

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE E AMBIENTE
MESTRADO EM SAÚDE E AMBIENTE

JONAS MAURÍCIO BERTOLDO OLIVEIRA

**QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA REGIÃO DO DISTRITO INDUSTRIAL
DE SÃO LUÍS-MA**

São Luís
2016

JONAS MAURÍCIO BERTOLDO OLIVEIRA

**QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA REGIÃO DO DISTRITO
INDUSTRIAL DE SÃO LUÍS-MA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saúde e Ambiente da Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Saúde e Ambiente.

Área de concentração: Qualidade ambiental

Linha de pesquisa: Qualidade ambiental

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Leal de Castro

São Luís

2016

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

BERTOLDO OLIVEIRA, JONAS MAURÍCIO.

QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA REGIÃO DO DISTRITO
INDUSTRIAL DE SÃO LUIS-MA / JONAS MAURÍCIO BERTOLDO
OLIVEIRA. - 2016.

87 p.

Coorientador(a): EDILEA DUTRA PEREIRA.

Orientador(a): ANTONIO CARLOS LEAL DE CASTRO.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Saúde e Ambiente/ccbs, Universidade Federal do Maranhão,
SÃO LUIS, 2016.

1. ÁGUA SUBTERRÂNEA. 2. HIDROQUÍMICA. 3. QUALIDADE.
I. DUTRA PEREIRA, EDILEA. II. LEAL DE CASTRO, ANTONIO
CARLOS. III. Título.

JONAS MAURÍCIO BERTOLDO OLIVEIRA

**QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA REGIÃO DO DISTRITO
INDUSTRIAL DE SÃO LUÍS-MA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saúde e Ambiente da Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Saúde e Ambiente.

Área de concentração: Qualidade ambiental

Linha de pesquisa: Qualidade ambiental

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Antonio Carlos Leal de Castro (Orientador)
Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental
Universidade Federal do Maranhão

Prof.^a Dr.^a Edilea Dutra Pereira (Co-orientadora)
Doutora em Geociências
Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Nestor Everton Mendes Filho
Doutor em Química Analítica
Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Paulo Roberto Saraiva Cavalcante
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Victor Elias Mouchrek Filho
Doutor em Química Analítica
Universidade Federal do Maranhão

A Deus.

Aos meus pais, Oberdan Nascimento Serra
de Oliveira e Rosângela Carvalho Bertoldo.

À minha esposa Daniela Moreira Aroucha.

Aos meus irmãos, Angela Fernanda
Bertoldo Lobato, Marcos Fernando Bertoldo
Oliveira e Ana Tércia Serra de Oliveira.

Aos meus sobrinhos, Arthur Bertoldo, Júlia
Bertoldo e Lucas Bertoldo.

AGRADECIMENTOS

Aos meus avós, Jonas Bertoldo e Engrácia Lúcia Carvalho Bertoldo; Manoel de Ribamar Oliveira e Edna Serra de Oliveira (*In memorian*).

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Antonio Carlos Leal de Castro e Prof.^a Dr.^a Edilea Dutra Pereira.

Aos Professores Odilon, Adenilde e Márita.

A toda equipe dos laboratórios de Oceanografia Química e de Controle de Qualidade de Água e Alimentos da UFMA.

Aos meus tios e primos.

À Bibliotecária do Mestrado em Saúde e Ambiente, Tatiana Cotrim.

Aos meus colegas da 11^a turma/2014 do Mestrado em Saúde e Ambiente.

Aos colegas Júnior e Francisco pelo auxílio nas expedições de campo, Helen Roberta, Victor Lamarão e James Werllen pelo auxílio na elaboração das figuras, mapas e análise estatística dos dados.

Aos moradores dos Povoados São Benedito, Porto Grande, Inhaúma e Estiva.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

“Nenhum obstáculo é grande demais
quando confiamos em Deus”.

Aristóteles

RESUMO

O abastecimento de água das comunidades rurais de São Benedito, Porto Grande, Inhaúma e Estiva, situadas na região do Distrito Industrial de São Luís, Maranhão, Brasil, se dá pela utilização do manancial subterrâneo local através de poços tubulares perfurados pela Companhia de Saneamento Ambiental (CAEMA) e por poços particulares perfurados pelos moradores. A fim de caracterizar hidroquimicamente os recursos hídricos subterrâneos, determinaram-se os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos das amostras de água de 08 (oito) poços localizados nas referidas comunidades, sendo 04 (quatro) poços de monitoramento construídos pela Universidade Federal do Maranhão – UFMA e 04 (quatro) poços tubulares da Companhia de Saneamento Ambiental – CAEMA. As coletas, preservação, armazenamento e transporte seguiram as recomendações do *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater* (2005), o método de amostragem adotado foi o de purga de baixa vazão preconizado pela norma ABNT NBR 15.847:2010. Os resultados das análises físico-químicas mostraram alterações nos parâmetros: Turbidez, Potencial Hidrogeniônico – pH e Oxigênio dissolvido. As concentrações dos parâmetros Nitrito, Nitrato e Amônia mantiveram-se bem abaixo dos seus respectivos limites máximos permitidos pela Portaria MS nº 2.914/2011. Quanto as concentrações de Ca^{+2} e Mg^{+2} , embora a Portaria MS nº 2.914/2011 não estabeleça limites máximos permitidos destes íons na água para consumo humano, a relação entre estes dois elementos constitui um bom indicador de intrusão salina. A razão iônica ($\text{rMg}^{+2}/\text{rCa}^{+2}$) apresentou valor médio de 0,737 meq/L, indicativo de água doce, sendo o mínimo de 0,098 meq/L no início da estação chuvosa no PT-04 e máximo de 4,135 meq/L no início do período de estiagem no PT-01. Sob o ponto de vista da qualidade bacteriológica, do total de amostras analisadas, 24 (75%) apresentaram qualidade microbiológica insatisfatória para coliformes totais e 4 (12,5%) para *E. coli*. A falta de infraestrutura sanitária, como a disposição dos efluentes domésticos em fossas sépticas pode ter sido a responsável pela contaminação microbiológica constatada neste estudo, com graves implicações na saúde dos usuários dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Água subterrânea. Hidroquímica. Qualidade.

ABSTRACT

The provisioning of water to the rural communities of São Benedito, Porto Grande, Inhaúma and Estiva, located next to the Industrial District of São Luís, Maranhão, Brazil, is made by using the local groundwater from tubular wells drilled by Companhia de Saneamento Ambiental (CAEMA) and private wells drilled by residents. In order to characterize hydrochemically the groundwater resources were determined physical, chemical and bacteriological parameters of water samples from eight wells located in those communities, including four wells drilled by Universidade Federal do Maranhão (UFMA) and four tubular wells managed by CAEMA. The collection, preservation, storage and transport followed the *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (2005), the sampling method used was the low flow purging recommended by ABNT NBR 15.847:2010. The results of physical, chemical analysis, notice changes in turbidity, hydrogen potential and dissolved oxygen parameters. The concentration of nitrite, nitrate and ammonia were maintained much lower than the maximal allowable limits from MS Ordinance nº 2.914/2011. As the concentrations of Ca^{+2} and Mg^{+2} , doesn't have some maximal allowable limit for these ions in drinking water, the relation between these two ions is a good indicator of saline intrusion. The ionic ratio ($\text{rMg}^{+2}/\text{rCa}^{+2}$) shows medium value of 0,737 meq/L, indicative of freshwater, minimum value of 0,098 meq/L in the beginning of rainy season in tube well PT-04 and maximum value 4,135 meq/L in the beginning of dry season in tube well PT-01. Under the point of view of bacteriological quality, of total analyzed samples, 24 (75%) showed unsatisfactory microbiological quality to Total Coliforms and 4 (12,5%) to *E. coli*. The lack of infrastructure, with effluents disposition in septic tanks should be the responsible for the microbiological contamination found in this study, with serious implications for health's users of water resources.

Keywords: Groundwater. Hydrochemistry. Quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 –	Fontes de contaminação das águas subterrâneas.....	32
Figura 1 –	Processos de poluição das águas subterrâneas.....	33
Figura 2 –	Mapa de localização dos poços de monitoramento e tubulares utilizados no presente estudo.....	35
Figura 3 –	Mapa geológico da Ilha de São Luís – Maranhão	37
Quadro 2 –	Poços de monitoramento utilizados na pesquisa	38
Quadro 3 –	Poços tubulares utilizados na pesquisa.....	38
Figura 4 –	Valores de turbidez nos poços de monitoramento.....	44
Figura 5 –	Valores de pH nos poços de monitoramento.....	46
Figura 6 –	Valores de oxigênio dissolvido nos poços de monitoramento.....	47
Figura 7 –	Valores de nitrito nos poços de monitoramento.....	51
Figura 8 –	Valores de amônia nos poços de monitoramento.....	52
Figura 9 –	Valores de nitrato nos poços de monitoramento.....	52
Figura 10 –	Número mais provável de coliformes totais/100 ml em amostras de água subterrânea.....	57
Figura 11 –	Variação do nível freático dos poços de monitoramento.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Resultados das análises físico químicas da água dos poços monitorados nas comunidades rurais de São Benedito, Porto Grande, Inhaúma e Estiva, São Luís, MA, março de 2015	42
Tabela 2 –	Resultados das análises físico químicas da água dos poços monitorados nas comunidades rurais de São Benedito, Porto Grande, Inhaúma e Estiva, São Luís, MA, maio de 2015.....	43
Tabela 3 –	Resultados das análises físico químicas da água dos poços monitorados nas comunidades rurais de São Benedito, Porto Grande, Inhaúma e Estiva, São Luís, MA, julho de 2015.....	43
Tabela 4 –	Resultados das análises físico químicas da água dos poços monitorados nas comunidades rurais de São Benedito, Porto Grande, Inhaúma e Estiva, São Luís, MA, setembro de 2015.....	44
Tabela 5 –	Concentrações das espécies químicas nitrogenadas (NH_3 , NO_2^- , NO_3^-) nas águas dos poços tubulares e de monitoramento das comunidades rurais de São Benedito, Porto Grande, Inhaúma e Estiva, São Luís, MA	49
Tabela 6 –	Concentrações de Cálcio (Ca^{+2}), Magnésio (Mg^{+2}), razão iônica ($\text{rMg}^{+2}/\text{rCa}^{+2}$), Sólidos Totais Dissolvidos (STD) nas águas dos poços tubulares e de monitoramento das comunidades rurais de São Benedito, Porto Grande, Inhaúma e Estiva, São Luís, MA.....	50
Tabela 7 –	Valores de Coliformes Totais e Teste de Presença/Ausência de <i>E. coli</i> em amostras de água subterrânea dos poços monitorados nas comunidades rurais de São Benedito, Porto Grande, Inhaúma e Estiva, São Luís, MA.....	55
Tabela 8 –	Variação bimestral do nível freático (m) dos poços de monitoramento.....	58
Tabela 9 –	Resultados do teste ANOVA identificando os parâmetros físico-	

	químicos que apresentaram diferença estatisticamente significante ($p \leq 0,05$), entre os poços estudados	60
Tabela 10 –	Resultados do teste Mann-Whitney e Kruskal-Wallis identificando os parâmetros físico-químicos que apresentaram diferença estatisticamente significante ($p \leq 0,05$), entre os poços estudados.....	61

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Geral	16
2.2	Específicos	16
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1	Saneamento básico: água para consumo humano	17
3.2	Qualidade da água subterrânea	19
3.2.1	Evolução dos instrumentos legais sobre potabilidade de água	21
3.2.2	Vigilância e controle	22
3.2.3	Parâmetros indicadores da qualidade da água	23
3.2.3.1	Turbidez	23
3.2.3.2	Condutividade elétrica	24
3.2.3.3	Temperatura	24
3.2.3.4	Oxigênio dissolvido (OD)	25
3.2.3.5	Potencial hidrogeniônico (pH)	25
3.2.3.6	Nitrato	26
3.2.3.7	Nitrito	26
3.2.3.8	Amônia	26
3.2.3.9	Cálcio	27
3.2.3.10	Magnésio	27
3.2.3.11	Coliformes totais	28
3.2.3.12	<i>Escherichia coli</i>	29
3.3	Contaminação das águas subterrâneas	29
3.3.1	Fontes de contaminação da água subterrânea	31
4	MATERIAL E MÉTODOS	35
4.1	Área de estudo.....	35
4.2	Período de avaliação	38
4.3	Amostragem	39
4.4	Processamento das informações	40
4.5	Tratamento estatístico dos dados	40
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42

5.1	Parâmetros físico-químicos da água	42
5.2	Concentração das espécies nitrogenadas (NH_3 , NO_2^- , NO_3^-), Ca, Mg, STD e razão iônica $\text{rMg}^{+2}/\text{rCa}^{+2}$	48
5.3	Análise microbiológica da água	55
5.4	Flutuação do nível freático dos poços monitorados	58
5.5	Análise estatística dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos da água subterrânea da região em estudo	60
6	CONCLUSÃO	62
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
	REFERÊNCIAS	65
	APÊNDICE A – CARACTERIZAÇÃO DOS 08 PONTOS DE COLETA DE ÁGUA MONITORADOS NO PRESENTE ESTUDO	74
	ANEXO A – RELATÓRIO DE PERFURAÇÃO DO POÇO DE MONITORAMENTO PM-02, COMUNIDADE PORTO GRANDE, JAZIDA PINDOBA, SÃO LUÍS-MA	82

1 INTRODUÇÃO

O abastecimento público de água em termos de quantidade e qualidade é uma preocupação crescente da humanidade, em função de sua escassez e da deterioração da qualidade dos mananciais (BRASIL, 2006).

Sob o ponto de vista da saúde pública, a água pode servir como fator de promoção da qualidade de vida, bem como meio de transmissão de doenças ao homem, sendo, portanto, imprescindível à avaliação dos fatores que possam interferir na sua qualidade, notadamente daqueles que representem risco considerável à saúde dos consumidores, pois o excesso de elementos na água de abastecimento público como cálcio, sódio, flúor, alumínio, dentre outros, pode possibilitar a incidência de doenças crônicas não transmissíveis, como litíase renal, hipertensão arterial, etc. (SANTOS, 2011).

Dados da Organización Mundial de La Salud (2000) apontam que no mundo 6,3% das mortes são causadas por doenças relacionadas com a má qualidade das águas. No Brasil esse percentual cai para 2,3%; em países como Austrália, Itália e Dinamarca, apenas 0,1% das mortes são causadas por doenças de veiculação hídrica.

A grande maioria da população rural do Estado do Maranhão e de São Luís, vive em condições precárias de habitação, higiene e saneamento básico. Cerca de 89% da população não possui nenhum tipo de esgotamento sanitário ou utiliza apenas fossas sépticas rudimentares (INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS, 2007). Os “banheiros” são na verdade pequenos espaços de 2 m², normalmente feitos com folhas e pecíolos de babaçu, sem nenhum acessório sanitário, apresentando em alguns momentos uma característica indígena (MARANHÃO, 2008).

Diante desse cenário turbulento, a água subterrânea vem assumindo uma importância cada vez mais relevante como fonte de abastecimento. Devido a uma série de fatores que restringem a utilização das águas superficiais assim como o crescente aumento dos custos de captação, adução e tratamento, este recurso hídrico está sendo reconhecido como alternativa viável aos usuários e seu uso tem crescido nos últimos anos (CAPUCCI et al., 2001).

Para Cappi et al. (2011), um dos maiores problemas das fontes de água é a ausência ou irregularidade do monitoramento de sua qualidade.

Conforme UNEP e WHO (1996), a Internacional Organization for Standardion (ISO) define monitoramento como “um processo programado de amostragem, medições e armazenamento de dados sobre várias características da água”.

Segundo Borges et al. (2007), um programa de monitoramento de águas subterrâneas tem importância ímpar dentro do novo conceito de preservação e conservação dos recursos naturais, pois se torna uma ferramenta para gerenciamento da qualidade, identificação de poluição e vulnerabilidade, além da previsão de fatos que venham a prejudicar aquíferos de forma irremediável.

Chaves (2009) aponta que, no caso brasileiro, a falta de monitoramento em muitas localidades e a ausência de uma análise mais abrangente da qualidade da água prejudica uma caracterização mais confiável sobre a extensão e severidade da degradação dos recursos hídricos subterrâneos e os riscos na saúde da população.

Assim, em um contexto de degradação da qualidade dos aquíferos pela má gestão dos efluentes domésticos e industriais, aliado ao comprometimento da saúde da população desassistida pelos serviços de saneamento básico (sistema de abastecimento d'água, esgotamento sanitário e drenagem de águas pluviais) e sujeita a contrair doenças de veiculação hídrica, como resultado do consumo de águas contaminadas, há de se pensar na importância dos programas de monitoramento de águas subterrâneas como alternativa para a preservação da saúde dos usuários, bem como dos recursos hídricos para as presentes e futuras gerações.

Nesta perspectiva, o presente trabalho aborda o comportamento espaço-temporal de variáveis hidrogeológicas, buscando conhecer a qualidade do aquífero subterrâneo utilizado por moradores de comunidades rurais de São Luís-MA.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Caracterizar hidroquimicamente os recursos hídricos subterrâneos das comunidades rurais situadas na região do distrito industrial de São Luís-MA, enfatizando a qualidade da água e seus efeitos na saúde da população local.

2.2 Específicos

- a) determinar os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos nos poços investigados;
- b) confrontar os parâmetros com a Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/2011 que estabelece os padrões de potabilidade da água destinada ao consumo humano;
- c) identificar possíveis fatores de risco de incidência de doenças de veiculação e/ou origem hídrica.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Saneamento básico: água para consumo humano

Saneamento é o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o seu bem estar físico, mental e social. Portanto, é notória a relação existente entre saneamento e o conceito de saúde (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2004).

No Brasil uma grande parcela da população ainda reside em localidades com precárias condições de saneamento básico, apesar do país já ter passado por vários planos direcionados ao abastecimento de água e esgotamento sanitário. Dados da publicação "Síntese dos Indicadores sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira" indicavam que, nos estados de Rondônia e Pará, quase a metade dos domicílios urbanos era desprovida de qualquer rede de abastecimento de água (IBGE, 2008).

A Associação Brasileira de Engenharia Ambiental (ABES) (2013) informa que a situação do saneamento brasileiro é trágica, pois somente 56% da população brasileira têm acesso à rede de esgotamento sanitário, 84% têm acesso à água tratada e apenas 29,4% dos municípios têm o esgoto tratado. A cobertura dos serviços de saneamento é considerada muito heterogênea. De acordo com os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), as únicas unidades da federação com mais de 70% dos domicílios urbanos atendidos em coleta de esgotos são Distrito Federal, São Paulo e Minas Gerais, enquanto que as menores coberturas ocorrem nos estados de Amapá, Pará, Rondônia e Piauí (BRASIL, 2011).

De acordo com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2012), a grande maioria da população do Maranhão vive em ambientes rurais em condições de habitação e saneamento precárias. Consequentemente, esta condição produz o maior número de municípios com baixo Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), sendo considerado um dos estados mais pobres do país. Dos seus 217 municípios apenas 11 (5%) distribuem água fluoretada à população, beneficiando apenas 1.239.450 pessoas (BRASIL, 2013).

