

# Variação espaço-sazonal de parâmetros da qualidade da água subterrânea usada em consumo humano em Macapá, Amapá, Brasil

*Space-seasonal variation of groundwater parameters used for human consumption in the city of Macapá, Amapá, Brazil*

Silvana Lopes Grott<sup>1</sup>, Evellyn Brito Façanha<sup>2</sup>, Rafael Neri Furtado<sup>2</sup>, Helenilza Ferreira Albuquerque Cunha<sup>3</sup>, Alan Cavalcanti da Cunha<sup>4\*</sup>

## RESUMO

O objetivo desta investigação foi avaliar a qualidade da água subterrânea consumida em 52 residências em Macapá, Amapá, Brasil. Parâmetros físico-químicos e microbiológicos (pH, turbidez, cor, Fe, NO<sub>3</sub>, Mn, Cl, NH<sub>3</sub>, Al, coliformes totais, *E. coli*) e parâmetros sanitários (bairro, filtro, características do poço, caixa d'água, destino do esgoto, distância do poço às fossas, alagamentos, doenças etc.) foram utilizados nesta quantificação. Amostras de água foram coletadas nas residências nos períodos seco (novembro de 2014) e chuvoso (abril-maio de 2015). Testes estatísticos identificaram intensa variação sazonal da qualidade da água (Mann-Whitney,  $p < 0,05$ ), porém média variabilidade espacial (Análise de Clusters,  $p < 0,05$ ). Concluiu-se que os mananciais subterrâneos estão com a qualidade da água comprometida e apresentam maior risco sanitário no período chuvoso, que varia de acordo com os diferentes parâmetros sanitários.

**Palavras-chave:** abastecimento de água; parâmetros hidrossanitários; salubridade ambiental.

## ABSTRACT

The objective of this research is to evaluate the groundwater quality consumed in 52 residences in Macapá, Amapá, Brazil. Physical and chemical and microbiological parameters (pH, turbidity, color, Fe, NO<sub>3</sub>, Mn, Cl, NH<sub>3</sub>, Al, total coliforms, *E. coli*) and sanitary parameters (neighborhood, filter, well characteristics, water tank, sewage fate, distance from the well to the sinks, floods areas, diseases, etc.) were used in this quantification. Water samples were collected in the residences during the dry (November 2014) and wet (April-May 2015) periods. Statistical tests identified intense seasonal variation in the water quality (Mann-Whitney,  $p < 0,05$ ), but mean spatial variability (cluster analysis,  $p < 0,05$ ). In conclusion, the groundwater have damaged water quality, presenting a higher sanitary risk in the wet period and varying according to different sanitary parameters.

**Keywords:** water supply; hydro-sanitary factors; environmental health.

## INTRODUÇÃO

Alguns estudos têm avaliado severos impactos da urbanização sobre os mananciais subterrâneos, fonte frequentemente utilizada para consumo humano. Tundisi (2011) destaca como contaminantes dessas fontes o esgoto doméstico, o vazamento em tanques de combustíveis, o depósito de resíduos sólidos e a percolação de fezes de animais confinados. Avaliação de potenciais impactos de fossas sépticas sobre a qualidade das

águas subterrâneas em diversos aquíferos tem sido frequente (KATZ; EBERTS; KAUFFMAN, 2011), bem como estudos sobre impactos da urbanização na qualidade da água subterrânea em região semiárida dos Estados Unidos (CARLSON *et al.*, 2011) e efeitos similares em megacidades do sul da Ásia (HAQUE; ONODERA; SHIMIZU, 2013).

No Brasil, estudos que mostram que a influência da falta de saneamento básico na qualidade físico-química e microbiológica das águas subterrâneas

<sup>1</sup>Analista do Ministério Público Federal e docente do curso de Direito da Faculdade Brasil Norte (FABRAN) - Macapá (AP), Brasil.

<sup>2</sup>Discente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da UNIFAP - Macapá (AP), Brasil.

<sup>3</sup>Docente do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da UNIFAP - Macapá (AP), Brasil.

<sup>4</sup>Docente do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical, do Programa de Pós-Graduação da Bionorte e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da UNIFAP - Macapá (AP), Brasil.

\*Autor correspondente: alancunha12@gmail.com

Recebido: 03/04/2016 - Aceito: 04/04/2017 - Reg. ABES: 162018

são escassos, especialmente na região amazônica. Em Cuiabá, Mato Grosso, por exemplo, são comuns a utilização de fossas e o despejo de esgotos na superfície do solo, indicados como os principais agentes poluidores de aquíferos freáticos daquela região (APOITIA *et al.*, 2004; SILVA *et al.*, 2014). Nesse contexto, a legislação específica (Resolução CONAMA nº 396/2008 e Portaria MS nº 2.914/2011) adota o termo “consumo humano” à água subterrânea utilizada no abastecimento doméstico para banho, cozimento de alimentos, dessedentação humana e higiene pessoal (BRASIL, 2008; 2011).

De fato, pesquisas quali-quantitativas de águas subterrâneas na Amazônia são escassas (BRASIL, 2009), embora essa fonte seja utilizada quase que exclusivamente para o abastecimento humano. Por exemplo, na área urbana do município de Macapá, Amapá, a população estimada é de 446.757 habitantes (IBGE, 2014), representando 59% do total do Estado em uma área restrita. E, de acordo com os dados do último censo, 44,04% dos domicílios particulares permanentes de Macapá utilizam águas subterrâneas para o abastecimento doméstico, sendo o nível de ligações domiciliares de água encanada de 56,4% (IBGE, 2011). Ao mesmo tempo, menos de 10% dos domicílios usam a rede coletora de esgoto e dos 90% restantes, 53,95% despejam efluentes domésticos em fossas rudimentares, 18,96% em fossas sépticas e outros despejam esgoto em rios, lagos e valas (IBGE, 2011).

Os reflexos desse cenário sobre os serviços públicos de saneamento são conhecidos da literatura médico-sanitária, descritos por Neri (2004); Souza, Fautino e Rodrigues (2011); Dias *et al.* (2013); Porcy *et al.* (2013); Ferraz *et al.* (2014), os quais destacam em indicadores sanitários, casos de doenças de veiculação hídrica relacionadas à ausência desses serviços fundamentais (SANTOS, 2012). E, mesmo nas soluções paliativas, como o uso recorrente de água mineral, ocorrem registros de não conformidades na qualidade da água, representando alguma insegurança para seu consumo (CUNHA *et al.*, 2012).

Assim, o objetivo desta investigação foi analisar a variação espaço-sazonal da qualidade da água subterrânea na área urbana da cidade de Macapá e, assim, avaliar quais parâmetros (físicos, químicos e microbiológicos) estão em conformidade com a legislação e indicar quais são os principais fatores sanitários/ambientais explicativos que mais influenciam na qualidade da água. No presente caso, os parâmetros sanitários influentes são as condições locais e do entorno dos poços, representando elementos que potencializariam o risco e/ou comprometimento da saúde pública. As informações geradas suprem uma das mais evidentes lacunas de conhecimento sobre o tema envolvendo águas subterrâneas em Macapá.

