



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

NATHÁLIA KRISSI NOVAES OLIVEIRA

**DIAGNÓSTICO DO AQUIFERO LIVRE DA ZONA
NORTE DO MUNICÍPIO DE ARACAJU, SERGIPE,
ATRAVÉS DA AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS
FÍSICO-QUÍMICOS E BIOLÓGICOS EM AMOSTRAS
DE ÁGUA DE POÇOS RASOS.**

SÃO CRISTÓVÃO-SE

2016

NATHÁLIA KRISSI NOVAES OLIVEIRA

**DIAGNÓSTICO DO AQUÍFERO LIVRE DA ZONA
NORTE DO MUNICÍPIO DE ARACAJU, SERGIPE,
ATRAVÉS DA AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS
FÍSICO-QUÍMICOS E BIOLÓGICOS EM AMOSTRAS
DE ÁGUA DE POÇOS RASOS.**

Dissertação apresentada ao Núcleo de
Pós-Graduação em Recursos Hídricos
como um dos requisitos para obtenção
do título de Mestre em Recursos
Hídricos

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre Borges Garcia

SÃO CRISTÓVÃO-SE

2016

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

O48d Oliveira, Nathália Krissi Novaes
Diagnóstico do aquífero livre da zona norte do Município de Aracaju, Sergipe, através avaliação de parâmetros físico-químicos e biológicos em amostras de água de poços rasos / Nathália Krissi Novaes Oliveira ; orientador Carlos Alexandre Borges Garcia. – São Cristóvão, 2016.
74 f. : il.

Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Sergipe, 2016.

1. Recursos hídricos. 2. Águas subterrâneas. 3. Água potável – Avaliação de riscos. 4. Água – Poluição – Aracaju(SE). I. Garcia, Carlos Alexandre Borges, orient. II. Título.

CDU 556.33:543.3(813.7)

NATHÁLIA KRISSI NOVAES OLIVEIRA

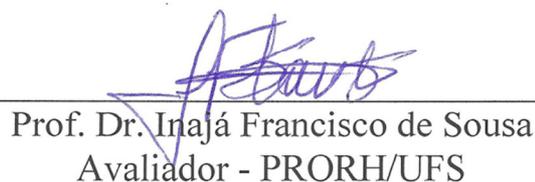
**DIAGNÓSTICO DO AQUÍFERO LIVRE DA ZONA
NORTE DO MUNICÍPIO DE ARACAJU, SERGIPE,
ATRAVÉS DA AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS
FISICOQUÍMICOS E BIOLÓGICOS EM AMOSTRAS
DE ÁGUA DE POÇOS RASOS**

Dissertação apresentada ao Núcleo de
Pós-Graduação em Recursos Hídricos
como um dos requisitos para obtenção
do título de Mestre em Recursos
Hídricos

APROVADA: 29 de fevereiro de 2016.



Prof. Dr. Carlos Alexandre Borges Garcia
Orientador - PRORH/UFS



Prof. Dr. Inajá Francisco de Sousa
Avaliador - PRORH/UFS



Prof. Dr. Jefferson Arlen Freitas
Avaliador - NEAM/UFS

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que me guia, me conforta e me fortalece, e que com seus caminhos incríveis me levou ao exato lugar que precisava, na exata hora que necessitava.

A minha família, por estar incrivelmente presente em tudo, sempre mantendo a fé nas coisas que parecem improváveis. Pelo apoio incondicional, mesmo sem compreender ao certo a dimensão deste processo. O amor que nos une me dá força para seguir sempre em frente.

Ao Professor Carlos Garcia, que me ajudou a tornar possível um sonho que parecia cada vez mais distante. Agradeço a paciência, orientação, compreensão e confiança.

Ao Laboratório de Química Analítica Ambiental do Departamento de Química da Universidade Federal de Sergipe, ao Instituto de Tecnologia e Pesquisa da Universidade Tiradentes e ao Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe, pela realização das análises químicas, e a Ana Carla pelo apoio em todas as amostragens realizadas.

À Consente, pelo apoio técnico, pela liberação para as aulas e pelo conhecimento que foi inspiração desse trabalho.

A todos do PRORH, que me ensinaram lições valiosas e transformaram esses dois anos em uma viagem imensurável de novos horizontes.

A minha grande amiga Thaynara, por ter me mostrado da forma mais enérgica possível o quanto tudo isso estava ao meu alcance.

A minha sogra, Maria do Socorro, pelas poderosas orações desde o princípio.

E em especial, com todo o amor que cabe em mim, agradeço ao meu marido, Ranyere. Você entende mais do que ninguém o quanto tudo isso significa para mim. Na verdade, você entende de mim mais do que ninguém.

Sempre é tempo.

RESUMO

Águas subterrâneas representam grande porcentagem da água doce de fácil acesso, e muitas vezes, são as únicas opções para abastecimento de água potável. Em geral, possuem melhor qualidade devido às interações com o solo ao longo da percolação. Em áreas urbanas, porém, diversas atividades podem comprometer a qualidade e demanda deste recurso, como por exemplo instalação de fossas negras, esgotos domésticos sem tratamento ou com tratamento inadequado, disposição inadequada de resíduos sólidos, impermeabilização de zonas de recarga, armazenamento de produtos perigosos em tanques subterrâneos ou aéreos sem bacia de contenção, dentre outros. O objetivo desse trabalho foi avaliar a contaminação do aquífero livre da zona norte do município de Aracaju/SE, através da análise de parâmetros físico-químicos e biológicos de amostras de água coletadas em poços rasos, relacionando com atividades antrópicas e fontes potenciais de contaminação, e comparando com os limites de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde. As amostragens foram feitas em duas campanhas, avaliando os efeitos da sazonalidade. Os resultados mostraram que todas as amostras estavam impróprias para consumo humano, para pelo menos dois dos 39 parâmetros analisados, e com alteração mais significativa no período seco na maioria dos parâmetros. As concentrações de turbidez, nitrito, sódio, sulfato, fluoreto, cloretos, alumínio, bário, cobre, ferro, níquel e zinco não ultrapassaram os limites de potabilidade em nenhuma das amostras analisadas. Somente cloro residual livre, cobalto e cromo não foram detectados em nenhum dos pontos estudados. A detecção de compostos tóxicos como benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno revelam um cenário crítico, e mostra que maior atenção deve ser dada a esses parâmetros nas avaliações de potabilidade para consumo humano.

Palavras-chave: água subterrânea, diagnóstico, qualidade, potabilidade.

ABSTRACT

Groundwater is large percentage of sweet easily accessible water, and are often the only options for drinking water supply. In general, it have better quality due to interactions with the ground during percolation. In urban areas, however, various activities can compromise the quality and demand of this resource, such as installation of septic tank, wastewater without treatment or with inadequate treatment, improper disposal of solid waste, waterproofing recharge areas, storage of hazardous products underground or overhead tanks without sump, among others. The objective of this study was to evaluate the contamination of free aquifer in north zone of Aracaju/SE, through the analysis of physical, chemical and biological parameters of water samples from shallow wells, related to human activities and potential sources of contamination, and comparing with the limits for drinking water established by Decree N. 2,914/2011 of the Ministry of Health. Samples were collected in two campaigns, evaluating the effects of seasonality. The results showed that all samples were unfit for human consumption, at least two of the 39 analyzed parameters, and more significant changes in the dry period in most parameters. The concentrations of turbidity, nitrite, sodium, sulfate, fluoride, chloride, aluminum, barium, copper, iron, nickel and zinc did not exceed the limits for drinking water in the samples analyzed. Only free residual chlorine, cobalt and chromium were not detected in any of the studied points. The detection of toxic compounds such as benzene, toluene, ethylbenzene and xylene reveal a critical setting, and shows that more attention should be given to these parameters in potable for human consumption assessments.

Keywords: groundwater, diagnosis, quality, potability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo e pontos de amostragem.....	24
Figura 2: Precipitação mensal do ano de 2015 comparada com a média da série histórica (1986-2015)	25
Figura 3: Variação do pH nos pontos de coleta.....	29
Figura 4: Variação da condutividade nos pontos de coleta.....	30
Figura 5: Variação do teor de sólidos totais dissolvidos nos pontos de coleta	31
Figura 6: Variação da turbidez nos pontos de coleta	32
Figura 7: Variação da cor nos pontos de coleta.....	33
Figura 8: Variação do oxigênio dissolvido nos pontos de coleta	34
Figura 9: Variação da concentração de nitrato nos pontos de coleta.....	35
Figura 10: Variação da concentração de nitrito nos pontos de coleta	36
Figura 11: Variação da concentração de amônia nos pontos de coleta	37
Figura 12: Variação da concentração de fosfato nos pontos de coleta	38
Figura 13: Variação da concentração de alumínio nos pontos de coleta	41
Figura 14: Variação da concentração de arsênio nos pontos de coleta.....	41
Figura 15: Variação da concentração de bário nos pontos de coleta.....	42
Figura 16: Variação da concentração de boro nos pontos de coleta.....	43
Figura 17: Variação da concentração de cádmio nos pontos de coleta	43
Figura 18: Variação da concentração de cobre nos pontos de coleta	44
Figura 19: Variação da concentração de ferro nos pontos de coleta	45
Figura 20: Variação da concentração de lítio nos pontos de coleta.....	45
Figura 21: Variação da concentração de manganês nos pontos de coleta	46
Figura 22: Variação da concentração de níquel nos pontos de coleta	47
Figura 23: Variação da concentração de estrôncio nos pontos de coleta.....	47
Figura 24: Variação da concentração de zinco nos pontos de coleta	48
Figura 25: Variação da concentração de cálcio nos pontos de coleta.....	49
Figura 26: Variação da concentração de magnésio nos pontos de coleta	50
Figura 27: Variação da concentração de sódio nos pontos de coleta	51
Figura 28: Variação da concentração de potássio nos pontos de coleta	51
Figura 29: Variação da concentração de sulfato nos pontos de coleta	52
Figura 30: Variação da concentração de cloreto nos pontos de coleta	53
Figura 31: Variação da concentração de fluoreto nos pontos de coleta.....	53
Figura 32: Variação da concentração de benzeno nos pontos de coleta.....	55
Figura 33: Variação da concentração de tolueno nos pontos de coleta	56
Figura 34: Variação da concentração de etilbenzeno nos pontos de coleta.	57
Figura 35: Variação da concentração de xileno nos pontos de coleta	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação das águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, de acordo com a Resolução CONAMA N°. 396/2008	16
Tabela 2: Comparativo entre os limites máximos de alguns parâmetros de qualidade de água de acordo com a legislação vigente	18
Tabela 3: Dados da amostragem.....	28
Tabela 4: Variação da presença de coliformes totais e termotolerantes nos pontos de coleta.	39
Tabela 5: Amostras que excederam os limites máximos de potabilidade da Portaria n° 2.914/2011.....	60

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
2.1. OBJETIVO GERAL	12
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1. UTILIZAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA	13
3.2. ASPECTOS LEGAIS.....	14
3.3. IMPACTOS AMBIENTAIS SOBRE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	20
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	24
4.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
5.1. AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E BIOLÓGICOS	28
5.1.1. <i>pH</i>	28
5.1.2. <i>Condutividade elétrica</i>	29
5.1.3. <i>Sólidos totais dissolvidos</i>	30
5.1.4. <i>Turbidez</i>	31
5.1.5. <i>Cor</i>	32
5.1.6. <i>Oxigênio dissolvido</i>	33
5.1.7. <i>Cloro residual livre</i>	34
5.1.8. <i>Nutrientes: Nitrato, Nitrito, Amônia e Fosfato</i>	34
5.1.9. <i>Coliformes totais e termotolerantes</i>	38
5.1.10. <i>Metais: Alumínio, Arsênio, Bário, Boro, Cádmio, Cobalto, Cromo, Cobre, Ferro, Lítio, Manganês, Níquel, Estrôncio, Zinco;</i>	40
5.1.11. <i>Íons: Cálcio, Magnésio, Sódio, Potássio, Sulfato, Cloreto, Fluoreto</i>	49
5.1.12. <i>BTEX: Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno total</i>	54
5.2. QUALIDADE DO AQUIFERO LIVRE PARA CONSUMO HUMANO.....	58
6. CONCLUSÃO.....	63
7. REFERÊNCIAS.....	64
APÊNDICE 1 – RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS	70

1. INTRODUÇÃO

Águas subterrâneas representam grande porcentagem da água doce de fácil acesso, e muitas vezes, são as únicas opções para abastecimento de água potável. No município de Aracaju/SE, onde a maior parte da população possui acesso a água encanada, é comum a perfuração de poços rasos como opção devido tanto à interrupção do abastecimento, quanto aos altos valores cobrados pela concessionária.

Em geral, águas subterrâneas possuem melhor qualidade devido às interações com o solo ao longo da percolação. Entretanto, em áreas urbanas, diversas atividades podem comprometer a qualidade e demanda deste recurso, como por exemplo instalação de fossas negras, esgotos domésticos sem tratamento ou com sistema de tratamento inadequado, disposição inadequada de resíduos sólidos, impermeabilização de zonas de recarga, armazenamento de produtos perigosos em tanques subterrâneos ou aéreos sem bacia de contenção, dentre outros.

No caso de Aracaju, a predominância de solos arenosos e a existência de diversas fontes potenciais de poluição comuns a áreas urbanas, contribuem para a alta suscetibilidade à contaminação do aquífero livre, muito utilizado pela facilidade de acesso. Essa facilidade permite ainda que os poços sejam perfurados sem os requisitos técnicos necessários para uso e proteção do manancial, e gerenciados de forma incorreta, tornando-se uma via direta para contaminação.

Outra fonte de contaminação comum em centros urbanos é a presença de tanques subterrâneos ou aéreos, contendo produtos perigosos como por exemplo a gasolina que devido a toxicidade de seus componentes e potencial carcinogênico (i.e. benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno) pode causar significativas plumas de contaminação com pequenos derramamentos.

Devido à susceptibilidade a tantas fontes potenciais de poluição, enquadrada muitas vezes no cotidiano do município, o monitoramento da qualidade da água vem como uma importante ferramenta de preservação ambiental, principalmente quando se leva em consideração que a descontaminação de água subterrânea é tecnicamente difícil e possui custos elevados. O monitoramento deve tomar por base a Portaria n° 2.914/2011 do Ministério da Saúde e os valores orientadores de qualidade definidos pela Resolução CONAMA n° 420/2009, ambas em vigor atualmente, assim como nas diretrizes de gerenciamento de áreas contaminadas definidos pela mesma.

Portanto, a análise de parâmetros físico-químicos é importante tanto para aferir a qualidade da água em relação à legislação, como também avaliar seu comportamento junto à contaminação, como por exemplo, seu potencial de degradação. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a contaminação do aquífero livre da zona norte do município de Aracaju/SE, através da análise de parâmetros físico-químicos e biológicos de amostras de água coletadas em poços rasos, relacionando com atividades antrópicas e fontes potenciais de contaminação próximas a região de análise, e comparando com os limites de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo desse trabalho foi avaliar a contaminação do aquífero livre do município de Aracaju/SE, através da análise de parâmetros físico-químicos e biológicos de amostras de água coletadas em poços rasos, relacionando com atividades antrópicas e fontes potenciais de contaminação, e comparando com os limites de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

2.2. Objetivos Específicos

- Analisar os parâmetros físico-químicos e biológicos
- Verificar a influência da sazonalidade, através da execução de duas campanhas de amostragem: período seco e chuvoso
- Efetuar o levantamento da legislação pertinente, comparando os resultados com os padrões de potabilidade da Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde
- Verificar a qualidade do aquífero livre em áreas urbanas

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1.Utilização de Água Subterrânea

Considera-se água subterrânea toda a água presente no subsolo, seja entre os poros no caso de rochas sedimentares ou nas falhas e fissuras no caso de rochas compactadas, movimentando-se a uma velocidade de centímetros por dia (MINDRISZ, 2006). As águas subterrâneas em geral possuem boa qualidade para consumo humano, exigindo menos custos com tratamento do que águas superficiais, o que a torna um recurso mais acessível à população (LAVOIE et al, 2015). É a principal fonte de água nas regiões árida e semiárida, especialmente para a população rural, atendendo as necessidades de consumo humano direto e irrigação (SRINIVAS et al, 2015).

No Brasil, são poucos os estudos sobre a água subterrânea, seu potencial hídrico e qualidade, sendo a maior parte destes voltados para questões pontuais em caracterização de áreas contaminadas (ANA, 2007). Ainda assim, uma parcela significativa dos municípios com serviço de abastecimento de água no Brasil fazem uso do recurso, sendo 12,44% por captação em poços rasos e 64,09% por captação em poços profundos para fornecimento de água à população. Em Sergipe, esses valores são de 14,67% e 38,67% respectivamente, com utilização de poços rasos acima da média nacional. Considera-se captação em poços rasos aquela que é feita no aquífero superficial, acima da primeira camada impermeável do solo (IBGE, 2010).

Regiões com solos arenosos e rochas sedimentares, como é o caso de Aracaju, são potenciais fornecedoras de água subterrânea, pela porosidade e alta permeabilidade dessa formação, permitindo a exploração de vazões significativas (ARAÚJO, 2009). Em Aracaju cerca de 90% das residências possuem água encanada, o que representa 153.704 unidades (IBGE, 2016), porém a existência de poços é bastante comum no município. Dados oficiais relatam em Aracaju, a existência de 44 outorgas subterrâneas, 80 declarações de uso insignificante e 31 pedidos para perfuração de poços emitidos pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos através da Superintendência de Recursos Hídricos (SERGIPE, 2016). Porém estima-se que o número de poços seja ainda maior, tendo em vista a publicação do Decreto N° 19.675/2001, que suspendeu a perfuração de novos poços tubulares profundos em Aracaju e outras regiões do entorno (SERGIPE, 2001).

Muitas vezes em virtude da falta de planejamento urbano, fontes alternativas de abastecimento de água têm sido utilizadas com frequência pela população, a exemplo de bicas

e poços rasos, que apesar de serem mais utilizados para dessedentação de animais, lavagem de roupas e calçadas, e rega de hortas e jardins, também são utilizados para consumo humano (SILVA et al, 2013). De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2010), no Brasil, 14,9% dos municípios utilizam fontes alternativas de captação de água, como chafarizes, bicas, minas, poços particulares, carros-pipas, cisternas, etc., valor que sobe para 30,1% na região nordeste.

A captação de água subterrânea pode ser feita no aquífero confinado ou no aquífero livre, sendo este segundo mais suscetível a contaminação pela proximidade com a superfície, e por estar acima da camada rochosa de baixa permeabilidade, que no caso do aquífero confinado atua como uma camada protetora às contaminações (SILVA E ARAÚJO, 2003; LIBÂNIO, 2005). De acordo com ABAS (2014), o aquífero livre é o mais comum e mais explorados pela população, e também o que apresenta maiores problemas de contaminação.

Essa vulnerabilidade à contaminação também é colocada por Silva et al (2014, p.45):

“Um aquífero freático, superficial, captado majoritariamente por poços de pequena profundidade, limitado na base por camadas impermeáveis, tem apenas interesse local, para uso doméstico e agrícola, sendo extremamente vulnerável à contaminação química, pela reduzida profundidade do nível freático (1 a 5 metros).”

A contaminação destes aquíferos se reflete em um importante problema de saúde pública, visto que o consumo humano de água potável é um dos principais meios de prevenção de doenças, e conseqüentemente, na redução dos índices de mortalidade (SILVA E ARAUJO, 2003).

3.2.Aspectos Legais

Um grande marco na gestão de recursos hídricos no Brasil foi a homologação da Lei Nº. 9.433/1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH (BRASIL, 1997). Do ponto de vista da gestão de águas subterrâneas, a PNRH disciplinou e democratizou o uso do recurso, que passou ter sua gestão integrada com os recursos superficiais, e a tratar qualidade e quantidade de forma conjunta (FINOTTI et al, 2001).

