

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
Secretaria de Estado do Ambiente - SEA
Instituto Estadual do Ambiente - INEA

**ELABORAÇÃO DO PLANO ESTADUAL DE RECURSOS
HÍDRICOS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

R3-B – TEMAS TÉCNICOS ESTRATÉGICOS

**RT-06 - Avaliação do Potencial Hidrogeológico dos Aquíferos
Fluminenses**

Revisão 05

Elaboração: Fundação COPPETEC
Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente

Março de 2014

Instituto Estadual do Ambiente (Inea)
Av. Venezuela, 110 – 3º andar - Saúde
Rio de Janeiro, RJ
22.640-102

Elaboração e Execução:
Fundação COPPETEC
Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente

Todos os direitos Reservados.

É permitida a reprodução de dados e de informações contidos nesta publicação, desde que citada a fonte.

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO	1
1. INTRODUÇÃO	2
2. CADASTRAMENTO DE POÇOS	2
2.1. Dados Obtidos no Cadastro	6
2.2. Estimativas do Número de Poços não Identificados nos Cadastros do INEA e da CPRM	7
2.3. Exploração Atual das Águas Subterrâneas	8
3. SISTEMAS HIDROGEOLÓGICOS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	10
3.1. Sistema Aquífero Fraturado.....	10
3.2. Sistemas Aquíferos Sedimentares.....	14
4. DISPONIBILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	20
4.1. Sistema Aquífero Fraturado.....	20
4.2. Sistemas Aquíferos Sedimentares.....	21
4.3. Área da Baía da Guanabara.....	22
4.4. Aquífero Piranema	23
4.5. Províncias Hidrogeológicas	23
4.6. Disponibilidade Efetiva e Disponibilidade Instalada a partir do Cadastro de Poços	25
4.7. Estimativas do Potencial de Recarga Natural dos Aquíferos do Estado do Rio de Janeiro	25
5. QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	35
5.1. Classificação das Águas Subterrâneas de acordo com o Diagrama de Piper	35
5.2. Restrições ao Uso das Águas Subterrâneas.....	40
6. CONCLUSÃO	43
7. BIBLIOGRAFIA.....	45

APRESENTAÇÃO

O presente relatório consiste na apresentação dos resultados da Avaliação do Potencial Hidrogeológico dos Aquíferos Fluminense, conforme previsto no Contrato 33/2011/Processo nº. E-07/502.786/10, firmado entre a Fundação COPPETEC e o Instituto Estadual do Ambiente, tendo por objeto a elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos.

O estudo baseou-se no cadastramento dos poços tubulares profundos, elaborado a partir dos processos de outorga de poços tubulares profundos do INEA e na incorporação do cadastro elaborado pelo Projeto Rio de Janeiro da CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil). Essas duas fontes principais de informações foram complementadas com informações provenientes de outros projetos e de fontes bibliográficas.

O relatório está organizado da seguinte forma: o item 1 consiste em uma breve introdução ao trabalho; o item 2 trata da consolidação das informações existentes e elaboração do cadastro de poços tubulares profundos; o item 3 descreve as principais características geológicas dos dois grandes sistemas aquíferos do Estado, o fraturado e o sedimentar; o item 4 incumbe-se da análise da disponibilidade hídrica dos aquíferos subterrâneos, quantificando essa disponibilidade por Região Hidrográfica; o item 5, trata da qualidade da água desses mananciais; as conclusões do estudo, por sua vez, são apresentadas no item 6 e, no item 7, a bibliografia utilizada.

1. INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas são extremamente importantes, pois são responsáveis pelas parcelas referentes ao escoamento de base dos cursos d'água e constituem uma reserva estratégica. Nas últimas décadas a utilização das águas subterrâneas foi crescente em todo o estado do Rio de Janeiro, quer pela facilidade na captação, pois localmente pode apresentar vantagens em relação aos mananciais de superfície, quer pelos custos operacionais, quer pela inexistência ou ineficiência do fornecimento convencional de água pelas concessionárias. Estima-se que existam em operação no estado do Rio de Janeiro mais de quatro mil poços tubulares profundos (ver item 2.2). Além disso, as águas subterrâneas, devido a suas características naturais, geralmente apresentam melhor proteção contra os agentes poluidores, apresentando-se como uma boa alternativa para soluções locais e emergenciais de abastecimento.

2. CADASTRAMENTO DE POÇOS

As atividades necessárias para a avaliação das águas subterrâneas no Estado do Rio de Janeiro tiveram início com o cadastramento dos poços tubulares profundos, elaborado com base nos processos de outorga de poços do Inea e com a incorporação do cadastro elaborado pelo Projeto Rio de Janeiro da CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil) e foram complementados com outros projetos e informações bibliográficas. O cadastramento dos poços foi a base para a avaliação das características das águas subterrâneas no Estado. As informações contidas nesses processos foram disponibilizadas ao Inea em arquivos digitais no formato planilhas e arquivos kmz.

Ao todo foram analisados mais de quinhentos processos, reunindo informações cadastradas até julho de 2012, consistindo informações de 634 poços declarados no CNARH.

Em seguida, os dados de dezenas de parâmetros de qualidade da água foram compilados em planilha Excel, por região hidrográfica, com o apoio de técnicos do Inea.

Após a sistematização das informações, os dados foram transferidos para imagens do *Google Earth*, sendo gerados diversos arquivos do tipo kmz, individualizados por Região Hidrográfica, contendo localização, vazão, vazão específica e classificação da água (segundo classificação de Piper).

A tabela 2.1 apresenta a distribuição dos poços por região hidrográfica utilizando as informações obtidas nos processos do Inea e no Projeto Rio de Janeiro (CPRM, 2000).

Tabela 2.1 - Distribuição dos Poços Cadastrados por Região Hidrográfica

Região Hidrográfica	Número de Poços Outorgados (Inea)	Número de Poços CPRM (2000)
I	2	32
II	72	123
III	60	209
IV	45	193
V	414	618
VI	3	53
VII	9	101
VIII	20	9
IX	9	277
Total	634	1.615

A figura 2.1 apresenta a localização dos 634 poços outorgados pelo órgão gestor entre os anos de 2007 e junho de 2012. Os poços estão representados por símbolos de cores iguais quando localizados em uma mesma Região Hidrográfica e subdivisões por UHP (Unidade Hidrológica de Planejamento). Cada símbolo pode representar mais de um processo e/ou mais de um poço. Exemplificando, em um caso específico na R-III pode ser citado a existência de 29 poços com um único número de processo, ou seja, em um único empreendimento.

A figura 2.2, por sua vez, apresenta a localização de 1.615 poços tubulares profundos cadastrados a partir dos dados do Projeto Rio de Janeiro (CPRM, 2000), por Região Hidrográfica e subdivisões de UHP.

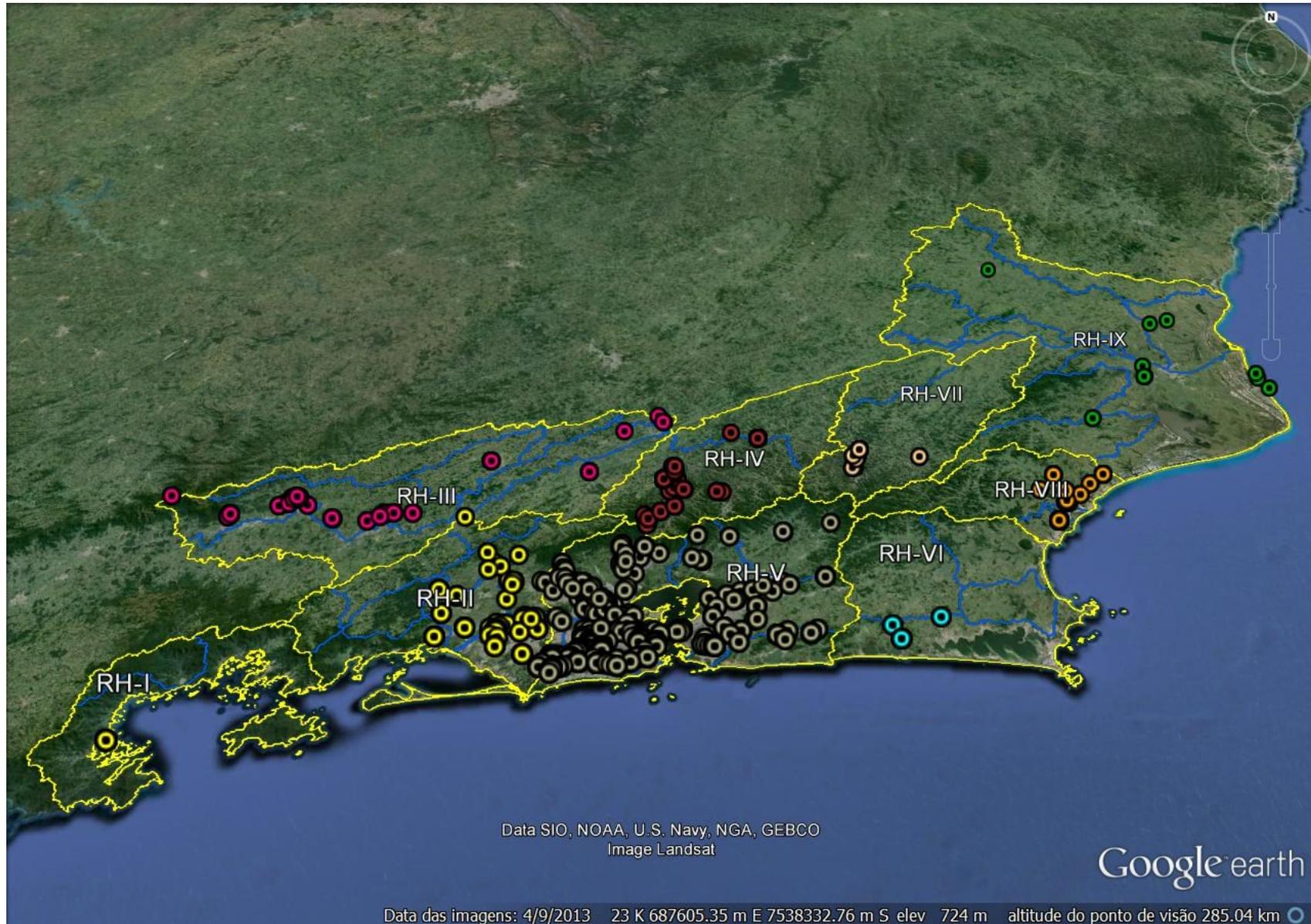


Figura 2.1 - Localização dos poços outorgados no Estado do Rio de Janeiro (com base em imagem *Google Earth*).

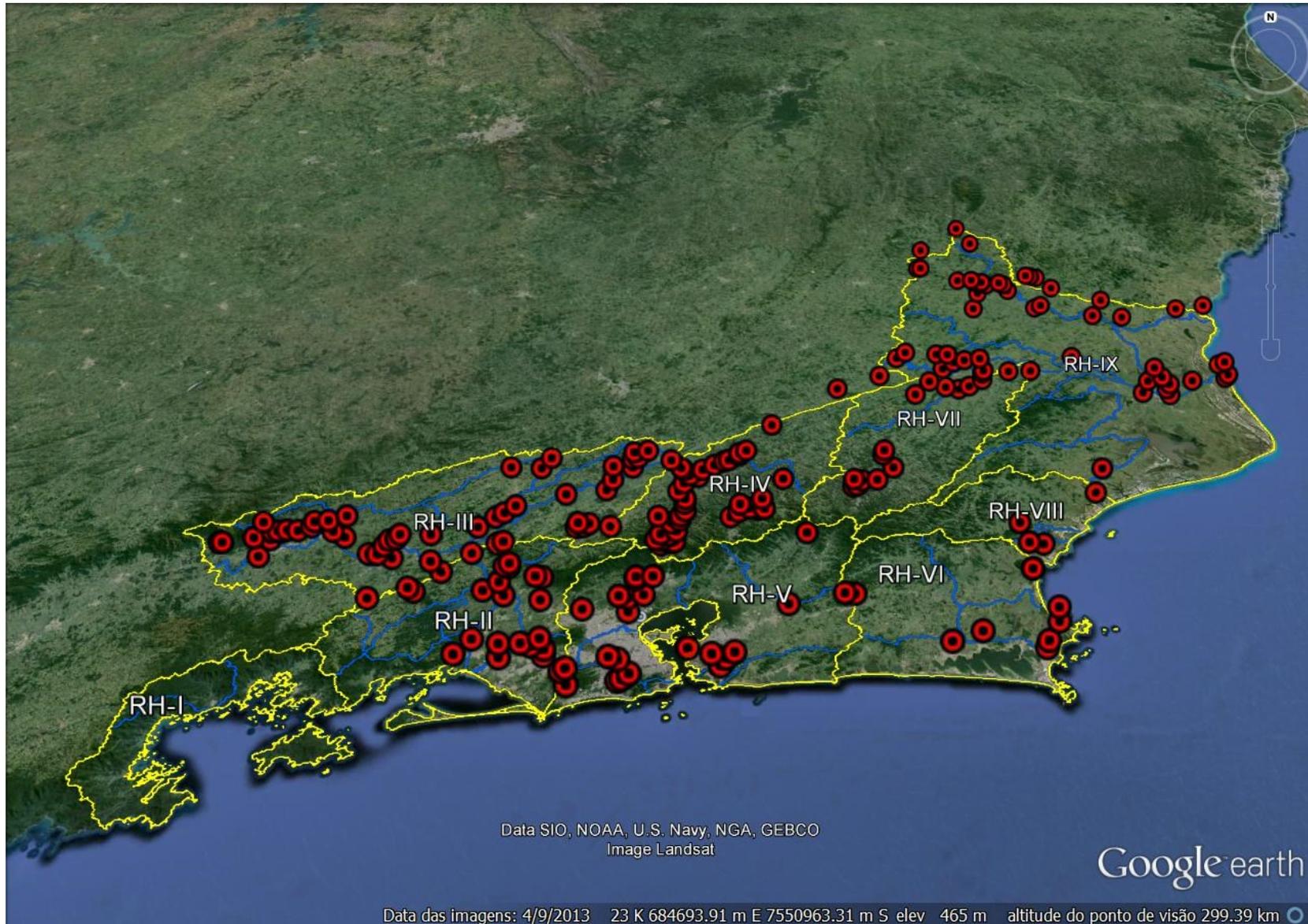


Figura 2.2 - Localização de 1.615 poços tubulares profundos catalogados pelo Projeto Rio de Janeiro (CPRM, 2000)
(com base em imagem *Google Earth*)

2.1. Dados Obtidos no Cadastramento

A tabela 2.1.1 apresenta um resumo dos dados de outorgas referentes às vazões médias, vazões específicas médias, dias e horas de funcionamento do poço identificado por regiões hidrográficas.

Tabela 2.1.1 - Dados de vazão, vazão específica e tempo de uso dos poços obtidos de processo de outorga do Inea.

Região Hidrográfica		Vazão (m ³ /hora) Outorgada	Vazão Específica (m ³ /hora/m)*	Dias Outorgados	Tempo Médio de Bombeamento (horas/dia)
I*	Máxima	1,03	-----	-----	
	Mínimo	-----	-----	-----	
	Média	1,00	0,03	15	10
II	Máxima	20,30	7,60	30	20
	Mínimo	0,60	0,10	18	1
	Média	5,81	0,59	28	13,80
III	Máxima	93,18	3,73	30	24
	Mínimo	0,46	0,01	21	0,50
	Média	10,59	0,82	29	17,33
IV	Máxima	50,09	3,48	30	24
	Mínimo	0,40	0,02	3	2,30
	Média	11,02	0,63	28	16,92
V	Máxima	53,50	6,52	30	20
	Mínimo	0,17	0,10	20	1
	Média	5,08	0,50	28	11,40
VI	Máxima	5	3,48	30	18
	Mínimo	3,07	0,02	20	6
	Média	3,90	0,63	29	11,40
VII	Máxima	14,40	1,05	30	20
	Mínimo	1,20	0,03	20	2,50
	Média	4,61	0,37	28	11,80
VIII	Máxima	12,24	2,86	30	24
	Mínimo	0,43	0,03	20	3
	Média	3,53	0,93	28	14,20
IX	Máxima	52,00	8,28	30	15
	Mínimo	0,64	0,03	15	5
	Média	18,15	1,80	26	10

*Vazão específica é a razão entre vazão de bombeamento (Q em m³/h) e o rebaixamento (s = m³/h/m) produzido no poço em função do bombeamento por um determinado tempo.

Observa-se que as maiores vazões e vazões específicas foram registradas nas regiões hidrográficas III, V e IX, ocorrendo em poços situados em bacias sedimentares. Contudo, na consulta à lista de processos que produziram a tabela acima não foram identificadas informações referentes aos poços de grandes vazões existentes na Bacia de Campos, tais como, o Donana 04 que produziu a vazão de 310 m³/hora (86 l/s), outro no Distrito do Farol de São Tomé, o Poço Boa Vista, que registro vazão de 260 m³/hora (72 l/s) segundo CAETANO (2000) e CAPUCCI *et al* (2001).

Igualmente, também não foram identificados poços no sistema fraturado que apresentaram vazões na ordem de 100 m³/hora, bem como o poço surgente de 40 m³/h em Além Paraíba, conforme citado em CAPUCCI, 1988, apud MARTINS *et al*, 2006.

A tabela 2.1.2 apresenta o resumo dos dados referentes às vazões médias, vazões específicas médias e profundidade média, individualizados por tipo de aquífero e separados por Regiões Hidrográficas, coletados a partir das informações cadastradas pelo Projeto Rio de Janeiro, CPRM (2000).

Tabela 2.1.2 - Vazão média, vazão específica média e profundidade média dos poços divididos por tipo de aquífero e Região Hidrográfica, a partir das informações do Projeto Rio de Janeiro, CPRM (2000).

Região Hidrográfica		Vazão (m ³ /hora) Outorgada	Vazão Específica (m ³ /hora/m)**	Dias Outorgados	Tempo Médio de Bombeamento (horas/dia)
I*	Máxima	1,03	-----	-----	
	Mínimo	-----	-----	-----	
	Média	1	0,03	15	5
II	Máxima	20,30	7,60	30	20
	Mínimo	0,60	0,10	18	1
	Média	5,81	0,59	28	13,80
III	Máxima	93,18	3,73	30	24
	Mínimo	0,46	0,01	21	0,50
	Média	10,59	0,82	29	17,33
IV	Máxima	50,09	3,48	30	24
	Mínimo	0,40	0,02	3	2,30
	Média	11,02	0,63	28	16,92
V	Máxima	53,50	6,52	30	20
	Mínimo	0,17	0,10	20	1
	Média	5,08	0,50	28	11,40
VI	Máxima	5	3,48	30	18
	Mínimo	3,07	0,02	20	6
	Média	3,90	0,63	29	11,40
VII	Máxima	14,40	1,05	30	20
	Mínimo	1,20	0,03	20	2,50
	Média	4,61	0,37	28	11,80
VIII	Máxima	12,24	2,86	30	24
	Mínimo	0,43	0,03	20	3
	Média	3,53	0,93	28	14,20
IX	Máxima	52	8,28	30	15
	Mínimo	0,64	0,03	15	5
	Média	18,15	1,80	26	10

2.2. Estimativas do Número de Poços não Identificados nos Cadastramentos do INEA e da CPRM

Independente do número e da importância dos poços tubulares profundos na captação das águas subterrâneas é consenso entre os pesquisadores e técnicos do Estado que trabalham com água subterrânea, de que a quantidade real de poços deva ser superior aos números de poços conhecidos e igualmente para os poços identificados no âmbito deste relatório.

