



**Distribuição e Controle das Fontes de  
Água Mineral com Elementos Raros (Li, V) no Estado do Rio de Janeiro**  
Distribution and Control of Mineral Water  
Sources With Rare Elements in the State of Rio de Janeiro

Ronaldo Mello Pereira; Marcelo dos Santos Salomão & Enrico Campos Pedroso

*Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia, Departamento de Geologia Aplicada,  
Rua São Francisco Xavier, 524, sala 2017A, 20550-013, Maracanã, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

*E-mails: ronaldo.mellouerj@gmail.com; salomao.mss@gmail.com; e\_pedroso@hotmail.com*

Recebido em: 24/01/2018      Aprovado em: 09/03/2018

DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2018\\_1\\_167\\_178](http://dx.doi.org/10.11137/2018_1_167_178)

## Resumo

As fontes de águas minerais encontradas no estado do Rio de Janeiro, de acordo com a proposta aqui apresentada, estão distribuídas segundo quatro domínios tectônicos: Complexo Rio Negro (CRN), Terreno Khondalítico Oriental (TKOr), Terreno Khondalítico Ocidental (TKOc) e Terreno Cabo Frio (TCF). Proporcionalmente, 36% estão associadas ao TKOr, 34% ao CRN, 25% ao TKOc e o restante ao TCF. A quase totalidade das fontes está associada a um substrato constituído por rochas neoproterozoicas graníticas/ortoderivadas e paraderivadas. A grande maioria das fontes produz águas classificadas como fluoretadas, sendo que cerca de 20% delas apresentam composições diferenciadas, tais como magnesiana, litinada, vanádica, alcalino-bicarbonatada, alcalino-terrosa e nitratada. Aparentemente, a composição química das águas relaciona-se mais diretamente com a litologia do que com o ambiente tectônico. As três estâncias hidrominerais do estado e algumas das fontes com águas com composições especiais estão condicionadas às faixas khondalíticas presentes no território fluminense. Nessas faixas a provável fonte do lítio está relacionada às rochas ígneas ou ortoderivadas ácidas, embora o metal, em baixas concentrações ( $\leq 22$  ppm Li), também tenha sido determinado em paragnaisses. Já as prováveis rochas-fontes do vanádio devem corresponder a diabásios relacionados ao Enxame de Diques da Serra do Mar, intrusivos no TKOr, bem como a anfíbolitos ortoderivados intercalados nas sequências metassedimentares do TCF ou associados às faixas khondalíticas.

**Palavras-chave:** água mineral; Rio de Janeiro; terreno khondalítico; lítio; vanádio

## Abstract

The sources of mineral waters found in the State of Rio de Janeiro, according to the proposal presented here, are distributed according to four tectonic domains: Rio Negro Complex (CRN), Eastern Khondalite Terrane (TKOr), Western Khondalite Terrane (TKOc) and Cabo Frio Terrane (TCF). Proportionally, 36% are associated to TKOr, 34% to CRN, 25% to TKOc and the remainder to TCF. Most are associated to a substrate consisting of granite/orthoderived and paraderived neoproterozoic rocks. The majority of the sources produce waters classified as fluoridated, and 20% of them have different compositions, such as magnesium, lithium, vanadium, alkaline-bicarbonate and alkaline-earth. Apparently, the chemical composition of waters relates more directly to lithology than to the tectonic environment. The three mineral springs and most fountains with waters with special compositions are conditioned to the khondalitic belts present in the state. In these belts the lithium source must be related to acid orthoderived rocks, although the metal, in low concentrations, has also been determined in paragneisses. The probable source rocks of the vanadium must correspond to the diabases related to the Serra do Mar dikes swarm intrusive in the TKOr or to the orthoderived amphibolites intercalated in the metasedimentary sequences of the TCF and khondalite belts.

**Keywords:** mineral water; Rio de Janeiro; khondalite terrain; lithium; vanadium

## 1 Introdução

Sem dúvida, em termos de bens minerais no Brasil, a exploração de fontes de água mineral corresponde a uma das atividades que desperta o maior interesse tanto de empresas (de mineração, ou não), quanto de particulares. Isso se dá em virtude do baixo custo e da maior facilidade / rapidez na realização das campanhas de exploração e de pesquisa mineral (*i.e.*, localização de potenciais aquíferos), além dos baixos investimentos requeridos, *a posteriori*, para a implantação do complexo industrial, que envolve todo o sistema de captação e de envasamento da água.