Embora o município de São Luís-MA, com 835 Km², de área superficial, tenha apenas 6% de ambientes considerados como rurais, quando nos referimos à Ilha do Maranhão, que inclui outros municípios como Raposa (66 Km²), Paço do Lumiar (123 Km²) e São José de Ribamar (387 Km²), aquele percentual se amplia de

6% para 35% (IBGE, 2010). Pesquisas realizadas pelo Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (2007) revelam que cerca de 70% da população rural da Ilha do Maranhão não possui nenhum tipo de esgotamento sanitário, e algumas ainda utilizam fossas rudimentares construídas sem controle.

Essa triste realidade é decorrente da completa falta de políticas públicas e de pouca assistência do Estado para as populações rurais, que é evidenciada inclusive nos 6% da população rural do município de São Luís. Cabe ressaltar que o termo rural é sempre utilizado em contraposição ao urbano, colocando o ambiente rural como tudo aquilo externo ao perímetro urbano. O que, na visão de Graboys (1999), faz com que esse espaço seja definido a partir de carências e não de suas próprias características.

Os quatro municípios da Ilha do Maranhão possuem “[...] de forma individualizada os seus sistemas de abastecimento de água”. Na cidade de São Luís, na sede do município de São José de Ribamar e no Conjunto Habitacional do Maiobão, pertencente ao município de Paço do Lumiar, assim como nas áreas de conurbação entre São Luís, São José de Ribamar e Paço do Lumiar, os sistemas de abastecimento de água existentes são concedidos à Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão (CAEMA) (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO LUÍS, 2011).

O abastecimento de água em São Luís tem a contribuição de água superficial e subterrânea, sendo assegurado pelos Sistemas: Italuís (superficial), Sacavém (superficial e subterrânea), Paciência I e II e Cidade Operária (subterrânea) ambos com poços monitorados, além dos sistemas de poços isolados não monitorados, fornecendo água subterrânea sem tratamento aos povoados da zona rural e às indústrias instaladas no distrito industrial da ilha, não atentando para o padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/2011. Salienta-se que a água proveniente destes poços não dispõe de tratamento, sendo distribuída irregularmente à população (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO LUÍS, 2011).

O Distrito Industrial de São Luís (DISAL), criado através do Decreto Estadual nº 7.632/80, localiza-se na região oeste do município de São Luís ocupando uma área territorial de 18.861 hectares, correspondendo a 22,5% do território municipal. O DISAL apresenta um aglomerado de diversos empreendimentos industriais de grande, pequeno e médio porte, bem como a presença de antigas comunidades, que existiam anteriormente na região, antes da

sua criação. As comunidades mais antigas datam do final do século XVII e as mais recentes têm sua origem no século XIX. Muitas delas, ainda mantêm suas características rurais, com destaque para Boqueirão, Camboa dos Frades, São Benedito, Cajueiro, Porto Grande, Rio dos Cachorros, Taim, Inhaúma, Vila Maranhão e Estiva, sobrevivendo da pesca, pequena agricultura e do extrativismo (CASTRO, 2014).

No que diz respeito aos serviços de saneamento, dados do IBGE (2010) mostram que no DISAL, 48% dos domicílios possuem água encanada interligada a rede pública da CAEMA; 37% utilizam água de poço artesiano próprio ou comunitário e 15% apresentam outras formas de abastecimento, tais como: carro pipa ou poço cacimba. O esgotamento sanitário de 76% dos domicílios é realizado pela rede pública, principalmente, aqueles localizados na área urbana (60% do território); 19% dos domicílios são atendidos por fossa séptica ou rudimentar e 5% apresentam outras formas de esgotamento, a saber: lançamento em rios, igarapés ou valas a céu aberto. O destino do lixo de 64% dos domicílios é a coleta regular realizada pela Prefeitura de São Luís; em 26% dos domicílios, os moradores queimam o lixo; em 9% dos domicílios, os moradores enterram o lixo, no próprio terreno e apenas 1% tem destino incerto, podendo ser dispostos em terrenos baldios públicos e privados ou serem lançados em rios e igarapés da região.

Neste contexto, as ações de Saneamento Ambiental, desempenham grande importância no alcance do desenvolvimento sustentável, garantindo questões prioritárias como a saúde e o bem-estar da população, além da preservação ambiental. Estas ações englobam, prioritariamente, o abastecimento de água potável, o esgotamento sanitário, a coleta e destinação adequada dos resíduos sólidos, a drenagem urbana e o controle de vetores, visando, acima de tudo, a melhoria da qualidade de vida das populações.

3.2 Qualidade da água subterrânea

A água subterrânea cumpre função importante e, em inúmeros casos, é vital para o abastecimento humano. Por isso, recomenda-se a sua proteção, com eliminação das causas de possíveis contaminações, bem como o uso de filtração, antes da desinfecção, para reduzir, a um nível significativo, o risco de transmissão de parasitos (OMS, 1995 apud ABRAMOVICH, 1998).

Segundo Marques et al. (2010), embora o Brasil seja detentor de 12% da água doce disponível no mundo, o país ainda apresenta muitos problemas em termos de abastecimento de água potável, decorrentes não somente da má distribuição de suas águas, mas também em função da forte demanda atual e degradação dos recursos hídricos.

Feitosa e Manoel Filho (2000) atribuem que, do ponto de vista hidrogeológico, a qualidade da água subterrânea é tão importante quanto o aspecto quantitativo. A disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos para determinados tipos de uso depende fundamentalmente da qualidade físico-química, biológica e radiológica.

O estudo hidrogeoquímico tem por finalidade identificar e quantificar as principais propriedades e constituintes químicos presentes nas águas subterrâneas, procurando estabelecer uma relação com o meio físico rochoso. Os processos e fatores que influenciam na evolução da qualidade das águas subterrâneas podem ser intrínsecos e extrínsecos ao aquífero. A água subterrânea tende a aumentar a concentração de substâncias dissolvidas à medida que percola os diferentes aquíferos, mas muitos outros fatores interferem, tais como: o clima, a composição da água de recarga, o tempo de contato/meio físico entre outros, além da contaminação antrópica (FENZEL, 1986).

A água geralmente é considerada potável quando pode ser consumida pelo homem sem ocasionar prejuízos a sua saúde (BRASIL, 2011).

De acordo com Amaral et al. (2003), o propósito primário para a exigência de qualidade da água é a proteção à saúde pública. A água de consumo humano é um dos importantes veículos de enfermidades diarreicas de natureza infecciosa, o que torna primordial a avaliação de sua qualidade microbiológica.

As relações entre a incidência de doenças nos seres humanos e animais, com o excesso ou deficiência de elementos maiores, menores e traço no meio ambiente, particularmente nas águas, são bem conhecidas. Como exemplo, temos: a relação entre o bócio (hipertrofia da tireoide) e a deficiência de iodo; anemias severas, nanismo e hiperpigmentação da pele e a deficiência de zinco, fluorose esquelética e dentária e o excesso de flúor; maior incidência de cáries dentárias e a deficiência de flúor; anencefalia e mercúrio; inapetência e selênio (ALBUQUERQUE, 2002).

Relatos sobre correlações, com aceitação controversa, existentes entre a dureza da água e algumas doenças cardiovasculares; entre o chumbo e a esclerose múltipla, entre o cádmio e a hipertensão e arteriosclerose, são mencionados na literatura. Muitas vezes, o desequilíbrio em elementos traços se manifestam em casos de debilitações subclínicas, podendo dificultar o diagnóstico médico. Mas devem-se levar em consideração outras variáveis dependentes da geoquímica e da dinâmica das águas superficiais e subterrâneas, antes de se afirmar sobre a existência de alguma relação entre o teor dos elementos e substâncias químicas com a saúde do homem. Fatores como pH, tipo e abundância de argilominerais, teor de matéria orgânica, hidróxidos de ferro, manganês e alumínio, reatividade química, gradientes hidráulicos, porosidade e permeabilidade devem ser considerados. Muitas vezes os efeitos tóxicos de uma substância se manifestam em local distante de sua introdução no meio ambiente (ALBUQUERQUE, 2002).

Por esta razão, Tucci e Cabral (2003) apontam que os padrões de qualidade ambiental da água visam fundamentalmente a proteção da saúde pública e o controle de substâncias potencialmente prejudiciais à saúde do homem, como microorganismos patogênicos, substâncias tóxicas ou venenosas e elementos radioativos.

3.2.1 Evolução dos instrumentos legais sobre potabilidade de água

Almeida (2010) assinala que a primeira legislação federal brasileira sobre potabilidade de água para consumo humano foi editada pelo Ministério da Saúde (MS) em 1977, na forma de Portaria nº 56/BSB/77, em atendimento ao Decreto Federal nº 79.367/77. Em 1990 foi editada a Portaria GM - MS nº 36/90, com alguns avanços à legislação anterior e incluindo a previsão de revisão a cada cinco anos, em razão da atualização do conhecimento técnico-científico. Após dez anos da publicação da Portaria GM - MS nº 36/90, como também de uma ampla revisão que contemplou várias demandas acumuladas, foi publicada a Portaria MS nº 1.469/2000, revista e atualizada para Portaria MS nº 518/2005.

Segundo Brasil (2005 apud ALMEIDA, 2010), a Portaria MS nº 518/2005 constituiu um avanço conceitual e metodológico em relação à portaria anterior, por:

- a) procurar incorporar o que há de mais recente no conhecimento científico;

- b) assumir um caráter efetivo e simultâneo de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, em consonância com a nova estrutura de vigilância ambiental em saúde já em fase de implantação no País e com o princípio de descentralização previsto no SUS;
- c) induzir a atuação harmônica e integrada entre os responsáveis pelo controle e pela vigilância da qualidade da água, sempre sob a perspectiva da avaliação de riscos à saúde humana;
- d) preencher lacunas de atribuição de competência e responsabilidades perante a legislação e o público consumidor.

Atualmente, após revisão da Portaria MS nº 518/2005 em 2010, encontra-se em vigor a Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. A principal referência e influência para a sua periódica atualização são as diretrizes estipuladas pela Organização Mundial de Saúde (OMS) (UMBUZEIRO et al., 2012).

A Resolução CONAMA nº 396/2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, bem como a Resolução CONAMA nº 420/2009, que estabelece critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas, também apresentam em seus anexos I e II, respectivamente, valores máximos permitidos dos parâmetros orgânicos, inorgânicos e microbiológicos em água subterrânea constantes na portaria vigente do Ministério da Saúde.

3.2.2 Vigilância e controle

O controle da qualidade da água para consumo humano corresponde ao “conjunto de atividades exercidas de forma contínua pelos responsáveis pela operação do sistema ou da solução alternativa de abastecimento de água, destinadas a verificar se a água fornecida à população é potável, assegurando a manutenção desta condição”. A vigilância da qualidade da água para consumo humano compreende o

conjunto de ações adotadas continuamente pela autoridade de saúde pública, para verificar se a água consumida pela população atende à portaria vigente e para avaliar os riscos que os sistemas e as soluções alternativas de abastecimento de água representam para a saúde humana. (ALMEIDA, 2010; BRASIL, 2011).

Brasil (2005 apud ALMEIDA, 2010) explica que por “sistema” de abastecimento de água entendem-se as “soluções clássicas”, sob a responsabilidade do poder público, mesmo que administrada em regime de concessão ou permissão; e, por solução alternativa de abastecimento de água, toda modalidade de abastecimento coletivo, distinta dos sistemas, sendo que os respectivos responsáveis, sem exceção, deverão, obrigatória e sistematicamente, exercer o controle da qualidade da água para o consumo humano.

A diferença principal reside no fato de que, em todo sistema de abastecimento de água, o responsável pela prestação do serviço é o município, mesmo que a prestação dos serviços seja concedida a um ente público vinculado a outra esfera administrativa (como é o caso dos serviços prestados pelas companhias estaduais) ou a um ente privado.

As soluções alternativas coletivas podem ou não ser dotadas de redes de distribuição. Aquelas sem rede de distribuição atendem à população através de fontes, chafarizes ou mesmo veículo transportador (ALMEIDA, 2010).

3.2.3 Parâmetros indicadores da qualidade da água

Para ser considerada potável, a água destinada ao abastecimento da população humana deve atender a determinadas características de qualidade que estejam de acordo com os valores permissíveis dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos. A Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/2011 estabelece os valores máximos permitidos de cada um dos parâmetros.

Os indicadores de qualidade têm como papel principal a transformação de dados em informações relevantes para os tomadores de decisão e o público (CALIJURI et al., 2009).

A seguir, estão descritas informações sobre os parâmetros utilizados no presente estudo.

3.2.3.1 Turbidez

A turbidez pode ser considerada como a transparência da água, sendo função do teor de material particulado suspenso existente. Água com elevado teor de turbidez é indicativo de um alto conteúdo orgânico e inorgânico suspenso, que pode servir de abrigo para microorganismos e diminuir a eficiência do tratamento químico ou físico da água (SPERLING, 2005). A origem da turbidez pode ser natural

ou antropogênica, sendo importante a sua quantificação e também a identificação da sua origem. Valores de turbidez abaixo de 5,0 uT são os aceitáveis em água para consumo humano (Portaria MS nº 2.914/11), muito embora seja recomendável que a turbidez apresente valores inferiores a 1,0 uT para que o tratamento da água tenha maior efeito. Por ser um método de fácil determinação e de medição em tempo real, a turbidez pode ser utilizada como indicador potencial para doenças de veiculação hídrica (PÁDUA; FERREIRA, 2006).

3.2.3.2 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica (CE) da água consiste na sua capacidade de transmitir corrente elétrica, sendo dependente do seu teor de sais dissolvidos (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , HCO_3^-), aumentando proporcionalmente à medida que a concentração de sais se eleva (FERREIRA, 1997; HOLANDA; AMORIM, 1997). Fornece uma boa indicação das modificações na composição da água, especialmente na sua concentração mineral, mas não fornece nenhuma indicação das quantidades relativas dos vários componentes.

Este parâmetro não representa um problema para a saúde humana, contudo, a partir do seu valor pode ser calculada a concentração de Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), que é um problema potencial, pois água com excesso de SDT se torna impalatável devido à alteração no gosto, acarreta problemas de corrosão de tubulações e o seu consumo pode causar o acúmulo de sais na corrente sanguínea e possibilitar a formação de cálculos renais. Devido a isso, o Ministério da Saúde estipula o valor de 1000 mg L^{-1} como o limite em água destinada ao consumo humano. Quando a estimativa for igual ou maior que 1000 mg L^{-1} , as águas são salobras e/ou podem estar contaminadas.

Segundo Feitosa e Manoel Filho (1997), na maioria das águas subterrâneas naturais, a Condutividade Elétrica da água multiplicada por um fator, que varia entre 0,58 a 0,75, gera uma boa estimativa dos Sólidos Totais Dissolvidos (STD) na água.

3.2.3.3 Temperatura

A água subterrânea possui baixa amplitude térmica, isto é, sua temperatura não é influenciada pelas oscilações da temperatura atmosférica. Exceções são os aquíferos freáticos pouco profundos, como o Serra Geral. Em

profundidades maiores a temperatura da água é influenciada pelo grau geotérmico local (em média 1°C a cada 30 m). No aquífero Botucatu (Guarani) são comuns temperaturas de 40 a 50°C em suas partes mais profundas. Em regiões vulcânicas ou de falhamentos profundos, águas aquecidas podem aflorar na superfície dando origem às fontes termais. A temperatura da água é um fator importante de análise (THOMAZ; ROBERTO; BINI, 1997), pois é influenciada por diversos fatores ambientais.

3.2.3.4 Oxigênio dissolvido (OD)

O oxigênio dissolvido na água é uma variável extremamente importante para determinação do impacto de poluentes sobre os corpos d'água. A quantidade de oxigênio dissolvido na água depende da temperatura, da pressão atmosférica e do total de sais dissolvidos (FEITOSA; MANOEL FILHO, 1997). Devido à baixa velocidade de fluxo subterrâneo, as águas subterrâneas tendem a possuir menor teor de oxigênio dissolvido quando comparado com as águas superficiais. Cujas concentrações variam entre 0 e 5 mg/L (CAPUCCI et al., 2001; FEITOSA; MANOEL FILHO, 1997).

3.2.3.5 Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH da água é a medida da atividade de íons H^+ e expressa a condição do meio, ácido ($pH < 7,0$) ou alcalino ($pH > 7,0$), sendo influenciado por uma série de fatores, de origem antropogênica ou natural. A sua quantificação é importante para águas destinadas ao consumo humano por ser um fator preponderante de reações e solubilização de várias substâncias. Valores fora das faixas recomendadas podem alterar o sabor da água e contribuir para corrosão dos sistemas de distribuição de água, ocorrendo com isso, uma possível extração do ferro, cobre, chumbo, zinco e cádmio, e dificultar a despoluição das águas (DUARTE; CUNHA; BRITO, 2009). Água com pH baixo compromete o gosto, a palatabilidade e aumenta a corrosão, enquanto que águas com pH elevado comprometem também a palatabilidade, aumentam a formação de incrustações e diminuem a eficiência da desinfecção por cloração (SPERLING, 2005). O pH das águas subterrâneas varia geralmente entre 5,5 e 8,5 (SANTOS, 1997). O Ministério da Saúde prevê valores de pH aceitáveis para consumo humano situados entre 6,0 e 9,5 (Portaria MS nº 2.914/2011).

3.2.3.6 Nitrato

O nitrato (N-NO_3^-) é a principal configuração do nitrogênio encontrada nas águas e sua concentração é moderada na maior parte dos ambientes não antropizados. Em locais que apresentem elevadas concentrações de N-NO_3^- , geralmente superiores a $5,0 \text{ mg L}^{-1}$, pressupõe-se que foram enriquecidos por atividades antropogênicas que envolvem compostos nitrogenados como fertilizantes solúveis, sistemas sépticos humanos, esterco de animais domésticos ou despejos industriais e demonstram condições sanitárias inadequadas (WILLIAMS, 1998).

O nitrato é um dos elementos mais problemáticos para a saúde humana, pois quando entra no trato digestivo humano pode se transformar em nitrito e, este em excesso, pode causar doenças como a metahemoglobinemia, ou síndrome do Bebê Azul. Outros problemas relacionados são as doenças como câncer e nascimento de bebês com deficiências motoras e/ou mentais.

O estudo de Arbuckle et al. (1988) sobre a influência de nitratos na ocorrência de bebês com defeitos no sistema nervoso central em New Brunswick, Canadá, revelou que o efeito da exposição a nitrato em águas era diferente se a fonte era privada ou de abastecimento público. A Portaria nº 2.914/2011 do MS prevê um limite de 10 mg L^{-1} de NO_3 em águas destinadas ao consumo humano.

3.2.3.7 Nitrito

A concentração de nitrito (N-NO_2^-) das águas de abastecimento também é considerada problema de saúde pública, pois não precisa passar por transformações para ser tóxico ao homem, sendo mais problemático que o nitrato devido ao seu teor limite de ingestão ser ainda menor. A Portaria nº 2.914/2011 do MS prevê um limite de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ de N-NO_2^- em águas destinadas ao consumo humano. Quando presente na água de consumo humano tem um efeito mais rápido e pronunciado do que o nitrato. Se o nitrito for ingerido diretamente, pode ocasionar metahemoglobinemia independente da faixa etária do consumidor (BATALHA; PARLATORE, 1993).