De acordo com antigos relatórios da empresa de perfuração de poços tubulares profundos T. JANER (1974), até o ano de 1973 o estado já registraria a existência de mais de 1.607 poços. Estimativas realizadas por MENTE (2008) apontaram que o estado do Rio de Janeiro teria até o ano de 1983 entre 1.001 e 3.000 poços perfurados.

Mansur e Martins (2003) estimaram a provável existência de 25.000 poços, mas segundo Erthal e Mansur (2003) existiriam somente entre 3.500 e 5.000 poços em todo o Estado do Rio de Janeiro

Todavia, o cadastramento desenvolvido pelo Projeto Rio de Janeiro (CPRM, 2000) contabilizou a existência de 1615 poços tubulares profundos e o cadastro do INEA, havia identificado até junho de 2012, 634 poços profundos. Assim em ambos os foram contabilizados 2249 poços, ou seja, um número bem inferior aos prognósticos sugeridos.

Diante das estimativas apresentadas é notável a dificuldade de se estabelecer de forma segura o número de poços no estado do Rio de Janeiro, sem contar com a possibilidade

de que parte desses poços, por razões diversas (idade, falhas construtivas, fornecimento de água aduzida, etc.) possam estar fora de operação e, portanto, os 2.249 poços também não corresponderiam à realidade.

No entanto, em face da necessidade de se contabilizar o volume de água subterrânea captada e devido ao entendimento que o número de poços existentes deva ser bem superior aos reconhecidos atualmente, para efeito deste relatório e para o futuro cálculo do balanço hídrico será considerado como o número de poços em operação não determinados pelos cadastramentos conhecidos, no mínimo, o mesmo número de poços identificados (2.249), totalizando, desta forma, 4.498 poços tubulares profundos no estado do Rio de Janeiro.

2.3. Exploração Atual das Águas Subterrâneas

2.3.1. Poços Tubulares

Com base no cadastramento de poços apresentados nos itens anteriores (tabelas 2.1.1 e 2.1.2) foi possível identificar o volume de água subterrânea utilizado atualmente no estado do Rio de Janeiro. A tabela 2.3.1.1 apresenta as médias das vazões identificadas nos processos do Inea (coluna A), a coluna B apresenta as vazões obtidas a partir do cadastramento da CPRM e a coluna C, a soma das vazões para os dois cadastramentos.

Tabela 2.3.1.1 - Vazões determinadas por Região Hidrográfica.

Região Hidrográfica	Vazão Média (m ³ /hora)	Nº Total de Poços Inea	A (Vazões Produzidas) m ³ /hora	Nº Total de Poços (CPRM)	B (Vazões Produzidas) m ³ /hora	C (Vazões A + B) m ³ /hora
R I	5	2	1	32	160	170
R II	5,81	72	418,32	123	714,63	1.132,95
R III	10,59	60	635,40	209	2.213,31	2.848,71
R IV	11,02	45	495,90	193	2.126,86	2.622,76
R V	5,08	414	2.103,12	618	3.139,44	5.242,56
R VI	3,84	3	11,52	53	203,52	215,04
R VII	4,61	9	41,49	101	465,61	507,10
R VIII	3,53	20	70,60	9	31,77	102,37
R IX	18,15	9	163,35	277	4.846,05	5.009,40
Total	-----	634	3.777,35	1.615	13.901,19	17.850,89

No entanto, como demonstrado anteriormente é preciso considerar a existência de um número maior de poços em exploração no Estado e conforme apresentado no item 2.2 (Estimativas do Número de Poços não Identificados nos Cadastramentos do INEA e da CPRM), o número proposto foi de 2.249. A vazão produzida por este grupo de poços é igual ao da coluna C na tabela 2.3.1.1 (17.850,89 m³/hora) ou 4,91 m³/seg, utilizando-se para este cálculo a mesma média das vazões da tabela 2.3.3,3, ou seja, 7,2 m³/hora.

Desta forma estima-se que o volume total de água subterrânea explorada em poços tubulares profundos no estado do Rio de Janeiro é de aproximadamente **9,82 m³/seg**.

Outra referência a ser considerada é o volume de água captada pelas concessionárias. De acordo com a Fundação CEPERJ (Centro Estadual de Pesquisa e Estatística), dezenas de localidades do estado do Rio de Janeiro são abastecidas por poços tubulares profundos, resultando na captação de mais de 4,6 m³/seg.

No entanto, a consulta aos processos no Inea não identificou poços pertencentes a concessionárias ou serviços autônomos municipais de abastecimento de água. Cabe ressaltar, entretanto, que esse volume já estaria incluído na estimativa de poços não cadastrados.

2.3.2. Poços domésticos, rasos, escavados e outras fontes de abastecimento

Outra importante forma de captação de água subterrânea, embora não considerada normalmente pelo sistema de gestão dos recursos hídricos, são os poços rasos e/ou minas d'águas utilizadas para uso domiciliar.

De acordo com o IBGE (2010), no item “Características da População e dos Domicílios”, existem mais de quinhentos mil domicílios captando água através de poços caseiros (poços do tipo cacimba, poços ponteira, poços caipiras e outras modalidades) e ainda fontes e minas d'água no próprio terreno.

Portanto, considerando a média de quatro habitantes por domicílio e a utilização de pelo menos 125 litros diários de água por habitante (ANA, 2007), teríamos um consumo de água subterrânea captada em fontes alternativas em torno de **2,9 m³/seg.**

Convém ressaltar que esse volume é considerável quando comparado ao volume total de água subterrânea captada através de poços profundos cadastrados (4,96 m³/seg.) e indica a necessidade da inserção desse tipo de captação na gestão dos recursos hídricos, pois ainda que sejam avaliados como de uso insignificante, quando considerados conjuntamente podem tornar os volumes captados significativos em certas localidades.

Por falta de informações não foi possível estimar o volume de água subterrânea captada para a irrigação. Entretanto, é importante advertir que a captação de água subterrânea realizada em poços rasos é a mais utilizada em certas áreas agrícolas do estado.

Por fim, deve-se considerar também que a utilização de águas obtidas em minas e fontes d'água, ainda que em quantidades pequenas, tem importância em diversas localidades, quer pela ausência ou pela operação aleatória dos sistemas de abastecimento convencionais ou principalmente por razões culturais.

2.3.3. Estimativa do volume de água subterrânea captada no Estado Rio de Janeiro

A tabela 2.3.3.1 resume as estimativas de exploração de águas subterrâneas no estado do Rio de Janeiro considerando as projeções apresentadas nos itens anteriores

Tabela 2.3.3.1 - Estimativa de exploração de águas subterrâneas no estado do Rio de Janeiro

Estimativa do volume explorado de águas subterrâneas (m ³ /seg)				
Poços profundos (Inea)	Poços profundos (CPRM)	Poços profundos não cadastrados	Poços rasos	Total
1,05	3,86	4,91	2,90	12,13

3. SISTEMAS HIDROGEOLÓGICOS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

As características geológicas do estado do Rio de Janeiro propiciam a ocorrência regional de dois grandes sistemas aquíferos, o fraturado e o sedimentar. O aquífero fraturado, que ocupa aproximadamente 80% da área e o aquífero poroso, que ocorre em 20% do estado. A figura 3.1 apresenta os grandes domínios hidrogeológicos do estado do Rio de Janeiro (DRM, 2006, apud MARTINS et al, 2006).

3.1. Sistema Aquífero Fraturado

Genericamente o sistema cristalino pode ser caracterizado pela ausência ou baixa frequência de espaços vazios na rocha. Este tipo de aquífero é marcado pela elevada anisotropia e heterogeneidade onde a porosidade e permeabilidade estão relacionadas às fissuras ou fraturas, juntas e falhas. Por conta dessas características, os parâmetros hidráulicos apresentam intensa variação espacial, tornando difícil a quantificação de propriedades hidrogeológicas. Os principais fatores que podem atuar neste sistema, controlando os mecanismos de infiltração, armazenamento da água e qualidade, são o clima, relevo, hidrografia, coberturas detríticas, manto de intemperismo, litologia e estruturas geológicas.

Portanto, embora de natureza complexa, pois se caracteriza pela incerteza na produtividade de água, é importante para todas as regiões, quer pelo armazenamento ou pelo intenso uso para abastecimento urbano, industrial ou rural. Neste aquífero a água é armazenada e flui através de descontinuidades (fissuras, fraturas e falhas nas rochas, planos de foliação), e no manto de intemperismo, gerado pela alteração nas rochas cristalinas (granitos, gnaisses, migmatitos, mármore, basaltos, etc.). Dessa forma, a capacidade dessas rochas acumularem água está diretamente relacionada à quantidade de fraturas, suas aberturas e intercomunicação entre elas.

Em termos gerais os poços perfurados nestas rochas fornecem poucos metros cúbicos de água por hora e desta forma a possibilidade de se ter um poço produtivo dependerá da interceptação de fraturas capazes de armazenamento da água. Essas características conferem aos aquíferos fraturados um elevado grau de insegurança nos resultados, principalmente quando a prospecção não é realizada seguindo critérios técnicos específicos para este tipo de aquífero.

Tendo em vista determinar os aspectos genéricos dos diversos sistemas hidrogeológicos do estado do Rio de Janeiro, o Projeto Rio de Janeiro a CPRM – Serviço Geológico do Brasil (2000), elaborou o mapa de Favorabilidade Hidrogeológica do estado do Rio de Janeiro. Neste projeto a caracterização hidrogeológica para o sistema cristalino foi feita por modelagem utilizando a técnica de análise multi-critério, com o emprego do Sistema de Informação Geográfica SPANS-GIS. A metodologia consistiu em atribuir pesos e notas para cada tema (declividades, densidade de fraturas, tipos de solo, uso do solo e cobertura vegetal, litologia e densidade de drenagem), obtendo-se através da integração dos temas um valor que correspondeu a um índice de favorabilidade.

Os resultados indicaram que 46,25% da área cristalina do estado está classificada como de favorabilidade alta a muito alta, 38,22% mediana, 14,7% baixa a muito baixa e 0,83% desfavorável. Ainda de acordo com a CPRM, (2000), a partir de um total de 527 poços cadastrados no sistema cristalino, a grande maioria (94,78%) se concentrava nas classes de favorabilidade mediana a muito alta, (34,12, mediana e 60,64%, alta a muito alta).

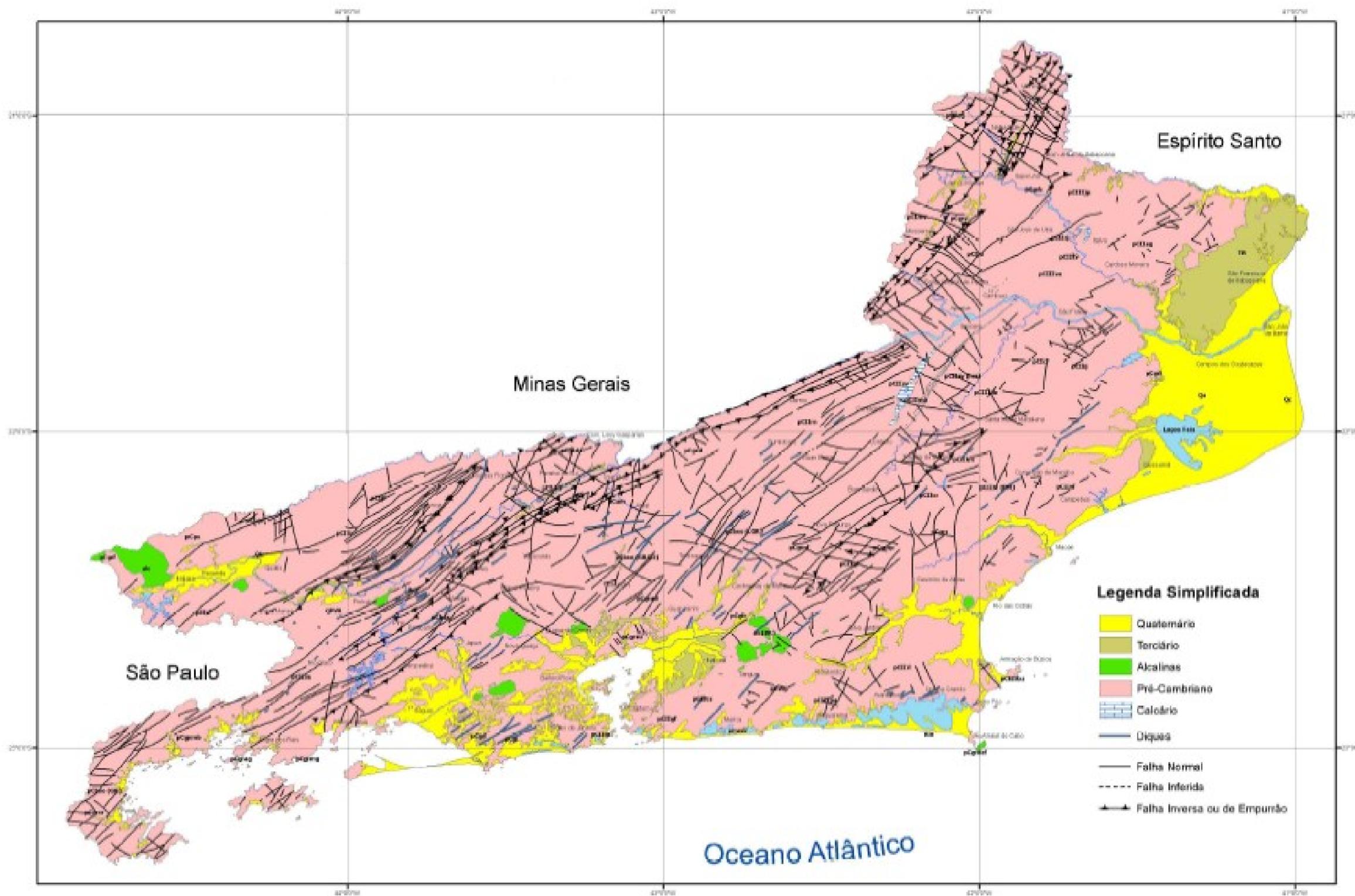


Figura 3.1 - Domínios hidrogeológicos do Estado do Rio de Janeiro, (Fonte: Martins ET AL (2006))

Cabe ressaltar que o número de poços considerados neste estudo foi muito abaixo do número estimado para o estado do Rio de Janeiro (item 2). Ainda que percentualmente a favorabilidade no sistema cristalino seja de mediana a muito alta, as vazões médias deste sistema são inferiores as vazões de um sistema sedimentar de boa potencialidade, (CPRM, 2000).

No entanto, mesmo considerando as incertezas inerentes ao aquífero fraturado, é possível a utilização da água subterrânea a partir deste sistema, principalmente se houver estudo prospectivo da viabilidade técnica antes da perfuração do poço. A figura 3.1.1 apresenta o Mapa de Favorabilidade Hidrogeológica do estado do Rio de Janeiro elaborado pela CPRM (2000).

Figura em tamanho A0 ao final do relatório

Figura 3.1.1 - Mapa de Favorabilidade Hidrogeológica do Estado do Rio de Janeiro, (Fonte: CPRM, 2000)

3.2. Sistemas Aquíferos Sedimentares

Os aquíferos sedimentares (granulares ou porosos) são aqueles onde a água subterrânea é armazenada e circula através dos espaços existentes entre grãos em sedimentos não consolidados e em rochas sedimentares. No estado do Rio de Janeiro os aquíferos sedimentares ocorrem principalmente em bacias sedimentares (Campos, Resende) e em depósitos aluvionares, lagunares e costeiros.

3.2.1. Bacia Sedimentar de Campos

A Bacia Sedimentar de Campos está localizada ao norte do estado do Rio de Janeiro, inserida principalmente na Região Hidrográfica IX, e secundariamente na Região Hidrográfica X. É notório o seu potencial e as suas reservas hídricas subterrâneas, quando comparada aos outros sistemas aquíferos do Estado.

Embora bem estudada na sua porção oceânica o mesmo não ocorre em relação a parte continental. O mapa de favorabilidade elaborado pela CPRM (2000), CAETANO (2000) e CAPUCCI (2003) sugere denominações diferenciadas aos aquíferos. A figura 3.2.1.1 apresenta o mapa hidrogeológico da Bacia de Campos elaborado pela CPRM (2000).

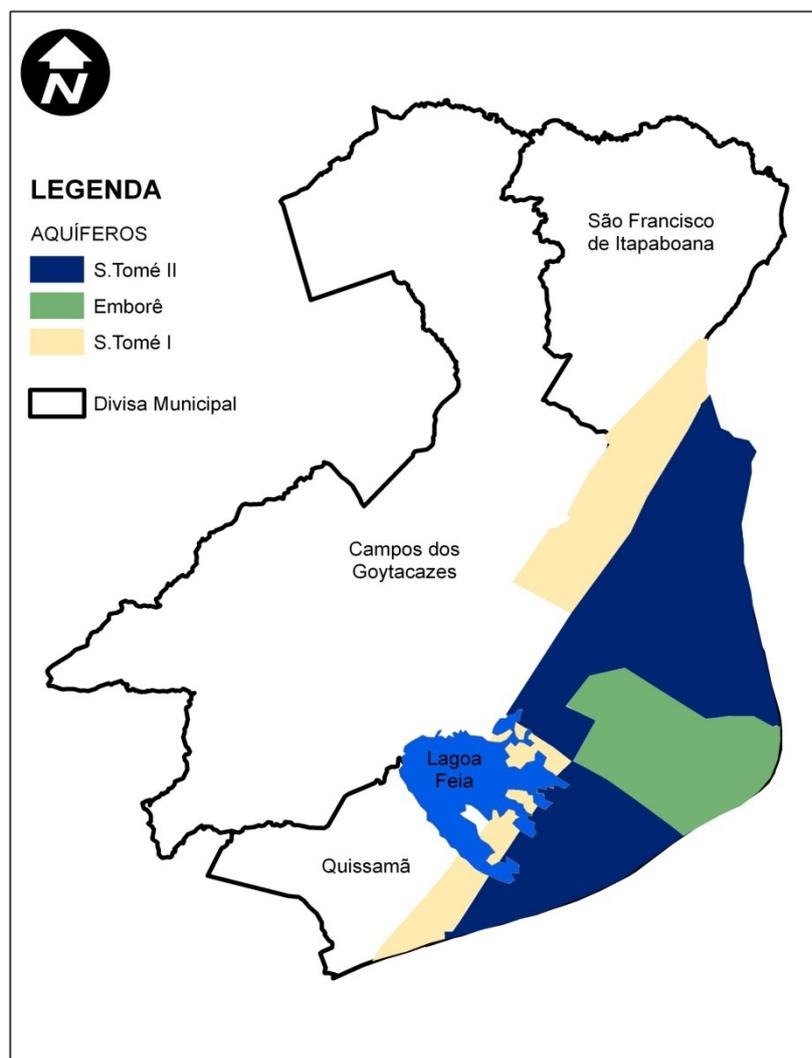


Figura 3.2.1.1 – Mapa Hidrogeológico da Bacia de Campos/RJ (Fonte: CPRM, 2000)

A tabela 3.2.1.1 a seguir faz a correspondência e integra os termos definidos por cada autor.

