

# ANÁLISE DA VULNERABILIDADE E RISCO DE CONTAMINAÇÃO COMO INSTRUMENTOS DE PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO UTINGA / BELÉM(PA)

Autores: Vânia Bahia<sup>1</sup>; Norbert Fenzl<sup>2</sup>; Gundisalvo Piratoba Morales<sup>3</sup>

## RESUMO

A Bacia Hidrográfica do Utinga possui uma área de 8.989.500 m<sup>2</sup>. Os lagos Bolonha e Água Preta localizados em seu interior são responsáveis por 75% do abastecimento da população de Belém (COSANPA, 1983). Devido à pressão urbana, essa bacia hidrográfica vem sofrendo impactos ambientais crescentes, dificultando sua preservação e manutenção.

A presente pesquisa teve como objetivo principal a caracterização hidrogeológica da Bacia Hidrográfica do Utinga, avaliando o risco de contaminação e sua vulnerabilidade aos impactos ambientais nela ocorrentes.

Nessa análise hidrogeológica da área, obteve-se um gradiente hidráulico de aproximadamente 0,0028, com valores de porosidade efetiva de 20%, condutividade hidráulica entre  $1,24 \times 10^{-3}$  e  $6,71 \times 10^{-3}$  cm/s, mostrando que o fluxo subterrâneo se desloca a uma velocidade de aproximadamente 33,39 m/ano, direcionados no sentido norte e sul.

Os aquíferos predominantes da área são do tipo confinados, protegidos por camadas de material argiloso que variam de 4 a 15 metros de espessura e estão associados aos sedimentos arenosos da unidade Pós-Barreiras.

O agravamento do grau de vulnerabilidade de contaminação dos seus aquíferos é decorrente principalmente de uma deficiente infra-estrutura sanitária, encontradas principalmente nos inúmeros conjuntos habitacionais e nas áreas de “invasões” no entorno da Bacia Hidrográfica do Utinga.

**Palavras-chaves:** Hidrogeologia; Bacia Hidrográfica do Utinga; Impacto Ambiental.

---

<sup>1</sup> Núcleo de Altos Estudos Amazônicos/Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica/UFGA: Campus Universitário do Guamá – Setor Profissional - Av. Perimetral, S/Nº – Fone/Fax: (91) 3201-7868 – E-mail: vbahia@ufpa.br;

<sup>2</sup> Núcleo de Altos Estudos Amazônicos/UFGA: Campus Universitário do Guamá – Setor Profissional - Av. Perimetral, S/Nº – Fone/Fax: (91) 3201-7868 – E-mail: norbert@ufpa.br;

<sup>3</sup> Centro de Ciências Naturais e Tecnologia-CCNT/UEPA: Trav. Enéas Pinheiro, 2626 – Fone: (91) 3276-4011 – E-mail: gundy\_morales@yahoo.com.br

## ABSTRACT

The Utinga watershed has an area of 8,989,500 sq m in total. The lakes Bolonha and Água Preta supply water for 75% of the population of the city of Belém (Brazil). The Utinga watershed has been exposed to environmental impacts and environmental degradation processes due to urban pressure, thus causing serious problems for the preservation and maintenance of the area.

The main goal of our work is to present a hydrogeologic characterization of the Utinga watershed, assessing the contamination risk and vulnerability resulting from environmental impacts in the area.

In the hydrogeologic analysis of the area, a hydraulic gradient of approximately 0.0028, effective porosity values 20%, hydraulic conductivity between  $1.24 \times 10^{-3}$  and  $6.71 \times 10^{-3}$  cm/s were obtained showing that the underground flows run at approximately 33.39 m/year, in the north and south directions.

The predominant aquifers in the area are of a confined type, protected by layers of clayed material with thickness ranging from 4 to 15 meters, and are associated to the Barreiras Group and to the Pos-Barreiras unit.

Regarding environmental degradation, there have been consequences resulting from a poor sanitation infra-structure, mainly found in residential areas of the so called “invaded areas” surrounding the Utinga watershed.

**Key words:** Hydrogeology; Utinga watershed; Environmental Impact.

## 1 - INTRODUÇÃO

Parte do abastecimento de água do município de Belém - PA provém da Bacia Hidrográfica do Utinga, através dos lagos Bolonha e Água Preta. Devido a expansão populacional do município, atualmente a área desses lagos encontra-se cercada de bairros residenciais desprovidos de saneamento básico, que constituem uma fonte potencial de contaminação da subsuperfície. Por esse motivo, é necessário que se conheça a hidrogeologia da área a fim de se avaliar o perigo real da contaminação subterrânea, gerada pelas residências, chegar às águas dos lagos.

A Bacia Hidrográfica do Utinga está localizada no interior do Parque Ambiental de Belém, ao sul dos limites dos bairros do Souza e a leste do bairro da Terra Firme, na área conhecida como Utinga, pertencente ao município de Belém, é formada pelos igarapés Murucutu, Água Preta, lagos Bolonha, Água Preta e as suas áreas de entorno (Figura 1).

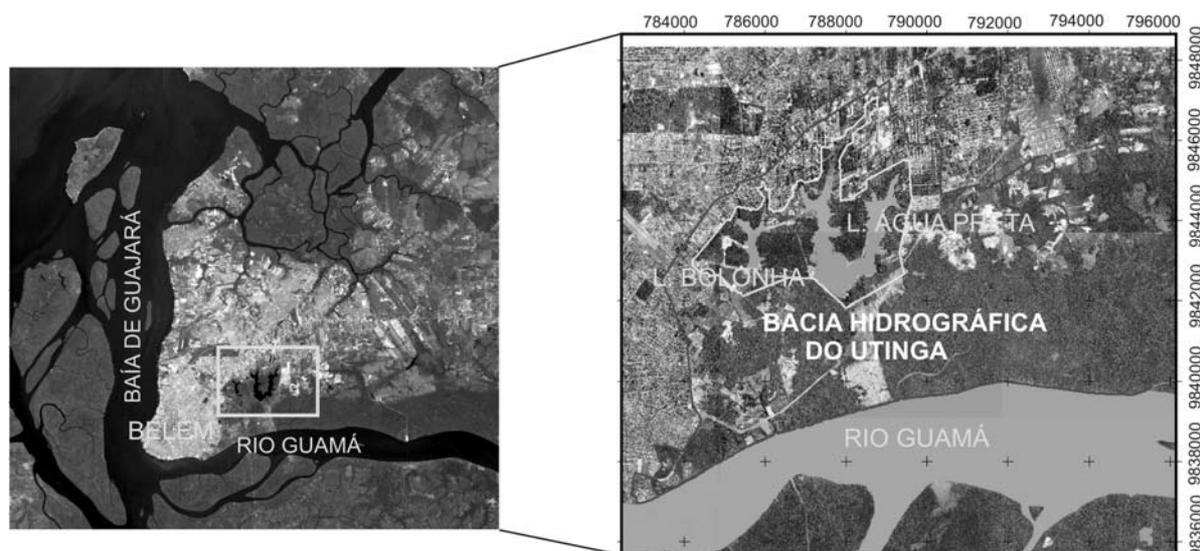


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo (modificado de Bahia, 2003).

