



**Fatores Hidrogeológicos no Estudo da Intrusão Salina em  
Aqüíferos Costeiros da Região Litorânea do Município de Maricá - RJ**  
Hydrogeological Factors in the Study of Saline Intrusion of the  
Coastal Aquifers of Maricá City, Rio de Janeiro, Brazil

Ghislaine M. de Almeida<sup>1</sup> & Gerson Cardoso da Silva Junior<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Av. Athos da Silveira Ramos, nº 274 - Cidade Universitária - Ilha do Fundão - RJ - 21941-916  
E-mail: ghis.almeida@gmail.com; gerson@acd.ufrj.br  
Recebido em: 27/06/2007 Aprovado em: 10/08/2007*

**Resumo**

A área costeira de Maricá, no litoral leste do estado do Rio de Janeiro, tem na água subterrânea sua principal fonte de abastecimento, juntamente com o abastecimento por carros-pipa. Com a crescente demanda dos recursos hídricos subterrâneos, são esperados problemas de abastecimento e contaminação, além do fenômeno da intrusão de água marinha nesses aquíferos. O recurso hídrico subterrâneo da área-alvo vem sofrendo uma degradação de sua qualidade devido ao provável avanço da cunha salina marinha, pelo excesso de bombeamento sem controle e também pela poluição de origem orgânica. Considerando o exposto, este estudo visa contribuir para um melhor conhecimento das características hidrogeológicas de modo a auxiliar o gerenciamento do aquífero costeiro da área estudada. A região é composta por um aquífero do tipo granular e a geologia local é constituída basicamente por depósitos de restinga, marinhos e flúvio marinhos de idade quaternária que ocupam a faixa litorânea, sobrepostos a um embasamento cristalino de profundidade variável. Além do estudo de dados hidrológicos previamente existentes na área gerados pelos próprios autores, realizou-se um levantamento de dados hidrogeológicos de campo em 41 poços, com medições de parâmetros físico-químicos e hidrodinâmicos (temperatura, condutividade elétrica, nível d'água). Ademais, instalou-se uma instrumentação automática para avaliação da resposta do aquífero quanto à recarga e quanto à variações temporais. Os resultados indicam que os níveis de salinidade do aquífero local tendem a ser mais elevados na sua porção SE, e também que, aparentemente, tem havido um aumento da salinização do aquífero nos últimos anos, o que demanda ações urgentes de gestão. A instrumentação automática mostra que o aquífero costeiro de Maricá apresenta rápida resposta aos fatores sazonais e climáticos, denotando certa vulnerabilidade, mas também rápida recarga e poder de diluição.

**Palavras-chave:** hidrogeoquímica; aquífero costeiro de Maricá-RJ; intrusão salina

**Abstract**

The oceanic area of Maricá, in the east coast of the Rio de Janeiro State, relies on groundwater as its main source of fresh water supply along with the use of water tank trucks. With the increasing demand of water resources, water supply and contamination problems are foreseen, and sea water intrusion phenomenon is also expected in these aquifers. The groundwater resource of the target area has been submitted to quality degradation due to the advance of the saline wedge, the excess of pumping without control and also the pollution of organic origin. Considering this situation, the study aims to contribute to a better knowledge of the hydrogeological characteristics in order to assist the aquifer management of the coastal area under study. The area comprises a granular aquifer and local geology consists basically of marine and fluvio-marine Quaternary sandbar deposits, overlying a crystalline basement of variable depth. The study included the evaluation of previously existing hydrological data in the area, rainfall data, and a field survey in 41 wells, with measurements of hydrodynamic and physical-chemical parameters (temperature, electric conductivity, hydraulic head). Furthermore, an automatic instrumentation was installed to evaluate the response of the aquifer to recharge. Results indicate that aquifer salinity levels tend to rise in the SE portion, and also, apparently, there has been an increase in aquifer salinization in recent years, demanding urgent management actions. The automatic instrumentation shows that Maricá coastal aquifer gives a rapid response to seasonal factors and climate, showing some vulnerability, but also rapid recharge and dilution capacity.

**Keywords:** hydrogeochemistry; Maricá coastal aquifer; saline intrusion

## 1 Introdução

A concentração de grandes cidades ao longo da costa brasileira e o aumento do interesse pelas áreas próximas as praias para moradia ou lazer têm levado a um acentuado estresse dos recursos naturais das regiões litorâneas. Este é o caso das águas subterrâneas que estão submetidas a grandes riscos em função de sua vulnerabilidade e principalmente devido a superexploração que vem ocorrendo em diversos locais dos aquíferos costeiros (Silva Jr. *et al.*, 2000; Bocanegra *et al.*, 2007).

O presente estudo foi desenvolvido na aqui designada “área oceânica” do município de Maricá, que compreende a planície costeira entre Itaipuaçu e Ponta Negra. Sua finalidade foi a de elaborar e refinar os dados obtidos no projeto ACOST-RIO (PADCTIII-FINEP: GTM 01/97-02/06), O município de Maricá - RJ vem sofrendo um vertiginoso crescimento populacional nos últimos anos, o que resulta em um aumento da demanda de água potável subterrânea e, por conseguinte, em maior pressão sobre os aquíferos costeiros. A distribuição de água de manancial superficial na região, iniciada muito recentemente pela CEDAE, companhia estatal pertencente ao estado do Rio de Janeiro, não resultou ainda em uma melhoria significativa dessa situação.

Essa intensa exploração aliada ao descontrole no lançamento de efluentes - já que esta região é quase inteiramente desprovida de sistemas de tratamento de esgotos - contribui diretamente para a degradação da qualidade da água subterrânea da região, pelo aumento do teor de sais dissolvidos, pela carga de nitratos e fosfatos dos efluentes, de caráter cumulativo, e pela contaminação bacteriológica.

Neste trabalho objetivou-se a análise do problema da contaminação marinha na Região Oceânica de Maricá através do levantamento de parâmetros hidrogeoquímicos e físicos para um posterior estudo do comportamento da água subterrânea e da intrusão marinha na área-alvo.

## 2 A Intrusão Salina em Aquíferos Costeiros

O avanço da cunha salina, propriamente chamada de intrusão marinha, ocorre quando a cunha de água salgada do mar avança ou se mistura com as águas doces do aquífero (Cruz & Silva Jr., 2006).

Na situação natural, antes de iniciar o bombeamento existe, um gradiente hidráulico no aquífero, que induz um fluxo de água doce em direção ao mar. Este fluxo natural de água doce mantém a cunha salina numa posição de equilíbrio (Figura 1). Quando é realizado um bombeamento excessivo das água continental, o equilíbrio se rompe e ocorre o avanço da cunha.

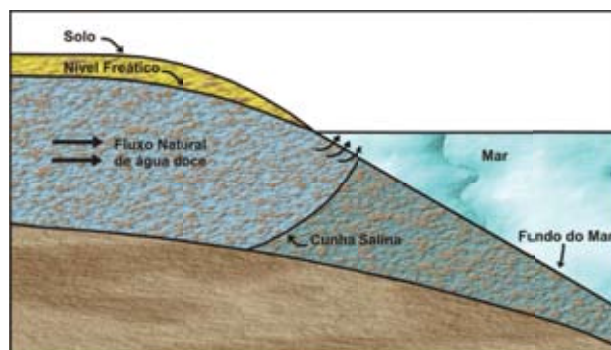


Figura 1 Fluxo natural de água doce em direção ao mar mantém a interface em equilíbrio (Cruz *et al.*, 2006).

As águas do mar e das lagunas hidráulicamente conectadas com o oceano infiltram-se pelo subsolo e caminham em direção ao continente. A água doce, menos densa que a água salgada, flutua por sobre a água salina delimitando uma interface difusa denominada zona de mescla. O estudo da forma, posicionamento e variação temporal desta interface são de extrema importância para preservação das águas subterrâneas.