## METODOLOGIA

### Área e período de estudo

O Amapá encontra-se na Província Hidrogeológica Amazonas (BRASIL, 1974; 2009), a qual coincide em grande parte com a bacia hidrográfica

do rio homônimo, que ocupa área aproximada de 1.300.000 km<sup>2</sup>. O Aquífero Barreiras é considerado como o sistema que abastece a cidade de Macapá (BRASIL, 1974; 2009), e a população faz uso dos aquíferos do tipo livre, variando entre 6 e 14 m de profundidade, ou semiconfinados, em profundidades de 30 a 70 m, com vazões médias de 2 a 5 m<sup>3</sup>/h, alcançando até 14 m<sup>3</sup>/h (OLIVEIRA *et al.*, 2004).

O clima em Macapá é do tipo equatorial (quente e úmido) com temperaturas elevadas durante todo ano, variando entre 26 e 38°C. O índice pluviométrico observado é ≈2.500 mm/ano, distribuído entre dois períodos críticos, o mais chuvoso ou úmido (março) e o menos chuvoso ou seco (outubro) (BRASIL, 2015). O período seco (chuva trimestral abaixo de 200 mm) ocorre na primavera (setembro a novembro) e o mais chuvoso (chuva trimestral acima de 1.000 mm) ocorre no outono (março a maio) (SOUZA; CUNHA, 2010).

Com base nessa climatologia, o procedimento amostral foi definido em razão do balanço hídrico-climatológico, realizando-se a primeira campanha no período seco (novembro de 2014) e a segunda no período úmido (abril e maio de 2015). As campanhas foram contínuas ao longo do mês e pela manhã em 52 unidades amostrais predefinidas. Esse delineamento experimental possibilitou a avaliação espaço-sazonal dos parâmetros da qualidade da água.

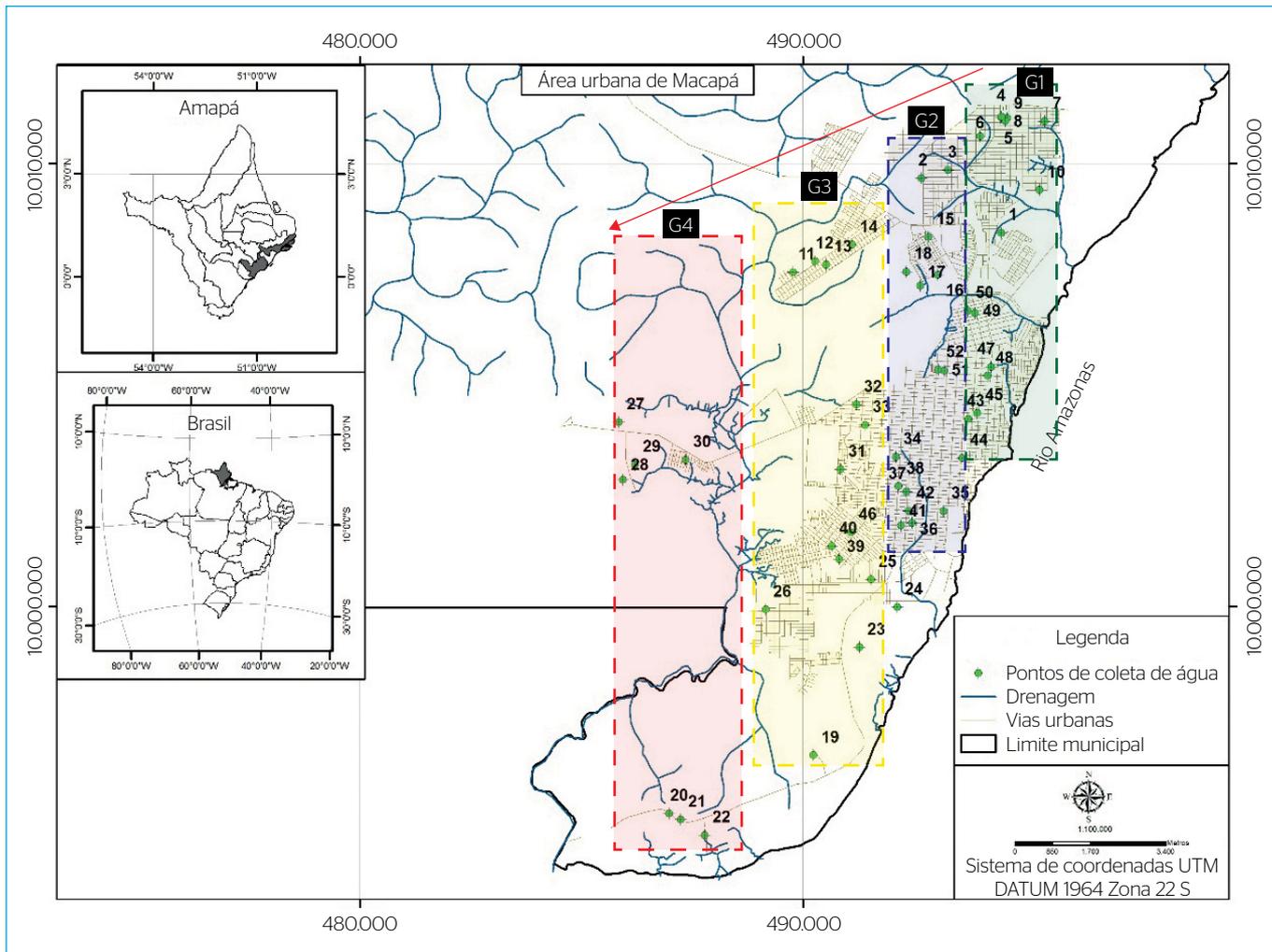
A cidade de Macapá situa-se na latitude 00°02'18.84" N e longitude 51°03'59.1" W, no sudeste do Estado do Amapá, extremo norte do Brasil, na margem esquerda da foz do Rio Amazonas (Figura 1). As amostras de água subterrânea foram coletadas diretamente de poços tubulares de uso doméstico, comercial ou misto, tipo raso (amazonas) ou profundo, por processo de bombeamento ou içamento em 52 residências.

Uma representação mais detalhada dos pontos de coleta é mostrada na Figura 1 indicando a similaridade entre unidades amostrais, apresentada *a posteriori*, na Análise de *Cluster* da Figura 2. Na Figura 2 são identificados os bairros, separados por grupos de similaridades (G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, G<sub>3</sub>, G<sub>4</sub>). Nas residências, ocasionalmente, a amostra era coletada da torneira, quando a água subterrânea estava acondicionada em caixa d'água (sem acesso direto ao poço). O significado dos retângulos coloridos no mapa será explicado mais adiante, na discussão dos resultados.