3.2.3.8 Amônia

A amônia (NH_3) pode estar presente naturalmente em águas superficiais ou subterrâneas, sendo que usualmente sua concentração é bastante baixa devido à

sua fácil adsorção às 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 (BATALHA; PARLATORE, 1993; FORMAGGIA et al., 1996; SOCIETY FOR WATER TREATMENT AND EXAMINATION, 1970). A presença da amônia produz efeito significativo no processo de desinfecção da água pelo cloro, através da formação de cloraminas, que possuem baixo poder bactericida (BATALHA; PARLATORE, 1993). A Portaria nº 2.914/2011 do MS prevê um limite de $1,5 \text{ mg L}^{-1}$ de Amônia em águas destinadas ao consumo humano (BRASIL, 2011).

3.2.3.9 Cálcio

O cálcio é um elemento maior na água e na crosta terrestre. É comum precipitar-se como carbonato de cálcio (CaCO_3) em água com o pH maior ou igual a 8,2. Comumente apresenta-se sob a forma de bicarbonato (HCO_3^-) e raramente sob a forma de carbonato (CO_3^{2-}). O carbonato de cálcio é pouco solúvel em água pura. A solubilidade do bicarbonato de cálcio aumenta na presença de sais de Sódio (Na^+) e Potássio (K^+) (MESTRINHO, 2008). É amplamente distribuído em rochas e solos. É o principal elemento responsável pela dureza nas águas. As fontes geológicas são muitas, tendo como exemplos anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) e calcita (CaCO_3) (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1983).

Tanto a Organização Mundial da Saúde, quanto a Portaria MS nº 2.914/2011, bem como a Resolução CONAMA nº 396/2008, não fazem referência à concentração de cálcio isoladamente, mas este elemento aparece associado à dureza total da água (SANTIAGO et al., 2007).

Feitosa e Manoel Filho (1997) ensinam que a faixa de variação para as águas subterrâneas naturais varia entre 10 e 100 mg L^{-1} . Elevadas concentrações de cálcio podem provocar formação de pedras nos rins, doença conhecida como hipercalcemia. No uso industrial, em sistemas de refrigeração, podem produzir entupimento através da produção de incrustações.

3.2.3.10 Magnésio

É mais solúvel e mais difícil de precipitar quando comparado ao cálcio. As principais fontes minerais para as águas subterrâneas são: a biotita, anfibólios e piroxênios. Estes minerais são mais estáveis diante do intemperismo químico, do

que os minerais fornecedores de cálcio, por isso seu teor nas águas subterrâneas é significativamente menor do que aquele, sendo encontrado com teores entre 1 e 40mg/L.

O magnésio, depois do cálcio, é o principal responsável pela dureza das águas (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1983). Na água do mar o magnésio ocorre em teores de cerca 1.400 mg/L, bem acima do teor de cálcio (cerca de 480mg/L).

Em águas subterrâneas de regiões litorâneas, a relação Mg^{+2}/Ca^{+2} é um parâmetro caracterizador da contaminação por água marinha. Para as águas continentais esta razão varia de 0,3 a 1,5 meq/L, enquanto que para as águas marinhas está em torno de 5 meq/L (FEITOSA; MANOEL FILHO, 1997).

O excesso de magnésio reduz a frequência cardíaca em pessoas com problemas do coração; no entanto, em dosagens adequadas, trata tensão pré-menstrual e a hipertensão, previne cálculos renais e biliares e auxilia nos movimentos musculares (SANTIAGO et al., 2007).

3.2.3.11 Coliformes totais

São bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase-negativos, capazes de desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a $35,0 \pm 0,5$ °C em 24-48 horas, e que podem apresentar atividade da enzima β -galactosidase (BRASIL, 2013). A maioria das bactérias do grupo coliforme pertence aos gêneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter*, embora vários outros gêneros e espécies pertençam ao grupo.

O isolamento de coliformes totais, embora não guarde relação exclusiva com contaminação de origem fecal, serve como indicador da integridade do sistema de distribuição (BASTOS; BEVILACQUA; NASCIMENTO, 2000). Águas insuficientemente tratadas (sem a garantia de conteúdo residual de cloro ou presença de infiltrações nas tubulações) podem permitir o acúmulo de sedimentos ou matéria orgânica promovendo o desenvolvimento de bactérias no sistema de distribuição, incluindo as do grupo coliforme menos a *Escherichia coli* (BRASIL, 2006).

A Portaria MS nº 2.914/2011 estabelece que a água destinada ao consumo humano deva ter ausência de Coliformes Totais em 100 ml da amostra. Mas complementa que a presença dessas bactérias na água após o tratamento é

um indicativo da ineficiência do processo de desinfecção utilizado ou de problemas de (re)contaminação na rede de distribuição. Nesse caso, cabe à Vigilância Ambiental investigar o motivo da ocorrência das bactérias e tomar as providências imediatas de caráter preventivo e corretivo. Como esse grupo engloba bactérias de origem não fecal, esse parâmetro não deve ser considerado um bom indicador sanitário da água destinada ao consumo humano, tampouco da água bruta, ou seja, a presença dessas bactérias na água bruta não indica que esta é imprópria para consumo.

3.2.3.12 *Escherichia coli* (*E. coli*)

A *E. coli* é uma bactéria do grupo coliforme que fermenta a lactose e manitol, com produção de ácido e gás a $44,5 \pm 0,2$ °C em 24 horas; produz indol a partir do triptofano, oxidase negativa, não hidroliza a uréia e apresenta atividade das enzimas β galactosidase e β glucoronidase, sendo considerado o mais específico indicador de contaminação fecal recente e de eventual presença de organismos patogênicos (BRASIL, 2013).

A determinação da concentração dos coliformes totais e termotolerante assumem importância como parâmetro indicador da possibilidade de existência de microorganismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, tais como febre tifóide, febre paratifóide, disenteria bacilar e cólera (ROITMAN; TRAVASSOS; AZEVEDO, 1988). Mas o uso das bactérias coliformes termotolerantes para indicar poluição sanitária é mais promissor que o uso da bactéria coliforme "total", pois as bactérias termotolerantes estão restritas ao trato intestinal de animais de sangue quente. Já os coliformes totais podem ser encontrados na maioria dos ambientes que apresentem compostos orgânicos passíveis de decomposição, e sua presença pode ser um indicativo de falta de higiene.

A Portaria MS nº 2.914/2011 estabelece que a água destinada ao consumo humano em qualquer situação, incluindo fontes individuais como poços, minas e nascentes deve ter ausência de *Escherichia coli* em 100 ml da amostra.

3.3 Contaminação das águas subterrâneas

Poluição significa uma alteração artificial da qualidade físico-química da água, suficiente para superar os limites ou padrões preestabelecidos para

determinado fim ou que possa causar prejuízo à saúde, à sobrevivência ou às atividades dos seres humanos e outras espécies ou ainda deteriorar materiais. Já poluente seria toda substância que ameaça a saúde, a segurança e o bem-estar, causando prejuízos à vida aquática, alterando características de águas receptoras para determinados fins ou modificando normas de qualidade preestabelecidas, estando relacionada com a concentração, ou quantidade, de resíduos presentes no ar, na água ou no solo. Água contaminada corresponde àquela que possui organismos patogênicos, substâncias tóxicas e/ou radioativas, em teores prejudiciais à saúde do homem (BRAGA, 2005; FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000; VON SPERLING, 1996).

Conforme Feitosa e Manoel Filho (2000) e Tucci (1998) a poluição hídrica pode ser classificada, quanto à distribuição espacial, em:

- a) pontual – são as que atingem o aquífero através de um ponto. Exemplos: sumidouros de esgotos domésticos, comuns em comunidades rurais, aterros sanitários, vazamentos de depósitos de produtos químicos, vazamentos de dutos transportadores de esgotos domésticos ou produtos químicos. Estas fontes são responsáveis por poluições altamente concentradas na forma de plumas de contaminação. Em geral as contaminações pontuais dão origem a concentrações elevadas de poluentes, localizadas em plumas que podem permanecer estratificadas em um aquífero. Geralmente a quantidade e composição dos lançamentos não sofrem grandes variações ao longo do tempo (MIERZWA, 2001);
- b) difusa – são as que contaminam áreas extensas. Normalmente são devidas a poluentes transportados por correntes aéreas, chuva e pela atividade agrícola. Em aglomerados urbanos, onde não haja rede de esgotamento sanitário, as fossas sépticas e sumidouros regularmente espaçados podem se tornar uma fonte difusa de poluição. As poluições provenientes das fontes difusas se caracterizam por serem de baixa concentração, atingindo grandes áreas. As contaminações difusas tendem a criar uma estratificação regionalizada e os mananciais de superfície e poços produzem uma mistura contaminada e não contaminada, em proporções crescentes com o tempo (FEITOSA;

MANOEL FILHO, 2000). Por esse motivo o seu controle é bastante difícil em comparação com a poluição pontual (MIERZWA, 2001);

- c) linear – são as provocadas pela infiltração de águas superficiais de rios e canais contaminados. A possibilidade deste tipo de poluição ocorrer dependerá do sentido de fluxo hidráulico existente entre o curso d'água e o aquífero subjacente. É necessário enfatizar que, ao longo de um mesmo curso, há lugares onde o fluxo se dá do aquífero para o talvegue e outros onde se passa o inverso, isto é, as águas do rio se infiltram em direção ao aquífero. A existência de poços profundos em funcionamento nas proximidades do curso d'água poderá forçar a infiltração de água contaminada no aquífero invertendo o seu fluxo ou aumentando sua velocidade.

Os sistemas de água subterrânea são bem mais resistentes à poluição dos que os de água superficial, pois a camada de solo sobrejacente atua como filtro físico, químico e biológico (TUCCI; CABRAL, 2003). Para CETESB (1996) estes mananciais são vulneráveis a diferentes formas de contaminação química e biológica, quer seja pelo lançamento inadequado de fertilizantes, agrotóxicos, pela disposição inadequada de resíduos sólidos domésticos e industriais e por microorganismos patógenos que proliferam durante a decomposição de cadáveres.

3.3.1 Fontes de contaminação da água subterrânea

A exploração da água subterrânea tem que observar a proteção dos aquíferos durante a fase de perfuração e operação dos poços; o perímetro de proteção dos poços; o equilíbrio regional do aquífero quanto às recargas e descargas e os limites outorgados pelo poder público (GIAMPÁ; GONÇALES, 2005).

O risco de contaminação se dá em função das atividades humanas na superfície do solo (contaminantes lançados no solo), e a sensibilidade (vulnerabilidade) dos aquíferos quando são afetados por esses contaminantes (FOSTER et al., 2011).

Diversas atividades causam alterações nas características físicas, químicas ou biológicas dos mananciais subterrâneos (Quadro 1 e Figura 1) como: disposição inadequada de esgotos sanitários, resíduos sólidos, águas residuárias industriais, águas de drenagem urbana, aterros sanitários, fontes acidentais e fontes atmosféricas. As substâncias poluentes resultantes dessas atividades incluem

principalmente, substâncias químicas orgânicas, pesticidas, metais pesados, nitratos, bactérias e vírus (SILVA; ARAÚJO, 2003; TUCCI et al., 2007; ZAPOROZEC; MILLER, 2000).

Quadro 1 – Fontes de contaminação das águas subterrâneas

Fontes de contaminação	Características	Contaminantes
Esgotos sanitários e fossas sépticas	Águas servidas, utilizadas para higiene pessoal, lavagem de utensílios e cozimento de alimentos.	Matéria orgânica biodegradável, microrganismos, nutrientes, óleos, graxas e detergentes.
Resíduos sólidos	São os rejeitos de atividades industriais, domésticas, hospitalares e agrícolas.	Chorume, microrganismos patogênicos, fenóis, óleos e graxas, metais pesados, etc.
Águas residuárias industriais	Água de processo e águas sanitárias	Hidrocarbonetos aromáticos, metais pesados, organismos fecais, nitratos, metais e substâncias radioativas.
Águas de drenagem urbana	Águas de lavagem sobre o solo	Microrganismos, nutrientes, materiais em suspensão, etc.
Fontes acidentais	Acidentes ocorridos em depósitos de produtos perigosos, derramamento de óleo e explosão de caráter radioativo.	Substâncias radioativas, metais pesados, ácidos, etc.
Fontes atmosféricas e Run-off urbano	Queima de combustíveis fósseis, que geram chuvas ácidas e percolação de poluentes atmosféricos. Emissão de veículos automotores	Sólidos dissolvidos e em suspensão, hidrocarbonetos orgânicos, químicos sintéticos e naturais, metais pesados, compostos de enxofre e nitrogênio.
Manejo da água subterrânea	Poço ou captação cuja construção /projeto inadequado permite o ingresso direto de água superficial ou água subterrânea rasa poluída. Intrusão salina, rebaixamento do aquífero.	Sais, acidez da água e aumento da concentração de poluentes.
Contaminação Natural	Está relacionada com a evolução química da água subterrânea e a dissolução de minerais (pode ser agravada pela poluição ocasionada pela atividade humana e /ou extração excessiva)	Principalmente fluoreto e ferro solúvel, às vezes sulfato de magnésio, arsênico, manganês, selênio, cromo e outras espécies inorgânicas.
Atividade cemiterial	Substâncias provenientes da decomposição de cadáveres	Necrochorume (liquame ou putrilagem).

Fonte: Feitosa e Manoel Filho (2000).

Figura 1 – Processos de poluição das águas subterrâneas



Fonte: Foster et al. (2003).

Os esgotos domésticos são constituídos, primeiramente por matéria orgânica biodegradável, microorganismos (bactérias, vírus, etc.), nutrientes (nitrogênio e fósforo), óleos e graxas, detergentes e metais (BENETTI; BIDONE, 1995). Os efluentes domésticos não tratados representam, nos grandes centros, a principal causa da poluição dos rios, praias e aquíferos, gerando preocupação porque em algumas áreas, o nível do lençol freático está muito próximo à superfície podendo haver infiltração de efluentes, e a utilização deste pela população, através de poços artesanais (SILVA, 2012).

O uso generalizado de fossas sépticas deve ser gradativamente substituído por redes coletoras de esgotos, para atenuar a quantidade de cargas contaminantes depositadas no subsolo (FOSTER et al., 2003). Vazamentos de postos de combustíveis contribuem com hidrocarbonetos em geral e com os chamados BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno, xileno) (TUCCI; CABRAL, 2003).

A ausência de aterros sanitários também contribui para contaminação das águas através do chorume resultante da decomposição da matéria orgânica, detentor de uma carga elevada de contaminantes que pode atingir as águas superficiais e subterrâneas. Embora grande parte dos resíduos gerados possa ser reduzida através de reciclagem de materiais e por incineração, o método básico de armazenagem continua sendo os aterros sanitários (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000). A severidade dos impactos é tal que, segundo Cozzarelli et al. (2000), este tipo de contaminação pode durar décadas ou até séculos.

A inexistência ou baixa eficiência dos sistemas de drenagem de águas pluviais fazem com que todas as impurezas do solo, detritos encontrados em ruas e pavimentos sejam levados até os cursos de água (TUCCI et al., 2007).

O desenvolvimento industrial é outra grande fonte de contaminação, mesmo que seus efluentes sejam tratados, através da sua disposição em lagoas, podendo contaminar, ao longo do tempo, o manancial subterrâneo local (TUCCI; CABRAL, 2003). As águas residuárias apresentam uma larga variação na sua composição e vazão introduzindo, no ambiente, várias substâncias tóxicas em baixas concentrações e produtos radioativos (TUCCI et al., 2007).

O uso de fertilizantes e pesticidas nas atividades agrícolas é responsável pela degradação das águas subterrâneas em áreas de cultivo intensivo. Os principais nutrientes utilizados são: nitrogênio, fósforo e potássio. Dentre os fertilizantes o nitrogênio na forma de nitrato é o principal contaminante (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000).

O manejo da água subterrânea em áreas costeiras e no semiárido são causas frequentes de aumento de salinização de mananciais. A retirada excessiva de água nos sistemas costeiros permite a salinização por avanço da cunha salina, por transferência vertical, proveniente de aquíferos salinizados, ou por infiltração em mangues e estuários. No semiárido, a salinidade ocorre principalmente devido às excessivas taxas de evapotranspiração, em que a água, ao se transferir para a atmosfera em forma de vapor, deixa os sais no solo e nas águas subterrâneas, exigindo melhores técnicas de manejo para não intensificação dos problemas (TUCCI; CABRAL, 2003).

Para Vanier et al. (2010), é necessário um controle e fiscalização para evitar que poços mal construídos e/ou mal protegidos, transportem contaminantes para unidades hidrogeológicas mais profundas. É de extrema importância que os resíduos sólidos, líquidos e gasosos oriundos de atividades agropecuárias, industriais, comerciais ou de qualquer natureza, só possam ser conduzidos ou lançados adequadamente nos corpos hídricos após o devido tratamento (CETESB, 1996).

A presente fundamentação teórica nos permitiu compreender a situação precária dos serviços de saneamento na zona rural de São Luís-MA, a evolução dos instrumentos legais sobre potabilidade de água e suas constantes atualizações, um breve conhecimento das doenças de veiculação e/ou origem hídrica, a importância da vigilância e controle dos indicadores de qualidade da água para consumo humano na manutenção da saúde, bem como conhecer as principais fontes de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

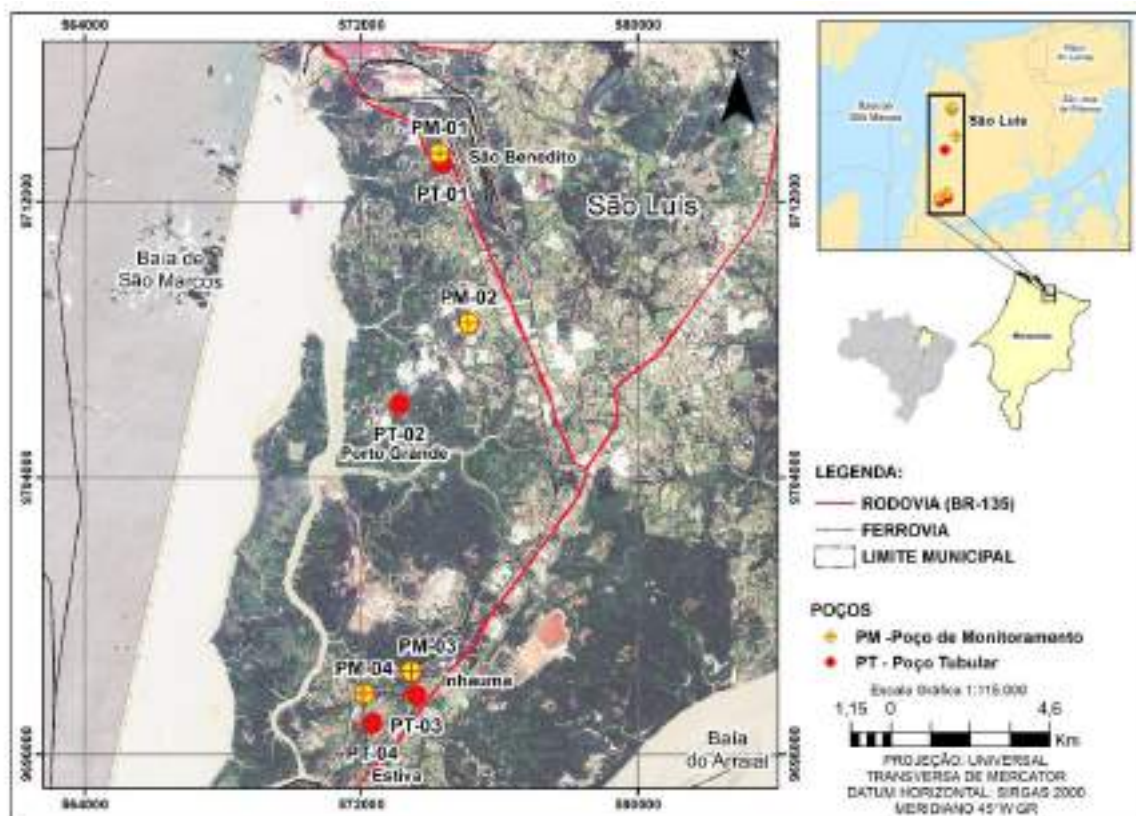
O presente estudo contempla uma pesquisa quantitativa, longitudinal, exploratória, com expedições de campo e análises laboratoriais, realizada durante os meses de março a setembro de 2015.

