

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO RESERVATÓRIO DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DO UTINGA – BELÉM (PA)

HYDROGEOCHEMISTRY CHARACTERIZATION OF GROUNDWATER IN THE CATCHMENT AREA OF THE UTINGA WATER SUPPLY SYSTEM - BELEM (PA)

Vânia Eunice Bahia¹, Norbert Fenzl², Luiz Rogério Bastos Leal³, Gundisalvo Piratoba Morales⁴, José Gouvêa Luiz⁵

RESUMO O Parque Estadual do Utinga abrange os reservatórios de águas superficiais que a Região Metropolitana de Belém (Estado do Pará) dispõe desde a década de 30, que são responsáveis pelo abastecimento de sua população. Devido à expansão urbana com o surgimento de favelas sem saneamento básico, desmatamento e a ocupação de terras com fins especulativos, essa área de proteção ambiental vem sofrendo impactos e processo de degradação crescentes. O presente artigo expõe os resultados obtidos com o estudo hidrogeoquímico das águas subterrâneas na área de abrangência do reservatório de abastecimento público do Utinga, visando determinar uma provável presença de contaminantes sobre esses recursos hídricos e avaliando a possibilidade dos mesmos virem a impactar os mananciais de abastecimento da Região Metropolitana de Belém. A determinação da presença de contaminantes nos recursos hídricos foi realizada através da utilização de dados geofísicos existentes sobre a área e de análises físico-químicas de águas subterrâneas obtidas por meio de piezômetros. Os resultados analíticos das águas subterrâneas tanto para a época de chuvas quanto para o de estiagem mostraram-se influenciados pelas características geológicas e climáticas da área. As águas subterrâneas não apresentaram evidências de estarem poluídas, uma vez que as amostras analisadas tiveram baixas concentrações dos constituintes dissolvidos, inserindo-se nos padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação brasileira. Essas águas foram enquadradas como águas subterrâneas Classe II e, pelo diagrama de Piper, classificadas como bicarbonatadas sódicas.

Palavras-Chaves: Hidrogeoquímica; Água subterrânea; Sistema de abastecimento de água; Parque Estadual do Utinga; Região Metropolitana de Belém.

ABSTRACT The Utinga State Park comprises the surface water reservoirs of the Metropolitan Region of Belém (State of Pará), which are used since the 30's as the main water supply for the population of Belém. Due to the urban expansion with the emergence of slums without basic sanitation, deforestation and land occupation for speculative purposes, this environmental protection area has suffered with increasing impacts and environmental degradation. This article presents the results of the hydrogeochemical study of groundwater in the area covered by the public water reservoir of Utinga, in order to determine the possible presence of contaminants on these water resources, since there is a possibility that they may impact the superficial water supplies of the Metropolitan Region of Belém. The identification of contaminants in water resources was accomplished through the use of existing geophysical data over the area and physical-chemical analysis of groundwater obtained from piezometers. The analytical results of groundwater during the rainy and dry seasons proved to be influenced by climatic and geological characteristics of the area. The groundwater showed no evidence of being polluted, because the samples presented low concentrations of dissolved constituents and therefore they are within the potability standards established by the Brazilian legislation. These waters were classified as Class II groundwater and as sodium bicarbonate by Piper diagram.

Keywords: Hydrogeochemistry; Groundwater; Water supply system; Utinga State Park; Metropolitan Region of Belém.

INTRODUÇÃO

A problemática do Parque Estadual do Utinga (PEUt) existe em decorrência da urbanização crescente e desordenada, que se verifica nos municípios de Belém e Ananindeua, levando ao surgimento de bairros, conjuntos residenciais e à multiplicação de favelas em seu entorno, o que vem ocasionando a contaminação dos recursos hídricos super-

ficiais da região por efluentes domésticos (BAHIA et al., 2006). Nessa área de proteção ambiental estão localizados os Lagos Bolonha e Água Preta, responsáveis por 75% do abastecimento da população de Belém (CONSULTORA DE ENGENHARIA S.A.-CENSA, 1983). Estudos hidrodinâmicos indicaram que o fluxo subterrâneo segue no sentido a esses mananciais, caracterizando-os como do tipo efluente

¹ UFBA - Universidade Federal da Bahia, (bahia@ufba.br).

² UFPA - Universidade Federal do Pará, (norbert@ufpa.br)

³ UFBA - Universidade Federal da Bahia, (lrogerio@ufba.br).

⁴ UFPA - Universidade Estadual do Pará, (gundy_morales@yahoo.com.br).

⁵ UFPA - Universidade Federal do Pará, (gouvêa@ufpa.br).

em relação ao aquífero superior (OLIVEIRA et al., 2002; MATTA, 2002 e MATTA et al., 2010), o que pode ser considerado um fator de preocupação ambiental, uma vez que qualquer contaminação das águas subterrâneas poderia acarretar em contaminação dessas águas superficiais. Ressalta-se ainda, o ineditismo do presente trabalho, por conta da não existência de estudos hidrogeoquímicos direcionados às águas subterrâneas nessa importante área de preservação.

Dessa forma, a presente pesquisa teve como objetivo principal o estudo hidrogeoquímico das águas subterrâneas na área de abrangência do reservatório de abastecimento público do Utinga em Belém-PA, visando determinar uma provável influência de contaminantes sobre esses recursos hídricos, avaliando a possibilidade dos mesmos virem a influenciar nos mananciais de abastecimento da Região Metropolitana de Belém (RMB), mediante dados de aplicação geofísica de estudos anteriores (BAHIA et al., 2006) e metodologias diretas (instalação de piezômetros de observação e análises físico-químicas).

Caracterização da área de estudo

A Região Metropolitana de Belém abrange os municípios de Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides e Santa Bárbara, além dos distritos de Icoaraci e Mosqueiro. O PEU está localizado na área do Utinga, pertencente ao município de Belém, situado na Zona de Proteção de Recursos Naturais (ZPRN), ratificada como área pertencente ao município de Belém pelo protocolo celebrado entre a Prefeitura Municipal de Belém e a Prefeitura Municipal de Ananindeua, em outubro de 1991 (INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SOCIAL DO PARÁ-IDESP, 1991) (Figura 1).

ASPECTOS GEOLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS

As unidades litoestratigráficas da RMB têm sua geologia representada por rochas formadas no Pré-Cambriano, Paleozóico e Cenozóico.

Segundo Sauma Filho (1996), o Pré-Cambriano caracteriza-se por um conjunto de rochas agrupadas no Complexo Maracaçumé, Formação Santa Luzia, Formação Tromai, Formação Gurupi, Formação Igarapé de Areia, Formação

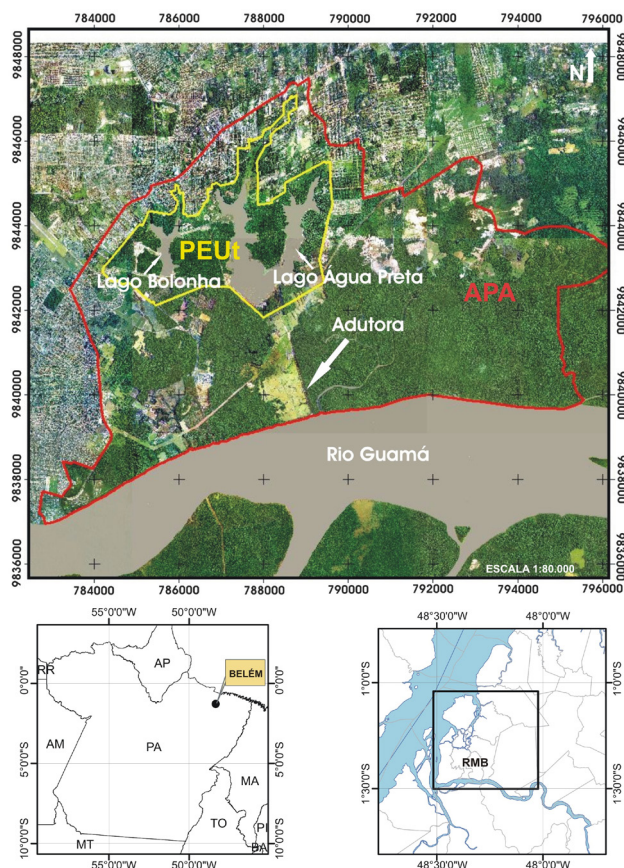


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.

