

## Avaliação da qualidade da água de consumo por comunidades ribeirinhas em áreas de exposição a poluentes urbanos e industriais nos municípios de Abaetetuba e Barcarena no estado do Pará, Brasil

Assessment of the quality of water for consumption by river-bank communities in areas exposed to urban and industrial pollutants in the municipalities of Abaetetuba and Barcarena in the state of Pará, Brazil

Adaelson Campelo Medeiros<sup>1</sup>  
Marcelo de Oliveira Lima<sup>1</sup>  
Raphael Mendonça Guimarães<sup>2</sup>

**Abstract** *In spite of the great technological advances in processes for treatment of water for human consumption, water actually used for supply has become a major public health challenge. This study assesses the quality of the water consumed in two riverside communities in the Brazilian state of Pará, in an area exposed to domestic and industrial pollutants. Four campaigns of sampling were carried out in the two communities. The variables used for the calculation of the water quality index – Índice de Qualidade da Água, or IQA – were: pH, total solids, chloride, fluoride, hardness and N-Nitrate. The waters used for human consumption in the Maranhão Community, where there is no contamination by industrial pollutants, presented adequate samples, with improvement in the dry season; on the other hand the waters of the Vila do Conde, a location close to the industrial activity, had quality that was unacceptable for human consumption in both the seasonal periods. The principal parameters affected were pH and N-Nitrate, with values up to 25 times the reference level of the Brazilian legislation for water for human consumption. These results indicated greater anthropic interference in the vicinity of Vila do Conde, in Barcarena. It is concluded that this population is in need of clinical assessments by specialized professionals on the state of its health.*

**Key words** *Index, Water quality, Water for human consumption, Environmental exposure, Health*

**Resumo** *Apesar dos grandes avanços tecnológicos introduzidos nos processos de tratamento das águas de consumo humano, as utilizadas para abastecimento tornaram-se um grande problema de saúde pública. O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade das águas consumidas em duas comunidades ribeirinhas no Estado do Pará expostas a poluentes domésticos e industriais. Foram realizadas quatro campanhas de amostragem nas duas comunidades e as variáveis utilizadas para o cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA) foram pH, Sólidos Totais, Cloreto, Fluoreto, Dureza e N-Nitrato. As águas utilizadas para consumo humano na Comunidade Maranhão, onde não há contaminação por poluentes industriais, apresentaram amostras adequadas, com melhora no período seco; já as águas de Vila do Conde, local próximo à atividade industrial, estiveram em ambos os períodos sazonais com qualidade inaceitável para consumo humano. Os principais parâmetros afetados foram o pH e o N-Nitrato, com valores até 25 vezes a referência da legislação brasileira para água de consumo humano. Esses resultados indicaram maior interferência antrópica no entorno da Vila do Conde em Barcarena, necessitando-se de avaliações clínicas por profissionais especializados sobre o estado de saúde desta população.*

**Palavras-chave** *Índice, Qualidade das Águas, Água de consumo humano, Exposição ambiental, Saúde*

<sup>1</sup> Seção de Meio Ambiente, Instituto Evandro Chagas. Rodovia BR-316 Km 07 S/N, Levilândia. 67030-000 Ananindeua PA Brasil. [adaelsonmedeiros@iec.pa.gov.br](mailto:adaelsonmedeiros@iec.pa.gov.br)

<sup>2</sup> Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro RJ Brasil.

## Introdução

A água é um bem essencial que garante saúde à população. Neste sentido, trata-se de um bem essencial, e que é considerada uma prioridade das ações de vigilância em saúde ambiental no Brasil<sup>1</sup>. Entretanto, padrões de desenvolvimento não sustentáveis vêm favorecendo a degradação ambiental, graças a alterações significativas no meio natural e a destruição de diversos ecossistemas (dentre os quais se destacam os aquáticos), que levam a mudanças nos padrões de distribuição de doenças e nas condições de saúde dos diferentes grupos populacionais<sup>2</sup>.

A Constituição Federal de 1988 atribui ao Sistema Único de Saúde (SUS), em seu Artigo 200, a competência de fiscalização e inspeção de água para consumo humano, além da participação na formulação da política e da execução das ações de saneamento básico, entre outras atribuições<sup>3</sup>. Em atendimento à Constituição Federal, a Lei Orgânica da Saúde (Lei nº 8.080/1990), em seu Artigo 6º, também descreve dispositivos específicos, relacionados ao campo de atuação do SUS no que se refere à fiscalização da água para consumo humano no Brasil<sup>4</sup>.

O debate sobre as questões relativas à qualidade da água e, conseqüentemente, a atuação do Ministério da Saúde sobre os parâmetros de potabilidade não é recente. Desde o ano de 1977 foi atribuída ao Ministério da Saúde a competência para elaborar normas e padrões de potabilidade da água para consumo humano. Assim, a Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano foi a primeira área de atuação da vigilância em saúde ambiental no Brasil<sup>5</sup>.

A vigilância da qualidade da água para consumo humano atua sobre as diferentes formas de seu abastecimento, seja de gestão pública ou privada, na área urbana ou rural, e inclusive em áreas indígenas e em comunidades isoladas. As formas de abastecimento de água podem apresentar características bastante variadas, como por exemplo, pode ser distribuída por rede ou por meio de veículos transportadores; seu fornecimento pode ser restrito a um único domicílio ou ser para vários bairros ou municípios; os mananciais de captação da água podem ser superficiais ou subterrâneos; o tratamento da água pode ser completo ou simplificado, com apenas desinfecção. Neste sentido, é importante reconhecer o monitoramento da qualidade da água como o instrumento de verificação da sua potabilidade para consumo humano, conforme padrão estabelecido na legislação. Para o monitoramento da qualidade da água devem ser

realizadas análises laboratoriais das amostras, de acordo com os planos de amostragem específicos para o controle, descritos na Norma de Potabilidade da Água, e com os planos de amostragem da vigilância, descritos na Diretriz Nacional do Plano da Vigilância<sup>6</sup>.

O padrão de potabilidade no Brasil é estabelecido na Portaria GM/MS nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, que dispõe sobre *os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade*, bem como estabelece as competências e as responsabilidades atribuídas às autoridades de saúde pública (Vigilância), nas três esferas de gestão do SUS, e aos responsáveis pelo sistema ou por solução alternativa coletiva de abastecimento de água para consumo humano (Controle)<sup>7</sup>.

A ação do Vigiagua ratifica que são grandes as dificuldades no gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil. As águas tomadas para fins de abastecimento público estão cada vez mais comprometidas em qualidade e quantidade, até mesmo as subterrâneas que apresentam a barreira do solo como proteção estão mais vulneráveis aos poluentes ambientais oriundos de fontes antropogênicas como despejos domésticos, industriais, lixiviação de chorume de aterros sanitários, etc.<sup>8,9</sup>.

