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, Italva, Barra do Piraí, 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 Piraí, 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.

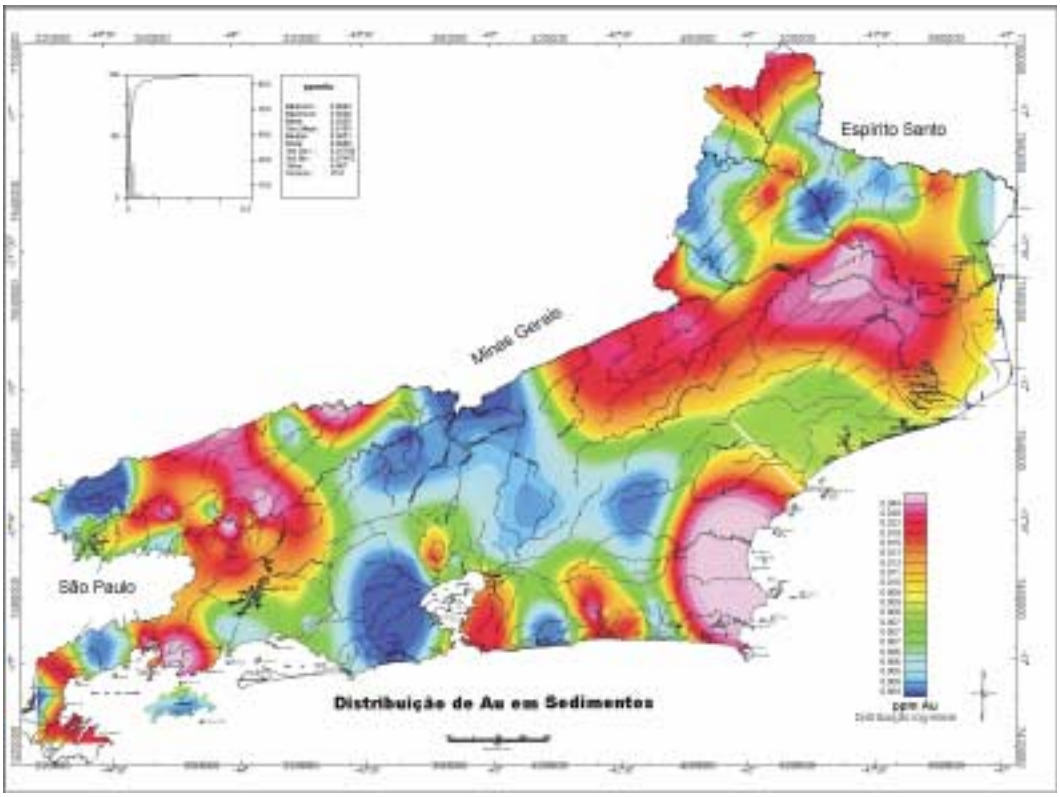


Figura 2 – Distribuição de ouro em sedimentos.

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.

