

CAPÍTULO I

CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS E ANÁLISE DA INTERFACE ÁGUA DOCE/ÁGUA SALGADA DO AQUÍFERO PIRANEMA NA PLANÍCIE COSTEIRA DE ITAGUAÍ – RJ

CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS E ANÁLISE DA INTERFACE ÁGUA DOCE/ÁGUA SALGADA DO AQUIFERO PIRANEMA NA PLANÍCIE COSTEIRA DE ITAGUAÍ – RJ

Soraya Gardel Carelli ¹, Clarisse Tavares de Arraes Alencar ², Regina Célia Santos de Souza ³ e Olga Venimar de Oliveira Gomes ⁴.

RESUMO

O município de Itaguaí está inserido na bacia hidrográfica do Rio Guandu, localizado na Baía de Sepetiba, numa região que engloba áreas de manguezais e estuarinas, e que se encontra em franco desenvolvimento industrial com atividades como extração de areia, ampliação do Porto de Itaguaí e implantação dos portos Sudeste e Usiminas. A região ainda está à margem do Distrito Industrial de Santa Cruz, onde estão instaladas indústrias do ramo siderúrgico, químico e termoeletrico. Sob esses empreendimentos encontra-se o Aquífero Sedimentar Piranema. Não se sabe ainda a dimensão dos impactos ambientais aos quais esse aquífero vem sendo submetido em função do desenvolvimento desses empreendimentos. Esta pesquisa buscou estabelecer os valores de condutividade hidráulica do referido aquífero, bem como compreender a influência da maré no aquífero Piranema em Itaguaí como agente da propagação de possíveis contaminações em subsuperfície. Para tanto, foram realizadas medições dos níveis d'água em piezômetros, testes de permeabilidade do aquífero e comparações com a oscilação da maré na Baía de Sepetiba. Calcula-se que a zona de interface água doce/salgada esteja a 100 m de profundidade e estima-se que a influência da maré sobre o aquífero é irrelevante quanto à propagação de possíveis contaminantes.

Palavra Chave – água subterrânea, cunha salina, aquífero sedimentar, condutividade hidráulica.

ABSTRACT

Itaguaí municipality is inserted in the Guandu River Basin and located at Sepetiba Bay. Its environments encompass mangroves and estuarine areas and has been rapidly developed with industrial activities such as sand mining and several port expansions like Itaguaí Port, Southeast Port and Usiminas Port. The region is also bordering the industrial district of Santa Cruz, where there are installed steel, chemical, thermoelectric and other business industries. All these ventures are settled above the Piranema Sedimentary Aquifer and, until now, the extension of environmental impacts that this aquifer has been submitted with all these neighborhood development is not clearly known. This research aims to establish the values of hydraulic conductivity for this aquifer and understand the influence of the marine tide in the Piranema aquifer at Itaguaí as an agent for possible subsurface contamination spread. It was made water levels measurements using piezometers, permeability tests of the aquifer and comparisons of Sepetiba Bay tide oscillations performance. It was calculated that freshwater/saltwater interface would be at 100 m depth and that the tidal influence on the aquifer is irrelevant for possible contaminants spreading.

Keywords – groundwater, saline wedge, sedimentary aquifer, hydraulic conductivity.

1. Departamento de Geologia, Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, BR 465, Km 7 - Seropédica, RJ, 23.890-000. E-mail: carelli@ufrj.br

2. Geóloga da TALWEG Suporte Geoambiental.

3. Geóloga graduada pela UFRRJ.

4. Departamento de Ciências Administrativas e do Ambiente, Instituto Três Rios, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Três Rios, RJ.

INTRODUÇÃO

O aquífero consiste numa rocha ou sedimento que armazena e transmite quantidades significativas de água, sob gradiente hidráulico natural, sendo o termo “quantidades significativas” relativo e dependente do uso final da água (CLEARY, 2007). Para estudar o comportamento e distribuição das águas subterrâneas numa área deve-se considerar inicialmente uma revisão dos estudos geológicos desenvolvidos na região, já que os tipos de rochas por onde percolam a água determinam suas características químicas e hidrodinâmicas. Tratando-se de aquíferos sedimentares, podem ser formados por sedimentos inconsolidados ou por rochas sedimentares (FETTER, 2001). O Aquífero Piranema consiste em um aquífero sedimentar formado por sedimentos inconsolidados.

Dentre os sedimentos que formam um sistema aquífero, os mais relevantes são aqueles preservados em depósitos aluvionares, eólicos e coluvionares. Tanto nos depósitos aluvionares quanto nos coluvionares, a distribuição granulométrica dos sedimentos é complexa em função da mobilidade dos leitos dos rios e as constantes variações de velocidade de sedimentação das partículas sólidas, resultando numa heterogeneidade hidrodinâmica do aquífero (FEITOSA E MANOEL-FILHO, 1997). Normalmente esses depósitos apresentam uma sequência vertical que varia de areias grossas e cascalhos das bases dos canais até siltes e argilas no topo resultante da deposição nas planícies de inundação (Figura 01).