Enquadra-se como descritivo na medida em que se descreve um fenômeno e registra a maneira como este ocorre. Exploratório por se tratar de uma investigação na qual o objeto de estudo possui poucas informações (DALFOVO; LANA; SILVEIRA, 2008).

4.1 Área de estudo

O local de estudo está inserido na área de influência do Distrito Industrial de São Luís (DISAL) e tem como foco as comunidades rurais de São Benedito, Porto Grande, Inhaúma e Estiva que utilizam água de poços tubulares profundos para o consumo diário (Figura 2). Estas comunidades apresentam déficit em termos de saneamento por não dispor de abastecimento d'água e esgotamento sanitário adequados.

Figura 2 – Mapa de localização dos poços de monitoramento e tubulares utilizados no presente estudo

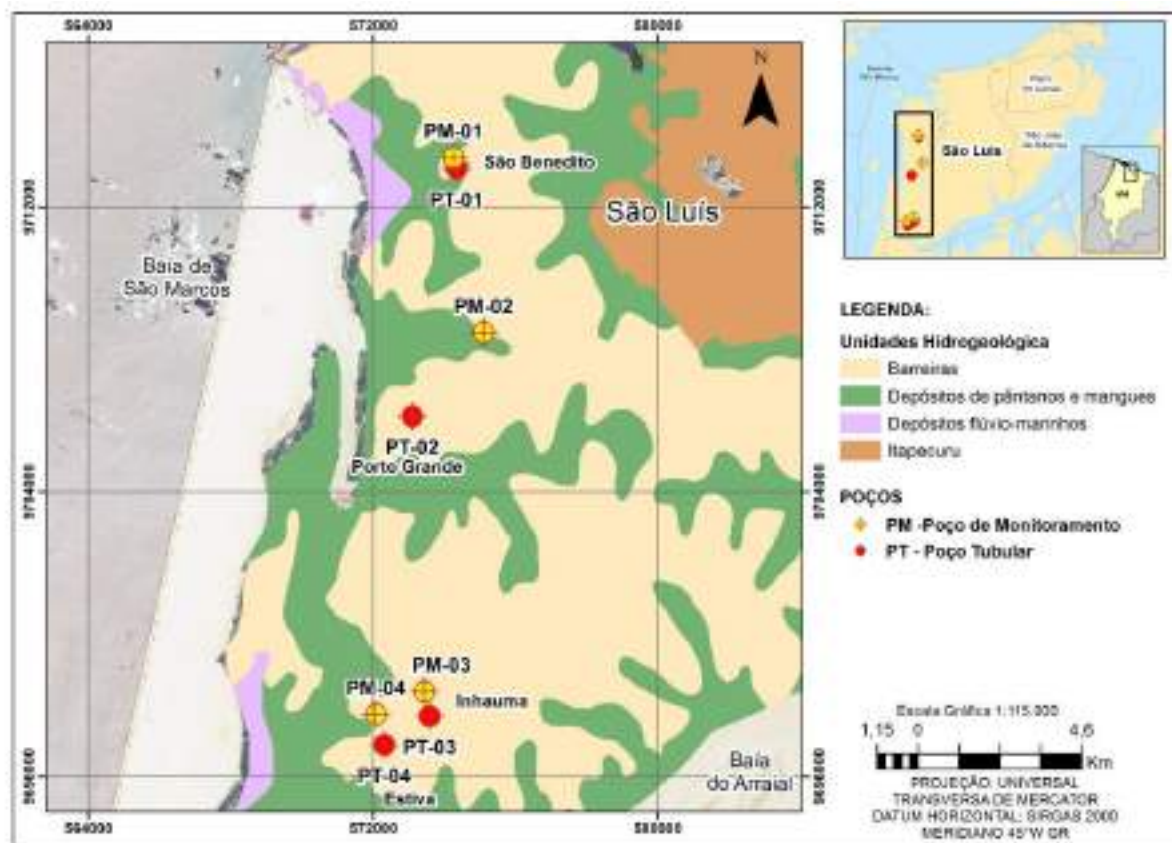


A região recebe influência direta do clima local, se inserindo na área de transição climática do semi-árido nordestino e tropical úmido amazônico, sendo considerado como clima tropical chuvoso, com estação seca no período de inverno (PEREIRA, 2006). As chuvas têm média anual de 1.857,16 mm e temperatura média anual de 27°C, com máxima de 34,4°C e mínima de 18°C e uma umidade média anual de 80%, sendo importante destacar a sazonalidade das chuvas, cujo período chuvoso concentra-se entre os meses de janeiro a junho e o período seco de julho a dezembro.

Com relação à hidrogeologia, o sistema aquífero da Ilha do Maranhão é composto de um pacote de camadas sedimentares areno-argilosas que se depositaram na região cratônica da Bacia Costeira de São Luís ao longo dos períodos Cretáceo e Quaternário – entre 1 e 135 milhões de anos – constituído, principalmente, pelas formações geológicas Itapecuru e Barreiras e o recente constituído por areias de dunas e aluviões de rios. A área de estudo insere-se sobre a formação Barreiras (Figura 3) que funciona como aquífero livre e se caracteriza pela presença de arenitos inconsolidados, vermelhos e amarelados, siltitos amarelados a ocre, ferruginizados e argilitos caolínicos (SOUSA, 2000).

A Ilha do Maranhão é constituída por sedimentos pouco coesos a inconsolidados, bastante porosos, permeáveis, normalmente friáveis, falhados, fraturados, com o lençol freático muito próximo à superfície, cercada por água salgada, com possibilidades de salinização dos aquíferos limítrofes ilha/mar, com fragilidade geológica variando de moderada a muito alta (RODRIGUES et al., 1994).

Figura 3 – Mapa geológico da Ilha de São Luís-Maranhão



Os solos da região podem ser caracterizados como areia quartzosa distrófica latossólica (AQ1) e Podzólico vermelho amarelo concrecionado (PVcf), solos que apresentam alta permeabilidade natural o que pode favorecer a contaminação do lençol freático sobretudo do aquífero livre situado logo abaixo (MARANHÃO, 1998). Os solos lateríticos e latossolos originam-se de sedimentos argilo-arenosos, apresentam abundantes concreções ferruginosas. Ocupam partes altas da Ilha do Maranhão. Os solos podzólicos hidromórficos são originados de sedimentos areno-argilosos, situam-se também nas partes elevadas. Os solos aluviais, formados a partir de sedimentos recentes do Quaternário têm elevado teor argiloso e siltoso. Situam-se nas planícies de inundação dos rios da Ilha de São Luís (SILVA et al., 2010).

Foram construídos, pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA), 04 poços/piezômetros com o intuito de monitorar a qualidade da água subterrânea naquela região, conforme as especificações constantes na Norma ABNT NBR 15495-2:2007 (ABNT, 2007), com as seguintes características e localização, conforme Quadro 2.

Quadro 2 – Poços de monitoramento utilizados na pesquisa

Poço	UTM		Prof (m)	NE* (m)	Diâmetro do tubo
	Coord. Y	Coord. X			
PM-01 – São Benedito	9713393	574263	12	25	4"
PM-02 – Porto Grande	9708480	575108	20	20	4"
PM-03 – Inhaúma	9698384	573443	20	20	4"
PM-04 – Estiva	9697748	572083	20	18	4"

*NE – nível estático; Coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM)

Para coleta e caracterização da água subterrânea utilizada pelos moradores, utilizou-se os 04 poços de monitoramento (piezômetros) acrescido de 04 poços tubulares (PT) distribuídos entre as comunidades rurais de São Benedito (PT-01), Porto Grande (PT-02), Inhaúma (PT-03) e Estiva (PT-04). A escolha das comunidades levou em consideração a localização dos 04 poços de monitoramento. Quanto ao critério de escolha dos poços tubulares profundos, considerou-se a capacidade de se comparar a qualidade da água subterrânea entre os poços de monitoramento e os tubulares mais próximos, além da logística de deslocamento durante a pesquisa de campo. A seguir estão descritas algumas características dos poços tubulares utilizados no presente estudo, conforme Quadro 3.

Quadro 3 – Poços tubulares utilizados na pesquisa

Poço	UTM		Proprietário
	Y	X	
PT-01 – São Benedito	9713473	574182	Particular
PT-02 – Porto Grande	9705964.22	573448.13	CAEMA
PT-03 – Inhaúma	9697821	573598	Particular
PT-04 – Estiva	9697077	572327	CAEMA

NE – nível estático; Coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM)

Os pontos monitorados foram fotografados, objetivando a caracterização do ambiente externo de cada local, registrando-se os sistemas de captação de água e a higiene adotada (APÊNDICE A).

4.2 Período de avaliação

Foram realizadas 04 (quatro) visitas sistemáticas aos poços para amostragem de água subterrânea, com periodicidade bimestral, durante as datas de 18/03, 26/05, 14/07 e 15/09/2015, de modo a cobrir as estações chuvosa e seca do período em estudo.

4.3 Amostragem

Foram coletadas duas amostras em cada poço, sendo uma para análise bacteriológica e outra para análise físico-química, totalizando 16 amostras por coleta. As coletas, preservação, armazenamento e transporte seguiram as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WPCF, 2005) e as especificações da norma ABNT NBR 15.847:2010 (ABNT, 2010). Utilizou-se o método de purga de baixa vazão que consiste na cuidadosa introdução de uma bomba de baixa vazão no poço, desprezando-se os primeiros volumes de água durante aproximadamente 5 minutos de vazão, para não causar o rebaixamento excessivo do nível de água subterrânea e assegurar que a amostra coletada fosse representativa da Formação Barreiras, conforme a localização dos poços de monitoramento.

As amostras foram enviadas aos seguintes laboratórios para realização dos ensaios de qualidade físico-química e bacteriológica:

- a) Laboratório de Microbiologia de Alimentos e Água, localizado no Pavilhão Tecnológico da UFMA – Cidade Universitária, para contagem de Coliformes totais e Teste de Presença/Ausência de *Escherichia coli* (*E. coli*) pela Técnica do Substrato Cromogênico Enzimático Colilert de acordo com a metodologia preconizada pela American Public Health Association (APHA; AWWA; WPCF, 2005);
- b) Laboratório de Oceanografia Química e de Controle de Qualidade de Água situado no Departamento de Oceanografia e Limnologia (DEOLI) da UFMA para caracterização físico-química de Cálcio, Magnésio, Nitrato, Nitrito e Amônia de acordo com a metodologia preconizada pela American Public Health Association (APHA; AWWA; WPCF, 2005).

Os parâmetros químicos amônia (NH_3), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-) foram determinados pelo método descrito por Aminot e Chaussepied (2003).

A partir das determinações dos íons cálcio e magnésio foram obtidas as razões iônicas ($\text{rMg}^{+2}/\text{rCa}^{+2}$) a fim de avaliar o possível efeito da intrusão da água do mar nas águas subterrâneas. O índice compreendido entre 0,3 e 1,5 meq/L foi adotado como indicativo de águas doces e da ordem de 5 meq/L para água do mar (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1983 apud FEITOSA; MANOEL FILHO, 1997).

Durante as coletas foram mensurados *in situ* a Temperatura da água, Turbidez, Condutividade Elétrica – C.E., Potencial Hidrogeniônico - pH, Oxigênio Dissolvido – O.D e nível estático da água dos poços (sendo este último, anterior ao método de purga de baixa vazão), com o auxílio de um Multi-parâmetro HQ40d (marca HACH, modelo HI 9828), Turbidímetro (marca HANNA, Modelo HI 93703), e Medidor Elétrico de Nível D'água, respectivamente.

4.4 Processamento das informações

Os resultados foram analisados e apresentados sob a forma de gráficos e tabelas. Os dados quantitativos foram analisados com a utilização da estatística descritiva para determinação dos valores médios, mínimos e máximos.

Com base nos resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas das amostras, a potabilidade da água foi avaliada por meio da correlação entre os dados obtidos nas análises com os valores máximos permitidos pela Portaria MS nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011 que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2011). Através desta interpretação identificaram-se os possíveis riscos de incidência de doenças de veiculação e/ou origem hídrica nas comunidades estudadas.

4.5 Tratamento estatístico dos dados

Para testar a homocedasticidade das variâncias, utilizou-se o teste de Levene's. Quando atendidos os pressupostos de homogeneidade e normalidade, utilizou-se a Análise de Variância (ANOVA), para verificar a existência de diferenças temporais e espaciais na composição hidroquímica da área em estudo, através da comparação de médias, analisando as diferenças de dados intra e interconjuntos, com um nível de significância de 0,05 ($\alpha = 5\%$).

Nos casos em que somente o pressuposto de homogeneidade da variância foi atendido, ainda assim utilizou-se a ANOVA, uma vez que esta análise é robusta o suficiente para suportar desvios de normalidade. Quando os resultados da Análise de Variância indicavam a presença de diferenças significativas ($p \leq 0,05$), utilizou-se, posteriormente, o teste de Tukey para identificar quais médias eram diferentes. Nos casos em que ambos os pressupostos da ANOVA não foram atendidos, utilizou-se o método não paramétrico de Kruskal-Wallis (CONOVER,

1990), acompanhado do teste não paramétrico Mann-Whitney que compara dois grupos testando quais foram estatisticamente diferentes. O método não paramétrico de Kruskal-Wallis avalia se dois conjuntos de dados representam a mesma população, através da comparação de suas medianas, calculando um nível de significância denominado “valor α ”. Analogamente ao método paramétrico ANOVA, para o nível de confiança de 95%, existe diferença estatisticamente significativa, sempre que o “valor p” for igual ou inferior a 0,05 ($p \leq 0,05$).

As avaliações estatísticas foram efetuadas utilizando o pacote computacional Palaeontological Statistics (PAST), versão 2.17 (HAMMER et al., 2001).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Parâmetros físico-químicos da água

Os resultados das variáveis físico-químicas referentes às quatro amostragens são apresentados nas Tabelas 1, 2, 3 e 4. Estes dados foram correlacionados com os limites estabelecidos pela Portaria MS nº 2.914/2011 (BRASIL, 2011), destacando-se aqueles que apresentaram limites superiores aos Valores Máximos Permitidos (VMP) definidos pela referida legislação.

Os parâmetros físico-químicos durante o período amostrado apresentaram as seguintes variações: Temperatura da água de 27,0 a 30° C, estando compatíveis com as médias registradas para a atmosfera local; Condutividade Elétrica (CE) de 32,1 a 376 $\mu\text{S}/\text{cm}$; Sólidos Totais Dissolvidos (STD) de 20,865 a 244,4 mg/L; Turbidez de 0,71 a 33,34 UT; Potencial Hidrogeniônico (pH) de 4,38 a 6,5 e Oxigênio Dissolvido (OD) de 1,56 a 7,98 mg/L. Durante a campanha do mês de setembro, não foi possível coletar amostras do poço PM-03 devido a interdição do túnel da ferrovia do Consórcio de Alumínio do Maranhão (ALUMAR) que dava acesso ao local de amostragem.

Tabela 1 – Resultados das análises físico-químicas da água dos poços monitorados nas comunidades rurais de São Benedito, Porto Grande, Inhaúma e Estiva, São Luís, MA, março de 2015

MARÇO/2015

Parâmetro/Poço	T (°C)	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	STD (mg/L)	Turbidez (UT)	pH (25°C)	OD (mg/L)
PM 01	27,7	82	53,3	5,38	5,41	4,06
PT 01	28,3	53,7	34,90	9,42	5,02	5,01
PM 02	28,4	69,5	45,17	5,12	5,13	6,07
PT 02	29,1	128,08	83,25	5,1	5,32	5,11
PM 03	28,4	47,9	31,13	33,34	5,49	1,56
PT 03	28,8	273	177,45	9,42	4,38	5,06
PM 04	29,2	124,5	80,92	22,08	5,69	1,69
PT 04	28,9	376	244,4	1,23	4,91	7,98
MS 2.914/11	-	-	1000 mg/L	5,0 UT	6,0 - 9,5	-

PM – poço de monitoramento; PT – poço tubular.

Tabela 2 – Resultados das análises físico-químicas da água dos poços monitorados nas comunidades rurais de São Benedito, Porto Grande, Inhaúma e Estiva, São Luís, MA, maio de 2015

MAIO/2015						
Parâmetro/Poço	T (°C)	CE (µS/cm)	STD (mg/L)	Turbidez (UT)	pH (25°C)	OD (mg/L)
PM 01	27,70	163,9	106,53	6,84	4,92	3,95
PT 01	27,30	80,00	52,00	2,04	4,92	2,93
PM 02	27,80	106,6	69,29	3,14	5,18	6,88
PT 02	27,0	97,70	63,50	1,06	5,36	5,12
PM 03	27,30	56,30	36,59	15,2	5,52	2,05
PT 03	27,90	257,0	167,05	8,45	4,41	4,7
PM 04	28,70	114,6	74,49	8,62	6,1	2,11
PT 04	28,30	285,0	185,25	1,54	5,02	7,89
MS 2.914/11	-	-	1000 mg/L	5,0 UT	6,0 - 9,5	-

PM – poço de monitoramento; PT – poço tubular.

Tabela 3 – Resultados das análises físico-químicas da água dos poços monitorados nas comunidades rurais de São Benedito, Porto Grande, Inhaúma e Estiva, São Luís, MA, julho de 2015

JULHO/2015						
Parâmetro/Poço	T (°C)	CE (µS/cm)	STD (mg/L)	Turbidez (UT)	pH (25°C)	OD (mg/L)
PM 01	29,20	86,0	55,90	1,00	4,84	3,52
PT 01	28,60	153,0	99,45	2,00	5,25	3,14
PM 02	28,40	41,90	27,23	3,10	5,25	6,95
PT 02	29,00	82,10	53,36	2,00	5,50	5,27
PM 03	28,10	49,20	31,98	4,00	5,78	4,01
PT 03	28,80	203,90	132,53	31,0	4,55	5,19
PM 04	30,00	80,10	52,06	6,00	6,50	5,60
PT 04	29,10	257,0	167,05	1,00	5,26	7,75
MS 2.914/11	-	-	1000 mg/L	5,0 UT	6,0 - 9,5	-

PM – poço de monitoramento; PT – poço tubular.