Figure 1 – Location map of study area.

Vizeu e Granito Cantão. Enquanto o Paleozóico é representado pelos sedimentos da Formação Piriá. Já no Cenozóico encontra-se a Formação Pirabas, a partir de 80 m de profundidade, mas que ao considerar sua continuidade vertical esta espessura pode atingir 400 m ou mais, não aflorando na área

da pesquisa. As unidades litológicas do Grupo Barreiras atingem até 100 m de espessura e perfazem cerca de 65% da área total da RMB, sendo recobertas pelos sedimentos do Pós-Barreiras (Pleistoceno) e sedimentos recentes (Holoceno), ambos com uma espessura máxima em torno de 30 m.

Segundo Farias et al. (1992), as observações geológicas de superfície identificaram que os terrenos de Belém e seus arredores são formados em quase sua totalidade por sedimentos areno-argilosos da unidade Pós-Barreiras.

Na área de estudo, com base nos perfis litoestratigráficos de piezômetros perfurados na área, são reconhecidas unidades litológicas da cobertura sedimentar Cenozóica, representadas pela unidade do Pós-Barreiras (Figura 2).

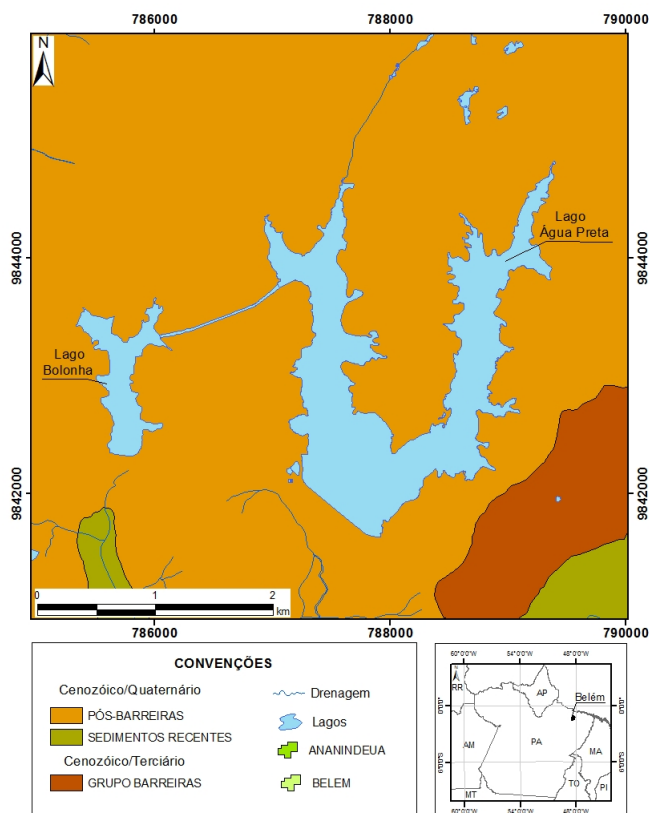


Figura 2 – Geologia da área de estudo.
Figure 2 – Geology of the study area.

Os pacotes sedimentares que acumulam água subterrânea na região de Belém e Ananindeua são formadores de cinco conjuntos aquíferos principais, denominados de Aluviões, Pós-Barreiras (ambos do Quaternário) e Barreiras, Pirabas Superior e Pirabas Inferior do Terciário (MATTA, 2002).

No PEUt, de acordo com as informações obtidas com os perfis litoestratigráficos dos piezômetros perfurados na área de estudo em conjunto com a análise da geologia regional, foi possível a classificação dos aquíferos da área como do tipo poroso e confinado, pertencentes à unidade litoestratigráfica do Pós-Barreiras.

METODOLOGIA

Devido à vasta extensão da área a ser investigada (1340 ha), a instalação de piezômetros em número suficiente para que se obtivesse o detalhe necessário para o referido estudo seria impraticável em termos econômicos. Dessa forma, optou-se por utilizar dados geofísicos de estudos anteriores realizados na área e instalar alguns piezômetros para verificação dessa resposta geofísica, bem como para a coleta de água e sedimentos.

Localização dos pontos de amostragem

Foram instalados 9 piezômetros em áreas com intensa influência antropogênica e com base nos estudos geofísicos desenvolvidos por Bahia et al. (2006), que indicaram zonas com condutividades elétricas diferentes (Figura 3).

Na construção dos piezômetros, foram seguidas as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1997). Para sua perfuração, utilizou-se um trado mecânico com 100 mm de diâmetro acoplado a um sistema de hastes com até 14 m de comprimento; os furos de 100 mm de diâmetro foram revestidos com tubos de PVC rígido de 50 mm, cujas bocas ficaram 70 cm acima da superfície do terreno. A profundidade de cada piezômetro foi determinada pela profundidade do nível estático e os filtros foram instalados na espessura total do aquífero.

Com os dados dos perfis geológicos dos piezômetros perfurados na área, foi possível fazer correlações e elaborar um modelo simulando a geometria das camadas aquíferas na área de estudo (Figura 4). Na Tabela 1, são apresentados os dados obtidos em relação à topografia e a média das medidas de nível estático de cada piezômetro instalado na área.

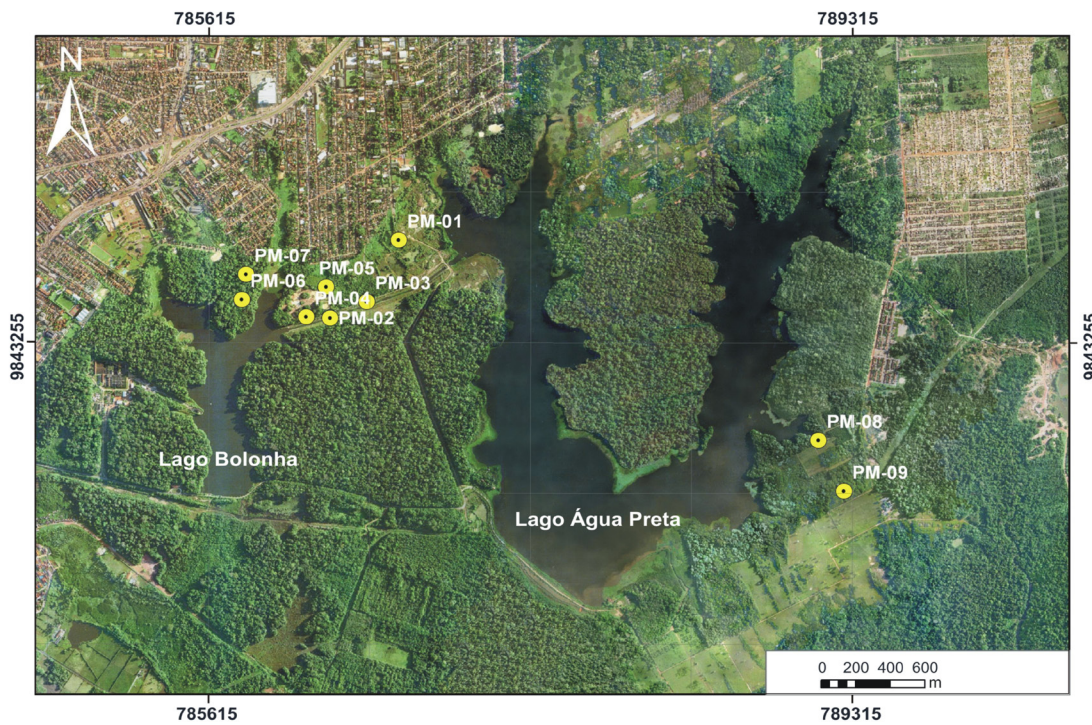


Figura 3 – Localização dos piezômetros na área de estudo.
Figure 3 – Location of the piezometers in the study area.