Tabela 3.2.1.1– Correspondência entre os Aquíferos da Bacia Sedimentar de Campo (CPRM, 2000)

CAETANO, 2000	CPRM, 2001	CAPUCCI, 2003
Terciário Formação Barreiras	Formação Barreiras	Formação Barreiras Primitiva
	São Tomé I	Formação Barreiras Recente
	São Tomé II	
Terciário Formação Emborê	Emborê	Emborê
Quaternário Deltáico	Flúvio Deltáico	Aluviões de Campos

De acordo com CAETANO (2000) e CPRM/RJ (2000), o Sistema Aquífero Sedimentar – na região de Campos dos Goytacazes, São João da Barra e São Francisco do Itabapoana, divide-se em:

- Aquífero Flúvio-deltáico situa-se na margem direita do Rio Paraíba do Sul, a SW da cidade de Campos, ocorrendo em uma área de aproximadamente 304 km². Compreendem sedimentos Quaternários, aflorantes, compostos por areias e arenitos, finos e médios com matriz siltosa e bandas argilosas, o que resulta em águas de boa qualidade e excelente potencial hídrico.
- Aquífero Barreiras ocorre em toda extensão da bacia, desde seu limite oeste até o litoral, apresentando parte aflorante e outra parte recoberta pelos sedimentos Quaternários. Situa-se a oeste da Bacia Sedimentar de Campos dos Goytacazes, tendo contato lateral com o embasamento cristalino, ocorrendo em uma área de aproximadamente 1.630 km². Em sua constituição temos os sedimentos Terciários, aflorantes, compostos por argilas lateríticas e areias com óxido de ferro, sobrepostos ao embasamento cristalino, sendo o aquífero livre e pouco produtivo, mas de utilidade para abastecimento residencial através de poços escavados.
- Aquífero Emborê, presente nos arredores da localidade Farol de São Tomé, apresenta também boa qualidade de água, compreende sedimentos não aflorantes, tidos como Terciários, compostos por arenitos conchíferos variados, com feldspato, argilitos impuros e argilas orgânicas, ocorrendo em uma área de aproximadamente 350 km². O aquífero é confinado ou semiconfinado, e encontra-se totalmente coberto por sedimentos Quaternários. Ainda de acordo com os mesmos autores, em algumas localidades recebe a designação de Aquífero São Tomé, que, mesmo apresentando homogeneidade litológica, foi dividido em Aquífero São Tomé I e Aquífero São Tomé II, em função da diferença de espessuras e de algumas variações das características hidrodinâmicas da região.

3.2.2. Bacia Sedimentar de Resende

A Bacia Sedimentar de Resende está localizada na região do médio Paraíba do Sul, estando totalmente inserida na Região Hidrográfica III do Comitê de Bacia do Médio Paraíba. Os sedimentos que constituem essa bacia foram depositados no Terciário e Quaternário sobre as rochas cristalinas do embasamento pré-cambriano. O principal aquífero desta bacia é o Aquífero Multicamadas (CASTRO, 2002), que se estende por toda a bacia ocorrendo em uma área de aproximadamente 195km². Está parcialmente

coberto por sedimentos quaternários e apresenta intensa intercalação de sedimentos, heterogêneos, argilosos e arenosos.

Esses aquíferos são confinados ou semiconfinados, com espessuras variando de 8 até 220 m (poços com até 240 m perfurados em sedimentos, além do trecho referente ao sistema fraturado e entradas de água entre 241 - 250 metros), fortemente afetados por falhamentos normais e fraturas.

Ainda na mesma bacia ocorrem aquíferos de pouca profundidade, associados a sedimentos aluvionares do rio Paraíba do Sul. A qualidade das águas geralmente é boa, mas dependendo do local e nível captado, podem ser ferruginosas.

3.2.3. Bacia de Volta Redonda

De acordo com o Projeto Rio de Janeiro (CPRM, 2000), o Aquífero Terciário Volta Redonda, localizado nos arredores da cidade de mesmo nome, ocorre em uma área de aproximadamente 8 km². Está associado a sedimentos da Bacia Sedimentar de Volta Redonda, compostos por areias e argilas, fortemente intercaladas, com presença de lateritas, sobrepostas ao embasamento cristalino. Estão parcialmente recobertos por sedimentos mais recentes.

Os aquíferos são livres a semiconfinados, com espessura entre 10 e 30m, baixa produtividade, menor que 1 m³/h. Os poços localizados nesta área normalmente ultrapassam os sedimentos, tendo captações mistas, aquífero sedimentar/fraturado, ou captando unicamente o sistema aquífero fraturado subjacente. A qualidade química das águas é regular, entretanto, é comum a ocorrência de ferro.

A despeito das baixas vazões reportadas, a análise do cadastro de poços do Inea e do Projeto Rio de Janeiro (CPRM, 2000) identificou poços com produção acima dos 10 m³/h.

3.2.4. Aquífero Macacu

Este aquífero, localizado na Região Hidrográfica V, é formado por sedimentos terciários da Formação Macacu e Caceribu, que ocupam parte do gráben da Guanabara, localizados nas imediações de Campos Elíseos, Magé, Manilha e Itaboraí. Nesses locais, o gráben foi preenchido por um pacote sedimentar eocênico – oligocênico, depositado em ambiente de leques aluviais intercalados com fácies de natureza provavelmente lacustre. Na sua parte superior, a formação é composta por argilas arenosas, areias finas e siltes, fortemente intercalados e, em profundidade, por intercalações dessas camadas de granulometria mais fina com camadas arenosas e/ou conglomeráticas sobrepostas ao embasamento cristalino, constituindo-se em um sistema aquífero semiconfinado.

As espessuras máximas vão além dos 200 m, e as entradas de água, ou seja, os horizontes de maior produtividade variam em média de 20 a 103 metros, sendo o aquífero produtor até os 120 m. A figura 3.2.4.1 apresenta os aquíferos sedimentares no em torno da Baía da Guanabara.

Esta figura deverá ser impressa em tamanho A0

Figura 3.2.4.1 - Aquíferos no em torno da Baía da Guanabara (Fonte: CONSÓRCIO ECOLOGUS – AGRAR, 2005)

3.2.4.1. Outros Aquíferos

Ainda nesta região ocorrem outros dois aquíferos de origem sedimentar. O primeiro, o Aquífero Aluvionar, é formado em ambientes de leques detríticos e planícies aluvionares, principalmente nas bacias dos rios Macacu e Guapi-Açu. Apresenta intensa variação composicional formados por intercalação de areais, argilas e matéria orgânica. Sua área de ocorrência é de aproximadamente de 410 km² e as espessuras podem alcançar até 100 metros.

Outro aquífero, o Flúvio-Lagunar e Flúvio Marinho Argiloso – Arenoso é constituído por níveis arenosos com bastante argila e intercalações de camadas e lentes argilosas e siltosas, correspondendo à sedimentação fluvial de baixo curso fluvial e também devido às transgressões marinhas. A área total é de 230 km², com espessura podendo alcançar 100 metros. Não há relato de poços profundos neste aquífero, mas é bastante utilizado pela população ribeirinha dos rios Macacu e Guapiaçú, que captam água através de poços escavados do tipo cacimba e ponteira. Portanto, pode se constituir em importante manancial local para pequenas comunidades.

3.2.4.2. Sedimentos Flúvio-Marinhas

Esta unidade localiza-se na região costeira, ocupando o trecho final das bacias do canal do Cunha até a bacia do rio Estrela e das bacias do rio Suruí e Imboçu, em terrenos com cotas inferiores a 4 metros. É formada por sedimentos argilosos, ricos em matéria orgânica, restritos a ambientes de manguezais e de lagunas. Possuem águas salgadas e salobras, de má qualidade, com altos teores de ferro e cloretos. A permeabilidade é baixíssima, não sendo adequados para utilização como fonte de água subterrânea (CPRM, 2000).

Alguns depósitos localizados na região costeira, mas com pequenas ocorrências na parte leste da baía – Niterói e São Gonçalo são compostos por areias, razoavelmente selecionadas, com matriz siltica a argilosa e granulometria fina a grossa. São sistemas livres, de pequena espessura e normalmente salinizados, com aproveitamento restrito. As captações, normalmente, são feitas por poços rasos do tipo cacimba ou ponteira, aproveitando os primeiros níveis de água, utilizados para abastecimento doméstico (CPRM, 2000).

3.2.5. Aquífero Piranema

Este aquífero está totalmente inserido na Região Hidrográfica II. É formado por depósitos sedimentares quaternários de ambiente aluvionar (fluvial, flúviomarinho e flúviolacustre), sobrepostos ao arcabouço pré-cambriano. Os sedimentos integram a Formação Piranema (GÓES, 1994), sendo representados por duas unidades. A inferior apresenta fácies arenosa pleistocênica, constituída por areias de granulometria média a muito grossa com cascalho, geralmente basal, principalmente de quartzo e feldspato. A unidade superior, denominada aluvionar é formada por fácies siltico-argilosa holocênica.

A área de ocorrência do aquífero ultrapassa os 200 km² (municípios de Seropédica, Itaguaí, Rio de Janeiro e Nova Iguaçu). Perfurações na região indicam espessuras que variam entre 16 e 25 m, no entanto, sondagens geofísicas registram profundidades do embasamento entre 50 a 60 m para a área da Piranema (Seropédica e Itaguaí), (TUBBS, 1999). Todavia, existem registros bibliográficos acusando espessuras em torno de 75 m (MONSORES *et al.*, 2003). As vazões médias estão em torno dos 8 m³/h, mas já foram reportadas vazões de até 40 m³/h

3.2.6. Aquíferos em Cordões, Restingas e Terraços Litorâneos

Localizam-se na região costeira do estado do Rio de Janeiro, ocorrendo em uma extensão de 560 km². Os sedimentos são compostos por areias razoavelmente selecionadas, com matriz siltica a argilosa, granulometria fina a grossa. Os aquíferos são livres, rasos e normalmente salinizados, com aproveitamento restrito.

As captações, normalmente, são feitas por poços rasos, aproveitando os primeiros níveis de água, que podem ser potáveis. As águas destes sistemas são utilizadas normalmente para o abastecimento residencial, como no caso de Piratininga, na região oceânica de Niterói.

Dentro desse sistema vale destacar o “Aquífero Tamoios” em função da sua importância para o abastecimento de água do distrito homônimo no município de Cabo Frio. O aquífero “Tamoios” é essencialmente de domínio poroso, podendo alcançar espessura de até 43 metros, os sedimentos são compostos por areias razoavelmente selecionadas, com matriz siltica a argilosa, granulometria fina a grossa. A vazão final em quatro ensaios de bombeamento foi em torno de 12 m³/h e o rebaixamento final variou de 3,58 m a 0,25 m (TUBBS *et al.*, 2012). Sua utilização é viável desde que monitorada para evitar a salinização da água subterrânea.

4. DISPONIBILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Considera-se reserva de água subterrânea o volume de água armazenada e que sofre variação em função do tempo e do tipo de aquífero. Geralmente são divididas em reservas reguladoras (ou renováveis), permanentes, naturais (totais) e explotável (*safe yield*). O recurso água subterrânea renovável pode ser avaliado mediante análise de variações potenciométricas, curvas de recessão de rios ou riachos ou a partir de análise de mapas de fluxo subterrâneo (FEITOSA *et.al.*, 2008). Esta contextualização é especialmente válida para aquíferos sedimentares, não podendo ser aplicada integralmente no caso de aquíferos fraturados.

De acordo com LOPES (1994) e PEREIRA e KILMMELMANN (2004) a avaliação preliminar da “disponibilidade” hídrica subterrânea para os aquíferos fraturados em uma determinada região pode ser calculada a partir do $Q_{7,10}$ (vazão mínima de sete dias consecutivos e tempo de retorno de dez anos; a qual é similar ao escoamento de base dos rios, ou seja, à contribuição do aquífero para os rios ao longo de um ano hidrológico).

No entanto, geralmente o potencial dos aquíferos do estado do Rio de Janeiro é estimado em função das vazões nominais dos poços ($m^3/hora$). Logo, a maior parte das estimativas se origina das vazões de poços instalados, obtidas através de informações bibliográficas ou por meio de inventário de poços. Segundo COSTA (1998) há que se considerar a descarga que está sendo retirada dos aquíferos, denominando-a como *disponibilidade efetiva*. A disponibilidade efetiva é definida como a descarga anual efetivamente bombeada em certo momento considerado e estimado através do cadastramento de poços em uma área, aquífero ou sistema de aquíferos.

Por outro lado, de acordo com FEITOSA *et.al.* (2008), *disponibilidade instalada* é o volume anual passível de exploração através de poços existentes, com base na vazão máxima de exploração – ou vazão ótima – num regime de bombeamento de 24 horas diárias, em todos os dias do ano. Esta descarga é de grande importância, pois deve ser considerada no balanço hídrico, além de poder ser considerada como a descarga sustentável.

Em seguida são apresentadas as informações mais significativas quanto ao potencial dos aquíferos fluminenses obtidos na literatura geológica e nos dados do cadastramento de poços apresentados anteriormente.

4.1. Sistema Aquífero Fraturado

Segundo o Projeto Rio de Janeiro (CPRM, 2000) há ocorrência de poços no sistema cristalino produzindo vazões em torno de $100 m^3/hora$ (não identificados nos cadastrados analisados). Esta vazão é anômala e muito diferente da média regional, que é inferior aos $10 m^3/hora$ (determinada no cadastramento dos poços no âmbito do PERHI). Por outro lado, em certas regiões, em função da evolução geológica, podem apresentar maior potencial de extração.

Na região fronteira dos estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais na bacia do rio Paraíba do Sul ocorrem estruturas tectônicas favoráveis (Graben do rio Paraíba do Sul), com armazenamento de água subterrânea em volume significativo, com poços bem localizados e construídos produzindo boas vazões em ambas as margens.

De acordo com CAPUCCI (2003), poços perfurados no sistema cristalino nos municípios de Carmo, Três Rios e Barra Mansa produziram vazões operacionais superiores a

20m³/h. Ainda segundo o autor, um poço construído para a Light, na Ilha dos Pombos, com 96 m de profundidade, próximo à cidade de Além Paraíba, produziu a inédita vazão de 40 m³/h, com água levemente ferruginosa. A tabela 4.1.1 apresenta as vazões médias obtidas em poços perfurados no sistema cristalino e divididas por região hidrográfica de acordo com (CPRM, 2000).

Tabela 4.1.1 - Vazões médias encontradas em poços perfurados no sistema cristalino, divididas por região hidrográfica (CPRM, 2000)

Região Hidrográfica	R I	R II	R III	R IV	R V	R VI	R VII	R VIII	R IX
Vazão Média por Região Hidrográfica (m ³ /hora)	4,75	6,64	8,66	9,71	3,12	2,95	13,90	3,29	18,90
Número de poços avaliados	24	94	152	174	485	23	101	6	200

Observa-se que as vazões médias encontradas na R-V (Baía da Guanabara), R-VI (Lagos São João) e R-VIII (Macaé e das Ostras) são pequenas, fato a ser considerado, pois são regiões que também apresentam restrições na disponibilidade hídrica superficial. As Regiões Hidrográficas (II, III, IX e X) apresentam vazões médias mais expressivas, possivelmente devido à contribuição dos aquíferos sedimentares sobrepostos. Por sua vez, os poços perfurados nas Regiões Hidrográficas IV e VII também apresentam médias significativas, possivelmente devido à associação com estruturas do Graben do Paraíba do Sul.

4.2. Sistemas Aquíferos Sedimentares

4.2.1. Bacia de Campos

4.2.1.1. Aquífero Flúvio Deltaico

As vazões observadas geralmente são significativas e um único poço (Donana 04), produziu a vazão de 310 m³/hora (86 l/s). As vazões específicas variam de 30 a 40 m³/hora/metro de rebaixamento (CAETANO, 2000). Segundo MARTINS *et al* (2006), pesquisas realizadas neste aquífero determinaram transmissividades de 6.000 a 7.000 m²/dia e potencial de 24x10⁶m³/ano. Esse autor concluiu que sua recarga principal tem origem no rio Paraíba do Sul e em seus canais de drenagem, recarregando também os aquíferos mais antigos através de falhamentos.

4.2.1.2. Aquífero Emboré

Na região do Distrito do Farol de São Tomé, o Poço Boa Vista apresentou a vazão de 260 m³/hora (72 l/s). De acordo com a Fundação CEPERJ (2008), nesta bacia são disponibilizados 338,3 l/s, captados em 80 poços que abastecem mais de 154 mil habitantes.

A análise de 76 poços perfurados exclusivamente no sistema sedimentar, com base no cadastro de poços do Inea, resultou na estimativa de 29,6 m³/hora de vazões médias.

4.2.3. Bacia de Resende

4.2.3.1. Aquífero Multicamadas

Segundo CASTRO (2002) com base nos poços cadastrados calculou-se a disponibilidade hídrica renovável do Aquífero Multicamadas em 18 hm³/ano e em 6,4 hm³/ano o volume explorado, correspondendo à retirada de 20% dos recursos subterrâneos totais disponíveis neste aquífero.

A tabela 4.2.3.1.1 apresenta os valores médios encontrados nos aquíferos da Bacia de Resende.

Tabela 4.2.3.1.1 - Distribuição das médias das vazões, nível estático e nível dinâmico nos diferentes tipos de aquíferos da Bacia de Resende, modificado a partir de CASTRO (2002)

Aquíferos	Valores	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Vazão m ³ /hora
Sedimentar	Máximo	78	131,70	54,80
	Média	11,30	46,50	11,50
	Mínimo	1,00	6	0,04
Cristalino	Máximo	57	116	4,80
	Média	12,10	58,40	3,40
	Mínimo	2,20	30	0,30
Cristalino e Sedimentos	Máximo	18	69	28,80
	Média	8,80	39,60	7,10
	Mínimo	0,70	6	4

4.3. Área da Baía da Guanabara

4.3.1. Aquífero Macacu

O aquífero Macacu apresenta vazões entre 5,5 e 42,7 m³/h e vazões específicas entre 0,5 e 1,0 m³/h/m (ALMEIDA et al, 2010). Por sua vez, o CONSÓRCIO ECOLOGUS – AGRAR (2005) indicou a existência de poços perfurados na região de Itaboraí com vazões entre 15 a 42 m³/h, considerando a Formação Macacu como de alto potencial explorável. No entanto, a média das vazões em 7 poços cadastrados pelo Inea foi de 4,23 m³/h.