Tabela 4 – Resultados das análises físico-químicas da água dos poços monitorados nas comunidades rurais de São Benedito, Porto Grande, Inhaúma e Estiva, São Luís, MA, setembro de 2015

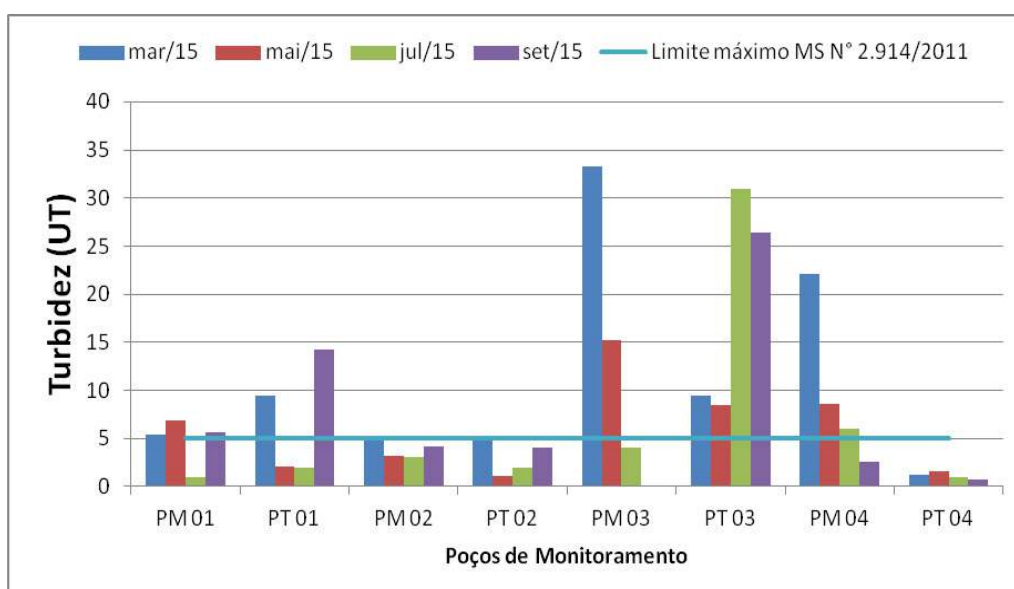
SETEMBRO/2015

Parâmetro/Poço	T (°C)	CE (µS/cm)	STD (mg/L)	Turbidez (UT)	pH (25°C)	OD (mg/L)
PM 01	28,7	53,8	34,97	5,66	5,04	4,64
PT 01	28,4	107,3	69,74	14,19	4,95	3,92
PM 02	28,6	32,1	20,86	4,23	5,34	6,95
PT 02	28,4	53,4	34,71	4,06	5,3	5,11
PM 03	-	-	-	-	-	-
PT 03	28,3	132,1	85,86	26,41	4,73	6,84
PM 04	28,3	72,3	46,99	2,56	6,27	6,4
PT 04	28,3	224	145,6	0,71	5,26	7,52
MS 2.914/11	-	-	1000 mg/L	5,0 UT	6,0 - 9,5	-

PM – poço de monitoramento; PT – poço tubular.; - Não foi possível realizar a amostragem do PM 03 devido a interdição do túnel da ALUMAR que dava acesso ao poço.

Do total analisado, 12 amostras (38,7%) apresentaram valores de turbidez acima do limite máximo permitido pela Portaria 2.914/2011. A turbidez indicou o valor médio de 7,68 UT, sendo o valor mínimo de 0,71 UT, registrado na campanha do mês de setembro (período de estiagem) no PT-04 e máximo de 33,34 UT no PM-03, durante a campanha do mês de março do corrente ano (período chuvoso) (Figura 4).

Figura 4 – Valores de turbidez nos poços de monitoramento



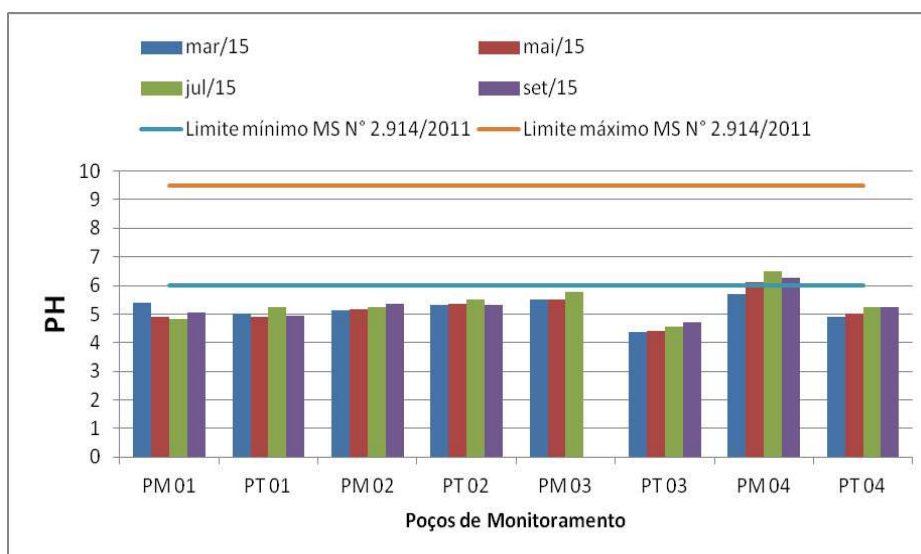
Os elevados valores de turbidez (33,34 e 15,20 uT) apresentados pelo poço de monitoramento PM-03 já havia sido relatado pela empresa “A PERFURAR POÇOS ARTESIANOS”, responsável pela perfuração deste poço, em seu Relatório Técnico Final de Poço de Monitoramento, onde menciona a possível influência de um lago artificial construído aproximadamente a 30 metros de distância do poço e que estaria exercendo pressão sobre o mesmo, elevando sua turbidez, durante o período chuvoso (ANEXO A).

Acredita-se que os elevados valores de turbidez encontrados no PT-03, durante todo o período estudado, ocorreram, possivelmente, devido a retirada do ar da tubulação do poço no momento da amostragem. Acrescenta-se o fato de que o poço PT-03, utilizado na lavagem de veículos automotores, é raso (13m) e foi perfurado manualmente, não possuindo os filtros especificados pela norma brasileira de perfuração de poços NBR 12244/1992 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992), muito menos o selo de proteção sanitária, possibilitando a percolação de materiais particulados ao longo do perfil do solo. Novos estudos são necessários para melhor compreensão dos fatores que podem influenciar nas alterações da turbidez da água.

Valores de turbidez abaixo de 5,0 UT são aceitáveis em água para consumo humano (Portaria MS nº 2.914/11), mas é recomendável que a turbidez seja a mais baixa possível. A turbidez, material em suspensão na água, pode se fixar aos patógenos existentes, protegendo-os e até dificultando a ação do cloro sobre os mesmos. Schwartz e Goldstein (2000) encontraram associação positiva entre índices de turbidez e admissão hospitalar por doenças gastrointestinais, entre a população de idosos na Filadélfia, Estados Unidos, no período 1992-1993. A presença de *Cryptosporidium* também está associada a turbidez da água. Para água tratada, em sistemas de filtração rápida, adequadamente operados, produzindo efluentes com turbidez $\leq 0,3$ UNT, pode-se obter remoção de 99% de oocistos de *Cryptosporidium* (BASTOS et al., 2001).

O pH indicou valor médio de 5,08, sendo o valor mínimo de 4,38 registrado durante o mês de março (período chuvoso) no PT-03 e máximo de 6,5 no PM-04 na campanha do mês de julho (período de estiagem) (Figura 5).

Figura 5 – Valores de pH nos poços de monitoramento



Percebe-se que 28 amostras (90,32%) analisadas apresentaram valores de pH inferiores ao limite mínimo recomendado pela Portaria MS nº 2.914/2011.

Acredita-se que a formação geológica e, conseqüentemente, os solos ácidos formados a partir dos materiais geológicos sejam os responsáveis por estas constatações. Em São Luís a Formação Barreiras encontra-se distribuída por quase toda a Ilha, assim como na presente área de estudo, apresentando material sedimentar, bastante espesso, muito intemperizado e com drenagem satisfatória. Os solos originados deste sedimento são os mais diversos, mas predominantemente com perfis latossólicos, de baixa saturação por bases e elevado teor de alumínio (DEMATTÊ; DEMATTÊ; MAZZA, 1996). O alumínio em solução aquosa, por meio de uma seqüência de reação, precipita-se sob a forma de $\text{Al}(\text{OH})_3$ produzindo em cada etapa íons H^+ de acordo com a reação: $\text{Al}^{3+} + 3 \text{H}_2\text{O} \ll \text{Al}(\text{OH})_3 + 3 \text{H}^+$. Assim, a medida que íons Al^{3+} vão sendo solubilizados da rocha, liberam íons H^+ que favorecem a dissolução mais efetiva da rocha e também a elevação da acidez do solo (BOHEN et al., 2000).

Na região de ocorrência do aquífero Barreiras em São Luis-MA, as águas subterrâneas apresentam pH médio de 6,95, com máximo de 8,91 e mínimo de 4,90, não mostrando tendência percentual de acidez ou alcalinidade dessas águas (CPRM, 1994).

Silva et al. (2010) em estudo desenvolvido em dois poços tubulares na área da Água mineral Mar Doce, pertencente ao município de Paço do Lumiar-MA, evidenciaram valores de pH variando entre 4,35 a 5,31.

Apenas o PM-04 apresentou valores dentro da faixa de pH preconizada pela Portaria MS nº 2.914/2011 que estabelece os limites mínimo e máximo de pH entre 6,0 e 9,5 para águas destinadas ao consumo humano.

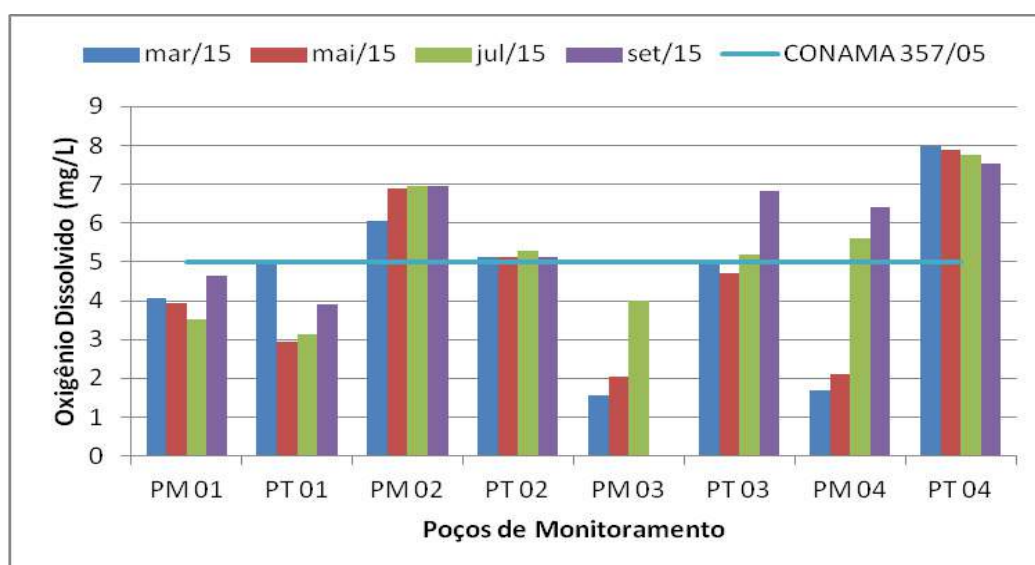
Carvalho, Schlittler e Tornisielo (2000) afirmam que com o aumento das chuvas, o pH tende a subir e aproximar-se da neutralidade, pois ocorre maior diluição dos compostos dissolvidos e escoamento mais rápido.

O pH indica o tipo de água que exerce efeito corrosivo sobre as tubulações e equipamentos de sistemas de água e esgoto, influenciando na coagulação química e sedimentação em estações de tratamento de água (CONCEIÇÃO et al., 2009).

A acidificação das águas subterrâneas reage com os metais presentes no solo, aumentando a concentração de elementos químicos na água de beber, podendo levar ao desenvolvimento de doenças como cáries dentárias, úlceras gástricas e duodenais, dermatites, otites, conjuntivites, dentre outras (OPS, 2000 apud SILVA, 2003; SOUZA, 2008).

Quanto ao oxigênio dissolvido, dentre os poços amostrados, os maiores e menores valores foram obtidos nos poços PT-04 (7,98 mg/L) e PM-03 (1,56 mg/L), respectivamente, enquanto que a média deste parâmetro foi de 4,84 mg/L (Figura 6).

Figura 6 – Valores de oxigênio dissolvido nos poços de monitoramento



Observa-se que algumas amostras obtiveram resultados acima da faixa mínima estipulada pela Resolução CONAMA nº 357/2005 enquanto outras estiveram abaixo deste limite, mas o valor médio enquadrou-se próximo do estipulado.

Conceição et al. (2009) afirmam que, em águas subterrâneas, o oxigênio dissolvido assume concentrações conforme percorre as etapas do ciclo hidrológico. É um importante indicador de poluição, evidenciando a oxidação de substâncias orgânicas e intensidade da autodepuração produzida por bactérias. Sua solubilidade na água depende, como em todos os gases, dos fatores de temperatura e pressão, ou seja, com a elevação da temperatura e diminuição da pressão ocorrem redução e solubilidade do oxigênio na água, respectivamente.

5.2 Concentração das espécies nitrogenadas (NH_3 , NO_2^- , NO_3^-), Ca, Mg, STD e razão iônica $\text{rMg}^{+2}/\text{rCa}^{+2}$

Na tabela 5 e 6 constam os resultados obtidos para os principais cátions e ânions dissolvidos nas águas subterrâneas utilizadas pelas comunidades rurais objeto de estudo.

Tabela 5 – Concentrações das espécies químicas nitrogenadas (NH_3 , NO_2^- , NO_3^-) nas águas dos poços tubulares e de monitoramento das comunidades rurais de São Benedito, Porto Grande, Inhaúma e Estiva, São Luís, MA

Poços	Nitrito (NO_2^-) (mg/L)				Nitrato (NO_3^-) (mg/L)				Amônia (NH_3) (mg/L)			
	mar./15*	maio/15	jul./15	set./15	mar./15	maio/15	jul./15	set./15	mar./15*	maio/15	jul./15	set./15
PM 01	-	<0,001	0,03	0,02	0,62	0,21	0,35	1,55	-	0,09	<0,001	0,01
PT 01	-	<0,001	0,24	<0,001	0,62	0,49	0,38	1,73	-	0,054	<0,001	0,01
PM 02	-	<0,001	0,03	0,02	0,31	0,35	0,77	1,27	-	0,054	<0,001	0,01
PT 02	-	0,03	0,01	0,03	0,49	0,41	0,7	1,67	-	0,036	<0,001	0,01
PM 03	-	<0,001	<0,001	-	0,49	0,70	0,28	-	-	0,018	<0,001	-
PT 03	-	<0,001	0,03	<0,001	0,93	0,49	0,80	1,82	-	0,036	<0,001	0,01
PM 04	-	<0,001	0,02	0,02	0,93	0,42	1,12	1,86	-	0,018	<0,001	0,01
PT 04	-	<0,001	0,04	<0,001	1,24	0,75	1,00	2,17	-	0,036	<0,001	0,01
MS 2.914/2011	1,00				10,00				1,50			

*Parâmetros não determinados no mês de março de 2015.

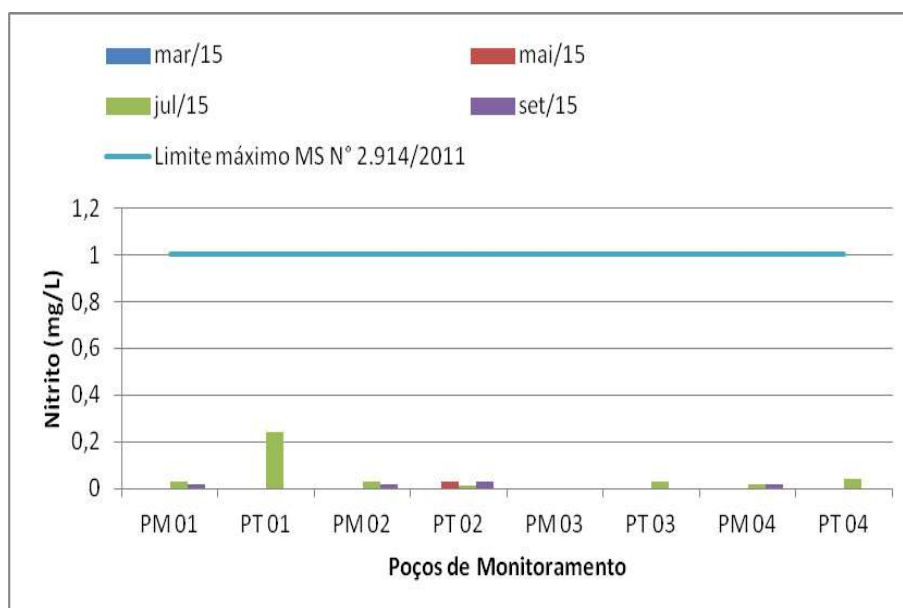
Tabela 6 – Concentrações de Cálcio (Ca^{+2}), Magnésio (Mg^{+2}), razão iônica ($\text{rMg}^{+2}/\text{rCa}^{+2}$), Sólidos Totais Dissolvidos (STD) nas águas dos poços tubulares e de monitoramento das comunidades rurais de São Benedito, Porto Grande, Inhaúma e Estiva, São Luís, MA

Poços	Cálcio (Ca^{+2}) (mg/L)				Magnésio (Mg^{+2}) (mg/L)				$\text{rMg}^{+2}/\text{rCa}^{+2}$ (meq/L)				STD (mg/L)			
	mar./15	maio/15	jul./15	set./15	mar./15	maio/15	jul./15	set./15	mar./15	maio/15	jul./15	set./15	mar./15	maio/15	jul./15	set./15
PM 01	5,6	2,4	7,2	4,8	0,48	0,48	0,5	2,9	0,14	0,32	0,11	0,99	53,30	106,54	55,90	34,97
PT 01	1,6	0,8	1,95	9,6	1,45	1,45	4,9	1,9	1,49	2,98	4,13	0,32	34,90	52,00	99,45	69,74
PM 02	3,2	2,4	3,2	1,6	0,97	0,48	2,0	0,97	0,49	0,32	1,02	0,99	45,17	69,29	27,23	20,86
PT 02	1,6	2,4	5,6	4,0	0,48	1,94	2,43	1,45	0,49	1,33	0,71	0,59	83,25	63,50	53,36	34,71
PM 03	2,4	2,4	2,4	-	1,94	1,45	0,97	-	1,33	0,99	0,66	-	31,13	36,59	31,98	-
PT 03	7,2	7,21	5,6	16,8	0,48	0,97	0,5	2,43	0,10	0,22	0,14	0,23	177,45	167,05	132,54	85,86
PM 04	2,4	4,8	6,4	6,4	0,48	0,48	1,95	2,9	0,32	0,16	0,50	0,74	80,92	74,49	52,06	46,99
PT 04	8,01	6,41	8,0	22,4	0,48	2,43	3,4	1,94	0,09	0,62	0,69	0,14	244,4	185,25	167,05	145,6
MS 2.914/2011	*				*				-				1000			
Águas doces									0,3 a 1,5							
Água do mar									≥ 5							

*Parâmetros não normatizados pela Portaria MS 2.914/2011; MS – Ministério da Saúde;

O nitrito (N-NO_2^-) indicou valor médio de 0,022 mg/L, sendo o valor mínimo abaixo de <0,001 mg/L em todos os poços durante o mês de maio (período chuvoso), com exceção do PT-02 que registrou uma concentração de 0,03 mg/L, e máximo de 0,24 mg/L no PT-01 na campanha do mês de julho (período de estiagem) (Figura 7).