No ano de 2001, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) publicou a Resolução CNRH nº 15/2001, estabelecendo diretrizes gerais para a gestão das águas subterrâneas, baseadas na Política Nacional de Recursos Hídricos, e destacando a importância de se considerar a interdependência das águas superficiais, subterrâneas e meteóricas, e abordando, com uma visão pouco específica, que ações inadequadas podem resultar na alteração indesejável da quantidade e qualidade da água subterrânea (CNRH, 2001).

Essa visão pouco específica é compensada no ano seguinte, com a Resolução CNRH Nº. 22/2002, que, dentre outras diretrizes para inserção das águas subterrâneas no Plano de Recursos Hídricos, coloca a caracterização físico, química e biológica das águas dos aquíferos como informações fundamentais à gestão integrada dos recursos hídricos, e expõe ainda a obrigatoriedade de contemplar o monitoramento da qualidade da água subterrânea dentro dos planos de recursos hídricos (CNRH, 2002).

Apesar do enquadramento dos recursos hídricos já ter sido estabelecido na PNRH em 1997, somente em 2008 o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) estabeleceu diretrizes para o enquadramento das águas subterrâneas, através de Resolução CONAMA Nº. 396/2008 (CONAMA, 2008). A resolução não só determina classes de enquadramento – especial, classe 1, classe 2, classe 3, classe 4 e classe 5 – como também coloca a escolha dos parâmetros de enquadramento relacionados às características do local, seja da hidrogeologia do aquífero, ou das fontes de poluição existentes, de modo que em uma região com possível influência de posto de gasolina, por exemplo, as concentrações de Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno podem servir de base para definição das classes (CONAMA, 2008). Até a criação desta resolução, não existia uma lei específica para águas subterrâneas, de modo que para gestão da qualidade do recurso, utilizavam-se os mesmos parâmetros de potabilidade de águas superficiais (FINOTTI et al, 2001).

A Tabela 1 mostra a classificação aplicada a água dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, pela Resolução CONAMA Nº. 396/2008.

Tabela 1: Classificação das águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, de acordo com a Resolução CONAMA N°. 396/2008

Classe	Qualidade	Descrição
Classe Especial	Sem alteração por atividades antrópicas	São destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral, ou contribuem diretamente para corpos de água superficial enquadrados como classe especial
Classe 1		Não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais
Classe 2		As características hidrogeoquímicas naturais podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante
Classe 3	Com alteração por atividades antrópicas	Não exigem tratamento em função das alterações antrópicas, mas dependendo do uso preponderante, podem exigir tratamento em função das características hidrogeoquímicas naturais
Classe 4		Somente podem ser utilizadas sem tratamento para o uso preponderante menos restritivo
Classe 5		São destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso

Fonte: CONAMA, 2008.

A Resolução CONAMA N°. 396/2008 apresenta também em seu anexo I uma lista de parâmetros com maior probabilidade de ocorrência em águas subterrâneas, e seus respectivos Valores Máximos Permitidos (VMP) para cada um dos usos considerados como preponderantes: consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação. Quando se fala em água para consumo humano, entende-se a água potável destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem, sendo, portanto, aquela que se aplicam parâmetros mais restritivos (BRASIL, 2011).

A Resolução CONAMA n° 420/2009 vem complementar a Resolução CONAMA n° 396/2008, definindo valores orientadores de qualidade para substâncias presentes tanto no solo, quando na água subterrânea, bem como diretrizes ao gerenciamento de áreas contaminadas, (CONAMA, 2009). Esta resolução também definiu o prazo até o mês de dezembro de 2013 para que os órgãos ambientais estabelecessem seus Valores de Referência de Qualidade (VRQ), ou seja, valores que representam a qualidade natural do solo, facilitando a identificação de substâncias antrópicas (CONAMA, 2009). Esse prazo, porém, foi prorrogado por mais um ano pela Resolução CONAMA n° 460/2013, se encerrando em dezembro de 2014.

A atual portaria do Ministério da Saúde referente aos padrões de qualidade da água é a Portaria nº 2.914/2011, que revogou a antiga Portaria nº 518/2004. Através desta, são estabelecidos procedimentos de controle da qualidade da água e seu padrão de potabilidade para consumo humano, seja ela proveniente do sistema de abastecimento de água público ou de soluções alternativas. A portaria define ainda que a autoridade de saúde pública deve estabelecer ações para avaliar se a água consumida pela população atende aos padrões ou representa algum risco para a saúde humana (BRASIL, 2011).

Diversos parâmetros listados na Resolução CONAMA nº 396/2008 também aparecem na portaria do Ministério da Saúde, com as mesmas concentrações recomendadas, a exemplo dos BTEX (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, Xileno), Sódio, Zinco, Chumbo, coliformes totais, entre outros.

A Organização Mundial da Saúde publicou em 2011 a 4ª edição do *Guidelines for drinking-water quality: recommendations* ou “Diretrizes para qualidade da água potável: recomendações”, fornecendo orientações para garantir a segurança do abastecimento de água potável, a partir do controle da concentração de compostos perigosos. Além da determinação de valores de referência para estes compostos, também foram desenvolvidos estudos, metodologias e orientações de gestão de risco, que podem servir de apoio na criação de normas de proteção de saúde pública (WHO, 2011).

A Tabela 2 apresenta um comparativo entre os limites máximos estabelecidos para alguns parâmetros de qualidade de água pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde para consumo humano, pela Resolução CONAMA nº 396/2008 para os quatro usos preponderantes, pela Resolução CONAMA nº 420/2009 para investigação ambiental e os valores de referência da Organização Mundial da Saúde para consumo humano.

Tabela 2: Comparativo entre os limites máximos de alguns parâmetros de qualidade de água de acordo com a legislação vigente

Parâmetro	Unidade	Portaria nº 2.914/11	CONAMA nº 396/08				CONAMA nº 420/09	OMS (2011)
			Consumo Humano	Dessedentação de Animais	Irrigação	Recreação		
Sólidos Totais dissolvidos	mg.L ⁻¹	1.000	1.000	-	-	-	-	-
Turbidez	ut	5	-	-	-	-	-	-
Cor	uh	15	-	-	-	-	-	-
Cloro residual	mg.L ⁻¹	5	-	-	-	-	-	5
Fluoreto	mg.L ⁻¹	1,5	1,5	2	1	-	-	1,5
Cloretos	mg.L ⁻¹	250	250	-	100-700	400	-	-
Nitrato	mg.L ⁻¹	10	10	90	-	10	10	50
Nitrito	mg.L ⁻¹	1	1	10	1	1	-	3
Sulfato	mg.L ⁻¹	250	250	1.000	-	400	-	-
Amônia	mg.L ⁻¹	1,5	-	-	-	-	-	-
Dureza total	mg.L ⁻¹	500	-	-	-	-	-	-
Sódio	mg.L ⁻¹	200	200	-	-	300	-	-
Alumínio	mg.L ⁻¹	0,2	0,2	5	5	0,2	3,5	-
Arsênio	mg.L ⁻¹	0,01	0,01	0,2	-	0,05	0,01	0,01
Bário	mg.L ⁻¹	0,7	0,7	-	-	1	0,7	0,7
Boro	mg.L ⁻¹	-	0,5	5	0,5	1	0,5	2,4
Cádmio	mg.L ⁻¹	0,005	0,005	0,05	0,01	0,005	0,005	0,003
Cobalto	mg.L ⁻¹	-	-	1	0,05	-	0,07	-

Parâmetro	Unidade	Portaria n° 2.914/11	CONAMA n° 396/08				CONAMA n° 420/09	OMS (2011)
			Consumo Humano	Dessedentação de Animais	Irrigação	Recreação		
Cobre	mg.L ⁻¹	2	2	0,5	0,2	1	2	2
Cromo	mg.L ⁻¹	0,05	0,05	1	0,1	0,05	0,05	0,05
Lítio	mg.L ⁻¹	-	-	-	2,5	-	-	-
Ferro	mg.L ⁻¹	0,3	0,3	-	5	0,3	2,45	-
Manganês	mg.L ⁻¹	0,1	0,1	0,05	0,2	0,1	0,4	-
Níquel	mg.L ⁻¹	0,07	0,02	1	0,2	0,1	0,02	0,07
Zinco	mg.L ⁻¹	5	5	24	2	5	1,05	-
Coliformes totais	NMP	Ausente em 100ml	-	-	-	-	-	-
Coliformes termotolerantes	NMP	-	Ausente em 100ml	200 em 100 mL	-	1000 em 100 ml	-	Ausente em 100ml
Escherichia Coli	NMP	Ausente em 100ml	Ausente em 100ml	200 em 100 mL	-	800 em 100 ml	-	Ausente em 100ml
Benzeno	mg.L ⁻¹	0,005	0,005	-	-	0,01	0,005	0,01
Tolueno	mg.L ⁻¹	0,17	0,170	0,024	-	-	0,7	0,7
Etilbenzeno	mg.L ⁻¹	0,2	0,2	-	-	-	0,3	0,3
Xileno total	mg.L ⁻¹	0,3	0,3	-	-	-	0,5	0,5

Fontes: Brasil (2011); CONAMA (2008); CONAMA (2009); WHO (2011).

3.3. Impactos Ambientais sobre Águas Subterrâneas

Águas subterrâneas têm ganhando relevante posição no planejamento estratégico, em virtude da deterioração da qualidade da água, da demanda crescente de uso, da disponibilidade limitada e dificuldade de reposição, associados ainda aos altos custos dos processos de descontaminação (DAS et al, 2010).

Vale ressaltar que descontaminação está relacionado a água contaminada, ou seja, quando esta apresenta níveis de concentração de substâncias nocivas superiores aos padrões de qualidade estabelecidos pela legislação, tornando-se um risco a saúde dos usuários e da biota (BRAGA et al, 2005; FILHO, 2000; LIBÂNIO, 2005). O termo poluição, por sua vez, faz referência a alterações no meio aquático, naturais ou antrópicas, mas sem ser necessariamente prejudicial aos usuários (BRAGA et al, 2005; LIBÂNIO, 2005).

Estudos realizados nos Estados Unidos na década de 80 já especulavam sobre a contaminação da água subterrânea e os efeitos das atividades humanas na qualidade da água do aquífero livre. Concentrações elevadas de compostos orgânicos voláteis e alguns elementos traços foram detectadas em áreas muito urbanizadas, entretanto, vale ressaltar que na época, as avaliações eram pontuais e levantavam poucos dados sobre os efeitos regionais dessas atividades (CAIN et al, 1989).

A qualidade da água subterrânea tem sido afetada em quase todas as áreas urbanas, e de forma mais acentuada em países com altas taxas de crescimento associado a legislações menos restritivas. Fatores como o aumento da urbanização, crescimento da população, alterações na demanda de uso de recursos hídricos e até mesmo, em escalas mundiais, as mudanças climáticas, afetam não só a qualidade como também o nível das águas subterrâneas, trazendo riscos à saúde, restrições de uso e problemas com escassez de água (WOLF et al, 2006).

Adicionalmente, a disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos e industriais, a utilização de fossas e tanques sépticos como destino final de efluentes, a utilização e armazenamento de substâncias tóxicas, postos de combustíveis e a modernização da agricultura também são fontes de contaminação associadas a qualidade da água subterrânea (SILVA et al, 2014; FILHO, 2000). Garcia et al (2011) identificaram áreas contaminadas na Grande Aracaju associadas a efluentes domésticos e industriais não tratados, a partir da análise de metais traços em sedimentos de rios, sendo, portanto, potenciais à contaminação do aquífero.

Quando se fala em ocupação urbana e saneamento, por exemplo, é comum que a rede de abastecimento de água seja instalada antes da rede de coleta e tratamento de esgoto, o que cria áreas de ocupação com saneamento deficiente, propícias à contaminação pelo uso de fossas sépticas, grandes responsáveis pelo aporte de nutrientes como fósforo nos mananciais subterrâneos (GODOY, 2013). De acordo com IBGE (2010), 55,16% dos municípios brasileiros possuem coleta de esgoto, dos quais somente pouco mais da metade (51,71%) efetuam algum tipo de tratamento pós coleta. Sergipe está abaixo da média nacional, com 26 (34,66%) municípios com coleta e destes somente 07 (26,92%) realizam algum tipo de tratamento.

França (2011), em sua discussão sobre a zona de expansão de Aracaju, expõe que a inexistência de um sistema de saneamento ambiental eficiente obriga a utilização de fossa-filtro-sumidouro, contribuindo para contaminação do lençol freático, que é naturalmente alto nos terrenos arenosos. Ribeiro et al (2009) analisaram amostras de poços rasos (entre 1m e 6m) nos Povoados Robalo, Mosqueiro e Areia Branca, todos em Aracaju/SE, e identificou pontos com concentrações de nitrato, coliformes, alumínio, cor e turbidez acima dos valores máximos permitidos pela legislação.

Estudo desenvolvido por Silva e Araújo (2003) em Feira de Santana/BA mostrou que a água subterrânea nas regiões estudadas não atendia aos padrões de potabilidade recomendados na Portaria do Ministério da Saúde nº 1.469/00, em vigor na época, representando sérios riscos à saúde da população.

Silva et al (2014), por sua vez, verificaram baixas concentrações para determinados parâmetros químicos, porém parâmetros como pH, amônia, nitrato, fosfato e coliformes apresentaram concentrações fora dos Valores Máximos Permissíveis para o consumo humano, exigidos pela Portaria 2.914/2011.

Estudo da potabilidade de poços rasos realizado em Curitiba, estado do Paraná, mostrou que as águas dos poços rasos não estavam adequadas para consumo humano, detectando presença de *E.coli* e pH ácido, ambos relacionados principalmente à presença de matéria orgânica oriunda de esgotos domésticos (SILVA et al, 2013).

Mindrisz (2006) avaliou pH, cor, turbidez, cloro residual, coliformes termosensíveis e totais, alumínio, prata, bário, boro, cálcio, cobalto, cobre, cromo, ferro, magnésio, manganês, níquel, sódio, estanho, vanádio, fósforo, zinco, mercúrio, arsênico, antimônio, cádmio, cloreto, nitrato, fosfato e sulfato em seu estudo sobre a avaliação da contaminação da água subterrânea

de poços tubulares por combustíveis fósseis no município de Santo André, São Paulo, e apesar de identificar boa qualidade em 97% dos poços analisados, foram encontrados elevados teores de nitrato, cor e turbidez.

Em áreas urbanas, onde o uso de combustíveis é mais intenso, é comum a ocorrência de vazamentos na rede de transporte e distribuição, que resultam em um impacto direto no solo e, conseqüentemente, na água subterrânea. Além disso, principalmente no Brasil onde a porcentagem de etanol misturado à gasolina é alta, os índices de solubilidades da gasolina em água aumenta, afetando diretamente os níveis de contaminação (CASTELLO et al, 2011). Na década de 90, foi observado que o aumento do número de casos de contaminação de água subterrânea são relacionados ao fim da vida útil (em média de 20 anos) dos tanques subterrâneos instalados na década de 70 (CORSEUIL E ALVAREZ, 1996).

Em maio de 2002, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, um dos órgão ambientais de referência no Brasil, divulgou a primeira relação de áreas contaminadas no estado de São Paulo, com um total de 255 áreas registradas. Em 2014, esse número foi igual a 5.148, das quais 3.825 (74%) foram relacionadas a postos de combustíveis, 862 a indústrias, 263 em virtude de alguma atividade comercial, 151 relacionada a resíduos e 47 a outras fontes de contaminação (CETESB, 2014).

Tomando a gasolina como exemplo, esta contém mais de uma centena de componentes, e mesmo sendo pouco solúvel, os compostos Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno – chamados BTEX – se dissolvem parcialmente em contato com a água, atingindo o lençol freático (SILVA et al, 2002; CORSEUIL E MARINS, 1997). Adicionalmente, uma maior atenção deve ser dada as compostos BTX, além de sua solubilidade, possuem elevada toxicidade e potencial carcinogênico, afetando diretamente o sistema nervoso central (CORSEUIL E ALVAREZ, 1996). O benzeno por exemplo, possui toxicidade independente da sua via de exposição, e com o agravante dos primeiros sintomas decorrentes da exposição a este composto costumarem aparecer somente após vários anos (COSTA E COSTA, 2002).

Uma vez presentes no aquífero, processos de descontaminação de água subterrânea são necessários para minimizar os efeitos nocivos desses agentes tóxicos ao meio, entretanto, em países como o Brasil, esbarra-se em limitações técnicas e econômicas, que deixam clara a necessidade de se desenvolver um método de fácil aplicação e baixo custo para mitigação dos riscos à saúde pública associados a compostos BTX (CORSEUIL E ALVAREZ, 1996).

Um estudo de caso de derramamento de condensado de gás em uma área de produção na Holanda, com solos arenosos e lençol freático a 3 metros de profundidade, mostrou uma pluma de contaminação na água subterrânea com concentrações de até 17.500 µg/L de benzeno, muito acima dos 5 µg/L definido pela legislação (MORGAN et al, 1993).

De acordo com ANP (2016) existem 469 postos revendedores de combustíveis no estado de Sergipe, sendo 140 no município de Aracaju. Isso equivale a um posto a cada 1,29 km², considerando a área territorial municipal de 181,857 km² (IBGE, 2016).

Uma das estratégias para avaliar a qualidade de água destes ambientes em relação à legislação e como também ao seu potencial de degradação, é o uso de análises dos parâmetros físico-químicos. De um modo geral, os compostos orgânicos são oxidados por um composto aceptor, que é reduzido, através de uma reação de oxirredução: na biodegradação aeróbia, o oxigênio dissolvido é o receptor de elétrons; na degradação anaeróbia, os receptores de elétrons podem ser, por exemplo, o nitrato (NO³⁻), o íon ferro (III), o sulfato (SO₄²⁻), o manganês (IV), e o dióxido de carbono (CO₂) (BEZERRA et al, 2012).

Vale ressaltar que a degradação dos compostos BTEX pode ser afetada pelo percentual de etanol na gasolina permitido pela legislação brasileira. O etanol pode ter prioridade no processo de biodegradação, consumindo o oxigênio que seria utilizado na degradação dos compostos BTEX, ou até mesmo ser tóxico ou inibitório para os microrganismos degradadores (CORSEUIL E MARINS, 1997).

