



## **Potenciometria e Fluxo Subterrâneo no Aquífero Aluvionar do Baixo Curso do Rio Macaé, Município de Macaé-RJ**

Potentiometry and Groundwater Flow in the Alluvial Aquifer of Macaé River Lower  
Course, Rio de Janeiro State, Brazil

Giselle Ramalho Barbosa<sup>1</sup> & Gerson Cardoso da Silva Jr.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Laboratório de Hidrogeologia (HIDROGEO) – Departamento de Geologia, IGEO/UFRJ, Ilha do Fundão, Prédio CCMN, Bloco J, sala J0-05, Rio de Janeiro (RJ), Brasil. 21949-900. e-mail: gerson@acd.ufrj.br*

Recebido em 10/10/2005 Aprovado em: 21/10/2005

### **Resumo**

A região de Macaé está inserida no Litoral Norte Fluminense. No estudo do aquífero aluvionar do baixo curso do rio Macaé, que supre as necessidades domésticas de uma parte expressiva da população rural e da periferia do município, foram considerados os bairros Córrego do Ouro, Fazenda Severina, Virgem Santa e Aterrado do Imbuuro. O presente artigo expõe os resultados obtidos com os estudos hidrodinâmicos que resultaram na elaboração de mapa potenciométrico do referido aquífero. A potenciometria mostra a relação entre os mananciais subterrâneos e superficiais, sendo o rio Macaé de caráter efluente na área estudada. A recarga do aquífero está associada aos altos topográficos adjacentes e a sua descarga se dá na direção do canal e da foz do rio Macaé. Os hidrogramas de variação temporal do nível d'água sugerem uma possível conexão hidráulica entre os pontos d'água monitorados, o que evidencia uma continuidade lateral no aquífero estudado.

**Palavras-chave:** Aquífero aluvionar, bacia do rio Macaé, mapa potenciométrico.

### **Abstract**

Macaé city is inserted in the coastal portion of the Northern region of Rio de Janeiro State, Brazil. The study accomplished in the alluvial aquifer of

the Macaé river lower course, whose waters fulfill the domestic needs of a significant part of the rural and peripheral population of the city, comprised the neighborhoods of Córrego do Ouro, Fazenda Severina, Virgem Santa and Aterrado do Imbuuro. Results comprise the hydrodynamic studies that lead to the elaboration of a potentiometric map in that alluvial aquifer. The potentiometry shows the relationship between the surface and subsurface water. The Macaé River has an effluent character in the studied area. Aquifer recharge is associated to the topographical adjacent higher grounds and discharge is towards the Macaé river channel and river mouth. The hydrographs of water level temporal variation suggest a possible hydraulic connection among the monitored water points, evidencing a lateral continuity in the area.

**Keywords:** Alluvial aquifer, Macaé river basin, potentiometric map.

## 1 Introdução

O presente trabalho compreende a apresentação de parte dos resultados obtidos no âmbito do projeto "Pesquisa de Água Subterrânea na Bacia Hidrográfica do Rio Macaé (RJ)", que conta com parcerias da Usina Termelétrica Norte Fluminense (UTE Norte Fluminense), Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (DRM/ RJ), Fundação Getúlio Vargas (FGV), Empresa Ecologus Engenharia Consultiva e Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Este projeto está vinculado à instalação da Usina Termelétrica Norte Fluminense, de forma a atender as exigências aplicáveis ao seu licenciamento ambiental.

Através da elaboração de um mapa potenciométrico é possível o conhecimento de zonas de descarga, recarga e sentido do fluxo subterrâneo em um aquífero (Lucena *et al.* 2004), em particular no caso de aquíferos livres e rasos. Assim, a obtenção desse tipo de dado representa um dos principais elementos de natureza física a ser obtido em uma área de ocorrência de um aquífero para elucidação de seu funcionamento hidrodinâmico.

A área estudada situa-se no Litoral Norte Fluminense, estado do Rio de Janeiro, tendo aproximadamente 160 km<sup>2</sup> de extensão (Figura 1). O interesse no aquífero aluvionar do rio Macaé explica-se pelo fato deste abastecer domesticamente a população de áreas periféricas do município de Macaé. Somado a isso, busca-se iniciar pesquisas de caráter hidrogeológico, escassos nesta área. Para isso apresenta-se uma carta potenciométrica da área, associada a um seguimento temporal da evolução do comportamento hidrodinâmico do aquífero para subsidiar o modelo conceitual hidrogeológico deste aquífero. O

baixo curso do rio Macaé tem sido muito pouco estudado em termos hidrológicos e ambientais, sendo que a água subterrânea praticamente não foi objeto de estudos científicos, havendo alguns informes técnicos de caráter geral apenas (Costa, 1999; Hicon-Engenharia 2002; ANA, 2003). Amaral (2003) estudou o baixo curso e estuário do rio do ponto de vista da influência marinha (salinidade e variações de maré), utilizando técnicas numéricas, apontando que na área do presente estudo há muito pouca influência marinha direta na dinâmica fluvial. Pode-se dizer que sob a ótica dos recursos hídricos subterrâneos, à parte alguns estudos anteriores com finalidade de inventariar recursos em nível regional, praticamente não há estudos como o presentemente apresentado.