No contato entre as águas doce e salgada pode haver alguma mistura, principalmente pela dispersão de escala micro e macroscópica. Assim, para que haja o equilíbrio na zona de interface, ocorre uma pequena entrada do fluxo de água salgada para dentro do aquífero de água doce. Esta entrada produz uma perda de carga ao longo da zona de mescla e a diminuição da profundidade teórica que ocorreria para uma interface entre líquidos imiscíveis.

A mensuração das propriedades físico-químicas das águas subterrâneas em aquíferos sujeitos ao fenômeno da intrusão marinha é de grande valia na interpretação fenomenológica deste tipo de corpo hídrico, auxiliando na avaliação da dinâmica da intrusão e de sua intensidade, tendo sido utilizada em todo o mundo nesse tipo de estudos (Appelo & Postma, 2005).

### 3 Área de Estudo

#### 3.1 Localização da Área de Estudo

A área de estudo compreende a extensão da faixa litorânea do município de Maricá (Figura 2), no estado do Rio de Janeiro. Esta faixa litorânea possui aproximadamente 28 km de extensão, dividindo-se naturalmente em cordões arenosos, áreas de inundação temporária, margens de lagoas, planícies fluviais e encostas de maciços cristalinos vizinhos.

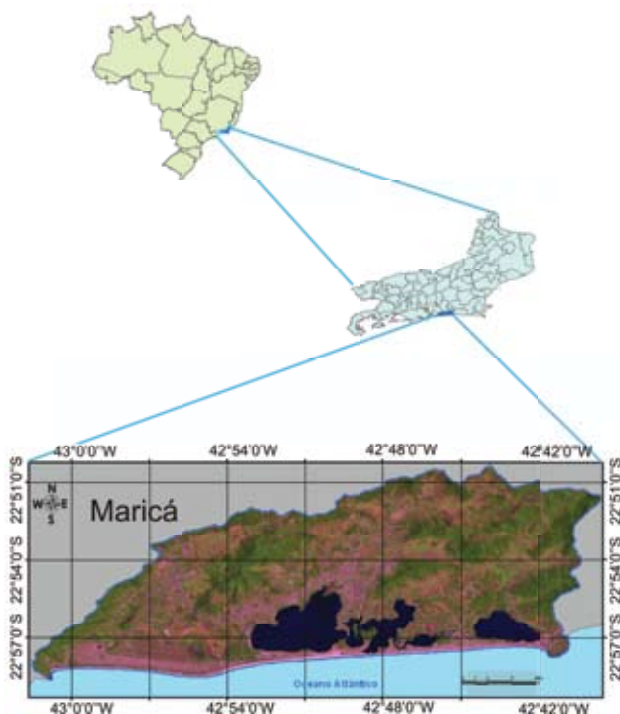


Figura 2 Mapa de localização da área de estudo.

#### 3.2 Características Geológicas

O município de Maricá caracteriza-se pela presença de sistemas lagunares que têm grande importância no esculpimento das feições morfológicas locais e conseqüentemente influenciando seus aquíferos freáticos.

Quanto aos aspectos geológicos, o litoral situado à oeste da ponta de Cabo Frio sofre uma brusca inflexão possuindo um alinhamento leste-oeste e é denominado litoral dos Cordões Litorâneos (Muehe, 1998). Em termos estruturais, faz parte de um com-

plexo geológico composto predominantemente por rochas graníticas e gnáissicas, representadas na paisagem por maciços costeiros. Durante períodos de alternâncias entre climas secos e úmidos, e de avanços e recuos do nível do mar, ocorreu a deposição de uma gama muito variável de sedimentos (Alves, 2000).

A partir do recuo erosivo das escarpas cristalinas formaram-se, na base dos maciços, planícies costeiras quaternárias compartimentadas pelos blocos estruturais e arcos de praia subdivididos por afloramentos cristalinos na linha de costa. A formação das planícies costeiras se deu através do retrabalhamento de sedimentos, disponibilizados pela erosão do cristalino, durante períodos de transgressões e regressões marinhas (Muehe, 1998). Observa-se a formação de cordões litorâneos associados aos últimos máximos transgressivos do Pleistoceno e do Holoceno.

À retaguarda dos arcos de praia foram formados complexos lagunares com tendência de aumento de espelho d'água em direção a leste, em função do gradual afastamento das áreas montanhosas da linha de costa (Muehe & Carvalho, 1989). Desta forma, em termos regionais o litoral dos Cordões Litorâneos apresenta duas unidades geológicas principais: a primeira, composta por rochas cristalinas onde se observam as maiores elevações; e a segunda unidade de base sedimentar, formando planícies costeiras que apresentam tendência de aumento na direção leste, formando no contato oceano-continente, extensos arcos de praia. Destaca-se a presença de depósitos lagunares, depósitos flúvio-lagunares, depósitos praias marinhos e depósitos eólicos em toda a faixa litorânea da área de estudo.

A área-alvo (Figura 3) é geologicamente constituída por sedimentos litorâneos e paludais de idade quaternária, que ocupam a faixa litorânea bordejando irregularmente lagoas e lagunas da região (Silva *et al.*, 2001). Esses depósitos são constituídos principalmente por areias quartzosas litorâneas de coloração esbranquiçada, por vezes amareladas, razoavelmente selecionadas com matriz síltica a argilosa nas paleopraias (áreas de cordões de praia primitivas), com a granulometria variando de média a grossa e grãos subangulares a arredondados, geralmente associando-se com presença de feldspato ou minerais máficos. Esta unidade apresenta seus contatos bem definidos com as rochas cristalinas pré-cambrianas.

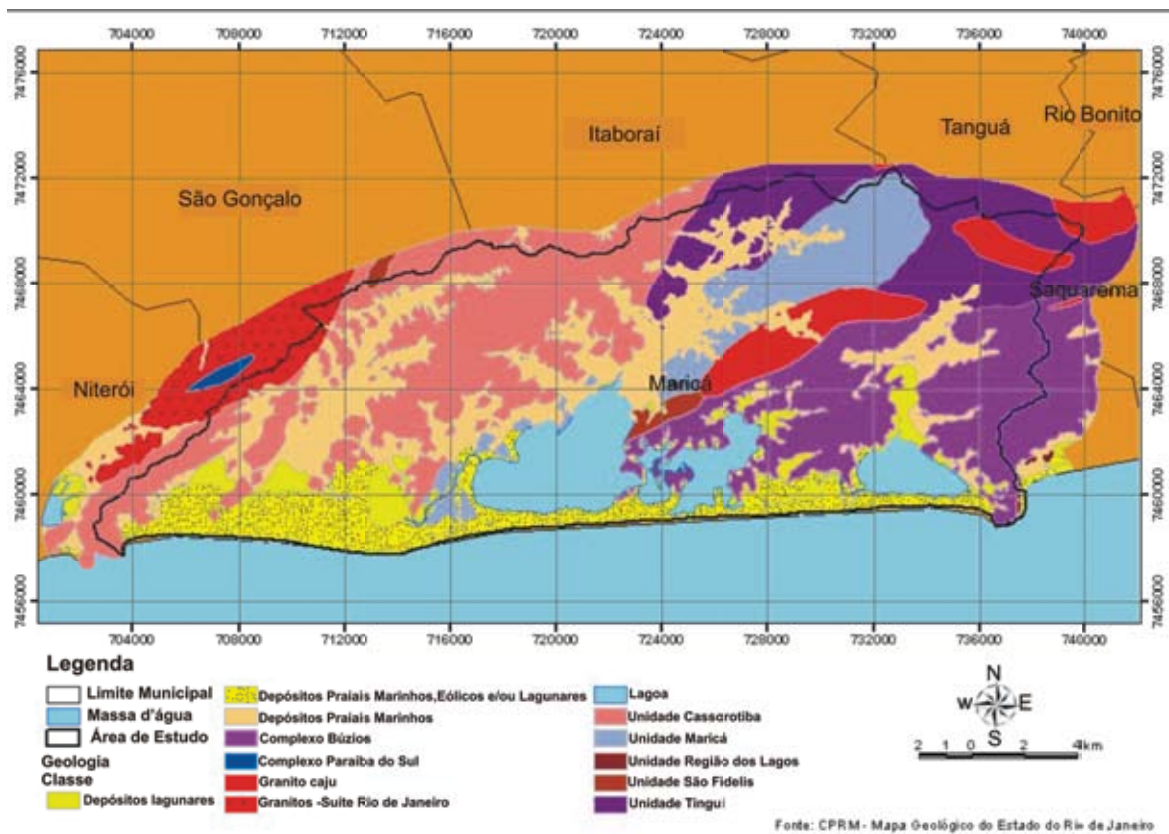


Figura 3 Mapa Geológico de Maricá (modificado de Silva *et al.*, 200).