As atividades econômico-produtivas desenvolvidas pela mineração, hidroenergia, madeireira, agronegócio e outras trazem grandes benefícios para o desenvolvimento de um país. Entretanto, são muitos os riscos que existem no entorno dessas áreas produtivas, isto é, os impactos socioambientais negativos que acabam desorganizando e inviabilizando a permanência de agrupamentos humanos e suas interações com a natureza, dificuldades observadas em detrimento de danos ambientais, surgimento de doenças e situação de pobreza. O modelo de produção do município de Barcarena/PA foi impactado intensamente pelo complexo Albras/Alunorte, que trabalha na produção de alumínio e alguns subprodutos, e contou com o apoio do Estado no sentido de desapropriar aproximadamente 40.000 hectares de terras para a sua instalação. Grandes áreas foram desmatadas e a população local que antes da instalação deste complexo industrial utilizava os recursos naturais para a sua subsistência como, por exemplo, caça e pesca, precisou adotar outras bases produtivas para a sua sobrevivência econômica. A migração da população para outras áreas do município foi intensa e sem qualquer planejamento urbano por parte dos gestores, resultando em aglomeração

de moradias em periferias e sobrecarga populacional<sup>10</sup>.

Atualmente, o município de Barcarena (PA), não diferente de outros brasileiros, enfrenta problemas de falta de serviços de saneamento adequados, ausência de políticas habitacionais, serviços de saúde precários, etc. Além desses agravantes, frequentemente ocorrem acidentes ambientais no entorno desse polo industrial, tendo como consequências a poluição/contaminação dos corpos hídricos superficiais e subterrâneos e outros compartimentos ambientais, causando prejuízos consideráveis à flora, fauna e saúde da população<sup>11,12</sup>.

Desta forma, o objetivo do presente estudo é apresentar o resultado do monitoramento de águas subterrâneas utilizadas para consumo humano no entorno de comunidades ribeirinhas expostas à poluentes/contaminantes ambientais nos municípios de Abaetetuba e Barcarena no Estado do Pará.

## **Materiais e métodos**

### **Descrição da área do estudo**

Abaetetuba e Barcarena são municípios de grande porte no Estado do Pará, cuja estimativa populacional foi, respectivamente, de 148.873 e 112.921 habitantes em 2014. Estes municípios possuem áreas territoriais em torno de 1.610,108 e de 1.310,588 quilômetros quadrados<sup>13</sup>. Localizam-se a sudoeste da cidade de Belém com uma distância aproximada de 90 km em relação ao centro dessa capital e fazem parte da bacia hidrográfica do Rio Pará.

A classificação dos sistemas hidrogeológicos de Abaetetuba e Barcarena foi realizada conforme os critérios de classificação de Belém e Ananindeua, com base na proximidade das áreas e configurações geométricas semelhantes identificadas nos perfis litológicos. Segundo esses autores, existem cinco sistemas hidrogeológicos na área correspondente a estes dois municípios, formados por aquícludes, aquícludes e aquíferos pertencentes às unidades estratigráficas Pirabas, Barreiras e Cobertura Quaternária. Estes sistemas são denominados de Aluviões, Pós-Barreiras, Barreiras, Pirabas Superior e Pirabas Inferior, com predominância do grupo Barreiras nessas áreas e outras regiões do Pará, porém nas proximidades dos principais corpos hídricos superficiais, os sistemas predominantes são os Aluviões<sup>14</sup>.

A Comunidade Maranhão e a Vila do Conde estão localizadas nos municípios de Abaetetuba e Barcarena, respectivamente, ambas no Estado do Pará, sob as coordenadas geográficas de 1°40' 10,58" S e 48°49' 12,26" W e de 1°34' 3,17" S e 48°45' 55,36" W (WGS 84). A Comunidade Maranhão tem uma distância aproximada de 8,5 quilômetros em linha reta da cidade de Abaetetuba/PA e de 12 quilômetros da Vila do Conde em Barcarena/PA (visualização no software Google Earth), com acesso através da Rodovia Estadual PA-252 e Ramal do Maranhão, uma comunidade ribeirinha situada à margem esquerda do rio Guajará do Beja, o qual é tributário do rio Pará. Já a Vila do Conde é um dos distritos pertencentes ao município de Barcarena e está localizada no entorno da área portuária de Vila do Conde, onde estão instaladas indústrias que atuam no beneficiamento e exportação de caulim, alumina, alumínio, cabos para transmissão de energia elétrica e outras atividades produtivas do agronegócio<sup>10,11,13</sup>.

As águas consumidas nas duas localidades são originárias de aquíferos subterrâneos, não existindo qualquer tipo de tratamento nessas fontes de abastecimento, apenas captação canalizada ou não, armazenamento em caixas d'água ou reservatório elevado e distribuição para os pontos de consumo. O poço usado para o abastecimento geral em Vila do Conde através de distribuição canalizada pelo serviço de saneamento do município é realizada de maneira intermitente, isto é, não funciona 24 horas no dia.

### **Coleta de Dados**

Foram realizadas quatro (04) campanhas de amostragens de águas no ano de 2012, contemplando o período chuvoso (janeiro, abril) e seco (agosto e novembro) com o objetivo de se verificar a influência pluviométrica na mudança da qualidade das águas consumidas nas áreas de estudo.

Na Comunidade Maranhão, foram monitorados nove (09) poços individuais tipo escavados com boca aberta e um (01) tubular ou fechado. Na Vila do Conde, o monitoramento foi realizado um (01) poço individual tipo escavado com boca aberta, seis (06) poços tubulares ou fechados, sendo cinco (05) individuais e um (01) coletivo administrado pelo serviço de saneamento do município. Além dos poços, houve monitoramento das águas armazenadas em recipientes dentro dos domicílios nas duas localidades, por exemplo, potes de barro, filtros, vasilhames na

geladeira, etc., sendo dez (10) pontos de amostragem na Comunidade Maranhão e treze (13) em Vila do Conde. A água distribuída na rede de abastecimento foi monitorada em treze (13) pontos de amostragem em Vila do Conde, na Comunidade não foi possível, pois não há este tipo de serviço coletivo.

### Análise de Dados

As amostragens e análises foram realizadas respectivamente conforme as recomendações do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos<sup>15</sup> e do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*<sup>16</sup>.

As amostras de água foram coletadas em frascos de polietileno de 1 L diretamente nos poços com auxílio de balde inox ou na tubulação de sucção antes de caixas d'água ou reservatório, de recipientes utilizados para armazenamento considerados neste estudo como água de domicílio e em águas da rede de distribuição do sistema coletivo de abastecimento (torneiras).

As análises de pH e sólidos totais dissolvidos foram realizadas no equipamento multiparamétrico HI 769828 da HANNA® (métodos SM 4500B e SM 2540C), os sólidos totais suspensos foram determinados no espectrofotômetro DR 2800 da HACH® (UV-VIS método SM 2540D) e as variáveis cloreto, fluoreto, dureza (CaCO<sub>3</sub> e MgCO<sub>3</sub>) e N-Nitrato no equipamento ICS 2100 DUAL (Thermo Scientific-DIONEX, USA método SM 4110A).

