

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE MINAS E METALURGIA

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

ESTUDO GEOAMBIENTAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

LEVANTAMENTO GEOQUÍMICO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

*Fernanda Gonçalves da Cunha
Gilberto José Machado
Eronilton Moraes Cavalcanti
Antônio José de A. Ramos*

BRASÍLIA, Dezembro 2000

CRÉDITOS DE AUTORIA

Equipe Executora:

Gilberto José Machado, Fernanda Gonçalves da Cunha, Eronilton Morais Cavalcanti e
Antônio José de A. Ramos (SUREG/BH)

Copidescagem/Revisão:

Sueli Cardoso de Araújo e
Sérgio Artur Giaquinto

Coordenação:

Cássio Roberto da Silva
Antonio Ivo de Menezes Medina

Executado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM
Divisão de Geoquímica – DIGEOQ do
Departamento de Geologia – DEGEO

Coordenação Editorial a cargo da
Divisão de Editoração Geral – DIEDIG
Departamento de Apoio Técnico – DEPAT

Cunha, Fernanda Gonçalves da

C972

Levantamento Geoquímico do Estado do Rio de Janeiro / Fernanda Gonçalves da
Cunha et al. – Brasília : CPRM, 2000.

42p.; il.; mapas.

Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro.

Executado pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Departamento de Geologia.

1. Geoquímica – Rio de Janeiro. 2. Prospecção Mineral – Rio de Janeiro. 3. Meio
Ambiente. I. Machado, Gilberto José. II. Cavalcanti, Eronilton Morais. III. Ramos, Antônio
José de A. IV. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. V. Título

CDD 551.98153

PREFÁCIO

Nas últimas décadas temos nos defrontado com profundas modificações tecnológicas, sociais, econômicas e principalmente ambientais. Entretanto, essas mudanças não têm propiciado a melhoria da qualidade de vida da maioria da população mundial. O homem, necessitando de alimento, proteção, qualidade de vida, vem se esmerando em preparar, consumir e transformar os bens retirados da natureza, em sua busca incessante de promoção do bem-estar social.

Esses bens, ao sofrerem vários processos de transformação para consumo da sociedade, impactam o meio ambiente sob diferentes formas. Isso tem provocado o aumento e o adensamento populacional e, conseqüentemente, o excessivo consumo de recursos naturais.

O ato de consumir e apropriar os recursos naturais, sem qualquer preocupação com as conseqüências futuras, tem promovido uma série de problemas globais, não perceptíveis aos nossos olhos, mas que estão danificando a biosfera e a vida humana de uma maneira alarmante, e que podem se tornar irreversíveis.

Ao analisarmos esses problemas, verificamos que não podemos tratá-los isoladamente, mas de forma sistêmica, pois as variáveis do meio físico, biótico, social, econômico e cultural estão interligadas e são interdependentes, sendo fundamental o entendimento de suas relações e conexões. Entendemos que o enfrentamento e a busca de soluções passam necessariamente pela integração dos profissionais das diversas áreas do conhecimento com visões e atitudes transdisciplinares.

Nesse sentido, a cooperação e a parceria proporcionam a dinâmica para mudanças de comportamento e para o fortalecimento da consciência ao adequado manejo do meio ambiente, pois quando as mesmas se processam, os parceiros (governo, ong, empresa privada, sociedade civil) passam a entender melhor as necessidades dos outros, aprendem, mudam e, como resultado dessa interação, coevoluem.

Na medida que adentramos no novo milênio, a sobrevivência da humanidade dependerá do nosso comportamento em relação à utilização dos recursos naturais. Assim, faz-se necessário adotar os princípios básicos da ecologia: interdependência, reciclagem, parceria, flexibilidade, diversidade e, em decorrência, sustentabilidade.

De forma inédita, o Serviço Geológico do Brasil – CPRM, associando-se a importantes parceiros, em especial a Empresa Brasileira de Agropecuária – EMBRAPA e o Departamento de Recursos Minerais – DRM/RJ, efetivou estudos multidisciplinares, principalmente do meio físico, visando fornecer informações e conhecimentos que possibilitem aos responsáveis pela gestão territorial tomarem decisões para proporcionar o desenvolvimento sustentável do Estado do Rio de Janeiro.

É com grata satisfação que apresentamos à sociedade brasileira, particularmente à comunidade fluminense, o Projeto Rio de Janeiro, que trata de estudos relacionados à geologia, geomorfologia, pedologia, geofísica, geoquímica ambiental, hidrologia, hidrogeologia, recursos minerais, economia mineral, inventário de escorregamentos e diagnóstico geoambiental, dentro de uma abordagem sistêmica.

Esse projeto constitui importante fonte de informações de interesse para múltiplos usuários (mineração, energia, agricultura, saúde pública, urbanismo, saneamento básico, moradia, defesa civil, transportes, turismo e meio ambiente) e instrumento de grande utilidade para subsidiar a gestão ambiental e, principalmente, para o estabelecimento de macrodiretrizes de planejamento com base nas potencialidades e limitações naturais do território, podendo, assim, orientar as políticas de desenvolvimento, levando em consideração a capacidade de suporte de cada região.

Esperamos que este exemplo prospere e que se torne motivo para avançarmos cada vez mais na busca da melhor convivência, possível, entre a exploração dos recursos naturais e a preservação do meio ambiente.

Se pretendemos deixar um mundo melhor para nossos descendentes, temos que olhar o mundo como um sistema vivo, onde tudo ao nosso redor tem o seu papel e sua relativa importância nas complexas relações e conexões. Portanto, enfatizamos a necessidade de mudança comportamental do homem, adotando uma nova forma de pensar e novos valores. Devemos dar vazão aos valores da consciência ecológica, para que seja mantido o adequado equilíbrio com o desenvolvimento econômico. Acreditamos ser esse o procedimento compatível com uma sociedade que deseja estabelecer o desenvolvimento sustentável para o nosso planeta.

Thales de Queiroz Sampaio
Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

APRESENTAÇÃO

O Projeto Rio de Janeiro consiste em estudos multitemáticos do meio físico realizados através do Programa Informações para Gestão Territorial – GATE, da Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, na escala 1:250.000, em todo o Estado do Rio de Janeiro, abrangendo uma área de 44.000km².

O objetivo principal é fornecer subsídios técnicos às administrações estadual e municipais e às entidades privadas, para o planejamento do desenvolvimento sustentado do território fluminense, assim como para o Programa Brasileiro de Zoneamento Ecológico-Econômico, em atendimento à Agenda 21.

O Projeto foi desenvolvido em parceria com a EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, DRM-RJ – Departamento de Recursos Minerais, CIDE – Centro de Informações e Dados do Rio de Janeiro, SERLA – Superintendência Estadual de Rios e Lagoas, 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, UFRRJ – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro, RESUB – Rede de Geotecnologia em Águas Subterrâneas, ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica e INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

Os temas executados foram recursos minerais, economia mineral, geomorfologia, inventário de escorregamentos, uso e cobertura do solo, solos, aptidão agrícola, geofísica e geoquímica ambiental, estudo de chuvas intensas, caracterização hidrogeológica, hidrografia, planimetria, morfoestrutura, cadastro de poços de água tubulares, cadastro de estações pluviométricas e fluviométricas.

A integração das informações levantadas dos diversos temas estudados propiciou a espacialização de áreas com potencial natural para determinado desenvolvimento, proteção, conservação e recuperação, concluindo por um diagnóstico das potencialidades e das vulnerabilidades naturais ou induzidas de todo o Estado do Rio de Janeiro, representadas, em escala 1:500.000, no Mapa Geoambiental.

Os produtos e dados resultantes dos estudos do Projeto estão disponíveis em 2 CD-ROMs, textos impressos e mapas plotados em papel na escala 1:500.000.

O CD-ROM número 1 contém todos os mapas temáticos no formato CDR, versão CorelDRAW 9 e textos no formato PDF. O CD-ROM número 2 contém diversos produtos, incluindo mapas de serviço e bases de dados pontuais, além dos mapas disponíveis no primeiro CD. Nesse, os dados podem ser analisados de modo interativo através do aplicativo MicroSir. Esse *software* foi desenvolvido inicialmente para possibilitar a visualização e recuperação de dados constantes das bases de dados da CPRM. O programa foi adaptado para o processamento de dados do Projeto Rio de Janeiro.

SUMÁRIO

1 RESUMO	1
2 INTRODUÇÃO.	3
3 OBJETIVO	5
4 MATERIAIS E MÉTODOS	7
4.1 Coleta de Amostras	7
4.2 Análises Químicas.	7
4.3 Controle de Qualidade	8
4.4 Tratamento Estatístico.	8
5 REPRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.	13
6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	15
6.1 Aplicações no Mapeamento Geológico	15
6.2 Aplicações na Prospecção Mineral	15
6.3 Aplicações Ambientais	17
6.3.1 Elementos químicos estudados	18
7 CONCLUSÕES.	31
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.	33
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	35

Anexo

- Mapa de Geoquímica Ambiental do Estado do Rio de Janeiro

1

RESUMO

Diversos países do mundo, como a Finlândia, Grã-Bretanha, Costa Rica, Estados Unidos (Alasca), China e o Brasil (Superintendências Regionais de Recife e Salvador da CPRM), têm realizado uma abordagem moderna nos seus projetos de prospecção geoquímica, direcionando-os não só à exploração geoquímica, mas aplicados a estudos da distribuição espacial, dos excessos e das carências dos elementos químicos de origem natural ou antropogênica, levando ao conhecimento do quimismo do meio físico relacionado a diversas áreas do conhecimento, como agronomia, saúde pública, uso e ocupação do solo e monitoramento ambiental. Esses projetos estão coordenados, em nível metodológico, pelos projetos IGCP-259 e IGCP-360 (*International Geological Correlation Project*) da UNESCO e IUGS.

No Projeto Levantamento Geoquímico do Estado do Rio de Janeiro, utilizou-se a metodologia do IGCP,

em razão da necessidade de otimizar os recursos destinados à pesquisa mineral e ambiental na CPRM.

No Estado do Rio de Janeiro, a industrialização, a agricultura, a pecuária e o aumento da população menos favorecida transformaram alguns rios em vazadouros de efluentes domésticos e industriais. Esses rios, por terem também as cabeceiras e margens desmatadas, foram fortemente impactados, assoreados em seus leitos, comprometendo o escoamento natural de suas águas, causando enchentes, o que acarreta danos às populações ribeirinhas. No entanto, a maioria dos rios não apresenta sérios problemas ambientais relacionados à contaminação das águas e sedimentos.

Esse tipo de projeto é um bom exemplo de aplicação da geoquímica em estudos de prospecção mineral e em áreas multidisciplinares, tais como: agricultura, pecuária, planejamento e uso do solo, como ainda, na saúde pública.

2

INTRODUÇÃO

Estudos realizados na China, entre 1988 e 1993 (Xie & Cheng, 1997), enfatizaram que o método de amostragem usando *floodplain sediments* (sedimentos de planície de inundação), para grandes bacias de drenagem, é representativo como meio de amostragem global.

Bolviken *et al.* (1996) propuseram uma sistemática de amostragem geoquímica regional de baixa densidade para o oeste europeu, recomendando o uso de sedimentos de corrente nas pequenas bacias (100 a 1.000km²) e *floodplain sediments*, nas grandes bacias (1.000 a 10.000km²), como meio de amostragem em mapeamentos geoquímicos regionais em grandes áreas.

A coleta desses materiais é útil, tanto para pesquisa de novos recursos minerais, como também para prover soluções para problemas ambientais,

visto que os metais pesados, durante as épocas de cheia nos rios, são carregados junto com os sedimentos finos e depositados nas margens dos rios. A história sedimentar desses rios oferece informações sobre o “antes” e o “depois”, tanto em relação à época das enchentes, como em épocas remotas, que podem ser utilizadas para delimitar cargas críticas e bombas químicas potenciais (Ottesen, 1992).

O levantamento geoquímico para o Projeto Rio de Janeiro procurou seguir, de um modo geral, essas sistemáticas de amostragem, porém, houve necessidade de algumas adequações, principalmente em relação à densidade de amostragem. Foram incluídas amostras com bacia de captação inferior a 100km², com vistas a uma melhor representatividade da área total amostrada.