Aliado ao que foi exposto, há um mínimo grau de impacto ambiental ocasionado ao meio circundante em todas as etapas necessárias para o estudo e a implantação de um empreendimento desse tipo o que, teoricamente, facilitaria a obtenção das licenças ambientais, uma vez que tal tipo de atividade não gera passivos ambientais. Outra razão para a preferência pela exploração de água mineral é a de mercado, pois registra-se, ano a ano, um aumento constante da demanda por esse tipo de produto (BRASIL, 2014).

O interesse das empresas pode ser cabalmente demonstrado por dados de todo o Brasil e disponibilizados pelo Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM). Para fins de ilustração, pode-se mencionar que só no estado do Rio de Janeiro há cerca de três centenas de requerimentos/autorizações de pesquisa e 107 concessões de lavra (DNPM, 2017). A produção anual interna fluminense gira em torno de 500 milhões de litros (DRM/RJ, 2012) e, individualmente, as empresas que atuam nesse setor no estado do Rio de Janeiro têm capacidade de produção variando de aproximadamente 5 milhões de litros a 50 milhões de litros. Apesar desses números, que colocam o estado como o quarto maior produtor nacional de águas minerais, somente uma parte da demanda anual de 600 milhões de litros é atendida pelo parque instalado (DRM/RJ, 2012). Ou seja, a produção no estado fica aquém da demanda necessária.

A maior parte da produção envasada no estado refere-se a um produto geralmente classificado como água mineral fluoretada e/ou água mineral fluoretada fracamente radioativa na fonte. Outras fontes de águas minerais encontradas em território

fluminense, entretanto, fogem desse padrão e apresentam composições químicas mais específicas como magnesianas, alcalino-terrosas, bicarbonatadas, litinadas, vanádicas, brometadas (DRM/RJ, 2012).

No presente trabalho será realizado um estudo sobre os tipos e a localização geográfica das fontes de águas minerais encontradas no Rio de Janeiro visando a estabelecer padrões de distribuição fora daqueles já delineados em trabalhos anteriores (CPRM, 2000; Martins *et al.*, 2006;), e verificar quais são os possíveis controles geológicos presentes de forma a permitir prognósticos prospectivos para a pesquisa de novas fontes com águas minerais com composições especiais no estado.

## 2 Contexto Geológico-Geotectônico do Estado do Rio de Janeiro

O estado do Rio de Janeiro está integralmente incluído no segmento central na Faixa Ribeira (Figura 1), cuja formação foi produto do penúltimo estágio de colagem do Brasileiro no sudeste do Brasil (ca. 580 Ma - 420 Ma). Esse segmento compreende quatro terrenos tectono-estratigráficos (Ocidental, Paraíba do Sul, Oriental e Cabo Frio) imbricados para NWW, em direção ao Cráton do São Francisco (Heilbron *et al.*, 2000, 2004).



Figura 1 O estado do Rio de Janeiro (linha preta tracejada) em relação à Faixa Ribeira (adaptado de Tupinambá *et al.*, 2007).

O Terreno Ocidental é formado pelos domínios Juiz de Fora e Andrelândia e abrange intercalações tectônicas entre as rochas do

embasamento pré-1,7 Ga (Complexo Juiz de Fora) e as rochas metassedimentares neoproterozóicas da Megassequência Andrelândia (1,0 a 0,79 Ga), metamorfasadas em fácies granulito (Tupinambá *et al.*, 2007). O Complexo Juiz de Fora é representado por um conjunto de ortogranulitos gnaissificados com composições variando entre gabros, dioritos, tonalitos e granodioritos. A Megassequência Andrelândia está representada por granada-plagioclásio e granada-biotita gnaisses bandados, às vezes com sillimanita, e com intercalações de gonditos, rochas calcissilicáticas e quartzitos.