Para o cálculo do IQA em águas subterrâneas neste estudo, foram determinadas as variáveis pH, sólidos totais (somatório de sólidos totais dissolvidos e sólidos totais suspensos), fluoreto, cloreto, dureza e N-nitrato. Esses cálculos seguiram os mesmos critérios do IQA da National Sanitation Foundation (NSF) e Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB)<sup>17</sup>, tomando-se como referência as metodologias desenvolvidas por Oliveira et al.<sup>18</sup> através do índice de qualidade natural das águas subterrâneas (IQNAS).

Este modelo matemático desenvolvido por Oliveira et al.<sup>18</sup> e Silva et al.<sup>19</sup> baseou-se no mesmo princípio, a formulação matemática utilizada no IQA NSF e CETESB, em que o produto dos valores de qualidade das águas subterrâneas a partir das variáveis escolhidas através da opinião de especialistas no assunto (qpH, qsólidos totais, qcloreto, qfluoreto, qdureza e qnitrato), é eleva-

do ao peso definido para cada variável de acordo com a importância das mesmas, conforme a Equação 01:

$$IQNAS = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (\text{Equação 01})$$

Desta forma, o IQNAS (Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas) é representado por um número entre 0 e 100, dividido em quatro (04) categorias e ponderações, isto é, de 0 a 36 classifica as águas como categoria imprópria, de 37 a 51 aceitável, de 52 a 79 boa e de 80 a 100 ótima; sendo o  $q_i$  a qualidade da  $i$ -ésima variável, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva curva média de variação de qualidade (Figura 1), em função de sua concentração ou através de equações matemáticas para as curvas de qualidade versus concentração; e o  $w_i$ : peso correspondente à  $i$ -ésima variável, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade (Tabela 1).

Os modelos matemáticos construídos para o cálculo do IQA em águas subterrâneas foram elaborados a partir de notas de qualidades aplicadas para cada variável, sendo utilizada a nota 37 para a qualidade aceitável no final de intervalo para cada variável, tomando-se como referência a os valores recomendados pela Portaria 2.914 de 2011 do Ministério da Saúde.

Para a estatística descritiva foi utilizado o software Excel 2013 da Microsoft Corporation® e para as Análises de Componentes Principais foi utilizado o software Minitab 17 OnTheHub Inc.® com os direitos para uso de acordo com licença.

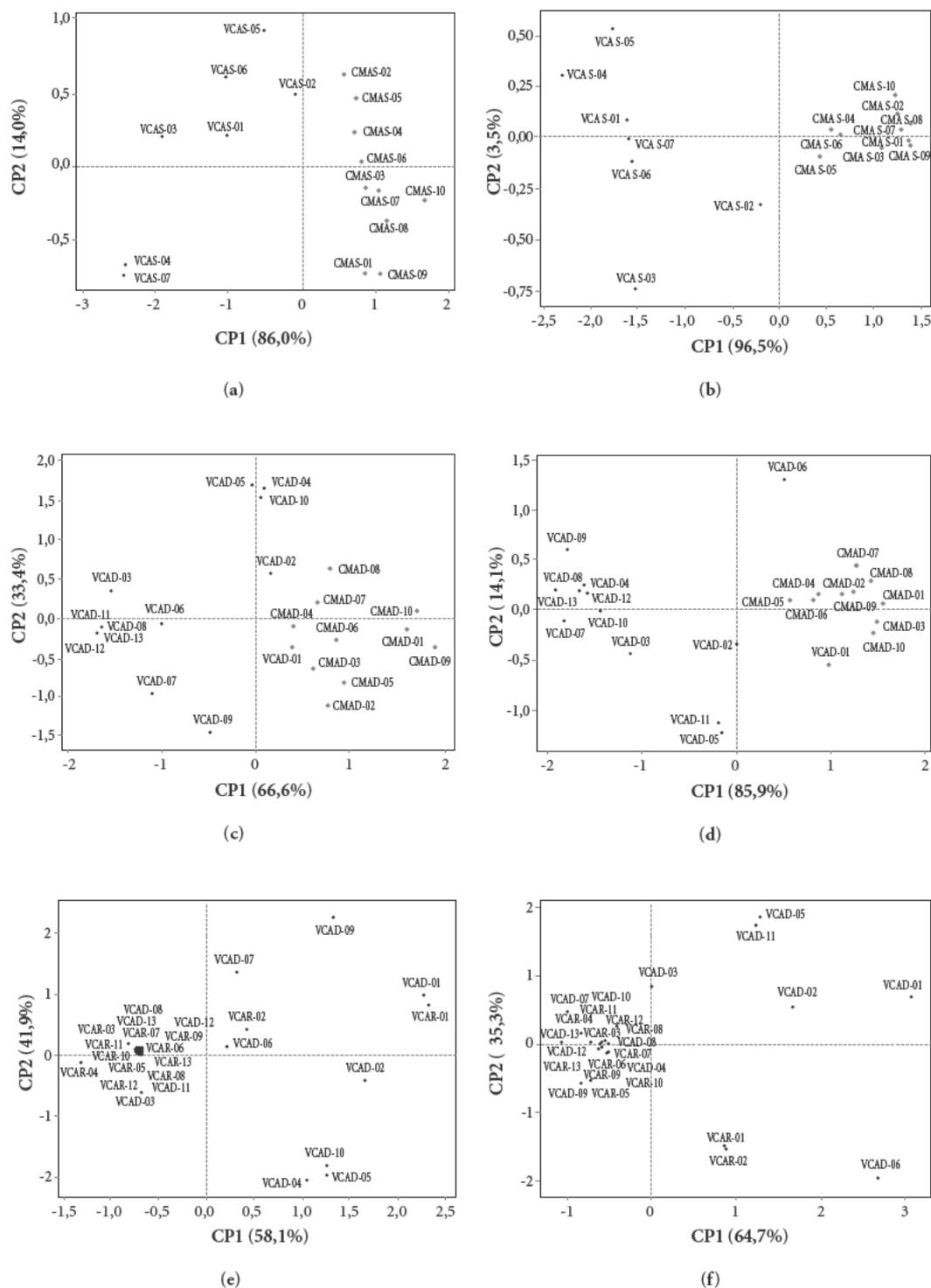
Como não existe qualquer tipo de tratamento químico diretamente nas fontes de captação de água e as mesmas são originárias de aquíferos subterrâneos, como forma de se comparar a qualidade das águas destes com as das coletadas nas residências e na rede de distribuição, também se realizou o cálculo do IQNAS sobre estas com a mesma metodologia aplicada anteriormente.

### Considerações éticas

Atendendo às especificações da Portaria 466/2012, o projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética do Instituto Evandro Chagas.

### Resultados

A análise das águas foi realizada considerando sua fonte, entre subterrânea, de domicílios e de



**Figura 1.** Análise de Componentes Principais (ACP) tipo score plot sobre os dados de água subterrânea em período chuvoso (a), seco (b) e chuvoso vs seco (c); de água de domicílio em período chuvoso (d), seco (e) e chuvoso vs seco (f); e água de domicílio e de rede em período chuvoso (g), seco (h) e chuvoso vs seco (i) para Comunidade Maranhão e Vila Conde.