Dessa forma, no presente trabalho objetiva-se evidenciar as características potenciométricas do baixo curso do rio Macaé, visando fornecer subsídios aos usuários, órgãos gestores e à sociedade em geral para planejar a utilização racional deste manancial.

## **2 Características Geológicas e Hidrogeológicas da Área de Estudo**

A geologia da área é constituída pelo embasamento cristalino formado basicamente por rochas gnáissicas, sotoposto a sedimentos aluvionares quaternários. O rio Macaé acompanha as direções estruturais do embasamento cristalino, apresentando tendência geral NE/SW nos trechos mais longos, assumindo um caráter leste-oeste ao atingir sua porção inferior até seu encontro com o rio São Pedro, quando passa a apresentar uma deflexão NW/SE, perpendicular à direção principal (DRM-RJ, 1981) (Figura 2).

Hidrogeologicamente, a área é composta por um sistema aquífero fraturado e pelo sistema aquífero intergranular, composto pelos sedimentos cenozóicos. O sistema aquífero fraturado é caracterizado pelas rochas cristalinas que compõem o embasamento da bacia hidrográfica, dominando as áreas mais elevadas, colinosas e montanhosas. Pode-se dizer ser este de caráter semiconfinado de um modo geral (Ecologus Engenharia Consultiva, 2004).

### Mapa de Localização da Área de Estudo

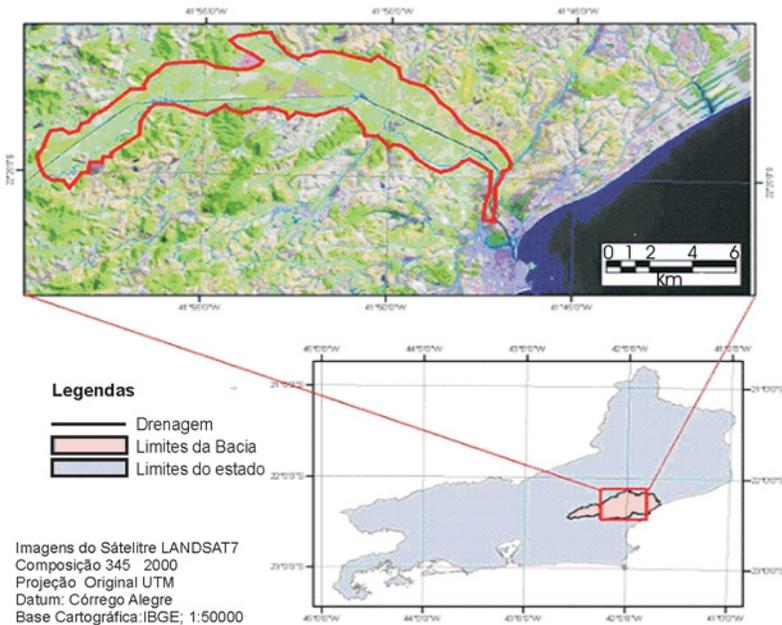


Figura 1 Mapa de localização do baixo curso do rio Macaé. O contorno em vermelho indica aproximadamente a área efetivamente estudada.

O sistema aquífero intergranular, alvo do presente estudo, tem em geral caráter livre e sob o ponto de vista litológico é constituído pelos sedimentos aluvionares dos rios Macaé e São Pedro, sendo caracterizados, no geral, por materiais argilo-arenosos. Tem espessura média estimada de 10 m (podendo chegar até mais de 40 m em alguns pontos) e vazões explotáveis variando de  $1\text{m}^3/\text{h}$  a  $10\text{m}^3/\text{h}$ . A sucessão de camadas mais ou menos permeáveis pode gerar a ocorrência de porções semiconfinadas em alguns trechos.