## 2 - OBJETIVOS

### 2.1 - GERAL

- Caracterização hidrogeológica da Bacia Hidrográfica do Utinga, avaliando os impactos ambientais ocorrentes.

### 2.2 - ESPECÍFICOS

- Dimensionamento e caracterização dos aquíferos existentes na área de estudo;
- Determinação das variáveis hidrodinâmicas (condutividade hidráulica (K), porosidade (n), carga hidráulica (h), etc.), necessárias para estimar o sentido e a velocidade do fluxo subterrâneo na área;
- Influência dos impactos urbanos nos recursos subterrâneos.

## 3 – GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA DA ÁREA

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 arenosos da unidade Pós-Barreiras (Figura 2).

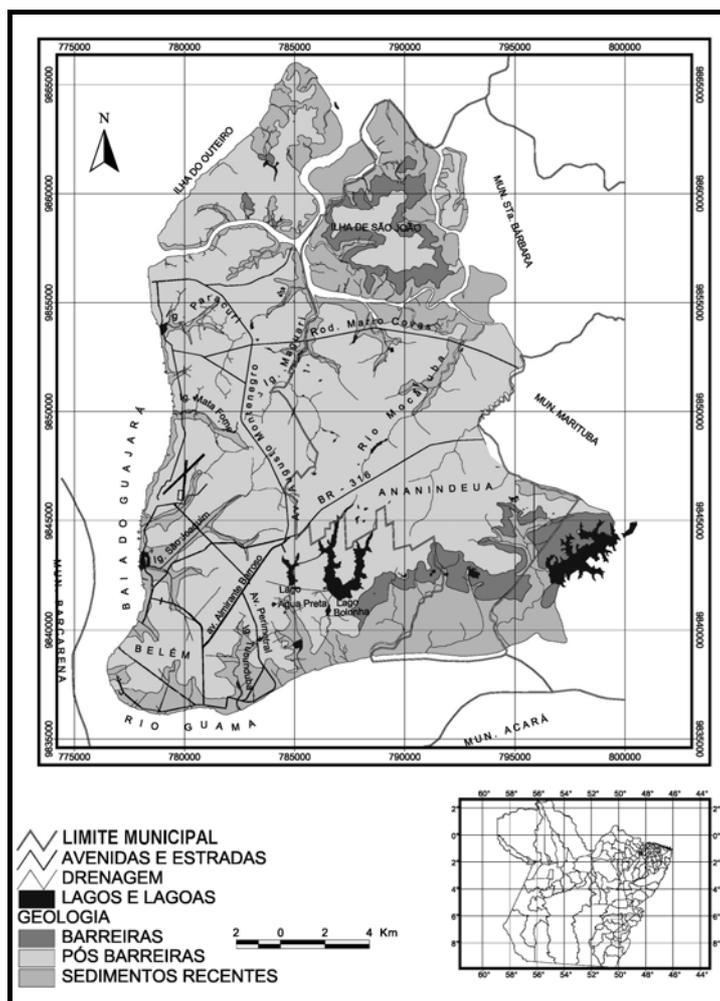


Figura 2 - Mapa geológico da Região Metropolitana de Belém (Matta, 2002)

O pacote que acumula água subterrânea na RMB e municípios é formado por quatro unidades geológicas, assim sintetizadas: Grupo Barreiras, Pós-Barreiras, Formação Pirabas e Aluviões. Os terrenos que constituem a região de Belém são de rochas sedimentares sobrejacentes a um substrato granito-gnáissico (IDESP, 1980).

Os principais aquíferos da Região Metropolitana de Belém são constituídos pelos sedimentos clásticos arenosos do Quaternário, do Grupo Barreiras e da Formação Pirabas (Figura 3).

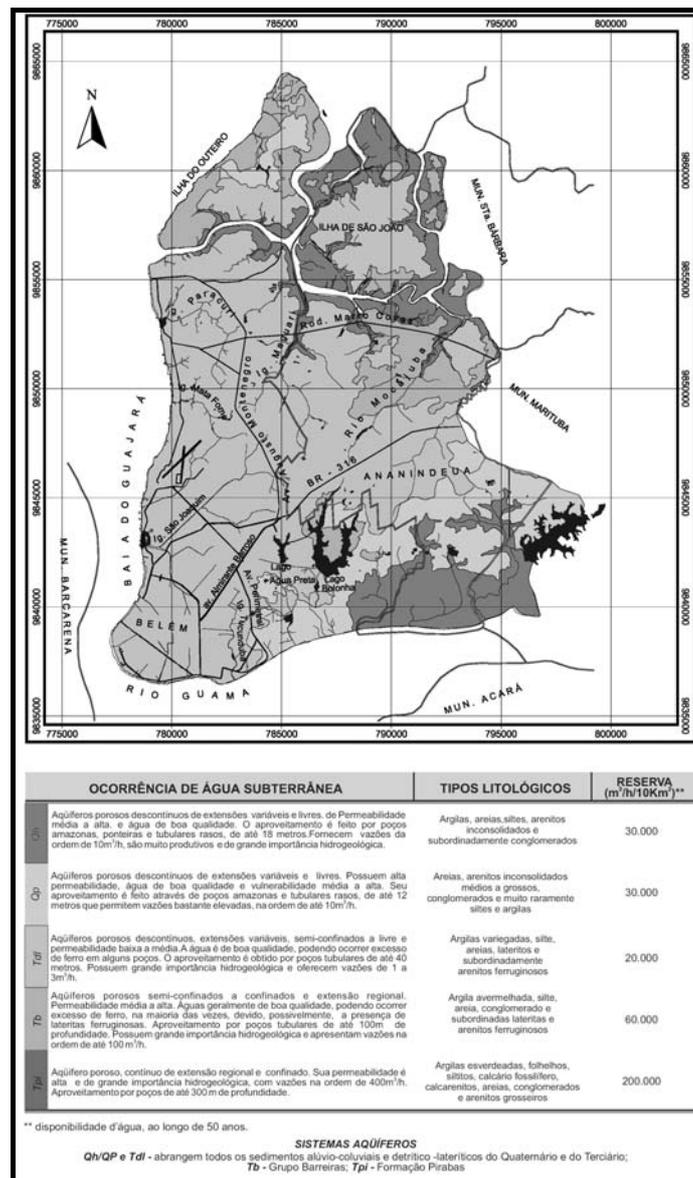


Figura 3 - Mapa hidrogeológico da Região Metropolitana de Belém (modificado de Matta, 2002).