Legenda: CMAS: Comunidade Maranhão Água Subterrânea; VCAS: Vila do Conde Água Subterrânea; CMAD: Comunidade Maranhão Água de Domicílio; VCAD: Vila do Conde Água de Domicílio; VCAR: Vila do Conde Água de Rede.

**Tabela 1.** Equações matemáticas das curvas de qualidade das variáveis pH, sólidos totais, cloreto, fluoreto, dureza e N-nitrato para a determinação de  $q_i$ .

Variáveis	Unidades	Equações Matemáticas ( $q_i$ )	Intervalos de Validade	R <sup>2</sup>	Pesos ( $w_i$ )
pH	-	qpH = 1,7354*(pH) <sup>2</sup> qpH = 16405*[(pH) <sup>-2,5</sup> ]-17	[2 ≤ pH ≤ 7,34] [pH ≥ 7,35]	0,990	0,05
Sólidos Totais (ST)	mg.L <sup>-1</sup>	qST = 79-0,167284*ST+EXP[(ST) <sup>0,228</sup> ] qST = 27,7	[0 ≤ ST ≤ 1630] [ST > 1630]	0,990	0,22
Cloreto (Cl <sup>-</sup> )	mg.L <sup>-1</sup>	qCl = 100 qCl = 138,9*(Cl) <sup>-0,19561</sup> -(Cl) <sup>0,42</sup> qCl = 0,0	[Cl < 4,86] [4,86 ≤ Cl ≤ 3000] [Cl > 3000]	0,916	0,26
Fluoreto (F <sup>-</sup> )	mg.L <sup>-1</sup>	qF = 80+21*F-(F) <sup>11,6263</sup> qF = 0,0	[0,0 ≤ F ≤ 1,5] [F > 1,5]	0,924	0,16
Dureza (DZ)	mg.L <sup>-1</sup>	qDZ = 100 qDZ = 101,1*EXP(-0,00212*DZ)	[DZ < 5,4] [DZ ≥ 5,4]	0,949	0,16
N-Nitrato (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg.L <sup>-1</sup>	qN-NO <sub>3</sub> = 100*EXP(-0,0994*N-NO <sub>3</sub> )	[N-NO <sub>3</sub> ≥ 0,0]	0,993	0,15
<b>Soma dos pesos</b>					<b>1,00</b>

Fonte: Adaptado de Oliveira et al.<sup>18</sup>.

rede. Cabe ressaltar que são apresentados dados a respeito da água de rede apenas para a Vila do Conde, pois a Comunidade Maranhão não possui esta opção de distribuição de água.

#### Águas subterrâneas

No período chuvoso, os IQAs calculados nas águas dos poços da Comunidade Maranhão, apresentaram qualidade aceitável (IQA = 46) em 5 % das amostras, boa (IQA de 53 a 78) em 80% das amostras e ótima (IQA de 80 a 86) em 15% das amostras. No período seco, houve melhora na qualidade das águas destes poços, com resultados de IQA variando de bom (57 a 79) a ótimo (80 a 82) em 55% e 45% respectivamente. Na Vila do Conde em período chuvoso, as águas dos poços avaliados apresentaram qualidades imprópria (IQA de 4 a 36) em 64,28% das amostras, aceitável (IQA = 39 e 50) em 14,28% e boa (IQA de 55 a 65) em 21,44%. No período seco, a qualidade das águas dos poços avaliados na Vila do Conde foi imprópria (IQA de 2 a 34) em 78,57% das amostras, aceitável (IQA = 39 e 46) em 14,29% das amostras e boa (IQA = 62) em 7,14% das amostras.

Observa-se que as águas subterrâneas nestas duas localidades apresentaram condições de qualidade bem diferentes quando comparadas no período chuvoso e seco (Figuras 1a e 1b), com destaque de melhor qualidade para a Comunidade Maranhão que sofreu influência negativa no período das chuvas, pois no período seco, suas águas melhoraram ainda mais de qualidade. As águas da Vila do Conde apresentaram qualidade imprópria nos dois períodos, inclusive o poço utilizado para o abastecimento geral da sua população, com valores de IQA variando de 16 a 32. A CP1 (86,0%) demonstrou no período chuvoso excelente separação de dois grupos no eixo y associado com as características das águas subterrâneas entre as comunidades Maranhão e Vila do Conde.

Este resultado confirma uma discrepância significativa quanto aos resultados de avaliação da qualidade das águas destes aquíferos. Na comunidade Maranhão as águas apresentam um padrão melhor refletido pelos índices mais elevados de IQA, ao contrário dos resultados de Vila do Conde, cujos valores de IQA mostram a degradação dos aquíferos refletindo na qualidade das águas subterrâneas utilizadas para abaste-

cimento da população. Contudo, apesar da CP2 (14,0%) não apresentar uma boa separação no eixo x onde estão agrupadas as amostras coletadas na comunidade Maranhão, nas amostras de Vila do Conde destacam-se dois pontos VCAS 4 e 7 denotando que nos mesmos existe uma grande diferenciação em relação aos demais pontos desta região, possivelmente pelo pior incremento na qualidade das águas a partir dos valores dos IQAs nestes pontos de amostragem.

Estes resultados se repetiram no período seco no qual a CP1 atingiu 96,5% demonstrando um maior distanciamento no que concerne a qualidade das águas subterrâneas nas comunidades avaliadas. Este fato pode estar associado a menor percolação de outros contaminantes e nutrientes normalmente mais intensos no período chuvoso, ou seja, as características das águas possuem menor variação nos níveis dos parâmetros avaliados que refletem nos índices do IQA. Porém também se observa que neste período a CP2 (3,5%) não consegue separar bem nenhum dos pontos de ambas as regiões sendo considerados estes resultados mais homogêneos para uma mesma área.

#### Águas de domicílios

No período chuvoso, as águas de domicílios da Comunidade Maranhão apresentaram qualidade aceitável (IQA = 45 e 51) em 10 % das amostras, boa (IQA de 52 a 79) em 70% das amostras e ótima (IQA de 80 a 87) em 25% das amostras. No período seco, houve melhora na qualidade das águas destes domicílios, com resultados de IQA variando de bom (59 a 78) a ótimo (80 a 87) em 75% e 25% respectivamente. Na Vila do Conde, em período chuvoso, as águas dos poços avaliados apresentaram qualidades imprópria (IQA de 12 a 34) em 65,39% das amostras, aceitável (IQA=43 e 47) em 7,69% das amostras, boa (IQA de 52 a 65) em 15,38% das amostras e ótima (IQA de 82 a 85) em 11,54% das amostras. No período seco, a qualidade das águas nos domicílios da Vila do Conde foi imprópria (IQA de 7 a 35) em 65,39% das amostras, aceitável (IQA de 39 a 48) em 11,54% das amostras, boa (IQA=54 e 65) em 7,69% das amostras e ótima (IQA de 82 a 85) em 15,38% das amostras.