3

OBJETIVO

O objetivo deste projeto foi efetuar o reconhecimento geoquímico, através da coleta de amostras de sedimentos de corrente, água e *floodplain sediments*, no estado do Rio de Janeiro, com a finalidade de determinar a abundância e dispersão dos elementos químicos nesses meios amostrados, de tal modo que possam ser utilizados como indicadores de contaminação natural ou poluição provocada por atividade antrópica, como também de áreas para pesquisa mineral.

Adicionalmente, construiu-se uma base de dados geoquímicos multielementar, coerente e sistemática, como também mapas geoquímicos, divulgando os dados e resultados à sociedade, para que possam ser utilizados em outros estudos, quer sejam no âmbito da geologia, ou também em outras áreas, como agricultura e pecuária, uso e ocupação do solo, saúde pública e saneamento básico.

4

MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Coleta das Amostras

No Projeto Levantamento Geoquímico do Estado do Rio de Janeiro, para se obter uma boa representatividade da geoquímica em nível regional, foram escolhidos os *floodplain sediments* como meio de amostragem para representar as grandes bacias (1.000 a 10.000km²), e os sedimentos de corrente e água como meios de amostragem para bacias menores.

Segundo Darnley (1993), as amostras de *floodplain sediments* e água estão diretamente relacionadas a problemas ambientais, enquanto as amostras de sedimentos de corrente representam o meio de amostragem ideal para levantamentos geoquímicos regionais, enfocando a exploração mineral. Porém, em áreas industrializadas, os sedimentos de corrente podem refletir, também, a influência humana (Bolviken *et al.*, 1996).

Foram coletadas 200 amostras de água, 192 de sedimentos de corrente e oito de *floodplain sediments* (figura 1). Realizou-se o trabalho de campo em seis etapas, durante os meses de maio a setembro de 1998 e fevereiro e maio de 1999.

As amostras de água foram armazenadas em tubos plásticos graduados, com capacidade para 50ml, depois de filtradas em filtro micropore

0,45 m, em duas alíquotas, para análise dos cátions e ânions. Para preservação dos cátions solúveis nas amostras, adicionou-se 1ml de HNO₃ 1:1, mantendo o pH < 2, enquanto as amostras para análise dos ânions permaneceram refrigeradas até o momento da análise.

As amostras de sedimentos de corrente foram coletadas no leito ativo dos rios, enquanto os *floodplain sediments* o foram nos terraços aluvionares. Todas foram coletadas utilizando-se amostragem composta, acondicionadas em sacos plásticos e devidamente etiquetadas.

Em cada ponto de amostragem de água, fez-se a leitura dos seguintes parâmetros: pH, temperatura, concentração do oxigênio dissolvido (OD), turbidez e condutividade.

4.2 Análises Químicas

O Laboratório de Análises Mineraias (LAMIN) da CPRM realizou as análises químicas.

Na preparação das amostras dos sedimentos, no laboratório, foram feitas: secagem a 40 C, peneiramento a menos 80 *mesh* e pulverização a 150 *mesh*.

As técnicas analíticas utilizadas para as amostras de água foram: Espectrometria por Absorção

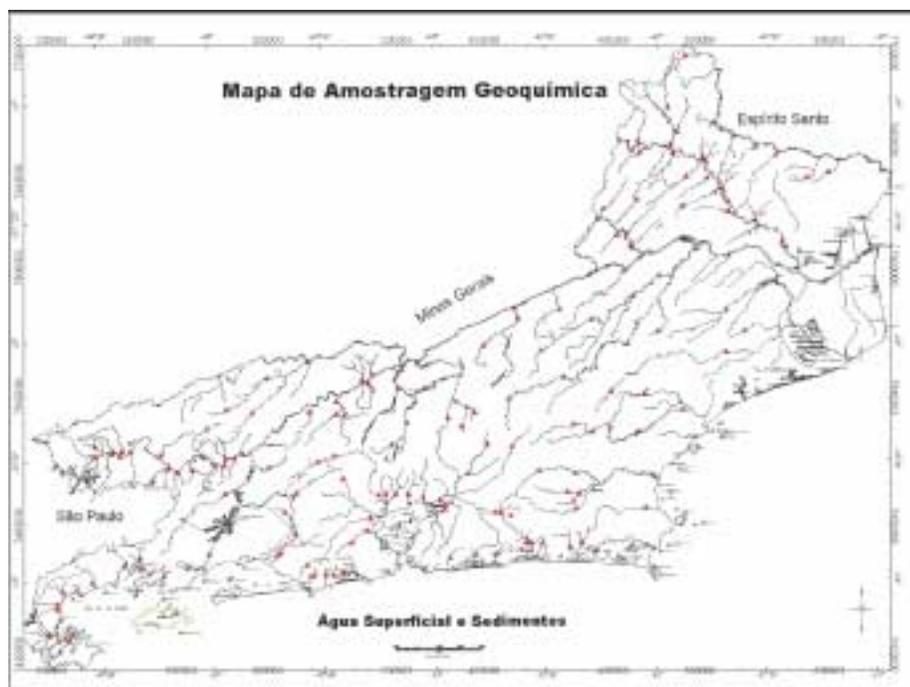


Figura 1 – Mapa de amostragem geoquímica.

Atômica com Fonte de Plasma (ICP/AES), para os cátions, e Cromatografia de Íons (IC), para os ânions. As amostras de sedimentos de corrente e *floodplain sediments* foram analisadas por Espectrometria por Absorção Atômica com Fonte de Plasma (ICP/AES), para a maioria dos cátions, sendo que para Fe, Ag, Na e K foi utilizado Espectrofotometria por Absorção Atômica (AA) e para os cátions Sb e Bi, Espectrofotometria por Absorção Atômica/Geração de Hidretos (AA/GH).

Para a análise dos níveis considerados perigosos à saúde dos seres vivos, em relação às concentrações dos elementos tóxicos, foram utilizados os teores da Resolução nº 20/86, da Comissão Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (ver tabela 4).

Estão disponíveis, na base de dados do projeto, os dados analíticos dos elementos constantes no quadro 1.

4.3 Controle de Qualidade

Foi realizado controle de qualidade em 10% das amostras coletadas aleatoriamente, para aferir a variabilidade da amostragem, através dos procedimentos de coleta. Coletaram-se amostras em duplicata, o que facilitou o monitoramento da variabilidade analítica.

Os procedimentos laboratoriais incluíram amostras-padrão para controle analítico, e “brancos”, para calibração dos equipamentos.

4.4 Tratamento Estatístico

Os dados analíticos foram tratados estatisticamente, para o estabelecimento de parâmetros básicos, que possibilitaram conhecer a variação regional e o *background* dos principais elementos.

As amostras de sedimentos de corrente e *floodplain* foram agrupadas em uma mesma população, tendo em vista que não apresentaram variações significativas.

Os sumários estatísticos dos resultados analíticos das amostras de água são apresentados nas tabelas 1 e 2, enquanto os dos resultados analíticos das amostras dos sedimentos estão na tabela 3. As médias e os desvios-padrão são aritméticos. Os va-

lores abaixo dos limites de detecção foram divididos pela metade, enquanto os elementos não-detectados foram divididos por quatro. Testou-se a distribuição Log-Normal: os elementos que tiveram a distribuição Log-Normal aceita pelos testes do Qui-Quadrado e/ou Kolmogorov-Smirnov apresentam-se com (S) e aqueles que tiveram a distribuição Log-Normal rejeitada pelos testes apresentam-se com (N).

Quadro 1 – Elementos químicos analisados e parâmetros físico-químicos.

Água	Ag, Al, As, B, Be, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sc, Sb, Se, Sn, Sr, V, W, Zn, Br, F, Cl, NO ₂ , NO ₃ , PO ₄ , SO ₄ , condutividade elétrica, pH, turbidez, temperatura e concentração de oxigênio dissolvido.
Sedimentos de corrente e <i>floodplain</i>	Ag, Al, As, Bi, Ba, Be, Ca, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Sc, Sn, Sr, Ti, V, W, Y, Zn.

Tabela 1 – Água: sumário estatístico dos cátions.

Elemento	Mínimo (ppm)	Máximo (ppm)	Média (ppm)	Desvio-Padrão	Coefficiente de Variação (%)	Distribuição Log-Normal
AL	0,001	10,68	0,164	0,825	503	N
As	0,005	0,031	0,008	0,004	500	N
Ba	0,001	29,25	0,191	2,114	1.106	S
Be	0,0005	0,038	0,003	0,007	233	N
B	0,0005	3,040	0,030	0,221	736	N
Cd	0,0005	5,67	0,031	0,410	1.322	N
Ca	0,001	213,3	8,351	18,34	219	N
Pb	0,0005	0,292	0,010	0,023	230	N
Co	0,0005	0,608	0,009	0,045	500	N
Cu	0,0005	0,038	0,004	0,004	100	N
Cr	0,0005	0,025	0,005	0,005	100	N
Sc	0,0005	0,361	0,004	0,026	650	N
Sn	0,001	0,081	0,005	0,006	120	N
Sr	0,005	27,59	0,225	2,013	894	N
Fe	0,002	6,525	0,461	0,610	132	S
Li	0,0005	13,27	0,078	0,962	1.223	N
Mg	0,026	733,9	8,54	53,65	628	S
Mn	0,0005	2,618	0,160	0,307	191	S
Mo	0,0005	0,010	0,005	0,002	40	S
Ni	0,001	64,42	0,535	4,682	875	N
Se	0,0025	4,67	0,044	0,336	763	N
Si	0,025	43,21	7,553	4,045	53	N
Ti	0,001	0,200	0,013	0,017	130	N
W	0,001	0,033	0,006	0,008	133	N
V	0,001	0,067	0,007	0,008	114	N
Zn	0,0001	0,213	0,004	0,016	382	N

Tabela 2 – Água: sumário estatístico dos ânions.

Elemento	Mínimo (ppm)	Máximo (ppm)	Média (ppm)	Desvio-Padrão	Coefficiente de Variação (%)	Distribuição Log-Normal
F ⁻	0,001	1,189	0,092	0,127	138	S
Cl ⁻	0,005	769,5	23,70	87,53	369	S
NO ₂ ⁻	0,005	1,400	0,066	0,156	236	N
Br ⁻	0,005	2,73	0,075	0,219	292	N
NO ₃ ⁻	0,005	4,89	0,80	0,864	108	S
PO ₄ ³⁻	0,005	1446,8	7,843	104,95	1.338	N
SO ₄ ²⁻	0,001	1.538	17,34	136,43	786,7	S

Tabela 3 – Sedimentos de corrente: sumário estatístico.

Elemento	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-Padrão	Coefficiente de Variação (%)	Distribuição Log-Normal
Ag (ppm)	0,050	2,500	0,116	0,238	205,2	N
Al (%)	0,220	6,508	1,968	1,161	59	S
As (ppm)	0,250	13,53	2,585	2,329	89,7	S
Au (ppm)	0,0003	0,50	0,029	0,078	268,9	S
Ba (ppm)	15,55	527,0	141,67	82,72	58,5	S
Bi (ppm)	0,025	0,500	0,442	0,155	35,1	N
Be (ppm)	0,100	3,700	0,677	0,411	60,7	S
Ca (%)	0,010	1,320	0,165	0,164	99,39	S
Cd (ppm)	0,050	8,990	1,523	1,014	66,57	S
Co (ppm)	1,250	23,20	8,137	3,537	43,46	S
Cr (ppm)	1,000	202,5	54,435	143,8	264,3	S
Cu (ppm)	1,000	158,3	15,37	16,76	109,1	S
Fe (%)	0,32	57,00	3,412	5,626	164,88	S
K (%)	0,010	1,160	0,38	0,283	74,47	S
La (ppm)	4,000	350,8	70,59	62,82	89,0	S
Li (ppm)	0,900	84,46	23,95	17,33	72,35	S
Mg (%)	0,010	0,840	0,326	0,205	62,88	S
Mn (ppm)	11,93	3154	584,3	520,9	89,14	S
Mo (ppm)	0,100	3,036	0,265	0,450	169,8	N
Na (%)	0,005	1,130	0,053	0,162	305	N
Ni (ppm)	0,100	26,32	6,887	3,719	54	S
P (ppm)	0,46	3918	660,67	616,81	93,36	–
Pb (ppm)	1,450	318,9	12,18	24,45	200,7	N
Sb (ppm)	0,025	0,500	0,42	0,177	42,14	S
Sc (ppm)	0,500	29,60	11,625	6,208	53,40	N
Sn (ppm)	0,500	25,96	2,85	2,473	86,77	S
Sr (ppm)	1,80	127,2	13,10	13,23	100,9	S
Ti (ppm)	20,0	4004	1238	571,0	46,1	S
V (ppm)	0,001	387,6	58,16	51,56	88,65	N
W (ppm)	0,250	9,116	0,908	0,881	97,02	N
Y (ppm)	0,900	46,10	13,15	6,74	51,25	S
Zn (ppm)	7,300	1244	70,73	99,38	140,5	S

5

REPRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Elaboraram-se mapas geoquímicos, na escala 1:500.000, por elemento e por classe de amostra (água e sedimentos), usando o *software* canadense OASIS-Montaj, versão 4.3, desenvolvido pela GEOSOFT.

