ⁴	6,0 x 10 ³	9,5 x 10 ³	Ausente	8,0 x 10 ³
P ₆	Ausente	4 x 10 ¹	Ausente	4,0	Ausente	1,0	1,0
P ₇	Ausente	Ausente	Ausente	3,0	Ausente	Ausente	1,0
P ₈	Ausente	Ausente	Ausente	1,2 x 10 ¹	Ausente	Ausente	2,0 x 10 ¹
P ₉	1,0	6,0	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	2,9 x 10 ¹
P ₁₀	Ausente	8,0 x 10 ¹	2,0	Ausente	Ausente	Ausente	1,0 x 10 ¹
P ₁₁	1,0	Ausente	1,0	3,0 x 10 ¹	Ausente	Ausente	***
P ₁₂	Ausente	Ausente	3,0	3,3 x 10 ¹	2,3 x 10 ¹	3,0	1,8 x 10 ¹
P ₁₃	6,6 x 10 ¹	1,0 x 10 ¹	6,0	1,0	Ausente	Ausente	7,0
P ₁₄	Ausente	1,2 x 10 ²	1,1 x 10 ¹	1,0	Ausente	3,9 x 10 ¹	Ausente
P ₁₅	6,3 x 10 ¹	Ausente	Ausente	2,1 x 10 ¹	2,24 x 10 ²	6,2 x 10 ¹	3,9 x 10 ¹
P ₁₆	4,0	7,0 x 10 ¹	4,2 x 10 ¹	3,0	Ausente	Ausente	Ausente
P ₁₇	Ausente	8,0 x 10 ²	Ausente	1,2 x 10 ¹	Ausente	Ausente	Ausente
P ₁₈ **	-	-	3 x 10 ²	3	2,3 x 10 ¹	Ausente	1,41 x 10 ²

** Amostras coletadas a partir do mês de maio. *** O local está fechado (P2) o poço foi desativado (P11).

Nos pontos com atividade cemiterial (P₁, P₄ e P₅) ou nas imediações de cemitérios (P₃, P₁₆) foi analisado o parâmetro *Clostridium perfringens*. Os resultados encontrados variaram entre ausente e 800 NMP/100 mL (Tabela 5). Este indicador sugere contaminação remota.

Tabela 5 – Resultados obtidos na contagem de *Clostridium perfringens*.

Pontos	<i>Clostridium perfringens</i> (NMP/100 mL)			
	Jul/Ago	Set/Out	Out/ Nov	Dez
P ₁	500	220	110	40
P ₃	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
P ₄	230	170	130	140
P ₅	40	280	800	70
P ₁₆	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
P ₁₈	Ausente	Ausente	20	20

6.2- Caracterização físico-química das águas subterrâneas

Na Tabela 6, encontram-se os valores mínimos, médios e máximos das análises físico-químicas realizadas.

Tabela 6 - Valores médios, mínimos e máximos obtidos nos pontos estudados nos meses de janeiro a dezembro de 2009.

Variáveis	Mínimo	Médio	Máximo	Desvio padrão
Temperatura do ar (°C)	26	30,10	33,5	1,60
Temperatura da água (°C)	25,5	29,25	34,5	1,33
Cor (uC)	0,6	17,05	160,0	32,44
Condutividade (mS/cm)	0,035	0,27	0,98	0,21
Turbidez (NTU)	0,02	7,28	360	32,48
pH	2,53	5,56	8,18	1,08
STD (mg/L)	18	285,58	1734,0	240,77
OD (mg/L)	1,5	6,31	10,8	2,06
Cloretos (mg/L)	12,44	81,83	1387,8	130,62
Nitrato (mg/L)	0,02	17,89	71,16	16,65
Nitrito (mg/L)	0	0,047	0,71	0,12
Sulfato (mg/L)	0	5,38	54,33	10,96

As temperaturas do ar e da água foram compatíveis com as condições climáticas locais, mostrando uma tendência normal que é a temperatura do ar ser maior que da água subterrânea. Nos meses de janeiro a dezembro de 2009, a temperatura do ar apresentou valores mínimos de 26,0 °C, máximo de 33,5 °C e média de 30,11± 1,60 °C, enquanto a da água oscilou entre 25,5 °C a 34,5 °C com média de 29,25 ± 1,33 °C.