As águas nos domicílios da Comunidade Maranhão e Vila do Conde também apresentaram qualidades diferentes quando comparadas nos dois períodos sazonais (Figuras 1c e 1d) e mantiveram padrões idênticos às suas fontes de captação (poços), isto é, a Comunidade Maranhão apresentou uma qualidade boa na maioria das

amostras avaliadas e a Vila do Conde uma qualidade imprópria em maior percentual das amostras. Isto é evidenciado nas Figuras 1c e 1d, a CP1 (66,6%) demonstrou no período chuvoso boa separação de dois grupos no eixo y associado com as características das águas de domicílio entre as comunidades Maranhão e Vila do Conde. Este resultado confirma uma diferença significativa na qualidade das águas coletadas nos recipientes destas comunidades. Na comunidade Maranhão as águas apresentam um padrão melhor de IQAs, porém os resultados de Vila do Conde mostram a degradação da qualidade das águas subterrâneas consumidas, refletindo as mesmas características dos aquíferos utilizados para abastecimento da população. A CP2 (33,4%) não apresentou uma boa separação no eixo x. Estes resultados se repetiram no período seco no qual as CP1 (85,9%) e CP2 (14,1%) demonstraram um maior distanciamento e separação no eixo y no que concerne à qualidade das águas de domicílios nas comunidades avaliadas.

#### Águas de rede de distribuição

As águas de rede de distribuição foram avaliadas apenas na Vila do Conde e também mantiveram o mesmo padrão de qualidade dos poços avaliados neste distrito, inclusive naquele utilizado para abastecimento geral da população. As condições de qualidade das águas de rede ficaram definidas da seguinte forma: No período chuvoso, 88,46% das amostras apresentaram qualidade imprópria (IQA de 9 a 30), 3,85% com qualidade aceitável (IQA = 39) e 7,69% com qualidade boa (IQA = 55 e 61). No período seco, a qualidade das águas de rede em Vila do Conde piorou, apresentando-se imprópria em 92,31% das amostras (IQA de 13 a 31) e boa em 7,69% (IQA = 54).

Finalmente, nas Figuras 1e e 1f, a CP1 (58,1%) demonstrou no período chuvoso uma separação de dois grupos no eixo y associado com as características das águas de domicílio e de rede de distribuição da Vila do Conde. Este resultado confirma uma semelhança quanto à qualidade das águas consumidas nesta comunidade. A degradação dessas águas reflete a mesma condição de qualidade dos aquíferos desta região. A CP2 (41,9%) não apresentou uma boa separação no eixo x. Estes resultados se repetiram no período seco no qual as CP1 (64,7%) e CP2 (35,3%) demonstraram um maior distanciamento e separação no eixo y no que concerne a qualidade das águas de domicílios e de rede de distribuição na comunidade avaliada. Comparando-se as águas

da rede de distribuição com as de domicílio nos dois períodos sazonais, observou-se um padrão idêntico de qualidade com pequenas melhorias em alguns pontos de amostragem, provavelmente pela fervura da água, adição de produtos químicos como o hipoclorito, etc.

Finalmente, na Tabela 2, é possível observar a estatística descritiva aplicada sobre os valores das variáveis e IQAs determinados neste estudo nas águas subterrâneas, de domicílios e de rede de distribuição nas duas localidades, apresentando valores de média geométrica, desvio padrão, valores mínimos e máximos sobre os dados do período chuvoso e seco. Observa-se, de acordo com os parâmetros avaliados, que há um melhor padrão de qualidade para a Comunidade Maranhão, com melhoria no período seco com predominância de boa e ótima. Em oposição, a Vila do Conde manteve um padrão de qualidade va-

riando de regular a ruim em suas águas, portanto, impróprias para consumo. Vale a pena lembrar que os períodos considerados chuvosos são os meses de janeiro e abril, e os períodos secos correspondentes aos de agosto e novembro.

## Discussão

A utilização de um Índice de Qualidade da Água (IQA) é um instrumento matemático usado para transformar grandes quantidades de dados de qualidade da água em um único número que representa seu nível, e se trata de uma ferramenta bastante utilizada para o planejamento do uso da terra e gestão de recursos hídricos, sobretudo em países em desenvolvimento. Ele pode ser mensurado a partir de quantidades e tipos diferentes de parâmetros, em geral calculados considerando o

**Tabela 2.** Estatística descritiva aplicada sobre os dados das amostras de água segundo localidade e período.

Local	Período	Variáveis	Unidade	N	Água subterrânea		
					$M_G \pm DP$	Min	Max
Comunidade Maranhão	Chuvoso	pH	-	20	4,62 ± 0,25	4,17	5,09
		Sólidos Totais	mg.L-1	20	30 ± 19	10	76
		Cloreto	mg.L-1	20	9 ± 8,91	2,31	34,68
		Fluoreto	mg.L-1	20	0,011 ± 0,009	0,005	0,030
		Dureza	mg.L-1	20	4,74 ± 7,70	0,02	35,32
		N-Nitrato	mg.L-1	20	11,21 ± 8,89	1,96	37,48
		IQA	-	20	69 ± 10	46	86
	Seco	pH	-	20	4,81 ± 0,57	4,01	5,69
		Sólidos Totais	mg.L-1	20	26 ± 20	10	83
		Cloreto	mg.L-1	20	6,00 ± 7,77	1,66	34,18
		Fluoreto	mg.L-1	20	0,014 ± 0,012	0,005	0,045
		Dureza	mg.L-1	20	0,83 ± 0,73	0,30	2,94
		N-Nitrato	mg.L-1	20	7,70 ± 5,13	2,68	20,11
		IQA	-	20	75 ± 8	57	85
Vila Do Conde	Chuvoso	pH	-	20	4,18 ± 0,50	3,56	5,02
		Sólidos Totais	mg.L-1	20	112 ± 50,41	40	247
		Cloreto	mg.L-1	20	32 ± 16,56	12	70
		Fluoreto	mg.L-1	20	0,020 ± 0,012	0,011	0,045
		Dureza	mg.L-1	20	7,27 ± 7,27	2,03	30,86
		N-Nitrato	mg.L-1	20	61,35 ± 48,74	17,46	186,88
		IQA	-	20	24 ± 20	4	65
	Seco	pH	-	20	3,96 ± 0,33	3,48	4,58
		Sólidos Totais	mg.L-1	20	109 ± 51,99	19	212
		Cloreto	mg.L-1	20	29 ± 12,47	11	52
		Fluoreto	mg.L-1	20	0,026 ± 0,021	0,006	0,068
		Dureza	mg.L-1	20	4,76 ± 8,05	0,75	32,60
		N-Nitrato	mg.L-1	20	77,52 ± 59,50	20,03	258,55
		IQA	-	20	19 ± 16	2	62

continua

peso de cada parâmetro. Um estudo desenvolvido no Irã<sup>20</sup>, que desenvolveu um IQA e validou suas médias com o uso de sensoriamento remoto concluiu que o mapa índice fornece uma visão abrangente de fácil interpretação para um melhor planejamento e gestão.

Considerando-se as referências da legislação Brasileira, a Portaria 2.914 de 2011, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade<sup>7</sup>, as águas avaliadas neste estudo, desde a captação até os pontos de consumo, apresentaram valores de pH com características ácidas em quase a totalidade das duas comunidades estudadas, não se enquadrando com os valores recomendados para consumo humano (6,0 a 9,5).