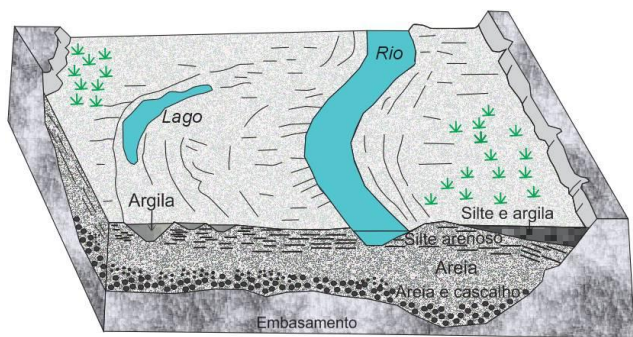


Figura 01: Bloco esquemático da distribuição de sedimentos aluvionares.
Fonte: Fetter (1994; in Gomes, 2012).

Em regiões costeiras, a entrada da água salgada em subsuperfície pode provocar o deslocamento da massa de água subterrânea, influenciando o comportamento de contaminantes eventualmente dissolvidos nos aquíferos. Sabe-se que, em condições naturais, ocorre o contato da água doce com a água do mar e, considerando que essas águas são miscíveis, existe uma zona de transição onde, por processos de difusão, estas águas se mesclam progressivamente (CUSTODIO E LLAMAS, 1983). O deslocamento dessa zona de mescla ocorre por redução do fluxo de água doce para o mar, variação da permeabilidade dos sistemas aquíferos em função da heterogeneidade litológica, diferença de densidade e oscilações das marés (CUSTODIO E LLAMAS, 1983), conforme Figura 02. A zona de mescla “água doce-água salgada” pode ser influenciada pela redução do fluxo de água doce para o mar, permeabilidade dos sistemas, diferença de densidade entre os fluidos e oscilações das marés (GOMES, 2012).

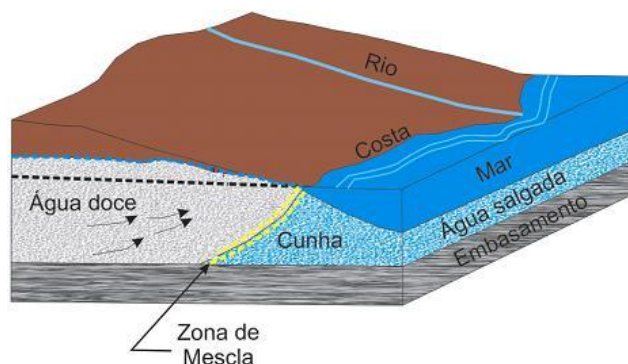


Figura2: Cunha de água salgada. (CUSTÓDIO E LLAMAS, 1976).

De acordo com Custodio e Llamas (1983), a coluna de água doce capaz de ser sustentada pela água salgada pode ser calculada através da equação de Ghyben-Herzberg (Eq. 2):

$$Z = (\rho_d / \rho_s - \rho_d) h \quad (1), \text{ onde:}$$

ρ_d = densidade da água doce (1,000 g/cm³)

ρ_s = densidade da água do mar (1,025 g/cm³)

h = elevação do nível de água subterrânea em relação à cunha salina

Z = profundidade da interface em relação ao nível do mar.

Logo:

$$Z = 40 h$$

Desta forma, o modelo de Ghyben-Herzberg propõe que a profundidade da cunha salina numa zona costeira corresponde a 40 vezes a elevação do nível freático em relação ao nível do mar (Gomes, 2012). Obviamente, este valor é aproximado e varia entre 33 e 50 vezes para densidades da água do mar entre 1,02 e 1,03 (CUSTODIO E LLAMAS, 1983). O método de Ghyben-Herzberg constitui um modelo e considera as seguintes simplificações:

- Existência de um equilíbrio hidrostático entre os fluidos na zona de mescla;
- O limite entre a água doce e água salgada é plano;
- Não há gradiente vertical;
- Não há perdas ou obstáculos para o avanço da água do mar no continente.

Quanto às características hidrodinâmicas dos aquíferos, o movimento da água subterrânea em meios porosos é complexo devido à irregularidade dos poros (porosidade) e de suas conexões (permeabilidade). A propriedade que está interligada com a função de condução de água do aquífero é a permeabilidade, que consiste na capacidade de um meio poroso em transmitir água. A condutividade hidráulica (k) é a mais importante propriedade a governar o movimento da água em meios como solos, rochas ou sedimentos, podendo ser definida como sendo a maior ou menor facilidade da água de fluir em um determinado meio através de seus vazios

(MAZIERO et al., 2005). A eficiência do aquífero relacionada ao abastecimento público depende de suas propriedades físicas.