### 3.3 Clima

De uma maneira geral, o clima na região é predominantemente quente e úmido, com estação seca pouco pronunciada e com mais de 1300 mm anuais de precipitação (CIDE, 2000). Na Baixada Litorânea ocorre clima quente e úmido sem inverno pronunciado, com chuvas no verão e estiagem no inverno, possui temperaturas médias regularmente elevadas e suas variações são pequenas, oscilando entre 22 e 23 °C. A partir de novembro até março as temperaturas médias ficam acima de 22 °C, com valores médios máximos de 25,3 °C. A umidade relativa do ar varia de 80 a 90 % devido à influência da maritimidade (Cruz *et al.*, 2006).

Os ventos possuem direções variadas: NE (estável), S/SE (frente fria) e N/NW (chuvas de verão).

### 3.4 Hidrogeologia

A área dispõe de escasso abastecimento de água tratada, ficando por conta de cada proprietário

o suprimento de água para a sua habitação. Em decorrência deste fato, quase a totalidade dos moradores abastece suas residências utilizando a água subterrânea. Vale lembrar que a área não é dotada de rede de tratamento de esgoto sanitário, utilizando-se de fossas e sumidouros.

Os aquíferos observados na área são do tipo granular. O aquífero granular compreende depósitos aluvionares heterogêneos e porções de solo e rocha alterada. Os sedimentos aluvionares são compostos predominantemente por areias quartzosas e, subordinadamente, siltosas e argilosas, que ocorrem nas proximidades das lagoas. Estes são decorrentes da formação da baixada litorânea durante os últimos movimentos de transgressão e regressão no Holoceno, entre 5.000 e 7.000 anos atrás. A baixada litorânea é formada por variações laterais, paralelas à linha de costa, de altos arenosos com vegetação rasteira, típica de restinga e baixada alagadiças areno-argilosas, que compõem os charcos e mangues da região. O nível d'água é geralmente raso, com profundidades de alguns centímetros até uns poucos metros. Na área

dos areais, que corresponde aos locais mais rasos, a água é geralmente menos salobra que a água das baixadas alagadiças (Cruz & Silva Jr., 2006).

## 4 Materiais e Métodos

### 4.1 Levantamentos de Campo

Foram realizadas três campanhas de campo para complementar e promover o levantamento de dados hidrogeológicos, iniciado no citado projeto ACOST-RIO. Nessas campanhas foram cadastrados 41 pontos d'água de onde foram coletadas amostras de água subterrânea para análise de parâmetros hidroquímicos e medidos dados potenciométricos, quando possível.

A partir dos dados do projeto ACOST-RIO, que se concentram na área de Itaipuaçu, mais os dados gerados nas três campanhas citadas, criou-se um banco de dados para uma melhor compreensão e avaliação do comportamento dos aquíferos costeiros da região.

As campanhas de campo tiveram como objetivos a complementação dos dados, sendo possível avaliar as principais características hidrogeológicas da região; identificar e cadastrar novos pontos de amostragem de águas subterrânea e coletar água desses pontos para a medição de parâmetros físico-químicos *in situ* e posteriormente em laboratório uma medição de cloreto.

Para o monitoramento da cunha salina na planície costeira de Maricá foi utilizado um aparelho de medição automática de nível d'água, condutividade elétrica e de temperatura (*Levellogger*) durante os meses de dezembro de 2006 a fevereiro de 2007. Com os dados resultantes foi possível realizar uma análise comparativa com a pluviometria deste mesmo período. A escolha do local para a instalação do *Levellogger* obedeceu a critérios de segurança e de representatividade hidrogeoquímica. Com o local definido foi realizada a construção de um poço tubular com trado manual, este foi finalizado a uma profundidade de 8 metros, no local encontrou-se o N.A. a uma profundidade de 6,5 metros (Figura 4A).

O *Levellogger*, antes de sua instalação, foi ajustado com a inserção de alguns dados como periodicidade da leitura, dia e hora para o início e o término da leitura. No presente trabalho ele foi

instalado em dezembro de 2006 e programado para a coleta dos dados a cada trinta minutos. Foram coletadas 2.443 dados de nível d'água, condutividade elétrica e temperatura até meados de fevereiro de 2007 (Figura 4B), tendo havido a intenção de observar o comportamento do aquífero durante os meses de veraneio.

Por se tratar de uma área com grande população turística flutuante, as dificuldades de acesso aos poços foram diversas, razão pela qual foram cadastrados apenas 41 poços rasos. Os pontos foram georeferenciados com o uso de GPS, em coordenadas UTM-SAD 69 fuso 23S. Cabe ressaltar que as medidas não consideraram o efeito das marés.

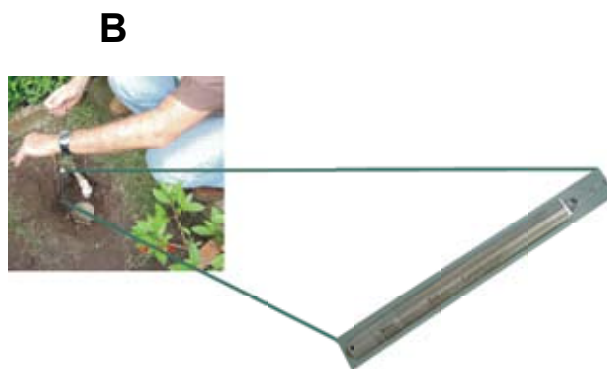
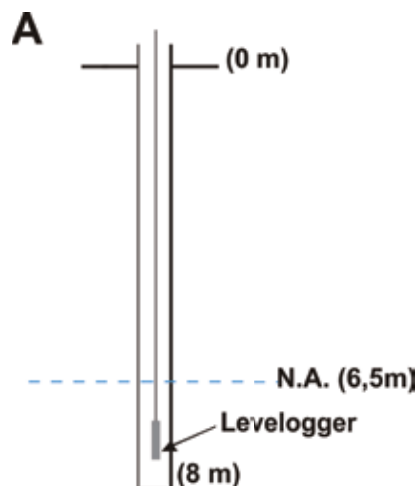


Figura 4 (A) Esquema do poço onde foi instalado o *Levellogger*. (B) Fotografia ilustrativa da instalação do *Levellogger*, com o aparelho em detalhe.

#### 4.1.1 Amostragem de Água

Em todas as etapas de cadastramento dos pontos foram realizadas medições *in situ* das águas coletadas. Foram medidas condutividade elétrica (com aparelho ANALION®, modelo C 702), pH (peagâmetro QUIMIS® modelo Q-400BC/BD), temperatura e, quando possível, profundidade do nível estático das águas dos pontos visitados.

#### 4.2 Análises Químicas

A análise da concentração de cloretos foi realizada na totalidade das amostras no Laboratório de Hidrogeologia, do Setor de Geologia de Engenharia e Ambiental do Departamento de Geologia da UFRJ. No Laboratório de Análise Mineral da Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais (LAMIN/CPRM) foram realizadas análises químicas completas, com as amostras coletadas no ano 2000.