4.3.2. Aquífero Aluvionar

A produção observada nos poços tubulares profundos alcança vazões superiores aos 10 m³/h. Neste aquífero, ensaios de vazão produziram valores entre 10 e 42 m³/h (ALMEIDA et al, 2010).

O Programa de Aproveitamento Racional de Água Subterrânea do PDRH (2004), sugere a utilização deste aquífero através da construção de baterias de poços, contendo entre 10 e 20 poços, para uma produção da ordem de 100 a 400 m³/h (28 a 112 l/s), dependendo do número de poços. A tabela 4.3.2.1 apresenta o resumo das disponibilidades hídricas subterrâneas de acordo com Plano Diretor de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica da Baía da Guanabara (CONSÓRCIO ECOLOGUS – AGRAR, 2005).

Tabela 4.3.2.1 - Reservas Permanentes, Reservas Renováveis e Rendimento Médio por Poço na Região Hidrográfica da Baía da Guanabara (CONSÓRCIO ECOLOGUS – AGRAR, 2005).

Aquífero	Reserva Permanente (10⁹ m³)	Reserva Renovável (10⁸ m³)	Rendimento Médio por Poço (m³/hora)
Aluvião	1,03	1,48	10 - 20
Formação Macacu-Caceribu	0,39	0,39	20
Fluvio Marinho Argilo-Arenoso	0,92	0,69	5 - 10
Cristalino Favorabilidade Mediano	----	-----	10

4.4. Aquífero Piranema

Segundo TUBBS FILHO (2005), o potencial utilizável do aquífero varia entre $35,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ e $30,8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ (aproximadamente $1,12 \text{ m}^3/\text{s}$ e $0,97 \text{ m}^3/\text{s}$) e uma reserva reguladora entre 30 e $34,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, ou seja, uma vazão em torno de $1 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.5. Províncias Hidrogeológicas

CAPUCCI (1988) apud MARTINS et al (2006), propõe a divisão do estado do Rio de Janeiro em províncias hidrogeológicas considerando as vazões (capacidades) específicas dos poços existentes. A figura 4.5.1 apresenta um resumo do potencial hídrico subterrâneo do estado do Rio de Janeiro segundo esse autor.

O autor atribuiu quatro padrões de potencialidade para os aquíferos estudados no estado do Rio de Janeiro, utilizando valores de vazão específica que é o parâmetro mais apropriado para exprimir inicialmente o potencial de um aquífero, quando comparada com a vazão nominal:

- a) Muito elevado: vazões específicas maiores de $12 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ (Bacia de Campos);
- b) Elevado: para vazões específicas entre 5 e $12 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ (Bacia de Campos) e (Resende);
- c) Médio: para vazões específicas entre $0,5$ e $5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ (Graben do rio Paraíba do Sul) e entre $0,5$ e $1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ (Bacia de Itaboraí), e
- d) Fraco: para vazões específicas menores que $1,0 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ (Bacia de Campos) e menores que $0,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ (Bacia de Itaboraí).

Figura em tamanho A3 ao final do documento

4.6. Disponibilidade Efetiva e Disponibilidade Instalada a partir do Cadastro de Poços

Como visto a disponibilidade efetiva e a disponibilidade instalada são associadas ao volume explotado dos aquíferos por intermédio das obras de captações existentes. Convém ressaltar, no entanto, que essa constatação é de ordem prática e que considera somente o número de poços e suas vazões nominais obtidas por ensaios de vazão. A tabela 4.6.1 apresenta a disponibilidade efetiva e instalada para todas as regiões hidrográficas.

Tabela 4.6.1 - Disponibilidade efetiva e instalada por região hidrográfica

Região Hidrográfica	Nº Total de Poços	Vazão Média (m ³ /hora)	Vazão Total (m ³ /hora)	Tempo médio bombeado horas/dia	Disponibilidade Efetiva (m ³ /média de horas bombeadas durante um dia)	Disponibilidade Instalada (m ³ /ano)
R-I	34	5	170	10	1.700	1.489.200
R-II	195	5,81	1.132,95	13,80	15.634,71	413.545
R-III	269	10,59	2.848,71	17,30	49.282,68	24.954.685
R-IV	238	11,02	2.622,76	16,90	44.324,65	22.975.290
R-V	1032	5,08	5.242,56	11,40	59.765,18	45.924.665
R-VI	56	3,84	215,04	11,40	2.451	1.883.400
R-VII	110	4,61	507,10	11,80	5.983,78	4.441.320
R-VIII	29	3,53	102,37	14,20	1.453,65	893.520
R-IX	286	16,57	5.054,40	10	50.544	44.273.040
Total	2.249	-	17.895,89	-	231.139,65	147.248.665

A análise da tabela 4.6.1 permite destacar o volume de água que é captado em poços na Região Hidrográfica V (45.924.665 m³/ano), aproximadamente 1,46 m³/seg, claramente em função do elevado número de poços em operação. A Região Hidrográfica IX apresenta volume de captação de água subterrânea (44.273.040 m³/ano) em torno de 1,39 m³/seg, neste caso devido à contribuição das excelentes vazões conhecidas na Bacia de Campos. A ressaltar ainda é a disponibilidade das Regiões Hidrográficas III e IV: a primeira certamente por influência da Bacia de Resende.

Em resumo, os números apresentados permitem estimar que a descarga total instalada no estado do Rio de Janeiro estaria em torno de (147.248.665 m³/ano) ou **4,67 m³/seg**.

4.7. Estimativas do Potencial de Recarga Natural dos Aquíferos do Estado do Rio de Janeiro

4.7.1. Introdução

A recarga da água subterrânea de aquíferos é uma componente fundamental na gestão dos recursos hídricos em qualquer bacia hidrográfica. A recarga é definida como o fluxo de água descendente que se infiltra e alcança o aquífero, resultando em um volume adicional ao reservatório subterrâneo, contribuindo para aumentar, dessa forma, as reservas renováveis e permanentes de um aquífero.

Este conceito, embora de fácil compreensão e de grande importância para os estudos dos recursos hídricos e para o transporte dos contaminantes, não é de fácil determinação. Em virtude das dificuldades de medir-se diretamente, vários métodos, que variam amplamente em termos de complexidade e de custo, foram criados para estimar o potencial da recarga de aquíferos.

O armazenamento da água e a facilidade com que ela pode ser extraída dependem essencialmente dos fatores físicos do solo e das condições geológicas.

A recarga de um aquífero pode ocorrer naturalmente devido a água da chuva, água de superfície, ou seja, através de rios, lagos, áreas úmidas ou ainda através de transferências de outras unidades hidrogeológicas ou aquíferos. Igualmente, pode ser produzida artificialmente por atividades, tais como, irrigação, vazamentos em redes de abastecimento, barragens e reservatórios de infiltração, além da recarga artificial de aquíferos (CUSTÓDIO, 1997).

Entretanto, as estimativas das taxas de recarga possuem um elevado grau de incerteza que começam pela definição da metodologia a ser adotada e pela confiabilidade dos dados existentes. Por outro lado, as técnicas usualmente utilizadas para a sua avaliação produzem estimativas em escalas variadas no espaço e no tempo.

Neste relatório inicialmente são apresentados os dados referentes à recarga de aquíferos obtidos na literatura hidrogeológica do estado do Rio de Janeiro.

Em seguida a recarga dos aquíferos é inferida empregando-se dados hidrológicos a partir da vazão de $Q_{7,10}$ para as diversas bacias hidrográficas.

Por fim, apresentam-se estimativas do potencial de recarga dos aquíferos do estado mediante o emprego formulações empíricas que utilizam percentagem a partir da pluviosidade.

4.7.2. Dados Referentes à Recarga Natural de Aquíferos no Estado do Rio de Janeiro

No estado do Rio de Janeiro são poucas as informações relacionadas ao estudo de balanço hídrico e da recarga de aquíferos, notadamente em áreas com predominância de rochas cristalinas onde há ocorrência de aquíferos fissurais.

A tabela 4.7.2.1 apresenta os valores de recarga encontrados na literatura para alguns aquíferos no estado do Rio de Janeiro.

Tabela 4.7.2.1 - valores de recarga para aquíferos do estado do Rio de Janeiro

Região Hidrográfica	Sistema Hidrogeológico	Reserva Renovável (m ³ /ano)	Taxa de Infiltração (mm /ano)	Observações e referências
II	“Aquífero Piranema”	1,8 x 10 ⁶	660 mm 48 % da precipitação anual	BARBOSA (2005) Resultados obtidos através de estudos de campo, para uma área de 180 km ² .
	Aquífero fissural (Rio Santana e Ribeirão das Lajes)	1,4 10 ⁷	--	SONDOTÉCNICA (2006) Estimado a partir do Q _{7,10}
III	Bacia Sedimentar de Resende Aquífero Multicamadas	1,8 x 10 ⁷	--	CASTRO (2002) Resultados estimados.
V	Aquífero Macacu	1,45 x 10 ⁸	--	CONSÓRCIO ECOLOGUS – AGRAR (2005) Resultados estimados.
	Aluviões Arenosos	1,5 x 10 ⁸	--	
	Bacia do Rio Macacu	--	45% da precipitação anual	ALMEIDA e TUBBS (2010) Resultados obtidos através de estudos de campo.
VI	“Aquífero Tamoios”	5,4 x 10 ⁶	40% da precipitação anual	TUBBS et al., 2012 Resultados obtidos através de estudos de campo.
VIII	Bacia dos Rios Macaé e das Ostras Aquífero cristalino – Parte superior da bacia	--	30 % da precipitação anual	ENGENPLUS E ÁGUA E SOLO (2012) Estimado a partir do Q _{7,10}
VIII	Bacia dos Rios Macaé e das Ostras Aquífero sedimentar Parte inferior da bacia	--	21% a 26 % da Precipitação anual	ENGENPLUS E ÁGUA E SOLO (2012)
IX	Bacia Sedimentar de Campos – Quaternário Deltaico	1,55 x 10 ⁷	--	CAETANO (2000)
	Aluviões	2,4 x 10 ⁷	--	MARTINS (2006)
	Bacia Sedimentar de Campos – Quaternário Deltaico	--	Entre 50 mm / ano a 500 mm / ano	ECOLOGUS AGRAR

Os dados apresentados na tabela 4.7.2.1 demonstram que apesar de parte das informações serem estimadas, os valores apresentados estão de acordo com a geologia e com outros dados obtidos a partir de estudos de campo.

Igualmente, os resultados da tabela 4.7.2.1 quando comparados aos dados hidrológicos de Q_{7,10} refletem também uma certa coerência em relação aos valores do potencial de recarga dos aquíferos.

4.7.3. Estimativa da Recarga de Aquíferos a Partir das Vazões de $Q_{7,10}$

A partir do conceito de que a água subterrânea é parte do ciclo hidrológico, sua disponibilidade no aquífero está relacionada ao escoamento de água para a bacia de drenagem sobre a área de ocorrência do aquífero.

Por conseguinte, o escoamento de base é considerado a recarga transitória multianual do aquífero, equivalente ao volume de água da chuva que se infiltra até o aquífero.

Em outras palavras, é o volume de água situada entre a superfície potenciométrica e o nível de base local de uma drenagem em uma determinada região (PEREIRA e KILMMELMANN, 2004). Portanto, o fluxo de base é a parte da vazão fluvial geralmente atribuída à descarga das águas subterrâneas.

Esta concepção é válida desde que a evapotranspiração da vegetação da mata ciliar, e outras perdas ou abstrações das águas subterrâneas na bacia possam ser desprezadas. Portanto, o fluxo de base eventualmente pode em certas situações representar somente **uma quantidade inferior a recarrega do aquífero.**

De acordo com LOPES (1994) e PEREIRA e KILMMELMANN (2004), a avaliação preliminar da “disponibilidade” hídrica subterrânea para os aquíferos em uma determinada região, pode ser calculada a partir do $Q_{7,10}$ (vazão mínima de sete dias consecutivos e tempo de retorno de dez anos, a qual é similar ao escoamento de base dos rios, ou seja, à contribuição do aquífero para os rios ao longo de um ano hidrológico.

No entanto, este método não se aplica a bacias que tenham intervenções estruturais que alterem a vazão natural dos rios.

As tabelas de números 4.7.3.1 a 4.7.3.9 apresentam a estimativa de recarga derivadas a partir das vazões de $Q_{7,10}$ em diversas bacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro, utilizando os dados obtidos no relatório R3-A – TEMAS TÉCNICOS ESTRATÉGICOS, RT-01 - Estudos Hidrológicos e Vazões Extremas.

Tabela 4.7.3.1 – Estimativa da recarga a partir do $Q_{7,10}$ em rios da Região Hidrográfica I

Rios da RH-I	Área (km ²)	$Q_{7,10}$ (m ³ /s)	Fluxo de Base Específico (m ³ /s/km ²)	Estimativa da Recarga (m ³ /ano)
Perequê-Açu	110	1,10	0,0100	3,4 x 10 ⁷
Mateus Nunes	53,30	0,54	0,0100	1,4 x 10 ⁷
Parati-Mirim	66,30	0,67	0,0120	2,1 x 10 ⁷
Jacuecanga	39,60	0,48	0,0120	1,5 x 10 ⁷
Japuíba	36,70	0,44	0,0120	1,4 x 10 ⁷
Mambucaba	738,40	4,30	0,0058	1,6 x 10 ⁸
Bracuí	196,60	1,10	0,0059	3,4 x 10 ⁷
Ariró	62,90	0,43	0,0068	1,35 x 10 ⁷

Tabela 4.7.3.2 – Estimativa da recarga a partir do $Q_{7,10}$ em rios da Região Hidrográfica II

Rios da RH-II	Área (km ²)	$Q_{7,10}$ (m ³ /s)	Fluxo de Base Específico (m ³ /s/km ²)	Estimativa da Recarga (m ³ /ano)
Da Guarda	345,30	0,340	0,0010	1,07 x 10 ⁷
Santana	314,70	0,380	0,0012	1,19 x 10 ⁷
São Pedro	92,60	0,120	0,0013	0,37 x 10 ⁷
Macaco	73,11	0,083	0,0014	0,26 x 10 ⁷

Tabela 4.7.3.3 – Estimativa da recarga a partir do $Q_{7,10}$ em rios da Região Hidrográfica III

Rios da RH-III	Área (km ²)	$Q_{7,10}$ (m ³ /s)	Fluxo de Base Específico (m ³ /s/km ²)	Estimativa da Recarga (m ³ /ano)
Barra Mansa	103,20	0,93	0,009	2,9 x 10 ⁷
Das Flores	652,20	5,50	0,008	1,7 x 10 ⁸
Bananal	118,20	1,10	0,009	3,4 x 10 ⁷
Preto	1.877,40	14,90	0,008	4,7 x 10 ⁸

Tabela 4.7.3.4 – Estimativa da recarga a partir do $Q_{7,10}$ em rios da Região Hidrográfica IV

Rios da RH-IV	Área (km ²)	$Q_{7,10}$ (m ³ /s)	Fluxo de Base Específico (m ³ /s/km ²)	Estimativa da Recarga (m ³ /ano)
Piabanha	2.059,70	7,12	0,0035	2,02 x 10 ⁸
Preto	1.071,70	4,59	0,0042	1,36 x 10 ⁸
Paquequer	268,80	1,81	0,0067	5,7 x 10 ⁷
Paquequer (Sumidouro)	757,90	2,61	0,0034	8,2 x 10 ⁷
Calçado	272,60	1,06	0,0038	3,3 x 10 ⁷

Tabela 4.7.3.5 – Estimativa da recarga a partir do $Q_{7,10}$ em rios da Região Hidrográfica V

Rios da RH-V	Área (km ²)	$Q_{7,10}$ (m ³ /s)	Fluxo de Base Específico (m ³ /s/km ²)	Estimativa da Recarga (m ³ /ano)
Iguaçu/Sarapuí	719,10	4,53	0,0063	1,48 x 10 ⁸
Pavuna-Meriti	164,10	1,06	0,0064	3,3 x 10 ⁷
Guaxindiba/Alcântara	170,70	1,10	0,0064	3,4 x 10 ⁷
Macacu	1261,90	7,88	0,0062	2,5 x 10 ⁸
Saracuruna/Inhomirim	347,20	2,21	0,0063	6,9 x 10 ⁷
Caceribu	812,31	5,11	0,0062	6,9 x 10 ⁷
Iri	19,67	0,13	0,0066	0,4 x 10 ⁷
Roncador ou Santo Aleixo	131,99	0,85	0,0064	2,6 x 10 ⁷
Suruí	84,60	0,55	0,0065	1,7 x 10 ⁷

Tabela 4.7.3.6 – Estimativa da recarga a partir do $Q_{7,10}$ em rios da Região Hidrográfica VI

Rios da R-VI	Área (km ²)	$Q_{7,10}$ (m ³ /s)	Fluxo de Base Específico (m ³ /s/km ²)	Estimativa da Recarga (m ³ /ano)
São João	2.150,30	14,60	0,0067	4,6 x 10 ⁸
Una	487,66	3,30	0,0067	1,04 x 10 ⁸

Tabela 4.7.3.7 – Estimativa da recarga a partir do $Q_{7,10}$ em rios da Região Hidrográfica VII

Rios da RH-VII	Área (km ²)	$Q_{7,10}$ (m ³ /s)	Fluxo de Base Específico (m ³ /s/km ²)	Estimativa da Recarga (m ³ /ano)
Dois Rios	2.000,30	9,30	0,0045	2,9 x 10 ⁸
Negro	1.156,30	6,20	0,0053	1,9 x 10 ⁸
Grande	290,90	2,20	0,0075	6,9 x 10 ⁷
Bengalas	190,60	1,60	0,0084	4,7 x 10 ⁷
Rib. das Areias	409,50	1,50	0,0036	4,7 x 10 ⁷
Do Colégio	203,80	1,67	0,0081	5,2 x 10 ⁷
Pirapetinga	691,04 ⁽¹⁾	5,70	0,0082	1,7 x 10 ⁸

Tabela 4.7.3.8 – Estimativa da recarga a partir do $Q_{7,10}$ em rios da Região Hidrográfica VIII

Rios da RH-VIII	Área (km ²)	$Q_{7,10}$ (m ³ /s)	Fluxo de Base Específico (m ³ /s/km ²)	Estimativa da Recarga (m ³ /ano)
Macaé	1.737,30	9,61	0,0055	3,03 x 10 ⁸
Das Ostras	146,50	0,83	0,0056	2,6 x 10 ⁷
Imboacica	76,65	0,44	0,0057	1,3 x 10 ⁷
Jundiá	162,21	0,92	0,0056	2,9 x 10 ⁷

Tabela 4.7.3.9 – Estimativa da recarga a partir do $Q_{7,10}$ em rios da Região Hidrográfica IX

Rios da RH-IX	Área (km ²)	$Q_{7,10}$ (m ³ /s)	Fluxo de Base Específico (m ³ /s/km ²)	Estimativa da Recarga (m ³ /ano)
Imbé	771,50	4,00	0,0051	1,26 x 10 ⁸
Macabu	1.061,40	5,40	0,0050	1,7 x 10 ⁸
Muriaé	3.097,90	7,20	0,0023	2,27 x 10 ⁸
Carangola	684,2	2,00	0,0029	6,3 x 10 ⁷
Pomba	896,70	4,30	0,0047	1,35 x 10 ⁸
Itabapoana	1.507,30	5,90	0,0039	1,86 x 10 ⁸

A análise dos dados das tabelas de número 4.7.3.1 a 4.7.3.9 permitem avaliar que mesmo considerando as vazões de $Q_{7,10}$ a partir de vazões regionalizadas, é perfeitamente possível utilizá-los em uma primeira aproximação para estimar o potencial da recarga dos aquíferos. Os valores para a estimativa do potencial de recarga foram obtidos multiplicando-se os valores de $Q_{7,10}$ pela área da bacia.