A base cartográfica de drenagem do estado do Rio de Janeiro foi digitalizada pelo Centro de Cartografia (CECAR), da CPRM, na escala 1:500.000.

Foi elaborado, ainda, um mapa-síntese, na escala 1:500.000, no qual foram plotados os pontos de amostragem de água e sedimentos de corrente que mostraram concentrações de alumínio, arsênio, cádmio, chumbo, cobre, flúor, selênio e zinco acima dos limiares definidos pela Resolução nº 20/86 da CONAMA (1986), para água, e por Prater & Anderson (1977), para sedimentos.

6

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1 Aplicações no Mapeamento Geológico

Os resultados analíticos das amostras de sedimentos e de água mostraram algumas feições geológicas que ficaram claramente delineadas nos mapas geoquímicos elaborados, porém, por vezes, é difícil determinar o significado de algumas anomalias geoquímicas, devido, talvez, à escala e resolução dos mapas, que não permitiram mostrar detalhes geológicos.

Utilizou-se, como referência da geologia, o Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro (Fonseca, 1998). No quadro 2, apresenta-se um resumo com algumas informações geológicas que puderam ser identificadas através da amostragem geoquímica.

6.2 Aplicações na Prospecção Mineral

Segundo Castro & Beisl (1993) e Castro & Rosário (1994), a região do vale do rio Paraíba do Sul exibe, em diversas localidades, ocorrências esparsas de ouro, que foram explotadas por garimpeiros, sem muito sucesso. Porém, na região de Cantagalo, nas proximidades de São Sebastião do Paraíba, em Porto Tuta, na divisa RJ/MG, foram encontrados, pelos pesquisadores, diversos grãos de ouro.

Pereira & Santos (1994) relataram a possibilidade da ocorrência de ouro no rio Paraíba do Sul, no trecho entre a desembocadura do rio Pomba e a cidade de São Fidélis, como ainda, na área do rio Preto, em Manoel Duarte.

Também, Fonseca (1998) relatou a existência de alguns garimpos no estado do Rio de Janeiro, que foram trabalhados, em geral, com balsas, na década de 80, nos rios Itabapoana, Muriaé, Paraíba do Sul (Cambuci e Itaocara) e Pomba.

Lamego (1946, *apud* Fonseca, 1998) citou várias explorações de ouro em aluviões, em Itaperuna, Natividade, Porciúncula, Varre-Sai, Ouro Fino e Comendador Venâncio.

Segundo Mansur (1988), foram registradas, em 1986, atividades de garimpagem nos rios Muriaé, Pomba, Carangola, Itabapoana e Paraíba do Sul, e em 1987, na região entre Pureza e São Fidélis, onde foi utilizado mercúrio. Também instalaram-se garimpos nos rios Paraibuna, Preto (Valença) e Paraíba do Sul (Vassouras e Itaocara).

Os teores de ouro encontrados neste projeto variaram entre 0,01 a 0,5ppm (ver figura 2).

No mapa de distribuição do ouro em sedimentos de corrente, verifica-se que as maiores concentrações desse elemento estão localizadas, na maioria das vezes, nos rios e municípios relatados na literatura retromencionada.

Quadro 2 – Informações geológicas segundo as observações deste estudo.

Tipos de Rochas	Observações
Gnaisses e migmatitos (Complexos Juiz de Fora, Paraíba do Sul, Rio Negro, São Fidélis, Região dos Lagos)	Os gnaisses ricos em minerais máficos (biotita, hornblenda e piroxênio), migmatitos com paleossomas com biotita e anfibólio, os corpos anfibolíticos, corpos ultramáficos e máficos e suítes charnokíticas estão claramente indicados pela abundância de Cu e Cr. As rochas dos complexos Paraíba do Sul, Rio Negro e Região dos Lagos mostram-se enriquecidas em Ca.
Rochas graníticas	Na Serra dos Órgãos, nos granitos de Parati, Angra dos Reis e Mangaratiba, e nos granitóides do Município do Rio de Janeiro observa-se depleção de Se, As, Pb e Cd. O granito Sana é enriquecido em Ca. Os complexos granitóides da serra dos Órgãos e os granitos de Parati, Angra dos Reis e de Mangaratiba são enriquecidos em Li e W, sendo que esses últimos são, também, ricos em flúor.
Rochas alcalinas	Os corpos alcalinos de Nova Iguaçu (serra de Tinguá), São Gonçalo, Rio Bonito, Tanguá, Cachoeiras de Macacu, Silva Jardim, Itatiaia, Resende e serra do Mendanha são delineados pelos teores de flúor e fósforo, tanto nas amostras de água, quanto nas dos sedimentos, enquanto o corpo alcalino Morro de São João, quase na foz do rio São João, mostrou somente anomalia de flúor em água.
Outras ocorrências	Titânio: Confirmando as informações de Fonseca (1998), ocorrem anomalias de titânio nas regiões dos complexos Paraíba do Sul e Juiz de Fora. Como ainda, se destacam os corpos do granito Sana e das rochas dos complexos São Fidélis e Região dos Lagos. Observam-se, também, anomalias nos granitos de Angra dos Reis e Mangaratiba. Bário: As anomalias de bário evidenciam os depósitos e ocorrências de barita, principalmente na Região dos Lagos e nos municípios de São Gonçalo, Duque de Caxias, Rio Bonito, Itaguaí, Cachoeiras de Macacu e Rio de Janeiro. Cálcio e estrôncio: Anomalias de cálcio e estrôncio confirmam a presença de rochas carbonáticas na região de Cantagalo, Itava, Barra do Pirai, Valença, Barra Mansa, Miguel Pereira, Três Rios e Paraíba do Sul, como também, na Região dos Lagos, onde ocorre grande quantidade de conchas calcárias. Também mapeam os corpos magmáticos pós- e sintectônicos (Fonseca, 1998). Cálcio, estrôncio e bário: Anomalias desses elementos evidenciam os granitóides dos complexos Juiz de Fora, Paraíba do Sul e São Fidélis, como ainda dos granitóides da região de Angra dos Reis, Parati e Mangaratiba.

Porém, observa-se que alguns corpos magmáticos sintectônicos (Fonseca, 1998) podem ser a fonte do ouro que ocorre, em geral, nos sedimentos de corrente, nas regiões de Mangaratiba, Vassouras e Barra do Pirai, como ainda nas amostras coletadas nos rios Capivari (região de Silva Jardim), Tanguá, Caceribu (região de Itaboraí/Tanguá) e Negro (região de Duas Barras). Outra hipótese sobre a origem dos teores de ouro nos sedimentos, nessas regiões, segundo Hélio Canejo (comunicação verbal, 1999), seria os veios de quartzo, que ocorrem cortando os corpos magmáticos.

Segundo Fletcher (1997), a presença de teores de ouro em sedimentos de corrente é devida ao selecionamento dos grãos durante o transporte. A eliminação seletiva dos grãos leves enriquece, localmente, os sedimentos em minerais pesados.

As amostras coletadas nos rios São João de Meriti e Pavuna apresentaram, respectivamente, 0,28ppm e 0,06ppm de Au e 0,25ppm e 0,80ppm de Ag, o que, provavelmente, representa contribuição antrópica, visto que essa região mostra alta densidade demográfica e industrial.

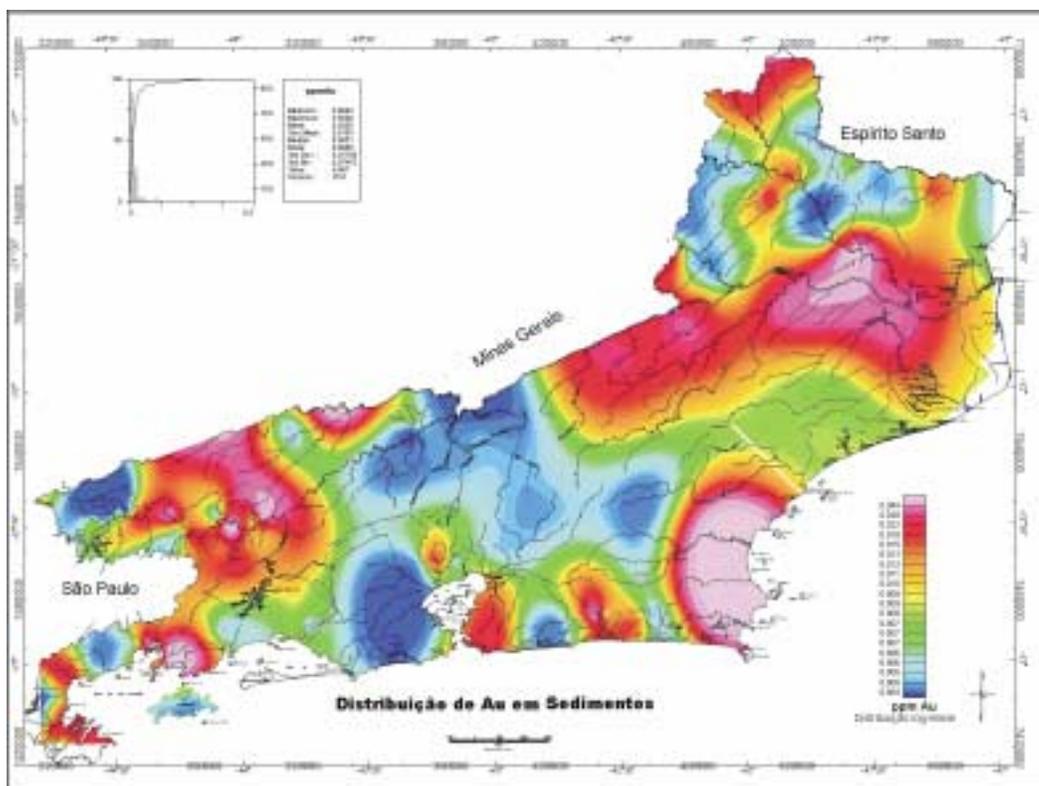


Figura 2 – Distribuição de ouro em sedimentos.

6.3 Aplicações Ambientais

Alguns elementos químicos são necessários à saúde dos seres vivos, fazendo parte de complexos sistemas enzimáticos, como por exemplo cobre, zinco, ferro e selênio; porém, são considerados tóxicos quando presentes no meio ambiente em altas concentrações. Outros elementos, tais como mercúrio, cádmio, arsênio e chumbo, não são essenciais aos seres vivos do ponto de vista biológico e são considerados muito tóxicos, quando estão presentes no meio ambiente, mesmo em baixas concentrações, porque são acumulativos no organismo dos animais.

Através de mapas geoquímicos, é possível indicar áreas com deficiência ou potencialmente tóxicas, para futuras investigações.

Áreas com altas concentrações de um determinado elemento podem ajudar na delimitação de depósitos minerais, de áreas com rejeito industrial e/ou urbano, com aplicação de pesticidas e/ou fertilizantes, como ainda, selecionar áreas para estudos específicos relacionados à saúde pública.

Entretanto, áreas com baixas concentrações de um determinado elemento também podem sinalizar a ocorrência de algum tipo específico de rocha, caracterizada pela depleção desse elemento, ou mostrar áreas agrícolas carentes em nutrientes, o que atrapalha a sua produtividade, ou até mesmo, a ocorrência de alguma doença endêmica.

