



POTABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARA O CONSUMO HUMANO NA ÁREA DO POLO INDUSTRIAL DE BARCARENA-PARÁ

Jeferson Stiver Oliveira de Castro¹, Benedito Tavares Bechara Resque Júnior²,
Altem Nascimento Pontes³, Gundisalvo Piratoba Morales⁴

¹ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade do Estado do Pará (jestolca32@gmail.com) Belém - Brasil

² Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade do Estado do Pará

³ Professor e Pesquisador do Programa de Mestrado em Ciências Ambientais da Universidade do Estado do Pará

⁴ Professor e Pesquisador do Programa de Mestrado em Ciência Ambientais da Universidade do Estado do Pará

Recebido em: 30/09/2014 – Aprovado em: 15/11/2014 – Publicado em: 01/12/2014

RESUMO

O presente trabalho avaliou a potabilidade das águas subterrâneas localizadas na área de abrangência do polo industrial de Barcarena, Pará. Foram desenvolvidas atividades de pesquisa na área laboratorial visando determinar alterações nas propriedades físicas, físico-químicas e bioquímicas dos recursos hídricos subterrâneos usados para o consumo humano pela população da região. Os parâmetros físico-químicos analisados foram os seguintes: cor, turbidez, pH, sólidos totais dissolvidos (STD), alcalinidade, cloreto (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}), amônia (NH_3), nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), dureza total, condutividade elétrica, sódio (Na^+), cálcio (Ca^{+2}) e potássio (K^+). Para a detecção bacteriológica, foram realizadas análises da presença de coliformes fecais e totais. Os resultados das análises foram comparados com os valores máximos permissíveis (VMP) para consumo humano de acordo com a Portaria nº 2914/11 do Ministério da Saúde. Foi realizada uma relação dos parâmetros físico-químicos por meio de uma matriz de correlação, utilizando-se o programa computacional Excel 2010. Na análise bacteriológica foi encontrado *Escherichia coli*, indicador de coliforme fecal, e também coliformes totais em 21,7% das amostras. Os seguintes parâmetros físico-químicos não atenderam a recomendação legal: pH (100,0%), cor (4,4%), turbidez (60,8%) e a concentração de amônia (13,1%). Encontraram-se correlações positivas entre dureza e condutividade, cloreto e dureza, condutividade elétrica e íons sódio, potássio e cálcio e turbidez com coliformes totais e fecais. Verificou-se também que um razoável percentual de amostras estava fora dos padrões de potabilidade representando possível risco à saúde da população da área estudada.

PALAVRAS-CHAVE: Água subterrânea, Barcarena-Pará, Padrão de potabilidade, Parâmetros físico-químicos e microbiológicos.

POTABILITY OF GROUNDWATER FOR HUMAN CONSUMPTION IN THE INDUSTRIAL POLE OF BARCARENA-PA

ABSTRACT

This present work evaluated the potability of groundwater located in the area covered by the industrial pole in the city of Barcarena in the State of Pará. Were developed research activities in the laboratory area to determine changes in physical, physicochemical and biochemical properties of groundwater resources used for human consumption by the population of the Region. The physicochemical Parameters used were the following: color, turbidity, pH, total dissolved solids (TDS), alkalinity, chloride (Cl^-), sulfate (SO_4^{-2}), ammonia (NH_3), nitrite (NO_2^-), nitrate (NO_3^-), total hardness, electrical conductivity, sodium (Na^+), calcium (Ca^{+2}), potassium (K^+). For the bacteriological detection were analyze performed in the presence of fecal and total coliforms. The analysis results were compared with the maximum permissible values (VMP) for human consumption in accordance with order-in-council 2914/1 of the Ministry of Health. This work was also made a relationship of physical and chemical parameters by means of a correlation matrix, using the computer program named Excel 2010. In bacteriological analysis was found *Escherichia coli*, as an indicator of fecal coliform and total coliforms in 21.7% of samples too. The following physic and chemical parameters did not meet the legal recommendation: PH (100.0%), color (4.4%), turbidity (60.8%) and the concentration of ammonia (13.1%). We can observe important correlations between hardness and conductivity, chloride and hardness, electrical conductivity and ion sodium, potassium and calcium, turbidity with fecal and total coliforms. We can verify that a reasonable percentage of samples were found outside the potability standards representing a possible health risk for the population that use this water.

KEYWORDS: Groundwater, Barcarena- PA, Standard Potability and Physical-Chemical and biological Parameters.

INTRODUÇÃO

Em um cenário mundial onde a demanda por água doce cresce continuamente ao ritmo do crescimento populacional, a água subterrânea assume papel importante no fornecimento de água doce de qualidade para o abastecimento humano, industrial e de irrigação. No mundo, o ritmo de uso dos recursos subterrâneos aumentou em pelo menos três vezes ao longo dos últimos cinquenta anos, e continua a aumentar de 1,0% a 2,0% ao ano. As estimativas sugerem que a captação de águas subterrâneas é responsável por 26,0% da retirada total de água no mundo (UNESCO, 2012).