## 4 - METODOLOGIA

No desenvolvimento do presente estudo, foram realizados trabalhos de campo e de laboratório. A seguir os conceitos básicos sobre as técnicas usadas nos referidos trabalhos e a descrição destes.

### 4.1 - TRABALHO DE CAMPO

#### 4.1.1 - Determinação de gradiente hidráulico ( $\Delta h / L$ )

Os dados do levantamento topográfico e da profundidade do nível freático são usados para calcular a cota topográfica do nível estático. De posse desse valor efetua-se o cálculo do gradiente

hidráulico através da expressão matemática 1:

$$i = \frac{\Delta h}{L} = \frac{h_1 - h_2}{L} \quad (1)$$

#### 4.1.2 - Condutividade hidráulica (K)

##### 4.1.2.1 - Ensaio de bombeamento para se determinar a condutividade hidráulica (K)

Foram realizados ensaios de bombeamento nos poços de monitoramento existentes na área de estudo, a fim de se obter os valores referente à condutividade hidráulica e transmissividade. Os dados obtidos com a execução dos ensaios de bombeamento, foram inseridos e tratados no programa computacional Aquifer Test.

#### 4.1.3 - Velocidade Real e Aparente dos fluxos subterrâneos

A descarga (Q) da água subterrânea pode ser definida como o produto da área da seção transversal ao fluxo (A), o gradiente hidráulico (I) e a condutividade hidráulica (K) ou  $Q = K.I.A$  (Equação 2) em que Q representa uma taxa de fluxo volumétrico (por exemplo  $m^3/dia$ ).

$$T = K * b \quad (2)$$

Esta experiência explicou o comportamento do fluxo laminar na zona saturada e passou a ser conhecida como Lei de Darcy. Dividindo-se ambos os membros da Equação 2 e substituindo-se a expressão do gradiente hidráulico, chega-se à Equação 3.

$$V = K \frac{\Delta H}{\Delta X} \quad (3)$$

A velocidade real de escoamento do fluxo de água subterrânea pode ser determinada com a modificação da referida lei em função da porosidade do meio, o que permitiria calcular o deslocamento de poluentes com maior mobilidade geoquímica através das águas subterrâneas (Fetter, 1994) (Equação 4).

$$Vr = \frac{V}{\eta} \quad (4)$$

#### 4.1.4 - Instalação de poços de monitoramento

A determinação da localização dos poços de monitoramento, foi baseada nos resultados obtidos com os estudos geofísicos que indicaram zonas com alterações em sua condutividade que foram relacionadas a variações litológicas (Figura 4).

Na construção dos mesmos, foram seguidas as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1997). Durante a perfuração, foram coletadas amostras de sedimentos a cada metro ou de acordo com mudanças litológicas, objetivando a construção dos perfis litológicos dos furos e as análises hidrogeológicas.

