

# MODELAGEM HIDROGEOQUÍMICA DO AQÜÍFERO FREÁTICO DA RESTINGA DE PIRATININGA, NITERÓI-RJ

Alexandre Cruz<sup>1</sup>; Gerson Cardoso da Silva Jr.<sup>1</sup> Ghislaine de Medeiros Almeida<sup>1</sup>

## Resumo:

O presente trabalho tem como objetivo caracterizar o comportamento hidrogeoquímico da água subterrânea do aquífero costeiro da restinga de Piratininga, onde se localiza o bairro homônimo na cidade de Niterói-RJ. Essa área sofreu ao longo das duas últimas décadas um rápido crescimento demográfico associado a intensa exploração em suas águas subterrâneas tendo como consequência a degradação deste recurso, única fonte de abastecimento de água até poucos anos atrás. Para o presente trabalho foram utilizados alguns métodos para a caracterização da água subterrânea, envolvendo a preparação de gráficos, diagramas e tabelas para classificação das águas e formulação de hipóteses conceituais, seguida da realização dos cálculos de especiação e índices de saturação através do código para modelagem hidrogeoquímica PHREEQC 2.12 (Parkhurst e Appelo, 2005). Os resultados permitiram avaliar a cunha de intrusão marinha e conseqüentemente auxiliar na avaliação dos riscos de salinização. Através das razões iônicas obtidas observou-se que as águas subterrâneas da restinga de Piratininga apresentam forte influência marinha, ainda que a salinidade total não seja necessariamente elevada. Os resultados obtidos pelo modelo PHREEQC em relação aos índices de saturação mostram que os minerais de ferro e alumínio encontram-se saturados ou supersaturados na solução, diferentemente dos minerais carbonatados e sulfatados. A presença de ferro dissolvido ou incrustações desse elemento são comuns na água subterrânea local.

**Palavras-chave:** Aquíferos costeiros; Aquíferos fluminenses; Hidrogeoquímica

## Abstract:

The present work has the objective to characterize the hydrogeochemical behavior of the groundwater in the coastal aquifer of Piratininga sand bar, in the city of Niterói, Rio de Janeiro State. The area has been submitted to a fast demographic growth together with intense groundwater exploitation in the last decades, causing as consequence the degradation of this

---

<sup>1</sup> Departamento de Geologia - I. Geociências - Universidade Federal do Rio de Janeiro; Ed. CCMN, Av. Brigadeiro Trompowsky s/n., Sala J0-05, Tel/Fax: 2598-9481 r. 37; e-mail: [alexandreacruz19@yahoo.com.br](mailto:alexandreacruz19@yahoo.com.br).

resource, the only source of water to the population up to a few years ago. For the present work the characterization of groundwater was carried out through a number of methods including the preparation of graphs, diagrams and tables for classification of the water and formulation of conceptual hypotheses, followed by the accomplishment of the speciation calculations and saturation indexes through the code PHREEQC 2.12 (Parkhurst and Appelo, 2005). The results allowed evaluation of seawater wedge and consequently aid in the evaluation of salinization risks. Through ionic ratios it was noticed that groundwater of Piratininga present a strong sea influence, although the total salinity is not necessarily high. The results obtained by the PHREEQC model show that the iron and aluminum minerals are saturated or supersaturated in solution, unlike the carbonate and sulfate minerals. The presence of dissolved iron or incrustations of that element are common in the local groundwater.

**Keywords:** coastal aquifers; Rio de Janeiro State eastern coast; Hydrogeochemistry.

## 1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO

A salinização das águas subterrâneas é um dos problemas de contaminação mais generalizado no mundo. Em vários países que utilizam águas subterrâneas em situação de ameaça de salinização, como em zonas costeiras intensamente povoadas ou regiões áridas, vem-se estudando o problema detalhadamente desde há muitas décadas, e o assunto continua sendo objeto de constante evolução em função de sua complexidade e multidisciplinariedade.

As águas salinas ou salobras mesclam-se com relativa facilidade com as águas doces, o que eleva o risco de degradação da qualidade da água. Quando a água do mar penetra em um aquífero, basta apenas uma relação de 2% do volume de água do mar para 98% de água doce para toda a mistura não apresentar mais as características adequadas de potabilidade (Custodio, 1987).

Esse problema também afeta diretamente a costa brasileira. Nesse contexto, o litoral do Estado do Rio de Janeiro, onde em alguns trechos a água subterrânea é insumo vital na ausência de outras fontes de abastecimento de água, é o objeto do presente estudo. A área de enfoque do estudo é a restinga de Piratininga, que se localiza no município de Niterói, na chamada Região Oceânica daquele município. A restinga de Piratininga teve rápida e integral ocupação urbana nas últimas décadas, inicialmente com predomínio de uso como segunda residência para veraneio e posteriormente como residência permanente. Isso resultou em intensa exploração dos recursos hídricos subterrâneos, que começaram a apresentar problemas de salinização. Embora desde o final do ano 2000 a concessionária de distribuição de água e coleta de esgoto *Águas de Niterói S.A.* tenha iniciado a distribuição de água e alguns anos depois a coleta de esgotos, os impactos advindos da ação antrópica ainda se fazem sentir nos aquíferos locais. No presente estudo busca-se realizar a caracterização hidrogeoquímica da restinga de Piratininga com a busca de dois objetivos distintos e complementares:

- 1) a caracterização e posterior modelagem hidrogeoquímica com o uso do código PHREEQC 2.12 (Parkhurst e Appelo, 2005) para avaliar o fenômeno da intrusão marinha e seus impactos na qualidade da água em função das litologias e dos mecanismos presentes. Paralelamente à modelagem com o PHREEQC foram realizadas avaliações com as razões iônicas de amostras completas de águas gerando gráficos e mapas que permitiram a interpretação hidrogeoquímica local;
- 2) a instrumentação hidroquímica de ponto de observação no aquífero local para acompanhamento da evolução temporal das características locais de salinidade, temperatura e potenciometria. Para esse objetivo foi realizado um estudo de monitoramento do nível d'água, condutividade elétrica e

temperatura com o uso do *Levellogger*<sup>®</sup> (Solinst Inc.), dispositivo para uso em poços de monitoramento.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

Niterói é um município da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, contando com 460 mil habitantes aproximadamente IBGE (2000). O município tem uma área total de 134,5 quilômetros quadrados, correspondentes a 2,9% da área da Região Metropolitana e com uma densidade demográfica de 3.457 habitantes por km<sup>2</sup>. O uso de água subterrânea foi importante durante todo o período de desenvolvimento imobiliário da chamada Região Oceânica de Niterói (Fig. 1), que abrange os bairros de Piratininga, Camboinhas, Itacoatiara, Itaipu, Engenho do Mato, Jacaré, Cantagalo e Cafubá, ocorrido desde o final da década de 1960. A rápida expansão da ocupação urbana, constituída inicialmente quase exclusivamente por residências de veraneio unifamiliares para população de alta renda impôs um severo *stress* aos recursos hídricos subterrâneos, especialmente depois que o bairro passou a ser ocupado em caráter de residência permanente por grande parte dos proprietários. Mais recentemente, a empresa Águas de Niterói, que passou a ter a concessão de distribuição de águas e tratamento de efluentes domésticos de Niterói, estendeu a sua rede ao bairro de Piratininga, alterando radicalmente características do uso de água subterrânea local, que praticamente cessou de ocorrer a partir de 2001.