No Brasil, o padrão de qualidade da água destinada ao consumo humano é definido pela Portaria nº 2914/11 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011). Esta Portaria visa à proteção da saúde pública e o controle de substâncias potencialmente prejudiciais à saúde, como micro-organismos patogênicos, substâncias tóxicas ou venenosas e elementos radioativos, aplica à água destinada ao consumo humano proveniente de sistema e solução alternativa, coletiva ou individual de abastecimento de água. Os parâmetros são dispostos com seus respectivos valores máximos permitidos (VMP).

A qualidade da água é definida por sua composição e pelo conhecimento dos efeitos que podem causar seus constituintes. O conjunto destes constituintes permite que se estabeleçam padrões de qualidade, classificando-os, de acordo com seus usos (consumo humano, dessedentação animal, irrigação, industrial,

piscicultura, aquicultura, recreação e urbano). A disponibilidade dos recursos subterrâneos para determinado tipo de uso depende, fundamentalmente, da qualidade físico-química e bacteriológica da água (FREITAS et al., 2013).

O município de Barcarena, Pará, concentra um importante polo industrial de mineração, onde está instalado um complexo minero-metalúrgico, com indústrias metal-mecânicas, dentre as quais se destaca a Alumínio Brasileiro S/A (ALBRAS), segunda maior fábrica de metal de alumínio do Brasil, que conta com uma capacidade de produção anual 460.000 toneladas. A Hydro, empresa norueguesa, é proprietária de 51,0% das ações da ALBRAS, que apresenta ainda como acionista a empresa japonesa Nippon Amazon Aluminium Company (NAAC). Outro empreendimento que faz parte do complexo industrial é a ALUNORTE (Refinaria Alumina do Norte do Brasil S.A), maior refinaria de Alumínio do mundo, responsável pela geração de cerca de 4,4 mil empregos diretos e indiretos, dos quais sua maioria é destinada a população paraense (HYDRO, 2014).

No distrito industrial de Barcarena estão instaladas também duas fábricas de beneficiamento de caulim: Pará Pigmentos S/A (PPSA) e Imerys Rio Capim Caulim (IRCC). Esta última já esteve envolvida em 2007 em um vazamento de uma bacia de contenção de rejeito de minério que provocou a contaminação de igarapés e rios da região. Tais atividades industriais desenvolvidas no polo industrial de Barcarena geram risco de acidentes ambientais que podem provocar a contaminação dos mananciais existentes na região (MORAES et al., 2013).

Segundo ALMEIDA (2005), o abastecimento de água do município de Barcarena ocorre por poços, artesianos e tubulares, além de igarapés. Os poços servem para abastecer cerca de 50% da população, sendo que a maioria dos poços são amazonas. Na região, a água subterrânea é consumida por um conjunto de usuários, onde se incluem, indústrias, condomínios, lava-jatos, sistema público de abastecimento, escolas, etc.

O presente artigo objetivou avaliar a qualidade da água subterrânea usada para consumo humano na área de abrangência do polo industrial de Barcarena, por meio de análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos e, posteriormente, comparar os resultados obtidos com os valores máximos permitidos (VMP), estabelecidos pela Portaria 2914/11 (BRASIL, 2011).

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

O município de Barcarena, com uma área de 1.310,336 km², pertence à mesorregião metropolitana de Belém. A sede municipal tem as seguintes coordenadas geográficas: 01°30'24" de latitude Sul e 48°37'12" de longitude oeste de Greenwich. O município faz limite ao norte com a Baía de Marajó e o município de Ponta de Pedras; ao sul com o município de Moju; a leste com a Baía do Guajará e a oeste com o município de Abaetetuba (IBGE, 2010; IDESP, 2014).

Os aquíferos desta região possuem como constituintes sedimentos aluvionares do quaternário, ocorrendo até 10 m de profundidade, formados por areias, areias argilosas, argilas arenosas, silte; e por sedimentos terciários da formação Barreiras, chegando até 150 m, compostos por camadas de argila, silte, argila arenosa e areia argilosa. Os aquíferos da formação Pirabas ocorrem na área somente a uma profundidade de aproximadamente 300 m (IPT, 1984).

Coleta de Amostras

Para avaliação da potabilidade do corpo hídrico subterrâneo foram selecionados 23 pontos de amostragem. As amostras foram coletadas em poços domiciliares localizados na área de abrangência do polo industrial de Barcarena-PA, no mês de junho de 2011 (Figura 1).