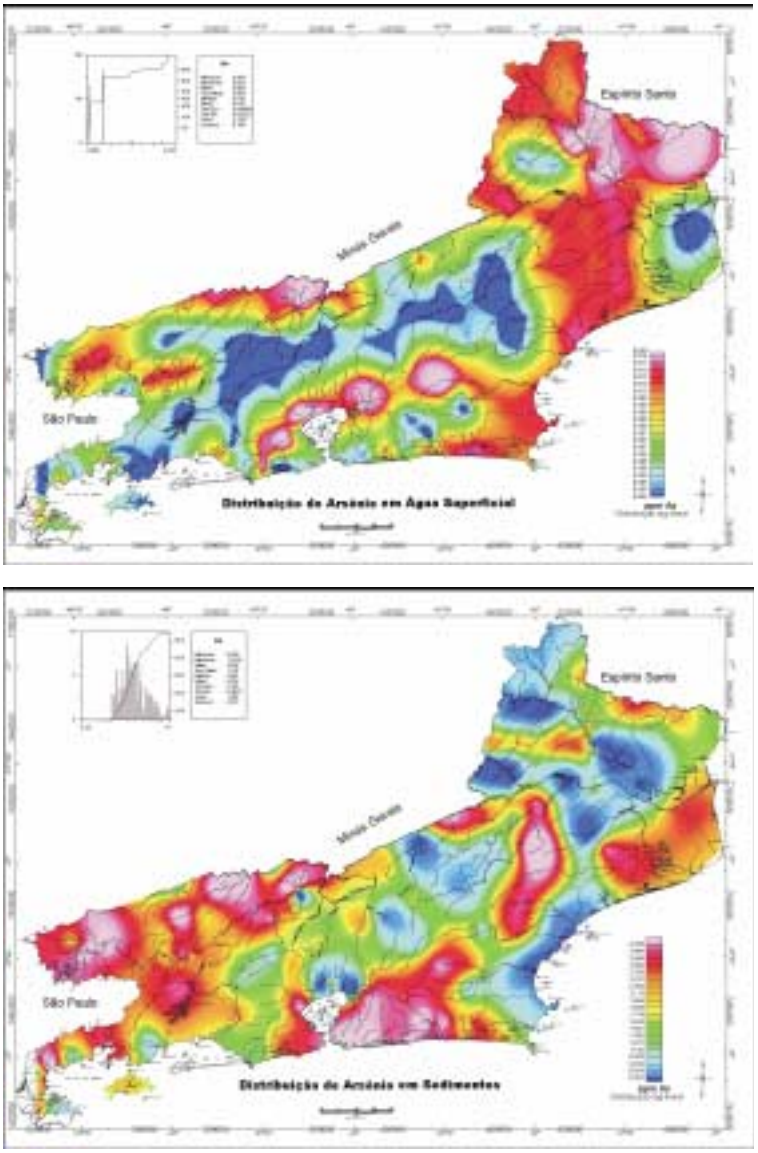


Figura 3 – Distribuição de arsênio em água superficial e sedimentos.