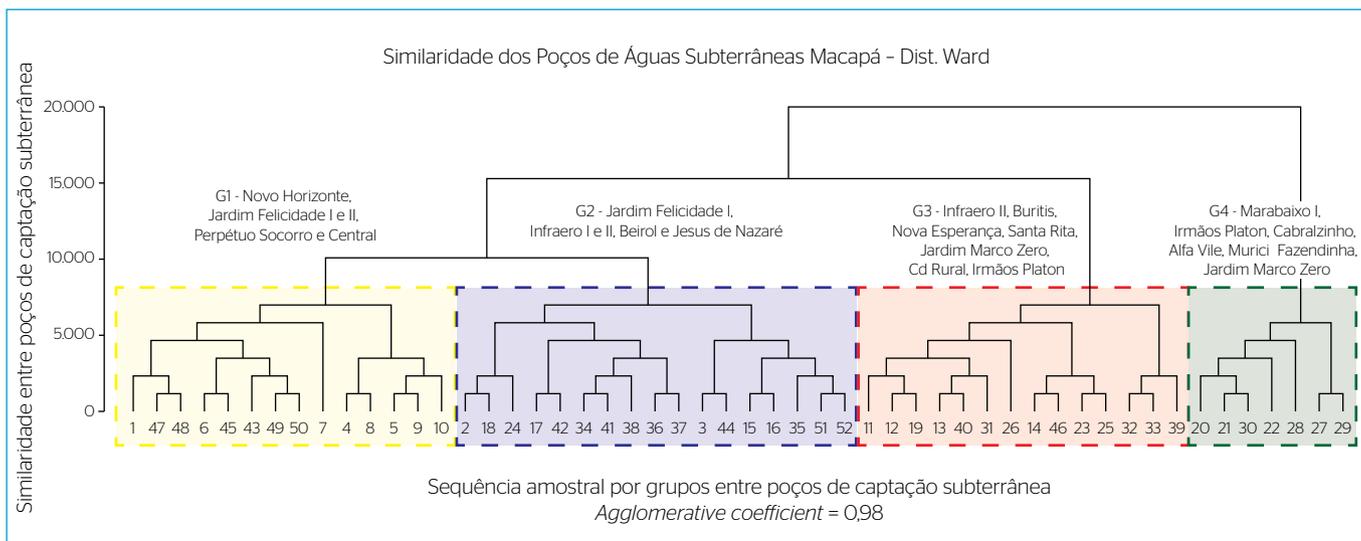
### Instrumentos para coleta de dados

Para gerar as informações sanitárias e ambientais, foram utilizados: máquina fotográfica, trena, aparelho GPS, caixas térmicas, luvas, garrafas previamente higienizadas com água deionizada em laboratório (APHA; AWWA; WEF, 2005) e bolsas plásticas para armazenamento das amostras de água, caneta tipo hidrocor para identificação dos frascos, papel toalha, prancheta, caneta e questionários com perguntas abertas/fechadas para o registro dos parâmetros sanitários.

Os métodos, materiais e reagentes necessários para a coleta, transporte, conservação e análises das amostras seguiu o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* da American Public



**Figura 1** - Pontos de coleta de água subterrânea. Os retângulos sugerem características similares espaciais entre as residências/bairros. Adaptado da base cartográfica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA), Amapá.



**Figura 2** - Análise de cluster: similaridade entre 52 poços de captação de água subterrânea em Macapá.

Health Association (APHA; AWWA; WEF, 2005) e o Manual do Espectrofotômetro (DR/2800, 2005). A qualidade da água subterrânea foi comparada conforme os padrões da Resolução CONAMA nº 396/2008 e da Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/2011 (BRASIL, 2008; 2011). As análises físico-química e microbiológica das amostras de água subterrânea foram realizadas *in loco* e no Laboratório de Química, Saneamento e Modelagem de Sistemas Ambientais (LQSMSA/UNIFAP). Na Figura 1, os pontos de coleta foram georreferenciados (UTM) e também estimadas as distâncias entre o poço e a fossa da residência monitorada e da vizinhança.

Os questionários aplicados nas residências apontaram os fatores sanitários que interferiam no uso e na qualidade da água subterrânea: tipo de fossa (rudimentar/séptica), profundidade do poço (amazonas/roso ou artesiano/profundo), drenagem urbana, finalidade do uso da água de poço (ingestão, tratamento prévio à utilização etc.). Além disso, foram obtidas informações sobre atividades poluentes próximas dos poços que poderiam influenciar a qualidade da água do subsolo (esgotos, postos de combustíveis, lavagem de veículos, lixões, cemitérios, depósito de lixo/agrotóxico, criação e abate de animais, entre outros).

As informações obtidas nos formulários tiveram consentimento dos informantes e o projeto da pesquisa foi registrado no Comitê de Ética, sendo aprovado por meio do Parecer nº 1.302.578, de 29 de outubro de 2015, nos termos do Conselho Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP) e Resolução nº 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde (CNS).

## Análise estatística

Os dados foram organizados em forma de *data frame* (matriz de dados categóricos e contínuos), para elaboração de testes estatísticos adequados (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2016) e BioEstat (AYRES *et al.*, 2005). No total, foram tratadas 52 unidades amostrais e 43 parâmetros. Os primeiros (N=21) estão relacionados com as características sanitárias/ambientais e os demais (N=22), especificamente com a qualidade físico-química e microbiológica da água.

O delineamento amostral utilizado resultou em duas abordagens multivariadas:

1. análises de regressões múltiplas (ARM), visando às variáveis independentes explicativas quanto ao uso da água subterrânea;
2. análises hierárquicas de *clusters* (AC-*dendogramas*), objetivando a formação de grupos ou padrões espaciais das variáveis resposta, tanto da matriz de dados da qualidade da água quanto de informações sanitárias/ambientais.

Em resumo, foram elaboradas multicomparações entre os diferentes parâmetros da qualidade da água no eixo sazonal (climático e espacial) (AYRES *et al.*, 2005; R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2016), usando o teste multicomparativo de Mann-Whitney (teste U

não paramétrico) e análise de *cluster* (AC), em que foram avaliadas as influências ou diferenças sazonais e locais da qualidade da água nos períodos seco e úmido. Todas as inferências foram testadas com a significância de  $\alpha < 0,05$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análises físico-químicas

Os parâmetros físico-químicos, entre os períodos seco (novembro de 2014) e chuvoso (abril–maio de 2015), apresentaram variações significativas da turbidez, pH, Cl<sup>-</sup>, Mn, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, coliformes totais (CT) e *E. Coli* (teste de Mann-Whitney-U “não mostrado”).

Na análise da *turbidez*, constatou-se que no período seco cinco amostras (9,61%) apresentaram não conformidade com o valor máximo permitido (VMP) da legislação (<5uT) (Portaria MS nº 2.914/2011). No período úmido, três amostras (5,76%) estavam em não conformidade e duas apresentaram os maiores valores isolados de turbidez (residência 9=33,9 uT e residência 29 com 68,4 uT).

No comparativo intrassazonal, as amostras evidenciaram paradoxalmente águas subterrâneas com maior turbidez no período seco. O teste de Mann-Whitney-U (“não mostrado”) foi aplicado para verificar diferenças sazonais na turbidez das 52 amostras, resultando em  $p < 0.0001$  (significativo). O resultado condiz com o relato de alguns entrevistados que observaram coloração amarelada da água no período seco.

Em todas as amostras de água do período seco (novembro de 2014), o potencial hidrogeniônico (pH) foi inferior ao mínimo estabelecido legalmente (pH>6), indicando acidez da água subterrânea. No período chuvoso, as amostras permaneceram em não conformidade (98,08%), com valores inferiores a 6 e, muito frequentemente, abaixo de 5. Apenas no ponto 24, localizado no bairro Jardim Marco Zero, G3 (Figura 2), o pH estava dentro da faixa legalmente estabelecida (6<pH<9,5). O teste de hipóteses de Mann-Whitney resultou em  $p = 0.0016$  (significativo), sugerindo águas menos ácidas no período chuvoso.