Potenciometria e Fluxo Subterrâneo no Aquífero Aluvionar do Baixo Curso do Rio Macaé,  
Município de Macaé-RJ

*Giselle Ramalho Barbosa & Gerson Cardoso da Silva Jr.*

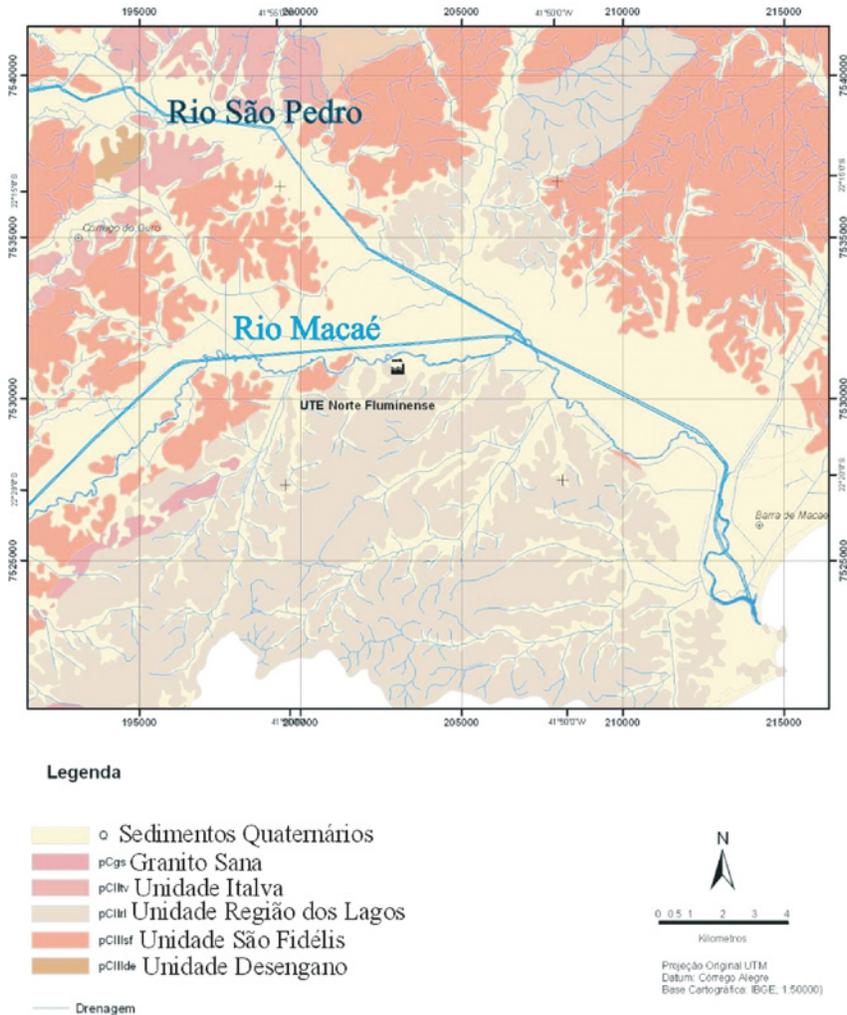


Figura 2 Mapa geológico do baixo curso do rio Macaé. As unidades geológicas indicadas na legenda compreendem: Sedimentos Quaternários: aluviões, sedimentos flúvio-lagunares e marinhos compostos por areias e argilas; Granito Sana: granito leucocrático de textura fina; Unidade Itálva: gnaisses metassedimentares com faixas de mármore; Unidade Região dos Lagos: gnaisses graníticos e migmatitos; Unidade São Fidélis: migmatitos e gnaisses metassedimentares; Unidade Desengano: microclina-gnaisses porfiroblásticos.

### **3 Materiais e Métodos**

O referido estudo compreendeu os procedimentos clássicos aplicados na elaboração de um mapa potenciométrico de uma dada região (Feitosa e Manoel Filho, 1997). Inicialmente foi realizado um cadastro de poços na área do baixo curso do rio Macaé, bem como a instalação de piezômetros. Esses pontos d'água foram submetidos a um nivelamento topográfico, empregando-se um par de GPS da marca Trimble e modelo Geoexplorer<sup>03</sup>. As coordenadas altimétricas obtidas por GPS no modo diferencial, foram pós-processadas com a finalidade de atingir precisão sub-métrica.

O monitoramento do nível d'água iniciou-se no mês de agosto de 2004, com continuidade em novembro de 2004, e acompanhamento mensal de janeiro a junho de 2005. Para essas medições foi utilizado um medidor de nível d'água da marca Jaciri<sup>0</sup>, com cabo de 200 metros de extensão, graduado em metros e uma trena de 5 metros de extensão. Essas medições mensais das variações de nível d'água foram realizadas em 23 piezômetros e 24 poços cadastrados (Figura 3).