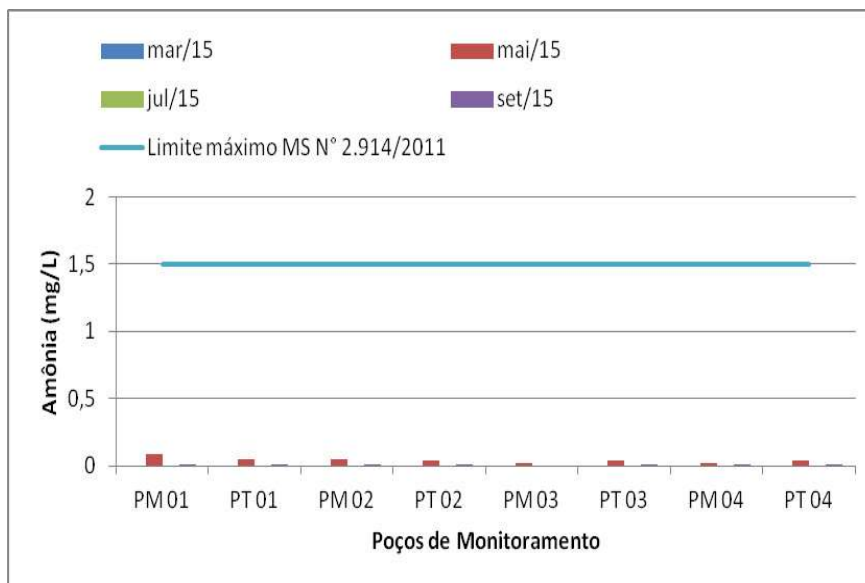
Figura 7 – Valores de nitrito nos poços de monitoramento



Considerando que a Portaria MS nº 2.914/2011 estabelece o limite de 1,0 mg L⁻¹ de nitrito em águas destinadas ao consumo humano, observou-se que nenhuma amostra (100%) apresentou valores acima do permitido. Silva et al. (2010) em estudo desenvolvido em dois poços tubulares na área da Água mineral Mar Doce, pertencente ao município de Paço do Lumiar-MA, evidenciaram concentrações de nitrito $\leq 0,005$ mg/L.

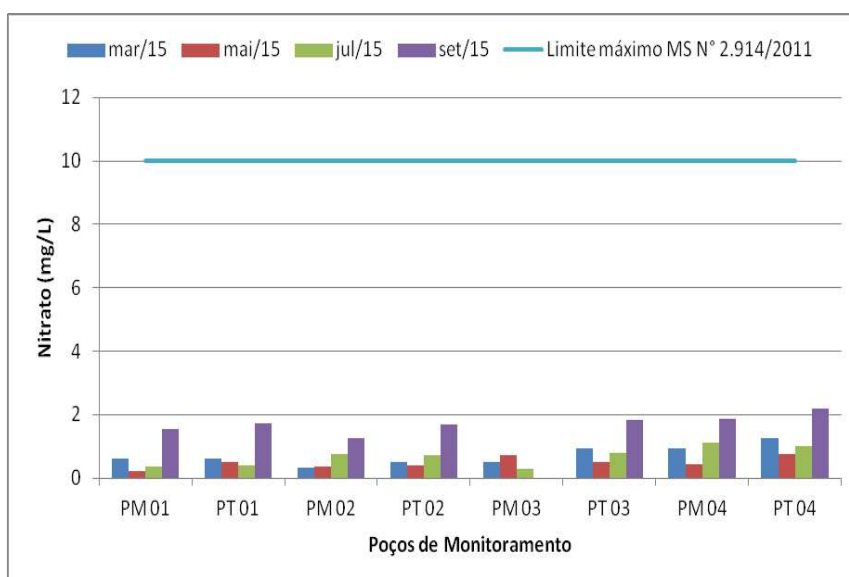
Com relação à amônia (NH_3) seu valor médio foi de 0,013 mg/L, sendo o valor mínimo abaixo de < 0,001 mg/L em todos os poços durante a campanha do mês de julho (período estiagem) e máximo de 0,09 mg/L no PM-01 na campanha do mês de maio (período chuvoso), mantendo-se dentro da faixa estipulada pela Portaria MS nº 2.914/2011 que prevê um limite de 1,5 mg L⁻¹ de amônia em águas de abastecimento (Figura 8).

Figura 8 – Valores de amônia nos poços de monitoramento



O nitrato (N-NO_3^-) indicou valor médio de 0,84 mg/L, sendo o valor mínimo de 0,21 mg/L registrado durante o mês de julho (período estiagem) no PM-01 e máximo de 2,17 mg/L no PT-04 na campanha do mês de setembro (período de estiagem) (Figura 9).

Figura 9 – Valores de nitrato nos poços de monitoramento



Considerando que a Portaria MS nº 2.914/2011 estabelece o limite de 10 mg L⁻¹ de nitrato em águas de abastecimento, observou-se que nenhuma das amostras analisadas apresentou valores acima do permitido. Supõe-se que o mecanismo de filtragem e as reações químicas ocorridas no solo contribuíram para os resultados alcançados.

Fetter (1993) atribui que o processo de redução do nitrato a nitrogênio gasoso (N_2) constitui um mecanismo importante para a diminuição do teor deste elemento em águas subterrâneas. Antes de atingir a zona saturada, muitos compostos são modificados e/ou retidos nos sedimentos. O NH_4^+ é retido por reações de troca de cátions e junto com o K^+ , pode ser fortemente fixado pelas argilas. Essa fixação ou troca catiônica pode reter uma grande quantidade de NH_4^+ quando a água residuária infiltra-se no terreno, retardando a transferência de nitrogênio na forma de NH_4^+ ou NO_3^- para a superfície freática.

Silva et al. (2010) em estudo desenvolvido em dois poços tubulares na área da Água mineral Mar Doce, pertencente ao município de Paço do Lumiar – MA, evidenciaram concentrações de nitrato variando entre 1,2 e 10,2 mg/L.

Os compostos nitrogenados, principalmente nitrito e nitrato, quando presentes em altas concentrações na água de beber, podem causar sérios prejuízos à saúde.

O nitrato é um dos elementos mais problemáticos para a saúde humana, pois quando entra no trato digestivo humano pode se transformar em nitrito e, este em excesso, pode causar doenças como a metahemoglobinemia, ou síndrome do Bebê Azul (WILLIAMS, 1998). Com base no exposto, percebe-se que os moradores das comunidades alvo de estudo ainda não estão correndo risco de serem acometidas por esta e outras doenças relacionadas ao excesso destes elementos químicos na água de consumo.

Quanto ao íon cálcio, durante a pesquisa apresentou valor médio de 5,21 mg/L, sendo o valor mínimo de 0,8 mg/L no poço PT-01 durante a campanha do mês de maio (período chuvoso) e máximo de 22,4 mg/L no poço PT-04 durante a campanha do mês de setembro (período de estiagem).

Tanto a Organização Mundial da Saúde, quanto a Portaria MS nº 2.914/2011, bem como a Resolução CONAMA nº 396/2008, não fazem referência à concentração de cálcio isoladamente, mas este elemento aparece associado à dureza total da água. Feitosa e Manoel Filho (1997) ensinam que a faixa de variação para as águas subterrâneas naturais está entre 10 e 100 mg/L. O teor elevado de cálcio pode causar a hipercalcemia. Os seus sintomas são caracterizados por perda de apetite, náusea, vômito, dor abdominal, boca seca, sede e frequência urinária. Em casos extremos de hipercalcemia pode causar confusão mental, delírio, coma ou mesmo morte (WEAVER; HEANEY, 1999 apud SHUQAIR, 2002).

O magnésio apresentou valor médio de 1,49 mg/L, sendo o mínimo de 0,48 mg/L em quase todos os poços durante todo o período chuvoso, e o máximo de 4,9 mg/L no poço PT-01 no mês de julho (período de estiagem). Devido sua maior solubilidade, quando comparada ao cálcio, o magnésio é geralmente encontrado em águas naturais, mas em concentrações menores do que o cálcio, ou seja, de 1 a 40 mg/L (SANTIAGO et al., 2007).

Não existe normatização pela Portaria MS nº 2.914/2011 para concentrações de magnésio (Mg^{+2}) na água para consumo humano. No entanto, alguns autores relatam que o excesso desse elemento reduz a frequência cardíaca em pessoas com problemas do coração; em dosagens adequadas, trata tensão pré-menstrual e a hipertensão, previne cálculos renais e biliares e auxilia nos movimentos musculares (SANTIAGO et al., 2007).

Na zona de ocorrência do Aquífero Barreiras em São Luís-MA, as águas tornam-se cloretadas magnesianas-sódicas evoluindo para cloretadas sódicas-cálcicas junto às pequenas calhas de drenagem próximas ao litoral (CPRM, 1994).

Devido à sua proximidade com a faixa litorânea da Ilha do Maranhão, as águas subterrâneas da região de estudo podem sofrer intrusão salina. Resultados da razão iônica (rMg^{+2}/rCa^{+2}) registraram valor médio de 0,73 meq/L, sendo o mínimo de 0,09 meq/L no início da estação chuvosa no PT-04 e máximo de 4,13 meq/L no início do período de estiagem no PT-01.

Constata-se que durante o período estudado, quase todos os poços (96,77%) apresentaram valores compreendidos entre a faixa de 0,3 e 1,5 meq/L indicadores de água doce, descaracterizando a ocorrência de intrusão salina na região. Somente o PT-01 apresentou valores (2,98 e 4,13 meq/L) indicativos de uma possível intrusão salina, no início do período de estiagem que não é ratificada pelos valores de condutividade elétrica para esse ponto, cujos valores são compatíveis para água doce (0,3 e 1,5 meq/L). Novas campanhas de monitoramento deste parâmetro são necessárias para confirmação deste resultado, pois o PM-01, situado na mesma área e localizado a menos de 50 m do PT-01 não apresentou valores indicativos de intrusão por água salgada.

Da mesma forma, avaliando o grau de salinidade através dos conteúdos de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) os resultados obtidos para esse parâmetro variaram, entre 20,86 mg/L (PM-02) no pico do período de estiagem a 244,4 mg/L (PT-04) no início da estação chuvosa, com média de 80,11 mg/L, ou seja, bem

abaixo do limite de 500 mg/L estipulados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para classificação das águas doces.

Classificação semelhante, foi obtida por Dias et al. (2014) monitorando o conteúdo de sólidos totais dissolvidos (STD) em 11 poços localizados na área do Complexo Portuário da Ponta da Madeira, pertencente a Companhia Vale em São Luís-MA, onde o conteúdo de STD variou entre 3,7 mg/L a 642 mg/L, com média de 266,10 mg/L, classificando também as águas como doce.

Em estudo desenvolvido pela CPRM (1994), para o aquífero Barreiras em São Luís-MA, a Condutividade Elétrica das águas apresentou valor mínimo de 50 $\mu\text{S/cm}$, máximo de 1.000 $\mu\text{S/cm}$, com média de 257 $\mu\text{S/cm}$, demonstrando a presença de águas levemente salinas sem comprometimento da potabilidade.

5.3 Análise microbiológica da água

A tabela 7 mostra os resultados quanto aos testes de Coliformes totais e de *Escherichia coli* (*E. coli*), pela técnica do substrato cromogênico-fluorogênico.

Tabela 7 – Valores de Coliformes Totais e Teste de Presença/Ausência de *E. coli* em amostras de água subterrânea dos poços monitorados nas comunidades rurais de São Benedito, Porto Grande, Inhaúma e Estiva, São Luís, MA

Poço	Coliformes totais (NMP/100ml)			
	mar./15	maio/15	jul./15	set./15
PM 01	648,08	2419,6	<1	1,0
PT 01	122,4	<1	<1	<1
PM 02	214,3	2419,6	6,3	15,4
PT 02	56,5	<1	4,1	5,0
PM 03	201,4	209,8	3,1	-
PT 03	33,6	1046,2	36,4	1,0
PM 04	193,5	108,1	47,1	2,0
PT 04	37,3	<1	<1	2,0
MS 2.914/2011	Ausência			

Escherichia coli (Presença/Ausência)				
Poço	mar./15	maio/15	jul./15	set./15
PM 01	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência
PT 01	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência
PM 02	Ausência	Presença	Ausência	Ausência
PT 02	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência
PM 03	Ausência	Ausência	Ausência	-
PT 03	Ausência	Presença	Ausência	Ausência
PM 04	Ausência	Presença	Presença	Ausência
PT 04	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência
MS 2.914/2011	Ausência			

Do total analisado, 24 amostras (77,41%) apresentaram qualidade microbiológica insatisfatória para coliformes totais e 4 (12,9%) para *E. coli*. Estes resultados indicam que a água dos poços pode ter sido contaminada pelo conteúdo de fossas ou dejetos animais, a exemplo do que ocorre na comunidade de São Benedito, conforme constatação durante as campanhas de monitoramento, onde observou-se a presença de fossa/sumidouro a menos de 10 m do poço tubular (ANEXO A).

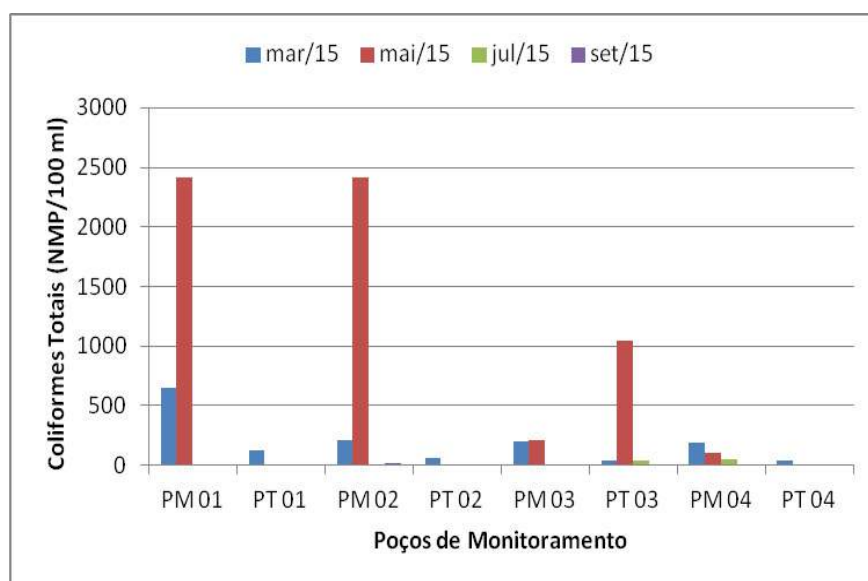
O manejo inadequado dos dejetos animais ou humanos por meio de fossas sépticas pode levar à contaminação da água por micro-organismos de origem fecal, *Escherichia coli* e enterococos, que podem ser carregados do solo para fontes de água superficiais, como córregos e represas, ou sofrerem percolação, podendo atingir lençóis de água subsuperficial, causando contaminação, principalmente em época de alta pluviosidade (COGGER, 1988). Colvara, Lima e Silva (2009), ao avaliar a qualidade de águas subterrâneas de poços artesianos no sul do Rio Grande do Sul, observaram que 100% das amostras estavam contaminadas por coliformes totais e 70% delas apresentavam coliformes termotolerantes. Os autores ressaltaram que vários fatores podem ser responsáveis pela contaminação: falta de manutenção do reservatório; localização inadequada do poço; e falta de cuidado e higiene com a água antes do consumo. Neste aspecto, a má qualidade da água tem sido diretamente associada às doenças diarréicas de veiculação hídrica, especialmente nas periferias das cidades em países em desenvolvimento e na zona rural (COLVARA et al., 2009).

Resultado similar é relatado por Amaral et al. (2003) em estudo desenvolvido na região nordeste do estado de São Paulo que, analisando a água

para consumo humano em propriedades rurais, verificaram que aproximadamente 96% das amostras de água de poços rasos analisadas apresentavam-se impróprias para o consumo humano, representando fator de risco à saúde, tendo em vista as altas concentrações de coliformes fecais encontradas. A Portaria MS nº 2.914/2011 estabelece que a água destinada ao consumo humano em qualquer situação, incluindo fontes individuais como poços, minas e nascentes deve ter ausência de *Escherichia coli* em 100 ml da amostra.

Valores acentuados de Coliformes Totais (2.419,6 e 1.046,2 NMP/100ml) foram encontrados nos poços PM-01, PM-02 e PT-03, respectivamente, na campanha do mês de maio que corresponde ao período de maior índice pluviométrico (Figura 10).

Figura 10 – Número mais provável de coliformes totais/100 ml em amostras de água subterrânea



A Portaria MS nº 2.914/2011 estabelece que a água destinada ao consumo humano deve ter ausência de Coliformes Totais em 100 ml da amostra. No caso de amostras individuais procedentes de poços, fontes, nascentes e outras formas de abastecimento sem distribuição canalizada, tolera-se a presença de coliformes totais, na ausência de *Escherichia coli*, cabendo ao órgão de vigilância ambiental investigar o motivo da ocorrência das bactérias e tomar as providências imediatas de caráter preventivo e corretivo.

5.4 Flutuação do nível freático dos poços monitorados

A partir das leituras do nível d'água nos 04 poços de monitoramento foi possível monitorar as variações de profundidade do lençol freático, no entanto para os poços tubulares utilizados pelas comunidades tal abordagem não foi possível devido a impossibilidade de abertura dos mesmos.

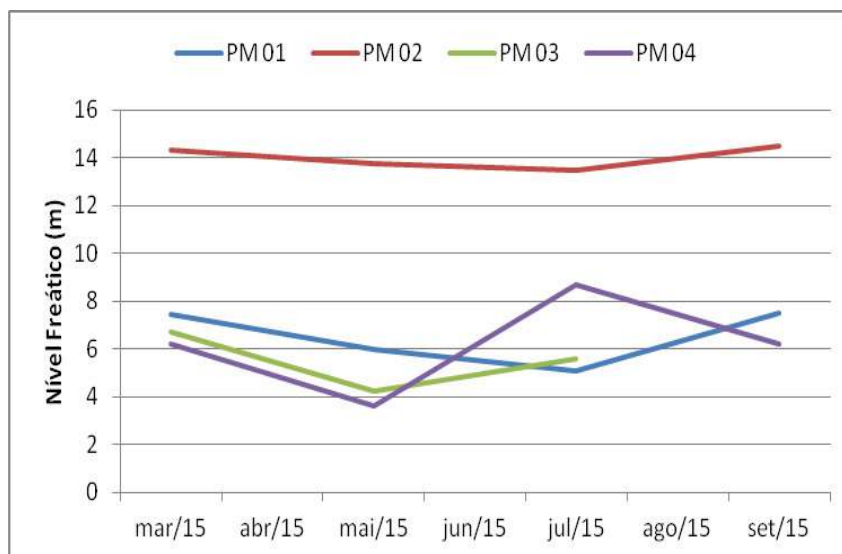
Na tabela 8 são apresentados os resultados da variação bimestral do nível freático nos 04 poços de monitoramento. Os valores de profundidade mínima, máxima, média e do desvio padrão comprovam a ocorrência de flutuações do lençol freático.