As Figuras 3 a 12 a seguir apresentam os resultados das análises de cor aparente, turbidez, OD, condutividade, STD, pH, bem como a distribuição dos íons cloreto (Cl⁻), nitrato (NO³⁻), nitrito (NO²⁻), sulfato (SO₄²⁻) avaliados nas amostras de água subterrânea. Como comparativo, destaca-se nos gráficos, os limites (VMP - valor máximo permitido) estabelecidos pela Portaria 518/04 do MS, quando aplicáveis.

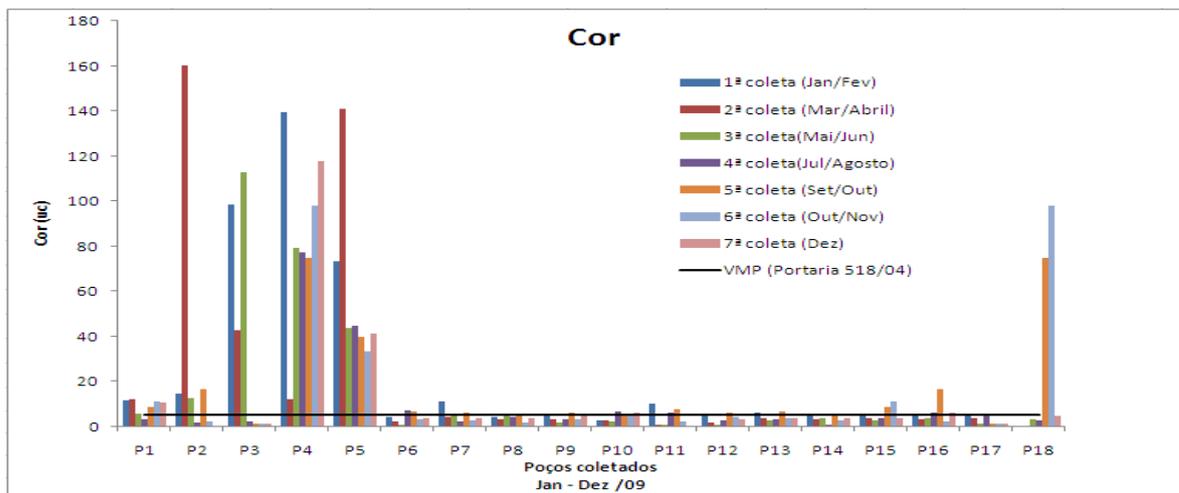


Figura 3 – Variação média da cor aparente nos pontos coletados no período de janeiro a dezembro de 2009.

A cor aparente variou de 0,6 a 160,0 uC, com uma média de 17,05 uC (Tabela 6) apresentando valores acima do permitido pela legislação do Ministério da Saúde (VMP 5 uC) em 40,16% das amostras coletadas. O ponto P₂ apresentou o maior valor, 160,0 uC no mês de março, tendo a turbidez contribuído para este valor (Figura 3).

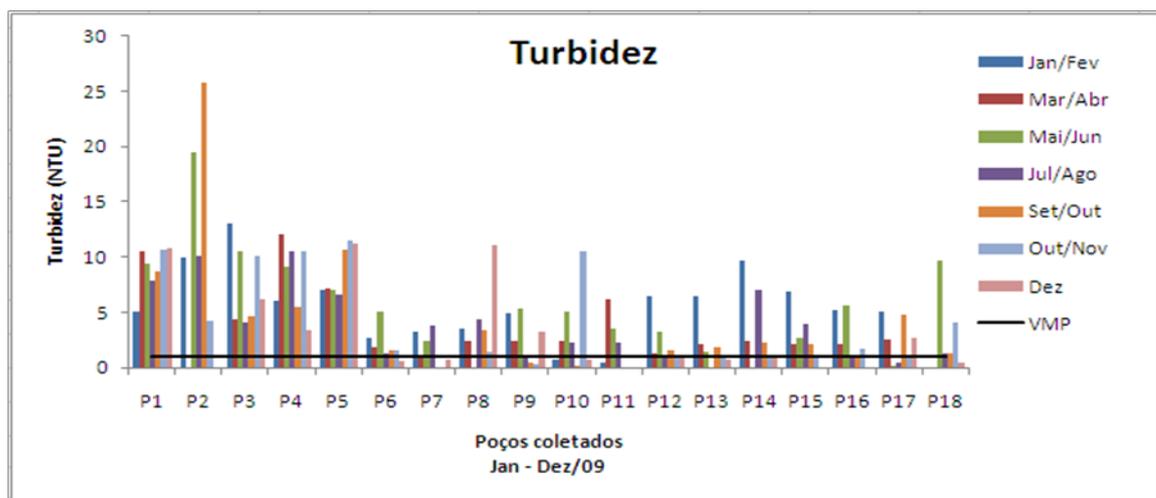


Figura 4 - Variação média da turbidez nos pontos coletados no período de janeiro a dezembro de 2009.