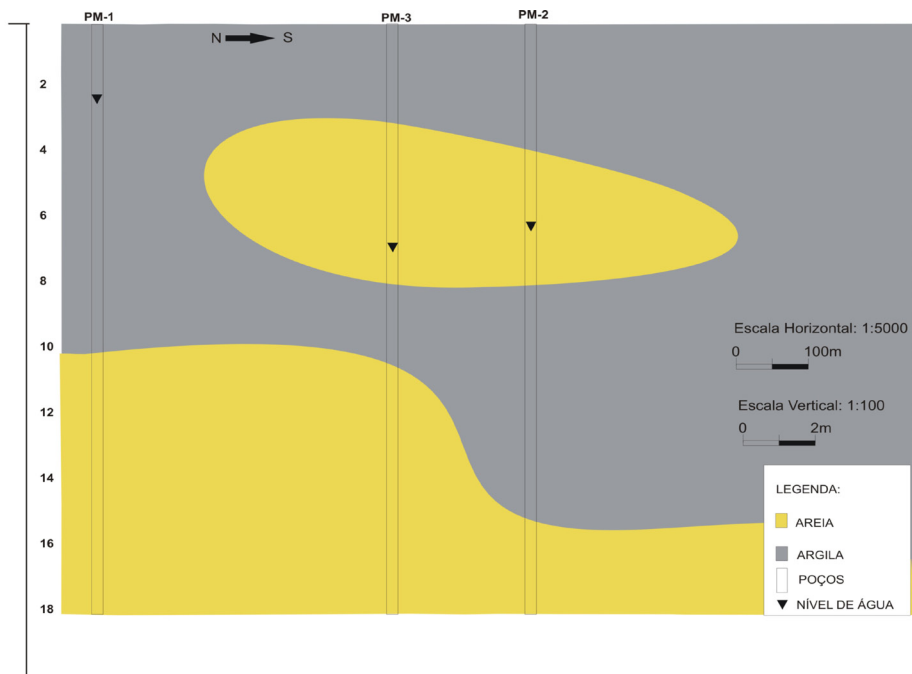


Figura 4 – Correlação das camadas aquíferas em piezômetros instalados na área de estudo.
Figure 4 – Correlation of aquifer layers in piezometers installed in the study area.

Tabela 1 – Profundidade (m), cota topográfica (m) e variação dos níveis estáticos (m) dos piezômetros instalados na área de estudo.

Table 1 - Depth (m), topography (m) and static levels (m) of piezometers installed in the study area.

Período	PM-1	PM-2	PM-3	PM-4	PM-5	PM-6	PM-7	PM-8	PM-9
Profundidade (m)	18	18	18	18	18	19	18	20	18
Média dos níveis estáticos (m)	2,72	8,49	8,65	4,73	3,92	6,86	5,93	5,47	10,04
Cota topográfica (m)	14	14	13	11	12	13	16	11	18

Coleta de amostras

Foram realizadas quatro campanhas de amostragem: duas no período de estiagem (outubro de 2006 e outubro de 2007) e duas no período chuvoso (março de 2006 e março de 2007).

Anterior a coleta de amostras de água subterrânea, os piezômetros foram esgotados em 4 vezes seu volume. As amostras foram obtidas por meio de amostrador em aço inox e preservadas em volumes apropriados.

Alguns dos procedimentos relacionados aos parâmetros físico-químicos nas amostras de água foram realizados em campo, como temperatura, pH e condutividade elétrica (CE). As demais análises, tais como: alcalinidade, sólidos totais dissolvidos (STD), amônio ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), nitrito ($\text{NO}_2^+\text{-N}$), nitrato ($\text{NO}_3^+\text{-N}$), bicarbonato (HCO_3^-), cloreto (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Oxigênio Dissolvido (OD), Oxigênio Consumido (OC), Ferro Dissolvido (Fe^{2+}), Ferro Total (Fe), Sódio (Na^+), Potássio (K^+), Cálcio (Ca^{+2}), Magnésio (Mg^{+2}), Cádmio (Cd^{+2}), Níquel (Ni^{+2}), Zinco (Zn^{+2}) e Chumbo (Pb^{2+}) foram realizadas no laboratório de Hidrocarbonetos do Centro de Ciências Naturais e Tecnologia (CCNT) da Universidade do Estado do Pará (UEPA), seguindo as metodologias convencionalmente reconhecidas (AMINOT e CHAUSSEPIED, 1983; BAUMGARTEN et al., 1996; AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1995).

Com a utilização do software Qualigraf (FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS-FUNCEME, 2008), foi realizado o balanço iônico e também construído o diagrama de Piper para os meses representativos das estações de chuva e seca, com o intuito de se classificar as águas subterrâneas da área de estudo e identificar a variação sazonal de concentração dos íons na água.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação Hidrogeoquímica

Conforme o artigo 3, da Resolução CONAMA Nº 396 de 08/04/2008 (BRASIL, 2008), as águas subterrâneas captadas nos piezômetros localizados na área de abrangência do reservatório de abastecimento público do Utinga, podem ser enquadradas como águas subterrâneas Classe II, ou seja,

águas de aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais. Segundo essa classificação, a qualidade da águas pode ser avaliada considerando os parâmetros e padrões de qualidade do Anexo I da referida resolução. Considerando também que as águas subterrâneas captadas podem ser usadas para o consumo humano, foram observados os parâmetros e padrões de potabilidade da Portaria Nº 518 de 25/03/2004, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004).

Nas Tabelas 2 e 3, são apresentadas as médias dos resultados analíticos obtidos das amostras de águas subterrâneas para as estações chuvosa e seca respectivamente.

O balanço iônico para as amostras de ambas estações ultrapassou em quase todas as situações o valor admissível ($\pm 10\%$), com exceção das amostras dos pontos PM-3 e PM-7. Os maiores erros de balanço iônico são associados a águas com baixa carga iônica, ou seja, muito diluídas onde é difícil quantificar íons com baixas concentrações, já que pequenas diferenças em termos percentuais podem tomar exageradas proporções, sem que representem erros significativos. Por outro lado, em alguns casos, altas concentrações de ferro podem levar à formação de complexos de ferro total que também mascaram o ponto final da titulação (CUSTÓDIO e LLAMAS, 1976). Mesmo com os erros de balanço iônico além do limite aceitável ($\pm 10\%$), as concentrações de cátions, ânions e parâmetros físico-químicos demonstraram um padrão de ocorrência ao longo das duas campanhas (Março e Outubro/2007), sendo os resultados, portanto, reprodutíveis e passíveis de interpretação. No caso desse estudo, os resultados apresentaram valores expectáveis para águas de circulação em rochas sedimentares de origem detrítica localizadas na região amazônica, confirmado por estudos hidrogeoquímicos em águas subterrâneas na RMB realizados por Matta (2002), Piratoba Morales (2002) e Bahia (2003).

Os parâmetros foram analisados com o objetivo de se investigar possíveis contaminações relacionadas com a influência antropogênica, tais como a influência de esgotos domésticos, lixo e fossas negras construídas inadequadamente.

Tabela 2 – Média dos resultados analíticos obtidos em amostras de águas subterrâneas na época de chuvas – Período: Março/2006 e Março/2007).

Table 2 – Average analytical results obtained in samples of groundwater during the rainy season - Period: March/2006 and March/2007).

Parâmetros	T	pH	Condutividade elétrica (CE)	Alcalinidade	STD	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N
Unidades	°C	-	µS/cm	mg/L CaCO ₃	mg/L	mg/L	mg/L
PM-1	28	4,75	55,80	12,00	27,90	0,24	0,05
PM-3	28	5,23	39,50	8,00	25,00	0,05	0,03
PM-5	28	4,67	280,00	8,00	139,71	0,03	0,03
PM-6	28	4,65	96,00	8,00	45,00	0,01	0,01
PM-7	28	4,63	82,00	12,00	39,00	0,13	0,01
PM-8	29	5,51	52,80	28,00	18,00	0,01	0,01
PM-9	28	5,05	53,80	21,00	26,90	0,00	0,01
MÉDIA	28	4,93	94,27	13,86	44,97	0,07	0,02
DESVIO PADRÃO	0	0,34	84,15	7,76	39,85	0,09	0,02
CONAMA 396/08	Nr	Nr	Nr	Nr	1000	Nr	1,00
PORTARIA 518/04	Nr	6 a 9,5	Nr	Nr	1000	1,5	1,00

Nr = Não referenciado / STD = Sólidos Totais Dissolvidos

Continua...