O bairro Córrego do Ouro é abastecido por fontes e assim tornou-se necessário à instalação de piezômetros no mesmo, devido à ausência de poços tubulares e escavados.

O bairro Fazenda Severina corresponde ao entorno da rodovia BR-101 e tem como característica a captação direta de água do rio Macaé, com poucos poços tubulares e escavados presentes, tendo sido necessária à instalação de piezômetros para melhor caracterizar o aquífero estudado.

Nos bairros de Virgem Santa e Aterrado do Imbuuro os poços são perfurados no solo residual e no aluvião do rio Macaé.

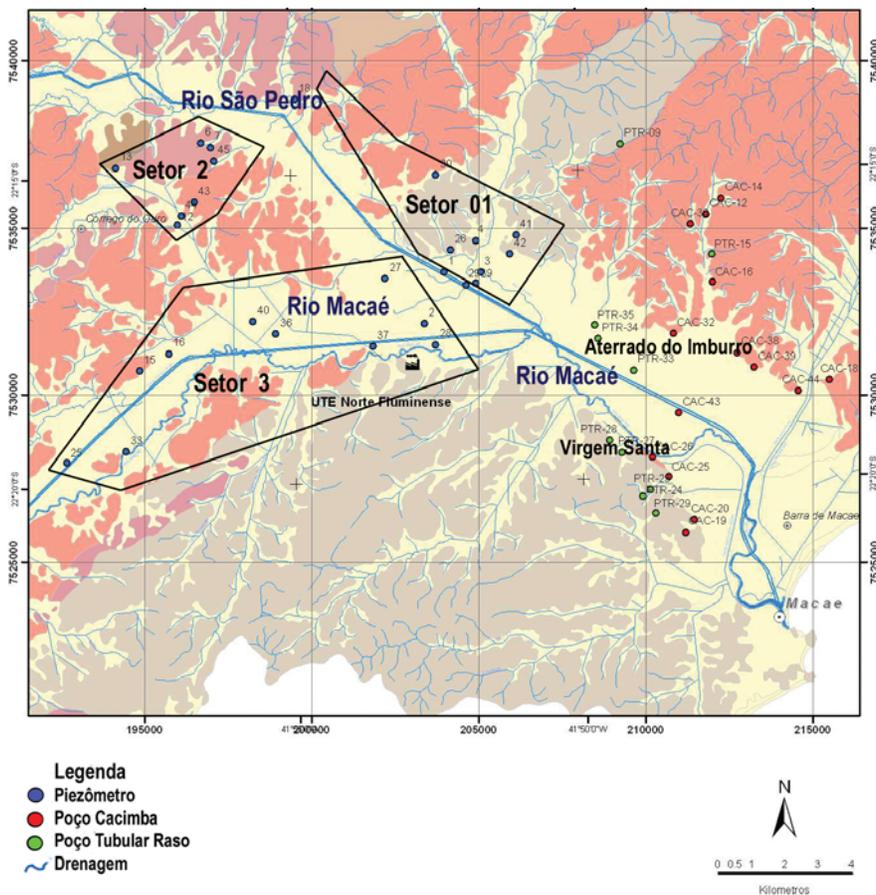


Figura 3 Localização dos piezômetros e poços cadastrados na área de estudo. Os polígonos indicam os setores de agrupamentos de piezômetros (ver texto para explanação).

#### 4 Resultados e Discussão

Os resultados da potenciometria mostram uma estreita relação entre os mananciais subterrâneos e superficiais, sendo que o aquífero nitidamente condiciona um regime efluente nos canais fluviais. Como os mapas produzidos evidenciam características semelhantes para todos os meses monitorados, para exemplificar serão ilustrados os mapas elaborados em março e junho de 2005 (Figuras 4 e 5). Estes indicam a descarga do aquífero na direção geral do canal e da foz do rio Macaé.