No período analisado, os valores encontrados para a turbidez das amostras coletadas variaram entre 0,02 e 360 NTU, com 7,28 NTU em média, ressaltando que 79,5 % das amostras avaliadas estavam em desacordo com a portaria 514/2004 do MS. Foi observado que o maior valor ocorreu no ponto P₂ (360 NTU), que é o ponto mais próximo do litoral, indicando assim que o nível do lençol freático pode ter contribuído para a turbidez. O valor máximo de turbidez foi omitido na Figura 4 para melhor visualização dos demais resultados.

Os valores de OD variaram entre 1,5 a 10,8 mg/L, com média 6,31 mg/L, conforme ilustrado na Figura 5.

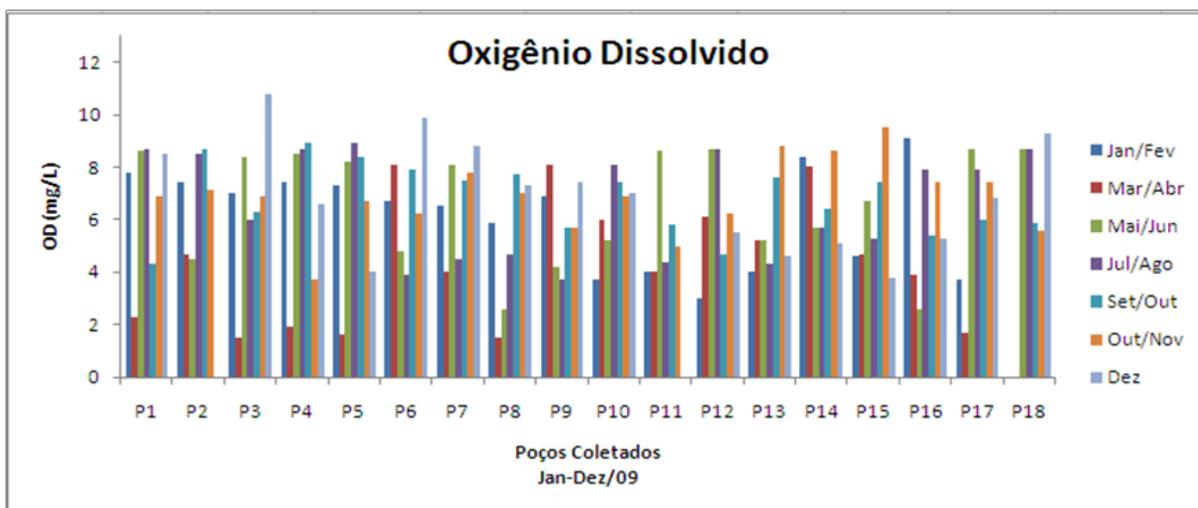


Figura 5 - Variação média do oxigênio dissolvido nos pontos coletados no período de janeiro a dezembro de 2009.

A condutividade elétrica oscilou entre 0,035 a 0,98 mS/cm, apresentando uma média de $0,27 \pm 0,21$ mS/cm (Figura 6). Não constitui padrão de potabilidade, mas pode indicar, indiretamente, a presença de íons dissolvidos na água.

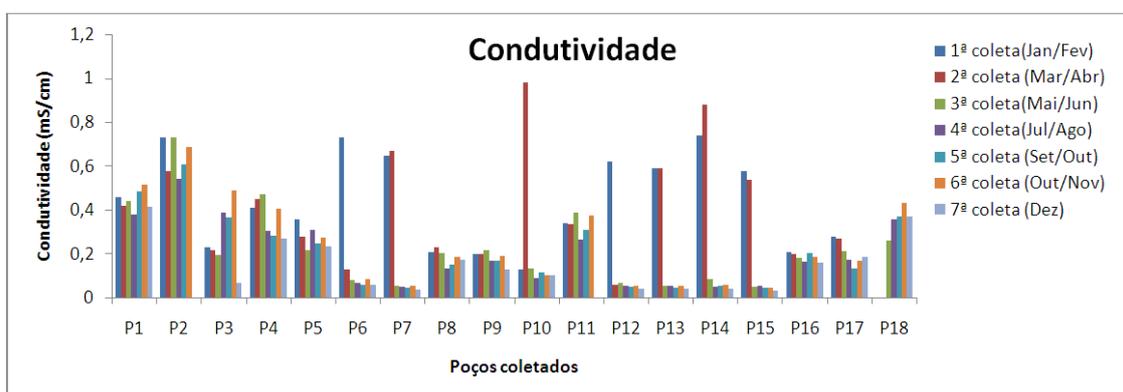


Figura 6 - Variação média da condutividade nos pontos coletados no período de janeiro a dezembro de 2009.