Continuação

Parâmetros	NO ₃ ⁻ -N	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	DQO	DBO	O.D.	O.C.	Fe ⁺²
Unidades	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
PM-1	1,06	0,08	8,50	0,23	12,00	5,20	7,20	0,42	0,17
PM-3	0,70	8,00	7,80	1,20	27,25	2,20	7,69	2,90	0,25
PM-5	0,64	8,00	22,40	1,70	25,98	1,73	8,00	2,20	0,24
PM-6	0,76	8,00	10,50	0,75	27,25	2,20	8,31	2,90	0,26
PM-7	0,57	12,00	5,30	1,20	24,28	1,10	7,37	1,30	0,23
PM-8	0,95	28,00	7,90	0,20	24,70	1,25	7,47	1,50	0,10
PM-9	1,34	18,00	9,40	10,00	23,00	3,80	6,80	1,34	0,13
MÉDIA	0,86	11,73	10,26	2,18	23,49	2,50	7,55	1,79	0,20
DESVIO PADRÃO	3,24	8,96	5,59	3,49	5,30	1,49	0,50	0,92	0,06
CONAMA 396/08	10	Nr	250	250	Nr	Nr	Nr	Nr	Nr
PORTARIA 518/04	10	Nr	250	250	Nr	Nr	Nr	Nr	Nr

Nr = Não referenciado / DQO = Demanda Química de Oxigênio / DBO = Demanda Bioquímica de Oxigênio / O.D = Oxigênio Dissolvido / O.C = Oxigênio Consumido /

Continua...

Continuação

Parâmetros	Fe total	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Cd ⁺²	Ni ⁺²	Zn ⁺²	Pb ⁺²
Unidades	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
PM – 1	0,40	0,17	0,56	2,10	0,36	0,000	0,00	0,000	0,00
PM – 3	0,29	0,12	1,00	1,49	0,26	0,004	0,00	0,035	0,00
PM – 5	6,66	2,33	5,42	0,24	0,30	0,004	0,00	0,028	0,00
PM – 6	2,30	0,92	0,97	0,27	0,17	0,004	0,00	0,105	0,00
PM – 7	1,04	0,20	3,14	3,39	1,07	0,004	0,00	0,206	0,00
PM – 8	0,12	0,19	1,10	0,95	0,15	0,004	0,00	0,066	0,00
PM – 9	0,13	0,17	0,54	2,00	0,35	0,000	0,00	0,000	0,00
MÉDIA	1,56	0,58	1,82	1,49	0,38	0,003	0,00	0,06	0,00
DESVIO PADRÃO	2,38	0,82	1,82	1,13	0,31	0,002	0,00	0,07	0,00
CONAMA 396/08	0,3	200	Nr	Nr	Nr	0,005	0,02	5	0,01
PORTARIA 518/04	0,3	200	Nr	Nr	Nr	0,005	Nr	5	0,01

Nr = Não referenciado

Tabela 3 - Média dos resultados analíticos obtidos em amostras de águas subterrâneas na época de estiagem – Período: Outubro/2006 e Outubro/2007.

Table 3 – Average analytical results obtained in samples of groundwater in the dry season - Period: October/2006 and October/2007.

Parâmetros	T	pH	Condutividade elétrica (C.E)	Alcalinidade	STD	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ -N
Unidades	°C	-	µS/cm	mg/L CaCO ₃	mg/L	mg/L	mg/L
PM-1	28	4,75	55,80	12,00	27,90	0,08	0,03
PM-3	28	4,46	28,60	12,90	18,04	0,50	0,03
PM-5	28	4,67	233,20	10,40	133,00	0,04	0,02
PM-6	28	4,65	68,80	11,30	42,95	0,29	0,01
PM-7	28	4,63	64,30	15,60	40,79	0,16	0,01
PM-8	27	5,53	40,40	46,60	22,67	0,07	0,13
PM-9	28	5,20	32,60	54,50	32,10	0,04	0,01
MÉDIA	28	4,84	74,81	23,33	46,31	0,17	0,03
DESVIO PADRÃO	0	0,32	16,40	30,05	2,97	0,03	0,01
CONAMA 396/08	Nr	Nr	Nr	Nr	1000	Nr	1
PORTARIA 518/04	Nr	6 a 9,5	Nr	Nr	1000	1,5	1

Nr = Não referenciado / STD = Sólidos Totais Dissolvidos

Continua...

Continuação

Parâmetros	NO ₃ -N	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	DQO	DBO	O.D.	O.C.	Fe ⁺²
Unidades	mg/L	mg/L	mg/L	Mg/L	Mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
PM-1	0,24	0,12	8,54	0,23	12,00	5,20	6,66	1,46	0,17
PM-3	0,50	12,90	4,94	0,13	34,00	7,80	8,00	10,70	1,50
PM-5	0,83	10,40	33,76	0,60	30,19	5,61	6,30	7,70	2,10
PM-6	0,77	11,30	12,13	0,25	32,30	5,87	5,90	7,40	1,80
PM-7	0,68	15,60	10,55	0,19	27,35	5,08	6,40	6,50	1,60
PM-8	0,97	42,30	4,98	0,08	24,00	4,30	6,60	0,32	0,02
PM-9	2,98	24,44	8,17	2,61	66,75	4,82	7,08	4,36	0,08
MÉDIA	1,00	16,72	11,87	0,58	32,37	5,53	6,71	5,49	1,04
DESVIO PADRÃO	1,94	17,20	0,26	1,68	38,71	0,27	0,30	2,05	0,06
CONAMA 396/08	10	Nr	250	250	Nr	Nr	Nr	Nr	0,3
PORTARIA 518/04	10	Nr	250	250	Nr	Nr	Nr	Nr	0,3

Nr = Não referenciado / DQO = Demanda Química de Oxigênio / DBO = Demanda Bioquímica de Oxigênio / O.D = Oxigênio Dissolvido / O.C = Oxigênio Consumido

Continua...

Continuação

Parâmetros	Fe _t	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Cd ⁺²	Ni ⁺²	Zn ⁺²	Pb ⁺²
Unidades	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
PM - 1	2,30	0,01	0,56	2,10	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00
PM - 3	4,30	0,07	0,30	1,30	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00
PM - 5	6,60	1,41	3,10	8,10	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00
PM - 6	6,30	0,34	0,80	3,10	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00
PM - 7	5,20	0,29	0,70	2,60	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00
PM - 8	0,34	0,13	0,58	1,20	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00
PM - 9	0,41	0,83	0,70	4,26	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00
MÉDIA	3,64	0,44	0,96	3,24	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00
DESVIO PADRÃO	1,34	0,99	0,10	1,53	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00
CONAMA 396/08	0,3	200	Nr	Nr	Nr	0,005	0,02	5	0,01
PORTARIA 518/04	0,3	200	Nr	Nr	Nr	0,005	Nr	5	0,01

Nr = Não referenciado

O pH das águas subterrâneas apresentou valor entre 4,63 e 5,51 no período chuvoso e entre 4,46 e 5,53 no período de estiagem, o que as caracteriza como águas ácidas (Figura 5). Nos estudos de Lima e Kobayashi (1988), as águas dos aquíferos Barreiras e Pós-Barreiras apresentaram um pH médio de 4,4. Sioli (1960), analisando alguns poços rasos da RMB, obteve valores de pH da ordem de 4,9 para poços não contaminados, e entre 6,4 e 5,7 para poços aparentemente poluídos por esgotos e fossas.

Baixos valores de pH são característicos de climas tropicais com abundantes precipitações pluviométricas que atingem facilmente o lençol freático, que na área de estudo encontra-se próximo da superfície do terreno com profundidades <5 metros. Além disso, águas ácidas também são relacionadas a ambientes drasticamente lixiviados, onde predominam os elementos de menor mobilidade geoquímica, tais como ferro, alumínio e manganês. Diante desses dados, constata-se que os valores de pH aqui obtidos, são característicos das águas subterrâneas locais e podem ser considerados normais para ambientes da região amazônica.

A condutância específica (condutividade) é uma expressão numérica da capacidade de uma água conduzir uma corrente elétrica. É um parâmetro que fornece boa indicação das modificações na composição de uma água, especialmente na sua concentração mineral, porém não fornece nenhuma indicação das quantidades relativas dos vários componentes.