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	

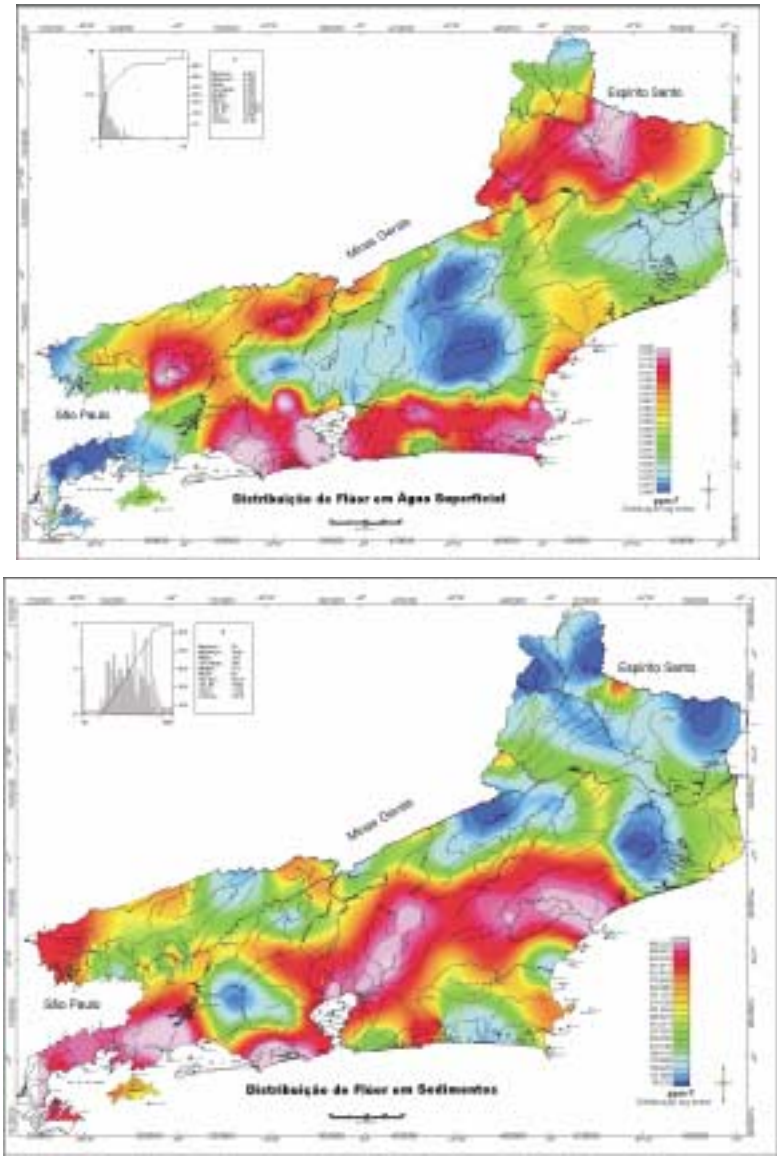


Figura 4 – Distribuição de flúor em água superficial e sedimentos.

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	

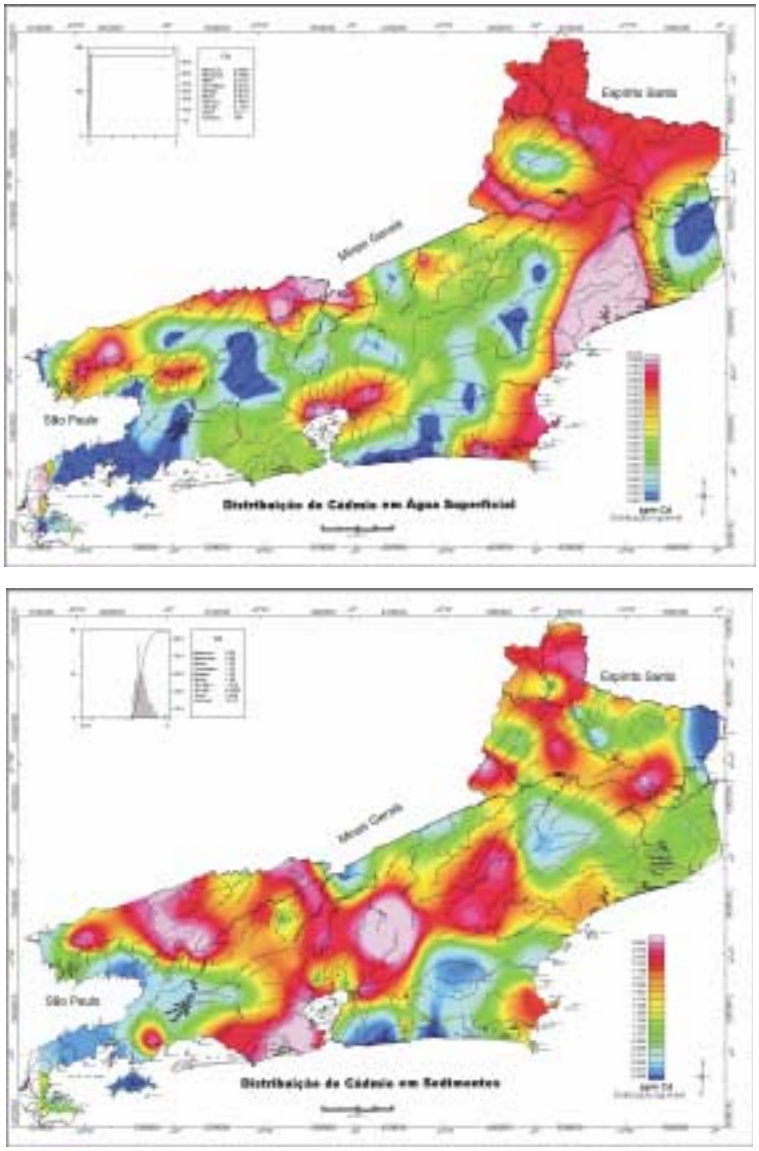


Figura 5 – Distribuição de cádmio em água superficial e sedimentos.