Para alcançar o entendimento sobre a condutividade hidráulica de um aquífero, faz-se necessário detalhar parâmetros como a permeabilidade do sistema aquífero estudado, dados sobre o gradiente hidráulico e a porosidade efetiva. Segundo LAGE (2005), a permeabilidade pode ser considerada a mais importante propriedade hidráulica para determinação de modelos que simulam processos físicos, químicos e biológicos para prognósticos, como movimentos de contaminantes em subsuperfície e regimes de águas para irrigação. Apesar de muitas vezes os aquíferos isotrópicos em simulações simplificadas do comportamento de contaminantes na zona saturada serem mais avaliados, fato é que dificilmente caracterizaremos o solo de uma determinada região como homogêneo, sendo esse um dos principais motivos das variações dos aspectos hidrodinâmicos de muitas áreas estudadas. No presente estudo ainda é feita a determinação do parâmetro “permeabilidade”, a partir das metodologias de *Hvorslev (1951) appud Fetter (2001)* e *Bouwer & Rice (1976) appud Fetter (2001)*, para o Aquífero Piranema com ensaios de *slug tests*.

1.1. Caracterização do Sistema Aquífero Piranema

O aquífero Piranema localiza-se na planície costeira da Baía de Sepetiba, nas imediações dos municípios de Itaguaí e Seropédica. A relevância no levantamento das características físicas desse aquífero remete ao conhecimento das características físicas da zona saturada e insaturada desse sistema hídrico em áreas classificadas para um uso exclusivamente industrial que foram assim determinadas através do Zoneamento Industrial da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. A caracterização dos parâmetros físicos nessas áreas consiste em subsídio para prognósticos de impactos ambientais que eventualmente poderão ocorrer considerando suas futuras ocupações industriais.

O aquífero poroso da bacia contribuinte da Baía de Sepetiba compreende os municípios de Itaguaí e Seropédica e denomina-se aquífero Piranema (BARBOSA, 2002). Segundo Marques *et al.* (2008), esse aquífero passa por flutuações de nível da superfície

freática ao longo de períodos sazonais em função de se tratar de um aquífero essencialmente livre. Esses autores sugerem também que essas regiões são afetadas por atividades antrópicas que também influenciam a química do aquífero.

Ainda segundo Barbosa (2002), na área da Piranema pode-se sugerir preliminarmente a existência de aquíferos múltiplos e/ou superpostos, de ocorrência livre ou localmente semi-confinados constituídos por matriz grossa arcossiana, separados eventualmente por argilas de ocorrência e espessura variável. O nível da água subterrânea é raso, variando entre 3 e 7,5 metros, conforme a estação climática. Perfurações na área de estudo indicam espessuras da camada sedimentar variando entre 25 e 30 metros (MARQUES *et al.*, 2008). Sondagens geofísicas também registram espessuras semelhantes para o pacote sedimentar (CARELLI, 2008). Todavia, existem registros bibliográficos acusando a espessura de 75 metros para a baixada de Sepetiba de um modo geral (CEDAE, 1986).

A geologia local é formada por sedimentos quaternários de origem fluvial, flúvio-lacustre e flúvio-marinhos depositados sobre o embasamento Pré-Cambriano (GÓES, 1994). Tais sedimentos constituem a Formação Piranema que caracteriza a unidade hidroestratigráfica homônima (TUBBS, 2005). A área de estudo inserida na planície costeira de Itaguaí está localizada na extremidade sudoeste do Estado do Rio de Janeiro, a nordeste da Baía de Sepetiba, entre as latitudes de 22°54' a 23°04' Sul e longitude 43°34' e 44°10' Oeste (Figura 03). O desenvolvimento deste estudo, além de fomentar o interesse pelas questões ligadas às águas subterrâneas, tem como objetivos definir as condições hidrodinâmicas do aquífero Piranema e verificar a possível relação da variação do nível d'água nesse aquífero com as oscilações de maré, a partir da interface água doce/água salgada.



Figura 3: Localização da área de estudos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados foram coletados entre dezembro de 2007 e dezembro de 2008 e, no início da pesquisa, foram realizadas sondagens e instalados 21 piezômetros no município de Itaguaí, estando os mesmos localizados nas imediações da empresa Nuclebrás Equipamentos Pesados S.A. (NUCLEP), na Ilha da Madeira (Itaguaí), com acesso principal pela BR-101; na área de propriedade da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), também com acesso principal pela BR-101, e dentro da área da Petrobras Química (PETROQUISA) com acesso principal pela estrada do Trapiche. Todos os pontos estão localizados no município de Itaguaí.

As sondagens foram executadas com base na norma ABNT NBR 6484/80. Esta Norma prescreve o modo de execução de sondagens de reconhecimento do subsolo, também denominadas sondagens a percussão, cuja finalidade é a exploração para perfuração e amostragem do solo e medidas do índice de resistência e penetração.