Para melhor comparação entre bacias, apresenta-se o **fluxo de base específico**, o qual é o valor do $Q_{7,10}/\text{km}^2$ dividido pela área da bacia. Dessa forma é possível melhor visualizar a produtividade entre bacias em virtude das diferentes áreas.

Considerando que as bacias das Regiões Hidrográficas I, II, IV, VI e VII se desenvolveram exclusivamente sobre rochas cristalinas e que as áreas de afloramentos constituídos por rochas sedimentares e sedimentos aluvionares possam ser minimizadas, as vazões do fluxo de base calculadas nestas bacias foram extrapoladas como sendo o potencial de recarga transitória multianual para os aquíferos fissurais nestas bacias.

Nas demais regiões hidrográficas não foi possível assumir que os valores de $Q_{7,10}$ representassem somente a contribuição dos aquíferos fissurados, pois a existência de bacias sedimentares e/ou extensa sedimentação aluvionar, torna o fluxo de base uma composição das vazões produzidas nos diferentes sistemas hidrogeológicos.

Em termos gerais, os valores da recarga nos aquíferos, quer em áreas estritamente cristalinas e/ou sedimentares variaram entre 10^7 (m^3/ano) e 10^8 (m^3/ano). Estes valores também estão na mesma ordem de grandeza dos resultados apresentados na tabela 4.7.2.1.

Por outro lado, quando a comparação é feita com valores da vazão de $Q_{7,10}$ específico é possível observar diferenças, notadamente nas regiões hidrográficas I, IV e VII. Tal constatação pode ser porque essas e outras diferenças sejam devidas a regionalização dos dados hidrológicos ou por estarem relacionadas às estruturas geológicas responsáveis pelo armazenamento da água subterrânea.

4.7.4. Estimativas do Potencial de Recarga Através de Fórmulas Empíricas a Partir da Pluviosidade.

A chuva é a principal fonte de recarga para águas subterrâneas. Parte da água da chuva que cai sobre o terreno se infiltra no solo e uma parcela desta água infiltrada é utilizada para suprir a deficiência de umidade do solo, enquanto a parte restante infiltra até atingir o lençol freático.

A quantidade de precipitação pluvial que recarrega os aquíferos depende de vários fatores hidrometeorológicos e topográficos, bem como as características do solo, dos aquíferos e a profundidade do lençol freático.

Os métodos para estimar o potencial de recarga a partir da pluviosidade utilizam relações empíricas entre a recarga e a chuva e são desenvolvidos para diferentes regiões. Quando não existem estudos hidrogeológicos ou dados de campo obtidos a partir da variação do nível da água subterrânea (ou outros métodos confiáveis), a recarga de água subterrânea é frequentemente estimada a partir de dados meteorológicos, utilizando-se fórmulas empíricas (RISSER *et al*, 2005).

Nestes métodos a estimativa do potencial de recarga das águas subterrâneas é calculada a partir de uma percentagem média da precipitação da água da chuva. Valores entre 10% e 41% têm sido citados em várias regiões do mundo.

Segundo COSTA (2008), a recarga aquífera, quando em condições de equilíbrio natural, pode ser assumida como a reserva reguladora ou renovável.

Entende-se por reserva reguladora ou renovável o volume hídrico acumulado no meio aquífero, em função da porosidade eficaz ou do coeficiente de armazenamento e variável anualmente em decorrência dos aportes sazonais de água superficial, do escoamento subterrâneo e dos exutórios.

Portanto, a reserva renovável (recarga) corresponde ao volume de água subterrânea acumulada anualmente acima do nível freático e variável com o regime pluviométrico.

A tabela 4.7.4.1 apresenta algumas fórmulas empíricas obtidas na literatura hidrogeológica utilizadas para estimar o potencial de recarga dos aquíferos do estado do Rio de Janeiro. A tabela 4.7.4.2 apresenta os resultados da estimativa de recarga através fórmulas empíricas a partir da pluviosidade e detalhadas por região hidrográfica

Tabela 4.7.4.1 – Principais fórmulas empíricas para estimação da recarga de aquíferos

Fórmulas Empíricas para a Recarga de Aquíferos	Referência	Obs
$P^* - ETR^{**}$ (mm/ano)	RISSER et al (2005).	Evapotranspiração real ou estimada P e ETR em mm/ano
35 % P (mm / ano)	RISSER et al (2005).	P em mm/ano
$Rr^{***} = P \times 0,0015 \times A^2$ (m ³ /ano)	COSTA (2008)	Específico para aquífero fissural P em m/ano
23% P (mm/ano)	Cadernos de Mata Ciliar – São Paulo	Sugerido para áreas de nascentes P em mm

* P = Pluviosidade

** ETR = Evapotranspiração

***Rr = Reserva Renovável

Tabela 4.7.4.2 - Estimativa de recarga de aquíferos através fórmulas empíricas a partir da pluviosidade

Região Hidrográfica	Estação	Precipitação (P)	ETR (Evapotranspiração)	Recarga do Aquífero P – ETR (mm / ano)	Recarga do Aquífero 35 % P (mm / ano)	Rr (Reserva Renovável) = $P \times 0,0015 \times A^2$ (m ³ /ano)	23% P (Precipitação) (mm / ano)
I	Angra dos Reis	1.883,70	1.173,80	709,90	659,20	$3,7 \times 10^6$	433,25
II	Ecologia Agrícola	1.274,50	1.134,30	140,20	446,07	$1,6 \times 10^6$	293,13
	Piraí	1.240,80	984,10	256,70	434,28	*	285,38
III	Pinheiral	1.399,70	993,50	406,20	489,89	$6, \times 10^6$	321,77
	Vassouras	1.329,90	977	352,90	465,46	*	305,67
	Resende	1.633,20	1.016,00	617,20	571,62	$1,5 \times 10^7$	375,59
IV	Araras	1.666,00	847,00	819	583,10	$1,3 \times 10^7$	383,18
	Carmo	1.514,90	1.088,70	426,20	530,21	*	348,42
	Teresópolis	2.774,40	807,20	1.967,20	971,04	*	638,11
V	Alto da Boavista	2.523,60	1.094,10	1.429,50	883,26	$1,1 \times 10^7$	580,42
	Jacarepaguá	1.306,10	1.229,20	76,90	457,13	*	300,38
	São Bento	1.269,20	1.176,5	92,70	444,22	*	291,90
	Tingüá	2.000,20	1.085,70	914,50	700,07	*	460
VI	Cabo Frio	784,60		**	274,61	$3,5 \times 10^6$	180,55
	Iguaba Grande	899,90		**	314,96	*	207
VII	Nova Friburgo	1.279,80	824,10	455,70	447,93	$8,7 \times 10^6$	294,40
	Santa Maria Madalena	1.388,30	927,70	460,60	485,90	*	319,24
	Cordeiro	1.404,60	986,30	418,30	491,61	*	322,92
VIII	Macaé*	1.169	1.092	77	409,15	$1,5 \times 10^6$	268,87
IX	Campos	1.044,00		**	365,40	$1,1 \times 10^6$	240,12
	Itaperuna	1.231,30	1.095,80	135,50	430,90	*	283,13
	Santo Antônio de Pádua	1.259,40	1.223,70	35,30	440,39	*	289,57
	São Francisco do Itabapoana	916,17	1.137,10	**	**	$2,6 \times 10^6$	**

* Sem informação da área de ocorrência do aquífero fissurado

** O método não se aplica

A tabela 4.7.4.2 apresenta as estimativas de recarga natural de aquíferos a partir métodos empíricos que utilizam dados de pluviosidade para as diversas regiões hidrográficas. Em termos gerais os dados compilados permitem observar um elevado grau de subjetividade para uma determinada região hidrográfica ou ainda para um mesmo rio.

A análise comparativa entre os métodos apresentados (e outras fórmulas empíricas) demonstraram que os resultados a partir da $P - ETR$; 35 % de P e 23% de P , quando comparados aos dados bibliográficos e de $Q_{7,10}$ apresentam diferenças consideráveis, com variações de até três ordens de grandeza dos valores para as taxas de infiltração ou da recarga.

Embora sejam encontrados na literatura hidrogeológica do estado do Rio de Janeiro registros que apontam taxas de infiltração entre 40% a 50% da pluviosidade, esses números devem ser considerados com reserva. Os dados são especialmente válidos para determinadas áreas, onde as condições geológicas sejam mais apropriadas para a infiltração, especialmente, em áreas sedimentares arenosas, planas, com elevado índice de precipitação, nas quais as condições de infiltrabilidade sejam favorecidas e, portanto, não se aplicam a totalidade do estado, que apresentam maior parte da sua área constituída por aquíferos fissurais.

Por outro lado, a análise comparativa empregando a formulação proposta por COSTA (2008), diferentemente, apresentou resultados bem conservadores, onde os valores para a recarga são uma a duas ordens de grandeza menores, sendo, portanto, bem inferiores aos demais métodos.

Por fim, a comparação entre os métodos para estimar a recarga natural de aquíferos indica que aqueles que derivam de dados hidrológicos ($Q_{7,10}$ ou outros) produzem estimativas mais confiáveis.

5. QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

5.1. Classificação das Águas Subterrâneas de Acordo com o Diagrama de Piper

Os diagramas de Piper, ou diagrama triangular, são ideais para representar simultaneamente cátions e ânions. A utilidade desses diagramas decorre da operacionalidade de representação de muitas análises em um mesmo gráfico, facilitando a visualização da classificação. Nesse tipo de representação, as águas são agrupadas por semelhança química e, desta forma, podem ser classificadas segundo sua posição no diagrama.

As concentrações de ions em meq/l são obtidas calculando a porcentagem em relação à soma de ânions e cátions, respectivamente. Em cada triângulo é colocado apenas três ânions e três cátions. Cada vértice corresponde a 100% de um ânion ou de um cátion.

A seguir são apresentadas a classificação das águas utilizando os diagramas de Piper para as análises químicas disponíveis nos processos de outorga no Inea, separados pelas Regiões Hidrográficas, visando facilitar o entendimento da hidroquímica das águas subterrâneas. Porém, não foi possível desenvolver o diagrama para as Regiões Hidrográficas I, VI e X devido à falta de análises corretas, quanto ao balanço de cargas, e por apresentar erro acima do aceitável, ou seja, acima de 5%. A figura 5.1.1 apresenta o diagrama de Piper para todas as análises químicas obtidas nos processos de outorga no Inea e validadas no presente estudo.

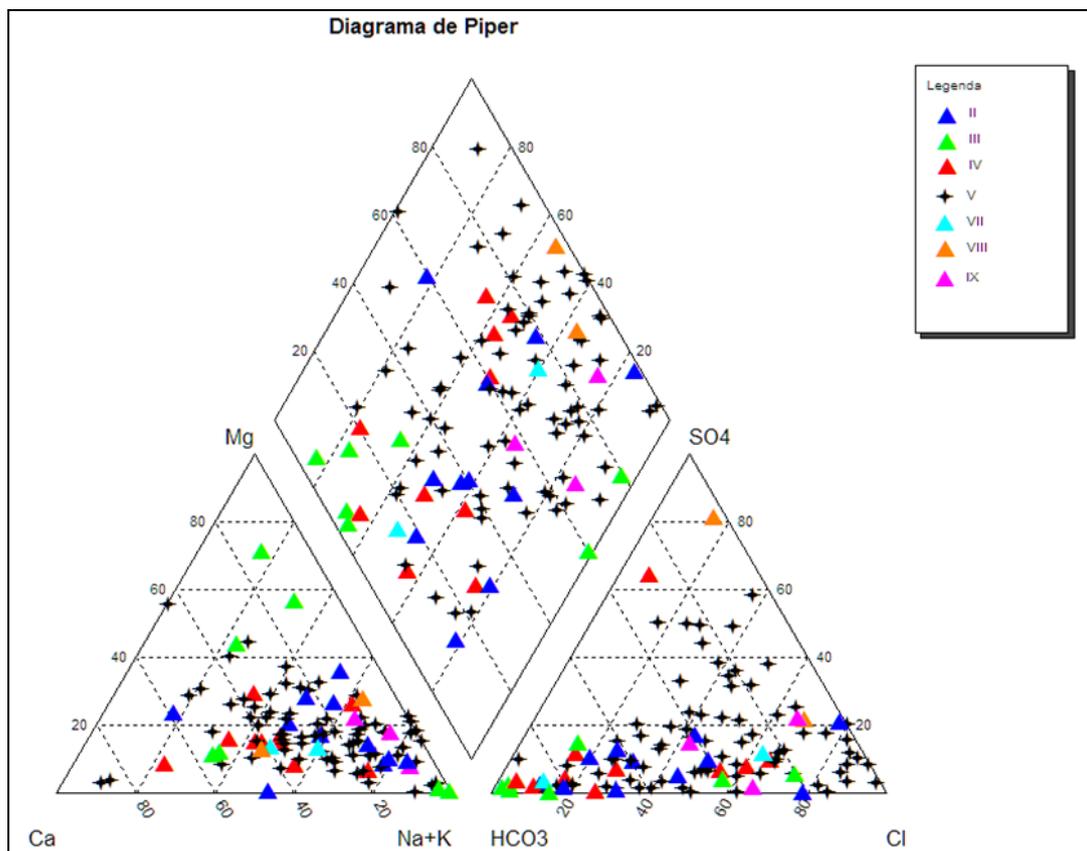


Figura 5.1.1 - Diagrama de Piper para as águas subterrâneas em todas as Regiões Hidrográficas

5.1.2. Diagramas de Piper – Região Hidrográfica II - Guandu

A figura 5.1.2.1 apresenta o diagrama de Piper para as águas subterrâneas obtidas em poços perfurados na Região Hidrográfica II.

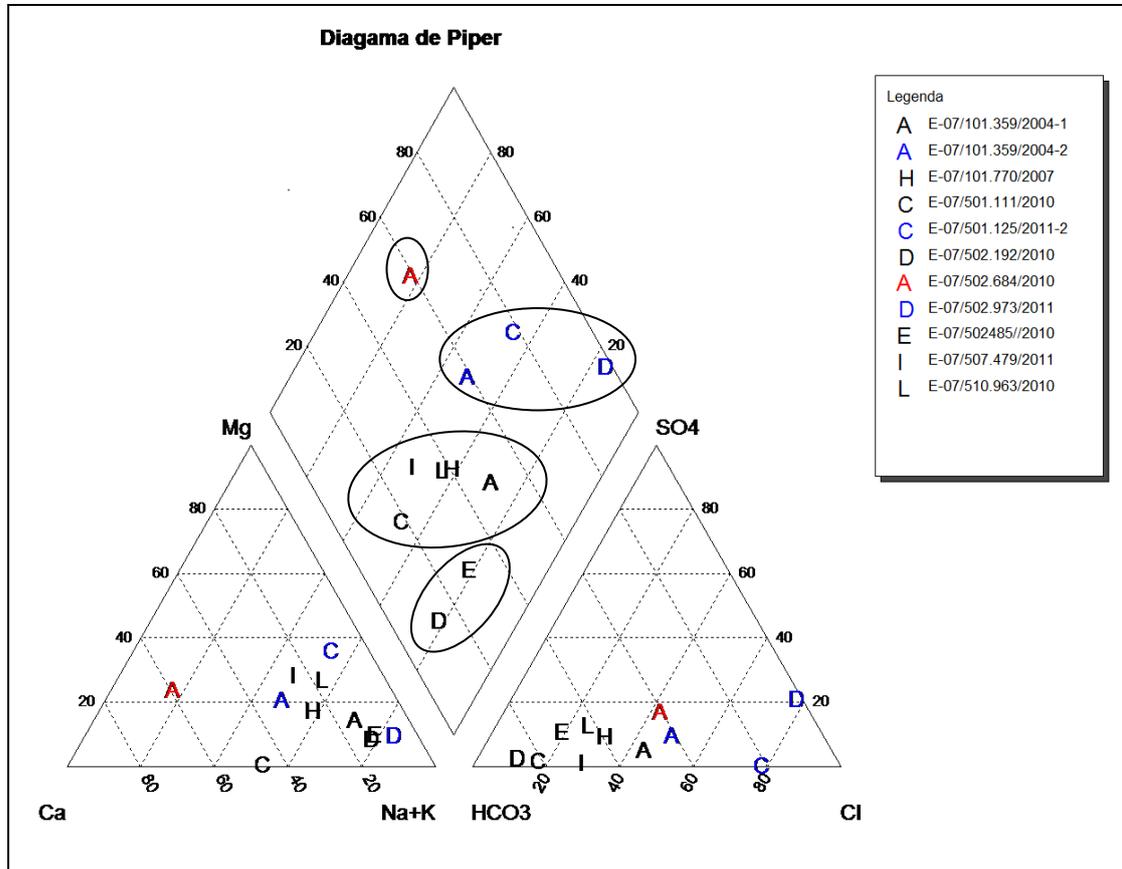


Figura 5.1.2.1 - Diagrama de Piper para a Região Hidrográfica II

As amostras referentes às águas da Região Hidrográfica II podem ser classificadas como bicarbonatadas sódicas e bicarbonatadas cálcicas, seguidas de águas cloretadas sódicas e/ou cálcicas e ainda sulfatadas cálcicas. Essas classificações reproduzem os diferentes ambientes geológicos na região. As bicarbonatadas cálcicas seriam típicas de terrenos cristalinos nas serras, enquanto as águas cloretadas, principalmente as sódicas, teriam origem em ambiente sedimentar e próximo ao litoral.

5.1.3. Diagramas de Piper – Região Hidrográfica III – Médio Paraíba do Sul

A figura 5.1.3.1 apresenta o diagrama de Piper para as águas subterrâneas obtidas em poços perfurados na Região Hidrográfica III - Médio Paraíba do Sul.