O Terreno Paraíba do Sul é constituído por ortognaisses (Complexo Quirino) e a cobertura apresenta rochas metassedimentares representadas por biotita-granada-sillimanita gnaisses do Grupo Paraíba do Sul.

O Terreno Oriental compreende os domínios Cambuci, Costeiro e *Klippe* de Italva que são associados ao desenvolvimento de arcos magmáticos neoproterozóicos. Os domínios Cambuci e a *Klippe* de Italva representam as bacias ante-arco e retro-arco, respectivamente, enquanto o Domínio Costeiro aloja o Arco Mágico Rio Negro (Heilbron *et al.*, 2004; Tupinambá *et al.*, 2007, 2012).

De um modo mais específico, com relação à Faixa Ribeira, considera-se que as regiões constituídas por intercalações de rochas metassedimentares aluminosas e ortogranulíticas, presentes tanto no Terreno Oriental quanto no Terreno Ocidental, representem terrenos designados como terrenos khondalíticos Oriental e Ocidental (Pereira *et al.*, 2016). No setor Ocidental, os terrenos khondalíticos englobam as rochas ortogranulíticas do Complexo Juiz de Fora e as rochas metassedimentares da Megassequência Andrelândia e do grupo Paraíba do Sul. No setor Oriental as rochas metassedimentares e ortogranulíticas estão associadas aos Domínios Cambuci, Italva e Costeiro. O Domínio Cambuci representa uma sequência vulcano-sedimentar com ortognaisses calci-alcalinos associados. O Domínio Italva é constituído por uma associação metavulcanosedimentar, com anfíbolitos e mármore, ocorrendo sob a forma de uma klippe sinformal sobre o Domínio Costeiro. O Domínio Costeiro é formado por metassedimentos metamorfasados em fácies granulito a anfíbolito alto, além de ortognaisses e gabros do Complexo Rio Negro (Tupinambá *et al.*, 1996, 2000, 2012). Heilbron *et al.* (2013), através de

estudos petrográficos, geoquímicos, geocronológicos e isotópicos, identificaram, no Domínio Cambuci, rochas ortoderivadas representantes de um arco magmático cordilherano (Complexo Serra da Bolívia), que foi acrescido entre 620 e 580 Ma.

### 3 Fontes de Água Mineral no Estado do Rio de Janeiro

O parque produtor do estado é constituído por aproximadamente seis dezenas de empresas (em atividade ou não; Tabelas 1 e 2). Há registro de fontes de água mineral em cerca de 40 dos 92 municípios do estado: Rio de Janeiro, Magé, Guapimirim, Três Rios, Petrópolis, Levy Gasparian, Miguel Pereira, Paraíba do Sul, Pati de Alferes, Itaperuna, Rio Claro, Cambuci, Cachoeira de Macacu, Teresópolis, Friburgo, Sumidouro, Macaé, Rio das Ostras, Barra Mansa, Campos, Cardoso Moreira, Seropédica, dentre outros (Figura 2). Destacam-se como polos de produção, entretanto, os municípios de Três Rios, Nova Friburgo, Itaperuna, Santo Antônio de Pádua e Magé.

Município	Nº	Marca	Localização	Classificação
C. .Macacu	1 / 2	Cascataí / Superleve	Guapiaçu	radioativa
Magé	3	DaMontanha	Pau Grande / Inhomirim	fluoretada, radioativa
Petrópolis	4/5	Petópolis / Aquarel	Quarteirão Ipiranga	fluoretada, radioativa
Petrópolis	5	Acquafine (3)	Itaipava	radioativa
Carmo	6/7	Fênix / Donna Natureza	fazenda União	fluoretada, radioativa
Rio Claro	8	Passa Três	Passa Três	fluoretada, radioativa
Itaperuna	9/10	Raposo / Levíssima	Raposo	carbogasosa na fonte, fluoretada
C..Macacu	11 /12	Recanto das Águas / Millenium	Valério	fluoretada, radioativa
Guapimirim	13 /14	Serra dos Órgãos / Cristal	Vale das Pedrinhas	fluoretada, radioativa
R. de Janeiro	15	Santa Cruz	S. do Inácio	fluoretada, hipotermal
R. de Janeiro	16	Cristalina (3)	Campo Grande	alcalino terrosa, fluoretada
R. de Janeiro	16	Federal (1)	Laranjeiras	oligomineral
R. de Janeiro	16	Fontana (1)	Ilha do Gov.	radioativa
R. de Janeiro	16	Nazareth	Lins	fluoretada, litinada, radioativa
R. de Janeiro	16	Rica (1)	Méier	nitratada