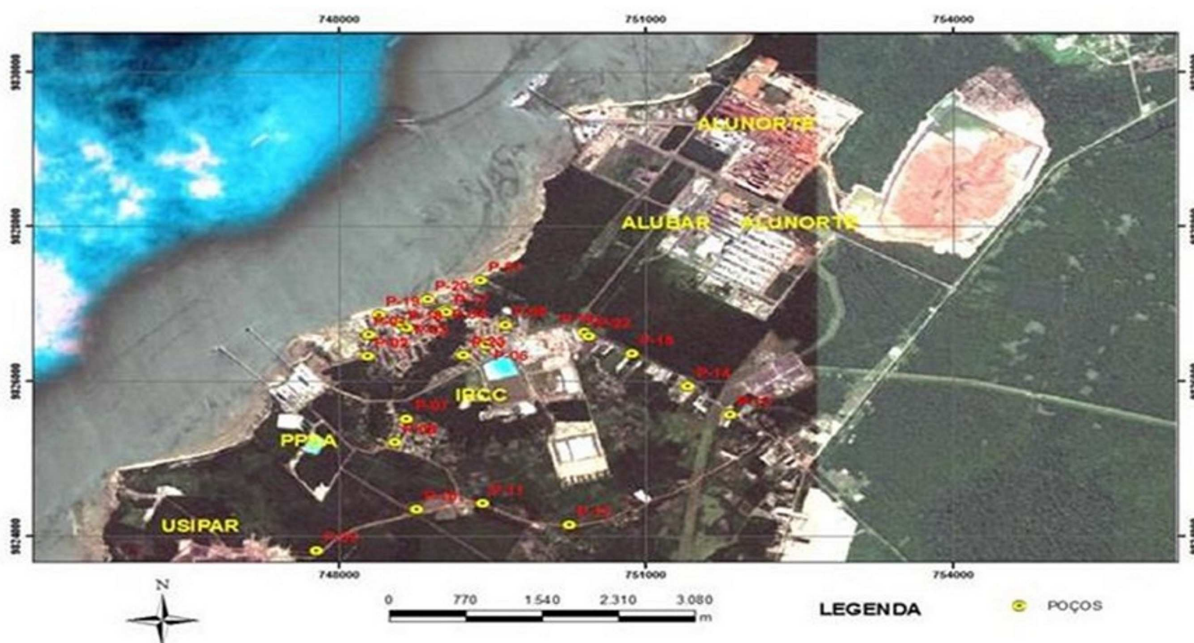


FIGURA 1 – Localização dos pontos de amostragem dos poços na área de abrangência do polo industrial de Barcarena-PA.

Fonte: Google Earth e autores

A coleta, preservação e transporte das amostras foram realizadas de acordo com as orientações do Standard Methods (APHA, 2005) e do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (BRANDÃO et al., 2011). As amostras para análise de nitrato, nitrito e amônia foram realizadas em vasilhames em vidro âmbar, com capacidade para um litro, preservado com 2 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4). Para a análise dos demais parâmetros físico-químicos foram coletadas amostras em vasilhames plásticos com capacidade de dois litros. A coleta das amostras para análises bacteriológicas foram realizadas em vasilhames de vidro (snapcap), com capacidade de 125 mL, esterilizados a $180^\circ C$, por 1:30 h. As amostras depois de coletadas foram acondicionadas em caixa de isopor com gelo para o transporte até o laboratório onde ficaram refrigeradas a aproximadamente $4^\circ C$ até a realização das análises.

Nos domicílios nos quais a água era captada por bomba, as amostras foram coletadas num ponto onde a água provinha do poço antes de chegar a qualquer reservatório. Em domicílios onde a água era captada por balde puxado por corda, a coleta das amostras para análise de parâmetros físico-químicos foram realizadas em recipiente virgem (balde que nunca havia sido usado), puxado por corda também virgem (nunca usada) e transportadas para os vasilhames apropriados a cada análise. Na coleta da amostra para análise bacteriológica, introduziu-se o frasco de coleta no poço utilizando uma cesta em náilon, confeccionada para esse fim. Todas

as amostras foram preservadas em gelo. Todos os vasilhames de coleta foram identificados com os dados da amostra. Foram preenchidas fichas de coleta com os dados referentes a cada amostra coletada (endereço, hora, número da amostra, condição do tempo e tipo de coleta – bomba ou balde), que foram encaminhadas aos laboratórios, acompanhando as amostras.

Análises

As análises bacteriológicas das amostras de águas subterrâneas foram realizadas pelo número mais provável de coliformes em 100 ml de amostra.

As análises de pH, condutividade elétrica e temperatura foram realizadas no local, utilizando-se um termômetro digital tipo espeto com alarme marca Incoterm, condutivímetro e pH-metro de campo marca HANNA e oxímetro portátil marca LUTRON DO-5510.

As diferentes análises físico-químicas foram realizadas seguindo as orientações do Standard Methods (APHA, 2005).

A potabilidade da água foi avaliada comparando-se os resultados obtidos nas análises bacteriológicas e físico-químicas com os valores máximos permissíveis (VMP) recomendados pela Portaria nº 2914/11 (BRASIL, 2011), norma de potabilidade da água para consumo humano do Ministério da Saúde. Em seguida, alguns parâmetros que não estão previstos pela Portaria nº 2914/11 como, alcalinidade, condutividade elétrica, potássio e cálcio foram correlacionados com os parâmetros analisados, visando perceber as possíveis relações existentes entre eles. A correlação é uma ferramenta muito importante quando se deseja avaliar a relação entre duas variáveis e também prever um valor de uma variável a partir de outra. A correlação avalia o grau de associação linear entre as medidas através do coeficiente de correlação de Pearson (r), definido por:

$$r_{jk} = \text{COV}_{jk} / (S_j \times S_k)$$

Aqui, COV_{jk} é a covariância entre as variáveis j e k , e S é o desvio padrão das variáveis j e k . A correlação varia entre $+1$ e -1 , sendo que os valores sugerem uma relação perfeita direta e inversa respectivamente. O valor zero indica ausência de relação linear entre as variáveis (NAGHETTINI & PINTO, 2007).