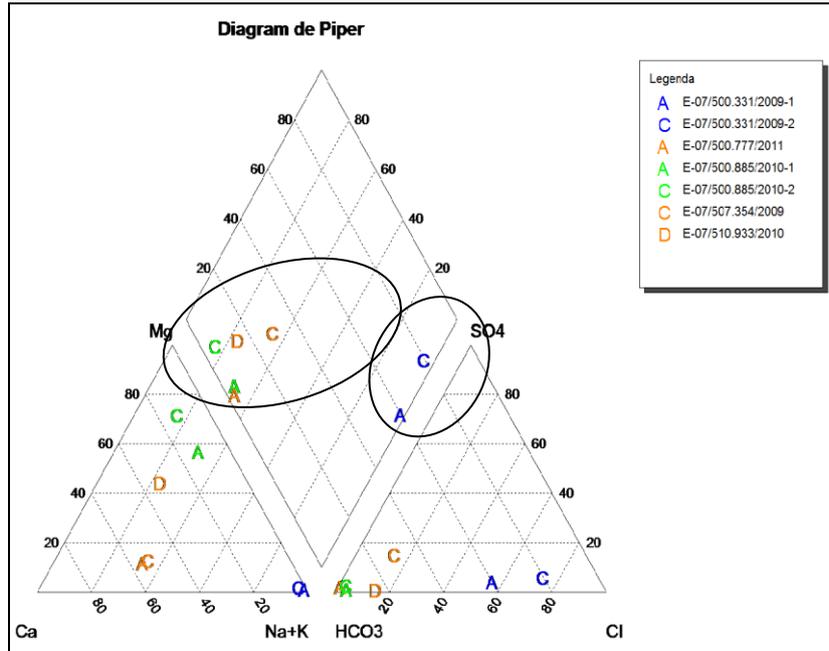


Figura 5.1.3.1 - Diagrama de Piper para a Região Hidrográfica III

Em relação às amostras identificadas no cadastro do Inea, é possível distinguir dois grupos distintos de amostras. O primeiro grupo apresenta águas de composição bicarbonatada magnésiana e bicarbonatadas cálcica. O segundo grupo pode ser classificado como águas de composição cloretada sódica. Em relação ao ambiente de circulação, ambas parecem derivar de aquífero cristalino em profundidades diferentes.

5.1.4. Diagrama de Piper Região Hidrográfica IV – Piabanha

A figura 5.1.4.1 apresenta o diagrama de Piper para as águas subterrâneas obtidas em poços perfurados na Região Hidrográfica IV - Piabanha.

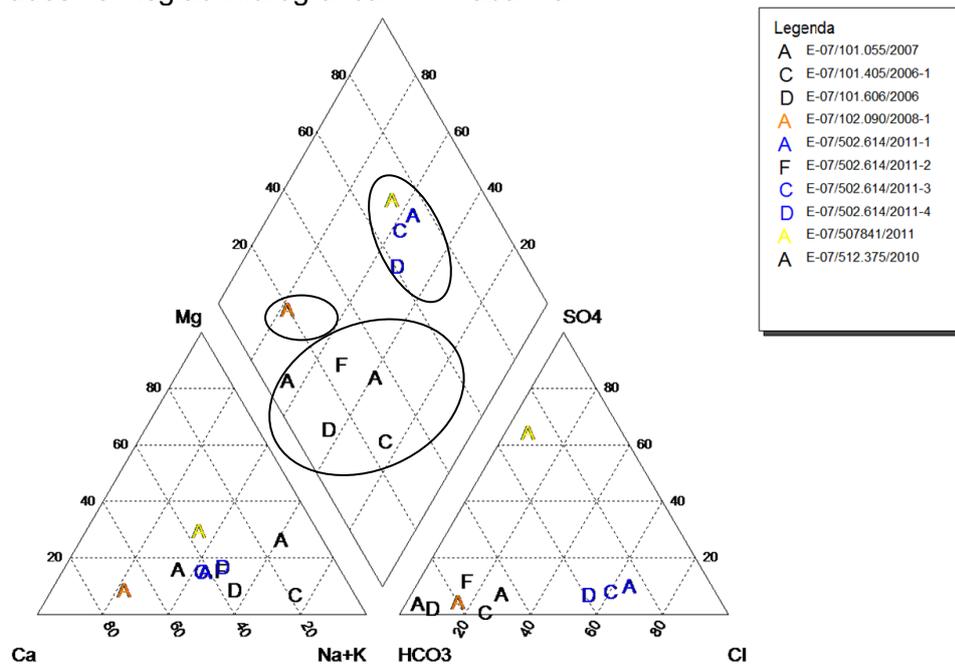


Figura 5.1.4.1 - Diagrama de Piper para a Região Hidrográfica IV

A Região Hidrográfica IV apresenta três grupos de amostras bem caracterizadas. São águas de origem cloretadas cálcicas (sódicas), bicarbonatadas sódicas (cálcicas) e sulfatada cálcica. A exceção de uma amostra, as demais foram obtidas no vale do rio Piabanha e, portanto, originadas em ambiente de rochas cristalinas e cristalinas alteradas. Devido à distância da Região Hidrográfica IV em relação ao litoral, as amostras classificadas como cloretadas podem ter sua origem em águas de circulação em fraturas de pouca profundidade.

5.1.5. Diagrama de Piper Região Hidrográfica V - Baía de Guanabara

A figura 5.1.5.1 apresenta o diagrama de Piper para as águas subterrâneas obtidas em poços perfurados na Região Hidrográfica V.

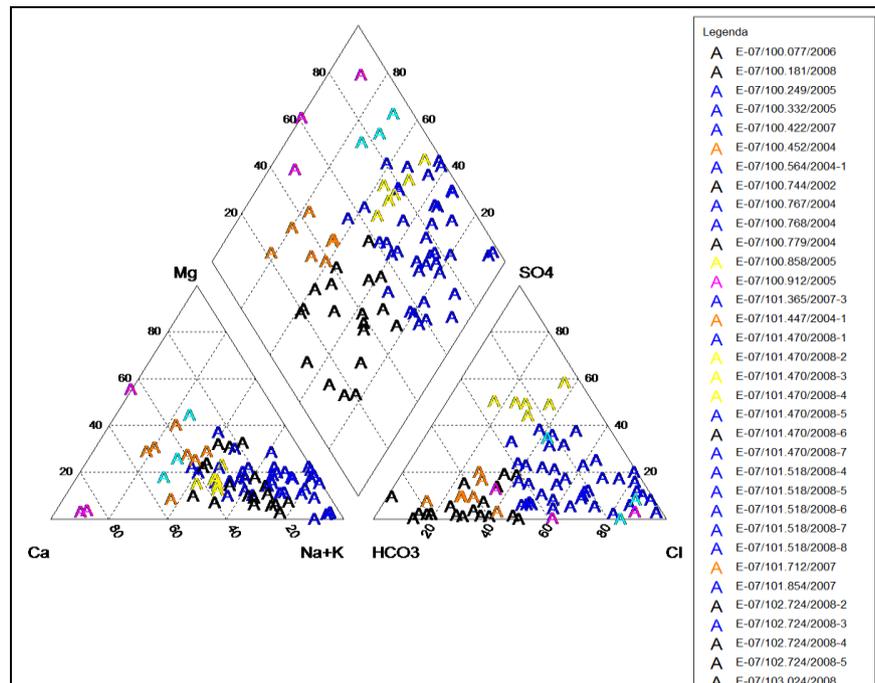


Figura 5.1.5.1 - Diagrama de Piper para a Região Hidrográfica V

A Região Hidrográfica V apresenta, em relação às demais, o maior número de poços perfurados e de informações sobre a hidroquímica das águas subterrâneas. A visualização do diagrama permite concluir a existência de intensa variação química, influenciada possivelmente por fatores ambientais e pela diversidade dos ambientes geológicos. A maior parte das águas é classificada como cloretada sódica e bicarbonatada sódica e, em menor proporção, águas bicarbonatadas cálcicas e sulfatadas cálcicas. Em termos litológicos as águas derivam de rochas cristalinas, cristalinas alteradas e em menor número de rochas básicas, carbonáticas e sedimentares.

5.1.6. Diagrama de Piper – Região Hidrográfica VII – Rio Dois Rios

A figura 5.1.6.1 apresenta o diagrama de Piper para as águas subterrâneas obtidas em poços perfurados na região hidrográfica VII.

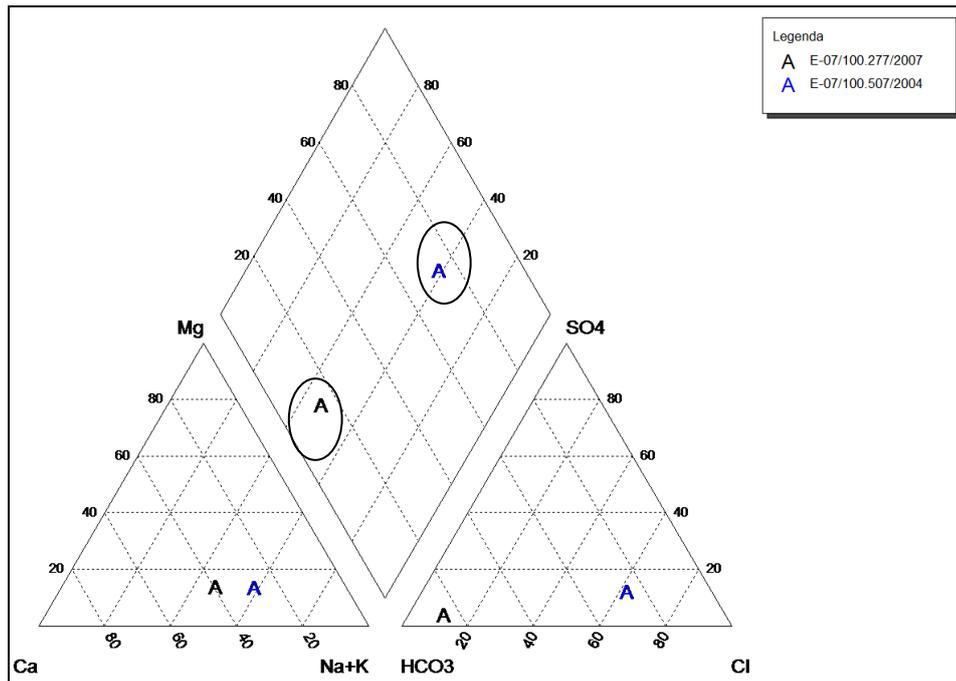


Figura 5.1.6.1 - Diagrama de Piper para a Região Hidrográfica VII

Considerando as duas análises existentes no cadastro do Inea, as águas em questão enquadram-se no grupo de águas cloretadas sódicas e bicarbonatadas cálcicas, originadas possivelmente da circulação em fraturas de rochas cristalinas.

5.1.7. Diagrama de Piper – Região Hidrográfica VIII – Macaé e das Ostras

A figura 5.1.7.1 apresenta o diagrama de Piper para as águas subterrâneas obtidas em poços perfurados na Região Hidrográfica VIII.

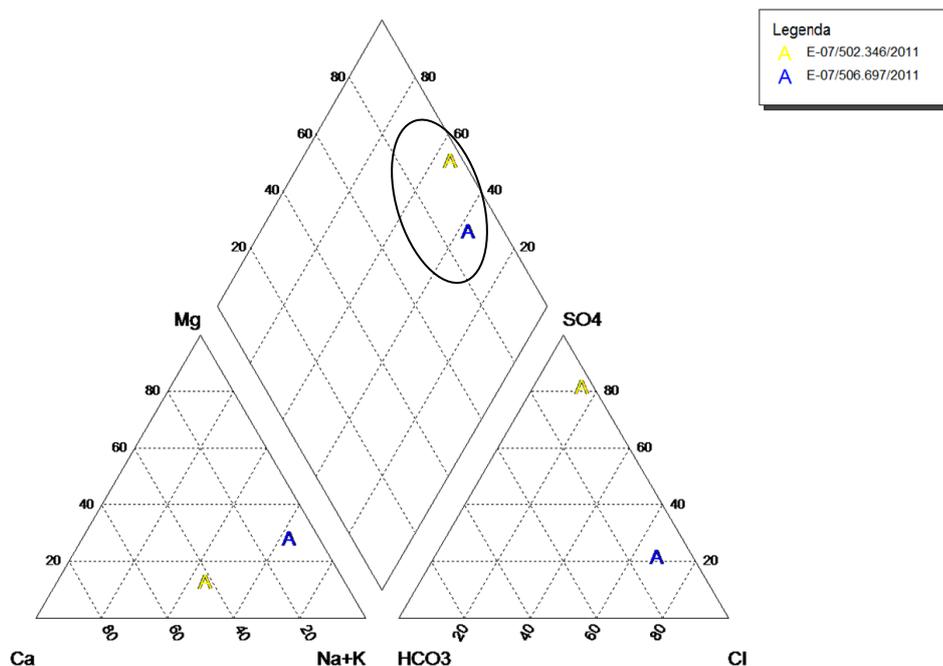


Figura 5.1.7.1 - Diagrama de Piper para a Região Hidrográfica VIII

As duas análises disponíveis nos processos de outorga do Inea permitem classificar as águas como cloretada sódica e sulfatada cálcica, possivelmente pela influência da proximidade da costa e/ou de ambientes sedimentares.

5.1.8. Diagramas de Piper – Região Hidrográfica IX – Baixo Paraíba do Sul

A figura 5.1.8.1 apresenta o diagrama de Piper para as águas subterrâneas obtidas em poços perfurados na região hidrográfica IX.

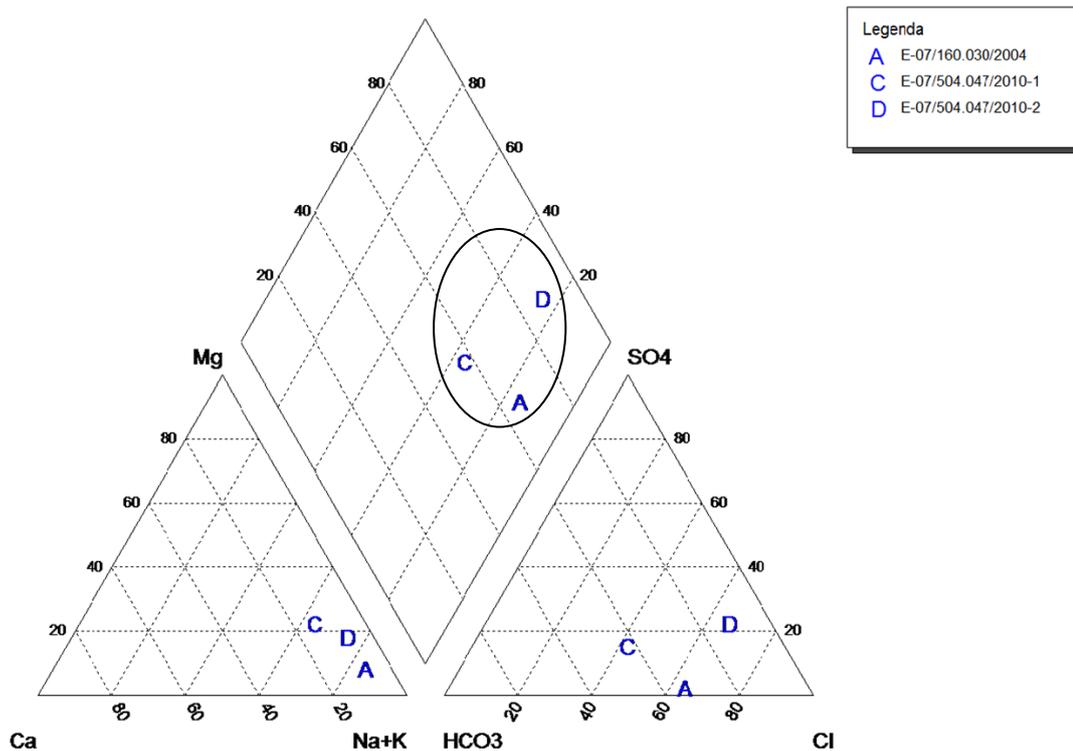


Figura 5.1.8.1 - Diagrama de Piper para a Região Hidrográfica IX

A despeito da importância dos aquíferos desta Região Hidrográfica, somente três análises disponíveis no Inea puderam ser validadas. Considerando as análises existentes no cadastro do Inea, as águas em questão podem ser classificadas como cloretadas sódicas e bicarbonatadas.

5.2. Restrições ao Uso das Águas Subterrâneas

No estado do Rio de Janeiro ainda não foram registradas restrições regionais ao uso dos aquíferos, quer pela quantidade ou qualidade e os casos de contaminações naturais ou antrópicas identificadas são pontuais e estatisticamente não causam impedimento ao uso das águas subterrâneas.

A partir do banco de dados desenvolvido no âmbito desse estudo e do prosseguimento da informatização dos dados hidrogeológicos pelo Inea será possível acompanhar a instalação de novos poços e a expansão da demanda nas Regiões Hidrográficas do estado. Merecem atenção às áreas não atendidas por sistemas públicos de abastecimento e as de maior crescimento econômico.

Qualquer aproveitamento de água subterrânea, a semelhança das águas superficiais, merece a atenção dos gestores, mesmo tratando-se de pequenos aquíferos.

Em três áreas do estado devem ser concedidas atenção especial visando prevenir a super exploração ou outro tipo de impacto ambiental aos aquíferos. A primeira consiste no Aquífero Multicamadas da Bacia de Resende. A utilização desse aquífero tem aumentando devido ao crescimento industrial e populacional nos últimos anos. Estudos de avaliação dos efeitos da exploração das águas subterrâneas devem ser realizados, conforme já apontava os estudos realizados por CASTRO et al (2002).

Na região da Baía da Guanabara, observa-se o crescimento recente das perfurações de poços na área do Aquífero Macacu, devido ao aumento populacional provocado pela instalação do complexo petroquímico do Comperj, associado ao déficit crônico de água tratada na região.

Esses dois aquíferos (Resende e Macacu) em função das suas características geológicas devem ser estudados e monitorados, inclusive devido ao risco de subsidência dos terrenos.

A Bacia de Campos, em função do potencial hídrico das suas unidades aquíferas e da expansão das atividades econômicas para o Norte Fluminense, merece um enfoque especial, inclusive contemplando o desenvolvimento de um programa de estudos específico para a gestão dos aquíferos.

O “Aquífero Piranema”, mesmo apresentando dimensões reduzidas, em função da sua posição estratégica, em região de intenso crescimento econômico, deve ser melhor avaliado, pois a atividade exploratória de areia vem causando nas últimas décadas intensa degradação ambiental. Recentemente um grande aterro sanitário foi instalado em áreas de recargas do aquífero e, por conseguinte, devem ser investigados se há riscos de contaminação desse manancial.

Quanto aos aquíferos costeiros, deve ser investigada a possibilidade de interferências relacionadas à intrusão salina. A intrusão salina ocorre quando a cunha de água salgada do mar avança e se mistura com as águas doces do aquífero, fenômeno geralmente intensificado pela exploração dos aquíferos litorâneos CRUZ (2006). Estudos relatam que os aquíferos da região litorânea do estado do Rio de Janeiro vêm sendo afetados pela intrusão marinha, devido ao longo período de exploração dessas águas, geralmente localizadas em reservatórios pequenos e vulneráveis (SILVA JUNIOR et al, 2000).

Em relação à qualidade das águas subterrâneas, não há registros de restrições regionais que inviabilizem, de forma permanente, os aquíferos do estado. As informações existentes sobre a contaminação são, em geral, de caráter pontual, descritas para sistemas pouco profundos e na maior parte dos casos ligados a contaminações por bactérias, nitrato e eventualmente pesticidas e metais pesados. Além dessas contaminações são conhecidas algumas concentrações elevadas, possivelmente de origem natural, de Al, Ba, Zn, Se e F.