Na análise dos STD, verifica-se uma variação de 18 mg/L a 1734 mg/L com média de $285,58 \pm 240,77$ mg/L (Tabela 6). Observando a Figura 7, 99,18% das amostras analisadas atendem à Portaria 518/04 do MS e à resolução CONAMA nº 396 /2008 em se tratando de padrões de potabilidade com exceção do ponto P₈ no mês de dezembro.

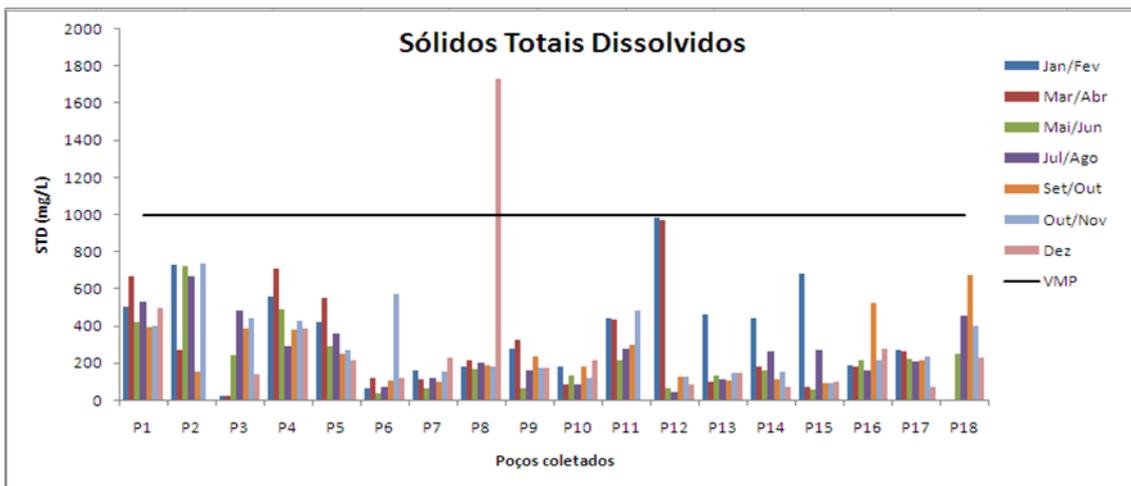


Figura 7- Variação média do teor de STD nos pontos coletados no período de janeiro a dezembro de 2009.

Quanto ao potencial hidrogeniônico, nos meses estudados, janeiro a agosto/2009, as águas subterrâneas apresentaram valores entre 2,53 a 8,18, com média de 5,56, indicando que as águas variaram de ácidas para alcalinas, sendo que na maior parte dos pontos coletados apresentaram valores ácidos, impróprio para o consumo humano, segundo a portaria 518/2004 do MS.