Após a execução dos furos de sondagem foram colocados tubos de PVC geomecânicos, sendo o espaço anelar preenchido por material quartzo-feldspático de granulometria específica e adequada às ranhuras existentes na parte filtrante do tudo de PVC. Para limpeza dos sedimentos de fundo, oriundos da etapa de instalação, foi realizada a purga do poço, retirando o volume de água necessário para que se obtivesse água com pouca turbidez.

Para as medições das variações dos níveis d'água nos piezômetros instalados foram utilizados medidores de nível d'água de 30 metros (Hidrosuprimentos modelo: HSNA-30) - os quais são compostos por um sensor preso em uma fita métrica que emite um ruído ao entrar em contato com a água - e transdutores de Pressão do tipo Levelogger e Barologger (Solinst®).

O Levelogger e o Barologger são transdutores de pressão utilizados para medir respectivamente a pressão da coluna d'água do poço e a pressão barométrica do ambiente (dispositivos que determinam o nível d'água através da pressão exercida sobre eles). O Levelogger fica instalado submerso, enquanto que o Barologger é colocado na superfície do solo. O primeiro faz a leitura da pressão total (pressão da água + pressão barométrica) e o segundo faz a leitura da pressão barométrica. Através do *software* Levelogger 3.2.3 foi possível efetuar a compensação da pressão barométrica, ou seja, estimar os valores exclusivos da coluna da água acima do transdutor de pressão. Estes equipamentos ainda fornecem dados de temperatura do ambiente onde se encontram.

O cálculo da permeabilidade relativa do aquífero Piranema foi realizado baseando-se na variação do nível d'água, pois o nível natural da água do aquífero foi alterado para uma posição denominada nível inicial durante o ensaio e, posteriormente, avaliada a capacidade do nível da água voltar à posição inicial ao longo do tempo de ensaio. Para esse trabalho utilizamos o método *slug test*. O método de execução do *slug test* na área consiste em aplicar uma carga de peso, através da introdução repentina de um volume sólido constituído por um tubo de PVC de 1,5" de diâmetro e 2 m de comprimento, preenchido totalmente com areia lavada (Figura 04). Este sólido provocou uma elevação instantânea do nível d'água. Segundo Lage (2005), a taxa com a qual o nível d'água no poço rebaixa deve ser medida aplicando o método apropriado para sua análise.

A estabilização do nível d'água após a inserção do sólido no piezômetro foi monitorada por um transdutor de pressão do tipo Levelogger e a compensação barométrica foi possível graças à utilização do Barologger. Segundo Fetter (2001), os métodos de interpretação mais usados para *slug tests* são os métodos de Hvorslev e Bower & Rice, pois esses métodos são usados para interpretar dados gerados através de ensaios em aquíferos livres e no caso de aquíferos com respostas não oscilatórias.



Figura 4: Inserção do sólido no piezômetro (*slug test*).

O resultado obtido no monitoramento da posição do nível d'água é uma curva de rebaixamento ou recuperação do nível d'água versus o tempo. Desta curva são extraídos os parâmetros que, juntamente com as características geométricas do piezômetro, fornecem o valor da condutividade hidráulica ou permeabilidade

relativa (DAWSON e JONATHAN apud LAGE, 2005). No presente estudo, os métodos utilizados para interpretar os dados de testes de permeabilidade nas áreas de estudos foram os de Hvorslev (1951) e de Bower & Rice (1976).

Na área de estudos ainda foi selecionado o piezômetro mais próximo da costa, localizado a 4 km do mar, para a estimativa da influência da maré nas águas subterrâneas. Esse monitoramento foi realizado nos dias 13 e 14 de dezembro de 2008. O nível d'água foi monitorado em um intervalo de 30 segundos por um período de 17 horas através do equipamento Levelogger e corrigido em função da influência da pressão barométrica, graças às medidas realizadas *in situ* com o Barologger.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise da permeabilidade do aquífero Piranema

Os ensaios de *slug test* foram realizados em 18 piezômetros e, através das metodologias de Hvorslev e Bower & Rice, foram analisados os valores de condutividade hidráulica (k) ou permeabilidade relativa para cada piezômetro. Os resultados da permeabilidade são apresentados na Tabela I e o valor médio do coeficiente de permeabilidade identificado foi de $5,26 \times 10^{-6}$ m/s para a metodologia *Hvorslev* e $4,29 \times 10^{-6}$ m/s para *Bower & Rice*. Na área de estudo os valores de permeabilidade variaram em cerca de 3 ordens de grandeza e as duas metodologias apresentaram valores médios próximos. Tal heterogeneidade pode ser explicada pela anisotropia do aquífero local, ora de natureza areno-siltosa, ora argilo-siltosa.

✓ *Análise da permeabilidade na área da CSN*

O valor médio do coeficiente de permeabilidade foi de $5,26 \times 10^{-6}$ m/s para a metodologia *Hvorslev* e $4,29 \times 10^{-6}$ m/s para *Bower & Rice*. Os valores de permeabilidade variaram em cerca de 3 ordens de grandeza em função da anisotropia do aquífero local. Os maiores valores de k, da ordem de 10^{-5} m/s localizaram-se a sul da área, representados pelos piezômetros PZ-01 e PZ-05. Lage (2005) cita que o fator permeabilidade é

inversamente proporcional ao teor de argila e silte o que enfatiza o comprometimento das camadas aquíferas em relação aos teores de sedimentos finos, afirmativa esta que se aplica para a área da CSN.