De acordo com GODOY (2000) e PINTO *et al* (2006) as amostras de maior mineralização são encontradas na região costeira do estado, como Cabo Frio e Maricá, cuja composição química, com elevados teores de sódio, magnésio, cloreto e sulfato denota intrusão de água do mar. Esses teores também são encontrados na chamada Faixa Paraíba, situada no norte do estado, onde, tradicionalmente, são encontradas águas alcalino-terrosas de elevada mineralização.

Ainda segundo GODOY, *op cit*, foi encontrado uma amostra com concentração de mercúrio, $2,2 \times 10^{-3}$ mg.L-1, acima do permissível, qualquer que seja a regulamentação adotada.

A ocorrência de águas com leve teor de radioatividade é comum, principalmente em águas minerais e geralmente são classificadas como radioativas na fonte, sendo encontradas em Nova Friburgo, Teresópolis, Carmo, Levi Gasparian, Sapucaia e Duque de Caxias.

No entanto, estudos realizados ao norte do estado, detectaram a ocorrência anômala dos isótopos radioativos de rádio, Ra-228 e Ra-226, em águas subterrâneas da região de Buena. Segundo LAURIA e GODOY (2000), a origem das elevadas concentrações de Ra estaria relacionada à lixiviação da monazita, induzida pela alta salinidade (14‰) e baixo pH (3,7) da água.

A partir dos dados cadastrais de poços e das informações bibliográficas foram identificadas concentrações acima dos valores permitidos pela legislação para os seguintes elementos: Amônia, Nitrato, Flúor, Alumínio, Cromo, Cádmio, Bário, Chumbo, Selênio, Arsênio.

Embora no cadastro de poços não se tenha identificado a presença de elementos orgânicos voláteis, é notória a existência de diversos sítios contaminados por esses compostos, principalmente relacionados a postos de gasolina e a áreas industriais.

Não obstante a falta de informações relacionadas a contaminações de origem bacteriológicas existentes no acervo consultado do Inea é notória a ocorrência dessas contaminações devido a múltiplas causas, naturais e/ou antrópicas, geralmente em captações caseira, por conta da deficiência técnica construtiva dos poços rasos.

Na análise do cadastro do Inea foram identificados diversos locais que apresentavam algum tipo de contaminação. A tabela 5.2.1 apresenta uma relação de elementos e os locais de acordo com o número do processo no Inea com valores acima da Portaria 2914 da ANVISA-MS.

Tabela 5.2.1 - Concentrações acima dos valores de referência em relação à Portaria 2914 ANVISA-MS

Elemento	Concentrações (mg/l)	Limite Portaria 2914 MS	Número do Processo no Inea	Região Hidrográfica
Amônia	95	-----	E-07/102.926/2008	II
Bário	0,960 0,800	0,700	E-07/500.472/2009 E-07/101.470/2008	V
Cádmio	0,051	0,005	E-07/101.518/2008	V
Chumbo	0,190 0,045	0,010	E-07/500.184/2010 E-07/507841/2011	II
Cromo	1,190 0,190	0,050	E-07/100.193/2004	V
Flúor	3,200	1,500	E-07/502485//2010	II
	2,140		E-07/100.621/2008	III
	3,980		E-07/101.518/2008	V
	2,300		E-07/101.696/2002	V
	14,600		E-07/505.438/2009	IX
Nitrato (N)	50	10	E-07/102.926/2008	IV

6. CONCLUSÃO

O estudo apresentou um panorama das águas subterrâneas no estado do Rio de Janeiro, evidenciando o nível incipiente de informações a respeito desses recursos hídricos, principalmente quando comparado ao conhecimento das águas subterrâneas em outros estados da União.

É clara a necessidade de estudos específicos de âmbito local e regional, pois, mesmo considerando as limitações naturais dos aquíferos do estado, as águas subterrâneas por certo terão uma função importante e estratégica no desenvolvimento de várias regiões do estado.

Deve ser enfatizado que o esforço de compilação dos dados para o formato digital, antes armazenados em papel, e sua espacialização, possibilitou a sistematização de dados antes desconhecidos ou dispersos em relatórios técnicos ou nos processos de outorga armazenados no Inea. Portanto, a migração dessa base, agora em meio digital, para um futuro sistema de informação, trará, seguramente, uma melhora na eficiência da gestão dos recursos hídricos do estado do Rio de Janeiro.

A partir do desenvolvimento do cadastro dos poços foi também possível elaborar a primeira avaliação da demanda de água subterrânea no âmbito regional, para todo o estado. Certamente esses números serão ampliados e corrigidos com o desenvolvimento de estudos específicos e com a continuidade do cadastramento das informações processuais pelo Inea.

Igualmente é inédito o cálculo e a inserção das águas subterrâneas captadas através de poços caseiros, demonstrando a importância desses números, quando avaliados em conjunto. O estudo demonstrou como os volumes são significativos e quando comparado aos captados através de poços tubulares profundos.

Destaca-se, também, a necessidade de inserir essa modalidade de captação no sistema formal de gestão dos recursos hídricos, especialmente em áreas com forte atividade irrigante ou ausência de abastecimento convencional.

A síntese das informações dos aquíferos do estado do Rio de Janeiro aponta para a necessidade de incrementar estudos do aquífero cristalino, quer por sua distribuição espacial e complexidade geológica, quer por sua importância em áreas de intenso desenvolvimento econômico, tais como as Regiões Hidrográficas II, III e V.

Os aquíferos das bacias sedimentares, notadamente Campos e Resende, são os mais importantes e estratégicos do Estado, oferecendo vazões significativas e águas de boa qualidade. No entanto, a bacia de Resende (junto com o aquífero Macacu), merece especial atenção por conta da quantidade de poços perfurados e dos efeitos nocivos que poderão acontecer relacionados à super exploração das águas subterrâneas.

De acordo com a disponibilidade instalada pode-se conjecturar que há condições para a ampliação da exploração das águas subterrâneas na maioria das Regiões Hidrográficas, a exceção de algumas áreas da Região Hidrográfica V e na parte litorânea da Região Hidrográfica VI. Esta última devido ao baixo potencial e o risco de salinização do aquífero.

Em relação a recarga natural dos aquíferos os resultados a partir das vazões hidrológicas de $Q_{7,10}$ demonstraram que este método é o mais apropriado dentre os indiretos utilizados para a estimativa da recarga de aquífero, sendo, portanto, o mais confiável para a proposta de uma estimativa regional, em face de sua base conceitual.

Ainda assim, convém ressaltar que esses resultados devem ser utilizados com certa reserva, pois devido a complexidade geológica do estado do Rio de Janeiro, onde há a predominância de rochas cristalinas, reconhecidamente de elevada anisotropia, faz com que as vazões de $Q_{7,10}$ não reflitam de forma homogênea o aporte de água subterrânea para uma determinada bacia.

Por conta desta argumentação, o estudo ora apresentado, deve ser considerado como um simples indicativo do potencial de recarga dos aquíferos do estado do Rio de Janeiro, portanto, longe de ser a realidade da recarga natural e da produtividade dos aquíferos.

A consulta ao banco de dados desenvolvido identificou poucas restrições à utilização das águas subterrâneas relacionadas à qualidade natural das águas, destacando-se somente algumas ocorrências de flúor, chumbo e cromo. No entanto, é notória a contaminação por bactérias, nitrato entre outras substâncias, embora de consequências localizadas, sem inviabilizar a utilização dos aquíferos. É importante destacar também a ocorrência de selênio e elementos radiativos no norte do estado, bem como uma informação pontual da presença de mercúrio.

Embora o cadastro de poços não registre presença de elementos orgânicos voláteis e de pesticidas, é patente a existência de diversos sítios contaminados por esses compostos, principalmente relacionados a postos de gasolina, áreas industriais e regiões com atividade agrícola.

7. BIBLIOGRAFIA

AGÊNCIA BRASIL: Consumo de Água por Habitante no Brasil é Estável. Disponível em www.agenciabrasil.ebc.com.br/noticia.

ALMEIDA, R.M.R. NETO, M.I. N., TUBBS, D. (2010). Planejamento Estratégico da Região Hidrográfica dos Rios Guapi-Macacu e Caceribu – Macacu. UFF/FEC, 544p.

ALMEIDA, R.M.R.; TUBBS, D. 2010. Avaliação da Disponibilidade Hídrica Subterrânea da Bacia do Rio Macacu Utilizando o Histórico de Vazões da Estação 59235000-Macacu. XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. São Luis do Maranhão. 2010.

BARBOSA, C.F.; 2005. Hidrogeoquímica e a Contaminação por Nitrato em Águas Subterrâneas no bairro da Piranema – RJ. 101. Dissertação (Mestre em Geociências). Instituto de Geociências. Universidade Estadual de Campinas. 2005.

BEATRIZ, C. B., MONSORES, A. L. M., LEAL, A. S., PIMENTAL, J. Hidrogeologia do estado do Rio de Janeiro - Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. Ministério das Minas e Energia/Secretaria de Minas e Metalurgia/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Projeto Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: CPRM: Embrapa Solos; (2000).

CASTANY, G. 1971. Tratado Practico de las Aguas Subterraneas. Ed. Omega,

CAETANO, L. C. 2000. Água Subterrânea em Campos dos Goytacazes – RJ: uma opção para o abastecimento. 112p. Dissertação (Mestrado em Geociências). Programa de Pós-Graduação em Administração e Política em Recursos Minerais. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências - Campinas, SP.

CAPUCCI, E. B. 2003. Água Subterrânea na Baixada Campista. I Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste. Petrópolis, RJ. Anais. ABAS.

CAPUCCI, E., MARTINS, A., MANSUR, K.L., MONSORES, A. L. M. Poços Tubulares e Outras Captações de Águas Subterrâneas – Orientação aos Usuários. Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMADS); Secretaria de Energia, da Indústria e do Petróleo estados do Rio de Janeiro. Departamento de Recursos Minerais, DRM. Projeto Planágua – SEMADS- GTZ. 2001.

CASTRO, F. G. de. Caracterização hidrogeológica e hidrogeoquímica da bacia sedimentar de Resende - RJ. Rio de Janeiro, 2002. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CONSÓRCIO ECOLOGUS – AGRAR. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica da Baía da Guanabara, 2005.

COSTA, W.D. 1998. Avaliação de Reservas, Potencialidade e Disponibilidade de Aquíferos. X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. São Paulo. 1998.

CRUZ, A.. Estudo de Processos de Salinização de Aquíferos no Litoral Leste do estado do Rio de Janeiro: Modelagem Hidrogeoquímica e Avaliação de Vulnerabilidade à Intrusão Marinha. (2006). Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências - Universidade Federal do Rio de Janeiro – Setor de Geologia e Engenharia Ambiental

CUSTODIO, E.; Evaluación de la recarga por la lluvia mediante métodos ambientales químicos, isotópicos y térmicos. En: La evaluación de la recarga a los acuíferos en la planificación hidrológica. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid. 1997. p. 83–108.

ENGENPLUS ENGENHARIA CONSULTORIA LTADA E ÁGUA E SOLO. Elaboração do Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Macaé / Ostras – PRH – Macaé/Ostras. Relatório do Diagnóstico das Disponibilidades Hídricas da Região Hidrográfica Macaé e Das Ostras – RD – 04, Versão Final, Dezembro de 2012.

ERTHAL, F. e MANSUR, K.L. (2003). DRM – Poços Cadastrados já são 3.500. Revista ABAS – RJ. Ano I, nº01 Ago/SET 2003.

FEITOSA, E.C.; FILHO, J.M., COSTA, W.D., FEITOSA, F.A.C., DEMÉTRIO, J.G.A.D., FRANÇA, H.P.M. (2008). Hidrogeologia, Conceitos e Aplicações, cap. 7.1.3 ed ver. E ampl - Rio de Janeiro: CPRM: LABHID. 2008.

FUNDAÇÃO CEPERJ, Sistema de abastecimento de água, segundo as Regiões de Governo, municípios e localidades estado do Rio de Janeiro. 2008. Disponível em <http://www.fesp.rj.gov.br/>. Acesso em: 13 de junho de 2012 às 16 horas.

CASTANY, G. Prospección y Explotación de las aguas subterráneas. Barcelona, Omega, 1975. 738 p.

GODOY, J. M. Características Químicas e Físico - Químicas de Águas Subterrâneas do estado do Rio de Janeiro. 1st Joint World Congresso on Groundwater. 2000. Fortaleza, Ce.

GOES, M. H. B. (1994) Diagnóstico ambiental por geoprocessamento do município de Itaguaí/RJ. Rio Claro/SP, UNESP (Tese de doutorado), 529p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Características da população e dos domicílios. Censo 2010. Disponível em: www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/

LAURIA, D. C.; GODOY, J. M. Origem e Transporte de Rádio nas Águas Subterrâneas de Buena, RJ. 1st Joint World Congresso n Groundwater. 2000. Fortaleza, Ce.

Kumar, C.P. Groundwater Assessment Methodology Disponível em: www.sys.virginia.edu/research/environment/albemarlegroundwater/Resources/GWA.pdf

LOPES, M.F.C. 1994. Condições de Ocorrência de Água Subterrânea nas Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari. Dissertação de Mestrado. Campinas: Fac. Engenharia Civil, UNICAMP. 83p

MANSUR, K.L, MARTINS, A., 2003. O Caso das Águas Subterrâneas no Estado do Rio de Janeiro. I Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste. Petrópolis, RJ. Anais, pg. 109-112, ABAS.

MARTINS, A. M., CAPUCCI, E., CETANO, L. C., CARDOSO, G.; BARRETO, MONSORES A. B. C. A. L. M., Leal, A. S; Viana, P. XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Curitiba. 2006.

MENTE, A. A Água Subterrânea no Brasil. Hidrogeologia, Conceitos e Aplicações, cap.1.3.3ed ver. E ampl- Rio de Janeiro: CPRM: LABHID. 2008.

MONSORES, A. L. M., NUMMER, A. R., TUBBS, D. Estudos Hidrogeológicos dos Aquíferos Intergranulares a Oeste do Rio Guandu, Município de Seropédica/RJ. 2003. ELETROBOLT, Relatório de Consultoria Técnica, 2003. 234 p.

OLTÁVARO, M;V; Métodos para determinar la recarga en acuíferos. Disponível em: www.bdigital.unal.edu.co/4442/1/EA3760.pdf

PEREIRA.Y.S. KILMELMANN A.A.2004. Availability and Consumption of Groundwater Resources in the Campinas Region, SP, Brazil. TERRAE, v1, nº 1.

PINTO, B. V.; GODOY, J.M.; ALMEIDA, M.C. Características Químicas e Físico - Químicas de Águas Subterrâneas do estado do Rio de Janeiro. 2006. XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e a Feira Nacional de Água Curitiba/PR

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DE SÃO PAULO. Mata Ciliar – Preservação das Nascentes de Água e Vida. 2009.35p.

SECRETARIA DE MINAS E ENERGIA DE SÃO PAULO. Manual de Gerenciamento para Controladores do Consumo de Água: SABESP – Secretaria de Minas e Energia – São Paulo.100pg.Disponível em www.sabesp.com.br/uploads/file/asabesp_doctos/Manual%20do%20controlador.pdf

SILVA JÚNIOR, G. C.; LOWSBY, M.G; ALVES, M. G., FERRUCIO, P.L.; MONTEIRO, C. A., ALMEIDA, R. R. A Problemática da Intrusão Marinha nos Aquíferos Costeiros do Leste Fluminense: Um Estudo de Caso – A Região Oceânica de Niterói. 1st Joint World Congress on Groundwater. 2000. Fortaleza, Ce.

SONDOTÉCNICA. Plano Estratégico de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu Mirim. 2006

RISSER, D. W.; WILLIAN, J. G.; GORDON, 2005. Comparison of Methods for Estimating Ground-Water Recharge and Base Flow at a Small Watershed Underlain by Fractured Bedrock in the Eastern United States. Service Scientific Investigations Report 2005-5038U. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia: EUA.

T.JANER (1994). Água Subterrânea: Fonte de Abastecimento Econômica e Segura.

TUBBS, D. Ocorrência das Águas Subterrâneas – “Aquífero Piranema” – Município de Seropédica, área da Universidade Rural e Arredores, estado do Rio de Janeiro. FAPERJ. Relatório Final de Pesquisa, 1999 – 123 p.

TUBBS, D., RAPOSO, R. M., ROSA, F. A. Hidrogeologia do “Aquífero Tamoios”, Município de Cabo Frio, estado do Rio de Janeiro. XVII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2012. Bonito, MT.

TUBBS FILHO, D. A Recarga Artificial no Distrito Areeiro da Piranema, Conseqüências Ambientais e Implicações para o Gerenciamento dos Recursos Hídricos na Bacia do Rio Guandu, Estado do Rio de Janeiro. Qualificação de Tese de Doutorado Instituto de Geociência - DGRN –UNICAMP. Dezembro de 2005.

USDA. U.S. Department of Agriculture Agricultural Research Service. Comparing Ground-Water Recharge Estimates Using Advanced Monitoring Techniques and Models. U.S. Nuclear Regulatory Commission Office of Nuclear Regulatory Research Washington, DC 20555-0001. 2003. 57p.

WAHNFRIED, I.; HIRATA, R.; 2005. Comparação dos Métodos de Estimativa de Recarga de Aquíferos em uma Planície Aluvionar na Bacia Hidrográfica do Alto Tiete (São Paulo). In: ABRH – Revista Brasileira dos Recursos Hídricos. 15 – 25 p.