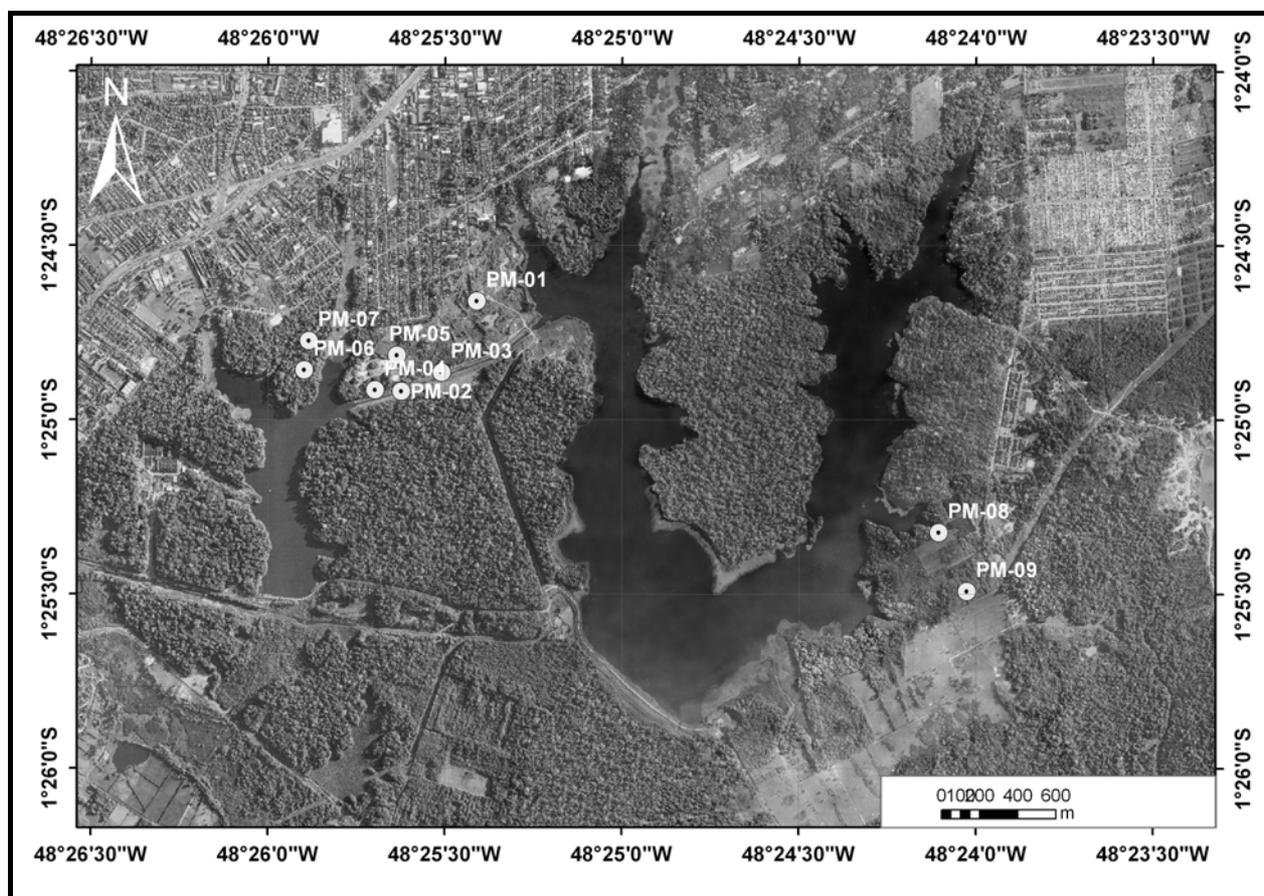


Figura 4 - Localização dos poços de monitoramento na área de estudo.

#### 4.1.5 - Medição de níveis estáticos nos poços de monitoramento

As medições da variação de profundidade das águas subterrâneas foram obtidas mensalmente usando-se um medidor de nível com sinal eletro-sonoro.

#### 4.1.6 - Coleta de amostras

##### 4.1.6.1 - Amostragem de águas subterrâneas

A coleta de água subterrânea através dos poços de monitoramento, ocorreu após os mesmos sofrerem um bombeamento prévio, a fim de se garantir a retirada de no mínimo 3 a 4 vezes o volume da coluna de água. Para a coleta utilizou-se um amostrador de PVC e frascos de armazenamento com volumes apropriados.

##### 4.1.6.2 - Amostragem de sedimentos

As amostras foram obtidas durante a perfuração dos poços de monitoramento na área de estudo. Tais amostras foram retiradas a cada metro ou levando-se em consideração as mudanças litológicas ocorrentes. Depois de recolhidas, as amostras foram devidamente armazenadas em sacos plásticos, identificadas quanto à sua profundidade e transportadas até o laboratório.

#### 4.2 - TRABALHO DE LABORATÓRIO

##### 4.2.1 - Caracterização granulométrica

Através deste método foi possível se determinar o conteúdo de argila, silte e areia presente nas amostras retiradas dos poços de monitoramento.

De posse dos dados obtidos com a referida metodologia, foram construídas computacionalmente curvas de caracterização granulométrica, através da plotagem dos tamanhos dos grãos com uma frequência acumulada, o que permitiu posteriormente estimar o valor da condutividade hidráulica pelo método de Hazen (Equação 5).

$$K = C.(d_{10})^2 \quad (5)$$

##### 4.2.2 - Determinação da porosidade ( $\eta$ )

A porosidade de uma rocha à relação existente entre o volume dos poros e o volume total, é expressa em percentagem ou fração decimal, calculada através da equação 6.

$$\eta = \frac{V_v}{V_t} * 100 \quad (6)$$

## 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 - CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DA ÁREA

#### 5.2.1 - Instalação de poços de monitoramento

Foram instalados 10 poços de monitoramento, sendo que à título de exemplo serão apresentados os dados obtidos em cinco deles (PM-05, PM-06, PM-07 e PM-08).

Todo o perfil do poço PM-5 é formado por argilas de coloração avermelhada, variegada e cinza (Figura 5). Algumas camadas de argila arenosa avermelhada foram encontradas em sua parte superior, nos seis primeiros metros. Sua profundidade é de 18 metros e o lençol freático encontra-se aproximadamente a 3 metros de profundidade. As características litológicas encontrada na construção do PM-6 encontram-se representadas na Figura 5.

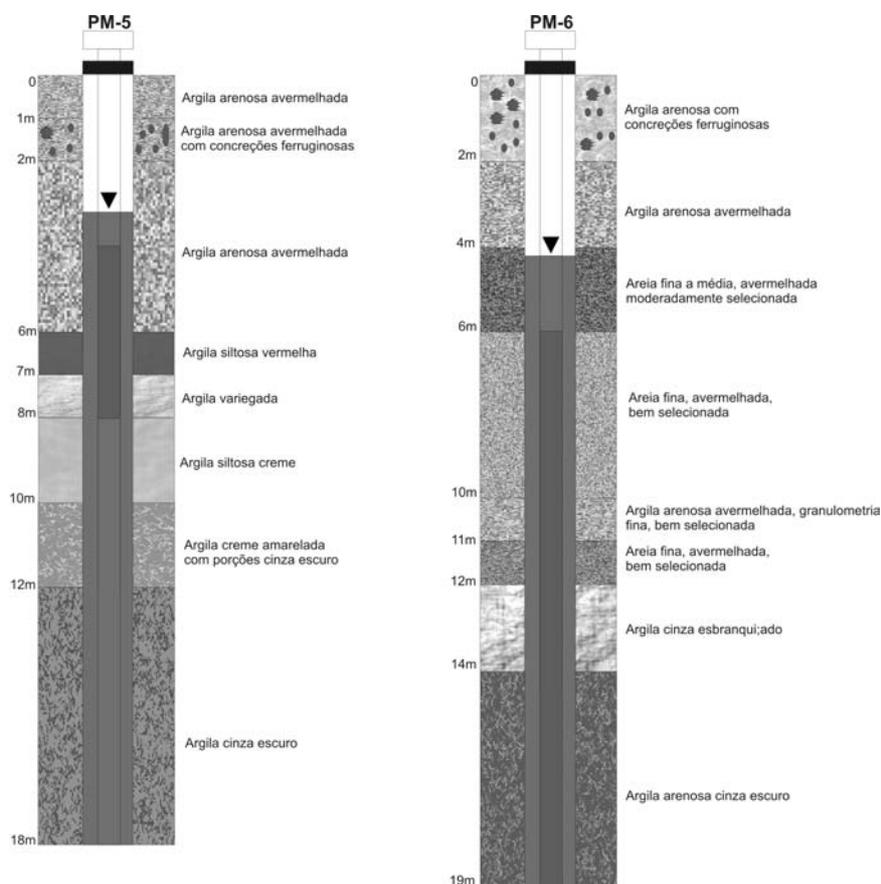


Figura 5 - Perfil litológico do poço de monitoramento PM-5 e PM-6.