Estudos similares em Cuiabá, Mato Grosso (SILVA *et al.*, 2014) mostraram águas subterrâneas ácidas, com valores entre 4,2 e 7,0. Em Belém, Pará, o valor médio de pH foi 5,30; em torno de 65% das amostras apresentavam valores entre 4 e 6 (MARTINS *et al.*, 2010). As avaliações nos bairros Marabaixo e Zerão, em Macapá (Figura 2), igualmente têm apresentado valores de pH inferiores ao determinado pela legislação (SOUTO *et al.*, 2004; NERY *et al.*, 2014). Pode-se inferir que tais concentrações são semelhantes às de Belém e de avaliações locais, condizentes com características amazônicas, sugerindo possível efeito de poluição.

Em relação ao cloreto (Cl<sup>-</sup>), as análises mostraram vulnerabilidade das águas no período chuvoso, com concentrações mais elevadas (300 mg/L na residência 1, no Bairro Renascer II). Na avaliação

comparativa intrassazonal, constatou-se que as concentrações de cloreto são diferentemente significativas no período chuvoso, com acréscimos médios de 50% em relação ao período seco, e picos de concentração maiores no período úmido. O teste de hipóteses de Mann-Whitney resultou em  $p=0.0003$  (significativo).

O íon cloreto está associado, dentre outros, ao lançamento de efluentes domésticos e industriais (LIBÂNIO, 2008). O padrão de potabilidade descrito na Portaria nº 2.914/2011 e na Resolução nº 396/2008 tem como valor máximo permitido 250 mg/L (BRASIL, 2008; 2011). As concentrações acima desse número são detectadas pelo paladar, mas não há proposição de valor máximo para o cloreto em água potável baseado em saúde (OMS, 2011).

A concentração de manganês (Mn) nas águas subterrâneas para consumo de Macapá atende ao valor máximo permitido pela legislação, com exceção de uma única residência, nº 9, no Bairro Novo Horizonte (Figura 2), que apresentou o valor de 3,5 mg/L no período seco. Esse mesmo ponto registrou concentração de Mn=0,061 mg/L no período úmido. A comparação intrassazonal sugere variação da concentração de Mn com medianas maiores no período chuvoso e os maiores picos no período seco. O teste de hipóteses de Mann-Whitney para o Mn resultou em  $p=0.0002$  (significativo).

A presença do Mn na água potável representa riscos à saúde pública (FRISBIE *et al.*, 2012; BACQUART *et al.*, 2015). A Organização Mundial da Saúde (OMS, 2011) fixou o valor de referência do Mn na água potável em 0,4 mg/L. Nesta concentração é possível ocorrerem manchas em louças sanitárias e roupas, além de gosto indesejável em bebidas. O limite aceitável para consumo no Brasil é de 0,1 mg/L, conforme a Resolução CONAMA nº 396/2008 e a Portaria MS nº 2.914/2011 (BRASIL, 2008; 2011).

Em relação ao nitrato ( $\text{NO}_3$ ), as amostras de Macapá apresentaram conformidade com a legislação. Somente uma apresentou não conformidade,  $\text{NO}_3=29,9$  mg/L, no período úmido no bairro do Lagunho (Ponto 47) (Figura 2). Nessa residência, foi constatada a existência de fossa séptica próxima ao poço do tipo tubular (aproximadamente 9,5 m de distância entre ambos). No estudo comparativo intrassazonal, houve diferenças significativas de concentração com maiores valores no período seco e potencial diluição do  $\text{NO}_3$  no período chuvoso, embora constatados elevados picos nesse último (Ponto 47) (Figura 2). A vulnerabilidade ambiental relacionada ao  $\text{NO}_3$  ocorre, de fato, no período seco. O teste de hipóteses de Mann-Whitney resultou em  $p=0.0039$  (significativo).

A OMS fixa como padrão de potabilidade das águas o limite de até 50 mg/L de  $\text{NO}_3$ , frequentemente presente nas águas em razão da contaminação por esgoto ou resíduos agrícolas, sendo de difícil remoção (OMS, 2011). A legislação brasileira fixa em 10 mg/L (BRASIL, 2008; 2011). Em um estudo similar, mostra-se que “a presença de  $\text{NO}_3$  nas águas subterrâneas tem relação direta com o número de fossas sépticas

e densidade populacional e tipo de uso do solo” (KATZ; EBERTS; KAUFFMAN, 2011, p. 152).

Em Cuiabá, Mato Grosso, em um comparativo intrassazonal, tem ocorrido incremento da concentração de  $\text{NO}_3$  no período das chuvas, possivelmente em razão do uso de fossas rudimentares (SILVA *et al.*, 2014). Contudo, esses resultados divergem dos encontrados na presente pesquisa, em que os maiores índices foram observados no período seco, com aparente “diluição” do  $\text{NO}_3$  no período úmido.

## Análises microbiológicas

Na análise de coliformes totais (CT), constataram-se não conformidades em relação à legislação. No período seco, em 32 amostras do total de 52, os valores estavam superiores ao máximo permitido (0 em 100 mL), representando 61,53% dos poços visitados no período seco. Pelo menos 2 amostras estavam acima de 1.500/100 mL. No período chuvoso, 96,15% das amostras apresentaram concentração de CT. Os únicos 2 pontos sem alteração no período chuvoso (nº 12 no Buritis e o 26 no Zerão, Figura 2), apresentaram níveis de CT fora do padrão no período seco.

No comparativo intrassazonal do parâmetro de CT, a vulnerabilidade das águas subterrâneas de Macapá é evidente. Nessa avaliação, observaram-se diferenças de mais de 45 vezes entre as medianas entre ambos os períodos, mostrando o grave comprometimento das águas no período úmido. O teste de hipóteses de Mann-Whitney para CT resultou em  $p<0.0001$  (muito significativo). O resultado era esperado, tendo em vista o uso expressivo de poços do tipo freático, muito próximos ao nível do terreno (rasos, do tipo amazonas).

A legislação brasileira (BRASIL, 2008; 2011) estabelece o parâmetro de ausência de CT em 100 mL de água potável. Há também interpretação no sentido de que a Portaria MS nº 2.914/2011 tolera a presença de CT em 100 mL de água desde que proveniente de poços de abastecimento individual e não se constate a presença de *E. coli* (SILVA *et al.*, 2014).

Esses resultados mostram a considerável vulnerabilidade microbiológica das águas subterrâneas de Macapá no período úmido, similar ao identificado por Arnade (1999) no estudo do sistema séptico, no sudeste da Flórida, onde os lençóis freáticos são tão rasos quanto os de Macapá. Nesses ambientes as amostras de águas subterrâneas da estação úmida continham o dobro de coliformes fecais da estação seca. A análise do parâmetro CT é importante porque indica risco de contrair doenças causadas por outros micro-organismos, além da precariedade do sistema de saneamento, haja vista ser este um parâmetro de constatação da contaminação das águas subterrâneas por fossas (SILVA *et al.*, 2014).

Na análise de *Escherichia coli* (*E. coli*), no período seco, 5 amostras (9,61%) do total de 52 apresentaram valor superior ao máximo permitido. No período úmido, o aumento de não conformidade com a legislação passou para 21 residências (40, 38%). Na avaliação comparativa

intrassazonal de *E. coli*, o resultado foi significativo, com elevação até 6 vezes maior entre as medianas no período úmido, o que acarreta maior vulnerabilidade do abastecimento por poços em Macapá neste período. O teste de hipóteses de Mann-Whitney para *E. coli* resultou em  $p=0.0027$  (significativo).