✓ *Análise da permeabilidade na área da NUCLEP*

As médias das condutividades hidráulicas para ambas as metodologias apresentaram valores muito próximos, que foram de $2,60 \times 10^{-6}$ m/s para a metodologia *Hvorslev* e $2,86 \times 10^{-6}$ m/s para *Bower & Rice*. Os valores de permeabilidade variaram em apenas 1 ordem de grandeza refletindo certa homogeneidade do aquífero da NUCLEP, caracterizado genericamente por uma areia siltosa até aproximadamente 0,70 m que está sobreposta a uma argila siltosa.

✓ *Análise da permeabilidade na área da PETROQUISA*

O valor médio do coeficiente de permeabilidade foi de $5,96 \times 10^{-6}$ m/s para a metodologia *Hvorslev* e $4,12 \times 10^{-6}$ m/s para *Bower & Rice*. Os valores de permeabilidade variaram em cerca de 2 ordens de grandeza e, a partir da comparação entre as duas metodologias, foram detectados valores muito aproximados. Os maiores valores de k, da ordem de 10^{-5} m/s localizaram-se a sudeste desse local e estão representados pelos piezômetros PZ-01 e PZ-06 na Tabela I.

De acordo com a Tabela II, os valores de condutividade hidráulica detectados nos testes de campo (grandezas 10^{-5} ; 10^{-6} ; 10^{-7} m/s) são característicos de camadas aquíferas formadas por areia siltosa. Genericamente, a descrição faciológica das sondagens, realizadas no âmbito do presente estudo, está em conformidade com os valores de permeabilidades detectados através dos testes de permeabilidade *in situ*.

Análise da interface água doce/água salgada no aquífero Piranema

A área estudada possui baixa declividade, com relevo suave e uma altitude média em torno de 3,5 m. O nível d'água médio verificado durante as campanhas de campo foi de 0,98 m. A altitude média do nível d'água nos poços foi de 2,52 m acima do nível do mar. Utilizando-se a

equação de Ghyben-Herzberg (CUSTODIO e LLAMAS, 1983), que associa a elevação do nível de água subterrânea com a profundidade da interface água salgada/água doce levando em consideração a diferença de densidade entre os dois fluidos, estimou-se que a profundidade para a cunha salina estaria em torno de 100 m de profundidade.

Entre os dias 13 e 14 de dezembro de 2008 foi realizado um monitoramento contínuo da variação do nível d'água no piezômetro mais próximo da costa. Os níveis d'água no referido piezômetro foram monitorados num intervalo de 30 segundos num período de 17 horas que resultaram no gráfico da Figura 05 demonstrando a variação do nível d'água juntamente com os dados das oscilações da maré na Baía de Sepetiba. Através desta análise foi possível constatar que, apesar de tênue, há uma relação da variação do nível d'água subordinada à

oscilação da maré, pois à medida que a maré recua, o nível de água diminui; e o inverso também é verdadeiro.

A área estudada compreendeu a periferia do aquífero Piranema mais próxima à Baía de Sepetiba. Foi possível quantificar que a variação do nível d'água foi menor que 1,0 cm e acompanha a oscilação da maré. Tais parâmetros estão correlacionados, já que ao redor da área não foram identificados outros eventos que pudessem influenciar na variação do nível d'água monitorado por 17 horas, como por exemplo, proximidade com rios, bombeamento de poços, etc além da coleta de dados ter sido realizada durante período sem chuvas.