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)
	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	0,001mg/l
	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 Piraí)	4,03ppm	7,4	

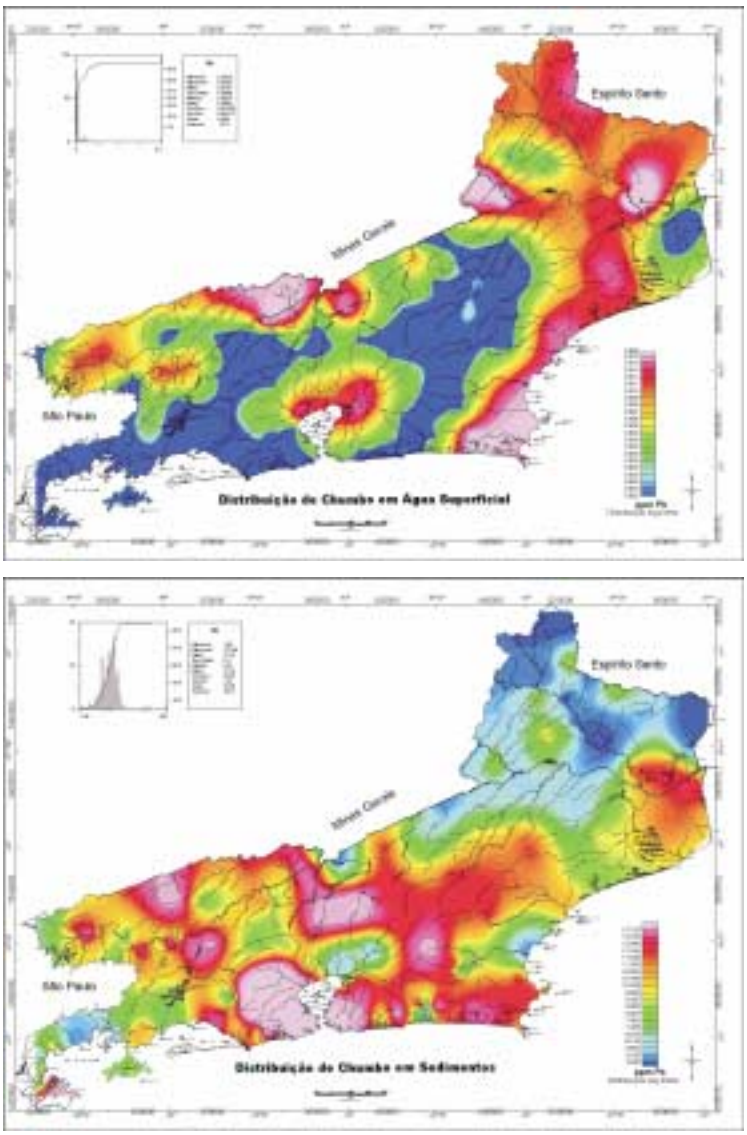


Figura 6 – Distribuição de chumbo em água superficial e sedimentos.

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 (Araruama)	0,04mg/l	6,9	
	rios Ubá, Mingu e Santa Isabel (afluentes 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