Tabela 8 – Variação bimestral do nível freático (m) dos poços de monitoramento

Poço	mar./15	maio/15	jul./15	set./15
PM-01	7,44	5,97	5,08	7,52
PM-02	14,30	13,77	13,47	14,50
PM-03	6,71	4,22	5,57	-
PM-04	6,21	3,60	8,68	6,20
Média	8,66	6,89	8,20	9,4067
Máx.	14,30	13,77	13,47	14,50
Mín.	6,21	3,60	5,57	6,20
Desvio Padrão	3,79047	4,6952	3,8581	4,4601

O nível freático esteve mais próximo da superfície do solo em maio de 2015, quando atingiu 3,6 m no poço PM-04. Já, a maior profundidade do nível d'água do período monitorado, foi registrada em setembro do corrente ano (período de estiagem), quando o nível freático foi de 14,5 m no poço PM-02. O poço PM-02 apresentou pouca variação no nível freático durante o período de estudo (Figura 11).

Figura 11 – Variação do nível freático dos poços de monitoramento



A flutuação do nível freático está intimamente relacionada com o tipo de solo local, que influencia na infiltração e recarga do meio aquoso através das precipitações pluviométricas. Os solos da região podem ser caracterizados como areia quartzosa distrófica latossólica (AQ1) e Podzólico vermelho amarelo concrecionado (PVcf), solos que apresentam alta permeabilidade natural o que pode favorecer a recarga mas também a contaminação do lençol freático sobretudo do aquífero livre situado logo abaixo (MARANHÃO, 1998). Esta alta capacidade de recarga natural pode influenciar na dinâmica dos minerais presentes nas rochas, aumentando sua concentração nas águas subterrâneas. A proximidade do nível d'água com a superfície do solo também pode contribuir para a contaminação do manancial subterrâneo pelo conteúdo microbiológico presente nas fossas rudimentares dos moradores. Pode-se verificar, também, a influência da sazonalidade da precipitação pluviométrica sobre estas variações.

De acordo com Sousa (2006), o ciclo anual das chuvas no litoral maranhense segue um padrão unimodal definido por um máximo, oscilando entre 350 e 500 mm, ocorrendo os meses mais chuvosos, entre março e abril, com acentuado declínio nos meses colaterais. A estação chuvosa, que vai de dezembro a julho, precipita mais de 90% do total da chuva anual, sendo que o trimestre mais chuvoso (março-abril-maio) corresponde a 55% desse total. A pluviometria anual, cujos valores médios variam entre 1.400 e 2.200 mm é irregular, podendo apresentar grandes desvios percentuais negativos em relação à média, chegando a valores de até 70%.

Dias et al. (2014), monitorando a flutuação do nível freático de 11 poços situados na área do Complexo Portuário da Ponta da Madeira, pertencente a Companhia Vale em São Luís-MA, nos anos de 2008 e 2009, perceberam que a recarga estava diretamente relacionada com a pluviometria, ou seja, os poços foram recarregados sem uma expressiva variação no decorrer de cada ano, pois foi verificado que o nível estático comportou-se com pouca variação, ou seja, houve recarga do aquífero.

5.5 Análise estatística dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos da água subterrânea da região em estudo

Os resultados do teste ANOVA, apresentados na tabela 9, mostraram a existência de diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre os poços somente para os parâmetros: condutividade elétrica, turbidez, nitrato e nível de elevação.

Tabela 9 – Resultados do teste ANOVA identificando os parâmetros físico-químicos que apresentaram diferença estatisticamente significante ($p \leq 0,05$), entre os poços estudados

	CE	Turbidez	Nitrato	NE
Valor p	0,000995	0,001728	0,00000756	0,00932
n	31	31	31	15

n = número de amostras; CE = Condutividade elétrica; NE = Nível estático

Quanto à análise de condutividade elétrica, aplicando-se o teste de Tukey para identificação de quais médias foram diferentes percebeu-se que aquelas apresentadas pelos poços PT-03 e PT-04 foram significativamente maiores que as demais. Apesar deste parâmetro encontrar-se abaixo do limite máximo permitido estabelecido pela Portaria MS nº 2.914/2011, trata-se de uma situação de alerta a ser verificada em novos trabalhos de monitoramento nas águas subterrâneas da região, mais precisamente nestes 02 poços pois a condutividade elétrica da água é uma medida da capacidade deste líquido em conduzir corrente elétrica e possui relação direta com o conteúdo de sais dissolvidos na água, influenciando a salinidade do meio aquoso.

Quanto à turbidez, o teste de Tukey evidenciou que a média apresentada pelo poço PT-04 foi menor quando comparada com as demais. Este poço foi perfurado pela concessionária CAEMA e acredita-se que o correto cumprimento dos

processos construtivos tenha contribuído para a manutenção de índices de turbidez bem reduzidos, muito embora novos estudos sejam necessários para o melhor entendimento deste fenômeno.

Quanto ao nitrato, os resultados do teste ANOVA mostraram a existência de diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) apenas quando se comparou os teores deste parâmetro com os períodos de amostragem. Nesta análise, percebe-se que a concentração de nitrato atingiu maiores valores na campanha realizada no mês de setembro do período estudado.

Quanto ao nível estático, o teste de Tukey indicou que a média apresentada pelo poço PM-02 foi significativamente maior que os demais poços. Supõe-se que a localização deste poço em cota altimétrica mais elevada do que os demais tenha contribuído para este fenômeno.

Os resultados do teste de Mann Whitney e Kruskal-Wallis, apresentados na tabela 10, mostraram a existência de diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) para Coliformes totais e cálcio, respectivamente, quando comparados com os meses de amostragem.

Tabela 10 – Resultados do teste Mann-Whitney e Kruskal-Wallis identificando os parâmetros físico-químicos que apresentaram diferença estatisticamente significativa ($p \leq 0,05$), entre os poços estudados

	Mann-Whitney Coliformes totais	Kruskal-Wallis Cálcio
Valor p	0,0004	0,01
n	31	31

n = número de amostras

Os resultados mostram, quanto ao parâmetro Coliformes totais, que os meses de julho e setembro, representativos do período de estiagem no presente ano de estudo, apresentaram menores valores nas amostras de água subterrânea. Percebe-se mais uma vez a influência da sazonalidade sobre a contaminação bacteriológica dos mananciais subterrâneos.

Quanto ao elemento cálcio, analisando os resultados do teste de Kruskal-Wallis, percebe-se que os poços PT-03 e PT-04 apresentaram as maiores médias deste íon em relação aos demais poços.

Os resultados do teste de Kruskal-Wallis mostraram a inexistência de diferenças significativas quando se comparou o período de amostragem com os

seguintes parâmetros físico-químicos: condutividade elétrica, turbidez, magnésio e o nível de elevação ($p > 0,05$).

6 CONCLUSÃO

- a) quanto à qualidade físico-química da água, a turbidez mostrou-se elevada e em desconformidade com a Portaria MS nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, em boa parte do período estudado, podendo interferir na eficiência de futuros trabalhos de cloração da água consumida pelos moradores. Os demais parâmetros demonstraram variação dentro do esperado;
- b) os valores de pH em 90% das amostras coletadas situaram-se abaixo do valor mínimo permitido pela Portaria MS nº 2.914/2011;
- c) quanto à concentração de nitrito, nitrato e amônia, nenhuma amostra apresentou-se acima dos limites preconizados pela legislação;
- d) a razão iônica (rMg^{+2}/rCa^{+2}) indicou que a água dos poços monitorados ainda não está contaminada pela intrusão salina;
- e) a presença de *Escherichia coli* em parte das amostras analisadas coloca em risco a saúde das famílias;
- f) os resultados do teste ANOVA seguido do teste de Tukey, para o parâmetro condutividade elétrica, indicaram situação de alerta no que diz respeito à continuidade dos trabalhos de monitoramento da salinidade nos poços PT-03 e PT-04;
- g) o teste de Mann-Whitney permitiu verificar, para as análises de coliformes totais, a influência da sazonalidade sobre a concentração deste indicador bacteriológico.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As águas subterrâneas assumiram um papel importante como fonte de abastecimento de água, seu monitoramento contínuo e permanente permitirá antever possíveis impactos causados pelas atividades humanas e auxiliar na melhor tomada de decisão para o controle e minimização dos impactos bem como para o correto gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos, contribuindo para a manutenção da saúde das populações. Com os dados oriundos desta pesquisa ainda não podemos afirmar que o aquífero local encontra-se contaminado, apesar de haver alguns indícios pontuais de contaminação. Estes valores servem para mostrar a necessidade do monitoramento permanente dos poços, já que esta solução alternativa de abastecimento de água é a única na região.

Em virtude da grande importância do manancial subterrâneo para o abastecimento da população e diante da necessidade de proteção dos recursos hídricos subterrâneos locais e consequente manutenção da saúde dos usuários dos mananciais estudados, recomenda-se:

- a) estabelecer perímetros de proteção de poços levando-se em consideração o grau de vulnerabilidade do aquífero local;
- b) a cloração permanente da água visando diminuir os riscos de contaminação bacteriológica;
- c) criação de um programa permanente de monitoramento da qualidade físico-química e bacteriológica das águas subterrâneas na zona rural de São Luís-MA;
- d) inclusão de outros indicadores de intrusão salina, além do cálcio e magnésio, tais como: cloreto, sódio e potássio, para maior embasamento de futuras análises de dados quantitativos;
- e) controle e fiscalização das obras de perfuração de poços, mediante contratação de profissional legalmente habilitado, cumprindo os critérios exigidos pela norma de perfuração de poços;
- f) implementação de campanhas de educação sanitária e ambiental nas Comunidades da zona rural de São Luís-MA;
- g) lacre dos poços tubulares abandonados para não se tornarem fontes de contaminação;

- h) implantação de rede coletora de esgotos através da interligação das fossas sépticas das residências e de sistema de drenagem de águas pluviais na zona rural de São Luís-MA;
- i) cumprimento do Plano Diretor do Município de São Luís, Lei Municipal nº 4.669 de 11 de outubro de 2006, para o correto ordenamento do uso e ocupação do solo na zona rural;
- j) desenvolvimento de estudos na área para avaliação do grau de vulnerabilidade natural do aquífero local visando o disciplinamento do uso e ocupação do solo da região.

Caso estas medidas sejam adotadas, espera-se proteger os recursos hídricos subterrâneos locais e preservar a saúde da população residente através da diminuição da incidência de doenças de veiculação e/ou origem hídrica.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA AMBIENTAL. **Entraves ao investimento em saneamento**. 2013. Disponível em: <<http://www.abes-sp.org.br/arquivos/entraves.pdf>>. Acesso em: 3 jul. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Construção de poço para captação de água subterrânea NBR12244**. 1992. Disponível em: <<http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-12.244-Construc%C3%A3o-de-po%C3%A7o-para-capta%C3%A7%C3%A3o-de-%C3%A1gua-subterr%C3%A2nea.pdf>>. Acesso em: 4 nov. 2015.

ABNT. **NBR 15.847**: amostragem de águas subterrâneas em poços de monitoramento – método de purga. Rio de Janeiro, 2010. 20 p.

_____. **NBR 15.495-2**: poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquífero granulares: parte-2: desenvolvimento. Rio de Janeiro, 2007. 29 p.

ABRAMOVICH, B. et al. Cryptosporidium y agua: estudio de una asociación riesgosa. **Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, Argentina, n. 36, p. 30-34, 1998.

ALBUQUERQUE, H. R. **A água, reservatórios naturais, captação e suas características**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2002.

ALMEIDA, R.A.S. de. Minicurso: controle de qualidade da água para consumo humano. In: CONGRESSO NORTE-NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 5., 2010, Maceió. **Anais...** Maceió: IFAL, 2010. Disponível em: <<http://connepi.ifal.edu.br/ocs/index.php/connepi/CONNEPI2010/paper/viewFile/517/320>>. Acesso em: 14 maio 2015.

AMARAL, L.A. et al. Água de consumo humano como fator de risco à saúde em propriedades rurais. **Revista de Saúde Pública**, v. 37, n. 4, p. 510-514, 2003.

AMINOT, A.; CHAUSSEPIED, M. **Manuel des analyses chimiques en milieu Marine**. Paris: Brest, Center National pour exploitation des Océans, 2003.

APHA; AWWA; WPCF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Baltimore: Port City Press, 2005.

ARBUCKLE, T.E. et al. Water nitrates and CNS birth defects: a population-based case-control study. **Archives of Environmental Health**, v. 43, n. 2, p. 162-167, 1988.

BASTOS, R.K.X.; BEVILACQUA, P.D.; NASCIMENTO, L.E. Coliformes como indicadores da qualidade da água: alcance e limitações. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2000, Porto Alegre. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2000.

BASTOS, R.K.X. et al. Abordagem sanitário-epidemiológica do tratamento e da qualidade parasitológica da água: entre o desejável e o possível. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABES, 2001. CD-ROM.

BATALHA, B.H.L.; PARLATORE, A.C. **Controle da qualidade da água para consumo humano**: bases conceituais e operacionais. São Paulo: CETESB, 1993.

BENETTI, A.; BIDONE, F. O meio ambiente e os recursos hídricos. In: TUCCI, C.E.M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. Porto Alegre: Ed. UFRGS; ABRH, 1995. p. 669.

BOHEN, H.; MEURER, E. J.; BISSANI, C. Solos afetados por sais (109-126). In: MEURER, E. J. (Ed.). **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Genesis, 2000.175p.

BORGES, G.B.C. et al. Avaliação de tecnologias para o monitoramento de águas subterrâneas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 27., 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABRH, 2007. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/sgcv3/userfiles/sumarios/e8f96c42b845091b0dd09d0528e79196_a3b4b25a61680364db17410beb804bd0.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2014.

BRAGA, B. **Introdução à engenharia ambiental**. 2. ed. São Paulo: [s.n.], 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n° 357, de 23 de janeiro 2005. Brasília, DF, 2005.

_____. Resolução n° 396, de 3 de abril de 2008. Brasília, DF, 2008.

_____. Resolução n° 420, de 28 de dezembro de 2009. Brasília, DF, 2009.

_____. Resolução n° 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Brasília, DF, 2011.

_____. Ministério da Saúde. Portaria n° 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2011. Disponível em: <http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/Portaria_MS_2914-11.pdf>. Acesso em: 21 maio 2015.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília, DF, 2006. 212 p. Disponível em: <<http://portalsaude.saude.gov.br/images/pdf/2014/maio/30/Manual-de-Vigilancia-e-Controle-da-Qualidade-da-Agua.pdf>>. Acesso em 12 fev. 2016.

_____. **Sistema de vigilância da qualidade da água para consumo humano SISAGUA 2013**. Brasília, DF, 2013. Disponível em: <<http://portalweb04.saude.gov.br/sisagua>>. Acesso em: 7 jul. 2015.

_____. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2011**. Brasília, DF, 2011. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br>>. Acesso em: 7 jul. 2015.

CALIJURI, M.L. et al. Estudo de indicadores de saúde ambiental e de saneamento em cidade do Norte do Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, jan./mar. 2009.

CAPPI, N. et al. Qualidade química e sanitária da bacia do córrego João Dias, Aquidauana/MS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 40., 2011, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: CONBEA, 2011. p. 1-9.

CAPUCCI, E. et al. **Poços tubulares e outras captações de água subterâneas: orientação aos usuários**. Rio de Janeiro: SEMADS, 2001. 70 p.

CARVALHO, A. R.; SCHLITTLER, F. H. M.; TORNISIELO, V. L. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água. **Química Nova**, v. 23, n. 5, p. 618-622, 2000.

CASTRO, Tatiana Cristina Santos de. **Implicações socioambientais na área do Distrito Industrial de São Luís – MA, Brasil**. 2014. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade de Ecossistema) – Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade de Ecossistemas, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2014.

CETESB. **Poluição das águas subterrâneas e do solo causada por vazamentos em postos de abastecimento**: Waterloo hydrogeologic. São Paulo, 1996.

Disponível em:

<<http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/postos/introducao>>. Acesso em: 15 out. 2015.

CHAVES, A. de. **Monitoramento de águas subterrâneas em um empreendimento potencialmente poluidor no município de Santa Maria/RS**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/ppgec/wp-content/uploads/dissertao_adilson_chaves.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2014.

COGGER, C. On-site septic systems: the risk of groundwater contamination. **Journal of Environmental Health**, v. 51, n. 1, p.12-16, 1988.

COLVARA, J. G.; LIMA, A. S.; SILVA, W. P. Avaliação da contaminação de água subterrânea em poços artesianos no sul do Rio Grande do Sul. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 2, p. 11-14, 2009.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil, São Luís Folha SA.23-Z-A**: Cururupu: Folha SA.23-X-C Escala 1:250.000 Estado do Maranhão. Brasília, DF: CPRM, 1994. 181 p.

CONCEIÇÃO, Fabiano Tomazini da et al. Hidrogeoquímica do aquífero guarani na área urbana de Ribeirão Preto (SP). **Geociências (São Paulo)**, São Paulo, v. 28, n. 1, 2009. Disponível em: <http://papego.igc.usp.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-90822009000100006&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 5 nov. 2015.

CONOVER, W. J. **Practical nonparametric statistics**. New Jersey: John Willey & Sons, 1990. 584 p.

COZZARELLI, I. M. et al. Geochemical and microbiological methods for evaluating anaerobic processes in na aquifer contaminated by Landfill Leachate. **Environmental Science & Technology**, v. 34, n. 18, p. 4025-4033, 2000.

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

DALFOVO, Michael Samir; LANA, Rogério Adilson; SILVEIRA, Amélia. Métodos quantitativos e qualitativos: um resgate teórico. **Revista Interdisciplinar Científica Aplicada**, Blumenau, v. 2, n. 4, p. 01-13, 2008.

DEMATTE, J. L. I.; DEMATTE, J. A. M. ; MAZZA, J. A. Caracterização e gênese de uma topossequência Latossolo Amarelo-podzol originado de material da formação barreiras – estado de Alagoas. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 53, n. 1, 1996.

DIAS, Samantha Barriga et al. Análise dos dados quali-quantitativos dos poços tubulares em produção do Complexo Ponta da Madeira, São Luís/MA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 18., 2014, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28260>. Acesso em: 16 fev. 2016.

DUARTE, A. de S.; CUNHA, A. C. da; BRITO, D. C. de. Monitoramento da qualidade da água utilizada para consumo humano no bairro Santa Rita, Macapá, Amapá, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25., 2009, Recife. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2009.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza: Serviço Geológico do Brasil; CPRM/REFO; LABHID/UFPE, 2000. 391 p.

_____. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM; Serviço Geológico do Brasil; LCR, 1997. 389 p.

FENZEL, N. **Introdução à hidrogeoquímica**. Belém: UFP, 1986. 189 p.

FERREIRA, P. A. Aspectos físico-químicos do solo. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. de (Ed.). **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, 1997. p. 37-67.

FORMAGGIA, D. M. E. et al. Portaria 36 GM de 19/01/90: necessidade de revisão. **Eng. Sanit. Amb.**, v. 1, n. 2, p. 5-10, 1996.

FETTER, C. W. **Contaminant hydrogeology**: upper soddler river. New Jersey: Prentice-Hall, 1993. 458 p.

FOSTER, S. et al. **Groundwater quality protection**: defining strategy and setting priorities GW-MATE Briefing Note n. 8. 2003.

FOSTER, S. et al. **Groundwater quality protection**: a guide for Water Service Companies, Municipal Authorities, and Environment Agencies. 2011.