A restinga de Piratininga está localizada na porção sul da Região Oceânica do município de Niterói, limitada a norte pela lagoa de Piratininga, a leste pelo bairro de Camboinhas e a oeste e a sul pelo Oceano Atlântico. Apresenta basicamente forma alongada com cerca de 3 km de comprimento no seu eixo maior e largura média de aproximadamente 0,4 km no seu eixo menor, correspondendo a uma área de cerca de 1,2 km<sup>2</sup>. (Fig. 2).

### 2.1 Geologia e Fisiografia Local

A geologia local caracteriza-se por um embasamento Neoproterozóico/Cambriano composto por Granitos Pão de Açúcar e Corcovado e constituem os principais plútons expostos na região sudeste do município do Rio de Janeiro, estendendo-se daí para Niterói (Fig. 3). São plútons foliados, com forte e contínuo *fabric* tangencial. A fácies dominante é o Granito Corcovado, caracterizado por biotita e granada como acessórios principais. O Granito Pão de Açúcar é uma fácies subordinada, tendo biotita, e

localmente hornblenda, como principais acessórios. Bolsões e manchas irregulares, portadoras de ortopiroxênio, ocorrem em alguns domínios (CPRM, 2001).

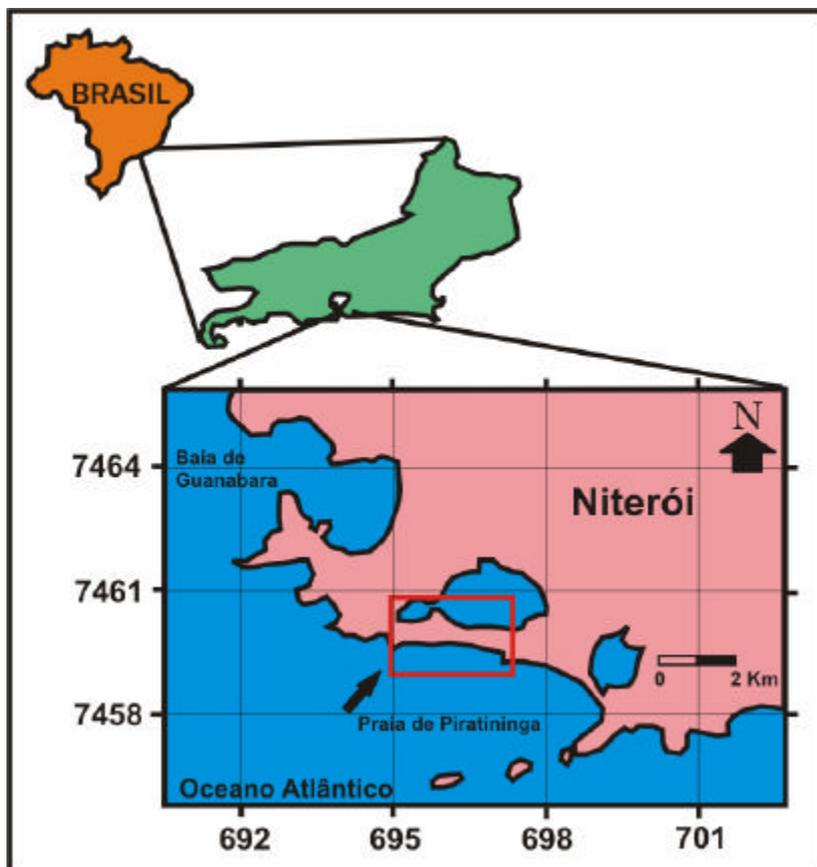


Figura 1: Mapa de Localização da área de estudo na Região Oceânica do município de Niterói - RJ.  
Coordenadas UTM (km).

Na costa do Estado do Rio de Janeiro ocorre uma série de ambientes de sedimentação quaternárias, associados a sistemas deposicionais de origem continental e transicional marinho. No caso da área de estudo, essa sedimentação quaternária é caracterizada por depósitos de praias eólicas, marinhos e ou lagunares, compostas por areias quartzosas esbranquiçadas, finas a médias, bem selecionadas, recobertas por areia eólicas na forma de depósitos eólicos mantiformes ou dunas transgressivas. Ocorrem também estratificações cruzadas de pequeno e grande porte nas fácies eólicas.

A Região Oceânica de Niterói possui dois domínios geomorfológicos: os maciços costeiros e a baixada litorânea, esta formada pela planície costeira e depressões lagunares, barradas por restingas, cobertas ou não por dunas (PMN, 1995).

O relevo da área é diretamente condicionado pelas características geológicas observadas na região. As zonas mais baixas, com até 25 m de altitude, compõem as planícies litorâneas, avançando em alguns trechos pelas drenagens fluviais, como nos casos dos rios Jacaré e Arrozal.

Os solos locais estão relacionados aos sedimentos arenosos de origem marinha que constituem os cordões litorâneos dispostos em faixas subparalelas ao longo da costa, cuja ocorrência é mais significativa de Mangaratiba para o norte, com destaque para a região do delta do Paraíba, onde ocupam áreas mais amplas. Em sua maior parte, são recobertos por vegetação de restinga do tipo campestre ou arbóreo-arbustiva (PMN, 1995).