#### 4.3 Tratamento e Interpretação dos Dados

##### 4.3.1 Banco de Dados

Elaborou-se um Banco de Dados com todos os resultados gerados com os levantamentos preliminares, levantamentos de campo e análises laboratoriais. Verificaram-se os principais parâmetros para o estudo, visando a compreensão da intrusão salina nos aquíferos costeiros, assim como saber a necessidade de complementação de novos dados. Este banco de dados contém todas as informações obtidas (dados de campo, parâmetros físico-químicos, localização geográfica, perfis litológicos). Os dados das análises químicas completas foram exportados para o *software AquaChem®* para elaboração de gráficos e diagramas para fins de caracterização hidrogeoquímica da área de estudo.

##### 4.3.2 Geração de Mapas

Os dados foram exportados para o *software ArcGis/ArcMap 8.3®*, para uma melhor visualização espacial dos resultados. Foi possível assim gerar mapas de isovalores de cloreto e condutividade elétrica na análise dos resultados. Em seguida foram realizadas as representações gráficas, processamento e elaboração dos resultados e interpretações consequentes, que deram origem às discussões e conclusões apresentadas ao fim do trabalho.

### 5 Resultados e Discussões

Os resultados alcançados neste trabalho permitem uma caracterização geral da área estudada, bem como em áreas com maior nível de detalhe como é o caso de Itaipuaçu.

Os resultados estão estruturados da seguinte maneira: inicialmente apresentam-se os dados e interpretações de uma análise espaço-temporal na região de Itaipuaçu com a comparação de mapas de isovalores de cloreto e condutividade elétrica entre o ano 2000 e 2006; após isso, é feita uma breve caracterização hidrogeoquímica das águas subterrâneas de Itaipuaçu para o ano de 2000; em seguida são exibidos os mapas temáticos de isovalores de cloreto e condutividade elétrica de toda a área para caracterização de sua água subterrânea; e em uma última etapa é realizada a interpretação do monitoramento da cunha salina na planície costeira de Maricá e discussões sobre os resultados obtidos, buscando avaliar a influência dos fatores hidrogeológicos na ocorrência e distribuição da cunha salina.

#### 5.1 Análise Espaço-Temporal de Dados Hidrogeoquímicos de Itaipuaçu

Nesta etapa do trabalho foram comparados os 9 pontos de coleta do ano 2000, obtidos pelo projeto ACOST-RIO, com os 12 pontos coletados, pela primeira autora, no ano de 2006 na área piloto de Itaipuaçu (Tabela 1).

Ponto	N (m)	E (m)	CE (µS/cm)	Cl(mg/L)
<b>2000</b>				
ITA-32	7460582	708944	960	199
ITA-34	7459444	708920	71	13,34
ITA-35	7458366	708992	310	46,3
ITA-36	7458941	709019	>2000	17284
ITA-39	7458950	707450	262	28,21
ITA-43	7458979	705331	229	28,37
ITA-45	7459929	708930	118	20,22
ITA-54	7458870	711694	114	19,04
<b>2006</b>				
ITA1	7458922	705458	471	22
ITA2	7487732	707541	510	41
ITA3	7458752	709018	591	42
ITA4	7458453	710583	411	44
ITA5	7458693	711781	119	22
ITA6	7459436	708924	135	23
ITA7	7460070	709041	405	70
ITA8	7459738	706948	225	20
ITA9	7460015	706810	218	25
ITA10	7458769	7048803	512	45
ITA11	7458822	706280	358	32
ITA12	7458610	709055	318	40

Tabela 1 Localização (coordenadas UTM) e valores de condutividade elétrica *in situ* e de cloreto nos pontos amostrados.

Para tal avaliação foram confeccionados mapas de isolinhas de condutividade elétrica e cloreto para 2000 e 2006 (Figuras 5 a 8).

As análises químicas para o íon cloreto do ano de 2000 (Figura 5) indicaram indícios de intrusão

salina (cunha salina além da posição média esperada no cordão arenoso em alguns pontos). Porém, tais resultados podem estar relacionados a um poço de amostragem muito profundo ou ainda pela presença de paleoáguas.

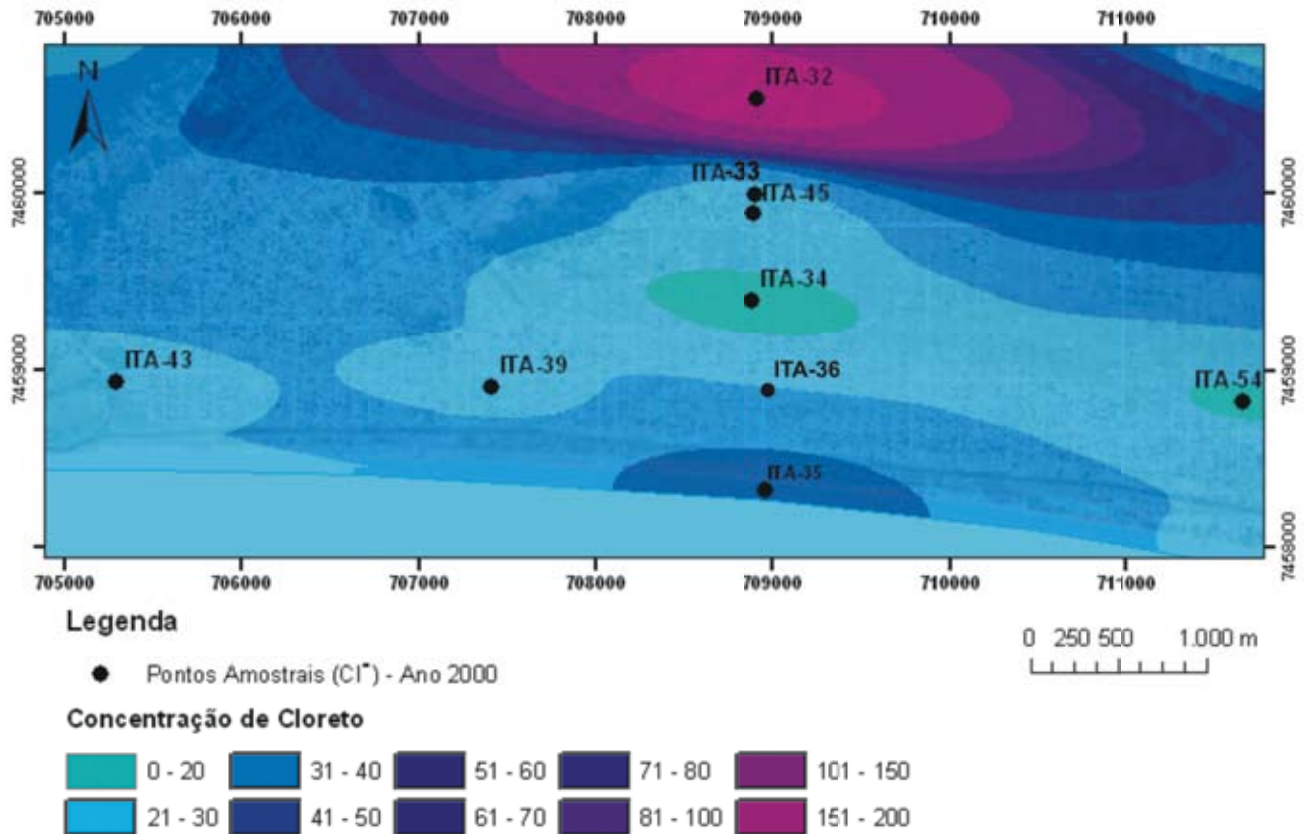


Figura 5 Mapa de isolinhas de cloreto para o ano de 2000. Os círculos negros são os pontos de levantamento de dados hidrogeológicos e amostragem de água.

Análises realizadas no ano de 2006 (Figura 6) indicaram uma diminuição pontual (ITA32/ITA7) nos indícios de intrusão salina mas, de forma geral, a cunha salina apresenta um suave aumento da concentração na porção E, na região mais próxima ao mar.