Para criação das matrizes de correlação foi utilizado o programa computacional Excel 2010, o qual permitiu a verificação de possíveis comportamentos análogos e interdependentes entre os principais parâmetros analisados nos pontos de amostragem do corpo hídrico subterrâneo estudado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comparação dos resultados laboratoriais com a Portaria nº 2914/11

Das 23 amostras analisadas, cinco (21,7%) deram positivo para coliformes totais e fecais, indicando a presença de *Escherichia coli*, que é o principal contaminante fecal (Quadro 1). A Portaria nº 2914/11 (BRASIL, 2011) estabelece que em água para consumo humano, incluindo fontes individuais como poços, não é permitida a presença de *Escherichia coli* em 100 ml da água. Em relação a coliformes totais, o artigo 27, §1º, desta Portaria determina que no controle da qualidade da água, quando forem detectadas amostras com resultado positivo para coliformes totais, novas amostras devem ser coletadas em dias imediatamente sucessivos até que revelem resultados satisfatórios.

QUADRO 1: Resultados microbiológicos das 23 amostras de água subterrânea coletadas na área do pólo industrial de Barcarena-PA.

POÇOS	CT (mg/L)	CF (mg/L)
P01	AUSENTE	AUSENTE
P02	AUSENTE	AUSENTE
P03	AUSENTE	AUSENTE
P04	PRESENTE	PRESENTE
P05	AUSENTE	AUSENTE
P06	AUSENTE	AUSENTE
P07	AUSENTE	AUSENTE
P08	AUSENTE	AUSENTE
P09	PRESENTE	PRESENTE
P10	AUSENTE	AUSENTE
P11	AUSENTE	AUSENTE
P12	AUSENTE	AUSENTE
P13	AUSENTE	AUSENTE
P14	PRESENTE	PRESENTE
P15	PRESENTE	PRESENTE
P16	AUSENTE	AUSENTE
P17	AUSENTE	AUSENTE
P18	AUSENTE	AUSENTE
P19	AUSENTE	AUSENTE
P20	PRESENTE	PRESENTE
P21	AUSENTE	AUSENTE
P22	AUSENTE	AUSENTE
P23	AUSENTE	AUSENTE

Fonte: Autores

Segundo a resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), para uso de abastecimento sem prévia desinfecção, os coliformes totais deverão estar ausentes em qualquer amostra. Portanto, podemos dizer que, microbiologicamente, a maioria das amostras de água analisadas (78,3%) são potáveis. A presença de *Escherichia coli* na água, coliforme de origem exclusivamente fecal, não representa risco à saúde humana, porém indica que pode existir microrganismos causadores ou transmissores de doenças (patogênicos). São, assim, indicadores microbiológicos de contaminação fecal da água, mundialmente utilizados. Dado o grande número de coliformes de matéria fecal (até 300 milhões por grama de fezes), os testes de avaliação qualitativa desses organismos na água têm uma precisão ou sensibilidade muito grande. Segundo SANTOS et al. (2013), a água para ser potável não deve apresentar bactérias patogênicas. No caso das águas subterrâneas, os organismos patogênicos são eliminados ou removidos pela ausência de oxigênio e por filtração, segundo intensidade variada, em função da permeabilidade e condutividade do aquífero ou do subsolo.

ABRAMOVICH et al. (1998), estudando a associação entre consumo de água de origem subterrânea e transmissão de enteroparasitoses numa população composta por crianças de 4 meses a 12 anos, residentes em três cidades da Província de Santa Fé, Argentina, encontraram amostras positivas para oocistos de *Cryptosporidium* spp em amostras de água proveniente de um dos poços investigados e submetida ao processo de desinfecção, com dosagem de cloro

variando de 1 a 2 mg/L. Entre a população que consumia esta água, observou-se que 47,1% das amostras de fezes analisadas estavam positivas para enteroparasitos, das quais 20,6% por oocistos de *Cryptosporidium* spp.

No Brasil, estudo realizado por CLEMENS et al. (2000) encontraram soro prevalência mais elevada para Hepatite A na região norte, em Manaus, com 92,8%, seguida de Fortaleza com 76,5%, na região nordeste. KEMERICH & SAUCEDO (2011), analisando 31 amostras de fezes em um bairro da cidade de Santa Maria-RS, não identificaram presença de cistos, ovos e larvas de parasitas.

A Portaria nº 2914/11 estabelece que em até 95,0% das amostras analisadas o VMP para turbidez da água deve ser de 1,0 unidade de turbidez (unidade Jackson ou nefelométrica). Nos 5,0% restantes é permitido até 5,0 uT. Quando se considerou turbidez acima de 1,0 uT, encontrou-se elevado percentual de amostras fora do recomendado 60,8% (Tabela 1). Turbidez acima de 5,0 uT foi encontrada em 30,4% das amostras. A turbidez da água dos poços analisados variou de 0,02 a 26,4 uT, com média de 4,37 e desvio padrão de 3,57. A turbidez é definida como a dificuldade da água para transmitir a luz, provocada pelos sólidos em suspensão (silte, argila, matéria orgânica, micro-organismo e partícula inorgânica) (BARROS et al., 2011). Uma elevada quantidade de matéria suspensa pode se fixar aos patógenos e dificultar o tratamento com o cloro. SCHWARTZ et al. (2000) encontraram associação entre índices de turbidez e admissão hospitalar por doenças gastrointestinais, entre a população de idosos na Filadélfia, Estados Unidos, no período 1992-1993.