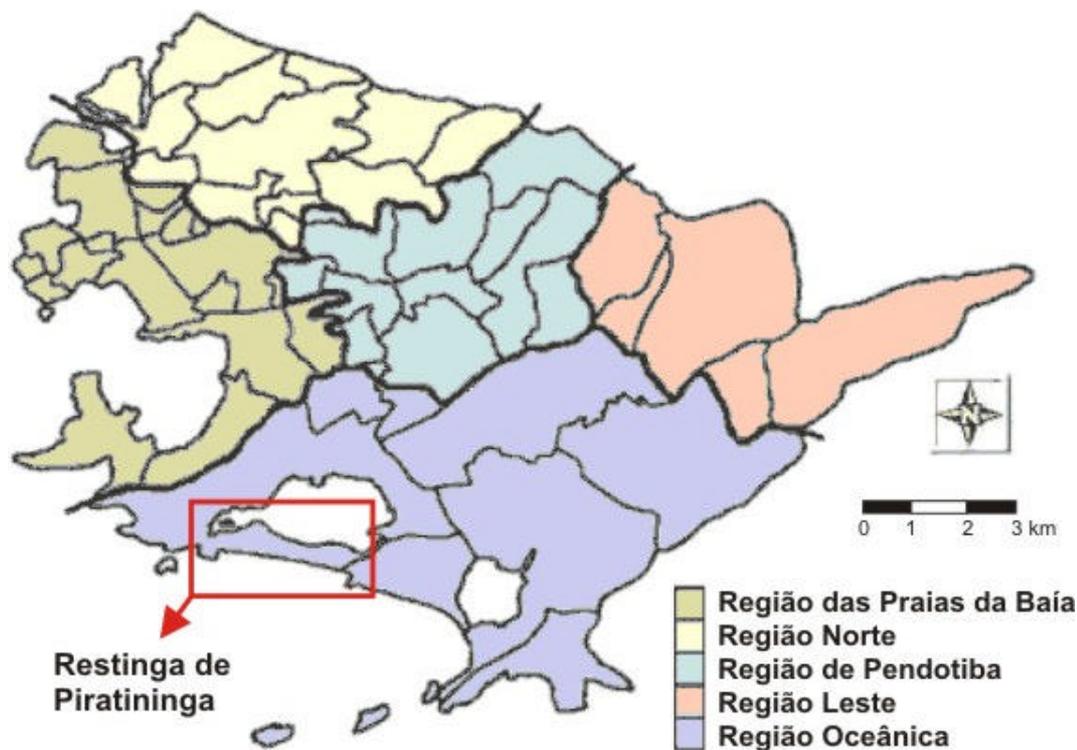


Figura 2: Mapa do Município de Niterói com suas respectivas Regiões. Em destaque a área da Restinga de Piratininga.

O clima da região de Niterói é caracterizado como quente e úmido, com estação chuvosa no verão de dezembro a março e seca no inverno entre junho e agosto (PMN, 1995). A temperatura média anual é de 23° C, sendo constantes temperaturas máximas acima de 41° C de novembro a março e mínimas abaixo dos 14° C de abril a novembro. A precipitação anual oscila em torno de 1200 mm. Os ventos mais freqüentes são de sul - sudeste, durante as frentes frias, e norte - nordeste, comuns nas épocas de chuvas de verão (Martins, 1999).

MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO OCEÂNICA DE NITERÓI - RJ

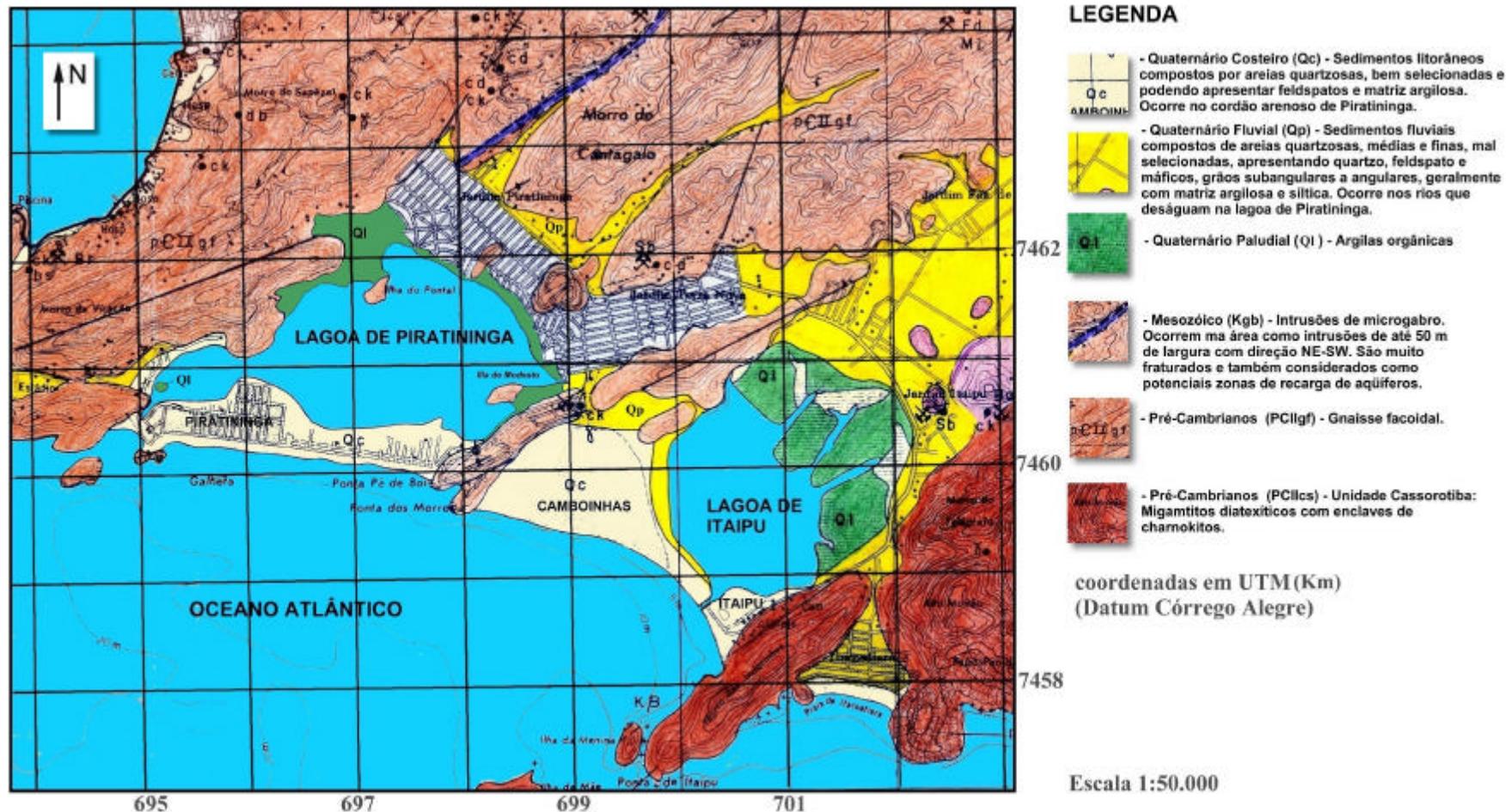


Figura 3: Mapa geológico da Região Oceânica do Município de Niterói (DRM/RJ, 1981).

## 2.2 Hidrogeologia

De modo geral, as águas subterrâneas da Região Oceânica de Niterói ocorrem e são aproveitadas tanto em aquíferos fraturados, como no caso do Cafubá, quanto em meios porosos, como no caso de Piratininga, alvo do estudo. Na área do estudo propriamente dito somente é explorado e estudado o aquífero poroso, já que o aquífero fraturado, dada sua posição encontra-se quase sempre salinizado (Lowsby e Alves, 2000). A seguir descrevem-se as características mais importantes do aquífero granular ou poroso:

*Aquífero granular* - corresponde à água armazenada nos terrenos sedimentares, como é o caso dos aluviões, colúvios, solos residuais e cordões litorâneos. Os aquíferos que ocorrem no cordão litorâneo de Piratininga e nos aluviões do Cafubá são considerados bons, pois são predominantemente constituídos por material arenoso com poucos finos e areno-argiloso respectivamente, ambos fornecendo água em relativa abundância. A principal diferença entre eles está na maior proximidade ao mar, que pode ocasionar a salinização do lençol. Os terrenos constituídos por solos coluviais e residuais, geralmente, não constituem bons aquíferos, em função do caráter argiloso e da contaminação pelas águas superficiais servidas; As fácies eólicas que se encontram sobrejacentes são compostas de areias quartzosas, de granulometria fina e coloração amarelo-acastanhado a avermelhado, muitas vezes enriquecidas em matriz secundária composta por argilas e óxidos de ferro.