Tal diminuição pode ter ocorrido devido às épocas das coletas, já que em 2000 a amostragem foi realizada no verão, período de “alta estação”, onde há maior número de veranistas, e conseqüentemente maior taxa de bombeamento nos aquíferos locais. Vale ressaltar que tal diminuição ocorre muito localmente, o que pode ser interpretado como uma diminuição

pontual no valor de cloreto e não como um efetivo recuo da cunha salina, já que de maneira mais geral o que vem ocorrendo é justamente o contrário.

Os mapas de condutividade elétrica (Figuras 7 e 8) confirmam a suspeita de que há um efetivo avanço da cunha salina na região, principalmente na porção E do mapa. Confirmando que os períodos diferenciados das coletas para os dois anos exerceram alguma influência no resultado, assim como o fato de que para o ano de 2000 a amostragem na porção E, que é a mais afetada, foi maior. Ainda assim, o aumento dos valores de condutividade elétrica na região ocorreu de maneira significativa.

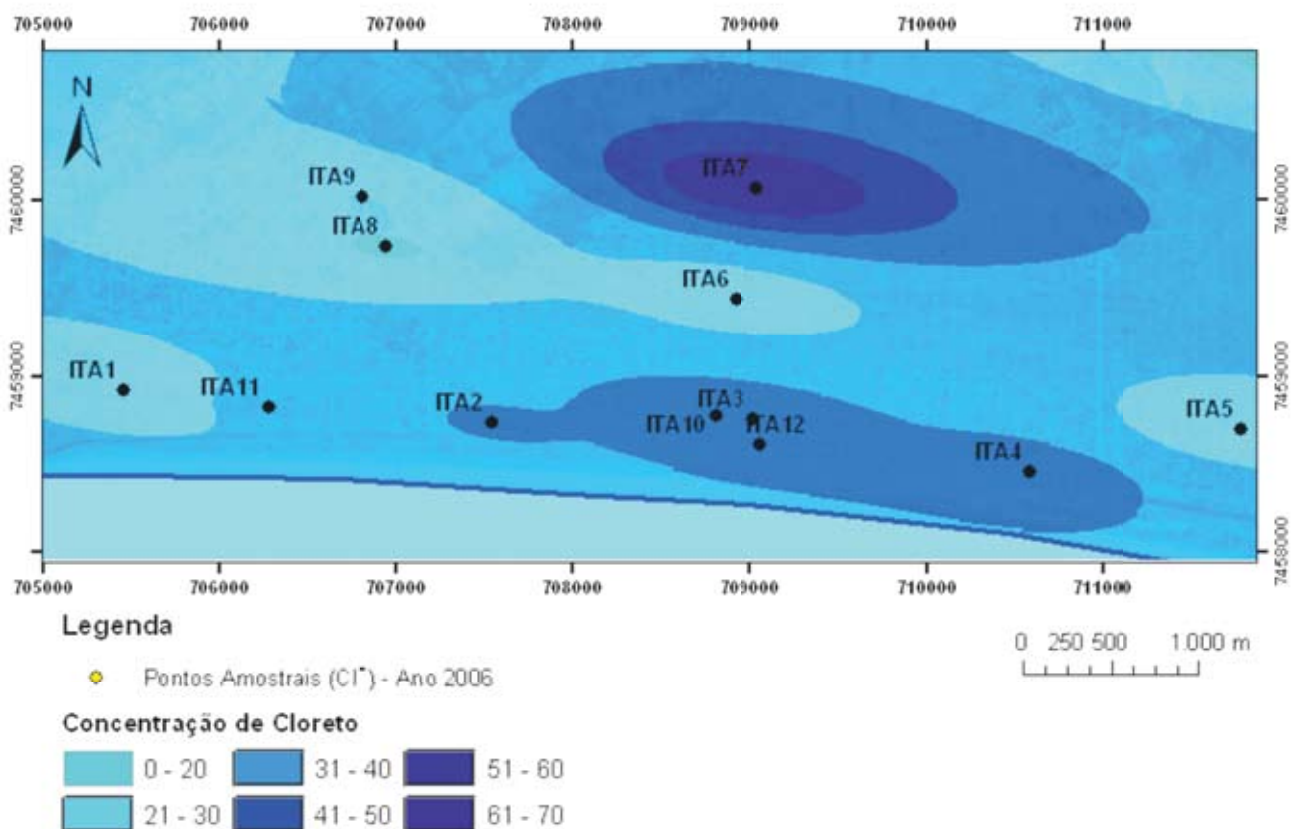


Figura 6 Mapa de isolinhas de cloreto para o ano de 2006. Os círculos negros são os pontos de levantamento de dados hidrogeológicos e amostragem de água.



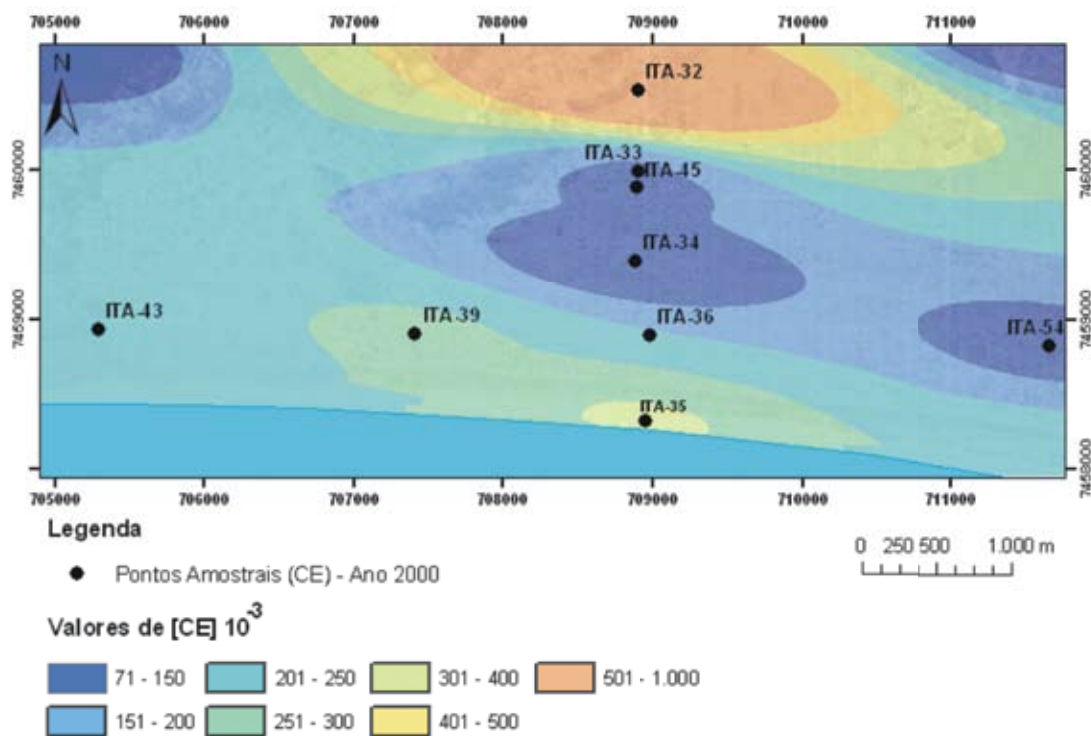


Figura 7 Mapa de isolinhas de condutividade elétrica para o ano de 2000. Os círculos negros são os pontos de levantamento de dados hidrogeológicos e amostragem de água.