A cor da água é determinada pela presença de material sólido dissolvido. Esse material pode ser de origem natural (decomposição da matéria orgânica gerando ácido húmico e fúlvico ou pela presença de Fe ou Mn) ou de origem antropogênica (resíduos industriais como corantes ou esgotos domésticos). Quando de origem natural, não representa risco direto à saúde, todavia a cloração da água contendo matéria orgânica (responsável pela cor) pode gerar produtos potencialmente cancerígenos (trihalometanos – ex: clorofórmio) (KOMULAINEN, 2004).

Os resultados mostraram que em 95,6% das amostras foi encontrada cor menor que 15 mgPt-Co/L (unidade Hazen-uH), valor máximo permitido estabelecido pela Portaria nº 2914/11. Apenas em uma amostra foi verificado um valor acima do máximo permitido (46 uH), e todas as outras apresentaram valores entre 0,8 e 11, com média de 6,78 e desvio padrão de 5,16.

O potencial hidrogeniônico define o caráter ácido, básico ou neutro de uma solução. O pH da água depende de sua origem e características naturais, mas pode ser alterado pela introdução de resíduos. A recomendação legal da água para consumo humano é que o pH varie de 6,0 a 9,5. Considerando a análise realizada, em 100,0% das amostras (Tabela 1) foram encontrados valores abaixo do recomendado, variando entre 3,75 e 5,42, com uma média de 4,70 e desvio padrão de 0,51. Pode-se dizer que as águas analisadas são ácidas. A acidez da água pode contribuir para a corrosão das estruturas das instalações hidráulicas, adicionando constituintes à água.

Uma das maiores alterações neste indicador é provocada por despejos de origem industrial, por apresentar grande quantidade de compostos orgânicos, que decompõem rapidamente, aumentando a acidez (APRILE et al., 2012). A disposição final de resíduos industriais em fossas ou tanque sépticos pode estar contribuindo para a acidificação da água subterrânea nas áreas investigadas. Segundo ALMEIDA et al. (2004), apesar de todos os valores de pH se encontrarem abaixo do

recomendado legalmente pela Portaria, não chega a ser uma restrição, já que esses valores refletem apenas a acidez regional característica das águas amazônicas.

O Nitrogênio é um elemento fundamental à vida dos microorganismos, uma vez que integra a molécula de proteína e, conseqüentemente, do protoplasma. O Nitrogênio gasoso constitui cerca de 78,0% do ar atmosférico e forma vários sais solúveis presentes no solo, que são utilizados pelos vegetais. Ocorre em várias formas e estados de oxidação, resultantes de diversos processos bioquímicos como amônia livre (N-NH₃), nitrito (N-NO₂⁻), nitratos (N-NO₃⁻), nitrogênio molecular (N₂) e nitrogênio orgânico (N – orgânico dissolvido e em suspensão). O nitrato é produto de oxidação biológica de compostos nitrogenados reduzidos. Esse processo é denominado de nitrificação, no qual dois gêneros de bactéria participam: nitrosomonas, que oxidam amônia a nitrito, e nitrobacter, que oxidam o nitrito a nitrato (BIGUELINI & GUMY, 2012).

O percentual de amônia acima de 1,5 mg/L NH₃, padrão estabelecido legalmente, foi de 13,1% (Tabela 1). A média dos resultados obtidos para a amônia foi de 0,33 e desvio padrão de 0,51. Para o nitrito e nitrato, cujos valores máximos permitidos segundo a Portaria 2914/11 são, respectivamente, 1,0 mg/L e 10 mg/L, nenhuma das amostras analisadas apresentaram valores acima do permitido. A ocorrência de concentrações elevadas de amônia pode ser resultante de poluição próxima, bem como de redução de nitrato por bactérias ou por íons ferrosos presentes no solo. A presença de amônia indica contaminação recente e pode estar relacionada à construção precária dos poços e falta de proteção do aquífero (COSTA et al., 2012).

TABELA 1 – Número de amostras com os parâmetros físico-químicos em desacordo com a Portaria 2914/11.

PARÂMETROS	POÇOS	
	Número de amostras em desacordo	%
Cor		
> 15 Uh	1,0	4,4
PH		
< 6	23,0	100,0
Turbidez		
> 1 uT	14,0	60,8
Amônia		
> 1,5 mg/L	3,0	13,1

Fonte: Autores

Os parâmetros cloreto, dureza total, sulfato, sólidos totais dissolvidos e sódio foram analisados e apresentaram valores abaixo dos máximos permitidos normatizados pela Portaria do Ministério da Saúde.

Alguns parâmetros físico-químicos, embora não apresentem seus padrões legislados pela Portaria nº 2914/11, foram alvo de análise seguindo os métodos estabelecidos pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005). Os parâmetros são os seguintes: alcalinidade, condutividade elétrica, cálcio (Ca⁺²) e potássio (K⁺).

A análise de correlação entre os parâmetros físico-químicos foi elaborada com base no coeficiente de Pearson como índice de similaridade, verificando o grau de relacionamento entre as variáveis, através da matriz de correlação para os parâmetros físico-químicos estudados das amostras de águas subterrâneas na área de abrangência do polo industrial de Barcarena-PA (Tabela 2). Para a análise da matriz foram consideradas correlações ≥ 0,7.