**Distribuição e Controle das Fontes de Água Mineral com Elementos Raros (Li, V) no Estado do Rio de Janeiro**  
*Ronaldo Mello Pereira; Marcelo dos Santos Salomão & Enrico Campos Pedroso*

<b>Magé</b>	17	Hidrata	Santa Dalila	fluoretada, radioativa, hipotermal
<b>Itaboraí</b>	18	Pedra Bonita	Ferma	radioativa
<b>Guapimirim</b>	19	Dedo de Deus	Vale das Pedrinhas	fluoretada, radioativa
<b>Magé</b>	20	Acqua Natura	Sto Aleixo	fluoretada, radioativa
<b>N. Friburgo</b>	21/22	Nova Friburgo / Lumiar	faz. S.José	vanádica, fluoretada
<b>Macaé</b>	23	Serra do Segredo	faz. Sta Cruz	fluor brometada, radioativa, hipotermal
<b>Silva Jardim</b>	24	Vale do Sol	Marutã	fluoretada
<b>Saquarema</b>	25	Zally	Rio Seco	fluoretada, litinada vanádica, hipotermal
<b>Macaé</b>	26	São Matheus	Bicuda Grande	fluoretada, radioativa
<b>Três Rios</b>	27	Mineral / Soft	Cantagalo	fluoretada, litinada
<b>P.do Sul</b>	28	Salutaris (3)	Encruzilhada	alcalino terrosa, ferruginosa
<b>Itaperuna</b>	29	Avahy	Faz. Conceição	carbogasosa, fluoretada
<b>Maricá</b>	30	Serra do Padre (2)	Espraiado	fluoretada, radioativa
<b>Três Rios</b>	31	Leve Sul	Bemposta	fluoretada, radioativa
<b>Três Rios</b>	31	A.M.Vitali (2)	faz.Chacrinha	fluoretada
<b>Rio Bonito</b>	32	Rio Bonito	Rio Vermelho	radioativa
<b>Itaperuna</b>	33	Soledade	Raposo	carbogasosa na fonte, fluoretada
<b>M. Pereira</b>	34	Pindó	Sítio pindó	fluoretada, radioativa
<b>Niterói 1</b>	35	Ingá	Bairro Ingá	potável mesa
<b>Niterói</b>	35	Satiara	Várzea das Moças	fluoretada
<b>T. de Morais</b>	36	Trajano de Morais	Sítio S.Salvador	fluoretada
<b>Campos</b>	37	Sagrada	faz.Pimentel	fluoretada, hipotermal
<b>Teresópolis</b>	38	Teresópolis	Q.S. Ângela	fluoretada, radioativa
<b>Teresópolis</b>	38	A.M.Itatiba	Itatiba	fluoretada, radioativa
<b>Sapucaia</b>	39	Águas do Porto	Jamaparã	fluoretada, radioativa
<b>Itaperuna</b>	40	L'Água	faz.Prata	fluoretada
<b>D. Caxias</b>	41	Ouro da Serra	rua Tibiriça Xerem	fluoretada
<b>C..Macacu</b>	42	Ouro Branco	Agrobrasil	alcalino terrosa, fluoretada, litinada, radioativa, hipotermal
<b>S. A. Pádua</b>	43	Farol (1)	Sto.A.Pádua	hipotermal
<b>S. A. Pádua</b>	43	Iodetada de Pádua /Pagé	Sto.A.Pádua	iodetada, litinada, brometada, alcalina / litinada