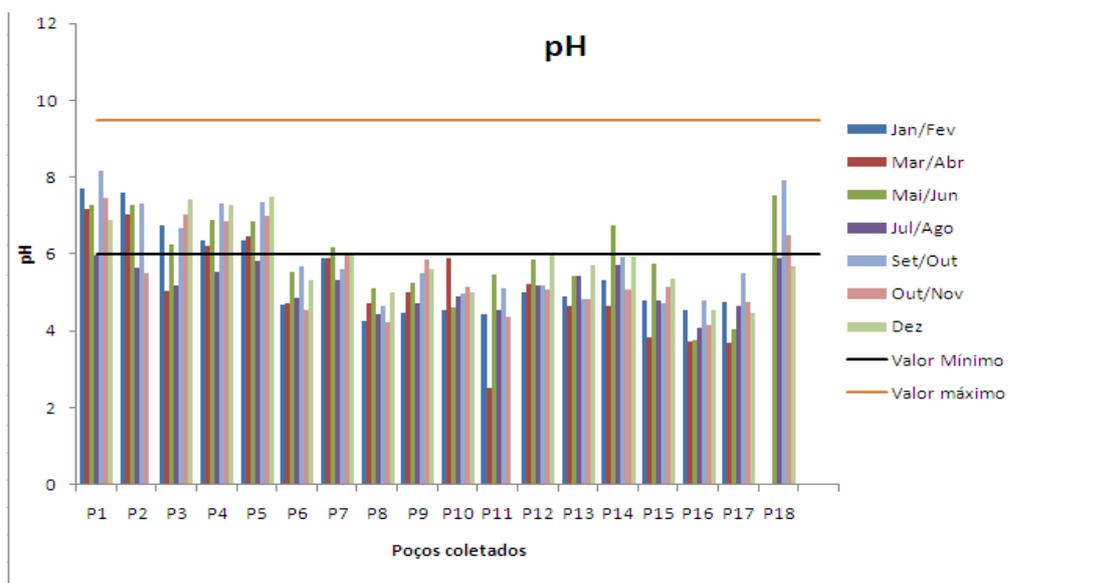


Figura 8 - Variação média pH da água nos pontos coletados no período de janeiro a dezembro de 2009.

Os teores de cloretos nos locais estudados variaram de 12,44 a 1387,8 mg/L com média de $81,83 \pm 130,62$ mg/L (Figura 9), e portanto dentro dos padrões de potabilidade, com exceção do ponto P₃. No período de julho a novembro, este ponto de coleta apresentou concentrações acima de 250 mg/L (VMP) com o valor máximo no período de Set/out, que pode estar associado ao uso intenso do poço.

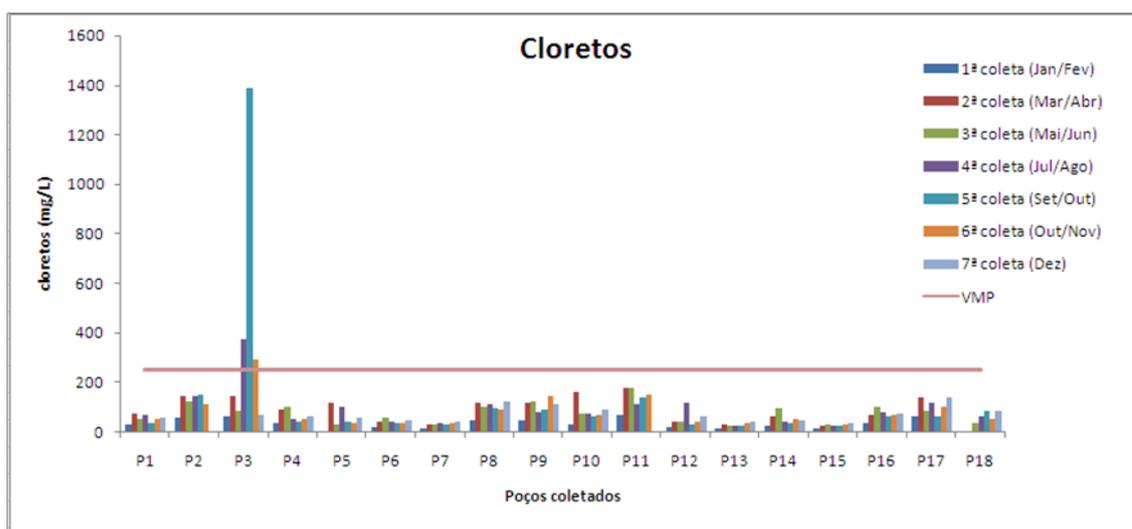


Figura 9 – Distribuição do íon Cloreto nos pontos coletados no período de janeiro a dezembro de 2009.

Os teores de nitrato variaram entre 0,019 a 71,16 mg/L, com uma média de $17,83 \pm 16,65$ mg/L. Observa-se que 59,02% das amostras coletadas não obedecem aos padrões de potabilidade (Figura 10). A presença elevada de concentrações de nitrato pode estar associada à influência de esgotos sanitários (fossas sépticas), vazamentos de redes coletoras de esgoto ou influência na zona de captações dos poços, além da possível contaminação por necrochorume nos pontos onde ocorre atividade cemiterial (P₄ e P₅).