TABELA 2 – Matriz de Correlação dos parâmetros físico-químicos analisados.

	<i>pH</i>	<i>Turb</i>	<i>cor</i>	<i>STD</i>	<i>alcali</i>	<i>Cl</i>	<i>dureza</i>	<i>SO4</i>	<i>NO2</i>	<i>NH4</i>	<i>Condu</i>	<i>Na</i>	<i>Ca</i>	<i>K</i>	<i>NO3</i>
pH	1														
Turb	0,095234	1													
cor	0,146923	0,897417	1												
STD	-0,29116	-0,35653	-0,13432	1											
alcali	0,241941	-0,11409	-0,10124	0,065233	1										
Cl	-0,32317	-0,29691	-0,10223	0,939158	-0,07866	1									
dureza	-0,29961	-0,34344	-0,18449	0,776197	-0,07456	0,859752	1								
SO4	0,390496	-0,12277	0,034119	0,470245	0,205891	0,255545	-0,02646	1							
NO2	0,100863	0,191741	0,109062	0,168897	0,293719	0,2047	-0,01972	0,19431	1						
NH4	-0,0768	-0,13435	-0,13028	0,310584	-0,15643	0,433229	0,30711	-0,04506	0,060574	1					
condu	-0,22907	-0,34853	-0,10726	0,994195	0,054494	0,939696	0,778495	0,499997	0,147683	0,3166286	1				
Na	-0,22937	-0,34427	-0,10374	0,994785	0,058815	0,941601	0,773981	0,499835	0,161781	0,3093694	0,999493	1			
Ca	-0,25396	-0,35798	-0,11019	0,99349	0,088976	0,926005	0,767423	0,492077	0,13363	0,281291	0,994708	0,995717	1		
K	-0,27386	-0,36081	-0,11709	0,988648	0,073273	0,907162	0,732094	0,50433	0,156239	0,2716871	0,983418	0,985743	0,993899	1	
NO3	0,066828	0,055633	-0,06756	0,150645	0,297756	0,155559	-0,15134	0,245151	0,845584	0,2369594	0,12306	0,134161	0,104039	0,126412	1

Fonte: Autores

Constatou-se uma forte e positiva correlação da condutividade elétrica com os parâmetros que aumentam a carga iônica (K^+) (0,983418), (Na^+) (0,999493), (Ca^{+2}) (0,983418), cloreto (0,939696) e dureza total (0,778495). Estas correlações são perfeitamente previstas, já que a condutividade elétrica é um parâmetro que está diretamente relacionado com a presença de íons dissolvidos na água (MANASSÉS, 2009). Baseado nos valores destas correlações é possível dizer que as amostras das águas subterrâneas analisadas apresentam concentração de sais de cloreto maior que de sais de carbonatos.

A correlação revelada pela matriz entre cor e turbidez (0,897417) provavelmente se deve à existência da quantidade de matéria orgânica em suspensão. Na matriz, a amônia apresentou uma correlação negativa com os parâmetros cor e turbidez (-0,13028 e -0,13435), podendo considerar que a contaminação por amônia, identificada em 13,1% das amostras, deve-se basicamente à construção de poços fora dos padrões técnicos.

Encontrou-se alta correlação dos STD com cloreto (0,939158), condutividade elétrica (0,994195) e metais (K^+) (0,988648), (Na^+) (0,994785) e (Ca^{+2}) (0,99349). Devido aos STD caracterizarem o total de constituintes minerais presentes na água, fica evidente a correlação destes com os íons dos metais, com o cloreto e a condutividade elétrica. Nesta última, a ligação é tão evidente que, segundo FEITOSA et al. (2008), na maioria das águas subterrâneas naturais a condutividade elétrica da água multiplicada por um fator, que varia de 0,55 e 0,75, gera uma boa estimativa dos STD.

Verificou-se uma boa correlação do cloreto com a dureza (0,859752), indicando que a dureza das águas subterrâneas analisadas é permanente. A dureza pode ser expressa como dureza temporária, dureza permanente e dureza total. Na dureza permanente, o Ca^{+2} e Mg^{+2} se encontram ligados a sulfato, cloretos, nitratos e outros, dando origem a compostos solúveis; já a dureza temporária ou de carbonatos é devida aos íons de cálcio e de magnésio que, sob aquecimento, se combinam com íons bicarbonato e carbonato, podendo ser eliminada por fervura.

Encontrou-se correlação da dureza com a condutividade elétrica (0,778495), (Na^+) (0,773981), (K^+) (0,732094) e (Ca^{+2}) (0,767423). Pela razão da dureza ser determinada por meio das quantidades de cálcio e magnésio, percebe-se sua relação com os parâmetros condutividade e Ca^{+2} . No caso da relação da dureza com os cátions sódio e potássio, a solubilidade do bicarbonato de cálcio, principal responsável pela dureza, aumenta na presença de sais de Na^+ e K^+ .

Verifica-se correlação entre os parâmetros nitrito e nitrato (0,845584), o que se explica pelo fato das duas espécies pertencerem ao mesmo ciclo (ciclo do nitrogênio). Neste ciclo, o nitrito sofre oxidação produzindo nitrato com a participação de bactérias autótrofas do grupo nitrobactérias. Altas concentrações de N-nitrato podem produzir intoxicação em crianças e em casos extremos até levá-las a morte por metemoglobinemia (cianose) (SILVA, 2010).