Apresenta uma profundidade de 19 metros, formado inicialmente por um pacote de 4 metros de argila arenosa mudando de coloração creme para avermelhada, seguida de um pacote de 6 metros de areia fina a média, avermelhada. Após esse pacote, há uma camada fina de 1 metro de argila arenosa avermelhada, seguida de 1 metro de areia fina avermelhada. Em seguida, são encontradas camadas de argila cinza, variando de esbranquiçado para escuro.

O poço PM-7 possui uma profundidade de 18 metros (Figura 6), apresenta uma semelhança com o PM-6 em especial pela presença na parte superior de argila arenosa com concreções ferruginosas. Esse perfil é quase todo formado por argilas que variaram de coloração avermelhada para cinza. Somente uma camada de areia fina a média avermelhada foi encontrada em profundidades de 8 a 10 metros. O lençol freático encontra-se aproximadamente a seis metros de profundidade.

O poço PM-8 (Figura 6), possui uma profundidade de 20 metros, seu perfil litológico apresenta na parte superior uma camada de 2 metros de argila arenosa marrom esverdeada.

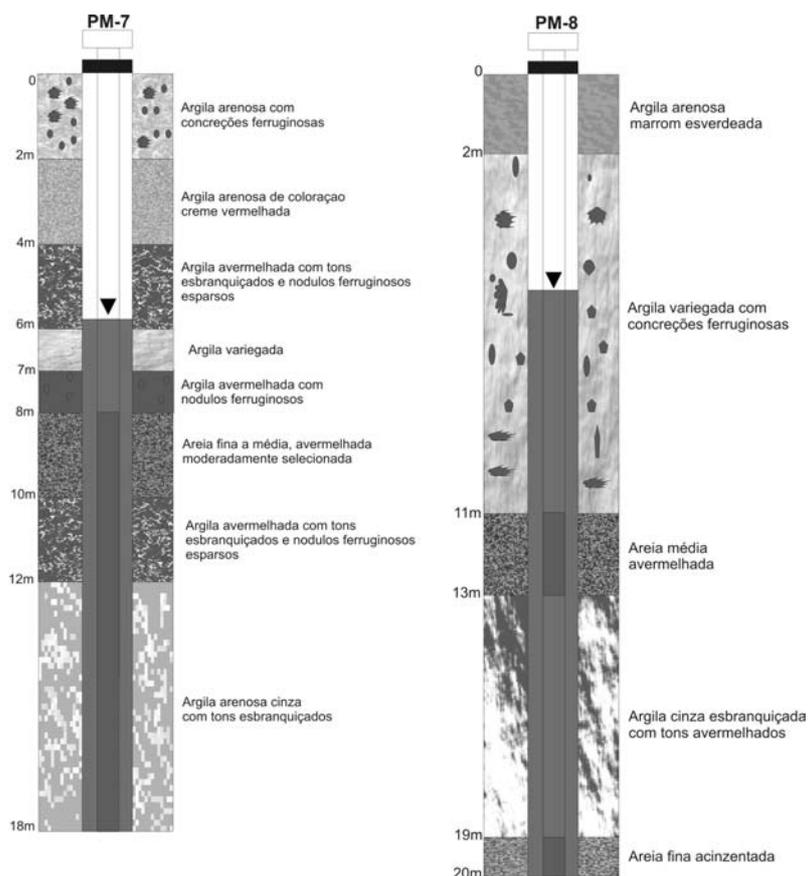


Figura 6 - Perfil litológico do poço de monitoramento PM-7 e PM-8.

Em seguida há uma camada de aproximadamente 9 metros de argila variegada com concreções ferruginosas associada ao Grupo Barreiras. Devido esta camada se encontrar acima de uma camada de 2 metros de areia média avermelhada a mesma passa a atuar como uma camada

selante e protetora. Logo em seguida há uma outra camada de 6 metros composta de argila cinza esbranquiçada com tons avermelhados. Na parte inferior ocorre uma camada de 1 metro de areia fina acinzentada.

### 5.2.2 - Comportamento do lençol freático

No presente estudo, executou-se medidas de nível estático em cada um dos poços de monitoramento, entre os meses de junho/2006 e dezembro/2006, sendo associados os dados obtidos no mês de outubro ao período seco e os do mês de dezembro como período chuvoso, visto que são os que representam menor e maior precipitação, respectivamente dentro do período de medidas.

A variação da profundidade do lençol freático é fortemente influenciado pela precipitação pluviométrica, o que indica que os mesmos se comportam como área de recarga das águas subterrâneas e que provavelmente estão sofrendo influência dos lagos que são bombeados periodicamente.

Os poços localizados na margem do lago Bolonha (PM-6 e PM-7) mostram concordância nas variações dos níveis, provavelmente, pela influência da maré ou porque esses poços estão interligados com o mesmo aquífero.

### 5.2.3 - Estimativa da condutividade hidráulica por ensaio de bombeamento

Foram executados ensaios de bombeamento nos poços de monitoramento existentes na área de estudo visando a determinação da condutividade hidráulica (K). No decorrer dos ensaios, o rebaixamento dos poços foi monitorado e medido periodicamente através de medidor eletro-sonoro, mediante uma vazão constante controlada por períodos de tempo iguais. Os valores coletados foram inseridos no programa computacional Aquifer Test, o que utiliza o Método de Jacob (1966) para estimar os valores referentes à condutividade hidráulica, os resultados encontram-se representados nas Figuras 7 a 10.

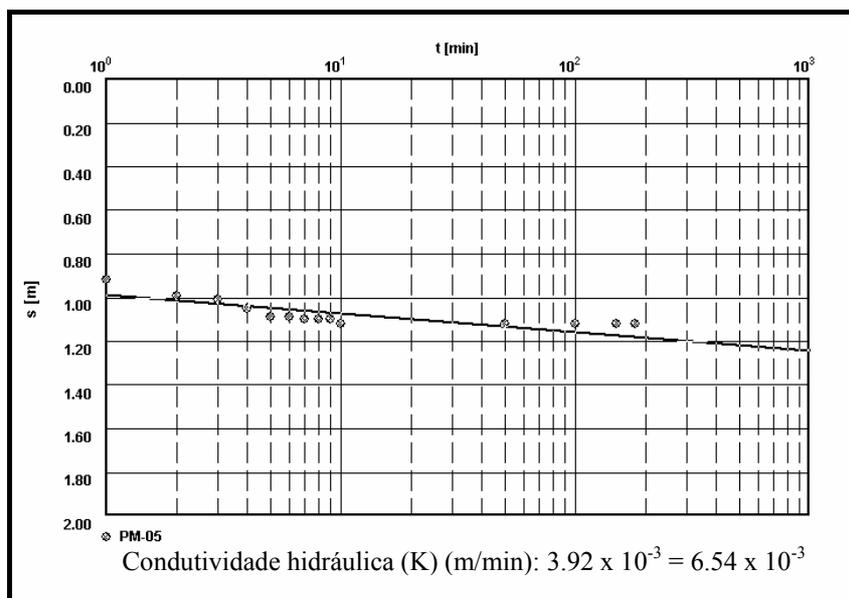


Figura 7 - Evolução do rebaixamento do PM-5 em função do tempo de bombeamento (escala semilogarítmica).