Os resultados de sólidos totais apresentaram valores baixos quando comparados com a refe-

rência da legislação aplicada para sólidos totais dissolvidos (1.000 mg.L<sup>-1</sup>), porém elevados em determinados pontos de amostragens provavelmente por interferência das chuvas e pela falta de proteção adequada dos poços de captação. Além disso, os resultados de cloreto, fluoreto e dureza estiveram todos de acordo com a legislação (250, 500 e 1,5 mg.L<sup>-1</sup> respectivamente).

Finalmente, o parâmetro que mais influenciou na qualidade das águas avaliadas foi o N-Nitrato, apresentando valores elevados nas duas comunidades, principalmente na Vila do Conde. A legislação para água de consumo humano estabelece o valor limite de 10 mg.L<sup>-1</sup>, porém foram determinados valores que estiveram 10 e até 25 vezes acima dessa referência. O nitrato é um composto importante para a saúde humana, nas águas superficiais ocorrem em baixas concentrações, porém podem atingir valores elevados em águas

Tabela 2. continuação

Local	Período	Variáveis	Unidade	N	Água de domicílio		
					M <sub>c</sub> ± DP	Min	Max
Comunidade Maranhão	Chuvoso	pH	-	20	5,12 ± 0,53	4,47	6,61
		Sólidos Totais	mg.L-1	20	24 ± 20	6	69
		Cloreto	mg.L-1	20	10 ± 8,14	1,45	33,79
		Fluoreto	mg.L-1	20	0,013 ± 0,008	0,005	0,030
		Dureza	mg.L-1	20	3,91 ± 5,80	0,15	22,51
		N-Nitrato	mg.L-1	20	10,78 ± 11,73	1,32	39,76
		IQA	-	20	67 ± 13	45	87
	Seco	pH	-	20	5,12 ± 0,53	4,00	5,95
		Sólidos Totais	mg.L-1	20	29 ± 20	12	86
		Cloreto	mg.L-1	20	9,00 ± 8,16	2,54	39,24
		Fluoreto	mg.L-1	20	0,015 ± 0,012	0,005	0,041
		Dureza	mg.L-1	20	1,02 ± 1,08	0,42	4,76
		N-Nitrato	mg.L-1	20	8,85 ± 4,73	2,34	19,22
		IQA	-	20	74 ± 7	59	87
Vila Do Conde	Chuvoso	pH	-	26	4,36 ± 0,67	3,56	7,03
		Sólidos Totais	mg.L-1	26	79 ± 48,59	18	181
		Cloreto	mg.L-1	26	22 ± 13,69	3	53
		Fluoreto	mg.L-1	26	0,035 ± 0,021	0,009	0,085
		Dureza	mg.L-1	26	6,52 ± 4,82	0,72	16,41
		N-Nitrato	mg.L-1	26	43,74 ± 37,68	1,75	124,22
		IQA	-	26	31 ± 23	12	85
	Seco	pH	-	26	4,11 ± 0,58	3,40	5,31
		Sólidos Totais	mg.L-1	26	92 ± 52,40	10	233
		Cloreto	mg.L-1	26	20 ± 14,72	2	57
		Fluoreto	mg.L-1	26	0,025 ± 0,020	0,006	0,089
		Dureza	mg.L-1	26	4,65 ± 4,85	0,52	17,99
		N-Nitrato	mg.L-1	26	46,06 ± 41,55	1,45	158,72
		IQA	-	26	29 ± 24	7	85

continua

profundas, o seu consumo em águas de abastecimento pode causar efeitos adversos à saúde como a indução de metemoglobinemia em crianças, principalmente nas menores de três anos de idade que são mais suscetíveis devido às condições alcalinas em seus sistemas gastrointestinais, enquanto a formação de nitrosaminas e nitrosamidas apresentam potenciais carcinogênicos.

Os achados do presente estudo vão ao encontro das evidências apontadas na literatura sobre a poluição da água em locais com atividade industrial. Um estudo realizado em uma importante província de águas subterrâneas no sul da Índia<sup>21</sup>, onde houve uma explosão demográfica e um intenso crescimento das atividades agrícolas e industriais, observou um aumento na concentração de ácidos fracos, bem como um aumento da dureza permanente, alterações na adsorção de sódio, carbonato de cálcio residual e na permea-

bilidade, evidenciando que em 56% das amostras coletadas na região com atividade industrial foi considerada inadequada para consumo humano.

Além disso, a poluição causada pela emissão de metais e outros íons em efluentes acaba por criar um ambiente favorável para a proliferação de microrganismos. Em estudo realizado no Paquistão<sup>22</sup>, onde a maioria das pessoas obtém água potável a partir da fonte de água subterrânea, estabeleceu a relação entre a qualidade da água bacteriológica e indicadores socioeconômicos com gastroenterite na área de estudo. Os resultados com o cálculo do IQA mostraram uma oferta de água inapropriada para os parâmetros físico-químicos, e ainda com correlação significativa para a concentração de coliformes fecais. Observaram, ainda, que a correlação era mais forte em locais com uma maior taxa de analfabetismo, evidenciando uma situação de injustiça ambiental.

Tabela 2. continuação

Local	Período	Variáveis	Unidade	N	Água de rede		
					M <sub>G</sub> ± DP	Min	Max
Comunidade Maranhão	Chuvoso	pH	-	-	-	-	-
		Sólidos Totais	mg.L-1	-	-	-	-
		Cloreto	mg.L-1	-	-	-	-
		Fluoreto	mg.L-1	-	-	-	-
		Dureza	mg.L-1	-	-	-	-
		N-Nitrato	mg.L-1	-	-	-	-
		IQA	-	-	-	-	-
	Seco	pH	-	-	-	-	-
		Sólidos Totais	mg.L-1	-	-	-	-
		Cloreto	mg.L-1	-	-	-	-
		Fluoreto	mg.L-1	-	-	-	-
		Dureza	mg.L-1	-	-	-	-
		N-Nitrato	mg.L-1	-	-	-	-
		IQA	-	-	-	-	-
Vila Do Conde	Chuvoso	pH	-	26	4,24 ± 0,50	3,64	5,66
		Sólidos Totais	mg.L-1	26	128 ± 25,44	65	192
		Cloreto	mg.L-1	26	33 ± 7,03	15	47
		Fluoreto	mg.L-1	26	0,048 ± 0,016	0,032	0,087
		Dureza	mg.L-1	26	11,53 ± 5,49	2,30	25,84
		N-Nitrato	mg.L-1	26	80,08 ± 26,73	19,86	139,86
		IQA	-	26	21 ± 12	9	61
	Seco	pH	-	26	3,95 ± 0,41	3,41	5,15
		Sólidos Totais	mg.L-1	26	124 ± 18,85	70	155
		Cloreto	mg.L-1	26	27 ± 5,78	16	38
		Fluoreto	mg.L-1	26	0,037 ± 0,047	0,006	0,150
		Dureza	mg.L-1	26	8,18 ± 3,57	1,00	16,81
		N-Nitrato	mg.L-1	26	72,86 ± 21,63	26,00	119,84
		IQA	-	26	25 ± 10	13	54

N: Número de dados; MG: Média geométrica; DP: Desvio padrão; Min: Mínimo; Max: Máximo.