PROJETO RIO DE JANEIRO

MAPA DE FAVORABILIDADE HIDROGEOLÓGICA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

ESCALA 1:500.000
2000

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
MINISTRO
Rodolpho Tourinho Neto

SECRETARIA DE MINAS E METALURGIA
SECRETÁRIO
Luciano de Freitas Borges

Serviço Geológico do Brasil - CPRM
Presidente
Umberto Raimundo Costa

Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial
Diretor
Thales de Queiroz Sampaio

Diretoria de Relações Institucionais e Desenvolvimento
Diretor
Paulo Antônio Carneiro Dias

CARACTERIZAÇÃO DOS AQUIFÉROS SEDIMENTARES

	Aquífero Flúvio - Deltaico: Areias e arenitos, finos a médios com matriz silteosa e bandas argilosas. Aquíferos livres, com espessuras variando de 60 a 90m, sobrepostos ao embasamento cristalino e sedimentos mais antigos. Constitui um dos melhores aquíferos do Estado do Rio de Janeiro. Permeabilidade 91,0m/dia, transmissividade média 8200m ² /dia, capacidade específica média 90m ³ /m. Águas de boa qualidade, ocasionalmente ferruginosas. TDS até 300mg/l.
	Aquífero Emboré: Arenitos concêntricos variados, com feldspato, argilões impuros e argilas orgânicas. Totalmente coberto por sedimentos quaternários. Aquíferos confinados com espessuras de até 220m, sobre sedimentos mais antigos. Permeabilidade 0,86m/dia, transmissividade média 190m ² /dia, e capacidade específica média 3,50m ³ /m. Águas de boa qualidade. TDS até 300mg/l.
	Aquífero São Tomé II: Arenitos avermelhados, lateríticos com argilas cálcicas, sobre arenitos consolidados argilosos. Totalmente recobertos por sedimentos quaternários. Aquíferos confinados, com espessuras de pelo menos 230m, sobrepostos ao embasamento cristalino e sedimentos mais antigos. Fortemente afetado por falhas normais. Permeabilidade 1,40m/dia, transmissividade média 110m ² /dia, e capacidade específica média 2,35m ³ /m. Ocorrem águas ferruginosas. TDS entre 200 e 600mg/l.
	Aquífero São Tomé I: Arenitos avermelhados, lateríticos com argilas cálcicas, sobre arenitos consolidados argilosos. Totalmente recobertos por sedimentos quaternários. Aquíferos confinados, com espessuras de até 160m, sobrepostos ao embasamento cristalino. Fortemente afetado por falhas normais. Permeabilidade 1,50m/dia, transmissividade média 100m ² /dia, e capacidade específica média 0,50m ³ /m. Podem ocorrer águas ferruginosas. TDS entre 500 e 1800mg/l.
	Aquífero Multi-camadas Resende: Sedimentos heterogêneos, forte intercalação de pelitos com sedimentos arenosos, com extensão lateral restrita. Aquíferos confinados a semi-confinados, espessuras variando até 270m, fortemente afetado por falhas normais e fraturas. Formação Açaiças/Floriano; permeabilidade 3,5m/dia, Formação Resende: permeabilidade 1,0m/dia, Fm Itatiaia: permeabilidade de 0,27m/dia, capacidade específica média 0,559 m ³ /m. Águas podem ser ferruginosas, até 4,2mg/l. TDS de 90 a 400mg/l.
	Aquífero Terciário Volta Redonda: Areias e argilas, fortemente intercaladas, com presença de lateritas, sobrepostas ao embasamento cristalino. Aquíferos livres a semi-confinados, com espessuras entre 10 e 30m, baixa produtividade, menor que 1m ³ /h. Pode ocorrer presença de ferro nas águas.
	Aquífero Barraes: Argilas lateríticas, e areias com óxido de ferro, sobrepostas ao embasamento cristalino. Aquíferos livres, pouco produtivos, vazões máximas na ordem de 2m ³ /h e capacidade específica média de 0,33m ³ /m. Águas normalmente ferruginosas.
	Aquífero Macacu: Argilas arenosas, areias finas e siltes variados, com intensa intercalação, sobreposto ao embasamento cristalino. Aquíferos livres a semi-confinados, com espessuras de pelo menos 40m, pouco produtivos. Vazões máximas na ordem de 1,5m ³ /h e capacidade específica média de 0,08m ³ /m.
	Aquíferos Alúvio-Lacustres: Areias e argilas intercaladas com matéria orgânica, intensa variação composicional. Aquíferos livres, sobrepostos tanto ao embasamento cristalino quanto a sedimentos mais antigos. Espessuras em torno de 20m, com importância hidrogeológica local. Podem atingir localmente espessuras da ordem de 100m, como nos alúvios dos rios Macacu, Guandu, Guapiraçu, Macaé e Iguaçu tendo um maior potencial, vazões superiores a 10m ³ /h. Água normalmente de boa qualidade a levemente ferruginosa.
	Aquíferos Cortêes, Restingas e Terraços Litorâneos: Areias razoavelmente selecionadas, com matriz silteosa e argilosa, granulometria fina a grossa. Aquíferos livres, raras e normalmente salinizadas. Aproveitamento restrito.
	Argilas Orgânicas Costeiras: Sedimentos argilosos ricos em matéria orgânica, restritos a ambientes de manguezais. Águas salinas com altos teores de ferro e cloretos, sem condições para utilização da água subterrânea.

MODELAGEM DA FAVORABILIDADE DO SISTEMA AQUIFERO FISSURAL

FAVORABILIDADE	VAZÕES ESTIMADAS	RELEVO	SOLOS
	Vazões maiores que 5m ³ /h. Podem atingir valores da ordem de 60m ³ /h em alguns locais.	Rebaixado com ondulações suaves. Planícies aluviais.	Geralmente espessos e muito permeáveis.
	Vazões variando entre 1 e 5m ³ /h.	Moderadamente ondulado (faldegas nas áreas serranas).	Localmente espessos e de permeabilidade média a elevada.
	Vazões menores que 1m ³ /h.	Fortemente ondulado (Encostas).	Pouco espessos. Localmente ausentes.
		Escarpas.	Pouco espessos. Normalmente ausentes.

FAIXA DE VAZÃO DOS POÇOS	DISPOSIÇÃO DOS ELEMENTOS
	1 - Nº de ordens
	2 - Aquífero: F = Fraturado M = Misto S = Sedimento
	3 - Profundidade (m)
	4 - Nivel estático/nível dinâmico (m)
	5 - Vazão (m³/h)
	6 - Resíduo seco (mg/l)

Autores:
Ana Beatriz da Cunha Barreto
André Luiz Mussel Monsoreo
Antônio de Souza Leal
Jorge Pimentel

Colaboradores:
Ricardo Moacyr Vasconcelos
Patrícia Durigan Jacques
Egmont Bastos Capucci

Coordenação:
Cássio Roberto da Silva
Antonio Inácio de Menezes Medina

O Projeto Rio de Janeiro consiste em estudos multitemáticos de meio físico realizados através do Programa Informações para Gestão Territorial - GATE, da Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial do Serviço Geológico do Brasil - CPRM, em parceria com a EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, DRM-RJ - Departamento de Recursos Minerais, CIE - Centro de Informações e Dados do Rio de Janeiro, SERLA - Superintendência Estadual de Rios e Lagos, CEDAE - Companhia Estadual de Águas e Esgotos, EMOP - Empresa de Obras Públicas do Estado do Rio de Janeiro, PUC-RJ - Pontifícia Universidade Católica, UFF - Universidade Federal Fluminense, UERJ - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UFRJ - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, RESUB - Rede de Geotecnologias em Águas Subterrâneas e INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Os estudos foram integrados e representados no Mapa Geomaterial, produto básico para o desenvolvimento sustentável do Estado do Rio de Janeiro.

Geoprocessamento:
Divisão de Geoprocessamento - DIGEOP / Departamento de Informações Institucionais - DEINF
Chefe da DIGEOP: Paulo Cesar de Azevedo Branco
Digitalização do Tema: Vanilton Silva Badaró, Pablo Rodrigo Ferreira Romeiro, Carlos Alberto Santos
Digitalização da Hipsometria: Fábio Braga Nunes Coelho e Marco Aurélio de Almeida Lima

Edição Cartográfica:
Divisão de Cartografia - DICART / Departamento de Apoio Técnico - DEPAT
Chefe da DICART: Paulo Roberto Macado Bastos
Edição: Wilhelm Petter de Freire Bernard e Maria Luíza Pouchinho, Valter Avarenga Barradas e Leila Maria R. Alcântara.

MAPA DE LOCALIZAÇÃO



Base cartográfica simplificada obtida a partir da integração das folhas do IBGE, escala 1:250.000.
Projeção Cônica Conforme de Lambert

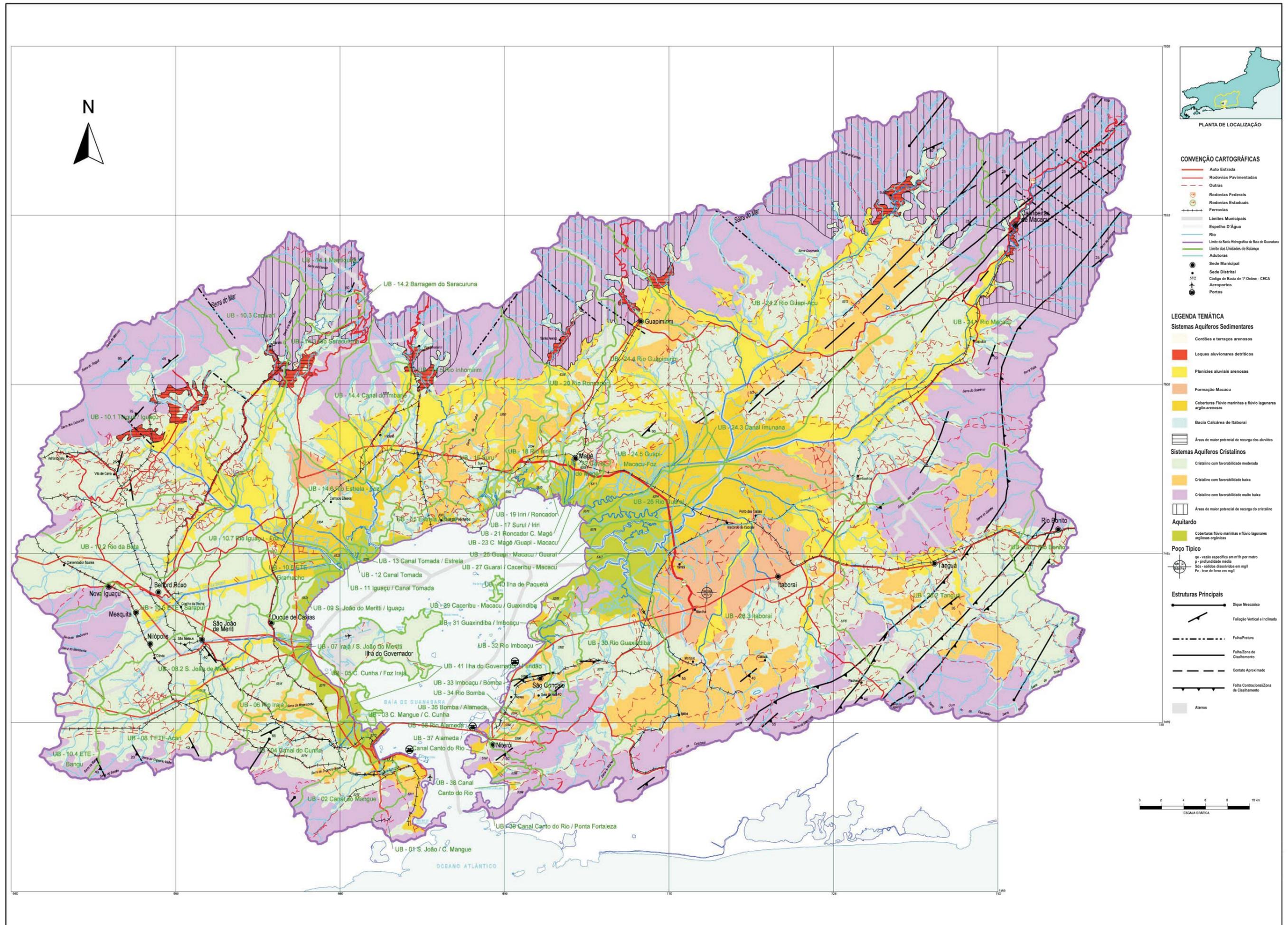


Figura 3.2.4.1 - Aquíferos no em torno da Baía da Guanabara (Fonte: CONSÓRCIO ECOLOGUS – AGRAR, 2005)

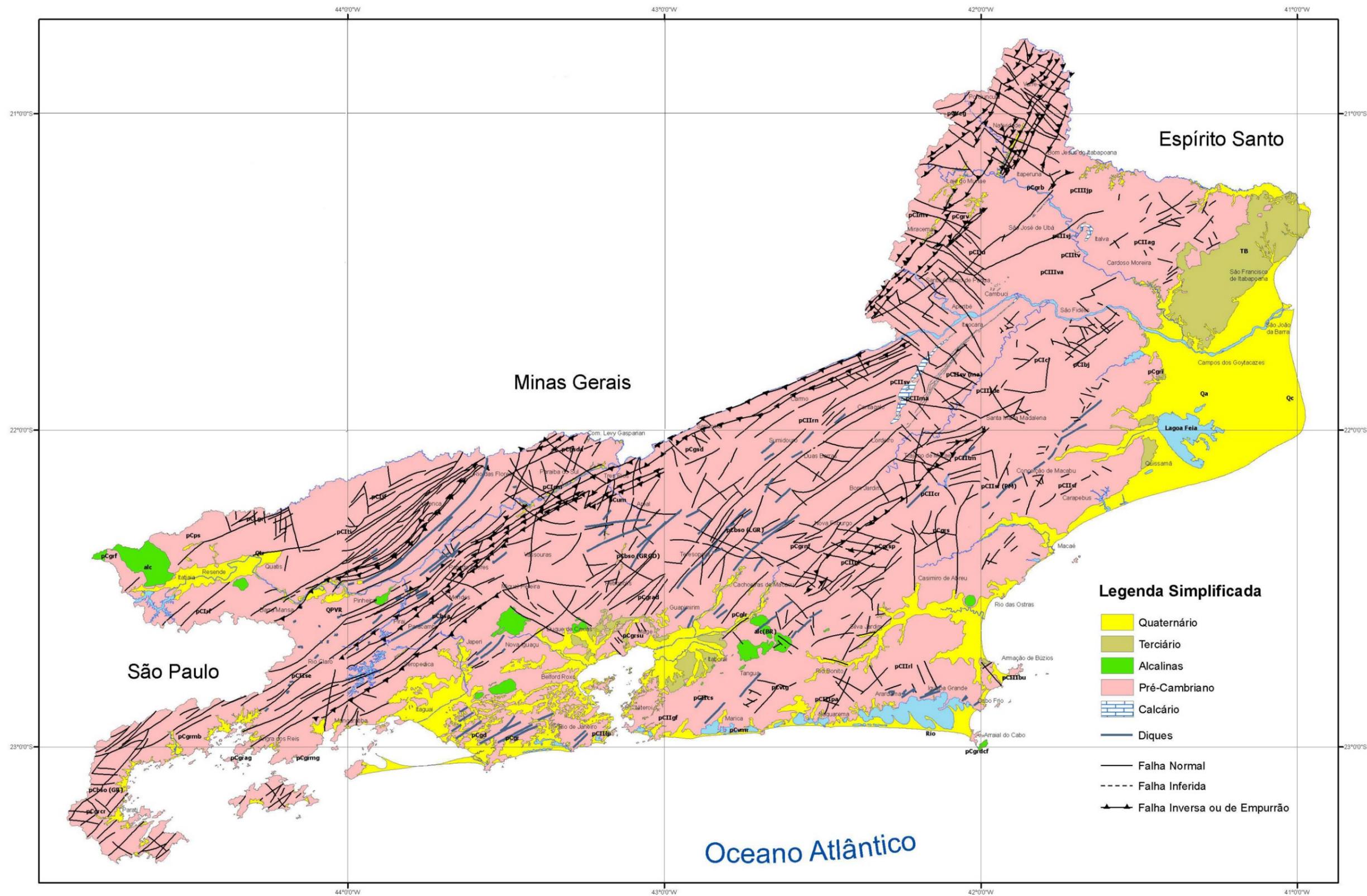


Figura 3.1 - Domínios hidrogeológicos do Estado do Rio de Janeiro, (Fonte: Martins ET AL (2006))

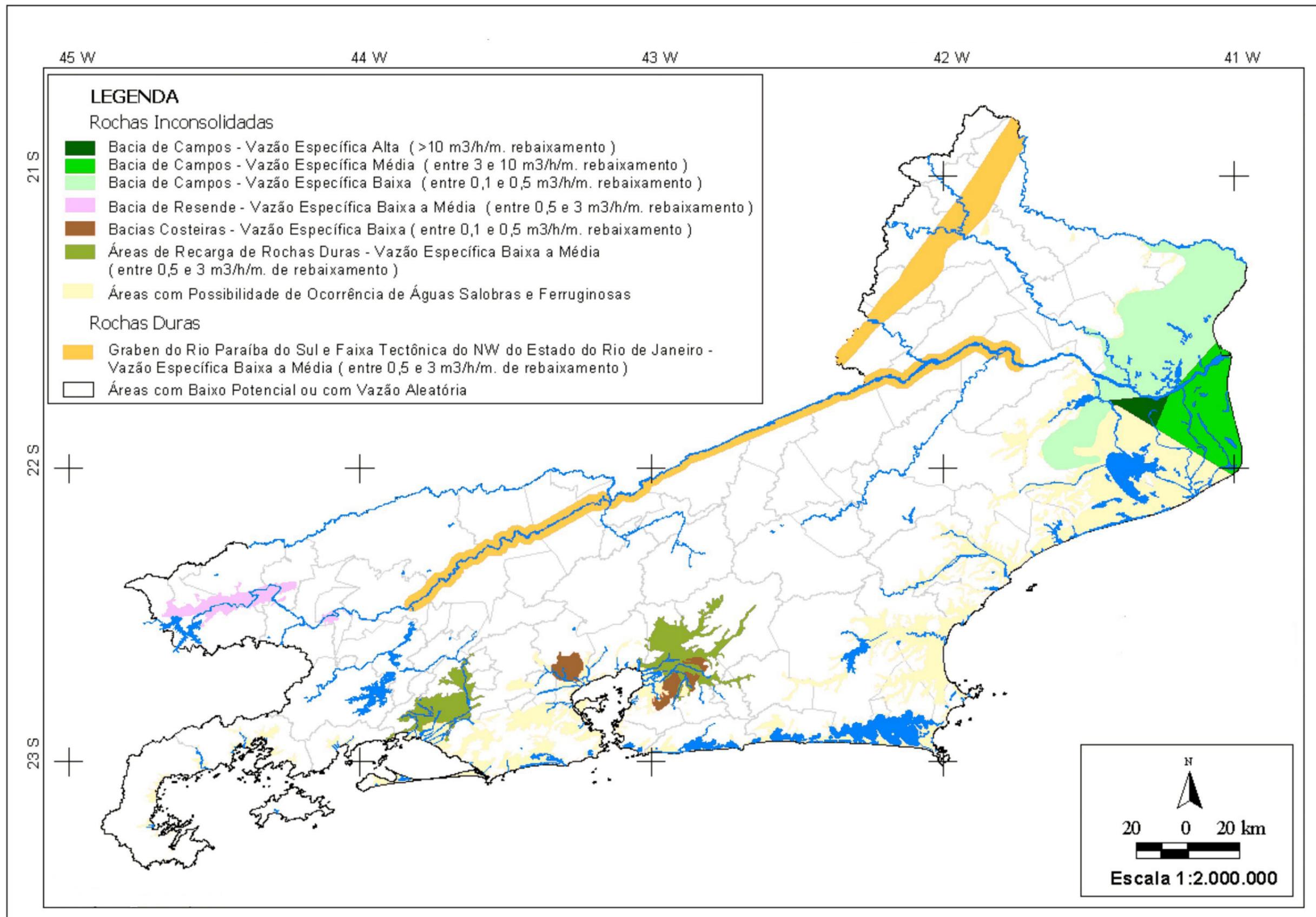


Figura 4.5.1 – Províncias Hidrogeológicas do Estado do Rio de Janeiro (Fonte: CAPPUCI, 1988)