*E. coli* é uma bactéria comprovadamente de origem fecal, proveniente dos dejetos humanos e de animais, muito utilizada na avaliação dos níveis de contaminação da água subterrânea e dos riscos associados à saúde pública (PEDLEY; HOWARD, 1997; CARLSON *et al.*, 2011). Na Austrália, na gestão de riscos em águas de recreação, *E. coli* tem sido identificado como micro-organismo indicador de impactos na saúde pública (NHMRC, 2008). Além disso, a análise microbiana da água de consumo inclui o teste de *E. coli* como indicador de contaminação

fecal recente (OMS, 2011). Resultados de pesquisas feitas em crianças residentes em áreas alagadas de Macapá revelaram que o agente etiológico de maior frequência associado à diarreia são as categorias de *E. coli* diarreiogênicas (PORCY *et al.*, 2013).

## Análise socioambiental (parâmetros sanitários/ambientais)

O levantamento das condições sanitárias e socioambientais do entorno dos poços formou um conjunto de 21 parâmetros (fatores sanitários/ambientais) que serviram como variáveis explicativas em relação ao uso das águas subterrâneas em Macapá. Análises de Regressões Múltiplas (ARM) da Tabela 1 foram elaboradas a partir desses dados, utilizando-se os parâmetros físico (turbidez), microbiológicos (CT e *E. coli*) e social

**Tabela 1 - Resultados das Análises de Regressões Múltiplas (ARM) que explicam o consumo de água subterrânea, coliformes totais, *E. coli* e turbidez a partir de fatores, como indicadores ambientais e sanitários do entorno do poço.**

Variáveis independentes (X)	Equações $Y_i = a_i + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n$ Coeficiente Angular "b <sub>i</sub> " de (Y <sub>i</sub> )*					Y <sub>i</sub> =f (a <sub>i</sub> +b <sub>1</sub> X <sub>1</sub> +b <sub>2</sub> X <sub>2</sub> +...+b <sub>n</sub> X <sub>n</sub> ) Coeficientes estatísticos significativos*	Interpretação e análise		
	Consumo de água de poço (Y <sub>1</sub> )	Colif. totais Chuvoso (Y <sub>2</sub> )	<i>E-Coli</i> Chuvoso (Y <sub>3</sub> )	Turbidez Seco (Y <sub>4</sub> )					
Influência de Parâmetros Sanitários e Ambientais	Intercepto	5.7e <sup>+00</sup>	-1.2e <sup>+04</sup>	-4.6e <sup>+03</sup>	9.9e <sup>+01</sup>	Consumo água poço=0.51 -0.20 (tipo poço) -0.01 (profund. poço) + 0.93 (trata água consumo)	A variação do consumo de água de poço (coluna de Y <sub>1</sub> ) apresentou alta significância (p<0,01) e coeficiente de determinação ajustado R <sub>aj</sub> <sup>2</sup> =0,92 (Erro Padrão Residual=0,14, GL=13, n=21 observações, F-estatístico=21,39, GL=17 e 13, p=8,31e <sup>-07</sup> , em relação aos fatores ambientais do entorno (coluna Y <sub>i</sub> ).		
	Latitude	1.5e <sup>-09</sup>	8.3e <sup>-05</sup>	1.2e <sup>-05</sup>	1.9e <sup>-07</sup>				
	Longitude	-7.8e <sup>-06</sup>	3.0e <sup>-02</sup>	9.5e <sup>-03</sup>	-1.7e <sup>-04</sup>				
	Caixad'água	8.4e <sup>+02</sup>	-1.6e <sup>+02</sup>	1.3e <sup>+01</sup>	-3.3e <sup>-00</sup>				
	Filtro	-2.7e <sup>-01</sup>	4.1e <sup>+02</sup>	-1.4e <sup>+02</sup>	1.9e <sup>+00</sup>				
	Tipo de poço	-4.9e <sup>-01</sup>	2.6e <sup>+01</sup>	1.3e <sup>+02</sup>	-2.4e <sup>+00</sup>			R <sub>aj</sub> <sup>2</sup> =0,89, p<0,01	
	Profundidade do poço (m)	-1.8e <sup>-02</sup>	-5.2e <sup>+00</sup>	4.0e <sup>+00</sup>	-8.00e <sup>-02</sup>				Se forem considerados apenas os parâmetros significativos, hachurados na coluna de Y <sub>i</sub> (coeficientes angulares), são significativos os seguintes parâmetros: Intercepto (p=0,067), tipo de poço (p=0,07), profundidade do poço (p=0,08) e trata a água de consumo (p<2e <sup>-16</sup> ***), R <sub>aj</sub> <sup>2</sup> =0,89, F-estatístico=96,35 com 3 e 31 GL, p=8,37e <sup>-16</sup> .
	Idade do poço (anos)	9.5e <sup>-04</sup>	-1.0e <sup>+00</sup>	2.3e <sup>+00</sup>	-8.3e <sup>-02</sup>				
	Trata água consumo	9.5e <sup>-01</sup>	-5.2e <sup>+02</sup>	-1.6e <sup>+01</sup>	-2.3e <sup>-01</sup>			Coliformes totais chuvoso=218,08+20,487 (risco ambiental) R <sub>aj</sub> <sup>2</sup> =0,067, p=0,036	
	Ambiente entorno urbano	6.4e <sup>-04</sup>	-1.8e <sup>+02</sup>	1.4e <sup>+01</sup>	-3.3e <sup>-01</sup>				A variação de CT chuvoso (coluna de Y <sub>2</sub> ) apresentou significância (p<0,05) e R <sub>aj</sub> <sup>2</sup> =0,46 (erro padrão residual=6298, GL=13, n=21 observações, F-estatístico=21,39, GL=17 e 13, p=8,31e <sup>-07</sup> , em relação a todos os fatores ambientais (X <sub>i</sub> ). Mas na coluna Y <sub>2</sub> (CT chuvoso) só o fator risco ambiental foi significativo, R <sub>aj</sub> <sup>2</sup> =0,46, p=0,048.
	Esgotamento sanitário	-3.7e <sup>-02</sup>	1.8e <sup>+02</sup>	4.3e <sup>+01</sup>	3.5e <sup>-01</sup>				
	Distancia poço-fossa (m)	-1.7e <sup>-03</sup>	3.9e <sup>+01</sup>	-1.5e <sup>+00</sup>	1.4e <sup>-02</sup>			<i>E. coli</i> chuvoso=-4.6e <sup>+03</sup> 1.2e <sup>-05</sup> (latitude) + 3.89e <sup>-05</sup> - 1.414 <sup>+02</sup> (filtro) - 3.7 <sup>-01</sup> (destino da água cinza) - 2.2e <sup>-01</sup> (cond. ambiental sanitária) R <sub>aj</sub> <sup>2</sup> =0,83, p= 0,034	
	Destino da água cinza	1.5e <sup>-02</sup>	-2.1e <sup>+01</sup>	-3.7e <sup>+01</sup>	-1.2e <sup>-01</sup>				Turbidez Seco=9.9e <sup>+01</sup> . 3.3e <sup>-00</sup> (Caixa D'Água) -1. 6e <sup>+00</sup> (Pontos de Alagamento)
	Cond. ambiente/sanitária	-2.4e <sup>-02</sup>	-1.3e <sup>-02</sup>	-2.1e <sup>-01</sup>	1.3e <sup>-01</sup>				
	ISA	-1.5e <sup>+00</sup>	-3.2e <sup>+03</sup>	-5.7e <sup>-02</sup>	-1.1e <sup>-01</sup>			Para turbidez (seca) na coluna de Y <sub>4</sub> (coeficientes angulares), são "limitadamente significativos" os seguintes: intercepto (p=0,067), caixa d'água (p=0,07) e Pontos de Alagamento (p=0,05) e (p<0,1). R <sub>aj</sub> <sup>2</sup> =0,39, F-estatístico=3,197 com 3 e 31 GL, p=0,049	
	Pontos de alagamentos	1.0e <sup>-01</sup>	2.4e <sup>+01</sup>	2.7e <sup>+00</sup>	-1.6e <sup>+00</sup>				
Riscoambiental	1.3e <sup>-02</sup>	5.3e <sup>-02</sup>	1.7e <sup>-01</sup>	7.3e <sup>-01</sup>					
Número de doenças	5.0e <sup>-02</sup>	-2.7e <sup>+02</sup>	-2.0e <sup>+01</sup>	-4.7e <sup>-01</sup>	R <sub>aj</sub> <sup>2</sup> =0,46, p=0,082				