De forma análoga aos processos industriais, a urbanização realizada de forma desorganizada também contribui para a poluição das águas subterrâneas, conforme apontam os resultados do presente estudo. Análises químicas realizadas na Índia<sup>23</sup>, adotando técnicas de análise multivariada, de forma semelhante ao presente estudo, mostraram diferenças na qualidade da água de acordo com o período chuvoso, sendo o índice de poluição no período de pré-moção maior que no de pós-moção (9,27 vs 8,74). Ainda, também de forma semelhante ao nosso estudo, o Índice de Qualidade da Água apresentou-se pior no período pré-moção do que no período pós-moção (217,59 vs 233,02). O estudo indicou, então, que ocorre um processo de urbanização extenso a partir do desenvolvimento gradual de várias indústrias de pequena e grande escala, e este processo, no seu conjunto, é responsável pela degradação da qualidade da água, principalmente por processos como o escoamento agrícola, eliminação de resíduos, lixiviação e irrigação com água residual.

Este resultado corrobora estudo anterior em região próxima, também na Índia<sup>24</sup>, que indicou que há uma mudança na qualidade da água de acordo com o período das monções, o que revela variação sazonal na deterioração da qualidade das águas subterrâneas.

Na mesma direção, estudo realizado com águas subterrâneas em Bangladesh<sup>25</sup> mostrou que há, apesar da influência do processo geológico na redução da concentração de oxigênio dissolvido e nos traços de presença de metais na água, a rota de mobilização de alguns metais, como o cromo, está associada espacialmente com a localização de indústrias de couro, por exemplo.

Finalmente, para avaliar o efeito de fontes antropogênicas, um estudo conduzido no Marrocos<sup>26</sup> avaliou o impacto de três fontes de poluição (atividades chorume, de águas residuais e de mineração) sobre as características físico-químicas das águas superficiais e subterrâneas na região norte de Marrakech. A análise de componentes principais (PCA) permitiu a identificação do impacto das fontes de poluição e os resultados mostraram que águas subterrâneas e superficiais possuíam alterações em suas propriedades graças à poluição.

É importante, ainda, ressaltar que foram utilizados apenas seis parâmetros para a avaliação. Acredita-se que a inclusão de outros parâmetros, como coliformes termotolerantes, sulfato, btx (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos), mercúrio e outros elementos tóxicos, ao painel possa

trazer sensibilidade à avaliação. Sabe-se que estas variáveis estão associadas à emissão de efluentes domésticos não tratados e resíduos resultantes de atividades industriais, principalmente pela construção de poços sem critérios técnicos adequados e vulnerabilidade do aquífero subterrâneo da região. Entretanto, a utilização dos parâmetros adotados já foi suficiente para observar diferenças nas regiões estudadas. Estudos mais recentes apontam, ainda, para a necessidade de especificação de características químicas dos parâmetros utilizados, como quais isótopos estão envolvidos no processo de poluição<sup>27</sup>, o que poderia contribuir na identificação das rotas de exposição das águas subterrâneas, bem como para estabelecer os níveis de normalidade (que podem variar de acordo com a formação geológica, e não somente por fonte antropogênica<sup>28</sup>). Por exemplo, estudo conduzido na Arábia Saudita<sup>29</sup> procurou estabelecer os parâmetros de índices químicos como o cloro e compostos alcalinos, a relação de adsorção de sódio, porcentagem de sódio, concentração de carbonato de sódio residual e índice de permeabilidade. Os resultados mostram que a composição química das águas subterrâneas do local de estudo é fortemente influenciada pela litologia de rochas do país, em vez de atividades antrópicas.

## Conclusão

O monitoramento visa avaliar a qualidade da água consumida pela população ao longo do tempo, medir a eficiência do tratamento e a integridade do sistema de distribuição. Os parâmetros usados para o cálculo do índice de qualidade das águas subterrâneas indicaram um melhor padrão de qualidade para a Comunidade Maranhão, apresentando melhoria no período seco com predominância de boa e ótima, enquanto que a Vila do Conde manteve um padrão comprometedor, isto é, a maioria dos pontos de amostragens estiveram em condições inaceitáveis para consumo humano.

As variáveis que mais influenciaram negativamente na qualidade das águas avaliadas foram o pH e o N-Nitrato, por isso, torna-se imprescindível uma avaliação clínica em um futuro próximo, para saber se as condições das águas consumidas por essas populações podem estar contribuindo com o surgimento ou agravamento de enfermidades, pois esse consumo já vem de longa data.

Este estudo poderá servir de complemento em outras investigações de outras áreas multi-

disciplinares e alertar as autoridades locais destes municípios, principalmente em Vila do Conde em Barcarena, que requer uma atenção redobrada sobre as águas consumidas neste Distrito, pois a Comunidade Maranhão, em Abaetetuba, talvez por estar mais afastada das atividades antrópicas mais intensas, ainda apresenta condições de qualidade melhores. De qualquer forma, essas populações devem ser urgentemente contempladas com serviços de tratamento de águas adequados para consumo humano, bem como monitoramento frequente da qualidade da água de consumo.

### **Colaboradores**

AC Medeiros, MO Lima e RM Guimarães participaram igualmente de todas as etapas de elaboração do artigo.