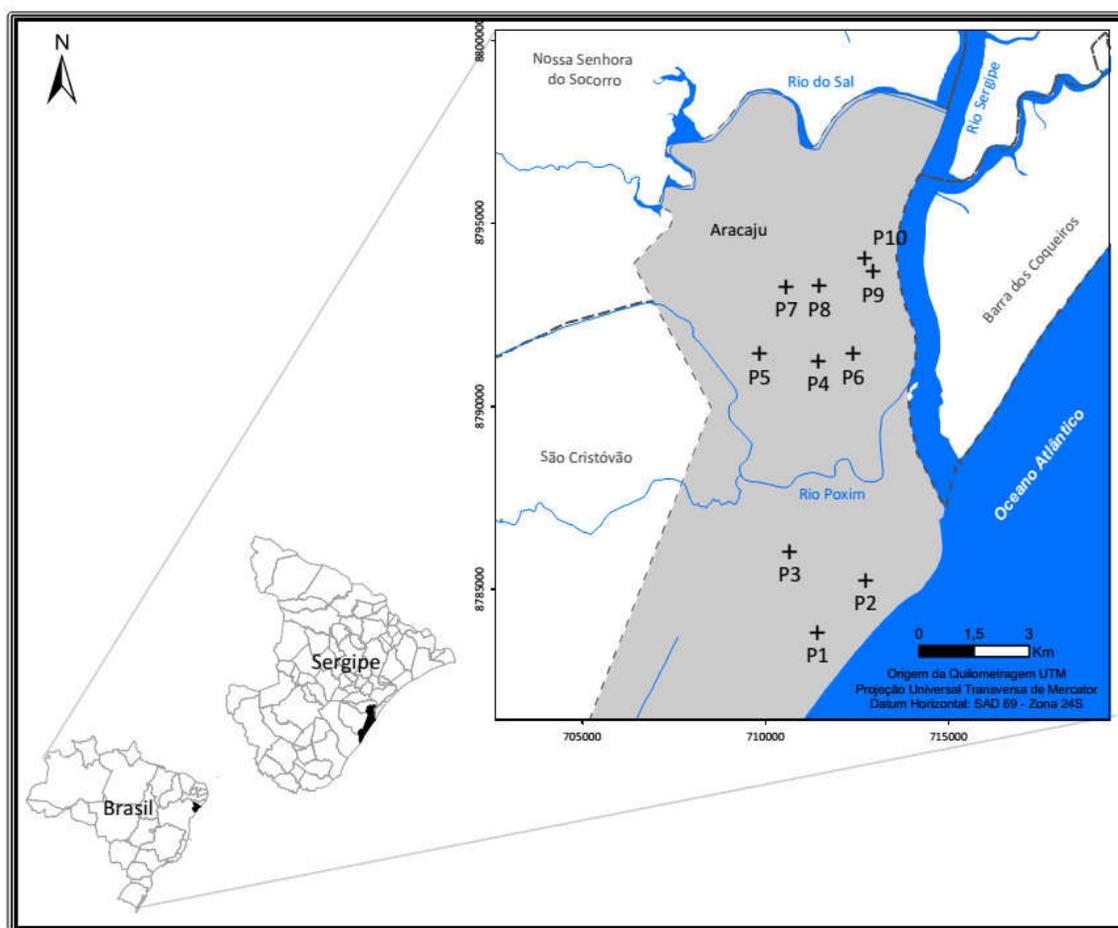
Desta forma, a inexistência de um rede de monitoramento nacional de água subterrânea implica numa carência de informação sobre a qualidade das águas, vulnerabilidade do aquífero e proteção dos mesmos, principalmente em escala regional, visto que os dados disponíveis são resultados de estudos específicos de universidade ou como exigência dos órgãos gestores. Com o crescimento descontrolado do número de poços e das atividades antrópicas potencialmente poluidoras torna-se necessário uma gestão da qualidade subterrânea para a preservação do recurso (ANA, 2007).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo é a cidade de Aracaju, no leste sergipano, inserida na bacia do Rio Sergipe (parte norte do município) e na Bacia do Rio Vaza Barris (parte sul do município). (Figura 1). De acordo com o IBGE (2016), a população estimada de Aracaju em 2015 é de 632.744 habitantes, sendo a cidade mais populosa do estado de Sergipe.

Figura 1: Localização da área de estudo e pontos de amostragem

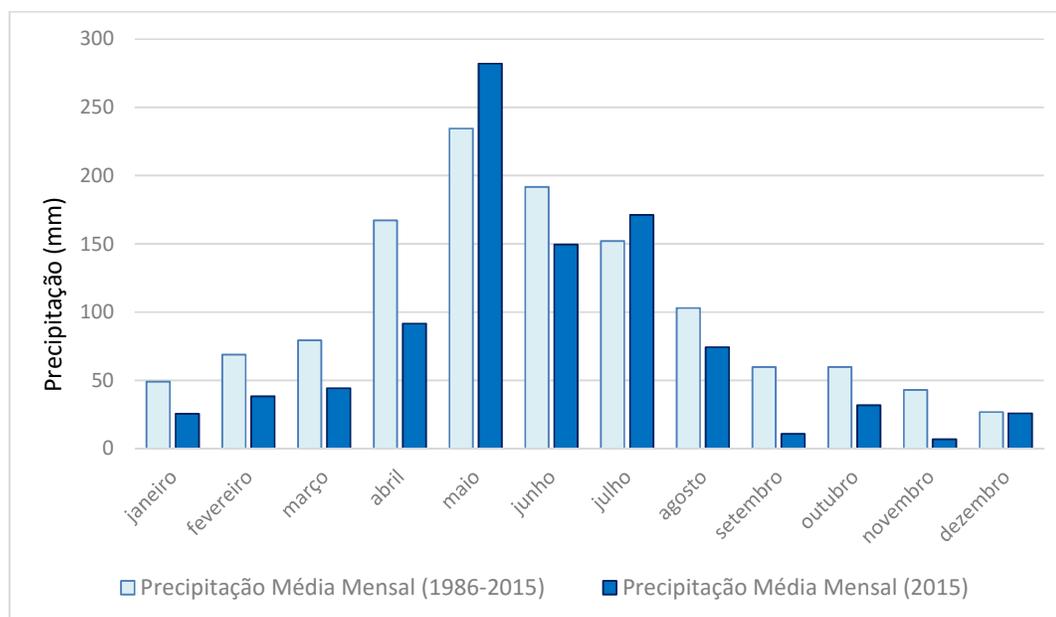


Fonte: Sergipe (2012).

O clima da região é o megatérmico sub-úmido (JESUS, 2015), com temperatura média mensal variando entre 24,65°C e 27,32°C, período chuvoso entre abril e agosto, e período seco entre setembro e março (INMET, 2016; PINTO et al, 2000). O aquífero predominante é o aquífero granular (SERGIPE, 2012), formado por rochas sedimentares das formações

superficiais cenozoicas, com boa capacidade de armazenamento e fornecimento de água, devido a porosidade primária e alta permeabilidade dos terrenos arenosos (ARAUJO, 2009). A Figura 2 mostra a precipitação mensal do ano de 2015, ano em que as coletas foram efetuadas.

Figura 2: Precipitação mensal do ano de 2015 comparada com a média da série histórica (1986-2015)



Fonte: INMET, 2016.

4.2.Procedimentos Metodológicos

Do ponto de vista metodológico, o presente estudo foi caracterizado por quatro etapas:

- 1) Seleção dos locais e logística de amostragem;
- 2) Seleção dos parâmetros de estudo, metodologia de amostragem e de análise;
- 3) Execução das amostragens e análise química em duas campanhas (período seco e chuvoso)
- 4) Avaliação e discussão dos resultados quanto a qualidade do aquífero livre.

A coleta foi realizada em poços de monitoramento rasos (até 8 metros de profundidade), já existentes, perfurados manualmente com trado, e localizados no aquífero livre.

Os poços foram selecionados a partir da disponibilidade para coleta, e buscando abranger pontos distintos da zona norte do município de Aracaju. O tamanho da amostra foi estabelecido em função do custo das análises e dos poços disponíveis para coleta. Foram efetuadas duas campanhas de amostragem, sendo uma no período chuvoso (maio) e outra no período seco (novembro e dezembro), avaliando assim o efeito sazonal, para os parâmetros abaixo:

- pH
- Temperatura
- Condutividade Elétrica
- Sólidos totais dissolvidos
- Turbidez
- Cor
- Oxigênio dissolvido
- Cloro residual livre
- Nutrientes: Nitrato, Nitrito, Amônia e Fosfato
- Coliformes totais e termotolerantes
- Metais: Alumínio, Arsênio, Bário, Boro, Cádmio, Cobalto, Cromo, Cobre, Ferro, Lítio, Manganês, Níquel, Estrôncio, Zinco;
- Íons: Cálcio, Magnésio, Potássio, Sódio, Sulfato, Cloreto, Fluoreto
- BTEX: Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno total

Trabalho semelhante foi desenvolvido por Silva et al (2014) em Cuiabá/MT, que efetuaram amostragens com bailer para avaliação de pH, nitrito, nitrato, amônia, fosfato, coliformes totais, *Escherichia coli*, bactérias heterotróficas.

A preservação das amostras e as análises dos parâmetros estudados foram efetuadas utilizando a metodologia analítica descrita no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998). Com exceção do parâmetros coliformes, foram feitas análises em triplicata para todas as amostras, apresentando em tabela o valor médio com desvio padrão.

As análises foram realizadas no Laboratório de Química Analítica Ambiental – LQA da Universidade Federal de Sergipe, com exceção dos coliformes totais e termotolerantes, que foram analisados no Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe – ITPS, e dos parâmetros BTEX, que foram analisados no Instituto de Tecnologia e Pesquisa – ITP. Todos os laboratórios forneceram os recipientes para coleta das amostras.

As amostragens foram realizadas através de amostrador manual bailer de válvula dupla, descartável, e transferidas imediatamente para os vasilhames apropriados a cada análise, devidamente identificados com etiquetas, e preservadas em gelo. A válvula existente no bailer permite que a amostra seja transferida para os recipientes de amostragem com menor perda dos compostos voláteis (ASTM, 2010).

Segundo Bottura (2009), não é necessário a realização da purga quando a água é coletada do aquífero livre, desde que a seção filtrante do poço esteja acima do nível de água do aquífero – nessa condição, a amostra coletada em qualquer ponto do interior da seção filtrante é representativa da água da formação adjacente ao filtro; sendo a purga, portanto, desnecessária. O fato de existir suspeita de contaminação por hidrocarbonetos também dispensa o uso de purga, que poderia favorecer a volatilização desses compostos e descaracterizar a amostra. Foi obedecida a seguinte ordem de amostragem, indicada para coleta de amostras sem purga: BTEX, metais, sulfato, cloreto, nitrato e amônia (EPA, 1986).

Foram preenchidas as fichas de coleta com os dados referentes à amostra coletada (endereço, hora, número da amostra, condição do tempo e tipo de coleta), e o nível estático do poço.

Os resultados foram analisados parra período seco e chuvoso, e, quando foi o caso, comparados com os valores máximos permissíveis recomendados pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, e com a CONAMA nº 420/2009, a fim de caracterizar a qualidade da água subterrânea para fins de potabilidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Avaliação dos Parâmetros físico-químicos e biológicos

As amostras foram coletadas seguindo o procedimento metodológico, em duas campanhas, ambas pela manhã, sendo a primeira nos dias 25 e 26 de maio de 2015, com tempo nublado, representando o período chuvoso, e a segunda campanha nos dias 30 de novembro e 01 de dezembro de 2015, com tempo ensolarado, representando o período seco (Tabela 3). As amostras foram coletadas em poços de monitoramento rasos, de até 8 metros de profundidade, localizados no município de Aracaju – Sergipe. Antes da coleta, foi registrado o nível estático em relação ao solo utilizando uma trena, e na primeira amostra foi registrada a temperatura. Silva e Araújo (2003) estudaram a qualidade do manancial subterrâneo em Feira de Santana a partir de poços semelhantes em profundidade, usados para captação de água subterrânea.

Tabela 3: Dados da amostragem

Ponto	1º Campanha			2º Campanha		
	Data	T (°C)	Nível (m)	Data	T (°C)	Nível (m)
Ponto 1	25/05/2015	34,7	2,40	30/11/2015	34,5	2,31
Ponto 2	25/05/2015	31,6	0,94	30/11/2015	32,6	1,58
Ponto 3	25/05/2015	33,0	2,51	30/11/2015	34,3	2,46
Ponto 4	25/05/2015	31,2	1,56	30/11/2015	33,0	1,98
Ponto 5	25/05/2015	31,4	0,96	30/11/2015	32,9	1,40
Ponto 6	26/05/2015	30,4	0,85	01/12/2015	32,1	1,30
Ponto 7	26/05/2015	29,4	0,10	01/12/2015	32,6	1,00
Ponto 8	26/05/2015	35,0	1,82	01/12/2015	34,5	2,52
Ponto 9	26/05/2015	30,4	0,31	01/12/2015	32,9	0,67
Ponto 10	26/05/2015	29,9	0,30	01/12/2015	35,8	1,00

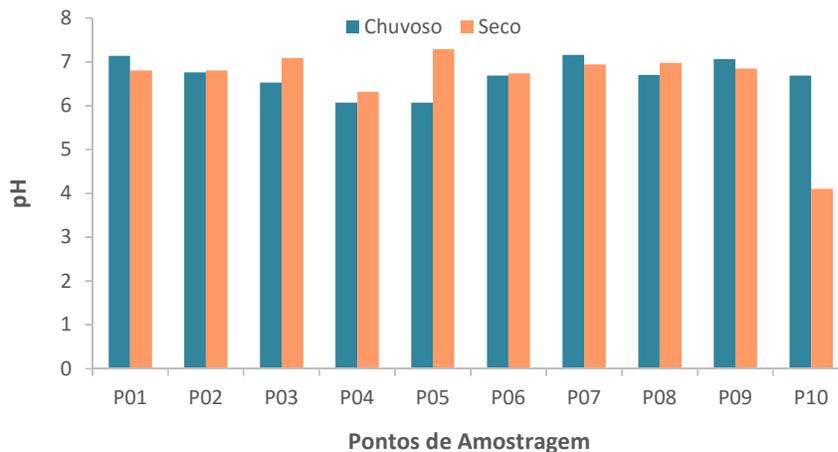
5.1.1. pH

O potencial hidrogeniônico – pH – é função do gás carbônico dissolvido na água. Em águas subterrâneas, costuma variar entre 5,5 e 8,5, numa escala de 1 a 14, onde valores

inferiores a 7 possuem caráter mais ácido, e valores superiores a 7 caráter mais alcalino (SANTOS, 2000).

Os valores de pH tiveram pouca variação na maioria das amostras coletadas, com exceção do ponto P10, que apresentou um comportamento mais ácido durante o período seco, com valor igual a 4,1 (Figura 3). A Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde não estabelece um valor para consumo humano, porém recomenda um pH da água entre 6,0 a 9,5 no sistema de distribuição. Para esta faixa, somente a amostra do P10, período seco, estaria fora dos padrões, e exigiria uma correção de pH.

Figura 3: Variação do pH nos pontos de coleta.



Esse comportamento ácido encontrado no P10 para o período seco pode estar relacionado ao aumento das concentrações dos compostos BTEX em relação ao período chuvoso, conforme pode ser observado no tópico 5.1.12.

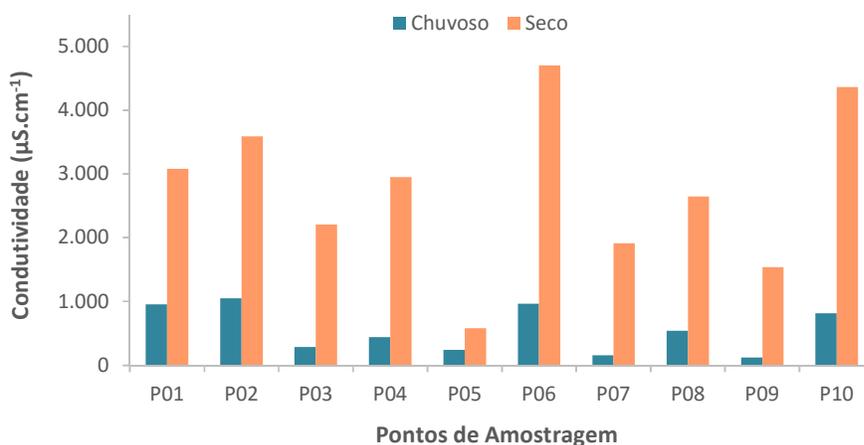
5.1.2. Condutividade elétrica

A condutividade elétrica é fruto dos sais dissolvidos na água, sob a forma de íons, que aumentam a capacidade da água de conduzir corrente elétrica, e está relacionado, portanto, ao teor de salinidade (SANTOS, 2000; LIBÂNIO, 2005).

Na época seca, houve elevação da condutividade em todos os pontos analisados. Os valores encontrados variaram entre 119,7 e 1.047,0 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ no período de chuvoso, e 578,0 e

4.705,0 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ no período seco (Figura 4). Esse comportamento, em geral, é consequência da maior diluição dos compostos durante o período chuvoso, época de maior demanda hídrica, como foi o caso do mês de maio, que atingiu a maior precipitação do ano de 2015, igual a 282,1 mm (Figura 2). Capp et al (2012) associou os altos valores de condutividade elétrica detectados em quatro análises sazonais (duas no período seco e duas no período chuvoso) de poços rasos na zona urbana de Anastácio, no Mato Grosso do Sul, à ausência de um sistema sanitário eficiente e de políticas públicas que efetuassem um controle mais efetivo de fontes de poluição.

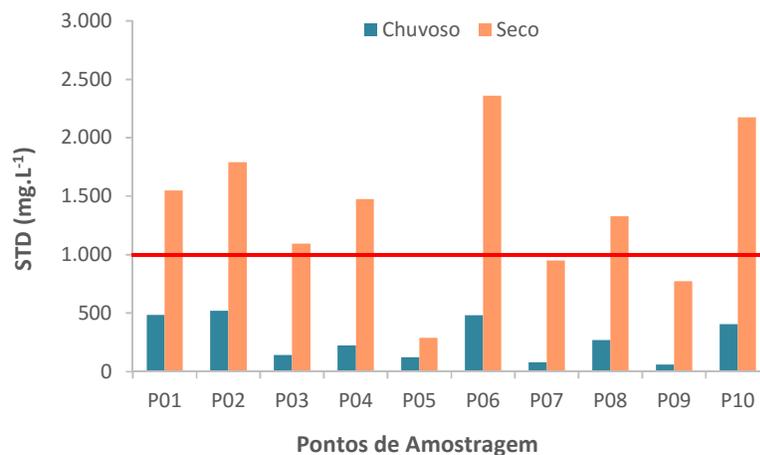
Figura 4: Variação da condutividade nos pontos de coleta



5.1.3. Sólidos totais dissolvidos

Seguindo a mesma tendência da condutividade, ou seja, o efeito da diluição dos compostos e corroborando com os dados de precipitação, as concentrações de sólidos totais dissolvidos foram maiores no período seco em todos os pontos analisados, variando entre 59,9 e 522,0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ no período seco, e entre 287,5 e 2.360,0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ no período chuvoso (Figura 5). Em 7 dos 10 pontos analisados no período seco, a amostra não atende aos padrões de potabilidade do Ministério da Saúde, que determina o valor máximo de 1.000 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

Figura 5: Variação do teor de sólidos totais dissolvidos nos pontos de coleta

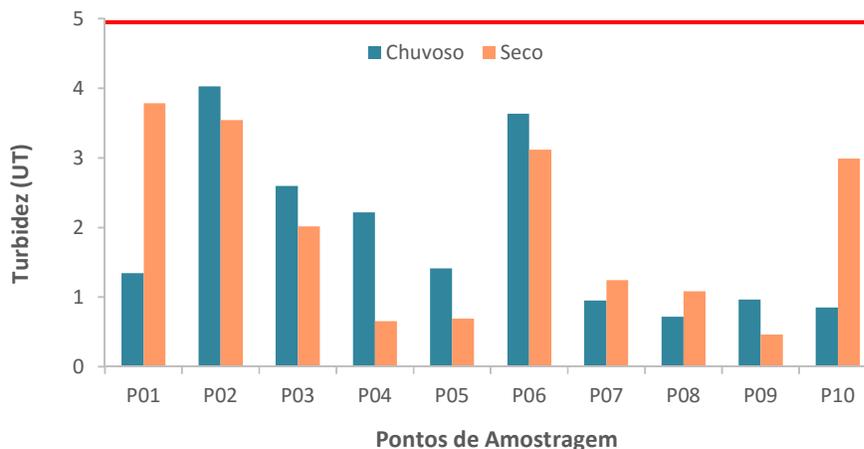


5.1.4. Turbidez

A turbidez representa uma interferência à passagem de luz na água em decorrência dos sólidos em suspensão (SANTOS, 2000; LIBÂNIO, 2005). Também é causada pela presença de substâncias como o zinco, ferro, manganês, matéria orgânica, que podem originar-se tanto da erosão natural do solo, como de despejos domésticos e industriais. A turbidez elevada dificulta a desinfecção da água, pois pode servir como barreira entre o agente desinfetante e os microrganismos (BRASIL, 2013).

Todas as amostras analisadas, nas duas campanhas, apresentaram turbidez abaixo de 5 ut, atendendo assim aos padrões de potabilidade (Figura 6).