O N-nitrato também tem ação na produção de nitrosaminas e nitrosamidas no estômago do homem, substâncias conhecidas como carcinogênicas. O nitrato tem sido utilizado mundialmente como indicador da contaminação das águas subterrâneas, principalmente porque apresenta alta mobilidade na água subterrânea e persistência, podendo contaminar extensas áreas.

FOSTER et al. (2003) constataram que, na maioria das cidades de países em desenvolvimento, o rápido crescimento da população urbana tem resultado em grandes áreas com fossas sépticas para tratamento de esgotos. Os contaminantes comumente associados a estes sistemas são os compostos nitrogenados

(inicialmente há a formação de amônia que normalmente se oxida a nitrato), contaminantes microbiológicos (bactérias patogênicas, vírus e protozoários) e, em alguns casos, substâncias orgânicas sintéticas. Dentre estes, o nitrato é o mais móvel e estável, dadas as condições normalmente oxidantes dos aquíferos superficiais.

CONCLUSÃO

As águas dos poços analisados na região do polo industrial de Barcarena-PA, na sua grande maioria, encontram-se de acordo com o padrão de potabilidade para consumo humano estabelecido pela Portaria nº 2914/11, porém, os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos apresentaram valores acima do estabelecido.

O resultado do pH de todas as amostras estudadas indicou que estas encontram-se abaixo do intervalo recomendado legalmente, porém este resultado já era esperado, pelo fato de se saber que as águas da região amazônica, naturalmente, possuem caráter ácido. Para o parâmetro cor, apenas uma única amostra apresentou valor acima do permitido pela Portaria. Neste caso, não se pode inferir que essa alteração aconteceu devido à decomposição de matéria orgânica (esgoto doméstico), pois na análise da matriz de correlação, observa-se uma relação inversa entre os parâmetros cor e amônia, que é um dos principais indicadores de contaminação por esgoto. Para o parâmetro turbidez, a maioria das amostras apresentaram valores acima do VMP. Da mesma forma que a cor, constatou-se correlação negativa deste parâmetro com a amônia.

Os resultados para a amônia mostraram que em geral estes apresentaram valores recomendados pela Portaria, contudo nas amostras onde tais índices encontram-se acima do esperado, tal fato pode ser explicado pela construção precária destes poços, ou seja, a não observância às normas técnicas vigentes para esse tipo de construção. .

Identificou-se na análise bacteriológica a presença em alguns pontos de coliformes fecais e totais, ou seja, em desacordo com a Portaria, apresentando uma relação direta com os valores de turbidez acima do permitido pela Portaria do Ministério da Saúde.

A condutividade elétrica não apresenta padrão legislado na Portaria nº 2914/11, porém é um excelente parâmetro indicador de ação antrópica na alteração da qualidade ambiental dos recursos hídricos.

As águas subterrâneas cumprem função primordial na área estudada, quanto ao fornecimento de água potável. Por isso, a sua proteção, com a eliminação das causas de possíveis contaminações, bem como o uso de filtração, antes da desinfecção, tornam-se imprescindíveis na redução a um nível significativo do risco de transmissão de parasitas pela água.

AGRADECIMENTO

À FAPESPA pelo auxílio financeiro para a realização deste projeto (Edital 013/2009, PESQUISA PARA O SUS: GESTÃO COMPARTILHADA EM SAÚDE PPSUS; MS/CNPq/FAPESPA/SESPA)

REFERÊNCIAS

ABRAMOVICH, B.; CARRERA, E.; LURÁ, M. C.; HAYE, M. A. Cryptosporidium y Agua: Estudio de una Asociación Riesgosa. **Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, v. 36, p.30-34, 1998.

ALMEIDA, F. M. de; MATTA, M. A. da S.; DIAS, E. R. F.; SILVA, D. P. B.; FIGUEIREDO, A. B. de. **Qualidade das Águas Subterrâneas do Sistema Aquífero Barreiras na Bacia Hidrográfica do Tucunduba - Belém/PA**. In: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23595/15673>>. Acesso em: 02 de agosto de 2014.

ALMEIDA, F. M. de. **Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos da Região de Barcarena-Abaetetuba – Pará, Brasil como um Fundamento para o Zoneamento Ecológico Econômico do Baixo Tocantins**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 150p. 2005.

APHA, AWWA, and WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st ed. **American Public Health Association**, Washington, D.C. 2005.

APRILE, F. M.; PARENTE, A. H.; BOUVY, M. Análise dos Resíduos Industriais do Processamento da Farinha de Mandioca na Bacia do Rio Tapacurá (Pernambuco–Brasil). **Bioikos**, v. 18, n. 1, 2012.

BARROS F. M.; ROCHA F. A.; FRAGA M. de S.; GENEROSO T. N.; MELO A. R. B. de. Variação da Turbidez em Pontos Distintos de um Perfil Transversal do Rio Catolé-BA Sob Diferentes Níveis de Vazão. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, N.12; 2011.

BIGUELINI, C. P.; GUMY, M. P. **Saúde Ambiental: Índices de Nitrato em Águas Subterrâneas de Poços Profundos na Região Sudoeste do Paraná**. Volume 14 – Número 20. Jul/Dez 2012.