Sendo assim, esses mapas poderão ser bastantes úteis para outras instituições, quer sejam governamentais ou não, nas áreas de saúde pública, saneamento básico, planejamento urbano, agricultura e monitoramento ambiental.

Para os estudos ambientais, no Projeto Rio de Janeiro, procurou-se, inicialmente, observar o comportamento dos elementos considerados tóxicos para o ser humano e os animais (arsênio, chumbo, cádmio e flúor) nas amostras de água, e, como complemento, o comportamento desses elementos nas amostras dos sedimentos. Estudou-se, também, o comportamento de outros elementos químicos considerados essenciais aos seres vivos, mas que podem ser tóxicos à saúde do homem e dos animais, se estiverem no ambiente em altas concentrações (alumínio e cobre). Estudou-se, ainda, o comportamento

daqueles elementos químicos, essenciais ao ser humano, mas que podem causar problemas à saúde, quando ocorrem em muito baixas ou muito altas concentrações no meio ambiente (zinco e selênio).

Procurou-se, sempre, neste trabalho, considerar como referência para o estudo das concentrações dos elementos químicos na água superficial os valores máximos permitidos pela Resolução da CONAMA nº 20/86 (tabela 4).

6.3.1 Elementos químicos estudados

No quadro 3, procurou-se sintetizar algumas informações sobre a influência dos elementos químicos estudados, no meio ambiente, tanto em relação à saúde dos seres vivos, quanto à agricultura.

Os elementos selecionados para estudo neste projeto (As, F, Cd, Pb, Se, Zn, Cu e Al) foram disponibilizados nas tabelas 5 a 12, como também, em mapas geoquímicos, nas figuras 3 a 10.

Nitrito

Somente a amostra da água coletada no rio Santana (afluente do rio Guandu) mostrou teor de nitrito (1,4mg/l) acima do limiar da CONAMA: 1,0mg/l.

O nitrito é instável em presença de oxigênio, convertendo-se facilmente em nitrato. A presença de nitrito na água indica processos biológicos ativos, influenciados por poluição orgânica.

Nitrato

Todas as concentrações de nitrato detectadas nas amostras de água analisadas estão abaixo

do limiar da CONAMA: 10mg/l. Porém, segundo a Cetesb (1995), concentrações de nitrato em água, acima de 5mg/l, demonstram condições sanitárias inadequadas, pois as principais fontes do nitrato são dejetos humanos e de animais. Os rios Preto e Piabanha mostraram concentrações de nitrato variando entre 5 e 10mg/l. Esses rios situam-se em aglomerados urbanos e em região agrícola, o que pode evidenciar poluição antrópica, tendo como fontes principais despejos humanos e animais, bem como produtos químicos e orgânicos com nitrogênio, provenientes das atividades agrícolas.

Fosfatos

Observa-se que 43 pontos de amostragem apresentaram altas concentrações de fosfato em água superficial, acima do limiar da CONAMA: 0,025mg/l.

Esses pontos de amostragem correspondem a rios em áreas densamente povoadas (médio vale do rio Paraíba do Sul) e agrícolas e/ou com pecuária (norte-noroeste fluminense), o que caracteriza contaminação antrópica, tendo como fontes: dejetos de animais, esgotos domésticos, detergentes e/ou fertilizantes.

Sulfatos

Somente quatro amostras de água superficial mostraram concentrações de sulfatos acima do limiar da CONAMA: 250mg/l. Os rios Valão da Onça (afluente do rio Muriaé) e São João de Meriti (contribuinte da Baía de Guanabara) apresentaram concentrações seis vezes maiores que o referido limiar.

Tabela 4 – Resolução CONAMA nº 20/86 para águas de classe II.

(mg/l)

Variável	pH	Turbidez	OD	Al	As	Ba	B	Cd	Co	Cu
Limiar	6 a 9	100	>5	0,1	0,05	1,0	0,75	0,001	0,2	0,02
Variável	Cr Total	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Sn	V	Zn
Limiar	0,05	0,3	2,5	0,1	0,025	0,03	0,01	2,0	0,1	0,18
Variável	Cl ⁻	F ⁻	NO ₂	NO ₃	PO ₄	SO ₄				
Limiar	250	1,4	1,0	10	0,025	250				

Quadro 3 – Elementos químicos e o meio ambiente.

Elemento Químico	Conseqüências no Meio Ambiente
Alumínio	Não se conhece a importância biológica para os seres vivos, mas sabe-se que a ingestão de altas concentrações (> 1ppm) de Al é responsável pelo Mal de Alzheimer, laringite crônica e paralisia dos membros inferiores.
Arsênio	Não é essencial à saúde dos animais e, quando presente em altas concentrações na água e no solo, é altamente cancerígeno, causando, principalmente, câncer de pele. Em solos, teores maiores do que 250ppm podem provocar toxicidade em vegetais e no gado. Antropicamente, resulta de despejos industriais e herbicidas, porém pode ocorrer naturalmente nas rochas.
Cádmio	Não é essencial aos seres vivos. É acumulativo no organismo humano. Na água, a intoxicação dá-se pelo consumo de peixe ou ingestão da própria água. Pode causar osteomacia, nefrite, calcificação nos rins, deformação nos ossos e disfunção renal, bem como câncer, doenças cardiovasculares e hipertensão. Teores acima de 30ppm em solos podem contaminar plantações. Em geral, origina-se de rejeitos de metalurgias, indústrias de baterias e de lonas de freio.
Chumbo	É muito tóxico, acumulando-se principalmente nos ossos. Pode causar danos irreversíveis ao cérebro, principalmente em crianças em idade escolar, como ainda tumores renais e outros carcinomas. No meio ambiente, origina-se de efluentes industriais, baterias, mineração, encanamentos e soldas.
Cobre	É essencial ao ser humano, porém, em excesso pode causar danos ao fígado e ao cérebro. É tóxico para os vegetais em teores acima de 2.000ppm em solos. Antropicamente, origina-se de metalurgias, mineração, inseticidas e fungicidas.
Fluoretos	O flúor é um elemento essencial à saúde dos animais. Porém, quando em baixos teores na água, pode provocar cáries dentárias. Em teores muito elevados, acima de 1,5mg/l, pode induzir à fluorose e doenças nos ossos (osteoporose). No meio ambiente, pode originar-se de áreas mineralizadas (fluorita e apatita), de efluentes industriais e de fertilizantes fosfatados.
Selênio	É essencial ao ser humano. Quando deficiente nos solos e na água, pode provocar cardiomiopatia e distrofia muscular. Em excesso, pode causar câncer e deformações nas unhas e cabelos. Os fertilizantes fosfatados, em geral, contêm selênio. As águas ricas em Fe e matéria orgânica complexam o selênio, indisponibilizando-o para o meio.
Zinco	É essencial aos seres vivos. Sua deficiência pode causar dermatite e nanismo no homem. Baixos teores de Zn podem evidenciar áreas com baixa produtividade agrícola. Altos teores de zinco no organismo podem causar problemas circulatórios e de concentração mental. Em altos teores no solo é tóxico para plantações de cereais. Antropicamente, origina-se de galvanoplastia e de efluentes industriais.

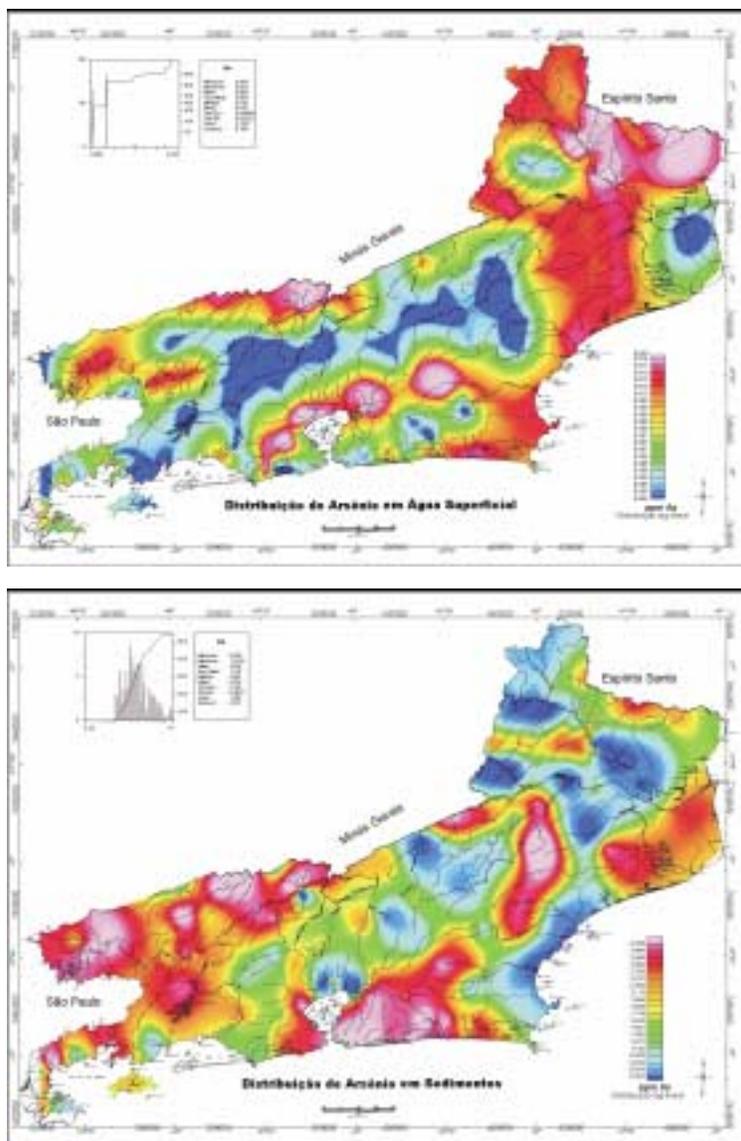


Figura 3 – Distribuição de arsênio em água superficial e sedimentos.

Tabela 5 – Concentração de arsênio em água superficial e sedimentos (figura 3).

Meio Amostrado	Pontos com Altos Teores	Concentração	pH	Limiar
Água	–	< 0,05mg/l	–	CONAMA (1986) 0,05mg/l
Sedimentos	rio Tingui (Lagoa Araruama)	13,53ppm	7,1	–
	rio Taquari (Angra dos Reis)	12,32ppm	6,3	
	rio Alambari (Resende)	11,96ppm	6,7	
	rio Santíssimo (Santa Maria Madalena)	10,74ppm	6,6	

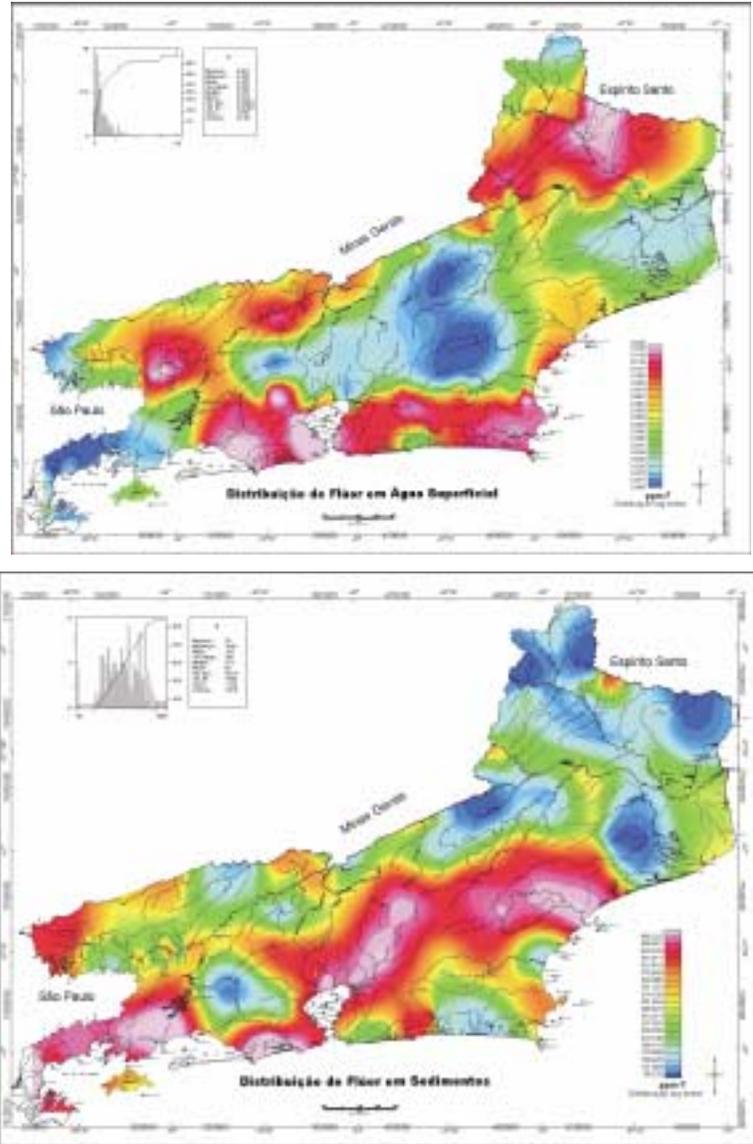


Figura 4 – Distribuição de flúor em água superficial e sedimentos.