### Mapa Potenciométrico do Fluxo Subterrâneo

Depósito Aluvionar - Baixo Macaé, Março de 2005

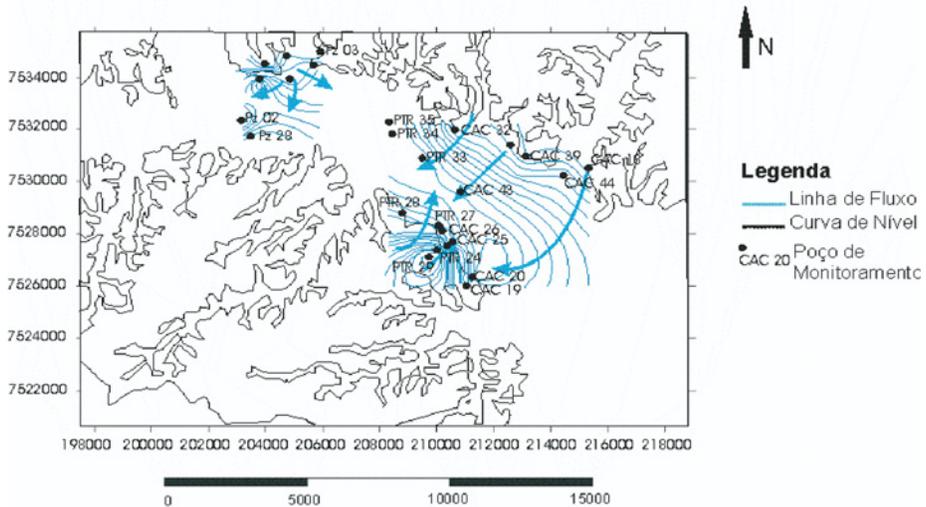


Figura 4 Mapa potenciométrico do baixo curso do rio Macaé, março de 2005.

### Mapa Potenciométrico do Fluxo Subterrâneo

Depósito Aluvionar - Baixo Macaé, Junho de 2005

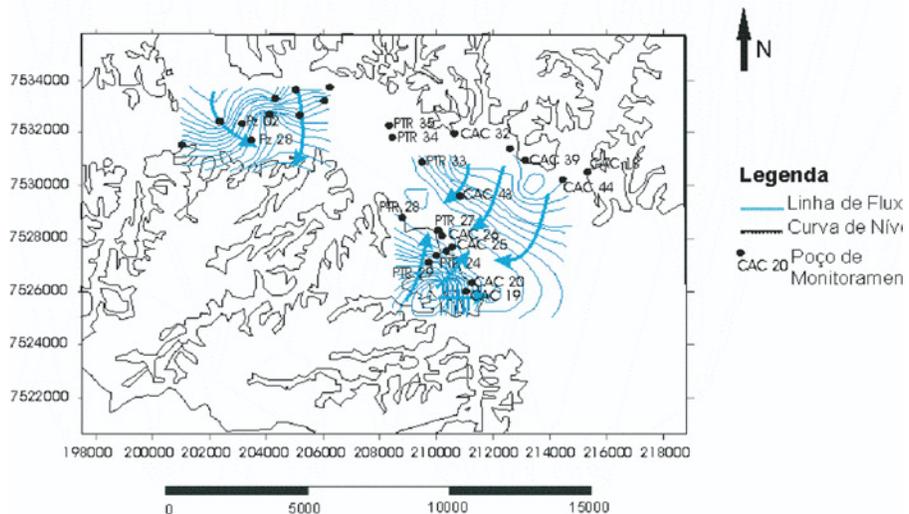


Figura 5 Mapa potenciométrico do baixo curso do rio Macaé, junho de 2005. A profundidade do nível da água varia de poucos metros no aluvião a níveis mais profundos próximos aos altos topográficos, podendo vir a aflorar nos locais com nível d'água raso, durante a estação chuvosa.

O espaçamento entre as isopiezas reflete baixos gradientes hidráulicos (ordem de  $10^{-3}$ ) na área de descarga do aquífero e valores relativamente mais altos (ordem de  $10^{-2}$ ) foram obtidos para as áreas dos altos topográficos, ou seja, zonas de recarga do aquífero. Esses valores parecem favorecer as condições de recarga do aquífero e retardar a descarga do mesmo, favorecendo o armazenamento, à semelhança de estudos realizados em outras regiões (Lucena *et al.*, 2004).

Para melhor analisar os dados de variação de nível d'água na área, os poços e piezômetros monitorados foram separados por setores englobando determinados bairros (ver Figura 3). O critério para a separação por setores foi o rio Macaé, que isola o bairro Virgem Santa do bairro Aterrado do Imbuuro.

O setor 1 foi individualizado pelo rio São Pedro. O setor 2 abrange o distrito de Córrego do Ouro, estando localizado na região serrana. O setor 3 foi determinado por estar ao longo do leito do rio Macaé canalizado, antes da confluência com o rio São Pedro. Os setores 1 e 3 compreendem a localidade de Fazenda Severina, em Córrego do Ouro.

Com a análise das curvas de variação de nível d'água foi possível a obtenção de importantes informações a respeito das conexões hidráulicas entre os diferentes pontos monitorados (Figuras 6 a 10).