<b>C..Macacu</b>	44	Romana	faz. S <sup>ta</sup> Fé - Funchal	fluoretada
<b>R. de Janeiro</b>	45	AquaFresh	Jacarepaguá	fluoretada
<b>Rio Bonito</b>	46	Pedra Branca	faz.Pedra Branca	fluoretada, radioativa
<b>Itaguaí</b>	47	Costa verde	Ilha de Itacuruça	fluoretada, radioativa, hipotermal
<b>C..Macacu</b>	48	Schincariol	faz. Nova Canaã	fluoretada, radioativa, hipotermal
<b>C. Abreu</b>	49	Bell'água	São Lázaro	fluoretada, radioativa
<b>C..Macacu</b>	49	Costa D'Água (2)	faz. Duas Pontes / Funchal	fluoretada
<b>C..Macacu</b>	49	Vale das Nascentes	Estrada da Granada	fluoretada, radioativa
<b>Seropédica</b>	50	Imbaíba (3)	Sítio Lago Azul	radioativa
<b>Pirai</b>	51	Cláris	Cervejaria Cintra	litinada, fluoretada
<b>Barra Mansa</b>	52	Ibitira	faz. Ibitira	potável de mesa
<b>Barra Mansa</b>	53	- (2)	Água Comprida/ S <sup>ta</sup> . Rita Cássia	fluoretada
<b>C..Macacu</b>	54	Maratuã (2)	Maratuã do Faraó	fluoretada, radioativa
<b>C..Macacu</b>	55	A.M. Gualumar (2)	Japuiba	fluoretada
<b>C..Macacu</b>	56	A.M. Mariquita (2)	Mariquita	fluoretada
<b>C..Macacu</b>	57	A.M.Serra S. Amaro (2)	faz. S. Sebastião	fluoretada, hipotermal
<b>Campos</b>	58	A.M. Pedra Lisa (2)	faz. Pedra Lisa - Morro do Côco	fluoretada
<b>Cantagalo</b>	59	Calita (3)	faz. Brasil - Euclidelândia	alcalino terrosa cálcica
<b>C. Moreira</b>	60	Beliény (3)	C. Moreira	alcalino bicarbonatada
<b>C. Abreu</b>	61	A.F.Vicente (2)	BR101, km 203	fluoretada, radioativa
<b>C. Levy Gasparian</b>	62	A.M.Vargem Alegre (2)	Sítio Sempre Verde	fluoretada, radioativa
<b>D. Caxias</b>	63	Cristina (2)	rod.W. Luis, km 97	fluoretada
<b>D. Caxias</b>	64	A.M.Vale das Águas (2)	Xerém	fluoretada
<b>P. Frontin</b>	65	Mata Atlântica (2)	Sítio S <sup>ta</sup> Clara	fluoretada
<b>Guapimirim</b>	66	Mineração Lucânia (2)	N. S. Ajuda	fluoretada
<b>Itaboraí</b>	67	Engenho D'Água (2)	Sítio S <sup>to</sup> Antônio	radioativa
<b>Itaboraí</b>	68	A.M S <sup>ta</sup> Rosa Lima (2)	S <sup>ta</sup> Rosa Lima	fluoretada
<b>Itaperuna</b>	69	Superlta (2)	faz.Cubatão	magnesiana
<b>Magé</b>	70	Indaiá (3)	Iri	fluoretada, radioativa

**Distribuição e Controle das Fontes de Água Mineral com Elementos Raros (Li, V) no Estado do Rio de Janeiro**  
 Ronaldo Mello Pereira; Marcelo dos Santos Salomão & Enrico Campos Pedroso

<b>Maricá</b>	71	A.M.Antares (2)	Jaconé	vanádica, fluoretada, hipotermal
<b>N.Friburgo</b>	72	Ecovita (2)	Macaé de Cima	fluoretada
<b>N.Iguaçu</b>	73	Corcovado (3)	Marapicu	radioativa
<b>Petrópolis</b>	74	Empresa Petropolitana (2)	Sardoal - Pedro do Rio	radioativa
<b>Rio Bonito</b>	75	Águas Claras (2)	faz. Águas Claras	radioativa
<b>R. das Ostras</b>	76	A.M. Arbor (2)	Mar do Norte	fluoretada
<b>São Fidélis</b>	77	Las Vegas (1)	S <sup>ã</sup> Catarina	carbogasosa
<b>São Fidélis</b>	78	A.M. Souza Paes (2)	Sítio S <sup>ã</sup> Catarina	fluoretada
<b>S. A.Pádua</b>	79	Solu (1)	Ibitiguaçu	carbogasosa
<b>S. A. Pádua</b>	80	A.M. Nacss (2)	Sítio Farol / S <sup>o</sup> A. Pádua	fluoretada, radioativa
<b>São Gonçalo</b>	81	São Gonçalo (1)	Água Mineral	alcalino terrosa carbonatada
<b>Laje Muriaé</b>	82	A.M.Serra das Flores (2)	faz. Recreio	fluoretada
<b>Macuco</b>	83	E.H. Boa Vista (2)	Boa Vista	fluoretada