Figura 6: Variação da turbidez nos pontos de coleta

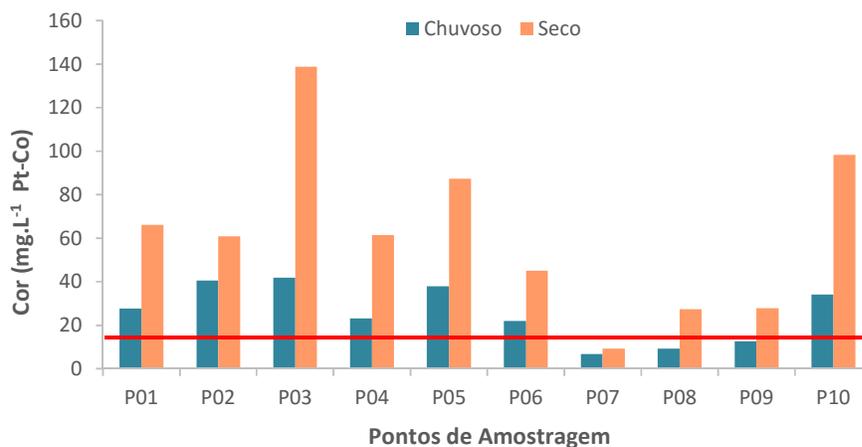


5.1.5. Cor

Na Figura 7 são apresentados os valores da variação da cor dos pontos coletados neste trabalho. Dos pontos analisados, somente o ponto P07 apresentou valores de cor dentro do limite estabelecido pela portaria do Ministério da Saúde (abaixo de 15 uH ou 15 mg.L-1 Pt-Co) nas duas campanhas analisadas, com valores iguais a 6,67 uH e 9,27 uH nos períodos chuvoso e seco, respectivamente. O ponto P08 apresentou valor igual a 9,26 uH no período chuvoso, porém no período seco atingiu 27,40 uH, seguindo o comportamento de todas as outras amostras, que também apresentaram valores superiores no período seco (Figura 7).

Por ser resultado da concentração de substâncias dissolvidas na água, é esperado que em períodos com maior demanda hídrica os valores sejam superiores aos períodos chuvosos. Uma vez que, a cor em águas subterrâneas é comumente resultado de compostos dissolvidos como o ferro e o manganês, e pode estar relacionada à decomposição da matéria orgânica ou à influência antrópica (LIBÂNIO, 2005; BRASIL, 2013).

Figura 7: Variação da cor nos pontos de coleta



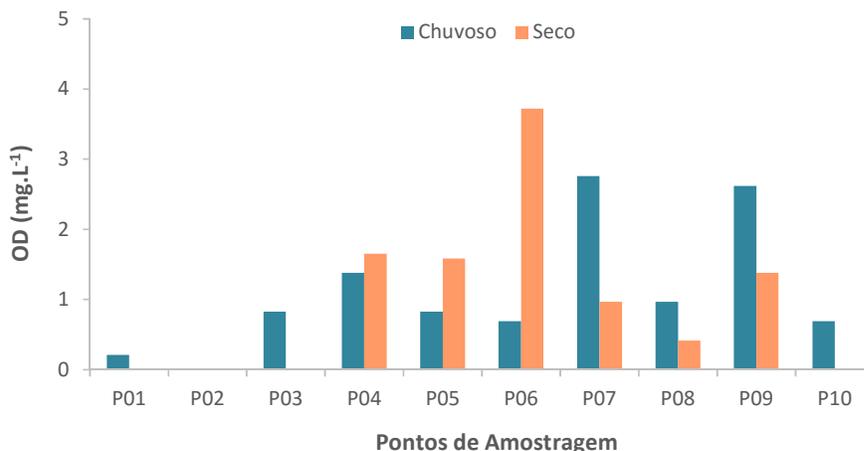
5.1.6. Oxigênio dissolvido

Apesar da concentração de oxigênio dissolvido na água não influenciar na potabilidade, tanto que não é contemplado pela portaria do Ministério da Saúde nem nas resoluções CONAMA voltadas para água subterrânea, sua avaliação permite entender a dinâmica do sistema e relaciona-se diretamente com a degradação de alguns compostos orgânicos.

A Figura 8 mostra que a maioria das amostras analisadas apresentou concentração de oxigênio dissolvido mais baixa ou ausente no período seco, com exceção dos pontos P04, P05 e P06. Associado ao aumento das concentrações de nutrientes, observada no tópico 5.1.8, é possível dizer que mesmo com o excesso de oxigênio as condições locais não favorecem atividades de biodegradação.

O ponto P02 não apresentou oxigênio dissolvido em nenhuma das campanhas efetuadas. É possível que esta ausência esteja relacionada a biodegradação de compostos orgânicos oriundos de uma contaminação recente por esgotos domésticos, comprovada pelos altos teores de amônia identificados no tópico 5.1.8.

Figura 8: Variação do oxigênio dissolvido nos pontos de coleta



5.1.7. Cloro residual livre

O teor de cloro residual livre não foi detectado em nenhuma das amostras analisadas. O cloro residual livre representa o cloro nas formas de ácido hipocloroso (HOCL) ou do íon hipoclorito (OCl⁻) e está associado principalmente à utilização de cloro para desinfecção em estações de tratamento de água ou de efluentes, sendo, portanto, menos esperado em água subterrânea. O limite máximo dessa substância pela Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde é de 5 mg/L; quando em valores elevados e na presença de certos compostos orgânicos podem dar origem aos trihalometanos (THMs), compostos tóxicos pelo seu efeito carcinogênico.

5.1.8. Nutrientes: Nitrato, Nitrito, Amônia e Fosfato

Os nutrientes são representados por compostos de nitrogênio e fósforo, e sua análise é de grande relevância ambiental, pois em geral, estão relacionados a contaminação por fertilizantes agrícolas e esgotos.

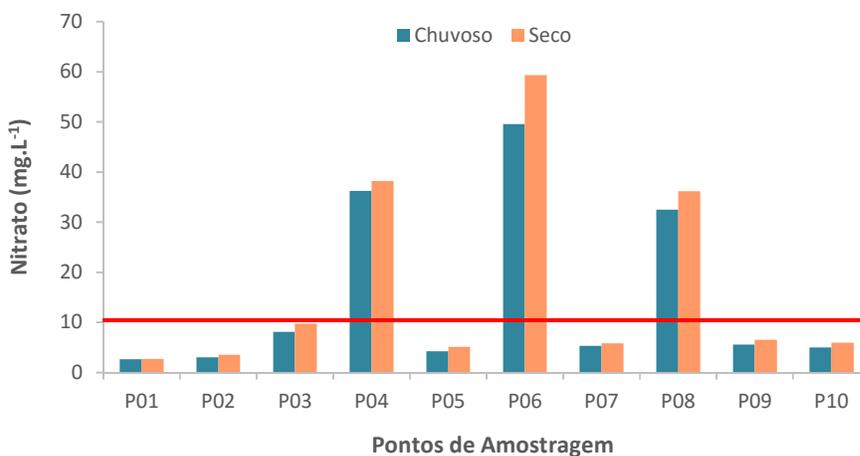
Dos compostos de nitrogênio, o nitrato é o mais comumente encontrado nas águas subterrâneas, por ser a forma mais estável do nitrogênio dissolvido, e representa uma contaminação mais antiga, enquanto que concentrações mais altas de nitrito, por exemplo, correspondem a uma contaminação mais recente (FILHO, 2000; SANTOS, 2000).

Em outras palavras, pode-se dizer que a predominância de compostos de amônia, por exemplo, indicam um foco de poluição próximo ao local analisado, enquanto que a predominância de nitrato ou nitrito, indicam fontes de contaminação mais afastadas (PIVELI e KATO, 2005).

A Figura 9 mostra que todas as amostras analisadas apresentaram concentrações de nitrato em ambas as campanhas, apresentando valores superiores no período seco. Apenas 03 amostras apresentaram teores de nitrato acima do limite de 10 mg.L^{-1} previsto pela legislação brasileira para consumo humano – P04, P06 e P08. Os pontos P06 e P08 possuem canais de drenagem pluvial nas proximidades, que pelo odor e aspecto são clandestinamente utilizados para lançamento de esgotos domésticos, e podem influenciar nessas elevadas concentrações identificadas. O P04 está localizado em uma região predominantemente residencial, com acentuada verticalização, e os teores encontrados devem estar relacionados a contaminação por fossas negras, principalmente das residências e prédios mais antigos.

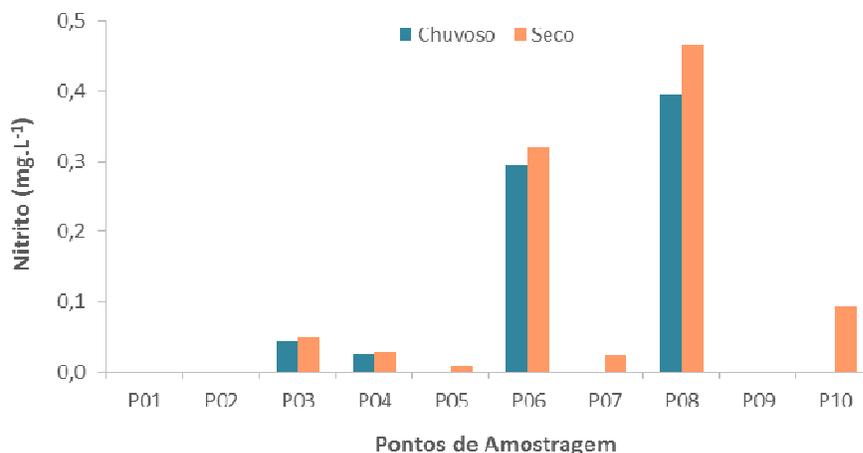
Apesar de ser encontrado naturalmente no meio pela decomposição da matéria orgânica, o nitrato em altas concentrações é tóxico, causando uma doença letal para crianças, a metaemoglobinemia infantil (PIVELI e KATO, 2005).

Figura 9: Variação da concentração de nitrato nos pontos de coleta



No que se refere a nitrito, as concentrações foram abaixo do limite legal (1 mg.L^{-1}), sendo que em 03 pontos não foram detectadas concentrações em nenhuma das campanhas (P01, P02 e P09) e nos pontos P05 e P07 somente foram detectadas no período seco (Figura 10).

Figura 10: Variação da concentração de nitrito nos pontos de coleta

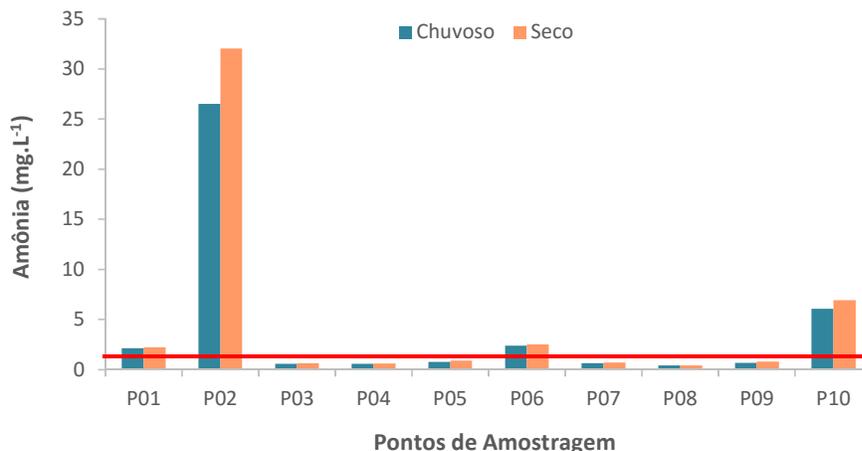


Assim como nitrato e nitrito, as concentrações de amônia também foram maiores no período seco, como mostra a Figura 11. A amônia é a forma mais reduzida do nitrogênio na atmosfera e representa uma contaminação ainda mais recente que o nitrito (ESTEVES, 1998). Seis pontos analisados apresentaram valores dentro dos padrões de potabilidade, abaixo de 1,5 mg.L⁻¹. Os demais pontos ultrapassaram o limite legal estabelecido, sendo o ponto P02 de maior criticidade, apresentando concentrações de 26,54 e 32,04 mg.L⁻¹ nos períodos chuvoso e seco, respectivamente.

Os altos teores de amônia no ponto P02 e P10 indicam uma contaminação recente por esgotos domésticos, e podem estar relacionado também à ausência do oxigênio dissolvido nestes pontos (Figura 8), em virtude dos processos de oxidação e biodegradação de compostos. A biodegradação anaeróbia dessa matéria orgânica favorece a produção de ácidos orgânicos (FARIAS et al, 2003), o que possivelmente poderia justificar o pH mais ácido no período seco no ponto P10.

Para ter uma dimensão da toxicidade dessa substância, muitas espécies de peixes não toleram concentrações acima de 5 mg.L⁻¹ na água (PIVELI e KATO, 2005)

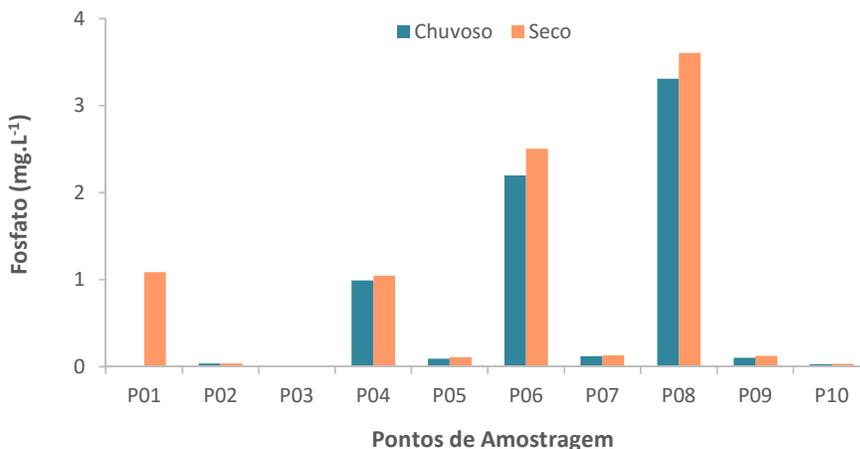
Figura 11: Variação da concentração de amônia nos pontos de coleta



A análise de fosfato complementa a análise de nutrientes. É um parâmetro que não possui valor máximo definido pela legislação de potabilidade ou para exigência de uma investigação ambiental, pois não apresenta risco a saúde. Sua relevância ambiental se deve ao fato de estar fortemente relacionado a presença de detergentes, fertilizantes e esgotos (FILHO, 2000; SANTOS, 2000). Outras fontes de fósforo são efluentes industriais da fabricação de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios (ANA, 2005).

As concentrações de fosfato foram mais elevadas no período seco, quando as substâncias estão mais concentradas, e ocorre menor diluição dos poluentes existentes (Figura 12). De acordo com Santos (2000) e Silva et al (2014), concentrações acima de 1 mg. L⁻¹ são indicativos de águas poluídas, o que seria o caso das águas coletadas dos pontos P01, P04, P06 e P08.

Figura 12: Variação da concentração de fosfato nos pontos de coleta



O aumento das concentrações de nutrientes observado nos pontos P04, P05 e P06, associado ao aumento das concentrações de oxigênio dissolvido, indica que as condições locais não favorecem a biodegradação deste composto.

5.1.9. Coliformes totais e termotolerantes

A análise microbiológica é um importante instrumento de controle de qualidade de água, visto que uma série de doenças pode ser transmitida através do consumo de água contaminada com microrganismos patogênicos, e para atender aos padrões de potabilidade, a água deve ser isenta desses microrganismos. Doenças como por exemplo cólera, febre tifoide, gastroenterites, leptospirose, diarreias, entre outras, são transmitidas por organismos patogênicos presentes nas fezes, e atingem a água subterrânea através de esgotos domésticos sem tratamento e desinfecção (GARCIA e ALVES, 2006).

A determinação do padrão microbiológico da água é feita através da análise de bactérias do grupo coliformes, pela quantificação de coliformes totais e coliformes termotolerantes. Os coliformes estão presentes nas fezes humanas, e sua presença está diretamente relacionada à contaminação fecal, e são utilizados como indicadores por serem de mais fácil detecção e quantificação, possuírem maior tempo de vida na água do que bactérias patogênicas intestinais, não se multiplicarem quando fora do intestino humano e serem mais resistentes a agentes desinfetantes (BRASIL, 2013).

A Tabela 4 apresenta os resultados da análise efetuada para coliformes. Foi detectada a presença de coliformes totais e termotolerantes em todas as amostras analisadas no período chuvoso. No período seco, coliformes totais foram detectados em 7 dos 10 pontos analisados e coliformes termotolerantes tiveram menor representatividade, sendo encontrados somente em dois dos pontos analisados, o P01 e P10.

Tabela 4: Variação da presença de coliformes totais e termotolerantes nos pontos de coleta

Parâmetro	Período	Presença nas Amostras									
		P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10
Coliformes Totais	Chuvoso	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Seco	Sim	Sim	Sim	Sim	-	-	Sim	Sim	-	Sim
Coliformes Termotolerantes	Chuvoso	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Seco	Sim	-	-	-	-	-	-	-	-	Sim

De acordo com a Portaria nº 2.914/11, coliformes totais devem ser ausentes em 100ml de amostra de água após o tratamento. No que se refere a termotolerantes, a portaria faz menção somente a presença de *Escherichia Coli*, que é um indicador mais específico de contaminação fecal recente (BRASIL, 2013). A CONAMA 396/2008, por sua vez, determina que coliformes termotolerantes devem ser ausentes para consumo humano (CONAMA, 2008). Deste modo, todos os pontos estariam impróprios para consumo humano em pelo menos uma das campanhas.

Silva e Araújo (2003) verificaram presença de coliformes totais e fecais em 90,8% e 65,8% das amostras analisadas, respectivamente, em Feira de Santana-BA. O crescimento dessas bactérias teve maior significância em poços com até 10 metros de profundidade e que estavam a menos de 10 metros da fossa mais próxima.

Silva et al (2013) em estudo realizado em 10 poços rasos na cidade de Curitiba-PR, identificou coliformes totais em 100% das amostras analisadas, e E. Coli em 40% destas, relacionado esse valor à contaminação por esgotos domésticos.

Estudo desenvolvido por Silva et al (2014) em Cuiabá-MT, identificou coliformes em todos os 31 pontos analisados, de modo que todos estariam fora dos padrões de potabilidade para consumo.

A presença de coliformes termotolerantes indica que todos os pontos analisados possuem algum tipo de contaminação de origem fecal, oriunda provavelmente de esgotos

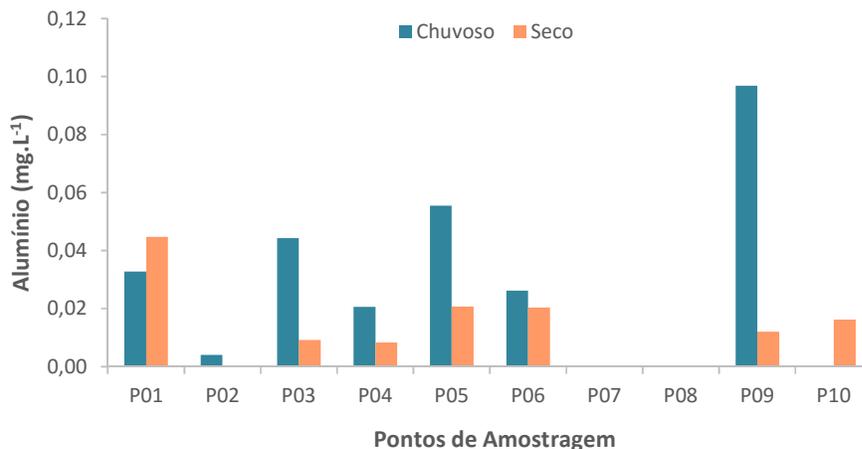
domésticos, e não atendem aos padrões de potabilidade para consumo humano. Na época chuvosa, o maior aporte de água provoca inundação de fossas sépticas, e carrega contaminantes e organismos patogênicos para o meio em maior quantidade do que a percolação natural das fossas, o que explica a maior concentração desses organismos nas amostras do período chuvoso.