Os poços monitorados no bairro de Virgem Santa (Figura 6) apesar de apresentarem profundidades variadas - de 3,2 a 15 metros, o que pode implicar na locação em unidades litológicas diferentes, mostram o mesmo comportamento de suas curvas, indicando uma possível continuidade lateral e vertical na área. As oscilações observadas nas curvas dos poços CAC 26 para o mês de junho e PTR 28 para o mês de maio, devem-se ao bombeamento dos mesmos na época do monitoramento

O poço CAC 43 (Figura 6) encontra-se muito próximo ao rio Macaé. Para o mês de março de 2005 o comportamento da curva difere dos demais, pois em fevereiro de 2005 o rio Macaé transbordou e cobriu o poço CAC 43, alterando o seu nível d'água.

Para o bairro Aterrado do Imbuuro as curvas de variação de nível d'água também mostram comportamentos semelhantes, embora a distância entre um poço e outro seja significativa e suas profundidades variem entre 3,18 a 24 metros (ver os poços da Figura 7). As oscilações apresentadas pelas curvas

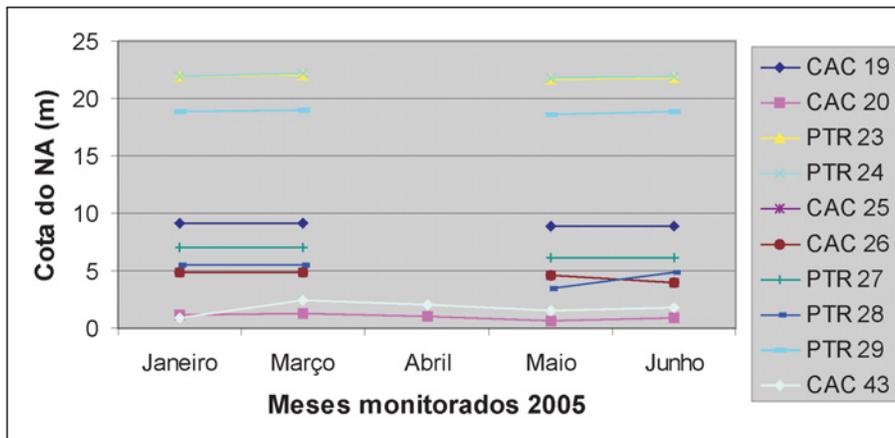


Figura 6 Gráfico de variação dos níveis d'água para o bairro de Virgem Santa de janeiro a junho de 2005. Os poços monitorados mostram comportamentos semelhantes sugerindo uma possível conexão hidráulica entre estes pontos (CAC – Poço cacimba e PTR – poço tubular raso).

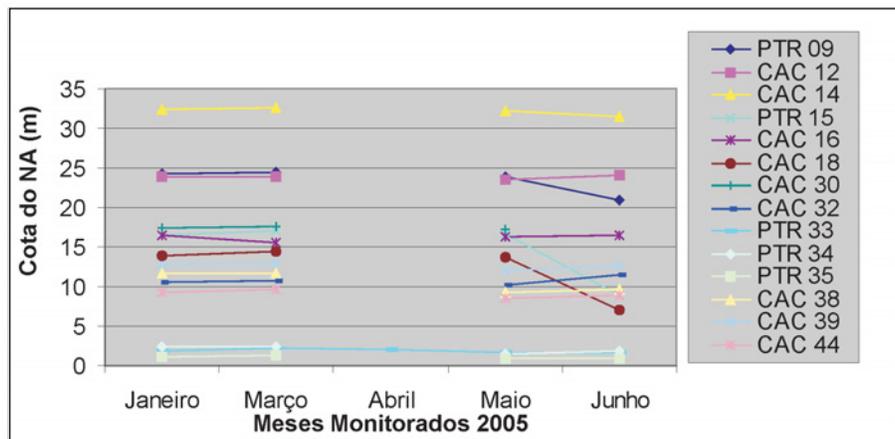


Figura 7 Gráfico de variação dos níveis d'água para o bairro Aterrado do Imbuuro de janeiro a junho de 2005. Os poços monitorados mostram comportamentos semelhantes, sugerindo uma possível conexão hidráulica entre estes pontos (CAC - poço cacimba e PTR – poço tubular raso).

dos poços PTR 09, PTR 15 e CAC 18 para o mês de junho são explicadas pelo monitoramento dos mesmos enquanto estavam sendo bombeados.

O poço CAC 18 apresenta 12 metros de profundidade e um poço tubular raso perfurado em seu interior com 20 metros de profundidade. No monitoramento mensal de junho, o PTR de 20 metros estava sendo bombeado

e o CAC 18 se encontrava seco, sugerindo uma conexão hidráulica entre esses poços, ou seja, não existe uma camada confinante, isolando o aquífero raso do aquífero profundo.