Tabela 6 – Concentração de flúor em água superficial e sedimentos (figura 4).

Meio Amostrado	Pontos com Altos Teores	Concentração	pH	Limiar
Água	rio São João	13,73mg/l	7,9	CONAMA (1986) 1,4mg/l
Sedimentos	rio Macaé	953ppm	6,7	-
	rio São Vicente (afluente do rio Muriaé)	803ppm	5,7	
	rios Inhomirim e Guapi-Açu (Baía de Guanabara)	787ppm 762ppm	6,3 6,5	

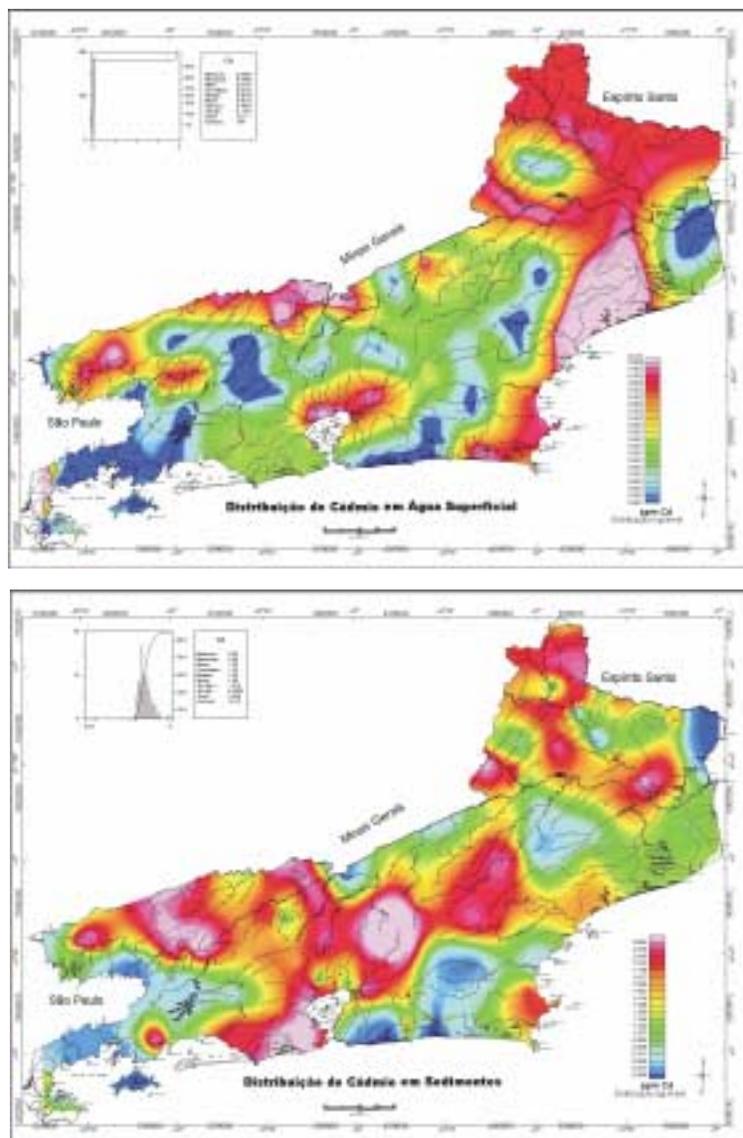


Figura 5 – Distribuição de cádmio em água superficial e sedimentos.

Tabela 7 – Concentração de cádmio em água superficial e sedimentos (figura 5).

Meio Amostrado	Pontos com Altos Teores	Concentração	pH	Limiar
Água	rio Piabanha (Areal)	0,007mg/l	6,9	CONAMA (1986) 0,001mg/l
	rio Paquequer (Carmo)	0,006mg/l	6,6	
	rios da Prata e Macabu (Lagoa Feia)	0,004mg/l 0,006mg/l	5,6 5,6	
	rio Ubá (Paty de Alferes)	0,003mg/l	7,8	
Sedimentos	rio Guapi-Açu (Baía de Guanabara)	8,99ppm	6,5	-
	rio dos Frades (Teresópolis)	6,60ppm	6,9	
	rio Ipiabas (Barra do Pirai)	4,03ppm	7,4	

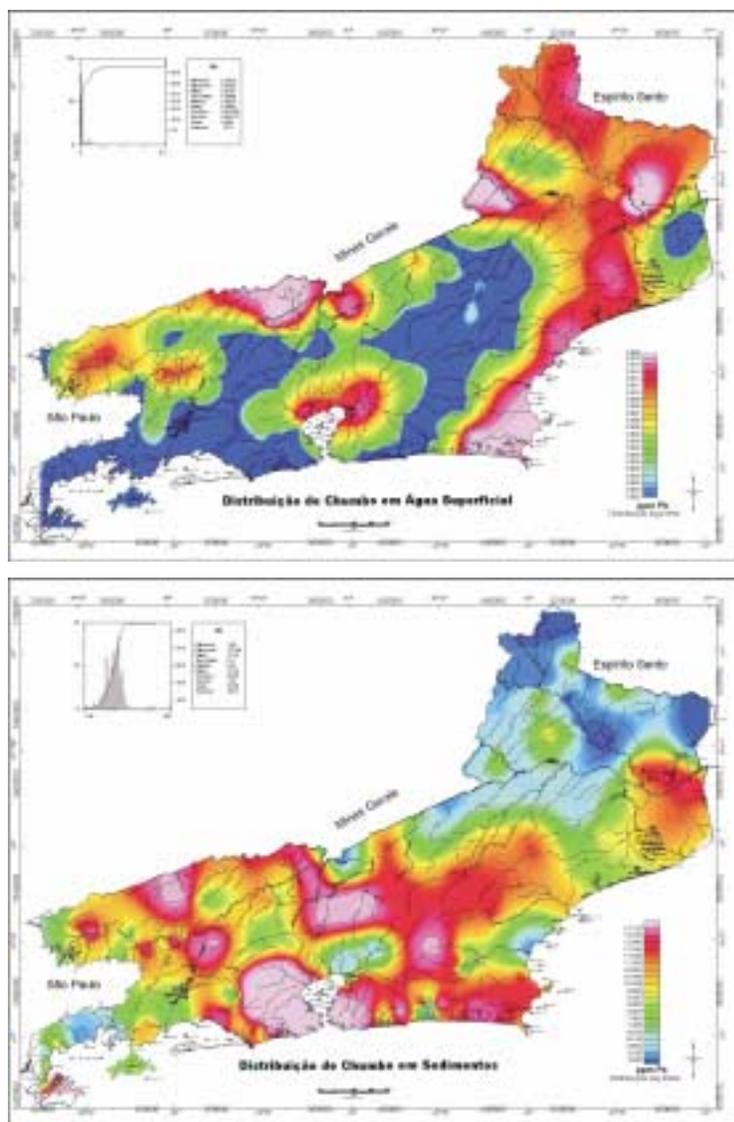


Figura 6 – Distribuição de chumbo em água superficial e sedimentos.

Tabela 8 – Concentração de chumbo em água superficial e sedimentos (figura 6).

Meio Ambiente	Pontos com Altos Teores	Concentração	pH	Limiar
Água	rio Valão da Onça (afluente do rio Muriaé)	0,30mg/l	6,5	CONAMA (1986) 0,03mg/l
	rios Pomba e Bom Jardim (Noroeste Fluminense)	0,076mg/l 0,054mg/l	6,6 7,0	
	ribeirão do Limão (Aruama)	0,04mg/l	6,9	
	rios Ubá, Mingu e Santa Isabel (afuentes do rio Paraíba do Sul)	0,045mg/l 0,050mg/l 0,040mg/l	7,8 7,0 7,0	
Sedimentos	rios Pavuna, Sarapuí e São João de Meriti (Baía de Guanabara)	318,9ppm 127,7ppm 84,70ppm	5,5 6,9 4,0	Prater & Anderson (1977) 40ppm

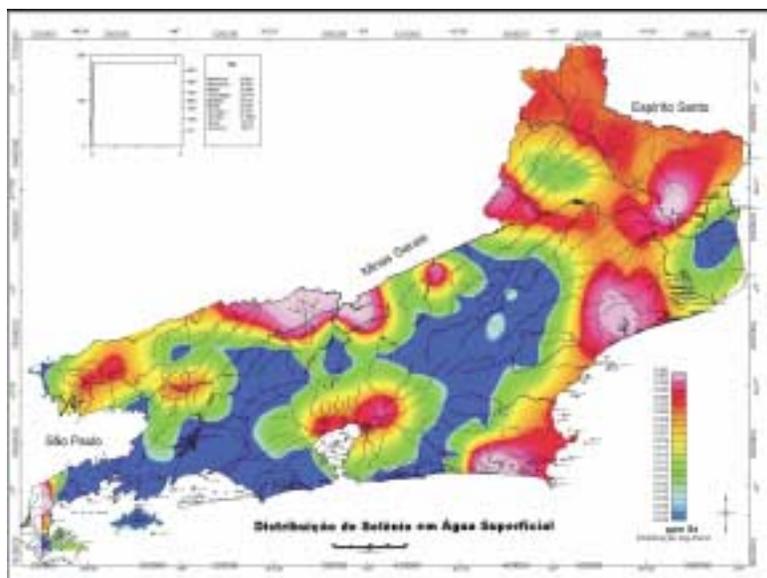


Figura 7 – Distribuição de selênio em água superficial e sedimentos.

Tabela 9 – Concentração de selênio em água superficial (figura 7).