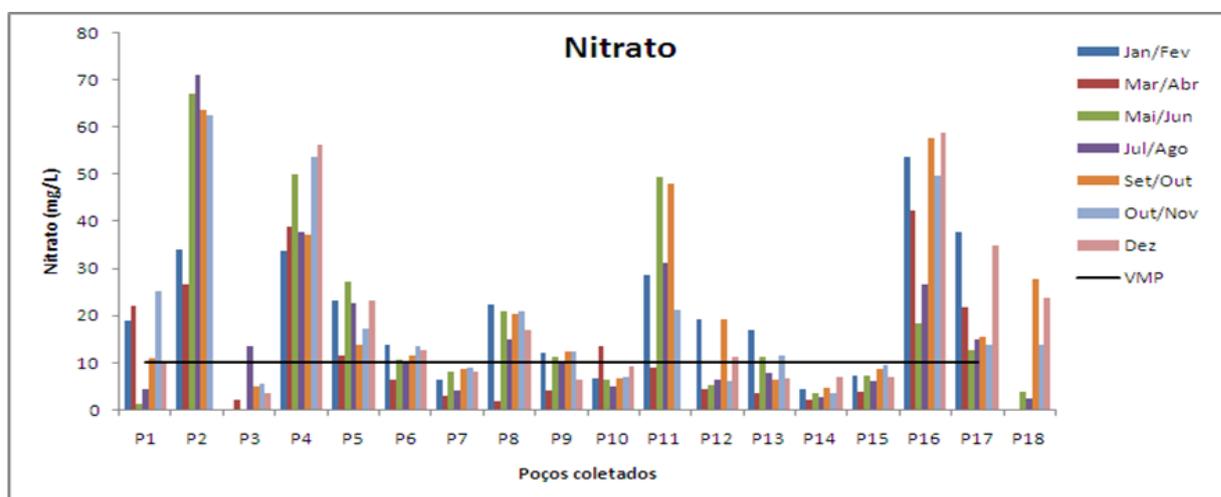


Figura 10 – Distribuição da concentração do íon nitrato nas águas subterrâneas nos pontos coletados no período de janeiro a dezembro de 2009.

Os teores de nitrito oscilaram de 0 a 0,71 mg/L, com uma média de 0,046 mg/L, como esperado, já que são instáveis. Destacam-se, entretanto os poços de coleta P₁, P₂, P₄ e P₅, estes dois últimos localizados em cemitérios, que apresentaram valores acima de 0,20 mg/L nas campanhas de Jan/Fev e Mar/Abr. Como indicado na Figura 11, todas as amostras coletadas no período atendem à Portaria 518 do Ministério da Saúde.

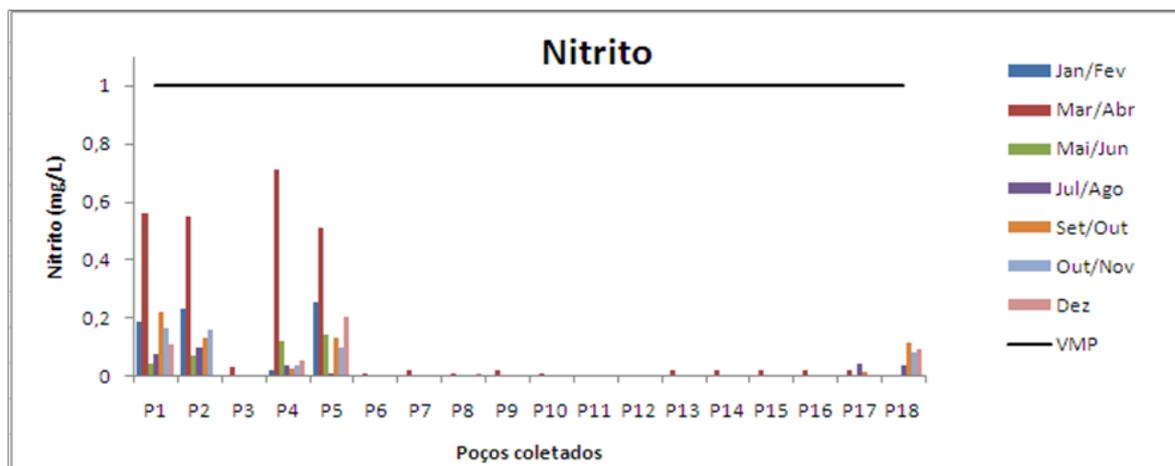


Figura 11 – Distribuição da concentração do íon nitrito nos pontos coletados no período de janeiro a dezembro de 2009.

Os teores de sulfato variaram de 0 a 54,33 mg/L, atendendo aos padrões de potabilidade, conforme ilustrado na Figura 12.