## 3. METODOLOGIA

### 3.1 Tratamento, Interpretação e Modelagem Hidrogeoquímica na Restinga de Piratininga

Para o tratamento e interpretação dos dados hidroquímicos, bem como a modelagem hidrogeoquímica da área estudada, foram utilizados alguns métodos específicos, descritos nos próximos parágrafos.

Para a realização da modelagem foi utilizado o *software* PHREEQC 2.12 (Parkhurst e Appelo, 2005), que é um programa de computador que executa uma variedade de cálculos hidrogeoquímicos e possui uma interface gráfica em ambiente Windows, o que facilita sua utilização. O fundamento do PHREEQC é o modelo de associações iônicas em meio aquoso e é capaz de realizar tarefas como, cálculo de especiação e índices de saturação; cálculos de transporte advectivo e de evolução geoquímica em tubos de fluxo, incluindo mesclas, reações irreversíveis, equilíbrios gasosos e minerais, trocas iônicas e reações de complexação em superfície; modelagem inversa, na qual se calculam as

transferências minerais e de gases que respondem às diferenças entre as águas, considerando algumas restrições.

A elaboração de gráficos, diagramas e obtenção de razões iônicas, dentre outros possibilitaram a interpretação e caracterização das análises químicas que, associadas a aspectos geológicos e hidrogeológicos, permitiu elaborar modelos conceituais de funcionamento dos aquíferos.

### **3.2 Instalação do medidor automático da variação do nível d'água em poços tubulares (Levelogger)**

O medidor automático da variação do nível d'água, temperatura e condutividade elétrica em poços (*Levelogger*) foi instalado em um dos pontos cadastrados da restinga de Piratininga onde se teria uma alta representatividade dos dados a serem obtidos.

O *Levelogger*, antes de sua instalação, deve ser 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 no dia 20 de outubro de 2005 e programado para a coleta dos dados a cada cinco minutos. Foram coletadas 16.000 dados de nível d'água, condutividade elétrica e temperatura até o dia 15 de dezembro de 2005. A idéia foi acompanhar com a maior resolução possível a variação das propriedades hidrogeológicas e físico-químicas e coteja-las com outros dados, como variáveis climáticas.

## **4. RESULTADOS**

### **4.1 Razões Iônicas**

O estudo de razões iônicas é muito importante para a classificação e interpretação hidrogeoquímica das águas subterrâneas. Para a restinga de Piratininga foram selecionadas as principais razões iônicas interessantes para o estudo de aquíferos costeiros (Tabela 1).

A razão dos íons alcalinos pelos cloretos ( $(rNa + rK) / rCl$ ) é muito útil nos estudos de salinização em áreas costeiras. Para água do mar a razão varia geralmente entre 0,87 e 0,89. Também pode ser avaliado pela razão  $rNa/rCl$ , que é aproximadamente de 0,86. O valor para água doce é uma função do processo químico durante a recarga, mas geralmente é  $1,0 \pm 0,1$ . Quando a água salina desloca a água, a razão alcalinos/cloreto diminui com relação aos valores da água doce e freqüentemente alcançam valores mais baixos que águas marinhas (Cabral e Paiva, 2004). Ver as Figs. 4 e 5 e Tabela 2.

Tabela 1: Principais razões iônicas e seus significados (Hem, 1985):

Razão Iônica	Variações Teóricas	Significado
$rMg^{+2}/rCa^{+2}$	0,25-0,33	-água de circulação em rocha de composição granítica
	0,33-1,5	-águas continentais
	>0,9	-contato com água do mar ou fluxo através de rocha básica; possível influência de terrenos dolomíticos
	>1	-relações com litotipos ricos em silicatos magnesianos
$\pm 5$	-água do mar	
$rCa^{+2}/rMg^{+2}$	>1	- Indicação de Intrusão Marinha
$Ca/(HCO_3 + SO_4)$		
$rK^+/rNa^+$	0,02-0,025	-água do mar
	0,09-0,6	-água de circulação em rocha com composição granítica
	0,004-0,28	- “água doce”
$rNa^+/rCl^-$	<0,0876	-água do mar
	<0,7	- substituição de $Na^+$ por $Ca^{+2}$ e $Mg^{+2}$
	>0,7	-precipitação de sais de $Na^+$
		-fluxo através de rochas cristalinas ou vulcânicas
$rCl^-/rHCO_3^-$	0,5	-fluxo normal para rochas cristalinas
	0,1-0,5	-águas continentais
	20-50	-água do mar

Tabela 2: Razões  $((rNa + rK) / rCl)$ ,  $rNa/rCl$ ,  $rK/rNa$  e  $rCl/rHCO_3$  para a Restinga de Piratininga. Em destaque em vermelho, os valores para água do mar (PIR-201) e para a lagoa de Piratininga (PIR-207):

Poço	Cl(mg/l)	K(mg/l)	Na(mg/l)	HCO <sub>3</sub> (mg/l)	$(rNa+rK)/rCl$	$rNa/rCl$	$rK/rNa$	$rCl/rHCO_3$
PIR-158	154,34	14	91	20,5	0,68	0,59	0,15	7,53
PIR-159	334,8	18	205	86,2	0,67	0,61	0,09	3,88
PIR-201	25.500,0	1.868,0	10.608,0	88,1	0,49	0,42	0,18	289,44
PIR-202	1026	28,5	458	13,8	0,47	0,45	0,06	74,35
PIR-206	158,8	12,2	60	26,4	0,45	0,38	0,20	6,02
PIR-207	10.000,0	190,5	4.938,0	227,5	0,51	0,49	0,04	43,96

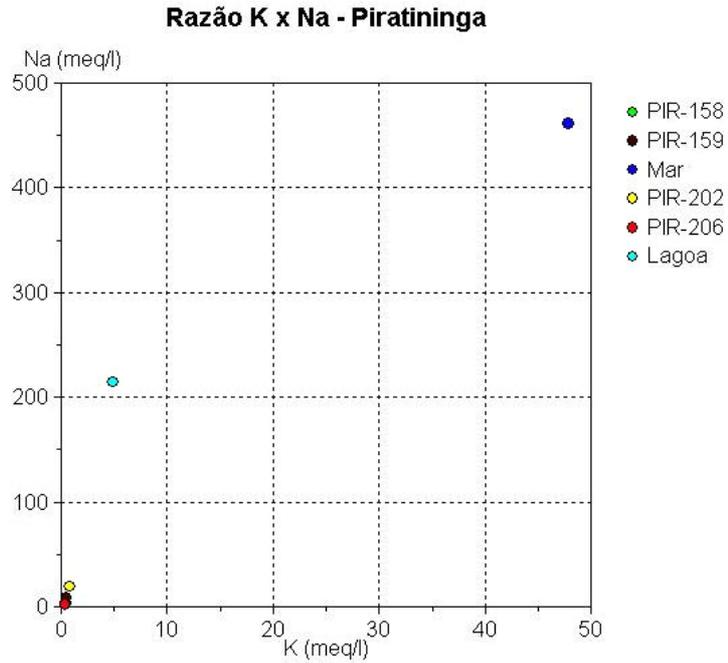


Figura 4: Razão iônica K x Na.