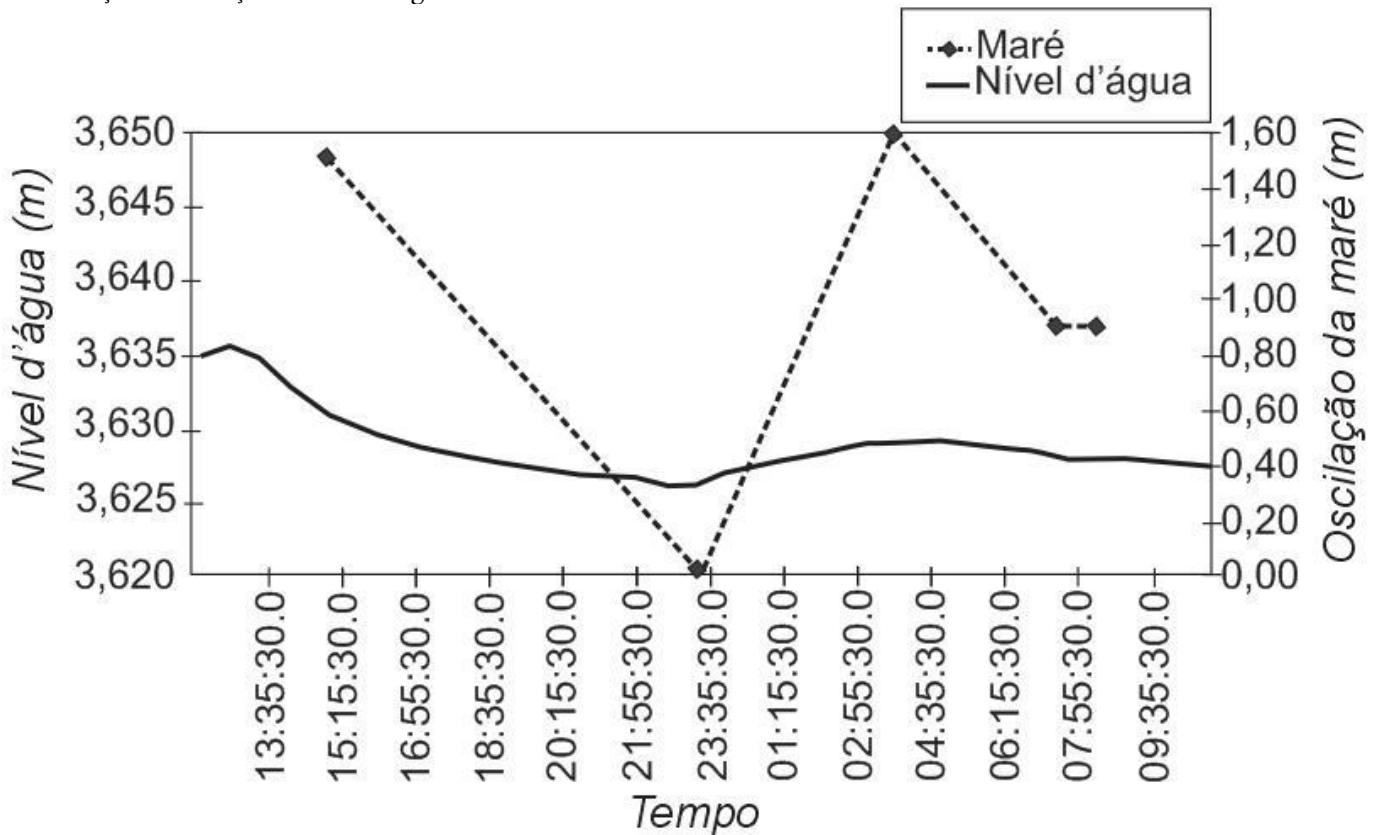


Figura 05 – Gráfico do monitoramento do nível d'água (NA) X Maré em 13 e 14/12/2008.