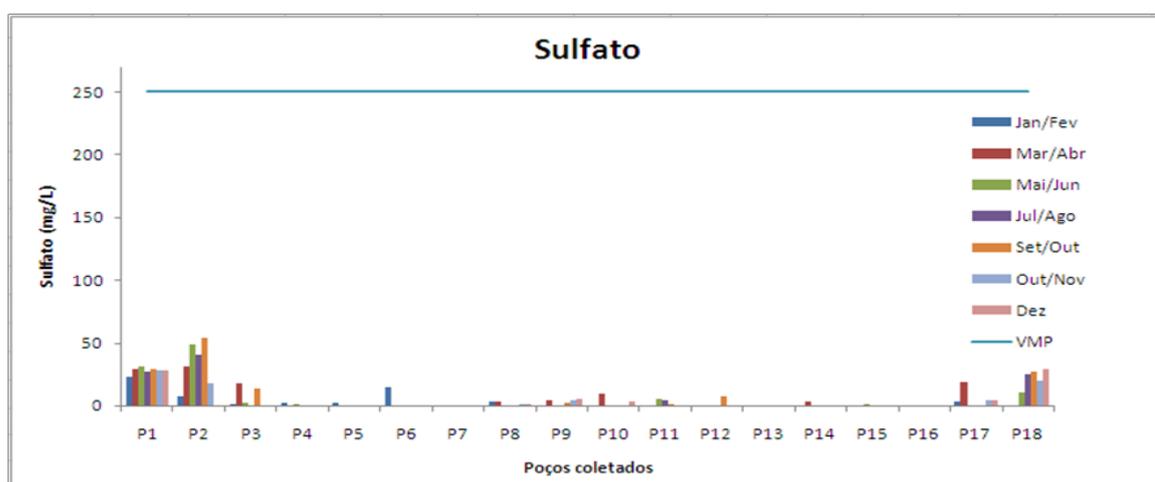


Figura 12 – Distribuição do íon sulfato nos pontos coletados no período de janeiro a dezembro de 2009.

7. CONCLUSÃO

Os pontos de coletas envolvidos, como dito anteriormente, foram distribuídos em Maceió de acordo com os potenciais focos de contaminação, como também distribuídos espacialmente. Alguns destes poços são de proprietários particulares, se localizam dentro de estabelecimentos comerciais ou em condomínios residenciais e não são, em grande parte, sanitariamente protegidos. Esta água, em sua maioria, é utilizada para abastecimento humano, onde é exigido um padrão elevado de qualidade.

No período estudado, observou-se que:

- Todos os pontos coletados apresentaram *E. coli* e/ou coliformes totais no período de monitoramento, apesar de em certos meses estarem ausentes em alguns poços, estando todos

em desconformidade com os padrões de qualidade exigidos pela Resolução CONAMA 396/08 para o consumo humano e pela portaria do M.S.

- A presença de *E. coli* nos poços com atividade cemiterial P₁, P₄ e P₅ ou nas imediações de cemitérios P₃, P₁₆ e P₁₈, pode estar associada à decomposição de corpos recém enterrados, visto que esta bactéria, em geral, tem sobrevivência curta no solo. Porém, esta hipótese precisa ser investigada através de outras análises bacteriológicas. Foram também detectados *Clostridium perfringens*, sugerindo contaminação remota.
- Os valores de pH variaram de ácidos para alcalinos, sendo que na maior parte dos pontos coletados apresentaram valores ácidos, impróprios para o consumo humano, segundo a portaria 518/2004 do MS. Entretanto, os baixos valores de pH podem estar associados às características hidrogeológicas da região de estudo.
- As variáveis: cor, turbidez e nitrato apresentaram valores muito elevados em relação aos padrões estabelecidos pela portaria 518/2004 do M.S e resolução CONAMA nº 396 /2008.
- A presença elevada de concentrações de nitrato em 59,02% das amostras coletadas pode estar associada à influência de esgotos sanitários (fossas sépticas), vazamentos de redes coletoras de esgoto ou influência na zona de captações dos poços, além da possível contaminação por necrochorume nos pontos onde ocorre atividade cemiterial.
- O teor de cloreto no ponto P₃ apresentou valores acima do permitido pela Portaria 518/04 do M.S no período de julho a novembro, o que pode estar associado ao uso intenso do poço que está localizado em um Lava-Jato.
- Na análise dos STD, 99,18% das amostras atenderam à Portaria 518/04 do MS e à resolução CONAMA nº 396 /2008, com exceção do ponto P₈ no mês de dezembro.
- Os resultados apresentados dão indícios de contaminação das águas subterrâneas na cidade de Maceió, que provavelmente tem origem em função das atividades antrópicas e das potenciais fontes poluidoras.