5.1.10. Metais: Alumínio, Arsênio, Bário, Boro, Cádmio, Cobalto, Cromo, Cobre, Ferro, Lítio, Manganês, Níquel, Estrôncio, Zinco;

A presença de altos teores de metais na água subterrânea pode estar relacionada a lançamentos de efluentes industriais ou lixiviação de resíduos industriais, em especial metais pesados como arsênio, cromo, cobre, chumbo, entre outros, que além de tóxicos, possuem efeito acumulativo no organismo (LIBÂNIO, 2005; FARIAS, 2006).

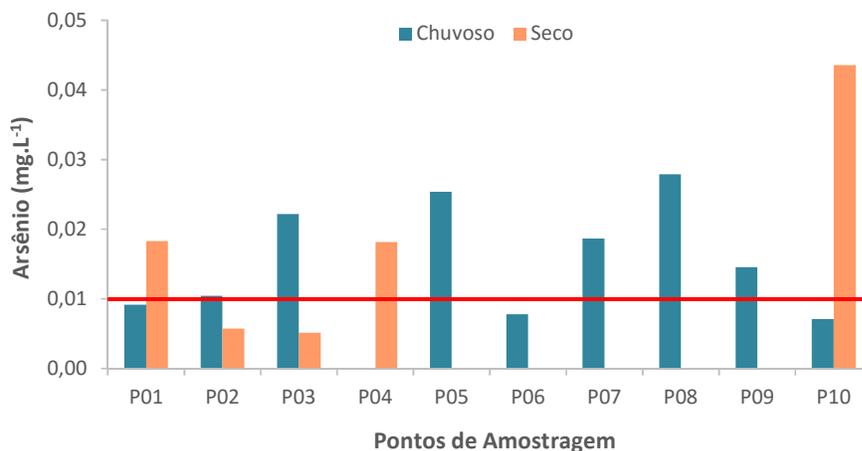
Nos estudos realizados neste trabalho, o alumínio foi detectado em 8 dos 10 pontos analisados, com maiores concentrações no período chuvoso, exceto para os pontos P01 e P10 (Figura 13). Os valores foram muito abaixo dos permitidos pela legislação de potabilidade, que determina um limite de 0,2 mg.L⁻¹. O alumínio é o metal mais abundante na crosta terrestre. É muito utilizado na estações de tratamento de água como coagulante para remoção de matéria orgânica, cor, turbidez e microrganismos, o que, em alguns casos, resulta em teores altos no produto tratado. Não se sabe ao certo sobre a toxicidade desse composto para o organismo, mas alguns estudos estipulam que a ingestão possa desenvolver ou acelerar a doença de Alzheimer (WHO, 2011).

Figura 13: Variação da concentração de alumínio nos pontos de coleta



A Figura 14 mostra os resultados para arsênio, que foi encontrado em todos os pontos analisados, superando em 9 pontos a concentração de 0,01 mg.L⁻¹ definida pela Portaria n° 2.914/11, em pelo menos uma das campanhas realizadas. Este composto está relacionado a resíduos industriais, queima de carvão, atividades de fundição mineral e inseticidas (FILHO, 2000). O valor mais alto foi encontrado no P10, igual a 0,0436 mg.L⁻¹ no período seco.

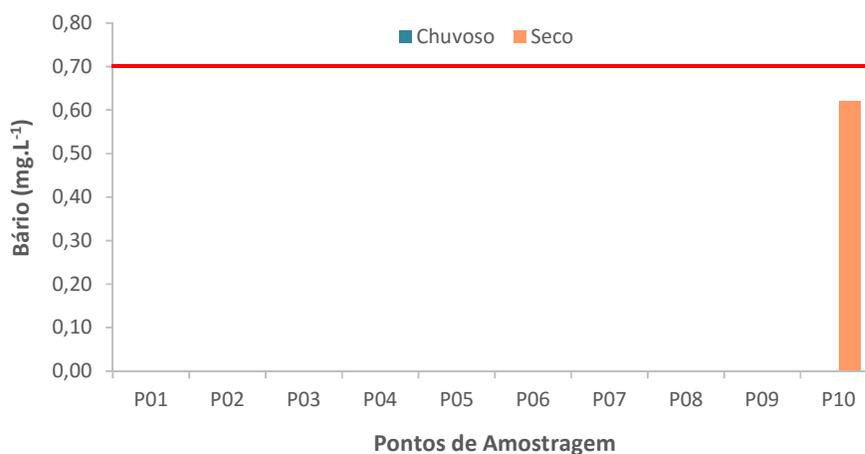
Figura 14: Variação da concentração de arsênio nos pontos de coleta



O bário não foi um parâmetro de grande representatividade nas amostras analisadas, visto que foi detectado somente no ponto P10, no período seco, com valor igual a 0,62 mg.L⁻¹, inferior, porém próximo da concentração máxima de 0,7 mg.L⁻¹ permitida pela legislação

(Figura 15). O bário pode ocorrer naturalmente na água, mas sua presença está relacionada principalmente a atividades industriais, como na fabricação de fogos de artifício, vidro, inseticidas, entre outros. O consumo excessivo por seres humanos pode afetar a circulação sanguínea e o sistema nervoso (PIVELI E KATO, 2005).

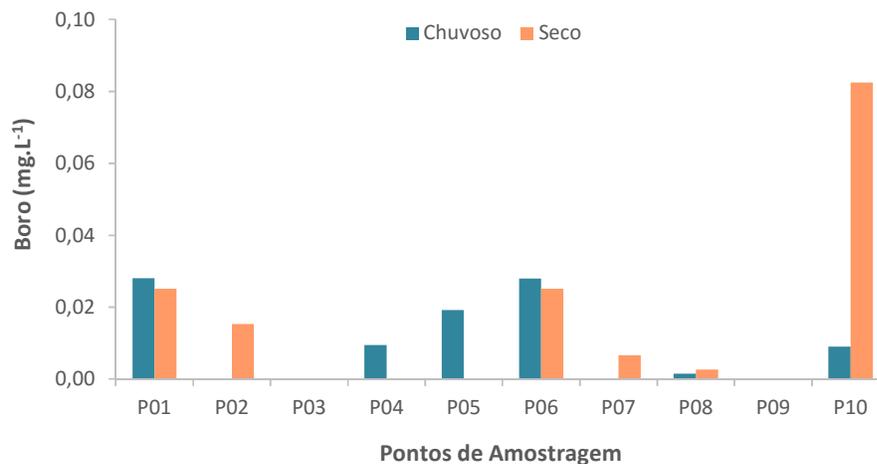
Figura 15: Variação da concentração de bário nos pontos de coleta



O boro é naturalmente encontrado em águas subterrâneas, mas concentrações elevadas estão normalmente relacionadas a descarga de efluentes, principalmente pela presença de sabões e detergentes (WHO, 2011).

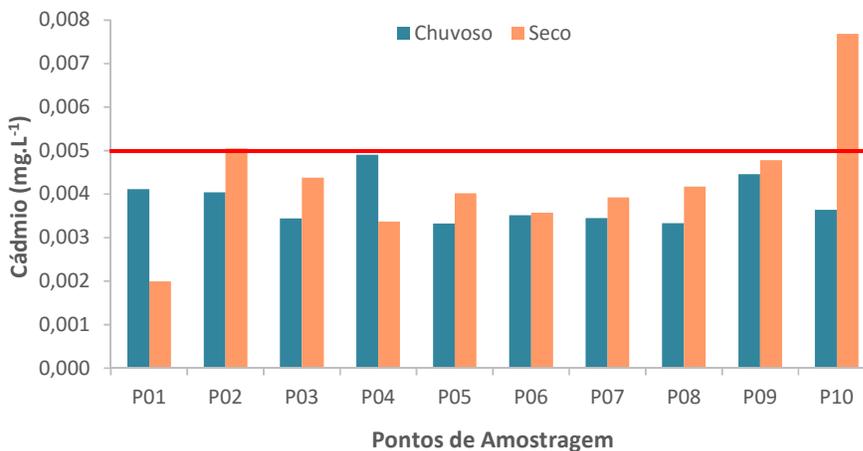
Concentrações de boro foram detectadas em 8 dos 10 pontos de amostragem, com concentrações mais altas no ponto P10 igual a 0,0825 mg.L⁻¹ no período seco, e nos pontos P01 e P06, período chuvoso, iguais a 0,0281 e 0,0280 mg.L⁻¹ respectivamente (Figura 16). O boro não está entre parâmetros de potabilidade do Ministério da Saúde, porém é restringido a 0,5 mg.L⁻¹ para consumo humano pela Conama n° 396/2008, como também pela Organização Mundial de Saúde, valor não atingido em nenhuma das amostras analisadas.

Figura 16: Variação da concentração de boro nos pontos de coleta



As concentrações de cádmio foram semelhantes na maioria das amostras, com valores superiores no período seco (Figura 17), com exceção dos pontos P01 e P04, que apresentaram maior concentração de cádmio nas amostras coletadas no período chuvoso. Quatro pontos foram mais críticos em relação ao limite de potabilidade do Ministério da Saúde (equivalente a 0,005 mg.L⁻¹): P02 com 0,0050 mg.L⁻¹ no período seco; P04 com 0,0049 mg.L⁻¹ no período chuvoso; P09 com 0,0048 mg.L⁻¹ no período seco; e P10 com 0,0077 mg.L⁻¹ também no período seco. O Cádmio é altamente tóxico à saúde humana, e o excesso pode causar anemia, hipertensão arterial e morte (SANTOS, 2000).

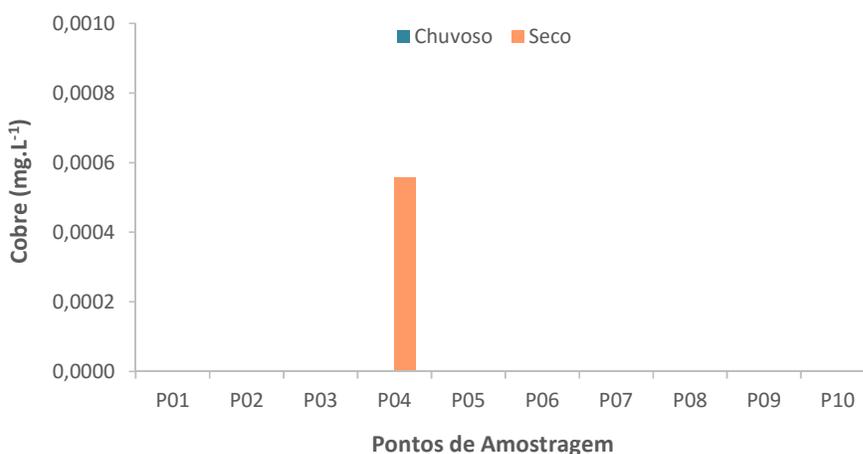
Figura 17: Variação da concentração de cádmio nos pontos de coleta



O cobre, assim como o bário, também foi pouco representativo nas amostras analisadas, sendo detectado somente no ponto P04, no período seco, com valor igual a $0,0006 \text{ mg.L}^{-1}$, ao passo que a Portaria 2.914/11 prevê uma concentração de 2 mg.L^{-1} como aceitável para consumo humano (Figura 18).

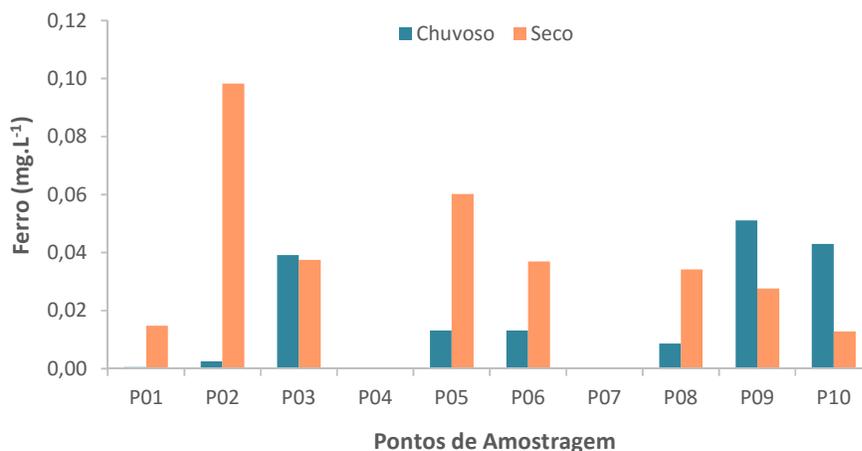
A presença de cobre na água pode estar relacionada a efluentes domésticos e industriais, corrosão de tubulações, resíduos de fundição, precipitação por emissões atmosféricas industriais e até mesmo pesticidas e fungicidas usados na agricultura. O consumo desse metal em altas quantidades pode causar irritação e corrosão de mucosas, danos capilares, problemas hepáticos e renais e irritação do sistema nervoso central seguido de depressão (FARIAS, 2006).

Figura 18: Variação da concentração de cobre nos pontos de coleta



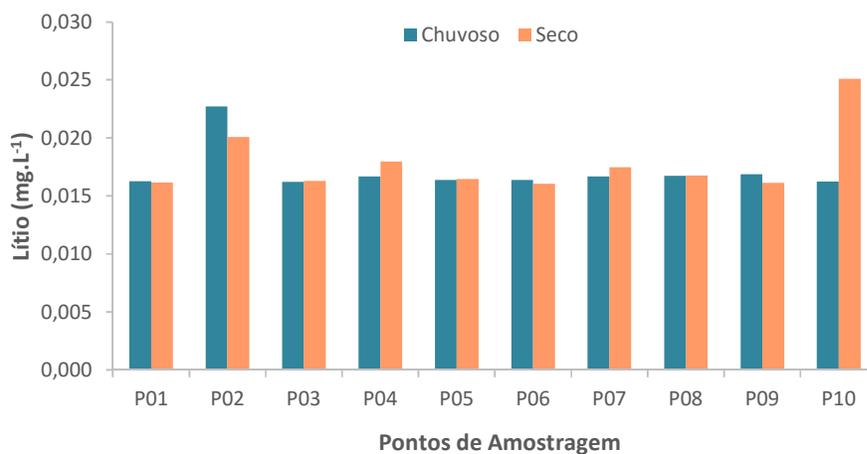
O ferro foi outro elemento detectado em baixas concentrações nas amostras analisadas, não extrapolando a concentração de $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$ determinada pelo Ministério da Saúde e nenhum dos pontos. O valor mais alto foi detectado no ponto P02, que apresentou $0,0983 \text{ mg.L}^{-1}$ no período seco (Figura 19).

Figura 19: Variação da concentração de ferro nos pontos de coleta



O lítio não possui limite máximo estabelecido pela Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde nem pela Conama 420/2009. Somente a Conama 396/2008 apresenta a concentração de 2,5 mg.L⁻¹ para uso na irrigação. As concentrações de lítio apresentaram pouca variação nas amostras analisadas devido às baixas concentrações, seguindo o comportamento dos outros metais. O Ponto 10 apresentou maior valor, com 0,0251 mg.L⁻¹ no período seco, como observado na Figura 20.

Figura 20: Variação da concentração de lítio nos pontos de coleta

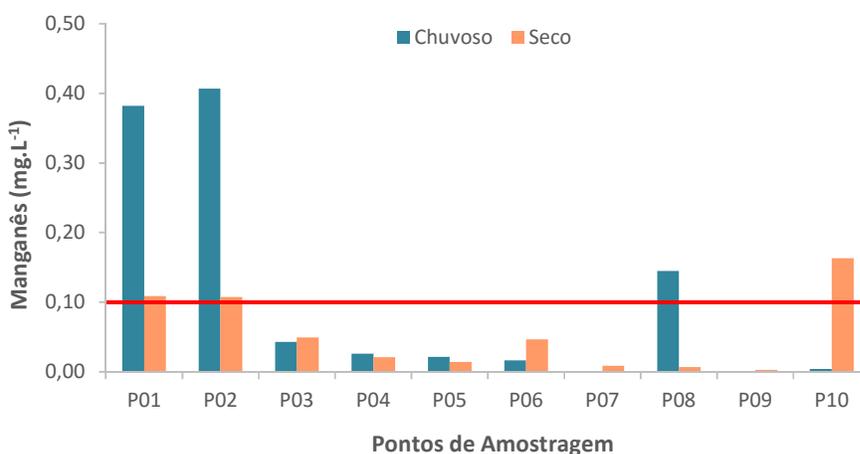


O manganês é muito utilizado na indústria, para fabricação de ligas metálicas, baterias, tintas, vernizes, fogos de artifício e fertilizantes, por exemplo (FARIAS, 2006). Considerando

o limite para o consumo humano de $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$, o manganês apresentou concentrações elevadas em 4 dos 10 pontos analisados: P01 igual a $0,3824$ e $0,1091 \text{ mg.L}^{-1}$ nos períodos chuvoso e seco, respectivamente; P02 igual a $0,4069$ e $0,1074 \text{ mg.L}^{-1}$ nos períodos chuvoso e seco, respectivamente; P08 no período chuvoso, com $0,1447 \text{ mg.L}^{-1}$; e P10 no período seco com $0,1633 \text{ mg.L}^{-1}$ (Figura 21). O ponto P02 foi o único ponto que ultrapassou o valor de investigação definido pela resolução Conama nº 420/2009, que é de $0,4 \text{ mg.L}^{-1}$, sendo necessária investigação ambiental para avaliar os riscos que a presença desse composto pode representar a saúde humana.

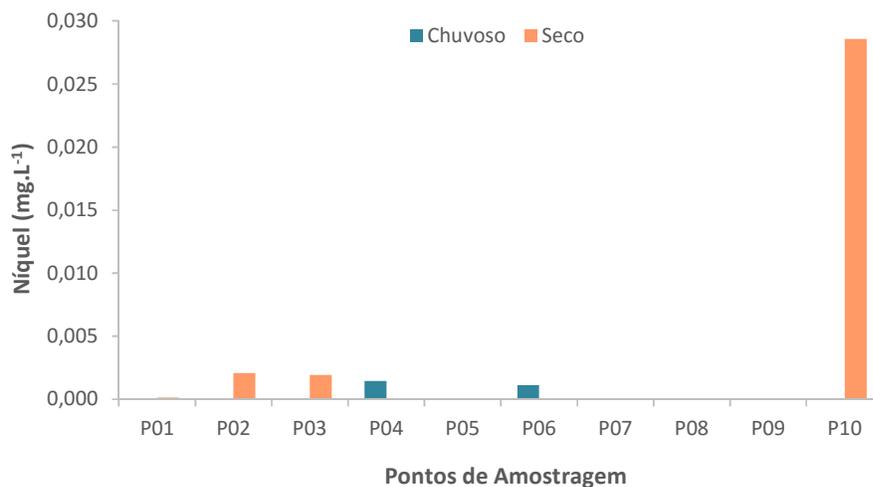
De acordo com o Art. 39º, §4º da Portaria nº 2.914/2011 (BRASIL, 2011), concentrações de até $0,4 \text{ mg.L}^{-1}$ de manganês seriam toleráveis para consumo humano se os demais parâmetros de potabilidade estiverem dentro dos limites máximos permitidos. Neste caso, como outros parâmetros também foram excedidos, o valor de $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ permanece como concentração máxima permitida.

Figura 21: Variação da concentração de manganês nos pontos de coleta



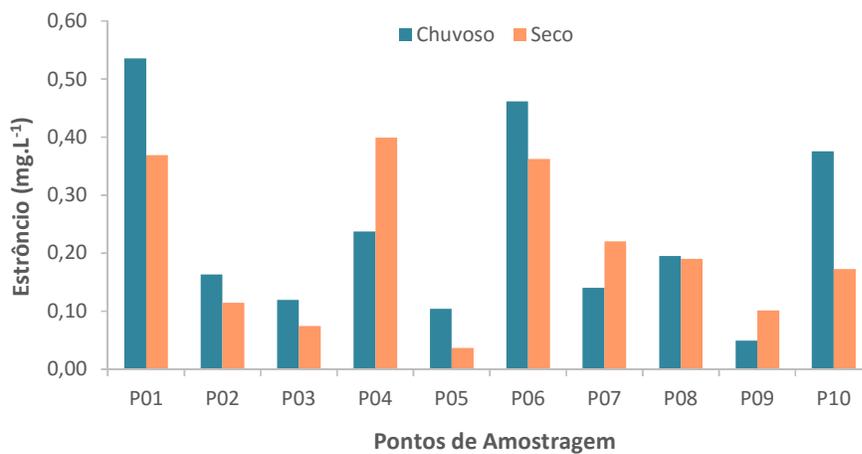
A presença de níquel também foi avaliada, e as concentrações foram identificadas em 6 pontos analisados, e todas dentro do limite de potabilidade ($0,07 \text{ mg.L}^{-1}$). O maior valor foi identificado no ponto P10, período seco, igual a $0,0286 \text{ mg.L}^{-1}$.