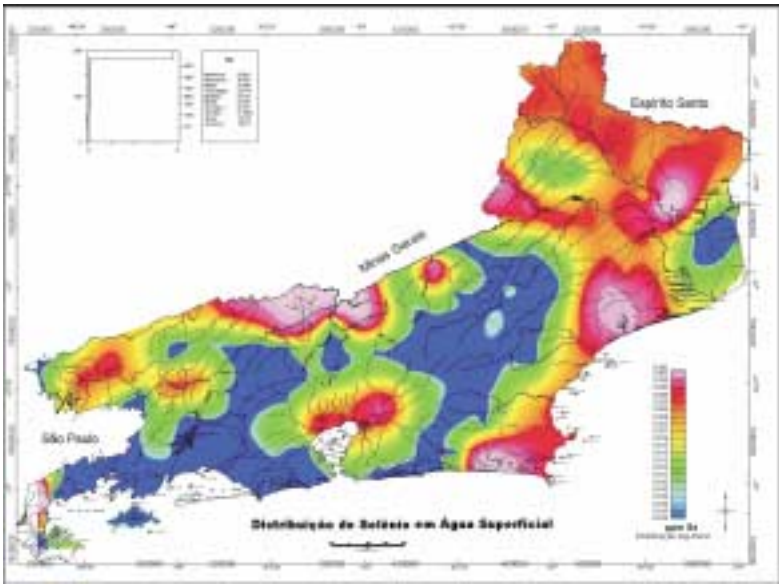
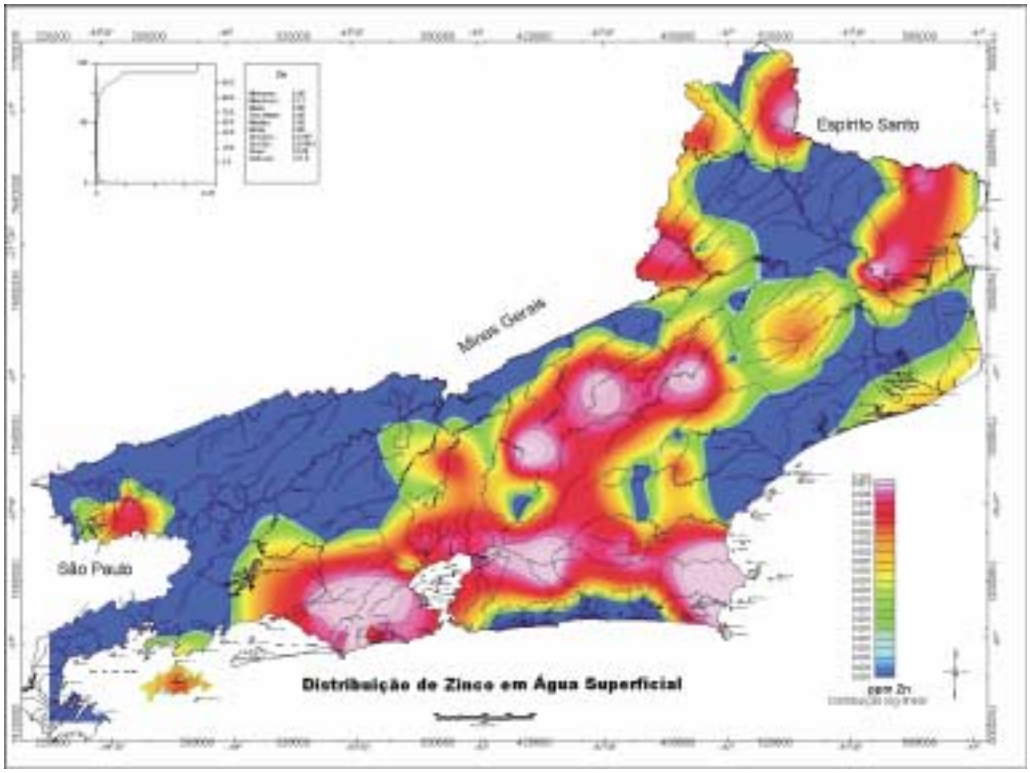


Figura 7 – Distribuição se selênio em água superficial e sedimentos.