Meio Amostrado	Pontos com Altos Teores	Concentração	pH	Limiar
Água	rio Guarai (Baía de Guanabara), córrego Bom Jardim (Santo Antônio de Pádua); rios Pomba (noroeste fluminense), Ubá (Paty de Alferes) e Manoel Pereira (Rio das Flores)	0,05mg/l	5,9 7,0 6,6 7,8 6,9	CONAMA (1986) 0,01mg/l
	rio Macabu (Lagoa Feia), ribeirão do Limão e rio Ibicuíba (Araruama); rios Paquequer (Carmo), Matozinho, Mingu e córrego Santa Isabel (Paraíba do Sul) e rio das Flores (Manoel Duarte)	0,06mg/l	5,6 6,9 6,9 6,6 7,1 7,0 7,0 7,2	
	rios Calçado e Piabanha (Areal) e Preto (São José do Rio Preto)	0,07mg/l	7,3 6,9 6,2	
	rio Valão da Onça (Sapucaia, afluente do rio Muriaé)	0,17mg/l	6,5	
Sedimentos	Não foi realizada análise de Se em sedimentos.	–	–	–

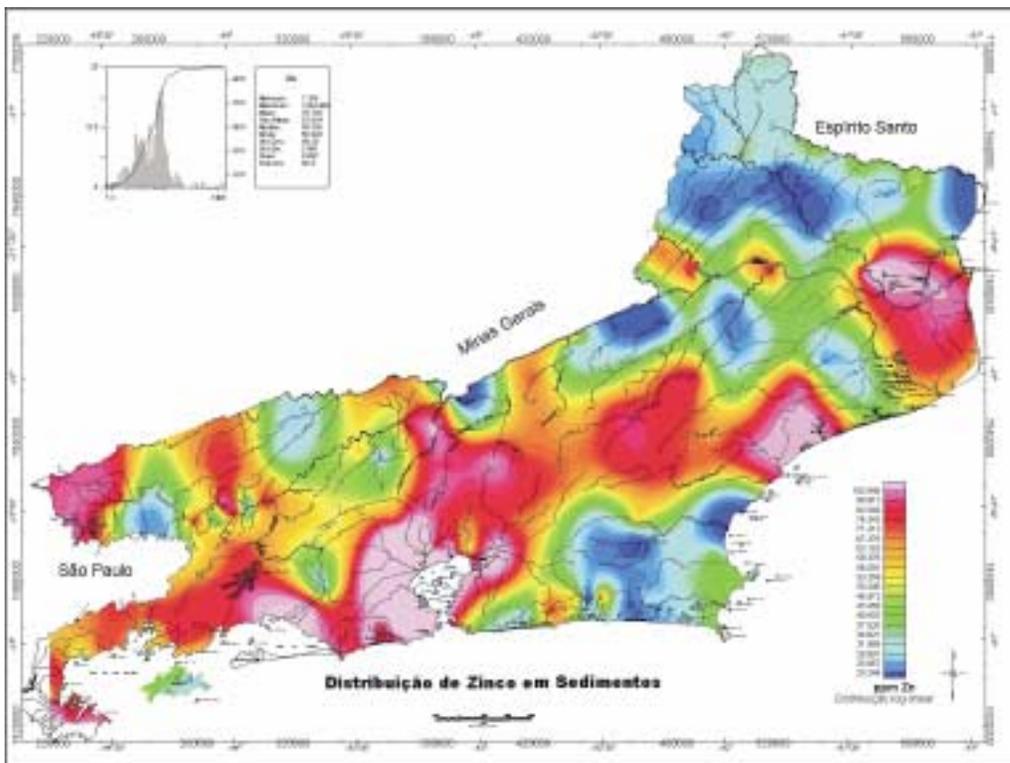
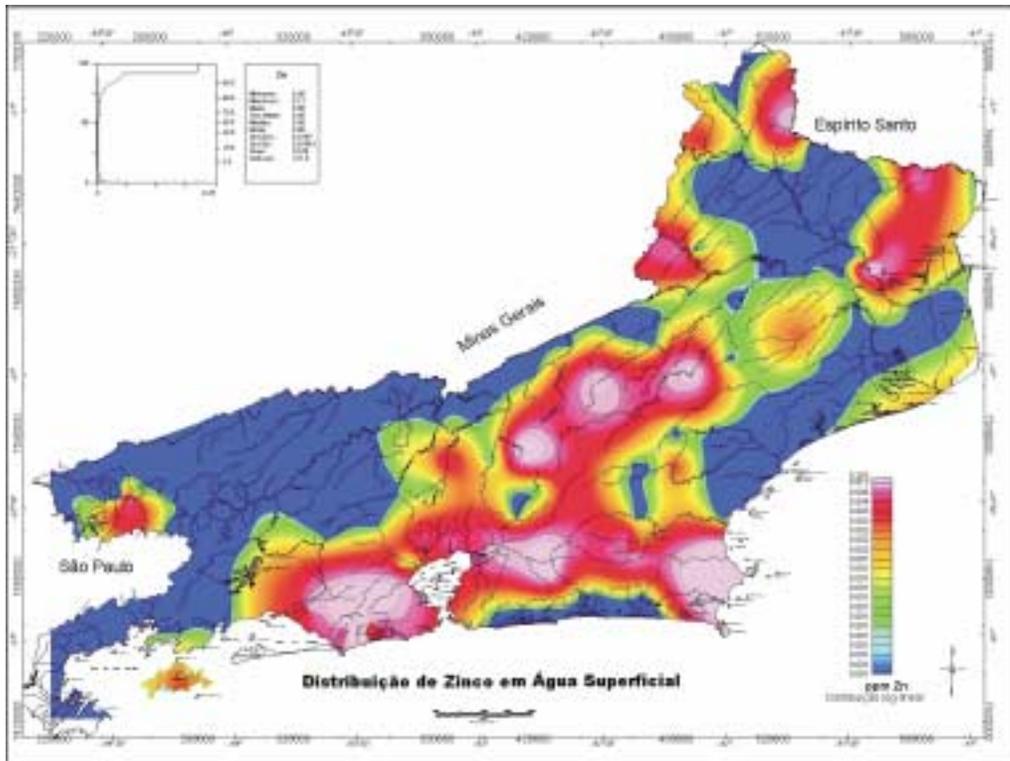


Figura 8 – Distribuição de zinco em água superficial e sedimentos.

Tabela 10 – Concentração de zinco em água superficial e sedimentos (figura 8).

Meio Amostrado	Pontos com Altos Teores	Concentração	pH	Limiar
Água	rio Morto (Lagoa de Jacarepaguá)	0,213mg/l	7,1	CONAMA (1986) 0,18mg/l
Sedimentos	63 amostras apresentaram teores acima do permitido para sedimentos: - rios contribuintes das baías da Ilha Grande e de Mangaratiba; - lagoas de Saquarema, Jacarepaguá e Guarapina; - afluentes do rio Paraíba do Sul (entre Paraíba do Sul e Resende)	70 a 100ppm	6,0 a 7,5	Prater & Anderson (1977) 70ppm
	rios contribuintes da Baía de Guanabara (da Guarda, Guandu, Sarapuí, Canal do Taquara, Guaraí, Caceribu, Suruí e Inhomirim)	100 a 176ppm	5,9 a 7,1	
	rio Macaé	121ppm	6,7	
	rio Valão da Onça (Sapucaia, afluente do rio Muriaé)	169ppm	6,5	
	rios São João de Meriti, Saracuruna, Pavuna e Iguaçu (contribuintes da Baía de Guanabara)	204ppm 392ppm 516ppm 1.244ppm	4,0 6,2 5,5 6,7	

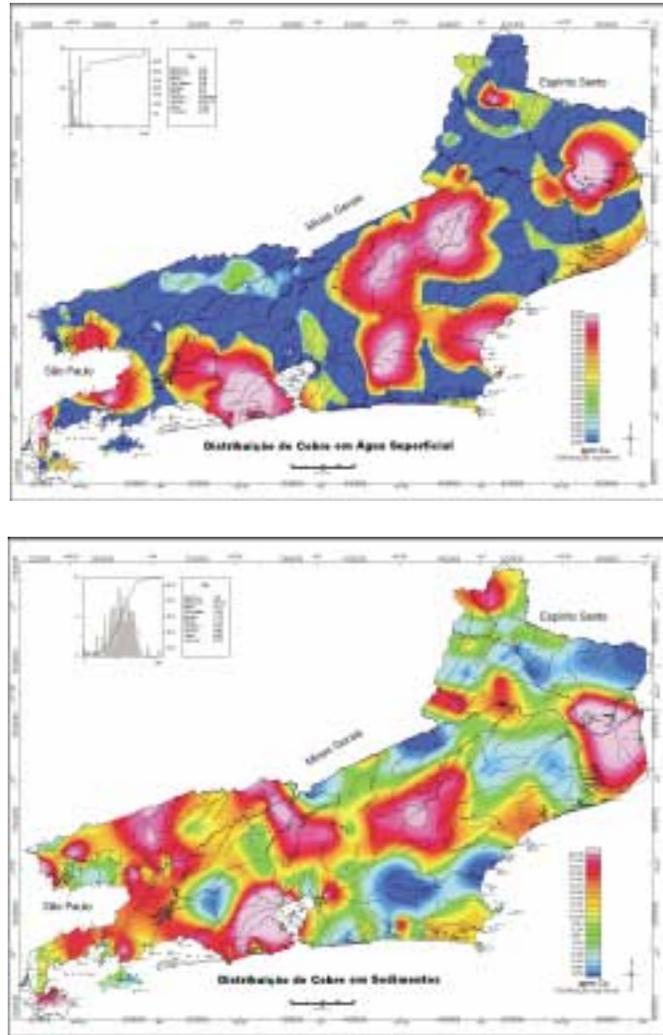


Figura 9 – Distribuição de cobre em água superficial e sedimentos.

Tabela 11 – Concentração de cobre em água superficial e sedimentos (figura 9).

Meio Amostrado	Pontos com Altos Teores	Concentração	pH	Limiar
Água	As concentrações de cobre ficaram abaixo do limiar da CONAMA (1986)	<0,02mg/l	-	CONAMA (1986) 0,18mg/l
Sedimentos	rio Seco (Lagoa de Saquarema)	32,08ppm	6,7	Prater & Anderson (1977) 25ppm
	rio do Salto (Itatiaia)	32,10ppm	7,5	
	rio Paraíba do Sul (Campos)	33,50ppm	7,8	
	rio Barra Mansa (Barra Mansa)	33,94ppm	6,9	
	rio Valão da Onça (Sapucaia, afluente do rio Muriaé)	46,49ppm	6,5	
	rios São João de Meriti e Guaraí, Iguaçú e Sarapuí (contribuintes da Baía de Guanabara)	58,1ppm 59,1ppm 127,4ppm 158ppm	4,0 5,9 6,7 6,9	

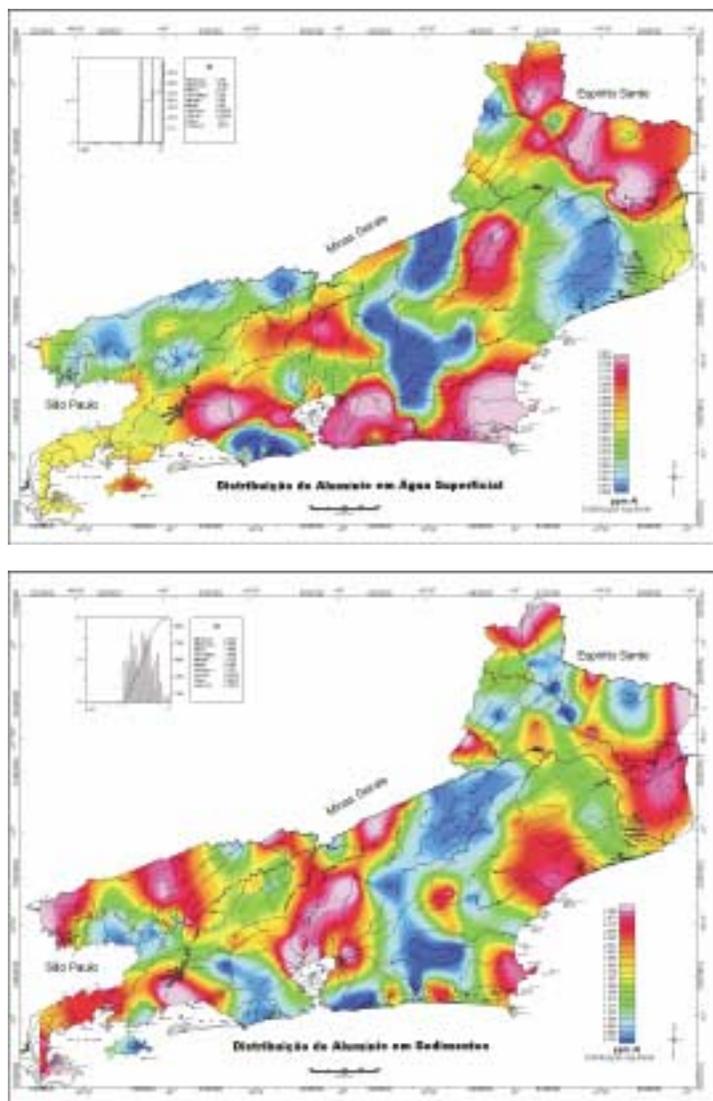


Figura 10 – Distribuição de alumínio em água superficial e sedimentos.

Tabela 12 – Concentração de alumínio em água superficial e sedimentos (figura 10).

Meio Amostrado	Pontos com Altos Teores	Concentração	pH	Limiar
Água	32 amostras apresentaram teores > 0,1mg/l, sendo que se podem destacar: cor. Liberdade (afluente do rio Itabapoana) rio Una (Tamoios) rio Valão da Onça (Sapucaia, afluente do rio Muriaé)	1,02mg/l 3,86mg/l 10,68mg/l	6,8 4,0 6,5	CONAMA (1986) 0,1mg/l
Sedimentos	As amostras apresentam baixos teores de Al.	0,22ppm a 6,5ppm	–	–

Antropicamente, altos teores de sulfatos em água originam-se de aglomerados urbanos e industriais. Naturalmente, provêm de sulfetos presentes nas rochas.