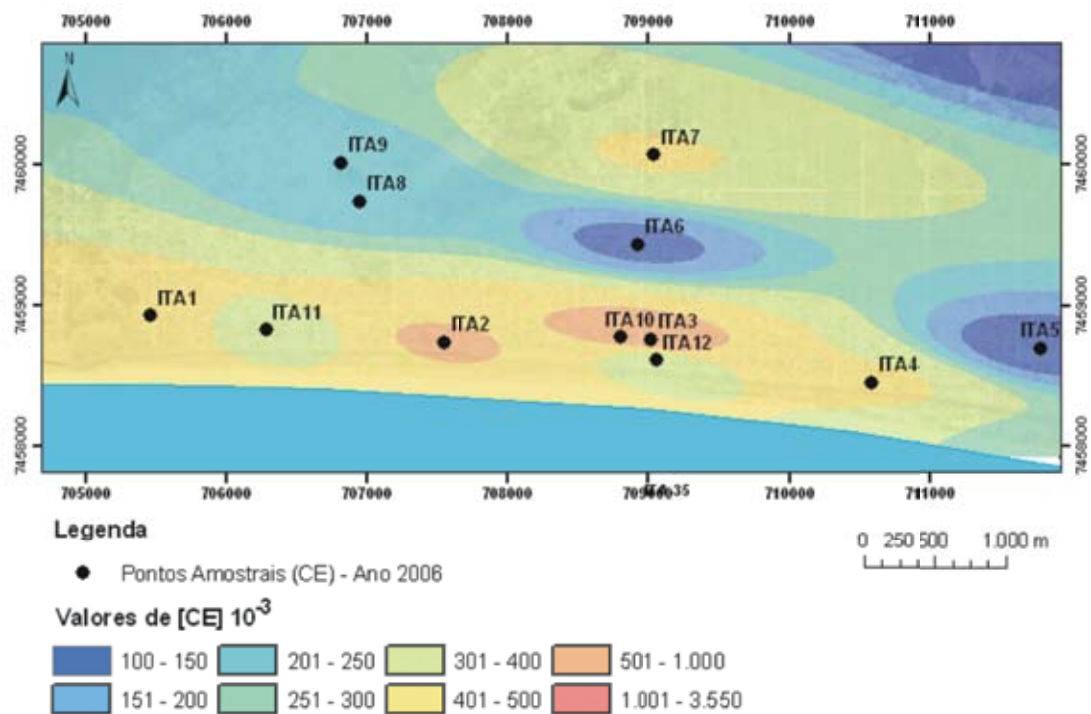


Figura 8 Mapa de isolinhas de condutividade elétrica para o ano de 2006. Os círculos negros são os pontos de levantamento de dados hidrogeológicos e amostragem de água.

## 5.2 Caracterização das Águas Subterrâneas de Itaipuaçu no Ano de 2000

Os dados obtidos laboratorialmente foram processados no *software AquaChem* para a caracterização hidrogeoquímica. Os resultados obtidos se encontram na Tabela 2 e na Figura 9.

A comparação dos ânions indicou, conforme esperado, a predominância do íon cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) sobre o íon sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e sobre o íon bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ). Essa característica é muito comum em áreas costeiras onde a influência do mar e da laguna é significativa. Por ser um íon conservativo, o íon cloreto é um excelente traçador de contaminação marinha nas águas subterrâneas em áreas costeiras. O cloreto, em geral, é muito solúvel e muito estável em solução, logo dificilmente precipita-se. Não oxida e nem se reduz em águas naturais. Em águas naturais continentais o cloreto se encontra com valores entre 10 mg/L e 250 mg/L. Nas águas subterrâneas da área de estudo foi encontrada apenas uma amostra acima desse limite.

Para o ânion nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) normalmente os teores encontrados nas águas naturais são baixos, no entanto foi encontrado em um dos pontos amostrado um valor bem acima do esperado para águas doces, porem

ainda dentro do limite estabelecido pelo CONAMA (2005). Esse alto valor de nitrato pode ser indicativo de contaminação por atividades antrópicas (esgoto, fossas sépticas, depósitos de lixo, resíduo animal).

Os demais ânions maiores das águas subterrâneas apresentaram valores dentro dos limites observados em águas doces.

Do ponto de vista catiônico, o sódio ( $\text{Na}^+$ ) é o principal responsável pelo aumento constante da salinidade das águas naturais em áreas costeiras, estando normalmente associado ao cloreto. Das águas subterrâneas analisadas, uma única amostra apresentou um valor acima de 150 mg/L.

Os demais cátions das águas subterrâneas apresentaram valores dentro dos limites observados em águas doces, com exceção da amostra ITA36.

O estudo dessas análises químicas, junto com as informações dos diagramas de Piper e Schoeller para as águas subterrâneas do aquífero de Itaipuaçu (Figura 9 A e B) possibilita a interpretação de que as águas da região são do tipo cloretadas-sódicas e apresentam o padrão típico de águas evoluindo de caráter mais doce, continental, para águas salinizadas, fortalecendo a hipótese de intrusão marinha.

Ponto	$\text{Ca}^{+2}$	$\text{Mg}^{+2}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Cl}^-$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{-2}$
ITA-32	5,21	16,13	127	3,5	199	25,2	0,1	44,3
ITA-33	3,96	1,73	14,4	2,1	27,24	15,3	0,1	1,8
ITA-34	1,03	0,89	6,7	1	13,34	8,3	0,1	0,1
ITA-35	5,8	2,37	35,1	9,9	46,3	14,7	8,2	23,5
ITA-36	393,9	1276	9590	400	17284	132,1	0,1	239,1
ITA-39	16,86	3,03	17,2	9,7	28,21	8,9	42,1	15,3
ITA-43	7,8	2,66	20,4	6	28,37	1,9	4,2	35,2
ITA-45	3,87	1,43	12,54	1,28	20,22	19,2	1,4	0,4
ITA-54	0,85	1,81	13,02	2,58	19,04	6,4	0,1	8,2
Valores Máximos	100	40	150	10	250	350	10	250

Tabela 2 Valores dos íons maiores para Itaipuaçu em mg/L com o indicativo do valor máximo permitido para consumo em águas subterrâneas de acordo com a Portaria 357/05 do CONAMA.

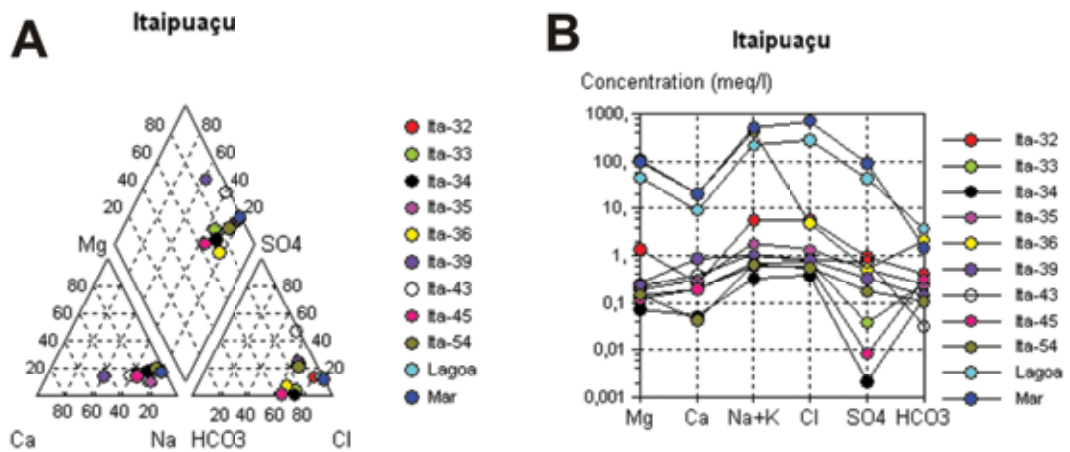


Figura 9 (A) Diagrama de Piper para as águas subterrâneas do aquífero costeiro de Itaipuaçu no ano de 2000. (B) Diagrama de Schoeller para as águas subterrâneas do aquífero costeiro de Itaipuaçu no ano de 2000.

### 5.3 Mapas de Isovalores

Através dos resultados obtidos nas análises químicas, foi possível delimitar áreas de isovalores

de cloreto e condutividade elétrica em toda a área estudada (Figuras 10 e 11).