8. REFERÊNCIAS

ANA- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2005). Cadernos de Recursos Hídricos: Panorama da Qualidade das águas Subterrâneas no Brasil. <http://www.ana.gov.br>

APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water, 20th edition. Washington. 1998.

AMORIM, E. L. C.; NETTO, A .P .O (2005) – *Análise do comportamento da pluma de efluentes de fossa séptica no lençol freático. Maceió, AL..* Monografia (Graduação) – Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas.

BRASIL, 2004. Portaria do Ministério da Saúde n.518. *Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.*

BRASIL, 2008. Resolução CONAMA n° 396, de 03/04/2008. *Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.*

CÓDIGO DE EDIFICAÇÕES E URBANISMO DE MACEIÓ – Lei n° 5.354, de 16 de janeiro de 2004.

CÓDIGO MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE DE MACEIÓ- Lei n° 4.548, de 21 de novembro de 1996.

CÓDIGO DE POSTURAS DO MUNICÍPIO DE MACEIÓ – Lei n° 3.538, 23 de dezembro de 1985.

CASAL (2008). *Relatório da Gerência Metropolitana.* Planilhas em Excel. Companhia de Saneamento de Alagoas. Alagoas: Maceió.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE ALAGOAS. (2009a). Áreas abastecidas. <http://nova.casal.al.gov.br/areas.abastecidas-capital-agua>

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE ALAGOAS. (2009b). Áreas abastecidas. <<http://www.casal.al.gov.br/areas.abastecidas-capital-esgoto>>.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Clostridium perfringens: determinação em amostras de água pela técnica dos tubos múltiplos. Método de ensaio L5/213.* São Paulo: CETESB, julho, 1993. 27p

CORSEUIL, H.X. (1997). Contaminação de águas subterrâneas por derramamento de gasolina: O problema é grave? *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental.* Rio de Janeiro, v.2, p.50-54, abr/jun.

FERREIRA, I. V. L.; BARBOZA, M. G.; MENDES, A. G. A.; MELO, M. C.; LIMA, J. T. (2008). Qualidade das águas da Bacia Hidrográfica do Rio Reginaldo em Maceió, AL – Brasil. In: XXXI Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Santiago, Chile.

MARTINS, T. M.; PELLIZARI, V. H.; PACHECO, A. ; MYAKI, D.; ADAMS, C.; BOSSOLAN, N. R. S.; MENDES, J. M. B.; HASSUDA, S. (1991). Qualidade bacteriológica de águas subterrâneas em cemitérios. *Revista Saúde Pública*, São Paulo, v.25, p.47-52. <http://www.scielo.br/pdf/rsp/v25n1/10.pdf>

MATOS, B. A. (2001). *Avaliação ocorrência e do transporte de microorganismos no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha município de São Paulo*. 113p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociência, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001. <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44133/tde-19122001-082301/>.

NETO, J.V.F.; SANTOS, R.J.Q.; WANDERLEY, P.R.B.; WANDERLEY, P.R.M. (2002). Vulnerabilidade natural das águas subterrâneas em área do Tabuleiro dos Martins-Maceió – Alagoas – BR. *Revista Águas Subterrâneas*, São Paulo, n. 16,p.57-75, maio.

PACHECO A. Cemitério e Meio Ambiente. 2000. Tese de Livre Docência. 120p. São Paulo: Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo - USP, São Paulo.

PIMENTEL, I. M. C.; HOLZ, J.; SOUZA, V. C. B.; BARBOZA, M. G.; FERREIRA, I. V. L.; Análise Ambiental da Bacia do Riacho Reginaldo em Maceió/AL. In: IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Salvador. *Anais Eletrônicos...* 2008.

SANTOS, M. V. C.; SILVA, J. L.; FERREIRA, I. V. L.; FREIRE, C. C. Diagnóstico da qualidade das águas subterrâneas nas proximidades dos cemitérios da parte baixa da cidade de Maceió-AL. In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte. *Anais Eletrônicos... Ambiental*, 2007.

SEMARHN - Secretaria Executiva do Meio Ambiente, Recursos Hídricos e Naturais – Convênio ANA/SEMARHN – Maceió – Alagoas- Gerenciamento Integrado dos recursos Hídricos Subterrâneos do Estado de Alagoas – Etapa III – 2004.