Figura 22: Variação da concentração de níquel nos pontos de coleta



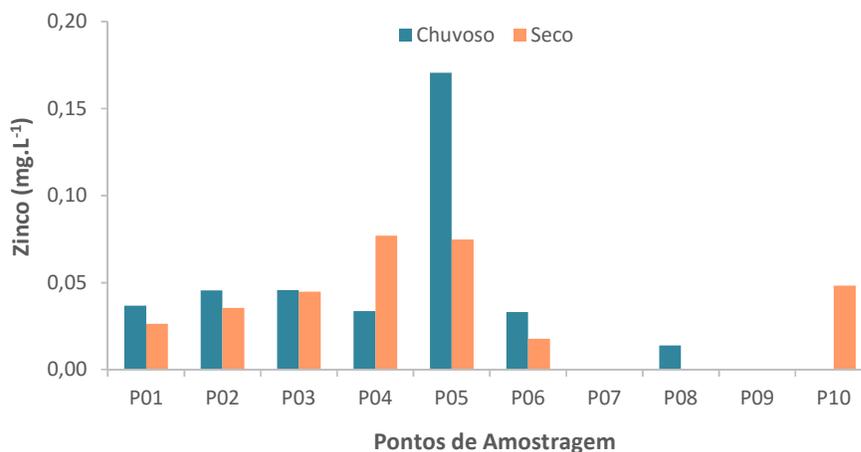
O estrôncio é outro elemento importante que também confere grau de dureza à água, porém é menos representativo do que cálcio e magnésio, e não possui limite máximo de potabilidade estabelecido pela portaria do Ministério da Saúde. As maiores concentrações foram identificadas no ponto P01, com 0,5336 mg.L⁻¹ no período chuvoso e 0,3691 mg.L⁻¹ no período seco, e no ponto P06, com 0,4619 mg.L⁻¹ no período chuvoso e 0,3622 mg.L⁻¹ no período seco.

Figura 23: Variação da concentração de estrôncio nos pontos de coleta



Apesar de ter sido identificado em 8 dos 10 pontos analisados, nenhuma das amostras analisadas apresentou valor de zinco acima do limite de potabilidade (5 mg.L^{-1}), como mostra a Figura 24. A presença de zinco pode estar relacionada a incineração de resíduos, produção de ferro e aço e efluentes domésticos (FARIAS, 2006).

Figura 24: Variação da concentração de zinco nos pontos de coleta



A presença de metais em água subterrânea é uma importante ferramenta para o controle ambiental destes ambientes e conseqüentemente para a qualidade da água. Estudos realizados por Alves et al (2006) em amostras de solo superficial e água subterrânea de uma antiga área de lançamento de efluentes industriais no Distrito Industrial de Aracaju - Sergipe, identificou a presença de metais como Cu, Cd, Zn, Pb, Ni, Cr e Mn. Parte desses metais – como o Cu, Cd, Zn, Ni e Mn – também foi detectada neste estudo, em pelo menos uma das amostras analisadas, com ênfase ao cádmio e manganês que apresentaram concentrações acima dos padrões de potabilidade.

Fernandes et al (2013) analisou diversos parâmetros em poços rasos no município de Quissamã/RJ, e detectou concentrações de Ca, Sr, Li, Mg, K, Zn, Na, Cu, Cr, Ba, entre outros dentro dos padrões de potabilidade, porém parâmetros como Al, Fe, Mn e Ni excederam os limites máximos permitidos, e portanto, estando impróprias para consumo humano.

O pH mais baixo aumenta a solubilidade dos metais em água (CHUAN et al 1996; YABE E OLIVEIRA, 1998; JIMENEZ et al, 2004), o que possivelmente justifica os altos teores

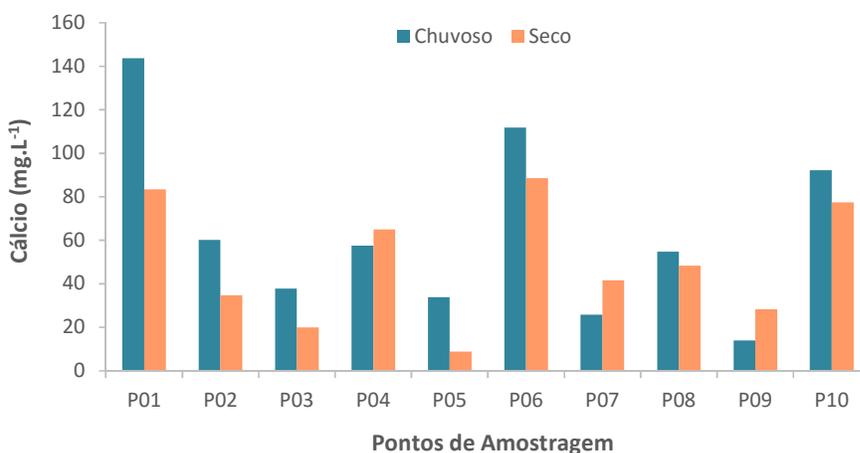
de arsênio, cádmio e manganês detectados no P10, bem como de outros metais como alumínio, boro, bário, manganês

5.1.11. Íons: Cálcio, Magnésio, Sódio, Potássio, Sulfato, Cloreto, Fluoreto

Os teores de íons como cálcio e magnésio são de grande relevância na avaliação ambiental, pois são os principais representantes da dureza da água. Águas muito duras podem causar incrustações em tubulações, reduzem a formação de espuma, aumentam o consumo de sabão e dificultam o cozimento de alimentos (LIBÂNIO, 2005; SANTOS, 2000). Em geral tem origem pela dissolução de rochas calcárias, e, apesar da Portaria n° 2.914/11 estabelecer o limite de 500 mg.L⁻¹ de carbonato de cálcio [CaCO₃], valores até 100 mg.L⁻¹ de CaCO₃ possuem maior aceitabilidade pela população (LIBÂNIO, 2005).

Os teores de cálcio nas amostras analisadas variaram entre 14,06 e 143,61 mg.L⁻¹ no período chuvoso e entre 8,73 e 88,5 mg.L⁻¹ no período seco (Figura 25). Em 7 dos 10 pontos analisados os valores foram maiores no período chuvoso.

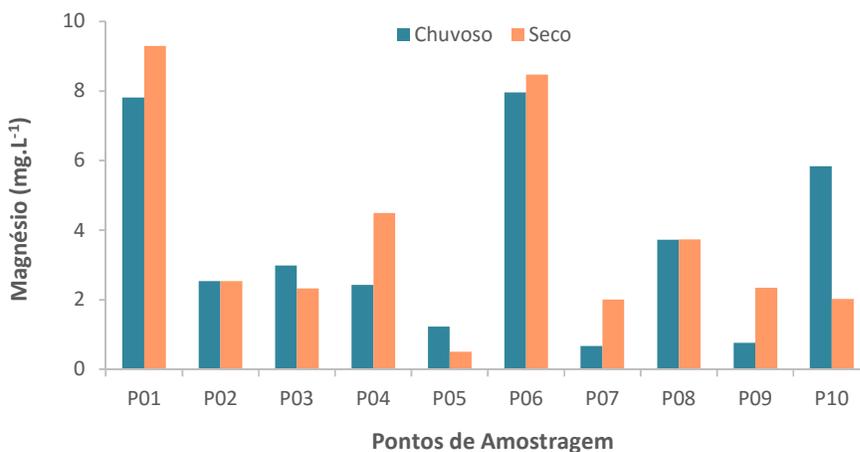
Figura 25: Variação da concentração de cálcio nos pontos de coleta



As concentrações de magnésio, por sua vez, variaram entre 0,64 e 7,96 mg.L⁻¹ no período chuvoso e entre 0,50 e 9,29 mg.L⁻¹ no período seco (Figura 26). Assim como o cálcio,

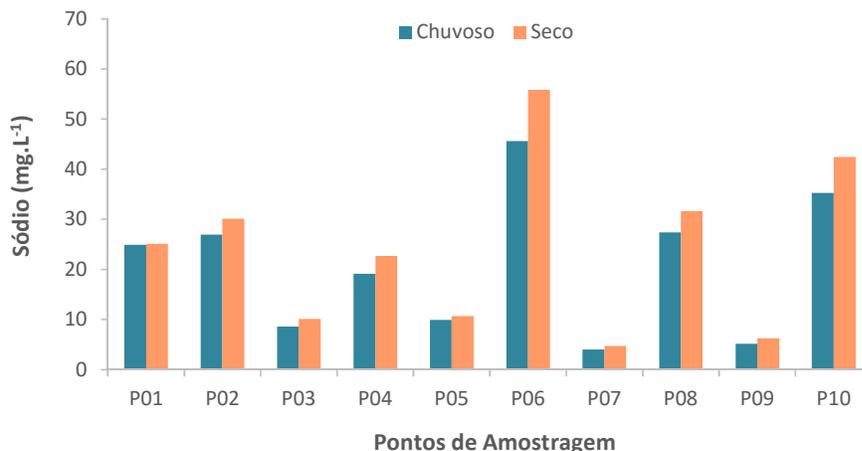
as concentrações foram mais elevadas nas amostras coletadas no período chuvoso para a maioria dos pontos.

Figura 26: Variação da concentração de magnésio nos pontos de coleta



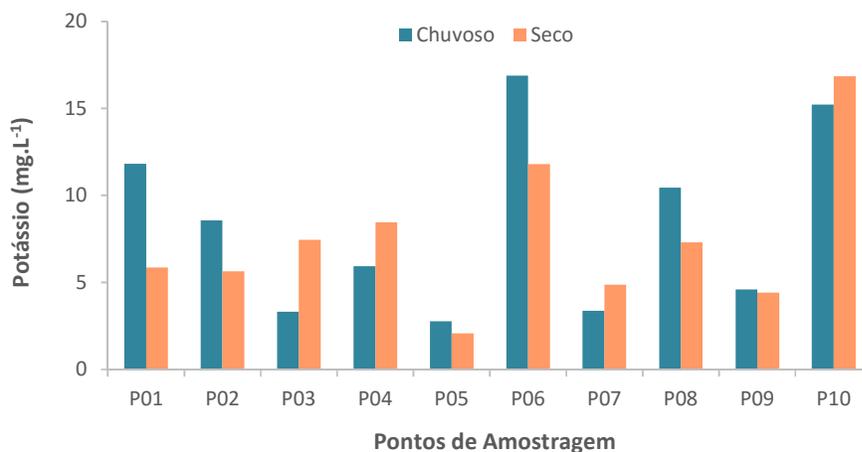
Todas as amostras apresentaram concentrações inferiores a 200 mg.L⁻¹ de sódio, que é o valor máximo definido tanto pelo Ministério da Saúde quanto pela Conama n° 396/2008 para consumo humano. As concentrações de sódio variaram entre 3,97 e 45,59 mg.L⁻¹ no período chuvoso e 4,71 e 55,85 mg.L⁻¹ no período seco (Figura 27). O ponto P06 apresentou maiores valores em ambas as campanhas, e os menores valores foram encontrados no P07, também em ambas as campanhas.

Figura 27: Variação da concentração de sódio nos pontos de coleta



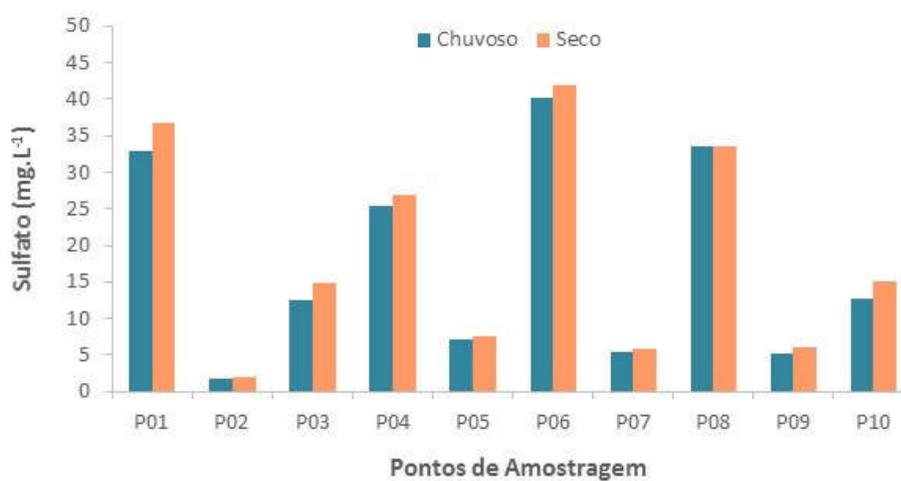
Na Figura 28, é possível observar que todas as amostras coletadas apresentaram teores de potássio. O perfil das concentrações deste íon apresentou pouca variação entre os períodos chuvoso e seco, variando entre 2,77 e 16,88 mg.L⁻¹ no primeiro, e entre 2,08 e 16,85 mg.L⁻¹ no segundo. Entretanto, a legislação não define um valor máximo para concentrações de potássio. Não se sabe ao certo sobre a toxicidade do consumo de potássio por seres humanos, visto que, em geral os riscos a saúde estão relacionados a pessoas que já possuam alguma suscetibilidade, como por exemplo, pessoas com disfunção renal, doenças cardíacas, hipertensão, diabetes, entre outros (WHO, 2011).

Figura 28: Variação da concentração de potássio nos pontos de coleta



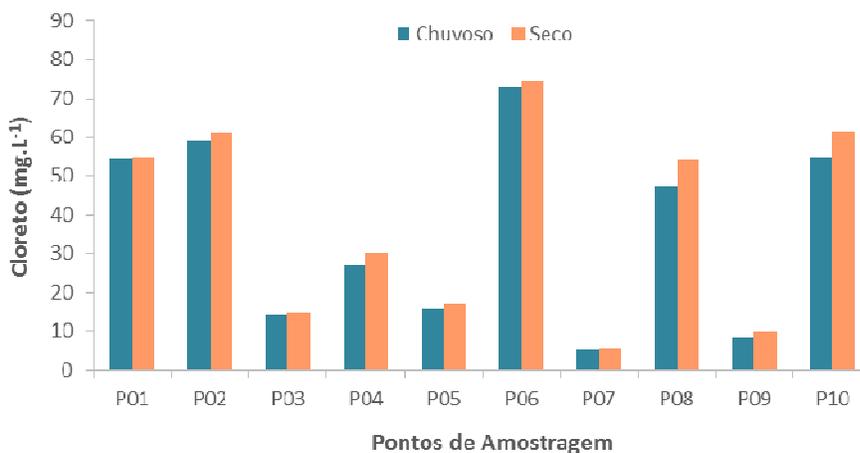
Com relação ao sulfato, este íon pode estar relacionado a descarga de efluentes domésticos e industriais, que para consumo humano deve estar a uma concentração máxima de 250 mg.L^{-1} , conforme portaria de potabilidade; acima desse valor, possui efeitos laxativos (PIVELI E KATO, 2005). Todas as amostras estavam abaixo desse valor máximo, e portanto, próprias para consumo humano. As maiores concentrações foram encontradas no período seco, com valor máximo no P06, igual a 40,18 e 41,84 mg.L^{-1} nos períodos chuvoso e seco respectivamente, e valor mínimo no P02, igual a 1,79 e 1,93 mg.L^{-1} nos períodos chuvoso e seco respectivamente (Figura 29).

Figura 29: Variação da concentração de sulfato nos pontos de coleta



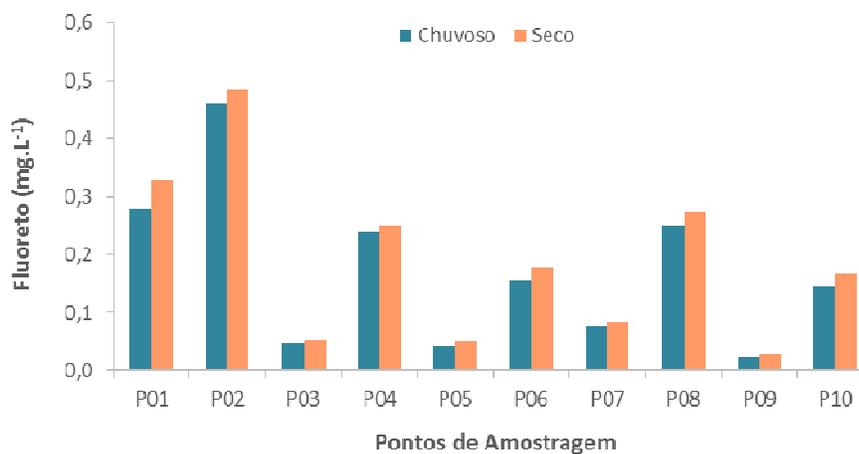
A presença de cloretos nas águas subterrâneas é muito comum, e pode ser fruto da dissolução de sais, da intrusão salina e ainda, do lançamento de efluentes domésticos e industriais (LIBÂNIO, 2005). Foram detectadas concentrações de cloretos em todas as amostras analisadas, e nenhuma ultrapassou o limite de 250 mg.L^{-1} que é o estabelecido pela Portaria n° 2.914/11 (Figura 30). As amostras coletadas no período seco apresentaram concentrações superiores, como fruto da menor demanda hídrica do período, e, conseqüentemente, menor diluição destes íons nas amostras.

Figura 30: Variação da concentração de cloreto nos pontos de coleta



O fluoreto é mais encontrado no ambiente pela aplicação de flúor nas estações de tratamento como preventivo a cárie dentária (BRASIL, 2013). Em águas subterrâneas, também pode estar presente pela decomposição de solos e rochas. Apesar de ser benéfico na prevenção de cáries, quando em concentrações mais elevadas, podem ser prejudiciais, causando a deterioração dos dentes (LIBÂNIO, 2005). O valor estabelecido para consumo humano é de 1,5 mg.L⁻¹, e apesar de ter sido detectado em todas as amostras analisadas, nenhuma ultrapassou este limite, estando, portanto, dentro dos padrões de potabilidade para esse parâmetro (Figura 31).

Figura 31: Variação da concentração de fluoreto nos pontos de coleta



5.1.12. BTEX: Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno total

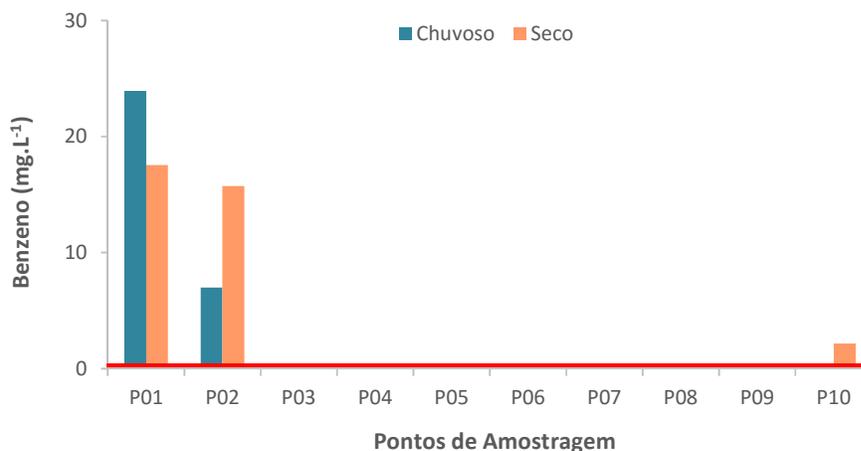
Os compostos BTEX – Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno são hidrocarbonetos monoaromáticos usados como indicadores de contaminação por combustível, mais precisamente a gasolina, por serem a fração mais solúvel da mesma (BARROS e PORTO, 2009). São substâncias de alta toxicidade, pois atingem o sistema nervoso central e podem causar leucemia em exposições crônicas (FERREIRA, 2000; MINDRISZ, 2006).