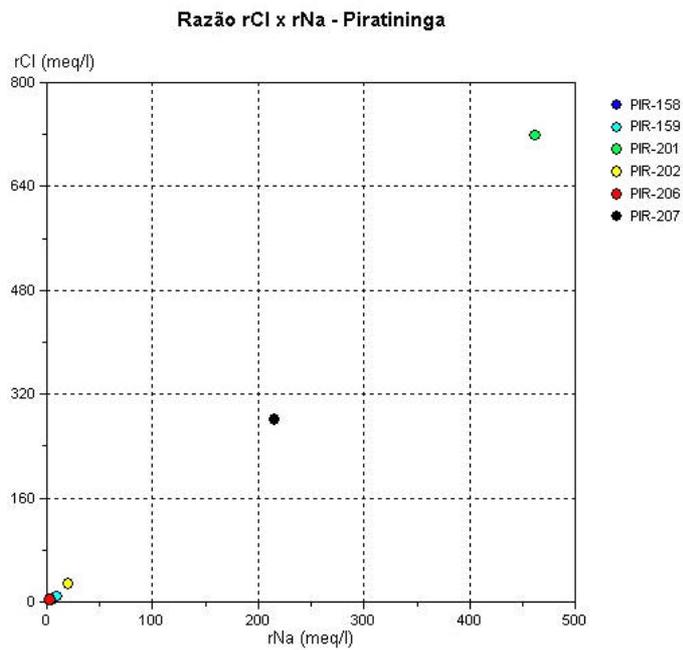


Figura 5: Razão iônica Na x Cl.

A razão Cl/Br pode ser usada como um traçador confiável, devido ao fato de que o Cl e Br serem conservativos (isto é, não reagem com a matriz do aquífero), exceto na presença de quantidade muito grande de matéria orgânica. De acordo com a razão Cl/Br podem ser obtidas informações sobre a

fonte de salinização: a água do mar possui aproximadamente  $rCl/rBr = 655$  (Custodio e Garcia, 2003). A Tabela 3 e a Fig. 6 mostram os resultados obtidos.

Tabela 3: Razão  $rCl/rBr$  para a Restinga de Piratininga. Em destaque em vermelho, os valores para água do mar (PIR-201) e para a lagoa de Piratininga (PIR-207):

Poço	Br (mg/L)	Cl(mg/l)	Cl/Br
PIR-158	0,53	154,34	291,21
PIR-159	0,69	334,8	485,22
PIR-206	0,4	158,8	397,00

Uma das características da intrusão salina é comumente o enriquecimento do Cálcio acima da concentração na água na água do mar. Razões altas de  $Ca/Mg$  e  $Ca/(HCO_3 + SO_4)$  ( $>1$ ) são indicadores da chegada da intrusão marinha. Todavia, águas salinas com valores altos de  $Ca$  podem ter outras origens (Jones et al., 1999). A Tabela 4 mostra os resultados obtidos.

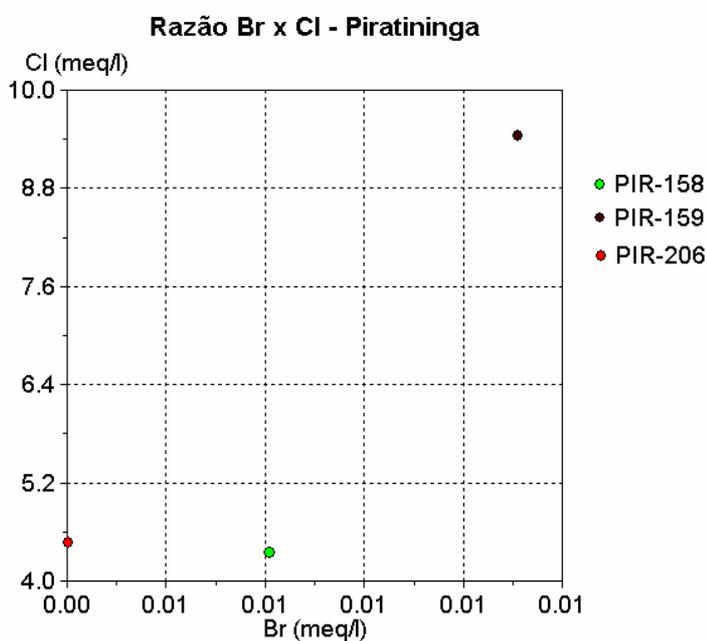


Figura 6: Razão iônica Br/Cl.

Através dos resultados obtidos pelas razões iônicas, percebe-se um indicio de intrusão salina. Quase todos os valores obtidos sugerem que os poços da restinga de Piratininga estão sob influência

marinha direta. Os altos valores encontrados para a razão iônica  $rCl/rHCO_3$  na Tabela 2, na razão iônica  $Cl/Br$  na Tabela 3 e na razão iônica  $rMg/rCa$  da Tabela 4 reforçam essa idéia.

Tabela 4: Razões  $rCa/rMg$ ,  $rCa/(rHCO_3 + rSO_4)$  e  $rMg/rCa$  para a restinga de Piratininga. Em destaque em vermelho, os valores para água do mar (PIR-201) e para a lagoa de Piratininga (PIR-207):

Poço	Ca(mg/l)	Mg(mg/l)	SO <sub>4</sub> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> (mg/l)	$rCa/rMg$	$rCa/(rHCO_3+rSO_4)$	$rMg/rCa$
PIR-158	13,35	13,15	60,7	20,5	1,02	0,16	0,99
PIR-159	61,02	19,12	85,5	86,2	3,19	0,36	0,31
<b>PIR-201</b>	<b>406,8</b>	<b>1177</b>	<b>4396</b>	<b>88,1</b>	<b>0,35</b>	<b>0,09</b>	<b>2,89</b>
PIR-202	54,3	29,22	152,7	13,8	1,86	0,33	0,54
PIR-206	6,87	4,27	62	26,4	1,61	0,08	0,62
<b>PIR-207</b>	<b>184,75</b>	<b>549</b>	<b>2075</b>	<b>227,5</b>	<b>0,34</b>	<b>0,08</b>	<b>2,97</b>

#### 4.2 Monitoramento contínuo da cunha salina

Para o monitoramento da cunha salina na restinga de Piratininga foi utilizado um aparelho de medição de nível d'água, condutividade elétrica e de temperatura (*Levellogger*) durante os meses de outubro a dezembro de 2005. O aparelho foi programado para realizar uma tomada de dados a cada cinco minutos. Com os dados já em laboratório, foi possível realizar uma análise comparativa com os dados pluviométricos obtidos neste mesmo período.