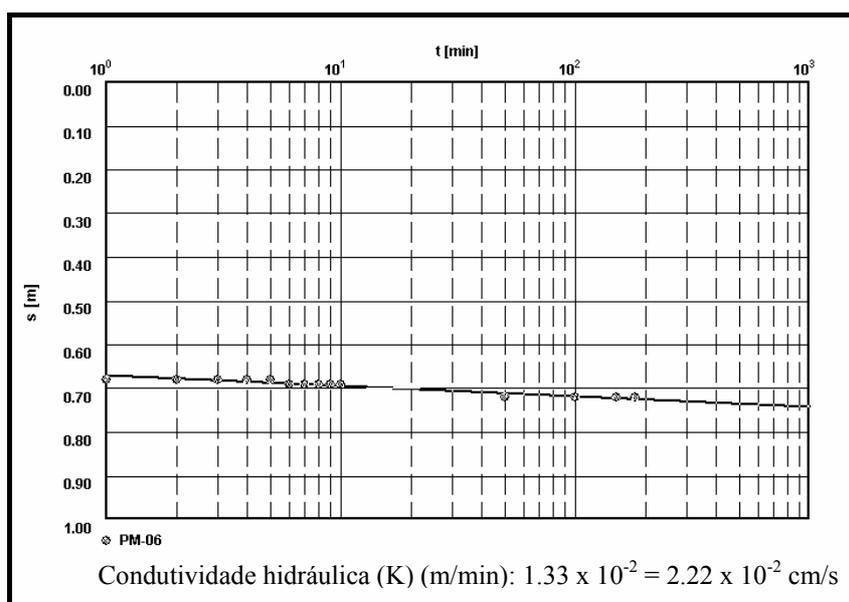


Figura 8 - Evolução do rebaixamento do PM-6 em função do tempo de bombeamento (escala semilogarítmica).

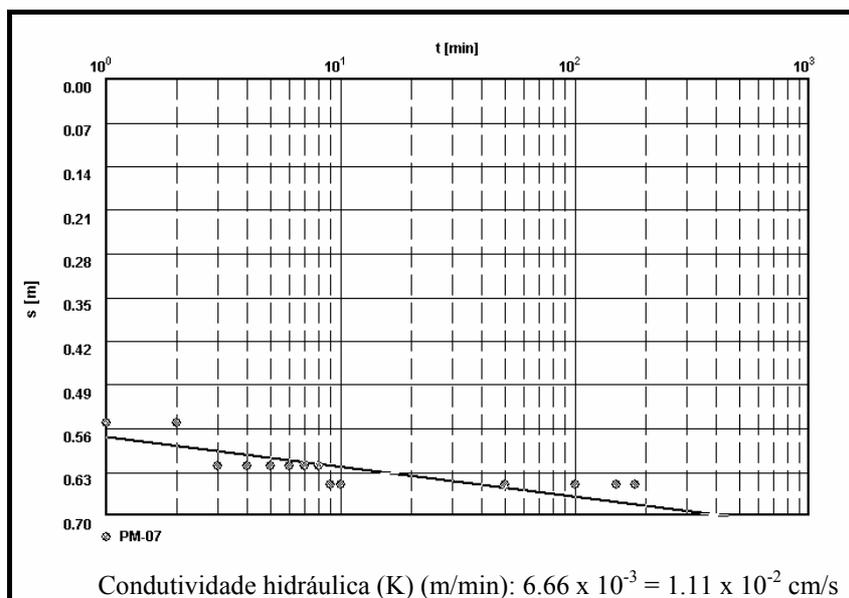


Figura 9 - Evolução do rebaixamento do PM-7 em função do tempo de bombeamento (escala semilogarítmica).

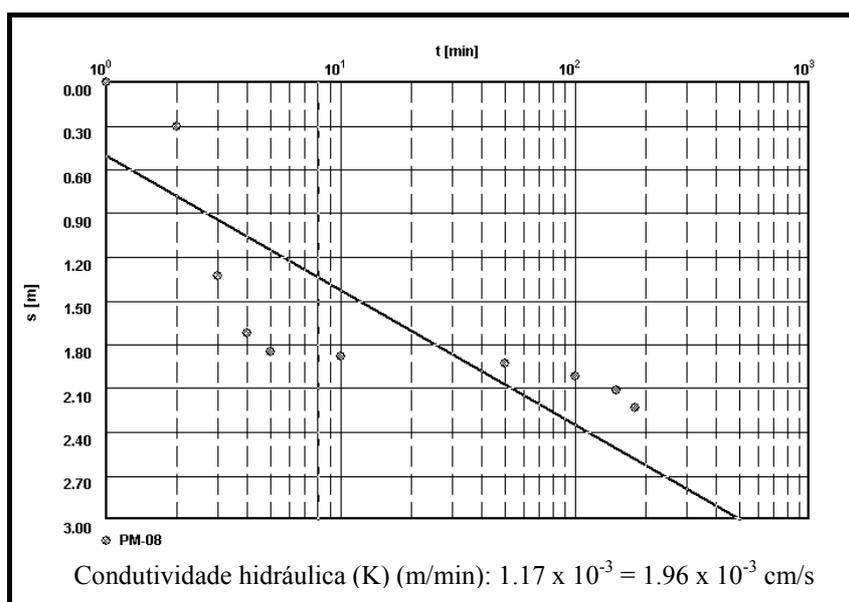


Figura 10 - Evolução do rebaixamento do PM-8 em função do tempo de bombeamento (escala semilogarítmica).