ISA: indicador de salubridade ambiental.

(consumo da água) como variáveis dependentes ( $Y_1$ ). Estas foram consideradas como referências no presente estudo.

A Tabela 1 indica que o *tipo* e a *profundidade do poço* e o *tipo de tratamento antes do consumo* influenciam o uso dos poços ( $Y_1$ ). Entre as 52 residências, 20 unidades (38,46%) utilizam a água de poço para beber. Destas, apenas uma não faz nenhum tipo de tratamento antes de consumi-la. Seis entrevistados (11,43%) usam cloro na água antes de utilizá-la e 13 (25%) afirmaram que a filtram. Os demais (61,54%) utilizam água mineral para beber.

Constatou-se que 94,22% das residências (49 das 52 pesquisadas) não eram servidas por rede coletora de esgoto, despejando-o em fossas. De 49, 24 unidades eram do tipo fossa rudimentar, escavações no solo sem revestimento lateral e de fundo, facilitando a percolação do esgoto e dos patógenos no subsolo e a contaminação da água subterrânea no nível freático.

Dos 52 poços pesquisados, 27 (51,92%) são do tipo amazonas ou cacimba, com abertura mais larga na superfície do solo. A profundidade dos poços não é superior a 43 m, com média de 19,09 m, classificados como freáticos (ainda que sejam construídos por meio de varas tubulares, vulgarmente chamados “artesianos”). Essa baixa profundidade sugere o uso predominante de água subterrânea de aquífero livre, freático, de zona saturada na cidade de Macapá (MARTINS *et al.*, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2004). Com essas características, as vulnerabilidades ambiental e sanitária são potencialmente significativas, dada a maior facilidade dos contaminantes alcançarem as águas subterrâneas, como, por exemplo, presença de efluentes de fossas e chorume de lixo orgânico (LIBÂNIO, 2008).

O resultado das análises ARM (Tabela 1) mostrou que os valores de CT do período úmido (coluna  $Y_2$ ) sofrem variação significativa em relação ao parâmetro risco ambiental. Os entrevistados indicaram algumas atividades e formas de utilização do solo. Das 52 unidades, apenas 7 (13,46%) não indicaram atividades econômicas ou ocupação do solo que representassem algum risco para a qualidade da água, os demais 45 entrevistados (86,54%) percebem uma ou mais ameaças na vizinhança como: lavagem de veículos e ônibus (26 citações), oficinas mecânicas com despejo irregular de óleo e outros fluídos (22 citações), postos de combustível (20 citações) e a criação de animais em quintais (7 citações).

Conclui-se da análise estatística ARM (Tabela 1) que a percepção ambiental, o uso do solo e subsolo (opinião dos moradores) “tendem” a impactar significativamente a qualidade microbiológica da água subterrânea, principalmente em relação ao CT no período úmido.

Quanto ao *E. coli* do período úmido ( $Y_3$ ), os resultados da ARM (Tabela 1) mostram que os fatores sanitários e socioambientais significativamente atuantes foram: latitude (zona norte, centro e sul), presença de filtro, destino da água cinza e condições ambientais e sanitárias. Das 52 estudadas no período úmido, 22 (42,30%) apresentaram valores

de *E. coli* não conformes. Dessas 22 (45,45%), 10 residências localizadas na zona norte da cidade, nos bairros Jardim Felicidade e Novo Horizonte (pontos 2 a 10) e no bairro Infraero I (ponto 16) (Figura 2).

Relativamente à influência do uso de filtro como tratamento prévio ao consumo da água subterrânea, apenas 3 residências das 52 pesquisadas utilizam-no diretamente na saída da água da fonte subterrânea. Nestas, não foi detectada presença de micro-organismo de origem fecal nas análises. Conclui-se que a significância nos valores de *E. coli* no período úmido sofre evidente influência do processo de filtragem na água subterrânea.

Na Tabela 1 ( $Y_4$ ), é apresentada a relação de todos os parâmetros sanitários e socioambientais em relação à turbidez do período seco. A pesquisa identificou que os valores de turbidez apresentam significância estatística neste período sazonal, com média de 1,95 uT. Cinco amostras apresentaram valores superiores ao máximo permitido (5 uT), com destaque ao ponto 43, no bairro Central (Figura 2), cujo valor foi 23,6 uT.

Entre os parâmetros socioambientais considerados, a caixa d'água e os pontos de alagamento (entorno) apresentaram significância estatística ( $p < 0,05$ ) na turbidez no período seco. Das 52 amostras de água subterrânea, 12 foram obtidas diretamente dos poços, e as outras 40 advindas de caixa d'água de armazenamento. De acordo com o resultado ARM para o  $Y_4$ , o armazenamento da água subterrânea em caixa d'água influenciou o valor de turbidez apenas no período seco. O armazenamento de água tende a propiciar menor turbidez por causa da sedimentação/decantação das partículas em suspensão na água, que pode ser mais ou menos eficiente a depender do tamanho das partículas e do tempo disponível para o processo (BRAGA *et al.*, 2005).

A análise do número de áreas de alagamento nas vias próximas das fontes de água subterrânea mostrou que, entre 52 residências, 27 encontram-se nessas condições características, enquanto outras 25 apresentam pontos de alagamento próximo ao poço. Embora equilibrado, o resultado da ARM para  $Y_4$  evidencia que pontos de alagamento tendem a potencializar a turbidez das águas subterrâneas no período seco, possivelmente pelo aumento da concentração e menor volume de água disponível. O resultado é avaliado a partir de outras análises que confirmam a redução da turbidez no período chuvoso (por provável diluição).

## Análise espacial

A partir dos resultados das análises físico-químicas, microbiológicas e informações sanitárias e socioambientais, grupos de residências com características similares foram identificados (Figura 2, análise de *cluster*).