Nestes mapas, verificou-se a contaminação pelo possível avanço da cunha salina, variando seu

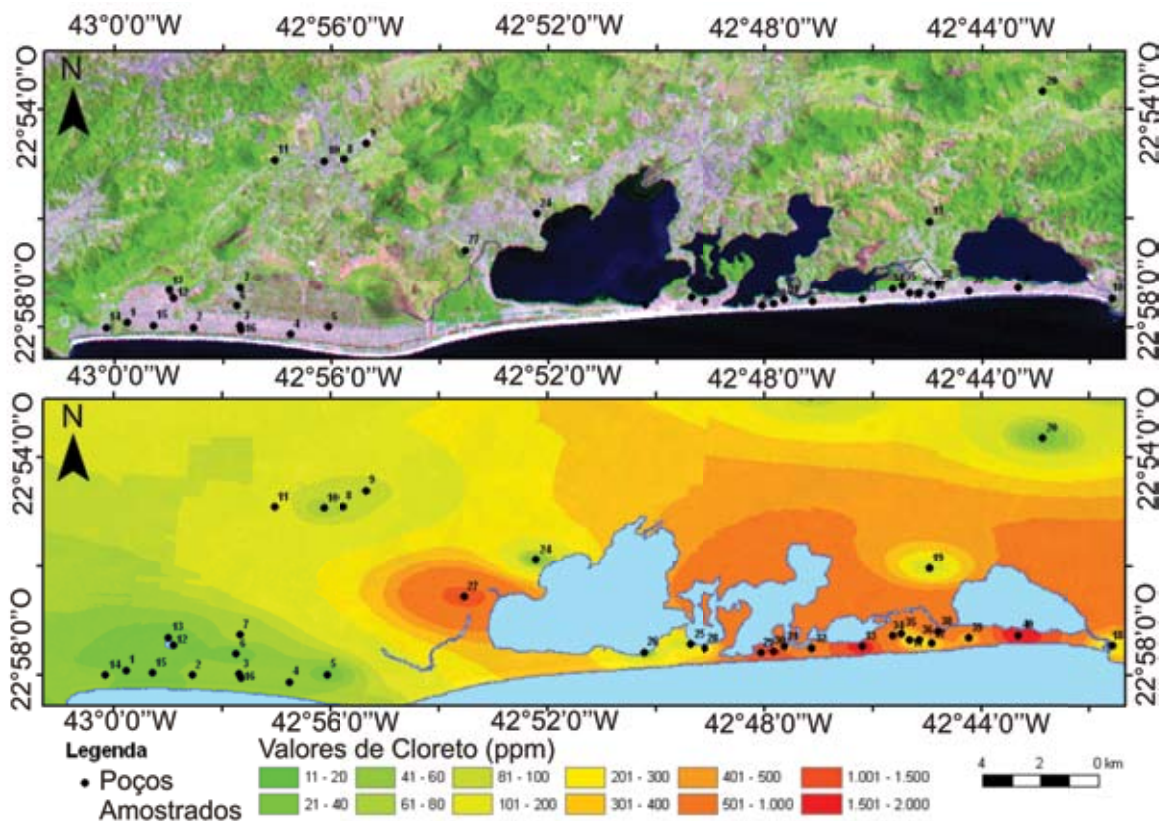


Figura 10 Mapa de isovalores de cloreto para toda a área de estudo.

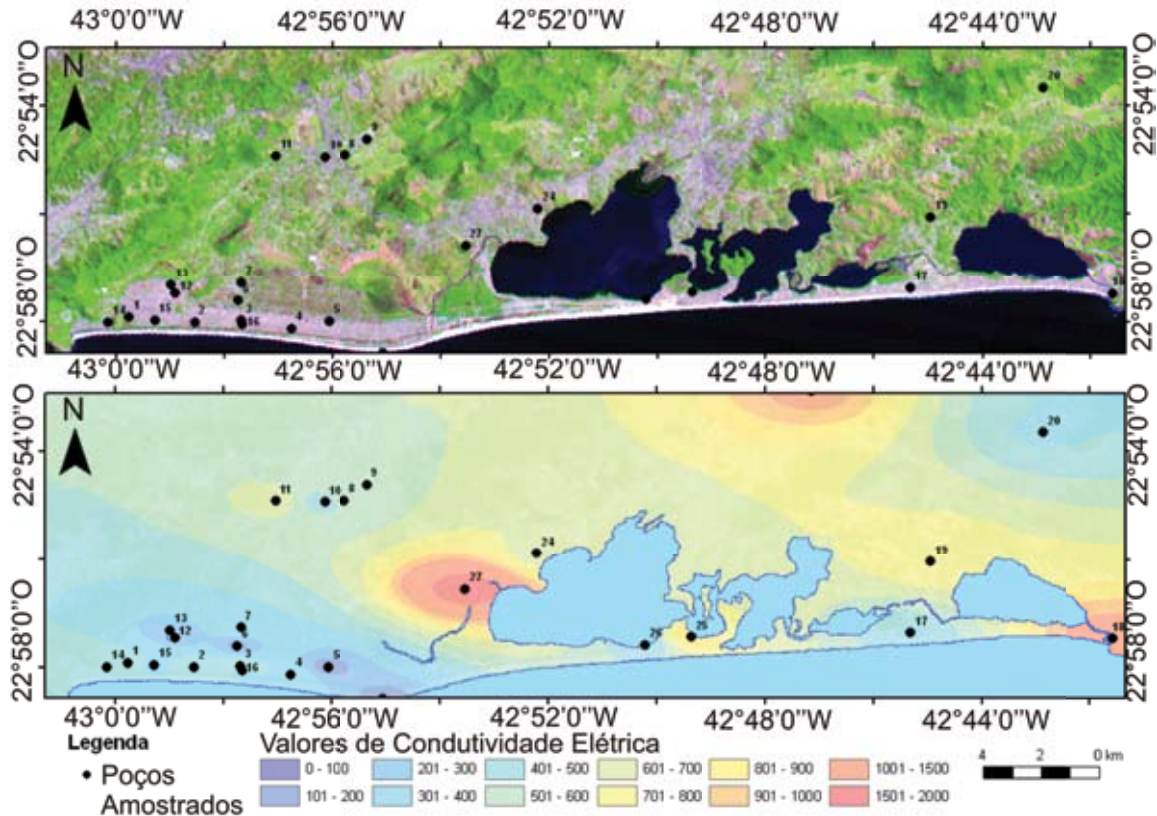


Figura 11 Mapa de isovalores de condutividade elétrica para toda a área de estudo.

grau de acordo com a proximidade do mar e das lagunas, observando-se o perigo de salinização dos aquíferos locais em curto/médio prazo, mantidas as projeções de aumento de consumo.

Os resultados do trabalho indicam que a concentração de sal na água geralmente varia com a proximidade da linha de costa. Nota-se também que a porção SE da área é a mais afetada com o efeito da salinidade, o que pode ocorrer devido a uma maior proximidade das lagunas. Apesar de também informar sobre tal impacto, o mapa de isovalores de condutividade elétrica ficou mais "suavizado" devido a não medição dos valores para tal parâmetro em 12 dos pontos amostrados, relativamente à última campanha de campo.

Evidentemente, o complexo padrão deposicional observado na baixada litorânea, resultante dos sucessivos ciclos de sedimentação e erosão pelo avanço e recuo do oceano leva à possibilidade de

águas conatas e barreiras ao fluxo perpendicular de águas doces ou salgadas, dificultando a interpretação. Muitos dos valores observados nos limitados pontos de observação podem estar relacionados a aspectos arquiteturais locais, em termos estratigráficos.