CONCLUSÃO

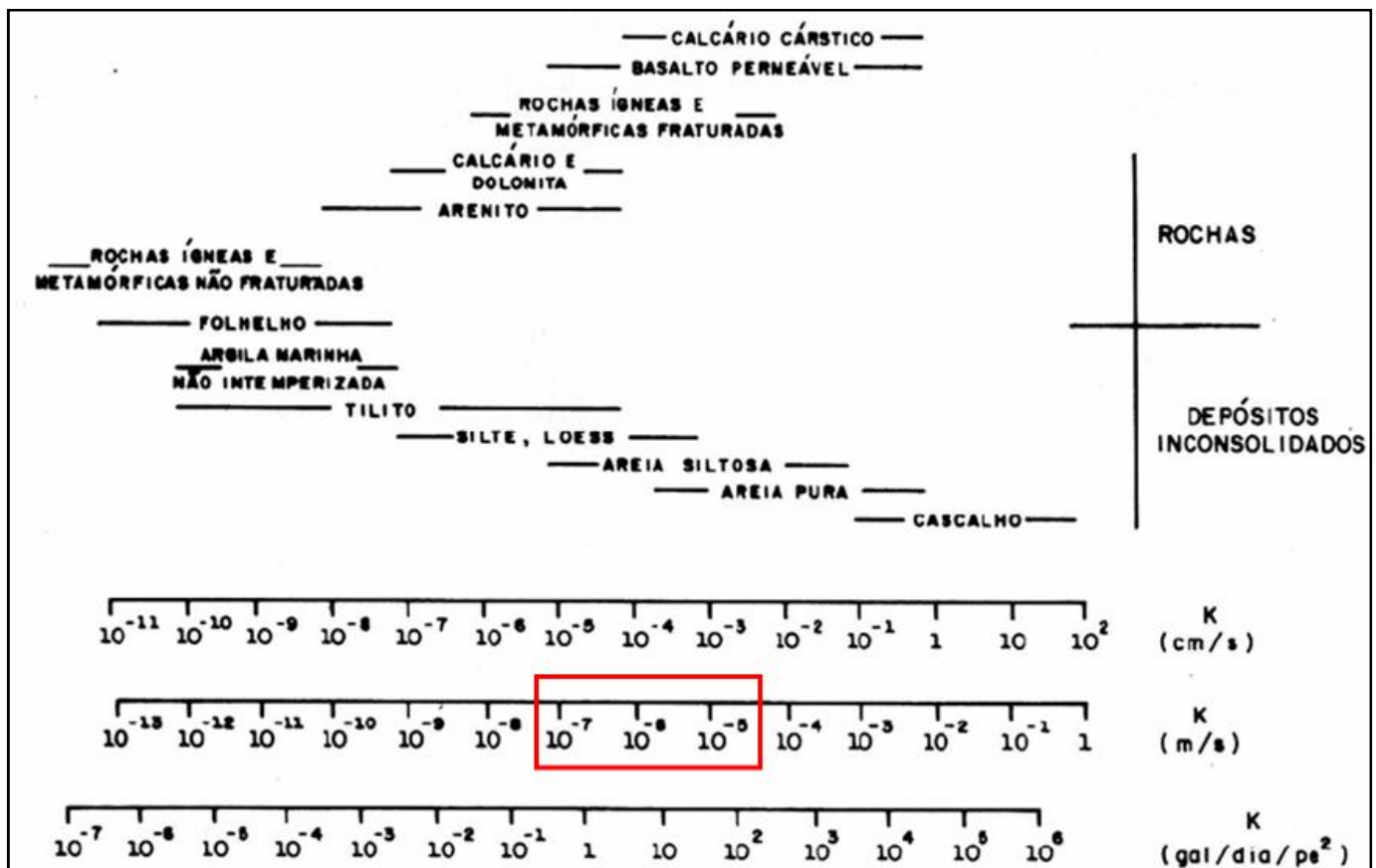
Através dos cálculos da condutividade hidráulica (k), determinados a partir de ensaios de *Slug Test* nas áreas da NUCLEP, CSN E PETROQUISA, observou-se que a condutividade hidráulica apresentou valores médios de grandeza 10^{-6} m/s para todas as áreas, o que permite estimar essa grandeza para o Aquífero Piranema formado por sedimentos areno e argilo-siltosos cenozoicos no município de Itaguaí-RJ. Os perfis geológicos dos poços indicam que pelo menos dois horizontes foram ensaiados para cada poço, que compreenderam: areia siltosa e argila siltosa. A diversidade faciológica identificada nos aquíferos freáticos de todas as áreas estudadas podem influenciar o comportamento de eventuais contaminantes dispersos em subsuperfície.

Baseando-se na análise realizada para a área, em função da profundidade da cunha salina calculada e da tênue variação do nível d'água em relação à oscilação da maré, a influência desse processo na propagação de contaminações que eventualmente atingissem o aquífero Piranema seria pouco significativa.

Tabela I – Condutividade Hidráulica das Áreas Estudadas.

ÁREA	ID	Litologia	Condutividade Hidráulica k (m/s)	
			Hvorslev	Bower & Rice
CSN	PZ-01	Areia pouco argilosa até a profundidade de 1,30 m, argila siltosa até 2,0 m, areia siltosa até 4,0 m, e argila siltosa até 5,0 m.	$2,44 \times 10^{-5}$	$1,59 \times 10^{-5}$
	PZ-02	Argila siltosa até a profundidade de 0,80 m, areia siltosa até 1,90 m, argila siltosa até 3 m e areia siltosa até 4,0 m.	$5,36 \times 10^{-6}$	$4,20 \times 10^{-6}$
	PZ-03	Argila siltosa até a profundidade de 4,0 m e areia siltosa até 5,0 m.	$4,22 \times 10^{-7}$	$6,51 \times 10^{-7}$
	PZ-04	Argila siltosa até a profundidade de 0,65 m, areia siltosa até 1,80 m, argila arenosa até 3,50 m, argila siltosa até 4,0 m.	$5,08 \times 10^{-6}$	$3,41 \times 10^{-6}$
	PZ-05	Argila siltosa até a profundidade de 0,60 m e areia siltosa até 4,0 m.	$1,44 \times 10^{-5}$	$9,77 \times 10^{-6}$
NUCLEP	PZ-01	Areia siltosa até a profundidade de 0,50 m, argila siltosa até 2,40 m e argila arenosa até 4,0 m.	$3,72 \times 10^{-6}$	$2,89 \times 10^{-6}$
	PZ-02	Areia siltosa até a profundidade de 0,90 m e argila siltosa até 4,0 m.	$1,81 \times 10^{-6}$	$1,04 \times 10^{-6}$
	PZ-03	Areia siltosa até a profundidade 0,60 cm, argila siltosa até 2,80 m e areia pouco siltosa até 3,70 m.	$3,74 \times 10^{-6}$	$2,37 \times 10^{-6}$
	PZ-04	Areia siltosa até a profundidade de 0,70 m, argila siltosa até 1,90 m, areia siltosa até 2,80 m e argila siltosa até 4,0 m.	$7,69 \times 10^{-6}$	$5,14 \times 10^{-6}$
	PZ-05	Areia siltosa até a profundidade de 0,70 m, argila arenosa até 4 m.	$6,18 \times 10^{-7}$	-
PETROQUISA	PZ-01	Areia siltosa até a profundidade de 1,30 m, argila siltosa até 2 m, argila arenosa até 4,60 m e silte arenoso até 6,0 m.	$3,15 \times 10^{-5}$	$2,42 \times 10^{-5}$
	PZ-02	Areia siltosa até a profundidade de 1,80 m, argila siltosa até 2,70 m, areia siltosa até 6,0 m.	$8,74 \times 10^{-6}$	$5,95 \times 10^{-6}$
	PZ-03	Areia siltosa até a profundidade de 5,70 m e argila arenosa até 6,0 m.	$5,40 \times 10^{-6}$	$4,65 \times 10^{-6}$
	PZ-04	Areia siltosa até a profundidade de 6,0 m, argila siltosa até 6,80 m e silte arenoso até 8 m.	$3,45 \times 10^{-6}$	$2,73 \times 10^{-6}$
	PZ-05	Argila siltosa até a profundidade de 5,30 m e areia pouco arenosa até 6,0 m.	$2,38 \times 10^{-6}$	$1,69 \times 10^{-6}$
	PZ-06 A	Areia siltosa até a profundidade de 1,30 m, argila arenosa até 2,70 m, argila siltosa pouco argilosa até 3,80 m e areia siltosa até 10 m.	$2,08 \times 10^{-5}$	$1,52 \times 10^{-5}$
	PZ-07A	Areia siltosa até a profundidade de 1,60 m, argila arenosa micácea até 2,80 m, argila siltosa até 3,70 m, areia siltosa até 4,60 m, argila siltosa até 6,0 m.	$6,09 \times 10^{-6}$	-
	PZP-08A	Areia siltosa até a profundidade de 1,0 m, argila siltosa até 1,80 m, argila arenosa até 2,70 m, argila siltosa até 6,0 m.	$7,25 \times 10^{-6}$	-