Uma das principais fontes deste tipo de contaminante no meio é por derramamentos de gasolina que podem acontecer tanto por problemas na instalação das unidades de armazenamento, quanto no manuseio inadequado (MINDRISZ, 2006). Quando a gasolina é derramada no solo, parte volatiliza, parte fica aderida ao solo ou retida nos vazios do mesmo, e parte fica dissolvida na água subterrânea (FERREIRA, 2000). Em geral esses compostos são biodegradáveis tanto em condições aeróbias quanto em condições anaeróbias desnitrificantes, porém neste segundo, com taxas menores de degradação e com a persistência do o-xileno (MORGAN et al, 1993). Isto tem contribuído para o crescimento de estudos e aplicações de processos de atenuação natural monitorada em descontaminação de áreas (WALT E McNAB, 1999).

De todas as amostras analisadas foi possível observar que 7 dos 10 pontos analisados apresentaram algum tipo de contaminação relacionada a combustíveis. Este resultado foi esperado, pois todos os poços estão localizados em área urbana, e possuíam postos de combustíveis nas proximidades.

No que se refere ao benzeno, o mais tóxico dos compostos BTEX (MARIANO, 2006) os pontos 01, 02 e 10 apresentaram valores significativamente altos, acima do permitido pela legislação, que determina $0,005 \text{ mg.L}^{-1}$ como limite máximo para consumo humano. A exposição em longo prazo ao benzeno pode causar efeitos crônicos como: alteração na medula óssea, no sangue, nos cromossomos, no sistema imunológico, diversos tipos de câncer, danos ao sistema nervoso central e irritação na pele e nas mucosas (ARCURI et al, 2012).

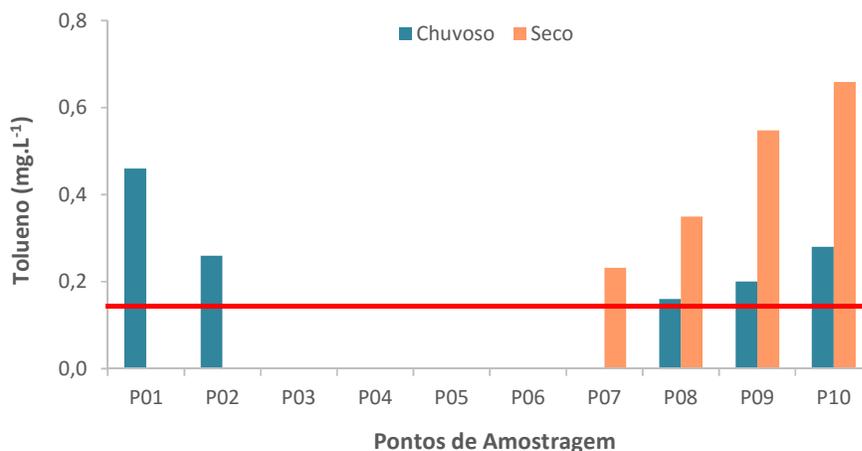
Figura 32: Variação da concentração de benzeno nos pontos de coleta



O tolueno é um composto menos tóxico comparado ao benzeno, sendo mais tolerado pelos organismos. O limite estabelecido pela Portaria 2.914/2011 para o consumo humano é de $0,17 \text{ mg.L}^{-1}$, podendo ser encontrado além da gasolina, em produtos de uso doméstico como colas e produtos de limpeza (FORSTER et al, 1994), como também na fabricação de adesivos, tintas de impressão, solventes, produtos farmacêuticos ou como aditivos de cosméticos (PIVELI E KATO, 2005).

Esta substância foi encontrada em 6 dos 10 pontos analisados, em concentrações superiores ao valor legal estabelecido. Somente a amostra P08, período chuvoso, apresentou valor inferior, igual a $0,016 \text{ mg.L}^{-1}$. A exposição ao tolueno afeta o sistema nervoso central, causando excitação ou depressão, tremores, desânimo, alucinações, convulsões e coma, podendo causar também problemas no fígado e no rins (PIVELI E KATO, 2005).

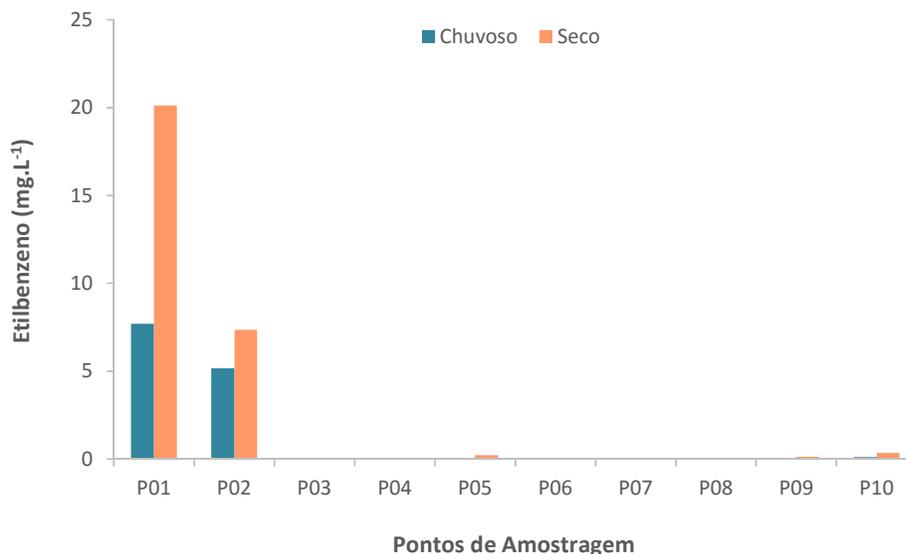
Figura 33: Variação da concentração de tolueno nos pontos de coleta



O etilbenzeno foi detectado em 05 pontos, em concentrações muito elevadas nos pontos P01 e P02, visto o limite de $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ da Portaria n° 2.914/11. Os valores no período chuvoso foram de $7,69$ e $5,17 \text{ mg.L}^{-1}$ para P01 e P02 respectivamente, aumentando no período seco para $20,12 \text{ mg.L}^{-1}$ no P01 e $7,35 \text{ mg.L}^{-1}$ no P02. Somente o ponto P09 apresentou valores abaixo do limite legal estabelecido. De acordo com WHO (2011), esse composto é facilmente absorvido por via oral, por inalação ou via dérmica, porém são rapidamente excretados pela urina, de modo que poucos dados sobre a toxicidade a longo prazo e carcinogenicidade estão disponíveis. Finotti et al (2001) relata que é um composto tóxico, porém não bioacumula e não é carcinogênico, como é o caso do benzeno, que tem valores mais restritivos.

A Figura 34 apresenta os valores encontrados. Devido a escala do gráfico, não foi possível destacar o limite de potabilidade na figura.

Figura 34: Variação da concentração de etilbenzeno nos pontos de coleta.

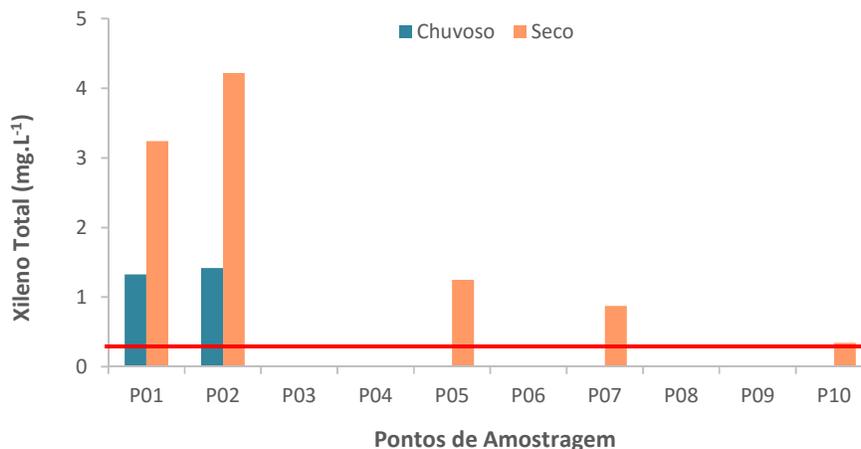


O xileno total representa a soma dos isômeros *orto*, *meta* e *para*-xileno, e estão presentes na gasolina e em solventes na fabricação de tintas. Degradam-se rapidamente na atmosfera pela foto-oxidação, e na água, possuem comportamento diferenciado entre os isômeros: o *m*-xileno e o *p*-xileno degradam-se mais facilmente, em condições aeróbias ou anaeróbias; e o *o*-xileno, entretanto, é mais persistente no meio (PIVELI E KATO, 2005).

Na legislação, o limite máximo para consumo humano é apresentado como xileno total, ou seja, como a soma dos isômeros, que não ultrapassar a concentração de 0,3 mg.L⁻¹. Cinco pontos apresentaram concentrações de xileno, todas acima de 0,3 mg.L⁻¹. Os valores variaram entre 1,33 e 1,42 mg.L⁻¹ no período chuvoso e 0,34 a 4,22 mg.L⁻¹ no período seco.

Vale ressaltar que o *o*-xileno não foi detectado em nenhuma das amostras, e neste caso, a presença somente de *m*-xileno e *p*-xileno pode indicar uma contaminação mais recente.

Figura 35: Variação da concentração de xileno nos pontos de coleta



Os valores mais altos no período seco podem representar uma nova contaminação entre os períodos, mas também podem ser consequência do menor volume de água no período seco, conforme observado no estudo realizado por Silva et al (2002). Este mesmo estudo

Adicionalmente, a presença de oxigênio dissolvido e nitrato na água podem ter contribuído para a biodegradação dos compostos BTEX nos poços analisados (SILVA et al, 2002). Para o caso do ponto P01, a redução na concentração de benzeno e tolueno entre os períodos chuvoso e seco pode indicar a biodegradação desses compostos, visto a redução a zero dos níveis de oxigênio. No ponto P02 a ausência de oxigênio dissolvido e o aumento na concentração de nitrato não representam indícios de biodegradação dos compostos, estando de acordo com o aumento da concentração de benzeno, etilbenzeno e xileno. Assim, a redução observada da concentração de tolueno nesta amostra (P02) pode ter sido devido a volatilização natural do composto.

A biodegradação de hidrocarbonetos de petróleo pode gerar subprodutos ácidos que reduzem o pH do meio, e consequentemente, desaceleram a atividade microbiana (ANDRADE et al, 2010). A degradação do tolueno, por exemplo, libera CO₂ na água subterrânea, que aumenta a acidez do meio (MARIANO, 2006). Isso pode explicar a redução do pH, o consumo de oxigênio dissolvido e o aumento das concentrações de BTEX no P10 nas amostras do período seco.

5.2. Qualidade do Aquífero Livre para Consumo Humano

A análise da qualidade do aquífero livre para consumo humano foi feita com base nos valores máximos permitidos pela Portaria de Potabilidade nº 2.914/11, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011). Dos 39 parâmetros analisados neste estudo, 25 possuem limites máximos definidos para consumo humano pela referida portaria, e determinam se a água está própria ou não para este uso. Os resultados de coliformes termotolerantes foram comparados com o que determina a CONAMA 396/2008 para consumo humano.

A partir dos resultados e comparativo com a legislação, foi observado que todos os 10 pontos analisados estão impróprios para consumo humano para pelo menos dois parâmetros de potabilidade. Resultado semelhante foi obtido por Cordeiro et al (2011) na análise de 10 poços rasos usados para abastecimento doméstico no município de Macaé/RJ, identificando 9 pontos com água fora dos padrões de potabilidade, e, portanto, também imprópria para consumo humano.

A Tabela 5 mostra os parâmetros de potabilidade analisados, e quais amostras excederam os limites máximos tanto no período seco quanto no período chuvoso.

Parâmetro de Potabilidade	CHUVOSO										SECO									
	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10
Ferro																				
Manganês	X	X						X			X	X								X
Níquel																				
Zinco																				
Benzeno	X	X									X	X								X
Tolueno	X	X							X	X							X	X	X	X
Etilbenzeno	X	X									X	X			X					X
Xileno total	X	X									X	X			X		X			X
Total de parâmetros excedidos	8	9	3	3	3	4	2	4	3	4	9	9	3	5	3	4	3	5	2	11

Dos 26 parâmetros listados na Tabela 5, 12 tiveram os limites estabelecidos de potabilidade excedidos em alguma das amostras analisadas. É possível observar que, em número de parâmetros excedidos, os pontos P01, P02 e P10 apresentaram os resultados mais críticos, pois estariam impróprias para 8, 9 e 4 parâmetros no período chuvoso, e para 9, 8 e 11 parâmetros no período seco, respectivamente.

O parâmetro que mais apresentou alteração dentre as 20 amostras analisadas foi cor, ultrapassando em 16 amostras (7 amostras no período chuvoso e 9 no período seco) o valor recomendado. A maioria das amostras também apresentou variação quanto a presença de coliformes, com presença em 12 amostras, sendo 2 no período seco e 10 no período chuvoso.

O limite de cádmio para consumo humano foi ultrapassado somente em duas amostras analisadas, P02 e P10, ambas no período seco, sendo o parâmetro menos excedido entre as amostras realizadas.

Os resultados para compostos BTEX também diagnosticaram uma situação grave quanto a contaminação por combustíveis. Sete entre os 10 pontos analisados excederam os limites de potabilidade para algum desses parâmetros em pelo menos uma das campanhas. A preocupação aumenta pelo fato de que esses compostos costumam ser ignorados por usuários de poços domésticos quando na análise química da água, especialmente em poços clandestinos, sem a devida regularização junto a Secretaria de Recursos Hídricos do estado.

Diferentemente do estado de Sergipe, esse tipo de problema pode ser contornado no estado de São Paulo, onde a CETESB gerencia o cadastro e divulgação em mapa das áreas contaminadas, com acesso público, sendo possível à população tomar precauções quanto a utilização da água, e facilitando aos órgãos licenciadores restrições quanto liberação de perfuração de poços e outorgas.

Os limites dos parâmetros turbidez, nitrito, sódio, sulfato, fluoreto, cloretos, alumínio, bário, cobre, ferro, níquel e zinco não foram excedidos em nenhuma das amostras realizadas, de modo que estariam próprias para consumo humano para esses parâmetros. Cromo e cloro residual não foram identificados em nenhuma das amostras realizadas.

6. CONCLUSÃO

A cidade de Aracaju apresenta vulnerabilidades que permitem inferir uma má qualidade do aquífero livre, pois além da existência dos diversos impactos inerentes às zonas urbanas, a predominância de solos arenosos cria uma condição propícia a contaminação.

O trabalho consistiu na coleta e análise química de amostras de água do aquífero livre em 10 poços de monitoramento rasos na cidade de Aracaju, em duas campanhas – período seco e chuvoso – e os resultados diagnosticaram que a água encontra-se imprópria para consumo humano em todos os pontos analisados, para pelo menos dois parâmetros de potabilidade.

Altos teores de nitrogênio e coliformes foram encontrados, provavelmente como consequência da utilização de fossas negras ou sistemas de tratamento de efluentes domésticos inadequados pela população. A coleta de esgoto doméstico não é feita em todas as regiões da cidade, sendo necessária, muitas vezes, a implantação de sistemas alternativos pela população.

As concentrações de turbidez, nitrito, sódio, sulfato, fluoreto, cloretos, alumínio, bário, cobre, ferro, níquel e zinco não ultrapassaram os limites de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde em nenhuma das amostras analisadas. Cloro residual livre, cobalto e cromo não foram detectados em nenhuma das amostras analisadas.

No que se refere a sazonalidade, em 24 dos 39 parâmetros analisados os resultados foram mais elevados no período seco, relacionados principalmente à maior diluição dos compostos no período chuvoso. No que se refere a coliformes, todavia, ocorre o inverso, os valores foram maiores no período chuvoso (maior número de amostras contaminadas), pois refletem a inundação das fossas nesse período, e o carreamento dos organismos patogênicos.

A detecção de compostos como benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno revelam uma preocupação maior pela toxicidade destes, encontrados em concentrações elevadas mesmo sendo altamente voláteis. Este cenário sugere uma maior atenção a esses parâmetros nas avaliações de potabilidade.

Espera-se, com este estudo, contribuir para a implantação de um processo mais específico de gerenciamento e identificação de áreas contaminadas no município, facilitando a definição e aplicação de medidas de proteção ambiental e remediação, e ainda, restrições quanto o uso da água subterrânea do aquífero livre nessas áreas, pelo risco que apresentam à saúde da população.

7. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil, e, Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil.** Agência Nacional de Águas/Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. Cadernos de Recursos Hídricos. Brasília: ANA, SPR, 2007.

_____. **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil.** Agência Nacional de Águas/Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. Cadernos de Recursos Hídricos. Brasília: ANA, SPR, 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO (ANP). **Sistema de consulta de postos revendedores.** Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?id=1086>>. Acesso em: 14 jan. 2016.

ALVES, J. P. H.; GARCIA, C. A. B.; XAVIER, C. A. Metais traços no solo e água subterrânea da região do Distrito Industrial de Aracaju - Sergipe. In: 29a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 2006, Águas de Lindóia - SP. **Livro de resumos** da 29a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 2006. v. Único. p. AB114-AB114.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater.** 20 ED. Washington: APHA, 1998

ANDRADE, J. A.; AUGUSTO, F.; JARDIM, I. C. S. F. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. **Eclética Química**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 17-43, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-46702010000300002&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 20 mar. 2016.

ARAÚJO, H. M.; BEZERRA, G. S.; SOUZA, A. C. Hidrografia e hidrogeologia: qualidade e disponibilidade de água para abastecimento humano na bacia costeira do rio Sergipe. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13., 2009, Viçosa. **Anais eletrônicos...** Viçosa: UFV, 2009. Disponível em: <<https://ri.ufs.br/bitstream/123456789/526/1/Hidrografia%20e%20hidrogeologia.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2014.

ARCURI, A. S. A. et al. **Efeitos da exposição ao benzeno para a saúde.** São Paulo: Fundacentro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (ABAS). **Águas subterrâneas, o que são?** Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. Disponível em: <<http://www.abas.org/educacao.php>>. Acesso em: 24 abr. 2014.

ASTM. **METHOD D6699-01:** Standard practice for sampling liquids using bailers. ASTM International, Pennsylvania, 2010.

BARROS, R. M.; PORTO, R. M. Risco de poluição das águas subterrâneas por vazamentos em postos de abastecimento de combustível, no município de Ribeirão Preto-SP. **Águas Subterrâneas**, v. 23, n. 1, 2009.

BEZERRA, P. G.; CELINO, J. J.; GARCIA, K. S.; OLIVEIRA, M. R. Indicadores geoquímicos de contaminação por compostos orgânicos voláteis em águas subterrâneas da Bacia do Rio Lucaia, Salvador, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42 (Suppl 1), p. 238-244, 2012.

BOTTURA, J. A. **Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento**. Apostila de Curso. AESAS, 2009. Disponível em: <http://www.hidrosuprimentos.com.br/images/pdf_artigos_tecnicos/amostragem_agua_sub.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2014

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental: o Desafio do Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água**. 4ª ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2013.

_____. Ministério da Saúde. Portaria 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 14 de dezembro de 2011. Seção V. p. 32.

_____. Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 1997.

CAIN, D.; HELSEL, D. R.; RAGONE, S. E. Preliminary Evaluations of Regional Ground-Water Quality in Relation to Land Use. **Groundwater**, v. 27, n. 2, p. 230-244, 1989.

CAPPI, N.; AYACH, L. R.; DOS SANTOS, T. M. B.; GUIMARÃES, S. T. L. Qualidade da água e fatores de contaminação de poços rasos na área urbana de Anastácio (MS). **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 16, n. 3, p. 77-92, 2012.