Para facilitar a análise dos dados, os piezômetros foram divididos por setores, segundo os polígonos apresentados na Figura 3, como já citado. Assim, os piezômetros indicados na Figura 8 foram agrupados no setor 1. Os piezômetros do setor 2 são têm seu comportamento ilustrado na Figura 9. Os piezômetros agrupados no setor 3 estão representados na Figura 10. No geral, os gráficos de variação do nível d'água para as camadas de materiais onde os piezômetros foram instalados mostram comportamentos semelhantes, indicando uma possível continuidade lateral na área. A exceção é para o gráfico do setor 2, onde as curvas dos piezômetros apresentam comportamentos bem diferenciados, sugerindo não haver conexão hidráulica entre estes pontos. Este fato pode ser justificado pela localização dos piezômetros. Estes foram instalados na região serrana da área de estudo, o que deve acarretar no isolamento dos mesmos. Devido à presença de morros entre eles, forma-se por vezes uma barreira hidráulica, que impossibilita a continuidade lateral do aquífero nessa região.

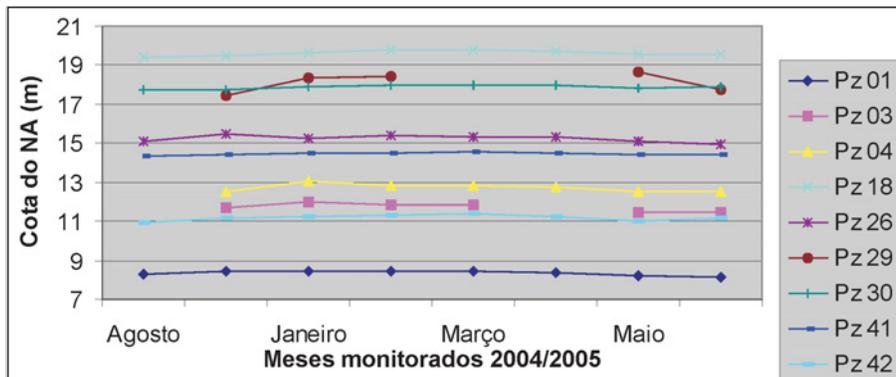


Figura 8 Gráfico de variação dos níveis d'água para o setor 1, de agosto de 2004 a junho de 2005. Os piezômetros monitorados mostram comportamentos semelhantes, sugerindo uma possível conexão hidráulica entre estes pontos.

Potenciometria e Fluxo Subterrâneo no Aquífero Aluvionar do Baixo Curso do Rio Macaé,  
Município de Macaé-RJ

*Giselle Ramalho Barbosa & Gerson Cardoso da Silva Jr.*

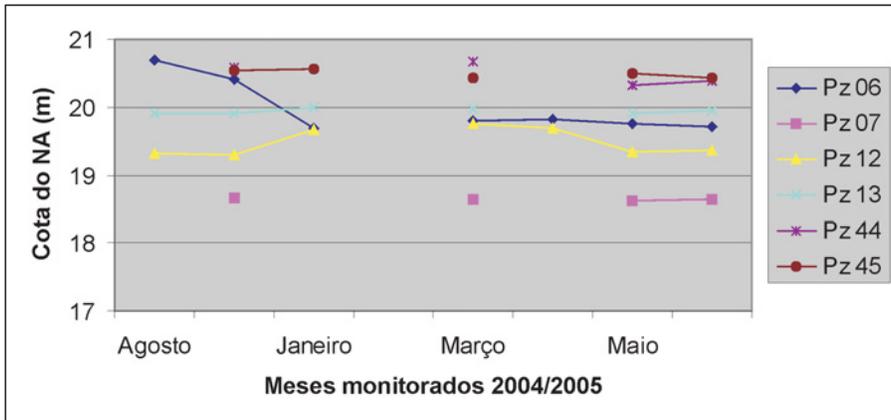


Figura 9 Gráfico de variação dos níveis d'água para o setor 2, de agosto de 2004 a junho de 2005. Os piezômetros monitorados mostram comportamentos diferenciados, sugerindo não haver conexão hidráulica entre estes pontos.