Os valores de condutividade elétrica apresentaram-se mais elevados no período chuvoso (média de 94,27 $\mu\text{S}/\text{cm}$) em comparação com os obtidos no período de estiagem (média de 74,81 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (Figura 6). Os baixos valores de condutividade refletidos na maioria dos piezômetros confirmam mais uma vez a presença de ambientes fortemente lixiviados, causados pela alta pluviosidade e temperatura características da região amazônica, onde os elementos maiores (Na^+ , Ca^{+2} , K^+ e Mg^{+2}) responsáveis pelas características básicas já migraram para o sistema hídrico. Os valores aqui obtidos se encontram abaixo dos valores de 348 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (média para o período de chuvas) e de 372 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (média para o período seco) nos estudos realizados por Piratoba Morales (2002) na bacia hidrográfica do Aurá, localizada dentro da APA (Área de Proteção Ambiental) onde está o PEÚt. As amostras relacionadas ao PM-5 foram as que apresentaram os valores mais elevados de condutividade, tanto no período chuvoso (280 $\mu\text{S}/\text{cm}$) quanto no período de estiagem (233 $\mu\text{S}/\text{cm}$), revelando a presença de eletrólitos fortes em solução. Cabe ressaltar que este piezômetro é um dos mais próximos da zona urbana, com nível estático próximo à superfície (3,92 m) e está localizado em uma cota topográfica baixa, provocando em algumas ocasiões o seu quase alagamento por águas pluviais. Os parâmetros de STD, Cl e Fe apresentaram comportamento similar ao da condutividade para o mesmo ponto de coleta.

Os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) praticamente não mostraram diferença entre as épocas de chuva (média de 44,9 mg/L) e de estiagem (média de 46,3 mg/L).

O piezômetro PM-5 apresentou os valores mais elevados de STD tanto no período chuvoso (139,71 mg/L) quanto no período de estiagem (133,00 mg/L) (Figura 7).

O Cl é um dos principais constituintes iônicos das águas subterrâneas e a sua presença está diretamente relacionada com fontes pontuais e difusas de contaminação antrópica e pelas características geológicas e geoquímicas dos aquíferos da área. A sua concentração nas amostras de água mostrou-se ligeiramente maior na época de estiagem (média de 11,8 mg/L e desvio padrão de 0,26) do que na época de chuvas (média de 10,2 mg/L e desvio padrão de 5,59), valores estes inferiores a 250 mg/L, que corresponde ao padrão de qualidade da faixa de aceitação da legislação vigente (Figura 8). Ao comparar esses valores com os obtidos por Piratoba Morales (2002) no Aurá, que obteve valores médios de Cl de 103,62 mg/L para poços poluídos, pode-se considerar que as amostras da área de estudo não são poluídas.

O SO_4^{2-} é um dos mais abundantes íons no meio ambiente e surge naturalmente nas águas subterrâneas através da dissolução de solos e rochas. Nesse estudo, o SO_4^{2-} apresentou uma concentração média de 2,18 mg/L com desvio padrão de 3,49 no período chuvoso e uma concentração média de 0,58 mg/L e um desvio padrão de 1,68 no período de estiagem, permanecendo dessa forma abaixo do limite do padrão de qualidade de 250 mg/L (Figura 9).

O NH_4^+-N é uma forma nitrogenada reduzida que indica uma poluição recente, uma vez que essa substância é oxidada rapidamente na água devido a presença de bactérias nitrificantes. Por essa razão, a ocorrência desse íon constitui-se em um importante índice da presença de despejos orgânicos recentes. Os valores de NH_4^+-N apresentaram uma média de 0,07 mg/L e desvio padrão de 0,09 para o período chuvoso e média de 0,17 mg/L e desvio padrão de 0,03 para o período de estiagem. Suas menores concentrações foram registradas no período de maiores precipitações pluviométricas, o que levaria à diluição das águas subterrâneas (Figura 10).

As concentrações de NO_2-N obtidas nas amostras de águas subterrâneas foram baixas, apresentando para o período chuvoso um valor médio de 0,02 mg/L e desvio padrão de 0,02 e para o período seco 0,03 mg/L e desvio padrão de 0,01 (Figura 11). Esses resultados já eram esperados, visto que o NO_2-N é bastante instável no processo de oxidação.

O NO_3-N é um ânion muito móvel que pode facilmente percolar das camadas superiores do solo para a água (BOWER, 1978). No entanto, nas águas subterrâneas é uma substância bastante persistente por conta de sua alta estabilidade. Os maiores valores de NO_3-N neste estudo ocorreram durante o período de estiagem com média de 1,00 mg/L e desvio padrão de 1,94 contra média de 0,86 mg/L e desvio padrão de 3,24 para o período chuvoso, confirmando a tendência de elevação nas concentrações do NO_3-N em períodos menos chuvosos (Figura 12).

Comportamento inverso ao mostrado pela condutividade elétrica foi mostrado pelo bicarbonato (Figura 13). O valor da

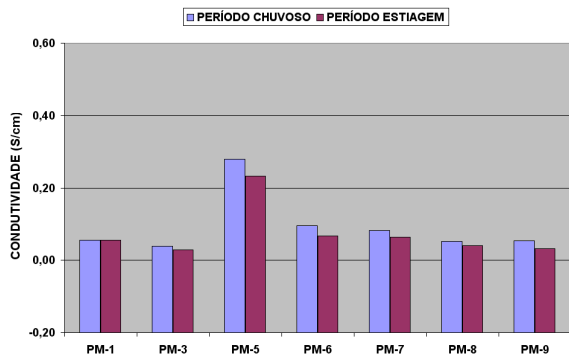


Figura 6 – Resultados de condutividade elétrica em amostras de águas subterrâneas.

Figure 6 – Conductivity results in samples of groundwater.

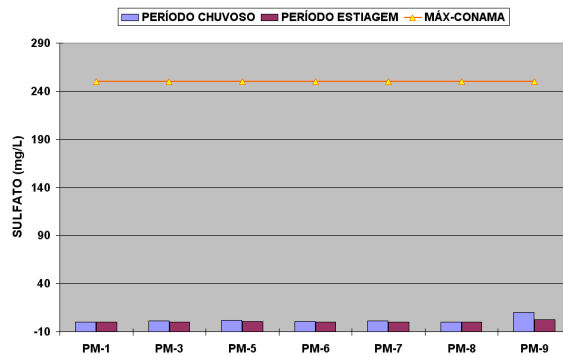


Figura 9 – Resultados de SO42- em amostras de águas subterrâneas.

Figure 9 – SO42- results in samples of groundwater.

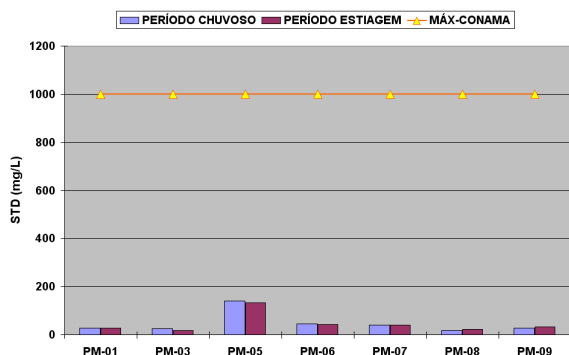


Figura 7 – Resultados de STD em amostras de águas subterrâneas.

Figure 7 – TDS results in samples of groundwater.

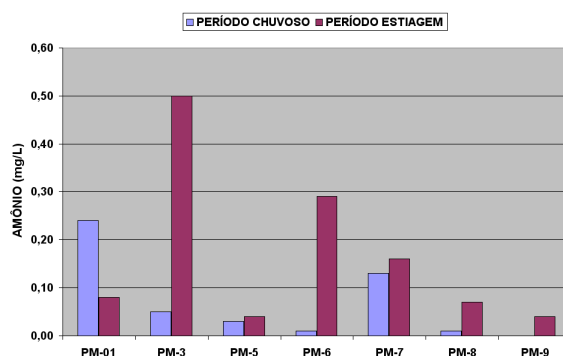


Figura 10 – Resultados de NH4+ em amostras de águas subterrâneas.

Figure 10 – NH4+ results in samples of groundwater.