CASTELLO, L. Z.; MOREIRA, C. A.; BRAGA, A. C. O. Estudo geofísico de vazamento controlado de álcool combustível em escala laboratorial. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 29, n. 2, p. 231-237, 2011.

CHUAN, M. C.; SHU, G. Y.; LIU, J. C. Solubility of heavy metals in a contaminated soil: effects of redox potential and pH. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 90, n. 3-4, p. 543-556, 1996.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Texto explicativo: relação de áreas contaminadas no estado de São Paulo**. Diretoria de Controle e Licenciamento Ambiental. CETESB: São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://areascontaminadas.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2013/11/texto-explicativo1.pdf>>. Acesso em: 23 jan. 2016.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução CONAMA Nº. 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o

enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 7 abr. 2008, Seção 1, p. 64-68.

_____. Resolução CONAMA N°. 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 30 dez. 2009, p. 81-84.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CNRH). Resolução N°. 15, de 11 de janeiro de 2001. Estabelece diretrizes gerais para a gestão das águas subterrâneas. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 2001.

_____. Resolução N°. 22, de 24 de maio de 2002. Estabelece diretrizes para inserção das águas subterrâneas no Instrumento Plano de Recursos Hídricos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 2002.

CORDEIRO, M. R.; RODRIGUES, S. M.; DE SOUZA, P. R. N.; FERREIRA, M. I. P. Avaliação da contaminação de efluentes domésticos em poços sobre área de restinga. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v. 5, n. 1, p. 89-102, 2011.

CORSEUIL, H. X.; ALVAREZ, P. J.J. Natural bioremediation perspective for BTX-contaminated groundwater in Brazil: effect of ethanol. **Water Science and Technology**, v. 34, n. 7, p. 311-318, 1996.

CORSEUIL, H. X.; MARINS, M. D. M. Contaminação de águas subterrâneas por derramamentos de gasolina: o problema é grave?. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 2, n. 2, p. 50-54, 1997

COSTA, M. A. F.; COSTA, M. Benzeno: uma questão de saúde pública. **Interciência**, v. 27, n. 4, p. 201-204, 2002.

DAS, M.; KUMAR, A.; MOHAPATRA, M.; MUDULI, S. D. Evaluation of drinking quality of groundwater through multivariate techniques in urban area. **Environmental monitoring and assessment**, v. 166, n. 1-4, p. 149-157, 2010.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY OF UNITED STATES (EPA). 1986a. **RCRA Ground Water Technical Enforcement Guidance Document**. Office of Waste Program Enforcement, Office of Solid Waste and Emergency Response. Washington, D.C, 1986.

ESTEVES, F. de A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FARIAS, M. S. S. **Monitoramento da Qualidade da Água na Bacia Hidrográfica do Rio Cabelo**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

FARIAS, W. M.; MARTINS, E. S.; CARDOSO, F. B. F.; CARVALHO, J. C. A influência do oxi-hidróxido de Fe matricial no comportamento mecânico de solos tropicais em áreas de deposição de resíduos sólidos. **Espaço & Geografia**. v. 6, n.2, 2003.

FERNANDES, P. A. M.; ALVES, M. G.; DIAS FILHO, J. L. E.; DA SILVA JÚNIOR, G. C. Diagnóstico hidroquímico das águas subterrâneas de Quissamã-RJ. **Exatas & Engenharia**, v. 3, n. 06, 2013.

FERREIRA, S. B. **Estudos laboratoriais para avaliação do potencial de contaminação de água e de solo por gasolina oxigenada**. 2000. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

FILHO, J. M. Contaminação das águas subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C e FILHO, J. M (org.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 2. ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2000.

FINOTTI, A. R.; CAICEDO, N. O. L.; RODRIGUEZ, M. T. R. Contaminações subterrâneas com combustíveis derivados de petróleo: toxicidade e a legislação brasileira. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, n. 2, p. 29-46, 2001.

FORSTER, L. M. K; TANNHAUSER, M.; TANNHAUSER, S. L. Toxicologia do tolueno: aspectos relacionados ao abuso. **Revista de Saúde Pública**, v. 28, n. 2, p. 167-172, 1994.

FRANÇA, S. L. A. **Zona de expansão urbana de Aracaju: conflitos entre ocupação e condições ambientais**. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPUR, 14., 2011, Rio de Janeiro.

GARCIA, C. A. B ; PASSOS, E. A.; ALVES, J. P. H. Assessment of trace metals pollution in estuarine sediments using SEM-AVS and ERM-ERL predictions. **Environmental monitoring and assessment**, v. 181, n. 1-4, p. 385-397, 2011.

GARCIA, C. A. B.; ALVES, J. P. H. Qualidade da água. In: **Diagnóstico e avaliação da sub-bacia hidrográfica do rio Poxim**. Relatório Final. UFS/FAPESE. Aracaju, 2006.

GODOY, J. M.; SOUZA, T. A.; GODOY, M. L. D.; MOREIRA, I.; CARVALHO, Z. L.; LACERDA, L. D.; FERNANDES, F. C. Groundwater and surface water quality in a coastal bay with negligible fresh groundwater discharge: Arraial do Cabo, Brazil. **Marine Chemistry**, v. 156, p. 85-97, 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>>. Acesso 30 jan. 2016

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2010**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=280030>>. Acesso em: 24 jan. 2016.

_____. **Pesquisa nacional de saneamento básico - 2008**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv45351.pdf>>. Acesso em: 24 jan. 2016.

JESUS, J. B. Estimativa do balanço hídrico climatológico e classificação climática pelo método de Thornthwaite e Mather para o município de Aracaju-SE. **Scientia Plena**, v. 11, n. 5, 2015.

- JIMENEZ, R. S.; BOSCO, S. M. D.; CARVALHO, W. A. Remoção de metais pesados de efluentes aquosos pela zeólita natural esolecita–influência da temperatura e do pH na adsorção em sistemas monoelementares. **Química Nova**, v. 27, n. 5, p. 734-738, 2004.
- LAVOIE, R.; JOERIN, F.; VANSNICK, J.C.; RODRIGUEZ, M. J.. Integrating groundwater into land planning: A risk assessment methodology. **Journal of Environmental Management**, v. 154, p. 358-371, 2015.
- LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas, SP: Editora Átomo, 2005.
- MARIANO, A. P. **Avaliação do potencial de biorremediação de solos e de águas subterrâneas contaminados com óleo diesel**. 2006. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro/SP. 2006.
- MINDRISZ, A. C. **Avaliação da contaminação da água subterrânea de poços tubulares, por combustíveis fósseis, no município de Santo André, São Paulo**: uma contribuição à gestão ambiental. 2006. 231 f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006.
- MORGAN, P.; LEWIS, S. T.; WATKINSON, R. J. Biodegradation of benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes in gas-condensate-contaminated ground-water. **Environmental Pollution**, v. 82, n. 2, p. 181-190, 1993.
- PINTO, J. E. S. S.; SANTOS, F. V. ; SOUSA, I. F. Variação Rítmica dos elementos climáticos em Aracaju,SE. Rio de Janeiro-RJ: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2000. p. 641-647. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/12-54b288633434b1633436a1881aa85582.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2016.
- PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das águas e poluição: Aspectos físico-químicos**. ABES: São Paulo, 2005.
- RIBEIRO, D. D. M. et al. Riscos de contaminação do aquífero freático nos povoados Mosqueiro, Areia Branca e Robalo, Aracaju, Sergipe. ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS EM SERGIPE, 2., 2009, Aracaju. **Anais eletrônicos...** Aracaju: EMBRAPA, 2009. Disponível em: <http://www.cpatc.embrapa.br/eventos/2enrehse/Secoestecnicas/ST2/st_11.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2014.
- SANTOS, A.C. Noções de hidroquímica. In: FEITOSA, F. A. C e FILHO, J. M (org.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 2. ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2000.
- SERGIPE. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Superintendência de Recursos Hídricos. **Sistema de Informação de Recursos Hídricos de Sergipe – SIRHSE**. Disponível em: <http://editor.giscloud.com/map/449045/sirhse-autorizaes-recursos-hdricos>. Acesso em: 15 fev 2016.

_____. Secretaria de Estado do Planejamento e da Ciência e Tecnologia. Superintendência de Recursos Hídricos. **Atlas digital sobre recursos hídricos**. Aracaju: SEPLANTEC/SRH, 2012. CD-ROM.

_____. Decreto N° 19.675 de 04 de maio de 2001. Suspende a outorga de direito para obra de perfuração de novos poços tubulares profundos, para quaisquer finalidades, a região comprometida entre os paralelos 8.770.000m e 8.830.000.m N; MC=39° w GR, na bacia sedimentar do Estado, e dá providencia correlatas. Sergipe, 2001.

SILVA, C. A.; STRAPAÇÃO, S.; YAMANAKA, E. H. U.; BALLÃO, C.; MONTEIRO, C. S. Potabilidade da água de poços rasos em uma comunidade tradicional, Curitiba-PR. **Revista Biociências**, Taubaté, v.19, p. 88-92, 2013.

SILVA, D. D.; MIGLIORINI, R. B.; SILVA, E. C.; LIMA, Z. M.; MOURA, I; B. Falta de saneamento básico e as águas subterrâneas em aquífero freático: região do Bairro Pedra Noventa, Cuiabá (MT). **Eng Sanit Ambient**, v. 19, n. 1, p. 43-52, 2014.

SILVA, R. C. A.; ARAÚJO, T. M. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). **Ciênc. saúde coletiva**, São Paulo, v. 8, n. 4, 2003.

SILVA, R. L. B., BARRA, C. M., MONTEIRO, T. C. N., BRILHANTE, O. M. **Estudo da contaminação de poços rasos por combustíveis orgânicos e possíveis consequências para a saúde pública no Município de Itaguaí, Rio de Janeiro, Brasil**. Cadernos de Saúde Pública, v.18(6), p.1599, 2002.

SRINIVAS, R.; BHAKAR, P.; SINGH, A.P. Groundwater Quality Assessment in Some Selected Area of Rajasthan, India Using Fuzzy Multi-criteria Decision Making Tool. **Aquatic Procedia**, v. 4, p. 1023-1030, 2015.

WALT, W.; McNAB Jr. Comparisons of geochemical signatures of biotransformation of fuel hydrocarbons in groundwater. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 59, p. 257–274, 1999.

WOLF, L.; KLINGER, J.; HELD, I.; HÖTZL, H. Integrating groundwater into urban water management. **Water Science and Technology**, v. 54, p. 395-403, 2006.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines for drinking-water quality: recommendations**. 4ª ed. Geneva: WHO, 2011. Disponível em: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151_eng.pdf>. Acesso em: 23 jan 2016.

YABE, M. J. S.; OLIVEIRA, E. Metais pesados em águas superficiais como estratégia de caracterização de bacias hidrográficas. **Química Nova**, v. 21, n. 5, p. 551-556, 1998.

APÊNDICE 1 – RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS

1º CAMPANHA – PERÍODO CHUVOSO

Amostras Parâmetros	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10
pH	7,14 ±0,13	6,76 ±0,19	6,53 ±0,27	6,07 ±0,18	6,07 ±0,19	6,69 ±0,26	7,16 ±0,19	6,70 ±0,26	7,06 ±0,21	6,69 ±0,14
Condut. Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	957,00 ±34,69	1.047,00 ±32,49	283,00 ±35,52	441,00 ±20,21	241,00 ±27,45	965,00 ±23,93	158,30 ±57,49	540,00 ±33,01	119,70 ±36,47	814,00 ±30,11
STD (mg/L)	485,00 ±18,19	522,00 ±17,63	142,00 ±15,08	224,00 ±26,03	121,00 ±11,39	483,00 ±6,32	79,70 ±31,58	271,00 ±6,30	59,90 ±18,76	407,00 ±27,17
Turbidez (NTU)	25,40 ±12,49	76,00 ±9,08	49,00 ±9,00	41,80 ±10,15	26,70 ±3,15	68,60 ±11,24	17,90 ±5,35	13,53 ±2,75	18,22 ±5,58	16,02 ±14,49
Cor (mg/L Pt-Co)	27,59 ±1,49	40,55 ±1,88	41,84 ±0,98	23,15 ±0,40	37,77 ±1,24	22,04 ±0,40	6,67 ±0,99	9,26 ±1,13	12,59 ±0,85	34,07 ±2,09
Oxigênio Dissolvido ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	0,21 ±0,05	0,00	0,83 ±0,09	1,38 ±0,15	0,83 ±0,14	0,69 ±0,05	2,76 ±0,13	0,96 ±0,12	2,62 ±0,07	0,69 ±0,10
Cloro Residual Livre	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Nitrato ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	2,624 ±0,204	3,034 ±0,119	8,092 ±0,133	36,244 ±0,196	4,225 ±0,148	49,597 ±0,119	5,309 ±0,192	32,483 ±0,100	5,536 ±0,108	4,995 ±0,205
Nitrito ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	n.d.	n.d.	0,044 ±0,008	0,026 ±0,003	n.d.	0,294 ±0,054	n.d.	0,396 ±0,083	n.d.	n.d.
Sulfato ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	32,888 ±0,204	1,793 ±0,111	12,431 ±0,121	25,311 ±0,163	7,071 ±0,135	40,179 ±0,154	5,356 ±0,200	33,584 ±0,156	5,253 ±0,204	12,608 ±0,182
Fosfato ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	n.d.	0,036 ±0,014	n.d.	0,991 ±0,021	0,091 ±0,012	2,197 ±0,010	0,119 ±0,019	3,309 ±0,018	0,102 ±0,012	0,029 ±0,018
Fluoreto ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	0,280 ±0,025	0,462 ±0,035	0,047 ±0,003	0,237 ±0,035	0,042 ±0,003	0,156 ±0,028	0,076 ±0,009	0,250 ±0,039	0,023 ±0,005	0,146 ±0,036
Cloreto ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	54,61 ±0,14	58,90 ±0,08	14,33 ±0,07	26,95 ±0,15	15,65 ±0,10	72,77 ±0,09	5,30 ±0,06	47,18 ±0,19	8,27 ±0,05	55,05 ±0,10
Lítio ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	0,0163 ±0,0011	0,0227 ±0,0020	0,0162 ±0,0018	0,0167 ±0,0017	0,0164 ±0,0020	0,0164 ±0,0019	0,0167 ±0,0018	0,0167 ±0,0018	0,0169 ±0,0015	0,0163 ±0,0018
Sódio ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	24,847 ±0,190	26,881 ±0,143	8,602 ±0,187	19,145 ±0,179	9,918 ±0,173	45,588 ±0,197	3,970 ±0,060	27,364 ±0,182	5,170 ±0,088	35,292 ±0,095
Amônia ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	2,128 ±0,019	26,536 ±0,007	0,595 ±0,008	0,585 ±0,015	0,758 ±0,012	2,383 ±0,010	0,654 ±0,018	0,393 ±0,010	0,669 ±0,021	6,071 ±0,011
Potássio ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	11,821 ±0,012	8,564 ±0,012	3,323 ±0,019	5,938 ±0,006	2,770 ±0,019	16,885 ±0,009	3,374 ±0,006	10,448 ±0,017	4,589 ±0,006	15,233 ±0,007

2º CAMPANHA – PERÍODO SECO

Amostras Parâmetros	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10
pH	6,80 ±0,16	6,80 ±0,12	7,09 ±0,31	6,32 ±0,16	7,29 ±0,23	6,74 ±0,17	6,94 ±0,28	6,98 ±0,17	6,85 ±0,27	4,10 ±0,14
Condutiv. Elétrica (µS/cm)	3.080,00 ±6,73	3.590,00 ±25,40	2.205,00 ±12,44	2.950,00 ±40,33	578,00 ±13,27	4.705,00 ±15,69	1.910,00 ±25,27	2.650,00 ±10,16	1.535,00 ±38,23	4.360,00 ±42,93
STD (mg/L)	1.550,00 ±27,66	1.790,00 ±29,68	1.095,00 ±11,29	1.475,00 ±19,06	287,50 ±31,04	2.360,00 ±29,85	950,00 ±17,31	1.330,00 ±18,88	775,00 ±15,47	2.175,00 ±12,48
Turbidez (NTU)	71,40 ±6,25	66,80 ±10,42	38,00 ±6,73	12,34 ±6,81	13,02 ±6,25	58,80 ±4,79	23,40 ±4,76	20,40 ±7,50	8,67 ±1,00	56,40 ±5,14
Cor (mg/L Pt-Co)	66,13 ±0,32	60,92 ±1,50	138,77 ±1,44	61,52 ±1,29	87,38 ±0,35	45,07 ±1,63	9,27 ±0,88	27,40 ±2,12	27,78 ±0,84	98,38 ±0,97
Oxigênio Dissolvido (mg.L⁻¹)	0,00	0,00	0,00	1,65 ±0,15	1,59 ±0,04	3,72 ±0,10	0,96 ±0,11	0,41 ±0,03	1,38 ±0,10	0,00
Cloro Residual Livre	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Nitrato (mg.L⁻¹)	2,691 ±0,190	3,492 ±0,189	9,779 ±0,209	38,187 ±0,120	5,154 ±0,170	59,312 ±0,165	5,851 ±0,206	36,183 ±0,141	6,522 ±0,099	5,961 ±0,195
Nitrito (mg.L⁻¹)	n.d.	n.d.	0,049 ±0,007	0,027 ±0,007	0,0013 ±0,0009	0,320 ±0,087	0,023 ±0,005	0,467 ±0,069	n.d.	0,093 ±0,006
Sulfato (mg.L⁻¹)	36,825 ±0,139	1,931 ±0,181	14,930 ±0,159	26,829 ±0,144	7,496 ±0,097	41,841 ±0,097	5,786 ±0,135	33,604 ±0,141	6,156 ±0,135	15,062 ±0,166
Fosfato (mg.L⁻¹)	1,086 ±0,019	0,038 ±0,021	n.d.	1,045 ±0,015	0,110 ±0,020	2,507 ±0,020	0,130 ±0,015	3,608 ±0,020	0,122 ±0,016	0,033 ±0,014
Fluoreto (mg.L⁻¹)	0,330 ±0,046	0,485 ±0,024	0,052 ±0,021	0,250 ±0,041	0,051 ±0,001	0,179 ±0,036	0,083 ±0,007	0,272 ±0,050	0,028 ±0,005	0,165 ±0,022
Cloreto (mg.L⁻¹)	54,81 ±0,14	61,19 ±0,06	14,87 ±0,21	30,13 ±0,06	17,12 ±0,10	74,56 ±0,09	5,64 ±0,08	54,21 ±0,21	9,89 ±0,13	61,39 ±0,12
Lítio (mg.L⁻¹)	0,0162 ±0,0016	0,0201 ±0,0011	0,0163 ±0,0013	0,0180 ±0,0015	0,0165 ±0,0020	0,0161 ±0,0019	0,0175 ±0,0014	0,0168 ±0,0021	0,0161 ±0,0015	0,0251 ±0,0021
Sódio (mg.L⁻¹)	25,136 ±0,060	30,104 ±0,194	10,110 ±0,207	22,693 ±0,093	10,665 ±0,137	55,854 ±0,106	4,710 ±0,086	31,639 ±0,084	6,253 ±0,072	42,447 ±0,147
Amônia (mg.L⁻¹)	2,220 ±0,010	32,044 ±0,018	0,646 ±0,015	0,628 ±0,011	0,893 ±0,014	2,503 ±0,016	0,721 ±0,014	0,415 ±0,006	0,805 ±0,018	6,929 ±0,006
Potássio (mg.L⁻¹)	5,863 ±0,016	5,644 ±0,009	7,443 ±0,018	8,462 ±0,009	2,077 ±0,009	11,815 ±0,013	4,865 ±0,015	7,300 ±0,015	4,411 ±0,007	16,845 ±0,020
Magnésio (mg.L⁻¹)	9,297 ±0,018	2,541 ±0,013	2,327 ±0,014	4,494 ±0,011	0,508 ±0,008	8,466 ±0,017	2,007 ±0,009	3,735 ±0,009	2,343 ±0,010	2,026 ±0,012