A análise de *cluster* (Figura 2) mostrou 4 agrupamentos ( $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$  e  $G_4$ ) em corte feito no valor aproximado de 5.000 do eixo vertical. No primeiro grupo, que agrega a residência nº 1 e segue em ordem aleatória até a de nº 10, encontram-se as unidades amostrais mais à leste na cidade de Macapá (Figura 1, primeiro retângulo à esquerda),

concentrando 14 residências de bairros da área norte e central da capital, entre os quais aqueles em que a vulnerabilidade microbiológica foi mais acentuada no período úmido (bairro Novo Horizonte).

Na sequência é possível identificar o segundo e maior grupo ( $G_2$ ) com similaridades sanitárias e ambientais das residências nºs 2 a 52, correspondentes a 17 residências, localizadas desde o bairro da zona norte (Jardim Felicidade) até os bairros da área sul, passando pelo centro da cidade, com concentração de residências dos bairros Beírol e Buritizal (Figura 2).

O terceiro grupo de similaridades ( $G_3$ ) corresponde aos pontos de nºs 11 a 39, englobando residências dos bairros Infraero II, Santa Rita, Novo Buritizal, Universidade, Zerão e CD Rural. As 14 residências estão bem distribuídas nesse espaço (Figura 2).

Por fim, o quarto grupo ( $G_4$ ), que se apresentou menor ante o número reduzido de pontos de coleta de dados com similaridades, localizado mais à oeste e com 7 residências com características de qualidade da água e socioambientais similares. Fazem parte do  $G_4$  os bairros Marabaixo I, Irmãos Platon, Cabralzinho e Distrito de Fazendinha (Figura 2).

Da avaliação de similaridade indicada pela análise de *cluster* é possível concluir que ocorre uma variação espacial expressiva, na direção nordeste para sudoeste da zona urbana de Macapá (linha com seta vermelha inclinada na Figura 1). Isso significa que há grupos de residências com nítidas características e similaridades distribuídas em forma de conglomerados de residências que se estendem por vários bairros. Os destaques coloridos nos retângulos mostram a tendência dessas variações espaciais (todas as variáveis analisadas conjuntamente).

Contudo, é importante ressaltar que as variações espaciais são de semelhanças entre “grupos de residências”, não necessariamente no sentido de aumento ou diminuição da qualidade da água subterrânea e sua relação com o consumo. Prioritariamente informa que os bairros de  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$  e  $G_4$ , encontram-se espacialmente em diferentes níveis ou condições sanitárias e ambientais, as quais podem ser detalhadamente explicadas pelas ARM da Tabela 1.

Esse resultado desmistifica a existência de padrão de similaridade ambiental usual por zonas urbanas, segundo o qual haveria uma

distribuição de residências com vulnerabilidade sanitária mais elevada na medida em que houvesse o seu distanciamento do centro da cidade (mais bem equipada em infraestrutura sanitária e ambiental), ocorrendo em direção norte da cidade. Isto é, diferenças nítidas entre as zonas norte, sul e central. Além disso, a aparência observada nas diferentes zonas de similaridades observadas (retângulos coloridos) também sugere uma “possível relação” com a distância dos poços em relação às áreas de várzea e/ou com o Rio Amazonas (longitude). Portanto, a análise espaço-temporal (ARM e *cluster*) sugere que as águas subterrâneas de Macapá e o ambiente do entorno dos poços devem ser consideradas na elaboração do *Relatório Preliminar do Plano de Saneamento do Município de Macapá* (MACAPÁ, 2015).

## CONCLUSÕES

Confirma-se a hipótese principal da pesquisa. Isto é, a qualidade da água subterrânea utilizada para consumo humano em Macapá é precária, apresentando variações sazonais significativas, sugerindo também maiores riscos à saúde pública no período úmido (março-maio). Contudo, constata-se uma aparente variação espacial entre as características sanitárias/ambientais consideradas, além da qualidade da água. Isso foi representado pelo padrão espacial e tendência dessa variação no sentido nordeste/sudoeste, cujo padrão até então parecia ser desconhecido.

As variações espaço-sazonais dos parâmetros microbiológicos (CT e *E. coli*) mostram que o uso de fossas rudimentares, associadas aos poços amazonas, pode ser mesmo um potencializador de contaminação da água subterrânea por micro-organismos patogênicos, pelo menos no nível freático.

A água subterrânea consumida em Macapá provém, em sua maioria, de fontes individuais isoladas nas residências, em bairros de média e baixa salubridade, apresentando qualidade e segurança insatisfatórios. No presente contexto, essa qualidade conflita com as necessidades e os direitos básicos da população, como o acesso digno à água.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION (WEF). (2005) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21. ed. Washington, DC: American Public Health Association.

APOITIA, L.F.M.; ROSA FILHO, E.F.; BITTENCOURT, A.V.L.; HINDY, E. (2004) Caracterização preliminar da qualidade das águas subterrâneas na cidade de Cuiabá-MT, *Boletim Paranaense de Geociências*, n. 54, p. 717.

ARNADE, L.J. (1999) Seasonal correlation of well contamination and septic tank distance. *Ground Water*, n. 37, p. 920-923. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.1999.tb01191.x>

AYRES, M.; AYRES JR., M.; AYRES, D.L.; SANTOS, A.S. (2005) *Bioestat 5.0*. Aplicações nas Áreas de Ciências Biológicas e Médicas. Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá-IDS M/MCT/CNPq.