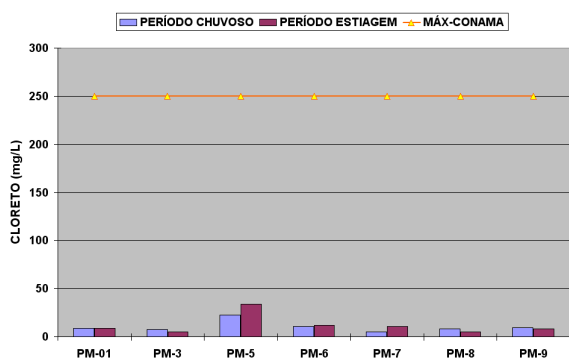


Figura 8 – Resultados de Cl- em amostras de águas subterrâneas.

Figure 8 – Cl- results in samples of groundwater.

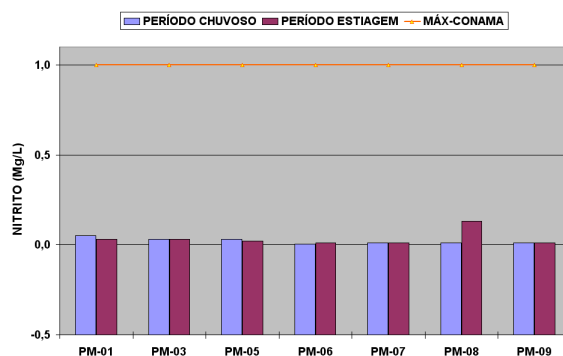


Figura 11 – Resultados de NO2-N em amostras de águas subterrâneas.

Figure 11 – NO2-N results in samples of groundwater.

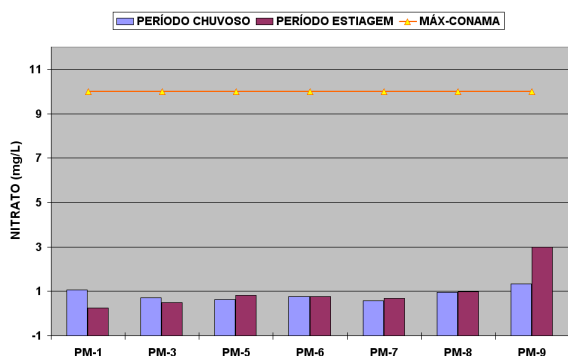


Figura 12 – Resultados de NO₃-N em amostras de águas subterrâneas.

Figure 12 – NO₃-N results in samples of groundwater.

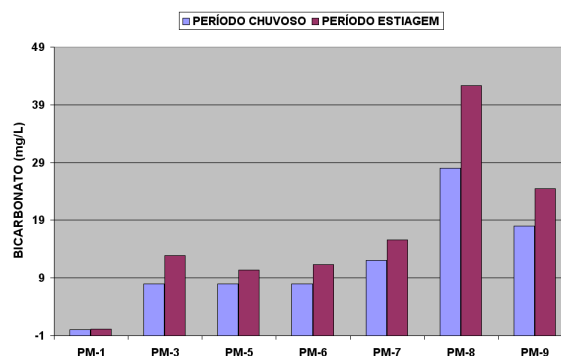


Figura 13 – Resultados de HCO₃- em amostras de águas subterrâneas.

Figure 13 – HCO₃- results in samples of groundwater.

média na época de estiagem (16,72 mg/CaCO₃) foi maior que a média mostrada na época de chuva (11,73 mg/CaCO₃), demonstrando que esse íon está relacionado com o material geológico presente no aquífero e também é afetado pela diluição.

Os parâmetros da DBO e DQO mostraram valores relativamente baixos e característicos de águas não contaminadas. Os valores da DBO com média de 2,50 mg/L e desvio padrão de 1,49 (período chuvoso) e média de 5,53 mg/L e desvio padrão de 0,27 (período de estiagem) não indicam presença de matéria orgânica possível de ser estabilizada pela via biológica (Figura 14). Os valores de DQO são parecidos na maioria dos poços, muito provavelmente por pertencerem ao mesmo aquífero; apresentam média de 23,49 mg/L e desvio padrão de 5,30 (período chuvoso) e média de 32,37 mg/L e desvio padrão 38,71 (período de estiagem). Esses valores de DQO são relativamente maiores do que os de DBO, indicando a presença de substâncias químicas susceptíveis de serem oxidadas somente pela via química (Figura 15).

Elevados valores de oxigênio dissolvido (OD) foram observados em todas as amostras de águas subterrâneas coletadas. É de se esperar baixos valores na quantificação de OD em amostras de águas subterrâneas, pelo fato da maior parte do ar dissolvido na água que infiltra no solo ser consumido na oxidação da matéria orgânica durante a percolação da água na zona de aeração. Os valores elevados de OD com médias de 7,5 mg/L (período chuvoso) e 6,7 mg/L (período de estiagem), próximos do valor de saturação, indicam que isso pode ter sido causado pela turbulência no momento da coleta das amostras mediante o processo de bombeamento, não refletindo a realidade.

No que se refere ao oxigênio consumido (OC), valores baixos com média de 1,79 mg/L e desvio padrão de 0,92 (período chuvoso) e média de 5,49 mg/L e desvio padrão de 2,05 (período de estiagem) foram observados nas amostras de águas subterrâneas. Não obstante, esses valores mostraram-se compatíveis com os valores de DBO, indicando baixo conteúdo da matéria orgânica (Figura 16).

Diferenças significativas foram observadas entre o ferro dissolvido e o ferro total. Os maiores valores de ferro dis-

solvido foram observados para o período de estiagem, com média de 1,04 mg/L e desvio padrão de 0,06, e média de 0,20 mg/L e desvio padrão de 0,06 para o período chuvoso. O ferro total apresentou uma média de 1,56 mg/L e desvio padrão de 2,38 (período chuvoso) e de 3,64 mg/L e desvio padrão de 1,34 (período de estiagem) (Figuras 17 e 18). A presença de material particulado em suspensão, representado especialmente por argilas e pela presença de concreções lateríticas (conforme observado nas amostras de sedimentos coletadas por ocasião da perfuração dos piezômetros) pode ter causado esses valores elevados nos parâmetros de ferro total. Além disso, o ambiente intemperizado na Amazônia caracteriza-se pela forte ação lixiviadora (abundância de chuvas e principalmente decomposição da matéria orgânica), capaz de produzir substâncias ácidas que atacam os minerais formadores de rochas sedimentares. Tais rochas, ricas em ferro, logo produzem soluções diluídas sob concentrações elevadas desse metal (HEM, 1970; CUSTÓDIO e LLAMAS, 1976; STUMM e MORGAN, 1981).

Em geral, os resultados dos componentes catiônicos principais (Na⁺, K⁺, Ca⁺² e Mg⁺²) nas águas superficiais mostraram maiores teores na época de estiagem se comparados ao período chuvoso (Figuras 19 e 20). Estudos anteriores realizados nos recursos hídricos da área de estudo sempre evidenciaram o mesmo comportamento (CARNEIRO e GERALDO, 2000; PIRATOBA MORALES, 2002; RIBEIRO, 1992).

Em relação aos metais pesados, pode observar-se que o Cd⁺² apesar de não ter sido detectado no período de estiagem, apresentou no período chuvoso valores próximos ao limite máximo legislado de 0,005 mg/L, com exceção dos piezômetros PM-1 e PM-9 (Figura 21). Normalmente esse metal apresenta-se nas águas naturais em pequenas concentrações, geralmente inferiores a 0,001 mg/L. Esses valores podem estar relacionados à origem geológica, embora estudos mais aprofundados fossem necessários para determinar sua origem. O Ni⁺² e Pb⁺² não foram detectados em ambos os períodos sazonais. O Zn⁺² não foi detectado no período de estiagem, mas no período chuvoso apresentou uma média de 0,06 mg/L e desvio padrão de 0,07 (Figura 22).

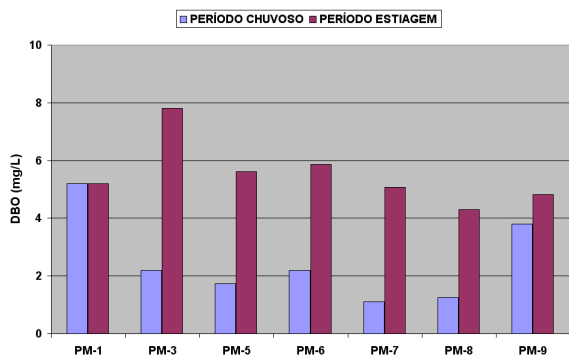


Figura 14 – Resultados de DBO em amostras de águas subterrâneas.