Através do gráfico nível d'água (N.A.) vs chuva (Fig. 7) foi possível notar que após um período de precipitação, em pouco tempo havia uma rápida resposta do aquífero freático da restinga de Piratininga. 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. Outra vantagem observada é de que apesar do aquífero ser bastante vulnerável a intrusão salina observada através das análises hidrogeológicas, com o passar do tempo e com a pouquíssima utilização da água subterrânea, o aquífero poderá reduzir bastante o grau de contaminação.

A resposta dada através do gráfico condutividade elétrica (C.E.) vs chuva (Fig. 8) corrobora com o resultado obtido através do gráfico de nível d'água vs chuva de que há uma resposta rápida do aquífero. A água de chuva se mistura com a água do aquífero freático e conseqüentemente dilui os íons, diminuindo o valor da condutividade elétrica.

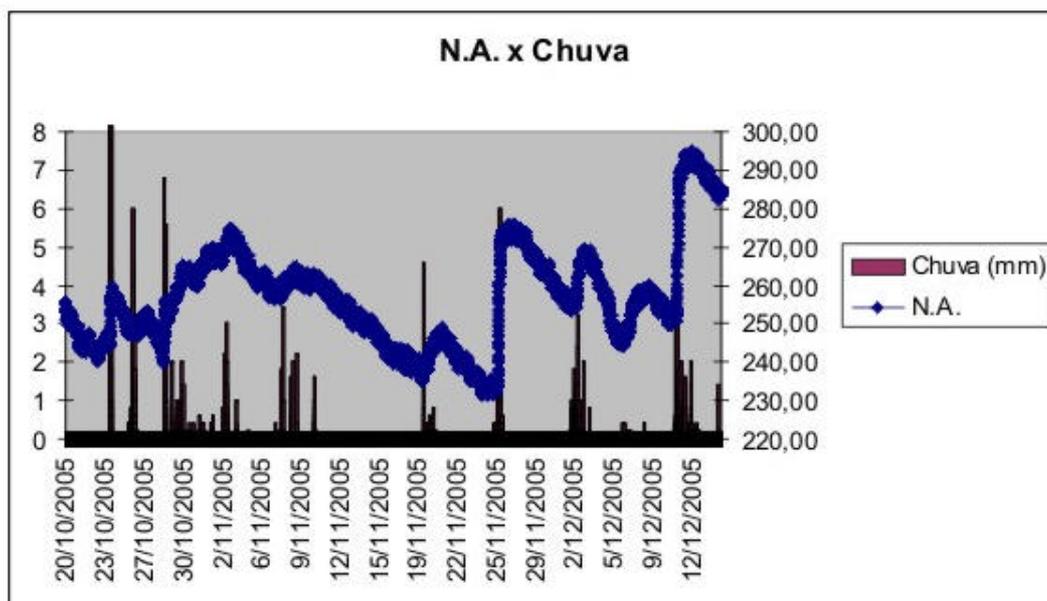


Figura 7: gráfico comparativo N.A. x Chuva na região de Piratininga durante os meses de outubro a dezembro de 2005.

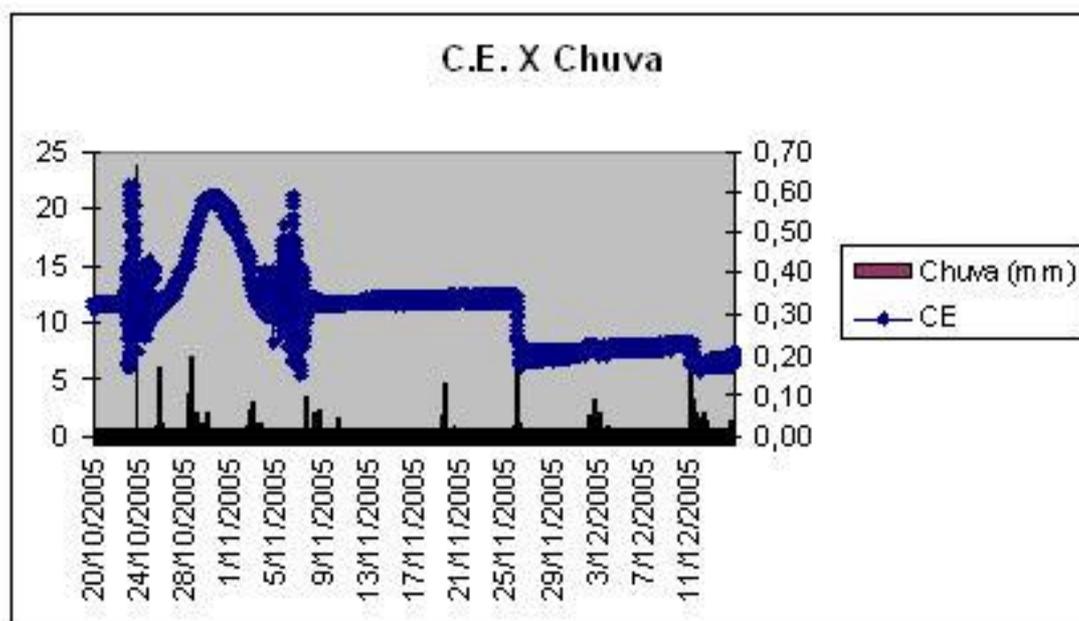


Figura 8: Gráfico comparativo C.E. x Chuva da região de Piratininga durante os meses de outubro a dezembro de 2005.

O gráfico temperatura vs chuva (Fig. 9) mostra que o aquífero freático de Piratininga também sofre a influencia das estações do ano. Ao aproximar-se do verão (dezembro) a água sofre um ligeiro aumento de temperatura.