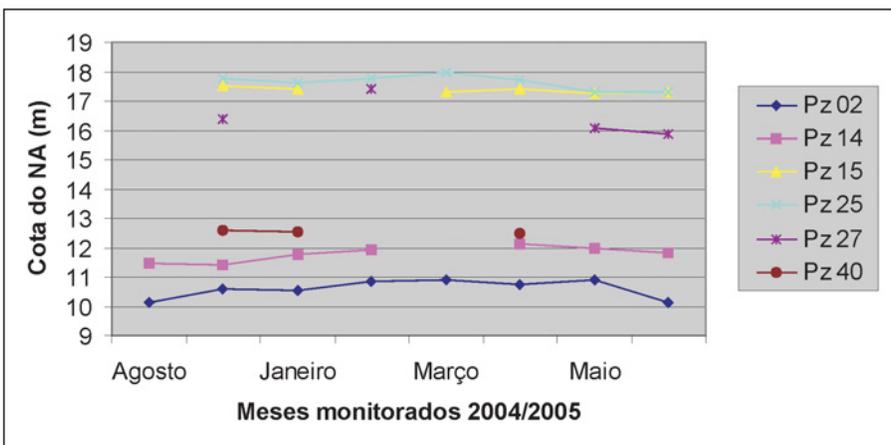


Figura 10 Gráfico de variação dos níveis d'água para o setor 3, de agosto de 2004 a junho de 2005. Os piezômetros monitorados mostram comportamentos semelhantes, sugerindo uma possível conexão hidráulica entre estes pontos.

## **5 Conclusões**

A potenciometria do aquífero aluvionar evidenciou a zona de recarga associada aos altos topográficos, enquanto que a zona de descarga é compreendida pela região do baixo curso do rio Macaé. Os gradientes hidráulicos apresentam-se relativamente maiores nas zonas de recarga, da ordem de  $10^{-2}$ , e valores em torno de  $10^{-3}$  na área de descarga do aquífero.

A área pesquisada evidencia uma ampla relação entre os mananciais subterrâneos e superficiais, sendo que, segundo a potenciometria, o aquífero nitidamente exerce sua descarga nos canais fluviais, caracterizando o curso de água como efluente no trecho considerado.

As cotas piezométricas na área têm valores médios que variam de 0,76 a 27,18 m. Esses dados indicam a grande variabilidade de cotas do aquífero livre na área, algumas praticamente ao nível do mar, além da pequena profundidade do nível d'água em certos locais, indicando sua tendência em aflorar quando da estação de chuvas.

As curvas de variação do nível d'água sugerem uma possível conexão hidráulica entre os pontos d'água monitorados na região de baixada do aluvião estudado, indicando, dessa forma, uma continuidade lateral na mesma.

Existe na região a cultura de aproveitamento do recurso hídrico superficial, no caso o rio Macaé, pelos grandes usuários. O aquífero aluvionar do baixo curso do rio Macaé tende a ser aproveitado somente para abastecimento doméstico de áreas periféricas, o que não diminui a importância de sua correta gestão e aproveitamento.

## **6 Agradecimentos**

Os autores desejam expressar seus agradecimentos à Usina Termelétrica Norte Fluminense, em especial a Cláudia Dias, pela rápida disponibilização dos dados solicitados; ao DRM – Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro, através dos setores de Hidrogeologia, Geoprocessamento e Cartografia; e ao Programa de Pós-Graduação em Geologia do Departamento de Geologia da UFRJ, em particular ao Prof. Jadir da Conceição da Silva.

## 7 Referências

- Agência Nacional de Águas – ANA. 2003. *Informações Hidrológicas - Bacias Hidrográficas do Atlântico Sul – Trecho Leste (RJ, ES, BA, SE)*, CD nº 4, Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos (SNIRH).
- Amaral, K. J. 2003. *Estuário do Rio Macaé: Modelagem Computacional como Ferramenta para o Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), 160p.
- Costa, H. 1999. *Subsídios para Gestão dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Macacu, São João, Macaé e Macabu*. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMADS).
- Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (DRM-RJ) 1981. *Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro, Escala 1:50.000*. Folhas Renascença/ Conceição de Macabu/ Macaé/ Dores de Macabu/ Carapebus/ Cabiúnas. Relatório Final. Volume 1. Niterói, 217p.
- Ecologus Engenharia Consultiva Ltda. 2004. *Relatório de Estudos da Margem Direita do Rio Macaé/ RJ*. Rio de Janeiro. 67p.
- Feitosa, F. A. C. & Manoel Filho, J. 1997. *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. Fortaleza, CPRM, LABHID-UFPE, 412p.
- Hicon Engenharia Ltda. 2002. *Estudos Hidrológicos no Rio Macaé*. Relatório de Estudos Hidrológicos e Hidráulicos. Rel. Técnico RJ. 43 p.
- Lucena, L. R. F. ; Rosa Filho, E. F. & Bittencourt, A. V. L., 2004. A Potenciometria do Aquífero Barreiras no Setor Oriental da Bacia do Rio Pirangi-RN e Considerações sobre a Relação com Mananciais Superficiais. *Revista Águas Subterrâneas*, 18:19-27.