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

Meio Amostrado	Pontos com Altos Teores	Concentração	pH	Limiar
Água	rio Guaraí (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.	–	–	–



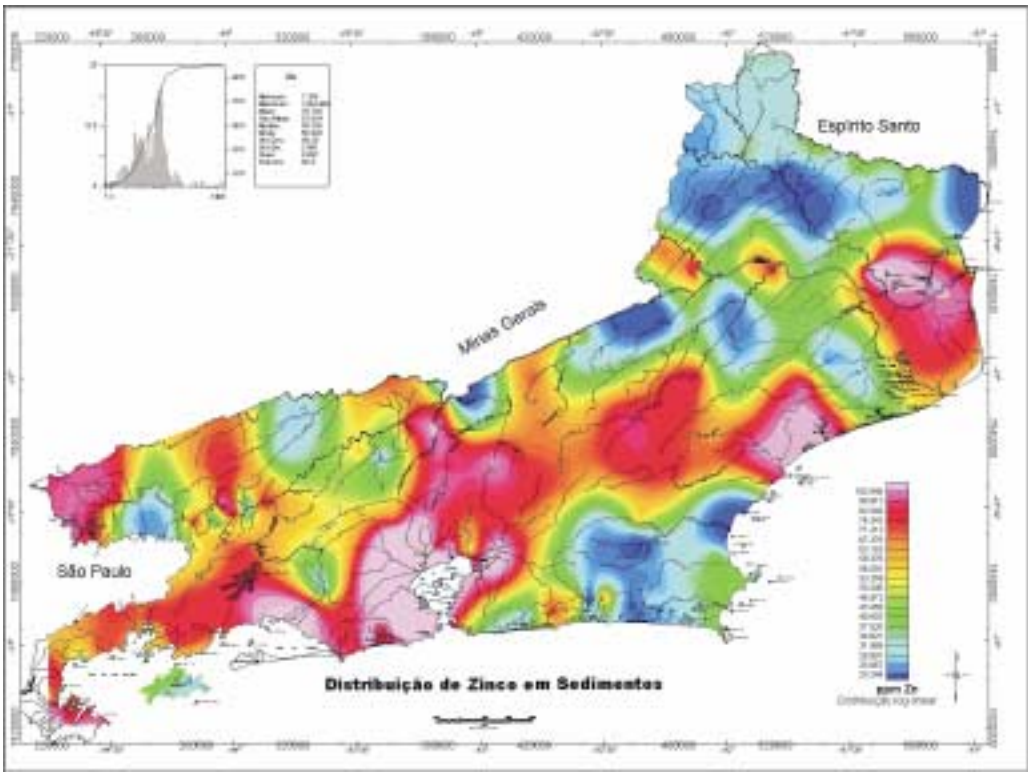


Figura 8 – Distribuição de zinco em água superficial e sedimentos.