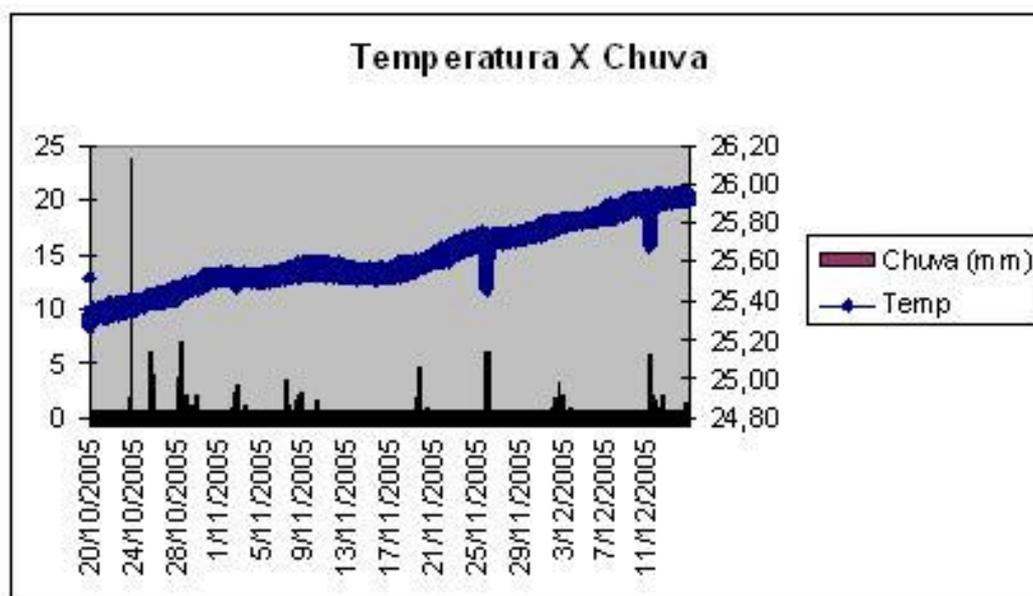


Figura 9: Gráfico comparativo Temperatura x Chuva da região de Piratininga durante os meses de outubro a dezembro de 2005.

### 4.3 Modelagem Hidrogeoquímica

A modelagem hidrogeoquímica foi realizada a partir do *software* PHREEQC 2.12 [1] para o cálculo da distribuição das espécies e para o índice de saturação na restinga de Piratininga. Os principais resultados encontrados para os índices de saturação das águas subterrâneas da Restinga de Piratininga encontram-se na Tabela 5.

Numa primeira análise do índice de saturação gerado pelo PHREEQC (Tabela 5) permitiu a elaboração de alguns gráficos para formular algumas hipóteses sobre o comportamento hidrogeoquímico da restinga de Piratininga.

Todos os minerais carbonáticos se encontram subsaturados em solução ( $IS < 0$ ), variando numa faixa entre -1 e -7. Há uma tendência dos minerais do poço PIR-159 de estarem um pouco mais saturados (Fig. 10).

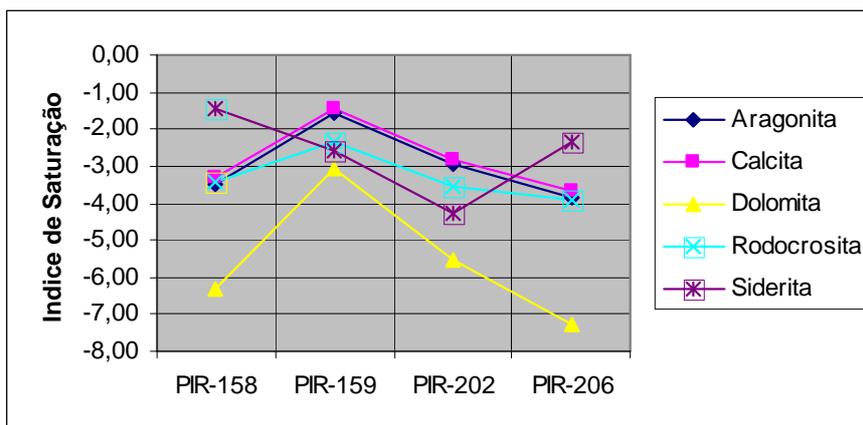


Figura 10: Índice de Saturação dos minerais Carbonáticos.

Tabela 5: Índice de saturação para os principais grupos de minerais extraídas do PHREEQC:

	Minerais	PIR-158	PIR-159	PIR-201	PIR-202	PIR-206	PIR-207
Carbonato	Aragonita	-3,46	-1,58	0,72	-2,96	-3,84	-0,04
	Calcita	-3,32	-1,44	0,86	-2,82	-3,69	0,11
	Dolomita	-6,30	-3,04	2,58	-5,55	-7,25	1,05
	Rodocrosita	-3,43	-2,34	-2,50	-3,56	-3,91	-0,84
	Siderita	-1,44	-2,56		-4,29	-2,32	-2,46
Sulfato	Anidrita	-2,69	-2,06	-0,65	-1,99	-2,92	-1,07
	Barita	-0,67	-0,60	-0,89	0,11		-0,09
	Celestita	-2,71	-2,36	-0,47	-2,17	-2,95	-0,93
	Gesso	-2,47	-1,84	-0,45	-1,77	-2,70	-0,86
Ferro	Fe(OH)3(a)	-1,00	-1,34		-3,16	-2,41	0,77
	Goetita	4,89	4,55		2,73	3,48	6,67
	Hematita	11,79	11,11		7,48	8,97	15,34
	Siderita	-1,44	-2,56		-4,29	-2,32	-2,46
Alumínio	Al(OH)3(a)				-2,58	-0,92	
	Albita				-5,21	-3,90	
	Anortita				-9,10	-6,80	
	Gibsita				0,11	1,77	
	Ilita				-4,25	-0,20	
	K-feldspato				-4,08	-2,25	
	Mica Potássica				1,75	6,89	
Caulinita				0,38	4,33		

Dentre os minerais sulfatados encontrados nas águas subterrâneas da restinga de Piratininga, a Barita é a única que se apresenta em equilíbrio. Os demais minerais se encontram subsaturados, variando entre -1,61 e -2,95 (Fig. 11).

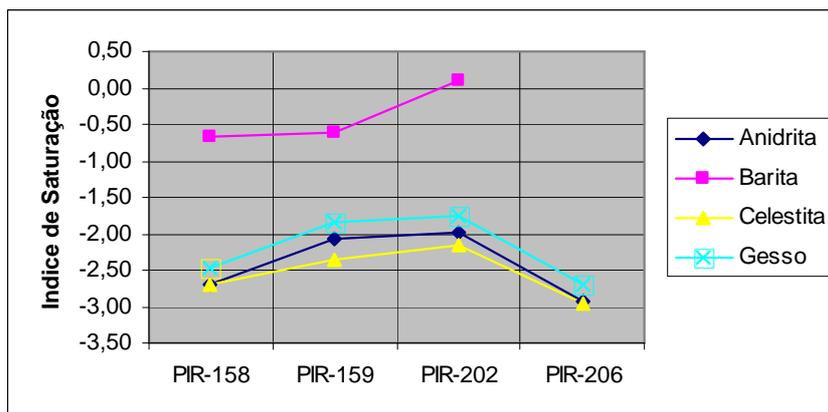


Figura 11: Índice de Saturação dos minerais Sulfatados.