- BACQUART, T.; FRISBIE, S.; MITCHELL, E.; GRIGG, L.; COLE, C.; SMALL, C.; SARKAR, B. (2015) Multiple inorganic toxic substances contaminating the groundwater of Myingyan Township, Myanmar: Arsenic, manganese, fluoride, iron and uranium. *Science of the Total Environment*, v. 517, p. 232-245. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.02.038>
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; MIERZWA, J.C.; BARROS, M.T.L. de; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N. EIGER, S. (2005) *Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável*. 2. ed. São Paulo: Prentice Hall.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2008) *Resolução nº 396, de 3 abr. 2008*. Brasil: Conselho Nacional do Meio Ambiente.
- \_\_\_\_\_. Departamento Nacional da Produção Mineral. (1974) *Projeto RADAM, Folha NA/NB.22-Macapá: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra*. Rio de Janeiro: Departamento Nacional da Produção Mineral.
- \_\_\_\_\_. Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). *Balço hídrico climático*. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=agrometeorologia/balancoHidricoClimatico>>. Acesso em: 22 dez. 2015.
- \_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. (2011) *Portaria nº 2.914, de 12 dez. 2011*. Brasil: Ministério da Saúde.
- \_\_\_\_\_. Ministério de Minas e Energia. (2009) *Análise das informações sobre recursos hídricos subterrâneos no país*. Relatório técnico 015. Projeto estatal: projeto de assistência técnica ao setor de energia. Brasil: Ministério de Minas e Energia.
- CARLSON, M.A.; LOHSE, K.A.; MCINTOSH, J.C.; MCLAIN, J.E.T. (2011) Impacts of urbanization on groundwater quality and recharge in a semi-arid alluvial basin. *Journal of Hydrology*, v. 409, n. 1-2, p. 196-211. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.08.020>
- CUNHA, H.F.A.; LIMA, D.C.I.; BRITO, P.N.F.; CUNHA, A.C.; SILVEIRA JUNIOR, A.M.; BRITO, D.C. (2012) Qualidade físico-química e microbiológica de água mineral e padrões da legislação. *Revista Ambiente & Água*, v. 7, n. 3, p. 155-165. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>
- DIAS, D.S.; MENEZES, R.A.O.; SOUZA, M.J.C.; BARBOSA, F.H.F.; ANDRADE, R.F.; SOUTO, R.N.P. (2013) Fatores de riscos que contribuem para as parasitoses intestinais em crianças de 0 a 5 anos em Macapá/Amapá/Brasil. *Ciência Equatorial*, v. 3, n. 1, p. 57-68.
- FERRAZ, R.R.N.; BARNABÉ, A.S.; PORCY, C.; D'EÇA JÚNIOR, A.; FEITOSA, T.; FIGUEIREDO, P.M. (2014) Parasitoses intestinais e baixos índices de Gini em Macapá (AP) e Timon (MA) - Brasil. *Caderno Saúde Coletiva*, p. 173-176. <http://dx.doi.org/10.1590/1414-462X201400020010>
- FRISBIE, S.H.; MITCHEL, E.J.; DUSTIN, H.; MAYNARD, D.N.; SARKAR, B. (2012) World Health Organization discontinues its drinking-water guideline for manganese. *Environmental Health Perspectives*, v. 120, n. 6, p. 775-778. <https://dx.doi.org/10.1289/ehp.1104693>
- HAQUE, S.J.; ONODERA, S.; SHIMIZU, Y. (2013) An overview of the effects of urbanization on the quantity and quality of groundwater in South Asian megacities. *Limnology*, v. 14, n. 2, p. 135-145. <https://doi.org/10.1007/s10201-012-0392-6>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). (2011) *Censo Demográfico 2010: características da população e dos domicílios - resultado dos universos*. Brasil: IBGE. Disponível em: <[https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/96/cd\\_2010\\_entorno\\_domicilios.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/96/cd_2010_entorno_domicilios.pdf)>. Acesso em: 15 jun 2014.
- \_\_\_\_\_. (2014) *Estimativas de população para os municípios brasileiros*. Brasil: IBGE. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas\\_de\\_Populacao/Estimativas\\_2014/estimativa\\_dou\\_2014.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2014/estimativa_dou_2014.pdf)>. Acesso em: 11 jan. 2015.
- KATZ, B.G.; EBERTS, S.M.; KAUFFMAN, L.J. (2011) Using Cl/Br ratios and others indicators to assess potential impacts on groundwater quality from septic systems: a review and examples from principal aquifers in the United States. *Journal of Hydrology*, v. 397, n. 3-4, p. 151-156. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.11.017>
- LIBÂNIO, M. (2008) *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. 2. ed. Campinas: Átomo.
- MACAPÁ. (2015) *Relatório preliminar do Plano de Saneamento do Município de Macapá*. Macapá: Governo de Macapá. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/0BzIYQNZ9OjtuSk9mSDNFcTRvSW8/view>>. Acesso em: 14 dez. 2015.
- MARTINS, J.A.C.; MATTA, M.A.S.; CAVALCANTE, I.N.; ASSIS, J.F.P.; DINIZ, C.G.; VASCONCELOS, Y.B.; CRISTO, L.C.F.; ROSÁRIO, D.C. (2010) Qualidade das águas subterrâneas da bacia do Murucutu, Belém-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 16, 2010, São Paulo. *Revista Águas Subterrâneas*. São Paulo.
- NATIONAL HEALTH AND MEDICAL RESEARCH COUNCIL (NHMRC). (2008) *Australian Guidelines for Managing Risks in Recreational Water*. NHMRC. Disponível em: <<http://www.nhmrc.gov.au/guidelines-publications/eh38>>. Acesso em: 18 mar. 2016.
- NERI, S.H.A. (2004) *A utilização das ferramentas de geoprocessamento para identificação de comunidades expostas a hepatite A nas áreas de ressacas dos municípios de Macapá e Santana/AP*. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- NERY, J.R.C.; MOURA, H.P.; SANTOS, A.L.L.; REIS, A.A.B. (2014) Estudo físico-químico de águas subterrâneas na área do bairro zero, Macapá (AP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 18, 2014, São Paulo. *Revista Águas Subterrâneas*. São Paulo.
- OLIVEIRA, M.J.; SOUTO, F.A.F.; ROSÁRIO, J.M.L.; SACASA, R.J.V.; MOURA, H.P. (2004) Vulnerabilidade natural e sazonalidade do aquífero livre no loteamento Marabaixo-III, Macapá-AP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13, 2004, Cuiabá. *Anais... Cuiabá*: ABAS. p. 277.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). (2011) *Diretrizes para qualidade da água potável*. 4. ed. Genebra: Organização Mundial da Saúde.

PEDLEY, S.; HOWARD, G. (1997) The public health implications of microbiological contamination of groundwater. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, v. 30, n. 2, p. 179-188. <https://doi.org/10.1144/GSL.QJEGH.1997.030.P2.10>

PORCY, C.; FERRO, T.A.F.; MONTEIRO, S.G.; MENEZES, R.A.O.; BARBOSA, F.H.F.; MONTEIRO NETO, V. (2013) Epidemiologia da doença diarreica associada às *Escherichia Coli* diarreio gênicas em crianças residentes em uma área alagada de Macapá - Amapá - Brasil. *Ciência Equatorial*, v. 3, n. 1, p. 57-68.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. (2016) *R: A language and environment for statistical computing*. Viena: R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 5 mar. 2016.

SANTOS, L.F.P. (2012) *Indicadores de salubridade ambiental e seus efeitos para a sustentabilidade urbana*. Dissertação (Mestrado em Direito Ambiental e Políticas Públicas) - Universidade Federal do Amapá, Macapá.

SILVA, D.D.; MIGLIORINI, R.B.; SILVA, E.C.; LIMA, Z.M.; MOURA, I.B. (2014) Falta de saneamento básico e as águas subterrâneas em aquífero freático: região do Bairro Pedra Noventa, Cuiabá (MT).

*Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 19, n.1, p. 43-52. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522014000100005>

SOUTO, F.A.F.; ROSÁRIO, J.M.L.; OLIVEIRA, M.J.; SACASA, R.J.V.; MOURA, H.P.; AQUINO, R.W.P.; FERREIRA, A.L.C.; GOMES, W.L. (2004) Avaliação Preliminar da água consumida no loteamento Marabaixo III, Macapá-AP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., 2004, São Paulo. *Revista Águas Subterrâneas*. São Paulo.

SOUZA, A.T.; FAUTINO, S.M.M.; RODRIGUES, A.S.N. (2011) Determinação da anemia por deficiência de ferro em crianças de 03 a 04 anos associada a enteroparasitoses - Macapá-Amapá. *Ciência Equatorial*, v. 1, n. 1.

SOUZA, E.B.; CUNHA, A.C. (2010) Climatologia de precipitação no estado do Amapá e mecanismos climáticos de grande escala. In: CUNHA, A.C.; SOUZA, E.B.; CUNHA, H.F.A. (Orgs.). *Tempo, clima e recursos hídricos: resultados do projeto REMETAP no estado do Amapá*. Macapá: Instituto de Estudos e Pesquisas do Amapá. p. 177-195.

TUNDISI, J.G. (2011) *Recursos hídricos no século XXI*. São Paulo: Oficina de Textos.