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	

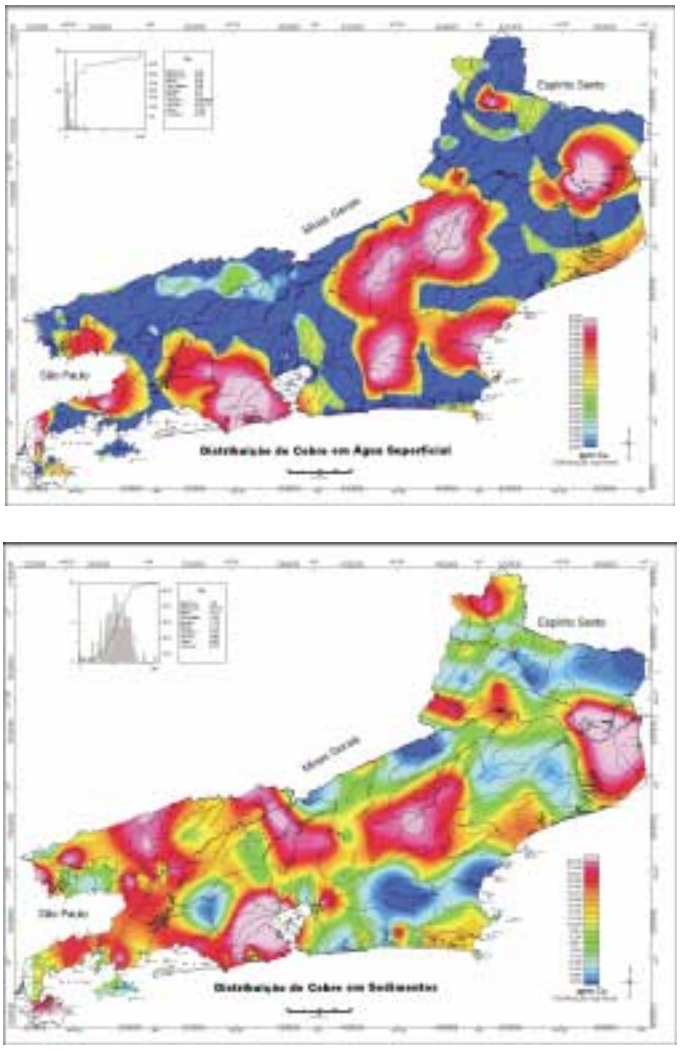


Figura 9 – Distribuição de cobre em água superficial e sedimentos.

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, Iguaçu e Sarapuí (contribuintes da Baía de Guanabara	58,1ppm 59,1ppm 127,4ppm 158ppm	4,0 5,9 6,7 6,9	

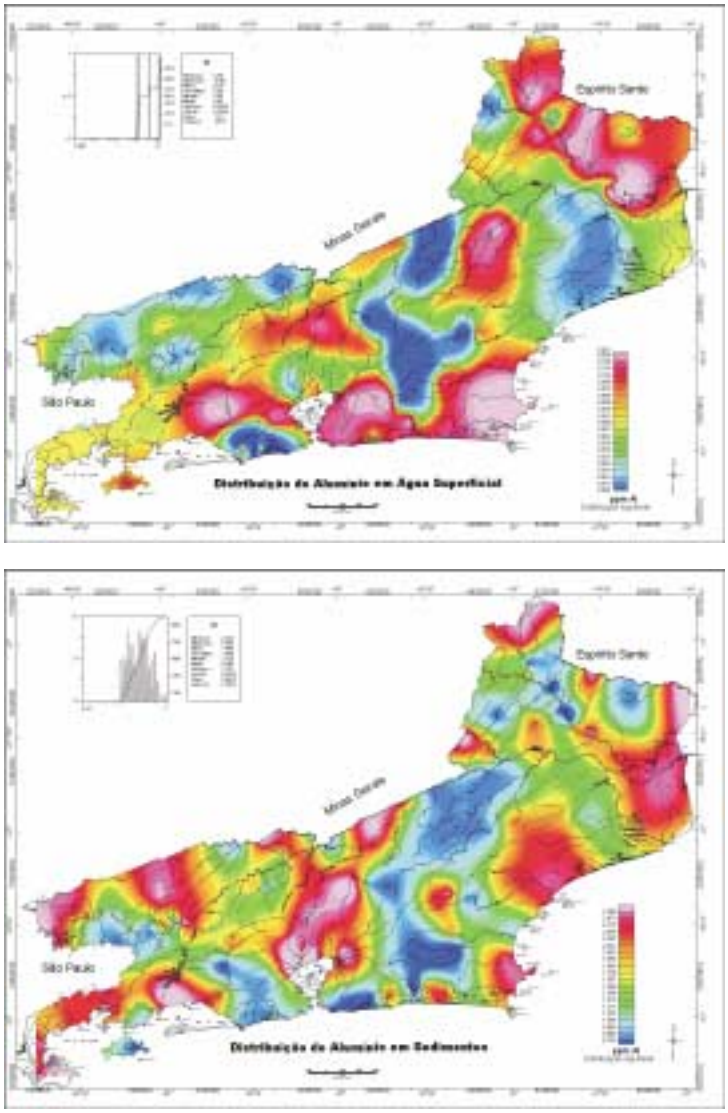


Figura 10 – Distribuição de alumínio em água superficial e sedimentos.

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 contaminação 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.