#### 5.2.4 - Determinação da porosidade

Os valores de porosidade foram estimados em média em 20%, em virtude das características litológicas dos sedimentos presentes nos aquíferos serem predominantemente areia. Para essa estimativa foram considerados os valores de porosidade disponíveis na literatura especializada, para diferentes materiais geológicos, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores representativos de porosidade efetiva para alguns materiais geológicos.

Litologia	Porosidade Efetiva (%)
Argila	1 – 10
Areia	10 – 30
Cascalho	15 – 30
Areia e cascalho	15 – 25
Arenito	5 – 15
Folhelho / Calcário	0,5 – 5

**Fonte:** Driscoll (1987).

### 5.2.5 - Gradiente hidráulico e velocidade dos fluxos subterrâneos

Foram calculados os gradientes entre todos os poços de monitoramento localizados na área e para efeito de cálculo obteve-se a média entre eles, tanto no período chuvoso, quanto no período seco.

O gradiente hidráulico calculado na área mudou de 0,0033 m/m na época de chuvas para 0,0023 m/m na época de seca. Essa variação é causada pela flutuação do lençol freático, que nas cotas topográficas mais altas experimenta maiores mudanças. Na época de chuvas, nas cotas topográficas mais elevadas, o lençol freático apresenta maiores elevações ao se comparar com o lençol das cotas topográficas mais baixas, que por atuar como zona de descarga, mostra menores mudanças, originando maiores gradientes hidráulicos na área.

Com os valores de porosidade, condutividade hidráulica e gradiente hidráulico, pode-se realizar a estimativa da velocidade do fluxo ( $v$ ) da água na área, a fim de se estimar a distância aproximada percorrida por prováveis poluentes de maior mobilidade geoquímica.

Para efeito de cálculo, utilizou-se a média dos valores obtidos de condutividade hidráulica através dos ensaios de bombeamento (por se tratar de um método bem mais eficaz para obtenção dos valores relacionados à condutividade hidráulica) nos poços de monitoramento, cujo valor médio foi de  $7,584 \times 10^{-5}$  m/s. Este valor, em conjunto com o valor de 20% de porosidade e o valor médio de 0,0028 referente ao gradiente hidráulico da área, permitiu estimar a verdadeira velocidade dos fluxos. Portanto, a estimativa da velocidade dos fluxos laminares da água e dos poluentes de maior mobilidade geoquímica correspondem a 33,39 m/ano.

Com as informações obtidas através de dados topográficos, em conjunto com as medidas de profundidade do lençol freático correspondentes ao tempo de seca e de chuva, elaborou-se um mapa visando simular o comportamento do fluxo subterrâneo. Os resultados hidrodinâmicos obtidos com os métodos diretos, indicaram que o fluxo subterrâneo na área de estudo segue no sentido norte-sul (Figura 11).

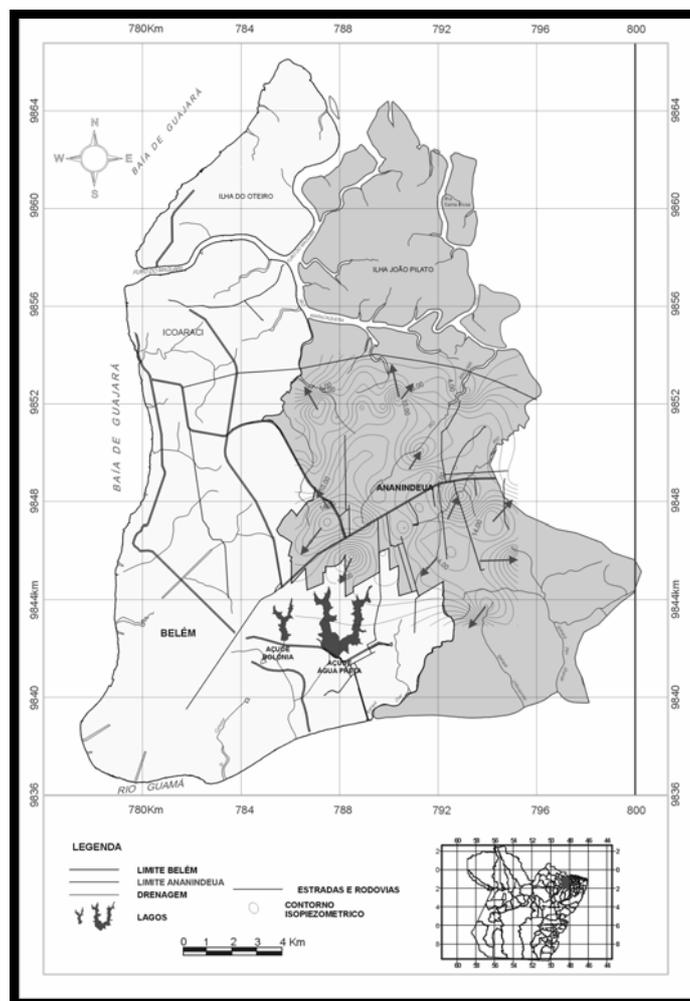


Figura 11 – Mapa de fluxo da Região Metropolitana de Belém.

#### 5.4 – INFLUÊNCIA DOS IMPACTOS URBANOS NOS RECURSOS SUBTERRÂNEOS DA ÁREA

No caso da Bacia Hidrográfica do Utinga, os riscos mais iminentes identificados, são os relacionados com os recursos hídricos subterrâneos e superficiais. O fato dos lagos e igarapés da área encontrarem-se localizado nas cotas topográficas relativamente baixas (entre 0 e 5 m), numa área de proteção ambiental, que apresenta características geológicas vulneráveis, coloca em alto grau de vulnerabilidade o sistema hídrico superficial e subterrâneo.

Os recursos hídricos próximos ao local onde encontram-se as fontes de contaminação, podem ser atingidos e degradados ambientalmente com maior agressividade, já que o lixiviado, devido à pouca distância percorrida, não teve a possibilidade de sofrer os processos de transformação e biotransformação que podem atenuar a sua virulência ambiental. Nesse sentido, foram consideradas as distâncias de 200, 500 e 1000 m das principais fontes antropogênicas localizadas próximas à área de estudo, assim como as cotas topográficas da referida área (Figura 12).