Cloretos

Observa-se que oito amostras de água superficial mostraram teores acima do limiar da CONAMA: 250mg/l. Na maioria dos casos, esses altos teores de cloretos na água parecem ser devidos à conta-

minação natural, em virtude da intrusão da água do mar. Porém, os rios Valão da Onça (afluente do rio Muriaé) e Pião (afluente do rio Itabapoana), na região norte-noroeste do estado, mostram concentrações de 108,91mg/l e 348,18mg/l, respectivamente, evidenciando contaminação antrópica, proveniente de esgotos sanitários ou industriais e/ou dejetos de animais e/ou através do uso de pesticidas clorados, o que pode causar corrosão em tubulações de aço e de alumínio, além de alterar o sabor da água.

7

CONCLUSÕES

As áreas do Estado do Rio de Janeiro que mostraram anomalias dos elementos químicos nas águas superficiais e nos sedimentos de corrente são regiões que devem ser melhor estudadas por equipes multidisciplinares, porque refletem a composição do substrato rochoso ou identificam possibilidades de contaminação antrópica, o que tem aplicações diretas no planejamento agrícola e na indústria mineral.

Como exemplo, citam-se os resultados obtidos para chumbo, cádmio e selênio, em água e sedimentos, que mostraram padrões anômalos, o que sugere estudos específicos pela Secretaria de Saúde Pública do Estado do Rio de Janeiro. Os resultados encontrados para cobre e zinco são de utilidade para os agrônomos, em estudos de fertilidade dos solos e produtividade agrícola. Também, os teores de ouro encontrados nos sedimentos de corrente devem ser melhor investigados visando à prospecção mineral.

Dos estudos realizados, constata-se ainda:

1. As distribuições dos elementos químicos na água e nos sedimentos seguem padrões diferentes, mostrando que diversos processos devem es-

tar atuando na dinâmica dos íons dissolvidos nas águas superficiais. Dentre esses processos, podem-se citar a adsorção ao sedimento, liberação de formas adsorvidas, diluição das concentrações de elementos ligados a aporte de esgotos, dentre outros. O uso do solo e a sazonalidade de suas práticas parecem ser fatores de grande importância para a dispersão dos elementos químicos nos corpos hídricos.

Sabe-se que a dispersão dos elementos químicos depende, principalmente, da mobilidade relativa de cada elemento nas condições físico-químicas do ambiente.

Segundo Levinson (1974), o pH é o mais importante fator controlador da mobilidade dos elementos na maioria dos ambientes e, também, é um dos mecanismos pelo qual os elementos-traço se acumulam nos sedimentos de corrente. Elementos metálicos são solúveis somente em soluções ácidas e tendem a se precipitar como hidróxidos, com o aumento do pH, como por exemplo cobre, chumbo e zinco.

Os elementos muito pouco móveis tendem a permanecer junto a sua fonte, enquanto os elementos móveis tendem a se afastar, como carga em solução nas águas superficiais. Nesse caso, as chances de formarem precipitados são elevadas e a mobilidade efetiva será menor (Licht, 1998).

Além do pH, a mobilidade dos elementos nas águas superficiais é influenciada pela matéria orgânica e minerais argilosos transportados pelos rios. A energia caudal do rio apresenta alta capacidade de transporte de sedimentos em suspensão e por arraste de fundo, dificultando os processos de deposição de sedimentos. Em regiões de planície, altas concentrações de elementos químicos em sedimentos podem ser atribuídas à decantação dos sólidos suspensos, provocada pela dissipação de parte da energia de transporte das águas do rio.

No estado do Rio de Janeiro, o pH das amostras de água superficial ficaram, freqüentemente, entre 5 e 8. As mobilidades relativas dos elementos estudados em relação aos valores de pH nos pontos de amostragem, segundo Rose *et al.* (1979), são apresentadas no quadro 4.

A partir dos valores de pH e das concentrações dos elementos estudados, constantes nas tabelas 5 a 12 e levando em consideração os dados apresentados na literatura citada, observa-se que são necessários estudos mais detalhados, por elemento e por região, para definição das fontes, mecanismos de transporte e deposição da carga transportada pelos rios.

Esses estudos devem levar em conta os valores de pH, os teores de minerais argilosos e matéria orgânica presentes na água e nos sedimentos de corrente, bem como relacionar a energia de transporte dos materiais carregados pelas águas superficiais.

2. Neste estudo, identificaram-se áreas que podem ser consideradas como impactadas antropicamente. Dentre elas citamos:

- região entorno da Baía de Guanabara;

a região do médio rio Paraíba do Sul, compreendida entre Barra do Piraí e Resende;

A região norte-noroeste do estado, confirmando o citado por Bizerril *et al.* (1998) e Faria *et al.* (1997);

a região da Baía de Sepetiba, onde foram encontradas altas concentrações de cobre, zinco e chumbo, na água e nos sedimentos de corrente. Segundo Filho *et al.* (1995), essa região encontra-se impactada por metais pesados, devido às atividades industriais. A região abriga um importante pólo industrial, com cerca de 400 indústrias, tais como fundições, plantas de alumínio e beneficiadora de zinco e cádmio.

Dessas regiões, talvez a que menos atenção tenha recebido nesses últimos anos seja a Norte-Noroeste Fluminense. Podemos avaliar que o rio Valão da Onça, afluente do rio Muriaé, é o mais poluído do estado do Rio de Janeiro. Em suas águas foram encontradas altas concentrações dos principais elementos químicos, inclusive chumbo e cádmio.

Foi elaborado o mapa-síntese *Mapa de Geoquímica Ambiental do Rio de Janeiro: Anomalias Geoquímicas – Sedimentos e Água* (em anexo), na escala 1:500.000, no qual estão locados os pontos de coleta das amostras de água e sedimentos de corrente que apresentaram concentrações de alumínio, arsênio, cádmio, chumbo, cobre, flúor, selênio e zinco acima dos limiares definidos pela Resolução CONAMA nº 20/86, para água e para sedimentos (Prater & Anderson, 1977).

A partir desses fatos, é importante proceder a um monitoramento geoquímico na Região Norte-Noroeste Fluminense, com a finalidade de estudar as fontes das altas concentrações dos elementos químicos encontrados.

Quadro 4 – Mobilidade dos elementos estudados em relação às medições de pH.

	Condições Ambientais
Mobilidade Relativa	pH 5 – 8
moderadamente móveis	F, Zn, As
pouco móveis	Pb, Cu, Cd
muito pouco móveis	Al, Au, Se

8

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O levantamento geoquímico para o Projeto Rio de Janeiro mostrou a importância e o poder de discriminação dos dados geoquímicos como suporte aos estudos geológicos e prospectivos, como também aos estudos multidisciplinares, com aplicações em outras áreas das geociências e na saúde pública, agindo, ainda, como suporte na proposição de soluções.

Como o Estado do Rio de Janeiro concentra suas indústrias químicas, metalúrgicas, de alimentos, de papel e celulose nos municípios de Barra Mansa, Resende e Volta Redonda, que geram uma grande variedade de produtos, representam áreas críticas do ponto de vista ambiental. Na região Norte Fluminense, existem inúmeras indústrias, porém, estas se concentram mais na área da produção de álcool, açúcar e bebidas. Na Região Noroeste, ocorre o

desenvolvimento da agricultura e pecuária (Bizerril et al., 1998). Essas atividades humanas contribuem para a degradação ambiental, quando são conduzidas sem a devida atenção ao meio ambiente e suas conseqüências na saúde do próprio homem.

Com as informações geoquímicas, tanto em mapas, quanto sob a forma de base de dados e relatório, espera-se disponibilizar, para toda a comunidade científica e política do Estado do Rio de Janeiro, informações úteis, que possam apontar e/ou sugerir e/ou alertar sobre a ocorrência de problemas e soluções referentes à mineração, contaminação ambiental, problemas de saúde na população humana e nos animais, que poderão ser utilizadas em pesquisas em diversas áreas, tais como geologia, meio ambiente, agricultura e saúde pública, dentre outras.

9

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIZERRIL, C.R.S.F.; ARAÚJO, L.M.N.; TOSIN, P.C. 1998. *Contribuição ao Conhecimento da Bacia do Rio Paraíba do Sul*. Coletânea de Estudos. Rio de Janeiro : ANNEL, 128p.
- BOLVIKEN, B. *et al.* 1996. Regional Geochemical Mapping of Western Europe Towards the Year 2000. *Journal of Geochemical Exploration*, 56, p. 141-146.
- BOWEN, A.J.M. 1979. *Environmental Chemistry of Elements*. New York : Academic Press, 331p.
- CASTRO, A.C. & BEISL, C.H. 1993. Ocorrência de Ouro nas Redondezas do Porto do Tuta, Rio Paraíba do Sul, Estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais. 3º SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, SBG, RJ, p. 201-207.
- CASTRO, A.C. & ROSÁRIO, F.F. 1994. Estudos Preliminares sobre a Ocorrência de Ouro no Rio Paraíba do Sul, nas Proximidades do Porto do Tuta (RJ/MG). 38º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, v. 2, SBG, p. 151-153.
- CETESB. 1995. Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo. Relatórios CETESB, São Paulo, p. 243-248. COMISSÃO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA (1986) Resolução nº 20, Brasília, D.O.U. de 30.06.1986, p. 72-89.
- DARNLEY, A.G. 1993. International Geochemical Mapping – Project 259. USGS/UNESCO, Newsletter, 5, 14p.
- DARNLEY, A.G. *et al.* 1995. A Global Geochemical Database for Environmental and Resource Management – IGCP Project 259. Recommendation for International Geochemical Mapping. UNESCO Publishing, 122p.
- DEVOS, W.; EBBING, J.; HINDEL, R.; SCHALICH, J.; SWENNEN, R. & VAN KEER, I. 1996. Geochemical Mapping Based on Overbank Sediment in Heavily Industrialised Border Area of Belgium, Germany and the Netherlands. *Journal of Geochemical Exploration*, 56(2), p. 91-104.
- FARIA, M.M.; SMITH, B.A.; SRNITH, B.J.; MCALISTE, J.J. 1997. Distribuição de Cu, Pb e Zn nos Sedimentos Recentes da Porção NE da Baía de Guanabara e o Aporte dos Rios Macacu e Caceribu. VI CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, *Anais...*, v. 1, Salvador, SBGq, 1997, p. 135-138.
- FILHO, L.F.C.M.; FILHO, S.E.V.; WASSERMAN, J.C.; PATCHINEELAM, S.R. 1995. Distribuição de Metais Pesados nos Sedimentos de Fundo da Baía de Sepetiba – RJ. V CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA e III CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, Niterói : SBGq, RJ, CD-ROM.

- FLETCHER, W.K. 1997. Stream Sediments Geochemistry in Today's Exploration World. Proceedings of Exploration 97: Fourth Decennial International Conference on Mineral Explorations. Ed. G. Gubins, p. 249-260.
- FONSECA, M.J.G. 1998. Texto Explicativo do Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro : DNPM, 141p.
- HINDEL, R.; SCHALICH, W.; DE VOS, J.E.; SWENNEN, R & VAN KEER, I. 1996. Vertical Distribution of Elements in Overbank Sediments Profiles from Belgium, Germany and Netherlands. *Journal of Geochemical Exploration*, 56(2), p. 105-122.
- LEVINSON, A.A. 1974. Introduction to Exploration Geochemistry. Canadá : Applied Publishing, 612p.
- LICHT, O.A.B. 1998. Prospecção Geoquímica: Princípios, Técnicas e Métodos. Rio de Janeiro: CPRM, 236p.
- LINS, C.A.C. 1994. Projeto Piloto no Brasil para o Mapeamento Geoquímico Internacional – IGCP-360 (Rede de Amostras Geoquímicas Referenciais), 3p.
- MANSUR, K.L. 1988. Projeto Ouro no Rio de Janeiro. Dep. Rec. Min., Niterói, Rel. Final (inédito).
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE – OMS. 1986. Elementos-Traço na Nutrição e Saúde Humanas. São Paulo : Ed. Roca, 297p.
- OTTESEN, R.T. *et al.* 1996. Chemical Time Bombs in Western Europe. NGU Annual Report 1991, p. 18-19. *In*: Bolviken, B. *et al.* Regional Geochemical Mapping of Western Europe Towards the Year 2000. *JGE* 56, p. 141-146.
- PRATER, B. & ANDERSON, M.A.A. 1977. 96-hour Biossays of Otter Creek. *Journ. Water Pollution Control Federation*, 49, p. 2099-2106.
- PEREIRA, R.M. & SANTOS, R.A. 1994. Repartição do Ouro em parte do SE do Brasil. 38^o CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, v. 2, SBG, p. 208-209.
- ROSE, A.W.; HAWKES, H.E.; WEBB, J.S. 1979. Geochemistry in Mineral Exploration. New York : Academic Press, 2. ed., 657p.
- XIE, X. & CHENG, H. 1997. The Suitability of Floodplain Sediment as a Global Sampling Medium: Evidence from China. *Journal of Geochemical Exploration*, 58, p. 51-62.