Figure 14 – BOD results in samples of groundwater.

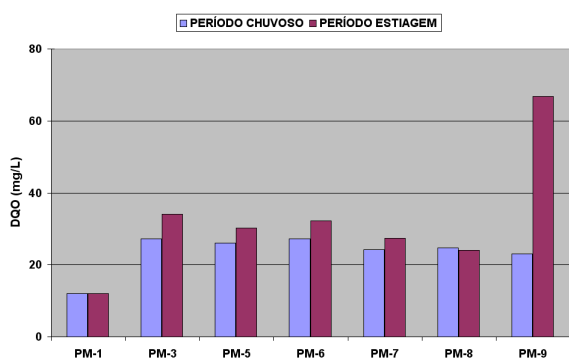


Figura 15 – Resultados de DQO em amostras de águas subterrâneas

Figure 15 – COD results in samples of groundwater.

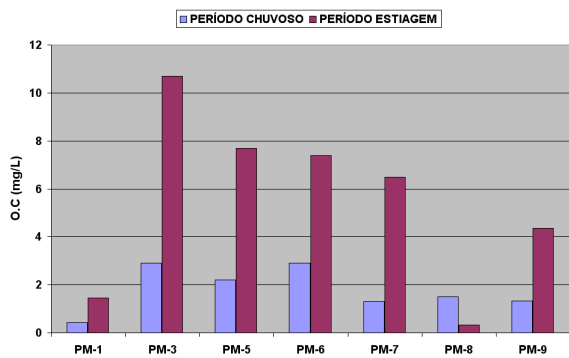


Figura 16 – Resultados de OC em amostras de águas subterrâneas.

Figure 16 – O.C. results in samples of groundwater.

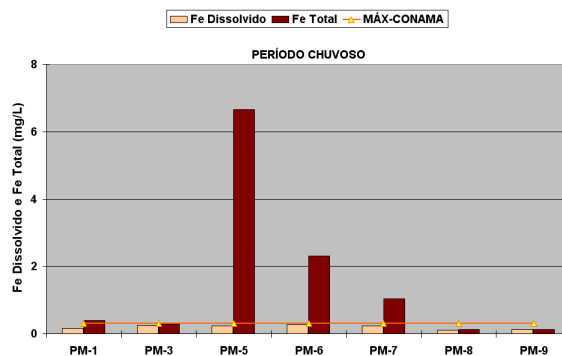


Figura 17 – Resultados de Fe Total e Fe dissolvido em amostras de águas subterrâneas no período chuvoso.

Figure 17 – Total Iron and Dissolved Iron results in samples of groundwater in the rainy season.

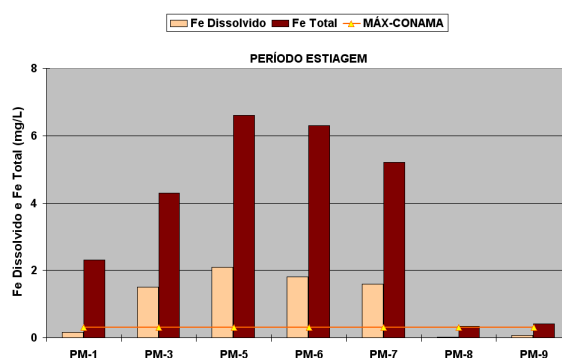


Figura 18 – Resultados de Fe Total e Fe dissolvido em amostras de águas subterrâneas no período de estiagem.

Figure 18 – Total Iron and Dissolved Iron results in groundwater samples in the dry season.

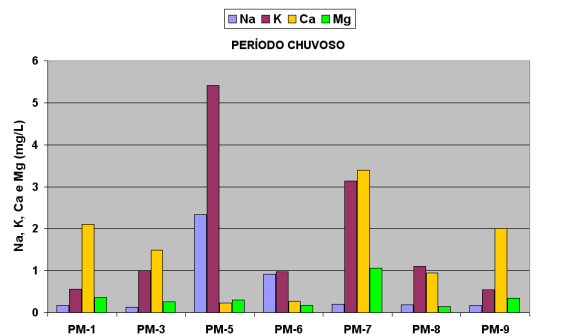


Figura 19 – Resultados de Na⁺, Ca²⁺, K⁺ e Mg²⁺ em amostras de águas subterrâneas no período chuvoso.

Figure 19 – Na⁺, Ca²⁺, K⁺ and Mg²⁺ results in samples of groundwater in the rainy season.

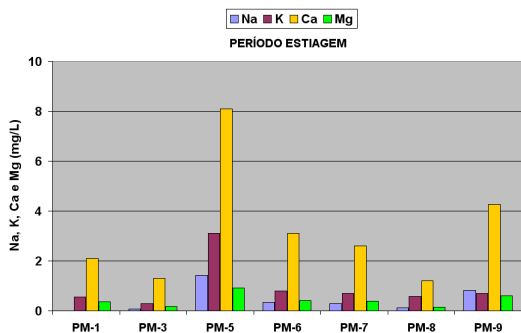


Figura 20 – Resultados de Na⁺, Ca²⁺, K⁺ e Mg²⁺ em amostras de águas subterrâneas no período de estiagem.

Figure 20 – Na⁺, Ca²⁺, K⁺ e Mg²⁺ in groundwater samples in the dry season.

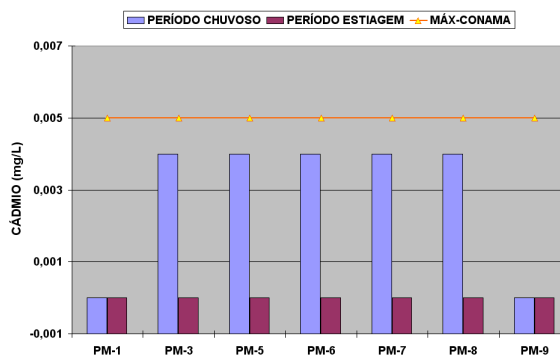


Figura 21 – Resultados de Cádmio em amostras de águas subterrâneas.

Figure 21 – Cadmium results in groundwater samples.

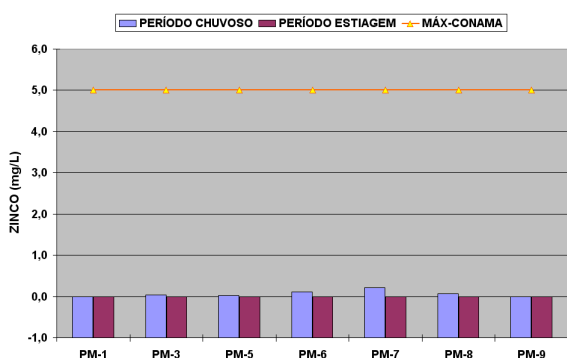


Figura 22 – Resultados de Zinco em amostras de águas subterrâneas.

Figure 22 – Zinc results in groundwater samples.

Classificação iônica das águas subterrâneas

A Figura 23 apresenta o diagrama de Piper com a caracterização iônica das águas subterrâneas da área de estudo para ambos os períodos sazonais. Verifica-se nas amostras que quanto aos cátions dissolvidos há o predomínio de sódio e quanto aos ânions, de cloreto e bicarbonato. As águas analisadas em sua maioria são bicarbonatadas sódicas, sendo apenas uma delas classificada como cloretada sódica (PM-1).