## Referências

- Barcellos C, Quitério LAD. Vigilância ambiental em saúde e sua implantação no Sistema Único de Saúde. *Rev Saude Publica* 2006; 40(1):170-177
- Souza MM, Gastaldini MCC. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. *Eng Sanit Ambient* 2014; 19(3):263-274.
- Brasil. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. *Diário Oficial da União* 1988; 5 out.
- Brasil. Lei nº 8.080, de 19 de setembro de 1990. Dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes e dá outras providências. *Diário Oficial da União* 1990; 20 set.
- Brasil. Ministério da Saúde (MS). *Diagnóstico da estrutura de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano: portaria MS n.518/2004. Resumo executivo*. Brasília: MS; 2009.
- Daniel MHB, Cabral AR. A Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Vigiagua) e os Objetivos do Desenvolvimento do Milênio (ODM). *Cad. Saúde Colet*. 2011; 19(4):487-492
- Brasil. 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 União* 2011; 14 dez.
- Freitas MB, Brilhante OM, Almeida LM. Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. *Cad Saude Publica* 2001; 17(3):651-660.
- Colvara JG, Lima AS, Silva WP. Avaliação da contaminação de água subterrânea em poços artesianos no sul do Rio Grande do Sul. *Braz. J. Food Technol*. 2009; II SSA:11-14.
- Companhia Docas do Pará. *Relatório técnico 003: Atualização do plano de desenvolvimento e zoneamento do Porto de Vila do Conde, situado no Município de Barcarena, Belém/Pará*. Belém: Companhia Docas do Pará; 2010.
- Instituto Internacional de Educação do Brasil. *Posicionamento da rede da sociedade civil Pró-Fórum em Barcarena*. Belém: Instituto Internacional de Educação do Brasil; 2012.
- Instituto Evandro Chagas (IEC). *Relatório técnico SA-MAM 001: caracterização dos impactos ambientais, danos ao ecossistema e riscos à saúde decorrentes do lançamento no rio Murucupí de efluentes do processo de beneficiamento de bauxita, Barcarena-Pará*. Ananindeua: IEC; 2009.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Informações gerais sobre as cidades de Abaetetuba e Barcarena no Estado do Pará*. [acessado 2015 ago 30]. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=15&search=para>
- Almeida FM, Matta MAS, Prado JB, Dias RF, Bandeira IN, Figueiredo AB, Brasil RO. Análise geométrica e susceptibilidade à contaminação dos sistemas aquíferos da região de Barcarena/Pa. In: *Revista Águas Subterrâneas -XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*; 2006; São Paulo; Brasil.
- Agência Nacional de Águas (ANA). *Guia nacional de coleta e preservação de amostras água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos*. Brasília: ANA; 2011.
- American Public Health Association. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22<sup>th</sup> ed. Washington: American Public Health Association; 2012.
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. (CETESB). *Índice de Qualidade das Águas (IQA)*. São Paulo, 2015. [acessado 2015 ago 28]. Disponível em: [http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/wpcontent/uploads/sites/32/2013/11/02\\_df](http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/wpcontent/uploads/sites/32/2013/11/02_df)
- Oliveira IB, Negrão FI, Silva AGLS. Mapeamento dos Aquíferos do Estado da Bahia utilizando o Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas – IQNAS. *Rev Científica Água Subterrânea* 2007; 21(1):123-137.
- Silva AGL, Oliveira IB, Negrão FI. *Determinação do Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas IQNAS, com Base nos Dados de Poços Tubulares do Estado da Bahia*. Livro de Resumo do XXIV Seminário Estudantil de Pesquisa - SEMEP, UFBA. Salvador, BA, 9-12 de Novembro de 2005.
- Saeedi M, Abessi O, Sharifi F, Meraji H. Development of groundwater quality index. *Environ Monit Assess* 2010; 163(1-4):327-335.
- Vasanthavigar M, Srinivasamoorthy K, Prasanna MV. Evaluation of groundwater suitability for domestic, irrigation, and industrial purposes: a case study from Thirumanimuttar river basin, Tamilnadu, India. *Environ Monit Assess* 2012; 184(1):405-420.
- Shahid SU, Iqbal J, Hasnain G. Groundwater quality assessment and its correlation with gastroenteritis using GIS: a case study of Rawal Town, Rawalpindi, Pakistan. *Environ Monit Assess* 2014; 186(11):7525-7537.
- Singh SK, Srivastava PK, Singh D, Han D, Gautam SK, Pandey AC. Modeling groundwater quality over a humid subtropical region using numerical indices, earth observation datasets, and X-ray diffraction technique: a case study of Allahabad district, India. *Environ Geochem Health* 2015; 37(1):157-180.
- Rajankar PN, Tambekar DH, Ramteke DS, Wate SR. Statistical assessment of groundwater resources in Washim district (India). *J Environ Sci Eng* 2011; 53(1):81-84.
- Nahar MS, Zhang J, Ueda A, Yoshihisa F. Investigation of severe water problem in urban areas of a developing country: the case of Dhaka, Bangladesh. *Environ Geochem Health* 2014; 36(6):1079-1094.
- Ouflin R, Hakkou R, Hanich L, Boularbah A. Impact of human activities on the physico-chemical quality of surface water and groundwater in the north of Marrakech (Morocco). *Environ Technol* 2012; 33(16-18):2077-2088.
- Xue D, Pang F, Meng F, Wang Z, Wu W. Decision-tree-model identification of nitrate pollution activities in groundwater: A combination of a dual isotope approach and chemical ions. *J Contam Hydrol* 2015; 180:25-33.

28. Urresti-Estala B, Vadillo-Pérez I, Jiménez-Gavilán P, Soler A, Sánchez-García D, Carrasco-Cantos F. Application of stable isotopes ( $\delta^{34}\text{S-SO}_4$ ,  $\delta^{18}\text{O-SO}_4$ ,  $\delta^{15}\text{N-NO}_3$ ,  $\delta^{18}\text{O-NO}_3$ ) to determine natural background and contamination sources in the Guadalhorce River Basin (southern Spain). *Sci Total Environ* 2015; 506-507:46-57.
29. Toumi N, Hussein BH, Rafrafi S, El Kassas N. Groundwater quality and hydrochemical properties of Al-Ula Region, Saudi Arabia. *Environ Monit Assess* 2015;187(3):84.

---

Artigo apresentado em 09/08/2015

Aprovado em 04/12/2015

Versão final apresentada em 07/12/2015

**p. 701**

**onde se lê:**

No período chuvoso, as águas de domicílios da Comunidade Maranhão apresentaram qualidade aceitável (IQA = 45 e 51) em 10 % das amostras, boa (IQA de 52 a 79) em 70% das amostras e ótima (IQA de 80 a 87) em 25% das amostras. No período seco, houve melhora na qualidade das águas destes domicílios, com resultados de IQA variando de bom (59 a 78) a ótimo (80 a 87) em 75% e 25% respectivamente. Na Vila do Conde, em período chuvoso, as águas dos poços avaliados apresentaram qualidades imprópria (IQA de 12 a 34) em 65,39% das amostras, aceitável (IQA=43 e 47) em 7,69% das amostras, boa (IQA de 52 a 65) em 15,38% das amostras e ótima (IQA de 82 a 85) em 11,54% das amostras. No período seco, a qualidade das águas nos domicílios da Vila do Conde foi imprópria (IQA de 7 a 35) em 65,39% das amostras, aceitável (IQA de 39 a 48) em 11,54% das amostras, boa (IQA=54 e 65) em 7,69% das amostras e ótima (IQA de 82 a 85) em 15,38% das amostras.

**leia-se:**

No período chuvoso, as águas de domicílios da Comunidade Maranhão apresentaram qualidade aceitável (IQA = 45 e 51) em 10 % das amostras, boa (IQA de 52 a 79) em 65% das amostras e ótima (IQA de 80 a 87) em 25% das amostras. No período seco, houve melhora na qualidade das águas destes domicílios, com resultados de IQA variando de bom (59 a 78) a ótimo (80 a 87) em 75% e 25% respectivamente. Na Vila do Conde em período chuvoso, as águas dos poços avaliados apresentaram qualidades imprópria (IQA de 12 a 34) em 65,39% das amostras, aceitável (IQA = 43 e 47) em 7,69% das amostras, boa (IQA de 52 a 65) em 15,38% das amostras e ótima (IQA de 82 a 85) em 11,54% das amostras. No período seco, a qualidade das águas nos domicílios da Vila do Conde foi imprópria (IQA de 7 a 35) em 65,38% das amostras, aceitável (IQA de 39 a 48) em 11,54% das amostras, boa (IQA = 54 e 65) em 15,39% das amostras e ótima (IQA de 82 a 85) em 7,69% das amostras.