Tabela II – Variações dos valores de condutividades hidráulicas para várias geologias (Freeze e Cherry, 1979).



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, C.F. 2002. *Estudo da contaminação por nitrato e fosfato no bairro piranema, limítrofe aos municípios de Itaguaí e Seropédica, derivado de sistema de esgoto "in situ"*. Monografia de Conclusão de Curso de Geologia. Departamento de Geologia UFRRJ. Seropédica.
- CARELLI, S.G. 2008. *Evolução Geológica Neógena da Planície Costeira de Itaguaí. Itaguaí*. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 183p.
- CEDAE - Companhia Estadual de Águas e Esgoto. 1986. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Região Metropolitana do Rio de Janeiro.
- CLEARY, R.W. 2007. *Águas Subterrâneas*. Versão em língua portuguesa, Princeton Groundwater, Inc Clean Environment Brasil. 112p.
- CUSTODIO E. & LLAMAS. M. R., 1983. *Hidrologia Subterrânea*. Editora Omega, 2º Vol. 2350 p.
- FEITOSA, F.A.C. & MANOEL FILHO, J. *Hidrogeologia: Conceitos e aplicações*. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 412p., 1997.
- FETTER, C. 2001. *Applied Hydrogeology*. London Prentice Hall, 4a.edição, 598 p.
- FREEZE, R. A. & CHERRY, J. A. 1979. *Groundwater*. London. PRENTICE-HALL.
- GÓES, M. H. B., 1994. *Diagnóstico Ambiental por Geoprocessamento do Município de Itaguaí, RJ*. (Tese de Doutorado). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro.

- GOMES, O. V. O. 2012. *Hidrogeoquímica dos Aquíferos da Bacia Sedimentar do Macacu - Itaboraí, RJ*. (Tese de Doutorado). Instituto de Química da Universidade Federal Fluminense. Niterói. 244p.
- LAGE, Ingrid de C. 2005. *Avaliação de Metodologias para Determinação da Permeabilidade em Meios porosos: A área experimental da Fazenda Ressacada (SC)*. Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 119 p.
- MARQUES, E.D. & TUBBS, D.; SILVA-FILHO, E.V. 200*. Influência das variações do nível freático na química da água subterrânea, aquífero piranema – bacia de sepetiba, RJ. *Geochimica Brasiliensis*, 22(3) 213-228, 16p., 2008.
- MAZIERO, T. A.; CARNEIRO, P. H.; WENDLAND, E. C. 2005. Determinação da Condutividade Hidráulica de Aquífero Freático em Área Urbana do Município de São Carlos, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., 2005, Cuiabá – MT. Anais... São Paulo: ABAS. p. 1 - 16.
- TUBBS, D., 2005. Estudos relativos ao emprego da recarga artificial na Bacia Hidrográfica do Rio Guandu – RJ In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 9, 2005, Niterói, RJ; SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS, p. 154-155.