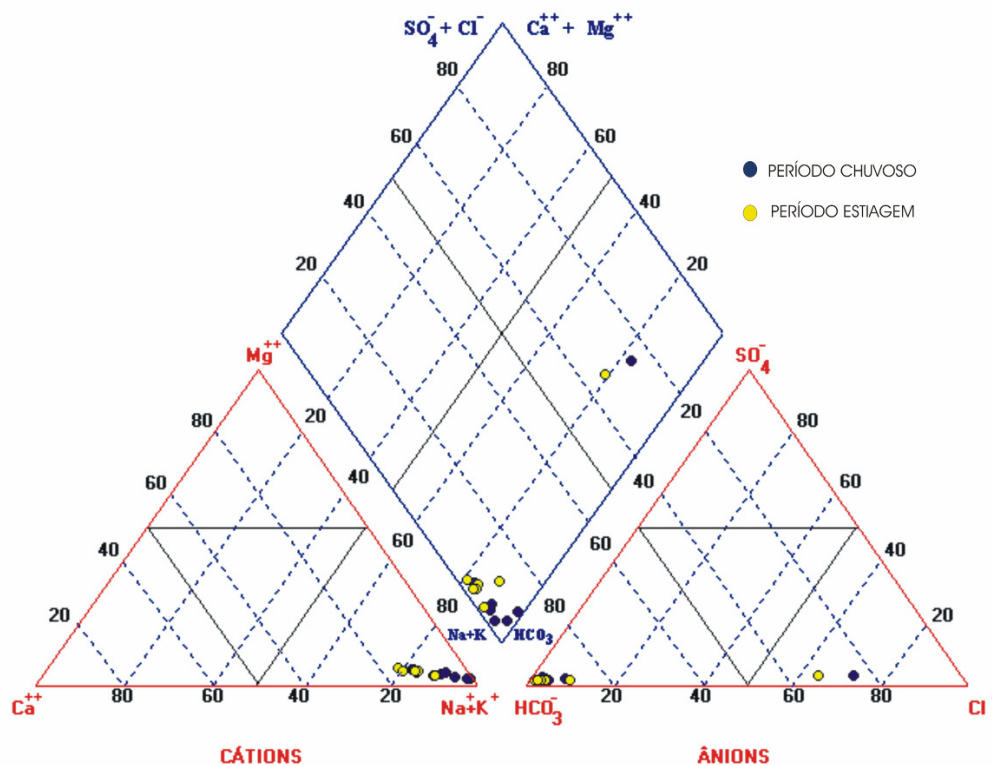


Figura 23 – Diagrama de Piper para classificação das águas subterrâneas na área de estudo nos períodos de chuva e estiagem.

Figure 23 – Piper diagram for classification of groundwater in the study area during the rainy and dry seasons.

CONCLUSÕES

Nos estudos realizados, os resultados analíticos das águas subterrâneas na área de abrangência do reservatório de abastecimento público localizado no Parque Estadual do Utinga, tanto na época de estiagem quanto na época de chuva, ao serem comparados aos padrões de qualidade legislados na Resolução CONAMA Nº 396 de 03/04/2008 e à Portaria Nº 518 do Ministério da Saúde de 08/04/2004, permitiram concluir que as águas subterrâneas na área de estudo podem ser enquadradas como águas subterrâneas Classe II; pelo diagrama de Piper as águas analisadas são predominantemente bicarbonatadas sódicas, sendo apenas uma delas classificada

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 13895**: construção de poços de monitoramento e amostragem. Rio de Janeiro, 1997.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 19th ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. Washington, DC: American Public Health Association, 1995. 1134 p.
- AMINOT, A.; CHAUSSEPIED, M. **Manuel des analyses chimiques en milieu marin**. Brest: Centre National pour l'Exploitation des Océans, 1983.
- BAHIA, V. E. **Estudo hidrogeológico da área localizada entre o Depósito de Lixo Metropolitano de Belém (Aurá) e o Lago Água Preta**. 2003. 117 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- BAHIA, V. E.; VELOSO, A. S. R.; LUIZ, J. G.; FENZL, N.; PIRATOBA MORALES, G. Imageamento da subsuperfície rasa na área dos mananciais superficiais de abastecimento de água de Belém-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43., 2006, Aracaju. **Resumos...**Sergipe: Sociedade Brasileira de Geologia, 2006. p. 306.
- BAUMGARTEN, M. G. Z.; ROCHA, J. M.; NIENCHESKI, L. F. **Manual de análises em oceanografia química**. Rio Grande: Ed. da FURG, 1996. 132 p.
- BOWER, H. **Groundwater hydrology**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1978.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria Nº 518, de 25 de março de 2004. Estabelece normas e padrões de potabilidade da água destinada ao consumo humano. Ministério da Saúde, Diário Oficial da União, Brasília, v. 59, p. 266-270, 26 mar. 2004, Seção 1.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 396, de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Diário Oficial República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 07 abr. 11 p. 2008
- como cloretada sódica (PM-1), não apresentando características geoquímicas diferentes em relação aos períodos sazonais. As amostras de águas subterrâneas não apresentaram evidência de estarem poluídas, uma vez que a maioria dos parâmetros analisados apresentaram baixas concentrações dos constituintes dissolvidos, inserindo-se no contexto dos padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação brasileira. No entanto, apesar das amostras estarem dentro dos padrões de potabilidade, as análises do PM-05 indicam alguma alteração de qualidade, devendo ser monitorada ao longo do tempo e em área à montante em campanhas futuras.
- CARNEIRO, B. S.; GERALDO, A. V. **Determinação de clorofila e avaliação da produtividade nos lagos Água Preta e Bolonha**. 2000. 48 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso)- Centro Tecnológico, Universidade Federal do Pará, Belém, 2000.
- CONSULTORA DE ENGENHARIA S.A-CENSA. Diagnóstico do estudo urbanístico de proteção sanitária dos lagos Bolonha e Água Preta. II: Urbanização e medidas de proteção sanitária da região dos lagos-Utinga. Belém: 1983. Companhia de Saneamento do Pará, 279 p.
- CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia subterrânea**. Barcelona: Ediciones Ómega S.A., 1976. 1194 p.
- FARIAS, E. dos S.; NASCIMENTO, F.S. do; FERREIRA, M.A.A. Mapeamento da área Belém-Outeiro. Estágio de campo III. Relatório Final. Belém: 1992. Universidade Federal do Pará, 247 p.
- FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS-FUNCEME. Qualigraf. Disponível em: <http://www.funceme.br>. Acesso em: 27 out. 2008.
- HEM, J. D. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. 2., **Geological Survey Water-Supply**, Washington (DC), n. 1473, p. 1-334, 1970.
- INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SOCIAL DO PARÁ-IDESP. Estudo ambiental do Utinga, vida útil do sistema de abastecimento de água de Belém. Relatório de Pesquisa Nº 19. Belém: 1991. 24 p.
- LIMA, W. N.; KOBAYASHI, C.N. Sobre o quimismo predominante nas águas do sistema flúvio-estuarino de Barcarena-PA. **Geoquímica Brasileira**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 53-71, jan. 1988.
- MATTA, M. A. da S. **Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos da Região de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil**. 2002. 292 p. Tese (Doutorado em Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- MATTA, M. A. da S. et al. Comportamento do nível estático e do fluxo hídrico subterrâneo do sistema hidrogeológico superior da bacia hidrográfica do Murucutu Belém-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS,

- 16., 2010, São Luiz. **Anais...** São Luiz: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2010. 1 CD.
- OLIVEIRA, J. R. et al. Controle de vazamentos em postos de combustíveis na Região Metropolitana de Belém e seus aspectos jurídicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12.; 2002, Florianópolis. **Anais...** Santa Catarina: Associação Brasileira de águas Subterrâneas, 2002. 1 CD.
- PIRATOBA MORALES, G. **Avaliação ambiental dos recursos hídricos, solos e sedimentos na área de abrangência do Depósito de Resíduos Sólidos do Aurá.** 2002. 220 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- RIBEIRO, H. M. C. **Avaliação Atual da Qualidade das Águas dos lagos Bolonha e Água Preta, situados na área fisiográfica de Utinga (Belém-PA).** 1992. 204 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1992.
- SAUMAFILHO, M. **As águas subterrâneas de Belém e adjacentes: Influência da formação Pirabas e parâmetros físico-químicos para medidas de qualidade.** 1996. 128 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1996.
- SIOLI, H. Pesquisas limnológicas na região da Estrada de Ferro de Bragança, Estado do Pará, Brasil. Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Norte, Belém, n. 37, p. 1-91, 1960.
- STUMM, W., MORGAN, J. J. **Aquatic chemistry.** New York: Wiley-interscience, 1981, 780 p.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal da Bahia e do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, à Universidade Estadual do Pará (UEPA) e à Secretaria de Meio Ambiente do Pará (SEMA) pela infraestrutura e apoio oferecidos na realização dos trabalhos. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela viabilização financeira das pesquisas, através do financiamento do projeto de pesquisa intitulado “Estudo hidrogeológico da Bacia Hidrográfica do Utinga” , Processo Nº 476413/2004-4/Edital Universal.