ANEXO

Departamento de Apoio Técnico

Giuseppina Giaquinto de Araújo

Divisão de Cartografia

Paulo Roberto Macedo Bastos

Divisão de Editoração Geral

Maria da Conceição C. Jinho

EQUIPES DE PRODUÇÃO

Cartografia Digital

Afonso Lobo	José Pacheco Rabelo
Carlos Alberto da Silva Copolillo	Julimar de Araújo
Carlos Alberto Ramos	Leila Maria Rosa de Alcantara
Elaine de Souza Cerdeira	Luiz Guilherme Araújo Frazão
Elcio Rosa de Lima	Marco Antonio de Souza
Hélio Tomassini de O. Filho	Maria José Cabral Cezar
Ivan Soares dos Santos	Maria Luiza Poucinho
Ivanilde Muniz Caetano	Marília Santos Salinas do Rosário
João Batista Silva dos Santos	Paulo José da Costa Zilves
João Bosco de Azevedo	Regina de Sousa Ribeiro
João Carlos de Souza Albuquerque	Risonaldo Pereira da Silva
Jorge de Vasconcelos Oliveira	Sueli Mendes Sathler
José Barbosa de Souza	Valter Alvarenga Barradas
José Carlos Ferreira da Silva	Wilhelm Petter de Freire Bernard
José de Arimathéia dos Santos	

Editoração

Antonio Lagarde	Marília Asfura Turano
Edalair Rizzo	Pedro da Silva
Jean Pierre Souza Cruz	Sandro José Castro
José Luiz Coelho	Sergio Artur Giaquinto
Laura Maria Rigoni Dias	

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE MINAS E METALURGIA

<i>Ministro de Estado</i>	Rodolpho Tourinho Neto
<i>Secretário Executivo</i>	Helio Vitor Ramos Filho
<i>Secretário de Minas e Metalurgia</i>	Luciano de Freitas Borges

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM
Serviço Geológico do Brasil

<i>Diretor-Presidente</i>	Umberto Raimundo Costa
<i>Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial</i>	Thales de Queiroz Sampaio
<i>Diretor de Geologia e Recursos Minerais</i>	Luiz Augusto Bizzi
<i>Diretor de Administração e Finanças</i>	José de Sampaio Portela Nunes
<i>Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento</i>	Paulo Antonio Carneiro Dias
<i>Chefe do Departamento de Geologia</i>	Sabino Orlando C. Loguércio

SUPERINTENDÊNCIAS REGIONAIS

<i>Superintendente de Belém</i>	Xafi da Silva Jorge João
<i>Superintendente de Belo Horizonte</i>	Osvaldo Castanheira
<i>Superintendente de Goiânia</i>	Mário de Carvalho
<i>Superintendente de Manaus</i>	Fernando Pereira de Carvalho
<i>Superintendente de Porto Alegre</i>	Cladis Antonio Presotto
<i>Superintendente de Recife</i>	Marcelo Soares Bezerra
<i>Superintendente de Salvador</i>	José Carlos Vieira Gonçalves da Silva
<i>Superintendente de São Paulo</i>	José Carlos Garcia Ferreira
<i>Chefe da Residência de Fortaleza</i>	Clodionor Carvalho de Araújo
<i>Chefe da Residência de Porto Velho</i>	Rommel da Silva Sousa

PROJETO RIO DE JANEIRO

MAPA DE GEOQUÍMICA AMBIENTAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO



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 Geologia e Recursos Minerais
 Diretor
Luiz Augusto Bizzi

Anomalias Geoquímicas Sedimentos de Corrente e Água

SEDIMENTOS DE CORRENTE		µg/g						
Elementos	A% ¹	As	Cd	Cu	Pb	F	Zn	
Limiar	-	0,05	0,001	0,18	0,03	0,01	0,18	1,4
CONAMA, Resolução 20 (1986) - classe II (mg/g)								
Nº CAMPO	RIO	CONCENTRAÇÕES						
AJ001	de Guandu	Zn	168					
AJ002	Guandu	Zn	129					
AJ003	Pau Brasil	Cd	1,58	Pb	127	Zn		
AJ004	Serra	Cd	1,27	Zn	124			
AJ005	Serra	As	0,68	Zn	162			
AJ006	do Taqueara	Zn	176					
AJ007	Serra	Zn	77	F	787			
AJ008	Serra	Zn	116					
AJ009	Guandu	Zn	144					
AJ010	Guapo-Açu	Cd	0,29	Zn	172			
AJ011	São Vicente	F	762					
AJ012	Bom Jardim	As	5,4					
AJ013	do Quilombo	Cd	3,16					
AJ014	Negra	As	6,17					
AJ015	Valle da Onça	As	47,2n	Pb	169			
AJ016	da Prata	As	7,19					
AJ017	Macabu	Zn	121	F	953			
AJ018	Macabu	Zn	79					
AJ019	Mingo	As	5,02	Cd	3,02			
AJ020	Manoel Pereira	As	7,71					
AJ021	Bom Jardim	As	5,79					
AJ022	Serra	As	1,44					
AJ023	Itaipas	Cd	4,03	Zn	79			
AJ024	São Mateus	As	6,42					
AJ025	Cachimbal	Zn	98					
AJ026	de Amazeas	Zn	98					
AJ027	Alambari	As	11,96	Zn	83			
AJ028	Bom Jardim	As	2,7	Zn	85			
AJ029	Sesmaria/Feio	As	8,01	Zn	73			
AJ030	Bom Jardim	Zn	101					
AJ031	Parati/Mirim	Zn	78					
AJ032	São Mateus	Zn	133					
AJ033	Cortico	Zn	114					
AJ034	Petropolis/Açu	Zn	67					
AJ035	Barra Grande	Zn	70					
AJ036	São Roque	Zn	70					
AJ037	Itaipas	As	12,23					
AJ038	Brasão	As	0,2	Zn	74			
AJ039	Barra Mansa	Cd	34	Zn	75			
AJ040	Serra	Cd	32	Zn	84			
AJ041	Preto	Zn	90					
AJ042	Preto	Zn	74					
AJ043	Parati/ do Sul	Zn	92					
AJ044	P. do Sul Campos	Cd	32	Zn	94			
AJ045	São João	Zn	90					
AJ046	Serra	Cd	32	Zn	87			
AJ047	Tinga	As	13,53					
AJ048	Araruama	Zn	99					
AJ049	Araruama	Zn	82					
AJ050	Ingatiba	Zn	77					
AJ051	Ingatiba	Zn	77					
AJ052	S. J. de Meriti	Cd	58	Pb	65	Zn	5	
AJ053	Grande	Pb	119	Zn	204			
AJ054	Grande	Zn	88					
AJ055	Grande	Zn	88					
AJ056	Grande	As	5,4					
AJ057	Petropolis/ Frades	Cd	0,06					
AJ058	Morre	Zn	91					
AJ059	Caldeas	Cd	1,55					
AJ060	Lavras	Zn	80					
AJ061	Matia	Zn	84					
AJ062	Parati/Barra	As	10,74					
AJ063	Sandilho	As	1,96					
AJ064	Fajades	As	8,39					
AJ065	Bonito	As	8,2					
AJ066	Parati	As	8,11					
AJ067	do Secretário	As	8,11					

ÁGUA		µg/l						
Elementos	A% ¹	As	Cd	Cu	Pb	Se	Zn	F
Limiar	0,1	0,05	0,001	0,18	0,03	0,01	0,18	1,4
CONAMA, Resolução 20 (1986) - classe II (mg/l)								
Nº CAMPO	RIO	CONCENTRAÇÕES						
AJ003	Valle Grande	As	0,37					
AJ008	Liberdade	As	1,02					
AJ010	Barra do Prapiranga	As	0,16					
AJ012	Bela Vista	As	0,13					
AJ014	Cariacica	As	0,19					
AJ016	S. Domingos	As	0,32					
AJ018	Valle Grande	As	0,23					
AJ021	do Martinbondo	As	0,24					
AJ025	de S. Luis	As	0,24					
AJ026	Pau Brasil/Bau	As	0,24					
AJ028	Casaca	As	0,24					
AJ038	Quaril	As	0,17	Se	0,05			
AJ044	Bom Jardim	Pb	0,08	Se	0,05			
AJ052	Valle da Onça	As	10,88	Pb	0,30			
AJ056	Macabu	Cd	0,006	Se	0,06			
AJ057	Macabu	Cd	0,006	Se	0,06			
AJ058	São João	As	0,12	F	13,29			
AJ059	de Amazeas	As	3,96					
AJ060	Uma	As	0,14	Pb	0,04			
AJ061	Itaipas ou Sentana	Cd	0,18	Se	0,06			
AJ063	Caçapava	Cd	0,006	Se	0,06			
AJ064	Caçapava	Cd	0,07	Se	0,07			
AJ066	Matanhão	Cd	0,07	Pb	0,04			
AJ068	Uma	Cd	0,05	Pb	0,03			
AJ067	Miranga/Rio Novo	Pb	0,05	Se	0,03			
AJ069	Preto	Cd	0,06					
AJ070	Preto	Cd	0,06					
AJ071	Manoel Pereira	As	0,06					
AJ072	São Mateus	As	0,16					
AJ114	Roncador/M. Grosso	As	0,20					
AJ115	Tinga	As	0,19					
AJ127	S. J. Batista	As	0,18					
AJ128	Grande	As	0,21					
AJ135	Grande	As	0,16					
AJ141	Morre	As	0,21					

- ▲ Anomalia de água
 - Anomalia de sedimentos de corrente
 - ▲ Anomalias de água e sedimentos de corrente
 - Não anomalias de água e sedimentos de corrente
- CAPITAL DO ESTADO
 - CIDADE
 - Vila
 - Estrada pavimentada
 - Estrada sem pavimentação, tráfego permanente
 - Limite interestadual
 - Curso de água
 - Lagoa



Autores:
Gilberto José Machado
Eronilton Moraes Cavalcanti
Fernanda Gonçalves Cunha
Antonio José de A. Ramos

Coordenação:
 Cássio Roberto da Silva

O Projeto Rio de Janeiro consiste em estudos multitemáticos de meio físico realizados através do Programa Informações para Gestão Territorial - GATIE, da Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial do Serviço Geológico do Brasil - CPRM, em parceria com a EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, DREMA - Departamento de Recursos Minerais, CIDE - Centro de Informações e Dados do Rio de Janeiro, SERLA - Superintendência Estadual de Rios e Lagos, EMOP - Empresa de Obras Públicas do Estado do Rio de Janeiro, PUCRJ - Pontifícia Universidade Católica, UFF - Universidade Federal Fluminense, UERJ - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UFRRJ - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, ANEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, RESUB - Rede de Geotecnologia em Águas Subterrâneas, e INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Os estudos foram integrados e representados no Mapa Geoambiental, 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

Edição Cartográfica:
 Divisão de Cartografia - DICART / Departamento de Apoio Técnico - DEPAT
 Chefe da DICART: Paulo Roberto Machado Bastos
 Edição: Wilhelm Peltzer de Freire Bernardi, Afonso Lobo, Valter Avaregnas Barradas e Regina de Sousa Ribeiro
 Digitalização: Ivan Soares dos Santos

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