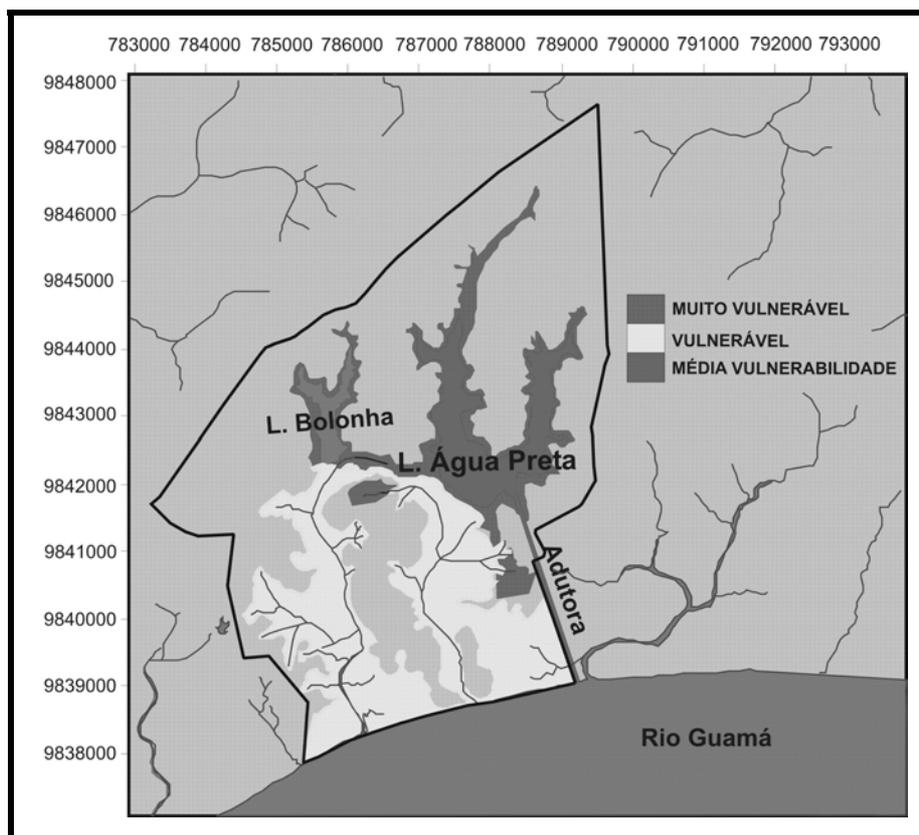


Figura 12 - Vulnerabilidade do sistema hídrico superficial na área de abrangência da Bacia Hidrográfica do Utinga, considerando a cota topográfica de 5m e distâncias das principais aglomerações urbanas.

A área ocupada localizada dentro da cota topográfica de 10 m, está indicando que uma eventual pluma de contaminação pode atingir rapidamente o sistema hídrico superficial da área, localizado mais próximo das fontes antropogênicas e que provavelmente diminuem na medida que vão se afastando.

## 6 - CONCLUSÕES

Parte do abastecimento de água da RMB é oriundo do Rio Guamá, o qual tem como reservatórios intermediários os lagos Água Preta e Bolonha que conjuntamente constituem o manancial do Utinga. A ocupação das áreas entorno desse sistema é feita, principalmente, pela população de baixa renda, que não dispõe de saneamento básico e por isso lança indiscriminadamente seus esgotos domiciliares e lixo às margens desses cursos d'água. Somando-se a isso, ocorre um extenso desmatamento, ocasionando diversos problemas tais como a lixiviação do solo e um intenso assoreamento nos referidos mananciais. Além disso, as águas superficiais estão sujeitas à contaminações causadas por resíduos industriais, fossas sépticas, lixões, etc., tendo,

portanto, que passar por uma série de tratamentos para poder tornar-se própria ao abastecimento público, elevando dessa forma o custo para a população local.

Na análise da distribuição geométrica dos aquíferos, percebe-se que o tipo de aquífero predominante na área é do tipo confinado, protegido por camadas de material argiloso que variam de 4 a 15 metros.

Ensaio de bombeamento realizados na área apresentaram valores de condutividade hidráulica entre  $1,24 \times 10^{-3}$  e  $6,71 \times 10^{-3}$  cm/s (média de  $7,58 \times 10^{-5}$  cm/s), com valores médios de porosidade efetiva de aproximadamente 20%, valor médio do gradiente hidráulico de 0,0028, mostrando que os fluxos subterrâneos se deslocam a uma velocidade de aproximadamente 33,39 m/ano.

Os resultados hidrodinâmicos obtidos com os métodos diretos, indicaram que o fluxo subterrâneo segue na direção norte-sul, em direção aos mananciais de abastecimentos – Lagos Bolonha e Água Preta. Os diferentes estudos desenvolvidos nos recursos hídricos subterrâneos mostram a eminente vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos da área.

## 7 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq – Conselho Nacional de Pesquisa, pelo financiamento do projeto de pesquisa “Estudo Hidrogeológico da Bacia Hidrográfica do Utinga”, Processo Nº 476413-2004-4.

## 8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. 1997. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 13895 *Construção de poços de monitoramento e amostragem*. 21p.

BAHIA, V. E. 2003. *Estudo hidrogeológico da área localizada entre o Depósito de Lixo Metropolitano de Belém (Aurá) e o Lago Água Preta*. Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 117 p. (Dissertação de Mestrado).

CENSA/COSANPA. 1983. *Diagnóstico do estudo urbanístico de proteção sanitária dos lagos Bolonha e Água Preta*. II: Estudo da qualidade de proteção das águas. Belém, Consultoria – Engenharia / Companhia de Saneamento do Pará. 279p.

DRISCOLL, G. 1987. *Groundwater and wells*. 2 Ed. St Paul; Johnson Division. 1088p.

- FARIAS, E. dos S.; NASCIMENTO, F.S. do; FERREIRA, M.A.A. 1992. *Mapeamento da área Belém-Outeiro*. Estágio de campo III. Relatório Final. Belém, UFPA. 247p.
- FETTER, C.W. 1994. *Applied Hydrogeology*. 3 ed. New Jersey. 691p.
- IDESP. 1980. *Projeto reconhecimento dos recursos naturais da Região Metropolitana de Belém. Reconhecimento hidrogeológico. Anexo I*. Belém, Instituto de Desenvolvimento Econômico Social do Pará. 11p.
- JACOB, C.E. 1966. Non-steady radial flow in an infinite leaky aquifer. *Transactions Am. Geophysical Union*, **36**:95-100.
- MATTA, M.A. DA S. 2002. *Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos da Região de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil*. Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 292p. (Tese de Doutorado).