#### 5.4 Monitoramento da Cunha Salina na Planície Costeira de Maricá

A oscilação do nível d'água em Maricá foi verificada com a instalação de medidor de nível d'água, condutividade elétrica e temperatura eletrônico (*Levelogger*) durante os meses de dezembro de 2006 a fevereiro de 2007. A partir de dados pluviométricos foi possível verificar a rápida ascensão do nível da água subterrânea (Figura 12). Para uma melhor visualização dos dados obtidos optou-se por representar na Figura 12 apenas o intervalo de 3 de janeiro de 2007 a 31 de janeiro de 2007. Cabe ressaltar também que se fez necessário trabalhar com diferentes escalas para representar os quatro parâmetros estudados em um

único gráfico, a fim de obtermos uma melhor visualização dos resultados. Os valores de N.A. presentes na tabela são referentes à coluna d'água sobre o aparelho (*Levellogger*).

Através dos dados de nível d'água (N.A.) vs chuva (P) foi possível notar que após um período de precipitação, em pouco tempo havia uma resposta do aquífero freático da planície costeira de Maricá. Esse comportamento deve-se principalmente as características físicas do aquífero que é constituído por material arenoso com poucos finos, permitindo uma rápida percolação da água de chuva. A resposta dada através dos dados de condutividade elétrica (C.E.) vs chuva, *grosso modo*, nos fornece a idéia de que após um período chuvoso o valor da C.E. aumenta, o que provavelmente ocorre devido ao fenômeno do aerossol marinho, que acaba por ser lixiviado com a chuva, percolando de forma mais intensa no solo, aumentando assim a quantidade de íons nas águas do aquífero.

Os dados de temperatura vs chuva mostram que o aquífero sofre a influência das estações do ano, no caso estudado nota-se uma elevação de temperatura na água ao longo do mês de janeiro de 2007.

O exposto anteriormente no gráfico mostra que o aquífero costeiro de Maricá apresenta rápida

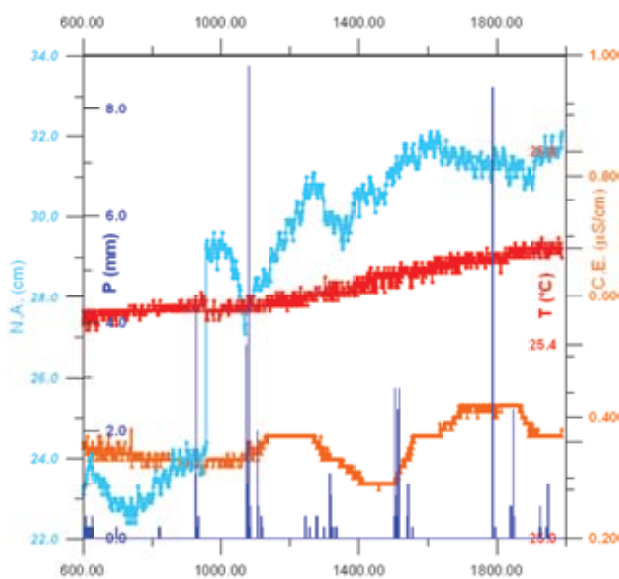


Figura 12 Gráfico comparativo Nível d'água x Precipitação x Condutividade Elétrica x Temperatura da região de Maricá durante o mês de janeiro de 2007.

resposta aos fatores sazonais e climáticos, denotando alta vulnerabilidade, porém também rápida recarga e logo alto poder de diluição.

## 6 Conclusões

Os resultados apresentados neste trabalho mostram que o estudo aplicado à área demonstrou resultados satisfatórios, porém são apenas o início de uma pesquisa mais detalhada desse aquífero. A água subterrânea da região foi classificada como cloretada-sódica. Quando comparados os dados dos anos de 2000 e 2006 nota-se um avanço da cunha salina ao serem analisados os parâmetros cloreto e condutividade elétrica, cujos valores evidenciam um aumento de sais na água. Obtiveram-se valores de cloreto variando de 11 a 2000 ppm e valores de condutividade elétrica de 120 a 1120  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , com distribuição indicando que a concentração de sal na água geralmente varia com a proximidade da linha de costa. Notou-se também que a porção SE da área é a mais afetada com o efeito da salinidade, o que pode ser ocasionado devido a uma maior proximidade das lagunas.

O monitoramento do nível d'água na planície costeira de Maricá nos mostrou que esse aquífero costeiro apresenta rápida resposta aos fatores sazonais e climáticos, o que denota alta vulnerabilidade, porém também rápida recarga e logo alto poder de diluição.

A falta de conscientização dos usuários e gestores pode ter comprometido esse recurso natural por muito tempo. Esse estudo mostrou um possível aumento do problema e mesmo um avanço da intrusão salina. O desconhecimento do recurso hídrico da região, associado à falta de controle por qualquer instituição pública, acaba por provocar a deterioração desse recurso.

Tal problema pode ser amenizado caso ocorra na região uma efetiva distribuição de água de origem superficial da CEDAE, diminuindo assim o consumo dessas águas subterrâneas. Cabe salientar que os moradores da região apresentam certa resistência em adotar o uso exclusivo de água de origem superficial, dificultando assim uma melhora efetiva nas águas do aquífero local.

## 6 Referências

- Alves, M. G. 2000. *Diagnóstico ambiental da Região Oceânica de Niterói e Distrito de Inoã - Maricá (RJ): uma visão por geoprocessamento e mapeamento geológico-geotécnico*. Tese de Doutorado, Depto. de Geologia – Instituto de Geociências/UFRJ, 239 p.
- Appelo, C. A. J. & Postma, D. 2005. *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. A. A. Balkema. Rotterdam, Brookfield. 2<sup>nd</sup> Ed., 728 p.
- Bocanegra, E.; Silva Jr., G.C.; Custodio, E.; Manzano, M.; Montenegro, S. & Reynolds-Vargas, J. 2007. Characterization of Iberoamerican coastal aquifers: state of knowledge and management. *In: CONGRESS OF INTERNATIONAL ASSOCIATION OF HYDROGEOLOGY*, 35, Lisbon, 2006. *Proceedings of the XXXV IAH Congress*. v.1, p. 1-10.
- CIDE. 2000. Anuário Estatístico do Estado do Rio de Janeiro. Governo do Estado do Rio de Janeiro.
- CONAMA. 2005. – Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 257/05 de janeiro de 2005. Disponível em: [www.mma.gov.br/port/conama](http://www.mma.gov.br/port/conama). Acesso em 15 de dezembro de 2006.
- Cruz, A.; Silva Júnior, G. C. & Almeida, G.M. 2006. Modelagem hidrogeoquímica do aquífero freático da restinga de Piratininga, Niterói-RJ. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS*, 14, Curitiba, 2006. *Anais*, v.1, p. 1-19.
- Cruz, A. & Silva Júnior, G. C. 2006. Spatial and temporal hydrochemical behavior of Piratininga coastal aquifer, Niterói City, Brazil. *In: SALT WATER INTRUSION MEETING*, 19, Cagliari, Italy, 2006. *Proceedings of the 19th SWIM*, v. 1, p. 12-18.
- Muehe, D. 1998. O litoral brasileiro e sua compartimentação. *In: CUNHA, S.B. & GUERRA, A.J.T. (org.). Geomorfologia do Brasil*. Capítulo 7. Editora Bertrand Brasil S.A. Rio de Janeiro, RJ, p. 273-349.
- Muehe, D. & Carvalho, V. G. 1989. Morfologia e distribuição dos sedimentos na plataforma continental interna entre Saquarema e Cabo Frio. *In: SIMPÓSIO SOBRE OCEANOGRAFIA*, 1, *Resumos*. São Paulo, SP, p. 87-58.
- Silva Jr., G.C.; Lowsby, M. & Souza, M. G. 2000. A problemática da intrusão marinha nos aquíferos costeiros do leste Fluminense: um estudo de caso – a Região Oceânica de Niterói. *In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS*. Fortaleza - CE. *Anais*, v. 1, p.15-25.
- Silva, L. C.; Santos, R. A.; Delgado, I. M. & Cunha, H. C. C. 2001. Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro. CPRM, DRM/ RJ. Escala: 1:400.000.