BRANDÃO, C. J.; BOTELHO, M. J. C.; SATO, M. Z.; LAMPARELLI, M. C. (Org.). Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. 325 p. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/arquivos/20120321181900_Guia_Nacional_d_e_Coleta.pdf>. Acesso: 02 de agosto de 2014.

BRASIL. Resolução CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente). **Resolução n.º 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a Classificação dos Corpos de Água e Diretrizes Ambientais para o seu Enquadramento, bem como Estabelece as Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes, e dá Outras Providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2005.

BRASIL. Portaria Ministério da Saúde. **Portaria Nº 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, Brasília, 2011. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 02 de agosto de 2014.

CLEMENS S. A. C.; FONSECA, J. C. da; AZEVEDO, T.; CAVALCANTI, A.; SILVEIRA, T. R.; CASTILHO, M. C.; CLEMENS, R. Soroprevalência para Hepatite A e Hepatite B em Quatro Centros do Brasil. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical** 33:1-10, 2000.

COSTA, C. L.; LIMA, R. F. de; PAIXÃO, G. C.; PANTOJA, L. D. M. Avaliação da Qualidade das Águas Subterrâneas em Poços do Estado do Ceará, Brasil. **Ciências Biológicas e da Saúde**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 171-180, jul./dez. 2012.

FEITOSA, F. A. C. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 3. Ed. rev e ampl. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. 811p.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Protección de Localidad del Agua Subterránea**. Guia para Empresas de Água, Autoridades Municipales y Agencias ambientales. Edición en español. 2003. 115p.

FREITAS, H. B.; SILVA, C. T. S. da, SILVA, F. J. F. da, SILVA, K. de F. N. L.; FERREIRA, L. C. C.; NOGUEIRA, J. L. S.; SANTOS, F. S. S. dos. Avaliação do Monitoramento das Águas Subterrâneas Usadas para Abastecimento Humano na Comunidade de Morrinhos, Aracati–Ceará. **In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Rio Grande do Sul, 2013. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/e2aa5f493922955ee6ea4fc58173ac29_54771066426a956842d2f844745ecc2f.pdf>. Acesso em: 02 de Agosto de 2014.

HYDRO. **Norsk Hydro ASA**. 2014. Disponível em: <<http://www.hydro.com/pt/A-Hydro-no-Brasil/Operacoes-no-Brasil/Albras-Aluminio-Brasileiro/>> Acesso em: 02 de agosto de 2014.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Resultados do universo do Censo demográfico**. Recenseamento Geral do Brasil. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=150130&idtema=16&search=para|barcarena|sintese-das-informacoes>>. Acesso em: 02 de agosto de 2014.

IDESP. Instituto de Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental do Pará. **Estatística Municipal - Barcarena**. 2014. Disponível em: <<http://www.idesp.pa.gov.br/pdf/estatisticaMunicipal/pdf/Barcarena.pdf>>. Acesso em: 02 de agosto de 2014.

IPT– Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Estudo Hidrogeológico para a Definição da Possibilidade de Captação de Água Subterrânea na Usina de Alumínio da ALBRÁS em Barcarena – PA. **Relatório n o 21 381**, 1984.

KEMERICH, P. D da C.; SAUCEDO, E. M. Saúde e Condições Sócio-ambientais de Usuários de Água Subterrânea no Bairro Nossa Senhora Do Perpétuo Socorro de Santa Maria–RS. **Engenharia Ambiental** - Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 3, p. 038-050, jul ./set . 2011.

KOMULAINEM, H. Experimental Cancer Studies of Chlorinated By-products. **Toxicology**. v.198, p.239-248, 2004.

MANASSÉS, F. **Caracterização Hidroquímica da Água Subterrânea da Formação Serra Geral na Região Sudoeste do Estado do Paraná**. 136 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

MORAES, M. R. L. de; NETO, P. S. F.; SILVA, J. G. C da. **Fortalecimento Institucional e Criação de Espaço Público: Sistematização da Experiência em Barcarena, Pará**. – Belém: Instituto Internacional de Educação do Brasil, 2013.

NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. de A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

SANTOS, J. O. dos; SANTOS, R. M. de S.; GOMES, M. A. D.; DE MIRANDA R. C.; NÓBREGA, I. G. de M. A Qualidade da Água para o Consumo Humano: Uma Discussão Necessária. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental - RBGA**, Pombal - PB, v. 7, n. 2, p. 19-26, abr./jun. 2013.

SILVA, A. C.; DOURADO, J. C.; KRUSCHE, A. V.; GOMES, B. M. Impacto Físico-Químico da Deposição de Esgotos em Fossas sobre as Águas de Aquífero Freático em Ji-Paraná-RO. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 11, n. 2, p. 101-112, 2010.

SCHWARTZ, J.; LEVIN, R.; GOLDSTEIN, R. Drinking Water Turbidity and Gastrointestinal Illness in the Elderly of Philadelphia. **Journal of Epidemiology & Community Health** 54(1):45-51. 2000.

UNESCO. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos: **O Manejo dos Recursos Hídricos em Condições de Incerteza e Risco**. 2012. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002154/215491por.pdf>>. Acesso em: 02 de agosto de 2014.