GIAMPÁ, C. E. Q.; GONÇALES, V. G. **Orientações para a utilização de águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo, SP: ABAS; FIESP; Departamento de Meio Ambiente, 2005. 40 p. Disponível em: <<http://www.abas.org/arquivos/aguasf.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2015.

GRABOIS, J. Que urbano é esse? o habitat num espaço de transição do norte de Pernambuco. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 13, n. 36, p. 79-104, 1999.

HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, n. 1, p. 9, 2001.

HOLANDA, J. S. de; AMORIM, J. R. A. de. Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. de (Ed.). **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, 1997. p. 137-169.

IBGE. **Censo geográfico de 2010**. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat>>. Acesso em: 2 jul. 2015.

_____. **Base de informações do censo demográfico 2010**: resultados do universo por setor censitário. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **Síntese de indicadores sociais 2008**: uma análise das condições de vida da população brasileira. Rio de Janeiro, 2008.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Relatório da situação social nos estados**: o caso do Maranhão. Brasília, DF, 2012. 55 p.

INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS. **Maranhão em dados**: programa estadual de gerenciamento costeiro. São Luís, 2007.

MARANHÃO (Estado). Decreto nº 7.632, de 23 de maio de 1980. Aprova o projeto de implantação do Distrito Industrial de São Luís. **Diário Oficial do Estado do Maranhão**, São Luís, 29 maio 1980.

_____. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Diagnóstico ambiental da microrregião da aglomeração urbana de São Luís e dos municípios de Alcântara, Bacabeira e Rosário**: estudo de hidrologia. São Luís, 1998. 43 p.

_____. Secretaria de Meio Ambiente. **Relatório técnico sobre as ações de educação ambiental**. São Luís, 2008. 56 p.

MARQUES, F. C.; CAVALCANTE, P. R. S.; BARBIERI, R. **Qualidade das águas subterrâneas da área urbana no município de Santa Helena (MA)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 16., ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, 17., 2010, São Luís. **Anais...** São Luís, 2010.

MESTRINHO, S. S. **Hidrogeologia, conceitos e aplicações**. Brasília, DF: CPRM, 2008.

MIERZWA, F. **A poluição das águas**. 2001. Disponível em: <<http://www.phd.poli.usp.br/phd/grad/phd2218/material/Mierzwa/Aula4-MeioAquaticoll.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2015.

ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD. **Aspecto de la lucha contra la contaminacion del agua**. Ginebra, 2000. (Cuadernos de Salud Pública, 13). Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/seminabio/article/viewfile/2903/2461>>. Acesso em: 14 ago. 2014.

PÁDUA, V. L.; FERREIRA, A. C. S. Qualidade da água para consumo humano. In: HELLER, L.; PÁDUA, V. L. (Org.). **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2006. p. 153-222.

PEREIRA, Ediléa Dutra. **Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do solo e do aquífero do Reservatório Batatã – São Luís/MA**. Rio Claro: [s.n.], 2006.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO LUÍS. Secretaria Municipal Extraordinária de Projetos Especiais. **Plano municipal integrado de saneamento básico PMISB de São Luís-MA**: diagnóstico da situação dos sistemas e da prestação dos serviços. São Luís: HIDRAELE/ESSE, 2011.

RODRIGUES, T. L. N. et al. (Org.) **Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil**: São Luís, Folha SA-23-2-A, Cururupu Folha SA-23-X-C, escala 1: 250.000. Brasília, DF: CPRM, 1994.

ROITMAN, I.; TRAVASSOS, R. L.; AZEVEDO, J. L. **Tratado de microbiologia**. São Paulo: Manole, 1988. 179 p.

SANTIAGO, M. M. F. et al. **Hidrogeoquímica de Lavras da Mangabeira**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará/Departamento de Física, 2007. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/hidroq_lavras.pdf>. Acesso em: 3 dez. 2015.

SANTOS, A. C. Noções de hidroquímica. In: _____. **Hidrologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM/LABHID/UFPE, 1997.

SANTOS, R. N. dos. **Teor de sódio e outros íons em águas subterrâneas do município de Rosário (MA) e suas possíveis implicações na saúde da população**. 2011. Dissertação (Mestrado em Saúde e Ambiente) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2011. Disponível em: <http://www.tedeabc.ufma.br//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=822>. Acesso em: 24 jul. 2014.

SCHWARTZ J, Levin R.; GOLDSTEIN, R. Drinking water turbidity and gastrointestinal illness in the elderly of Philadelphia. **Journal of Epidemiology & Community Health**, v. 54, n. 1, p. 45-51, 2000.

SHUQAIR, M. S. S. **Estudo da contaminação do solo e água subterrânea por elementos tóxicos originados de rejeitos das minas de carvão de figueira no estado do Paraná/Brasil**. 2002. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível em: <http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Shuqair%20Mahmud%20Said%20Shuqair_D.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2016.

SHUVAL, H. I.; GRUENER, N. Epidemiological and toxicological aspects of nitrates and nitrites in the environment. **American Journal of public Health**, n. 62, p. 1045-1052, 1972.

SILVA, F.V. **Avaliação da contaminação das águas subterrâneas por atividade cemiterial na cidade de Maceió-AL**. 2012. 153 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2012.

SILVA, Rita de Cássia Assis da. Avaliação da qualidade bacteriológica e físico-química, para consumo humano, de água de manancial subterrâneo, em áreas urbanas de Feira de Santana/BA/Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Joinville. **Anais...** Joinville: ABES, 2003.

SILVA, R. de C. A. de; ARAÚJO, T. M. de. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 8, n. 4, p. 1019-1028, 2003.

SILVA, O. M. A.; TANCREDI, A. C. F. N. S.; TAGLIARINI, E. M. **Hidrogeologia da água mineral mar doce, Paço do Lumiar (MA)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 16., 2010, São Luís. **Anais...** São Luís, 2010.

SOCIETY FOR WATER TREATMENT AND EXAMINATION. **Water treatment and examination**. 4a ed. London: J & A Churchill, 1970. p. 133-5.

SOUSA, S. B. Regime hídrico do litoral maranhense. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HIDRICOS DO NORDESTE, 7., 2006. Gravatá. **Anais...** Gravatá, PE: SRH-MMA. 2006.

SOUSA, Sérgio Barreto de. **Sistema aquífero da ilha do Maranhão (MA)**. [S.l.: s.n.], 2000. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/24101/16130>>. Acesso em: 28 jul. 2016.

SOUZA, E. R. de. **Qualidade dos recursos hídricos subterrâneos na área da bacia hidrográfica do Rio Paciência – MA**. 2008. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2008.

SPERLING, M. Von. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG/DESA, 2005. 452 p.

THOMAZ, S. M.; ROBERTO, Maria C.; BINI, Luís M. Caracterização limnológica dos ambientes aquáticos e influência dos níveis fluviométricos. In: VAZZOLER, Anna E. A. M; AGOSTINHO, Ângelo A.; HAHN, Norma S. **A planície de inundação do alto Rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos**. Maringá: UEM, 1997.

TUCCI, C. E. M.; CABRAL, J. J. da S. P. **Qualidade da água subterrânea**. 2003. Disponível em: <http://www.cgee.org.br/arquivos/a3b_agua_sub.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2015.

TUCCI, C.E.M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: Ed. UFRGS/ABRH, 1998. 669 p.

_____. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Ed. UFRS/ABRH, 2007.

UMBUZEIRO, G. de A. et al. **Guia de potabilidade para substâncias químicas**. São Paulo: Limiar, 2012. Disponível em: <<http://www.abas.org/arquivos/guiapotabilidade.pdf>>. Acesso em: 16 out. 2015.

UNEP; WHO. **Water quality monitoring: a practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes**. Edited by Jamie Bartram and Richard Balance. Genebra, 1996.

VARNIER, C. et al. Nitrato nas águas subterrâneas do sistema aquífero Bauru, área urbana do município de Marília (SP). **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 31, n. 1/2, p. 1-21, 2010.

VASCONCELOS, A. M. et al. **Carta geológica do Brasil ao milionésimo**. Brasília, DF: SIG Prog Geol do Brasil CPRM, 2004. CD-ROM.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG/Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1996.

WHO. **Water, sanitation and hygiene links to health**. [S.l.: s.n.], 2004.

WILLIAMS, A. E. Natural and anthropogenic nitrate contamination of groundwater in a rural community, California. **Environmental Science & Technology**, v. 32, n. 1, p. 32-9, 1998.

ZAPOROZEC, A.; MILLER, J. C. **Ground-Water pollution**: international hydrological Programme. Paris: UNESCO, 2000. p. 24.

APÊNDICE A – CARACTERIZAÇÃO DOS 08 PONTOS DE COLETA DE ÁGUA MONITORADOS NO PRESENTE ESTUDO

Data: 16/01/2015

Comunidade: São Benedito	Poço de Monitoramento 01	
	Coodenadas UTM:	
	9713390	574185
Entorno do poço:  		Observações: Ausência de lixo nas proximidades.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Comunidade: São Benedito	Poço Tubular 01	
	Coodenadas UTM:	
	9713473.00	574182.00
Entorno do poço:   		Observações: Poço particular possuindo fossa rudimentar a menos de 10 metros de distância. Poço com tampa improvisada.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Localização: JAZIDA DE AREIA PINDOBA	Poço de Monitoramento 02	
	Coodenadas UTM:	
	9708526	575146
Entorno do poço: 		Observações: Proteção de alvenaria do poço quebrada. Ausência de lixo nas proximidades.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Comunidade: Porto Grande	Poço Tubular 02	
	Coodenadas UTM:	
	9705964.22	573448.13
Entorno do poço:  		Observações: A Comunidade possui fossa séptica e a coleta do lixo é feita 3 vezes por semana.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Localização: ALUMAR	Poço de Monitoramento 03	
	Coodenadas UTM:	
	9698384	573443
Entorno do poço: 		Observações: Ausência de lixo e fossas em um raio de 50 m.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Comunidade: Inhaúma	Poço Tubular 03	
	Coodenadas UTM:	
	9697821.00	573598.10
Entorno do poço: 	Observações: A comunidade não utiliza o poço perfurado pela CAEMA devido ao não pagamento da fatura de luz há mais de 5 anos. Há um ramal da adutora do sistema Italuís que distribui água aos moradores. Poço com 13 metros de profundidade sendo que até o momento, não é utilizado para consumo, somente para os afazeres domésticos e lavagem de veículos. Presença de fossa rudimentar a menos de 30 metros de distância. Segundo o morador, apesar de serem construídas de alvenaria, possuem aberturas nas paredes laterais que permitem a saída de parte dos efluentes, evitando as manutenções de esvaziamento e limpeza das mesmas. Não há coleta de lixo, os resíduos sólidos produzidos são queimados.	
Sistema de Captação de água: 		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Comunidade: Vila Samara	Poço de Monitoramento 04	
	Coodenadas UTM:	
	9697748	573448.13
Entorno do poço: 		Observações: Ausência de lixo nas proximidades. As residências descartam seus efluentes por meio de fossas rudimentares. Não há coleta de lixo, os resíduos sólidos produzidos são queimados.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Comunidade: Estiva	Poço Tubular 04	
	Coodenadas UTM:	
	9697077.00	572327.00
Entorno do poço: 		Observações: Poço localizado em propriedade particular que abastece a comunidade. Ausência de lixo nas proximidades.
Sistema de Captação de água: 		

Fonte: Elaborado pelo autor.

**ANEXO A – RELATÓRIO DE PERFURAÇÃO DO POÇO DE MONITORAMENTO
PM-02, COMUNIDADE PORTO GRANDE, JAZIDA PINDOBA, SÃO
LUÍS-MA**

**RELATÓRIO TÉCNICO FINAL DE POÇO DE MONITORAMENTO (PIEZÔMETRO).
LOCALIDADE:PORTO GRANDE (JAZIDA PINDOBA)
MUNICÍPIO: SÃO LUIS-MA**



APRESENTAÇÃO

Apresentamos, neste relatório, os trabalhos desenvolvidos para construção e definição das condições de exploração do poço PD - 07, (Piezômetro) localizado no **Povoado Porto Grande**, município de São Luis, Estado do Maranhão.

O referido poço atingiu a profundidade de 20 metros e apresentou uma vazão de 390 litros/hora, para um rebaixamento de 6,86 metros.

A principal unidade aquífera captada no local é a Formação São Luis de constituição litológica arenosa. Sua potencialidade hidrogeológica pode ser considerada baixa, conforme se encontra demonstrado pelos dados hidráulicos obtidos no teste de produção.

- À água do poço não ficou totalmente límpida, devido a um lago artificial construído a aproximadamente 30m de distância do poço, exercendo uma pressão sobre este, o que veio a causar Turbidez elevada.

O poço está localizado segundo as seguintes coordenadas:

Elevação: 20 m S 02°38'14.1" W 44°19'27.4



1. ASPECTOS CONSTRUTIVOS DO POÇO.

1.1 – Perfuração:*

SISTEMA DE PERFURAÇÃO A PERCUSSÃO

✓ **Princípio do método** – consiste em se erguer e deixar cair em queda livre, alternadamente, um pesado conjunto de ferramentas (porta – cabo, percussores, Hastes e trepano), que está suspenso por um cabo montado num tambor o cabo é acionado por meio de um balancim de curso regulável. Ao cair em queda livre o trepano rompe o material rochoso, triturando-o, ao mesmo tempo em que gira sobre o seu próprio eixo, proporcionando um juro circular. O material solto conhecido como fragmentos de perfuração é retirado do furo por meio de uma caçamba.

✓ **Preparação do local da perfuração**

Os locais da perfuração foram preparados para instalação da perfuratriz, ferramentas, acessórios, materiais, unidades de apoio, bem como a construção do tanque de sedimentação (onde foi feita a amostragem) e canaletas de escoamento do fluido de perfuração.

✓ **Profundidade** – a profundidade prevista inicialmente foi definida entre 12 e 20 metros de profundidade.

✓ **Diâmetro de perfuração** – os Diâmetros de perfuração inicialmente definido foi de 8 polegadas, pois o revestimento sendo de 4”, evita-se o embuchamento do pré-filtro e aumenta a eficiência com a retenção de material fino.

✓ **Fluido de perfuração** – visou a performa-se na perfuração, limpeza, estabilidade e produtividade do poço. O fluido de perfuração utilizado (nos poços Pindoba, Coqueiro, Alumar, Bacabeira, São Cristovão, foi à base de Bentonita, não havendo necessidade nos demais.

✓ **Amostragem:** foram coletadas, para posterior análise pelo geólogo, amostras na canaleta de escoamento de lama em intervalo de 1,00 em 1,00m.

- ✓ **Perfil litológico:** após a constatação da profundidade final da perfuração, é com base nas informações registradas, foi elaborado o Perfil Construtivo do poço pelo geólogo definindo os intervalos produtores da água.
- ✓ **Determinação do nível da água (NA) do poço:** ainda durante a perfuração, foi feita uma media do nível da água (NA) especificado no Perfil litológico de cada poço, para futuros monitoramentos dos níveis de cada poço.

A perfuração do Poço PD - 07 foi conduzida no diâmetro 8" polegadas, atingindo a profundidade de 20 metros.

O método de perfuração utilizado foi o **percussão** com fluido de perfuração à base de lama bentonítica. Durante o desenvolvimento dos trabalhos foram coletadas amostras de metro em metro para análise do geólogo responsável pela obra.

1.2 – Elaboração do Perfil Construtivo

A definição da ordem de descida do revestimento com ênfase para a telagem dos aquíferos foi feita com base na caracterização geológica do material perfurado, na correlação com outros poços na área e na dureza (resistência à perfuração) dos materiais atravessados.

Os materiais de revestimento utilizados têm as seguintes especificações técnicas:

TUBOS: Em PVC, geomecânico, modelo standard, DN 100 – S (4")

FILTROS: Em PVC, geomecânico, modelo standard, DN 100 – S (4") ranhura de 0,75mm.

A colocação dos filtros foi feita nos seguintes intervalos:

De: 16 a 20 m de profundidade.

2. COMPLETAÇÃO DO POÇO.

A completação de um poço tubular compreende as seguintes operações:

- √ - Instalação da coluna de revestimento;
- √ - Instalação do pré-filtro;
- √ - Limpeza, desenvolvimento e teste de vazão.

2.1 – Colocação da Coluna de Revestimento.

Já definida no item anterior, esta operação foi desenvolvida tomando-se as seguintes precauções:

- √ - Colocação de guias centralizadoras de revestimento a cada intervalo de 12 metros;
- √ - Obturação da extremidade inferior da coluna;
- √ - Tracionamento, mantendo o seu alinhamento e verticalidade.

2.2 – Colocação do pré-filtro

Após a descida da coluna de revestimento, diminuiu-se a viscosidade do fluido de perfuração, fazendo-se contra-fluxo de lama.

O pré-filtro foi constituído de material quartzoso, bem selecionado, granulometria compreendida entre 1,19 e 2,38mm, num total de (0,50 (meio) m³.

2.3 – Proteção Sanitária.

Constituída da mistura areia/cimento, traço 3:1, preencheu os 4 metros superiores do espaço anelar.

Completando os serviços, foi construída a laje de proteção do poço com as seguintes dimensões 1,00 X 1,00m X 0,20m.

2.4 – Limpeza e Desenvolvimento

Para a limpeza e desenvolvimento do poço utilizou-se o sistema “AIR-LIFT” de bombeamento, no qual foram mobilizados os seguintes equipamentos:

- √ - Compressor de Ar Marca PEG, modelo AP-80, com capacidade nominal de 80 pés³/min;
- √ - Tubos de Aço Galvanizado Ø ½ polegada para injeção de ar;
- √ - Tubos de PVC rígido, Ø 2 polegadas, para descarga de água

Devido à variação granulométrica dos aquíferos captados, foi feita opção, pela comprovada eficiência, pelo método de “Lavagem invertida”(BACKWASHING) em que água é bombeada para fora do poço e em seguida este é fechado e feita a simples injeção de ar para forçar a água a retornar para dentro do aquífero.

Estas operações foram repetidas de forma seqüenciada até que a água do poço fluísse totalmente límpida. A operação de desenvolvimento teve duração de 24 horas.

2.5 – Teste de Vazão.

Para a realização do teste de produção do poço, foram utilizados, além dos equipamentos anteriormente mencionados, os seguintes acessórios:

- √ - Medidor Elétrico de Nível D’água com fio numerado de metro em metro;
- √ - Recipiente de Volume Aferido (Tambor de 220 litros);
- √ - Cronômetro Analógico para determinação da frequência de tempo;

O teste FOI executado segundo a seguinte sistemática:

√ - Antes de ligar o compressor foram feitas 03 medidas de nível da água para confirmação do nível estático poço;

√ - Com o início do teste foram feitas medidas de vazão em correspondência com as de nível d’água, sendo aquelas mantidas constantes durante toda a etapa de bombeamento através da regulação da válvula de ar do compressor;

√ - O teste de vazão teve uma duração total de 12 horas, tempo suficiente para que fosse obtida a estabilização do nível dinâmico para a vazão bombeada.

No final do teste FOI anotado o seguinte resultado:

NÍVEL ESTÁTICO	11,59 m
NÍVEL DINÂMICO	18,45 m
VAZÃO DE TESTE	390 L/H
REBAIXAMENTO	6,86 m
CAPACIDADE ESPECÍFICA	56,85 L/H/m