Nas análises foram encontrados quatro minerais de ferro que compõem os resultados da análise termodinâmica, como exposto na Fig. 12. A hematita e a goetita se encontram supersaturadas e apresentam alto índice de saturação. O  $\text{Fe(OH)}_3$  amorfo e a siderita apresentam índices de saturações muito próximos e estão subsaturados, com valores variando entre  $-1$  (PIR-158) e  $-4,29$  (PIR-202).

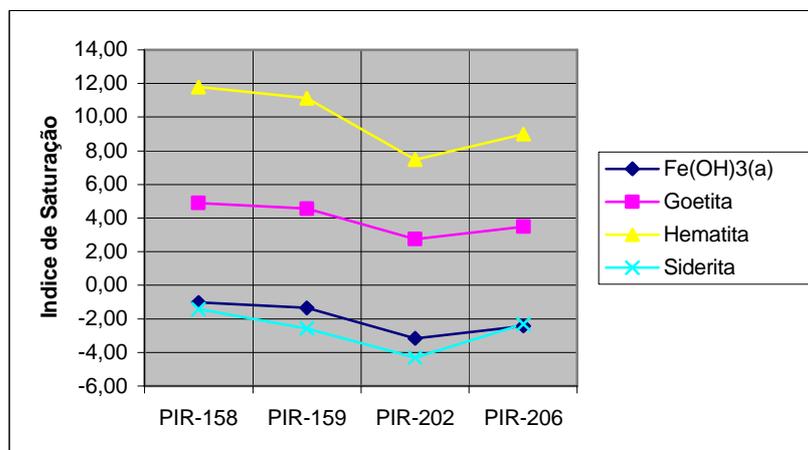


Figura 12: Índice de Saturação dos minerais de Ferro.

Os minerais com alumínio só aparecem nos poços PIR-202 e PIR-206. A mica potássica, a caulinita e a gipsita apresentam-se supersaturadas, destaque para a mica que apresenta o maior coeficiente de saturação 6,89. Os demais minerais encontram-se subsaturados (Fig. 13).

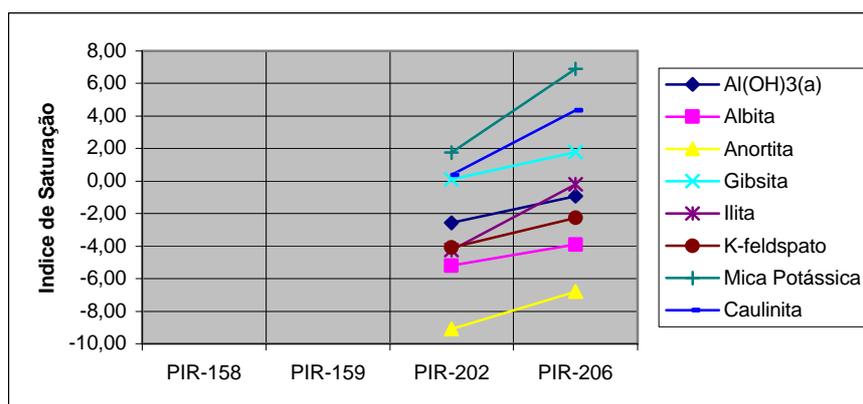


Figura 13: Índice de Saturação dos minerais de Alumínio.

## 5. CONCLUSÕES

A restinga de Piratininga, localizada na Região Oceânica é um dos pontos mais valorizados do município de Niterói. Sua ocupação principalmente ao longo da década de 1980 e 1990 fez com que os recursos d'água subterrâneos fossem extremamente utilizados e conseqüentemente, devido a proximidade do mar, fez com que houvesse uma tendência a salinização dos poços e cacimbas da região.

A partir do ano de 2001 a empresa Águas de Niterói, que passou a ter a concessão de distribuição de águas e tratamento de efluentes domésticos de Niterói, estendeu a sua rede ao bairro de Piratininga, modificando a situação.

Através da hidrogeoquímica foi possível dimensionar o tamanho da intrusão marinha e conseqüentemente avaliar os riscos de se usufruir uma água salinizada. Algumas ferramentas como os *softwares* AquaChem® e PHREEQC permitiram a elaboração de gráficos e diagramas para um melhor entendimento do comportamento dos íons no aquífero.

Através de quase todas as razões iônicas observadas demonstrou-se que as águas subterrâneas da restinga de Piratininga estavam sob forte influência marinha, sem que isso necessariamente signifique que já estivessem comprometidas.

Os resultados obtidos pelo PHREEQC em relação aos índices de saturação mostram que os minerais de Ferro e Alumínio possuem uma tendência a se precipitarem mais que os minerais carbonatados e sulfatados.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] PARKHURST, D. L., APPELO, C.A.J., 2005. User's Guide to PHREEQC (Version 2.12) - A Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations Water-Resources Investigations Report.
- [2] CUSTODIO, E., 1987. Groundwater problems in coastal áreas. Capitulo 2, UNESCO, Belgica, ISBN: 92-3-102415-9.
- [3] IBGE, 2000 - Censo Demográfico.
- [4] CPRM, 2001 - Geologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro / organizado por Luiz Carlos da Silva e Hélio Canejo da Silva Cunha. – Brasília: CPRM. 2ª edição revista em 2001.
- [5] DRM/RJ, 1981. Projeto Carta Geológica - Bloco Baía de Guanabara, Volume 1, Niterói, Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro. (Relatório Final).
- [6] PMN, 1995. Empresa Municipal de Moradia, Urbanização e Saneamento - Estudo Hidrogeológico da Região Oceânica de Niterói, RJ (Relatório produzido pela Mecasolo, Engenharia e Consultoria LTDA.).
- [7] MARTINS, A.M., 1999. Hidrogeologia de aquífero costeiro da região oceânica de Niterói - RJ: Dissertação de Mestrado – IGEO, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ.
- [8] LOWSBY, M.G, ALVES M.G., 2000. Caracterizacion of Costal Aquifers of the Oceanic Area of Niterói- RJ, Brazil. 32º Congresso Internacional de Geologia, agosto, Rio de Janeiro.
- [9] HEM, J. D., 1985. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. U.S Geological Survey Water-Supply Paper 2254, 3º edição.
- [10] CABRAL, J.J.S.P. e PAIVA, A.L.R., 2004. Água subterrânea: Aquíferos Costeiros e Aluviões, Vulnerabilidade e Aproveitamento. Capitulo 4 – Salinização de Aquíferos Costeiros: Investigação e Modelagem, Recife: Ed Universitária da UFPE.
- [11] CUSTODIO, E., HERRERA, C., 2000. Utilización de la relación Cl/Br como trazador hidrogeoquímico en hidrologia subteránea. Boletín Geológico y Minero, Julho – Agosto, Vol. 111, nº 4.
- [12] JONES, B. F., VENGOSH, A., ROSENTHAL, E., e YECHIELLI, Y., 1999. Seawater Intrusion in Costal Aquifers – Concepts, Methods and Practices. Chapter 3: Geochemical Investigations. Kluwer Academic Publishers.