Tabela 1 Fontes de água mineral do Estado do Rio de Janeiro (adaptado de Martins *et al.*, 2006). Os números na tabela correspondem à localização das fontes no mapa (Figura 2); (1) = fonte histórica; (2) = em fase de legalização; (3) = paralisada.

<b>R. de Janeiro</b>	16	Fontana (1)	gnaisse/rocha ortoderivada	CRN (*, #)
<b>R. de Janeiro</b>	16	Nazareth	gnaisse /rocha ortoderivada	CRN (*, #)
<b>R. de Janeiro</b>	16	Rica (1)	gnaisse/ granito	CRN (*, #)
<b>Magé</b>	17	Hidrata	granito	CRN (*, #)
<b>Itaboraí</b>	18	Pedra Bonita	rocha alcalina	DC <sup>(*)</sup> /TKO <sup>r(#)</sup>
<b>Guapimirim</b>	19	Dedo de Deus	granito pós-tectônico	CRN (*, #)
<b>Magé</b>	20	Acqua Natura	migmatito / rocha ortoderivada	CRN (*, #)
<b>N. Friburgo</b>	21/22	Nova Friburgo / Lumiar	gnaisse facoidal	DC <sup>(*)</sup> /TKO <sup>r(#)</sup>
<b>Macaé</b>	23	Serra do Segredo	gnaisse /rocha ortoderivada	TCF(*, #)
<b>Silva Jardim</b>	24	Vale do Sol	gnaisse /rocha ortoderivada	DC <sup>(*)</sup> /TKO <sup>r(#)</sup>
<b>Saquarema</b>	25	Zally	r. paraderivada	TCF(*, #)
<b>Macaé</b>	26	São Matheus	granito	DC <sup>(*)</sup> /TKO <sup>r(#)</sup>
<b>Três Rios</b>	27	Mineral / Soft	gnaisse/ migmatito	PS <sup>(*)</sup> /TKOc <sup>(#)</sup>
<b>P.do Sul</b>	28	Salutaris (3)	gnaisse / ortogranulito	JF-PS <sup>(*)</sup> /TKOc <sup>(#)</sup>
<b>Itaperuna</b>	29	Avahy	gnaisse /rocha paraderivada	PS <sup>(*)</sup> /TKOc <sup>(#)</sup>
<b>Maricá</b>	30	Serra do Padre (2)	r. paraderivada	TCF(*, #)
<b>Três Rios</b>	31	Leve Sul	gnaisse/ migmatito	PS <sup>(*)</sup> /TKOc <sup>(#)</sup>
<b>Três Rios</b>	31	A.M.Vitali (2)	rocha paraderivada	PS <sup>(*)</sup> /TKOc <sup>(#)</sup>
<b>Rio Bonito</b>	32	Rio Bonito	bi gnaisse	DC <sup>(*)</sup> /TKO <sup>r(#)</sup>
<b>Itaperuna</b>	33	Soledade	paragnaisse e ortogranulito	PS-JF <sup>(*)</sup> /TKOc <sup>(#)</sup>
<b>M. Pereira</b>	34	Pindó	gnaisse /rocha ortoderivada	CRN (*, #)
<b>Niterói 1</b>	35	Ingá	gnaisse facoidal	DC <sup>(*)</sup> / TKO <sup>r(#)</sup>
<b>Niteroi</b>	35	Satiara	gnaisse facoidal	DC <sup>(*)</sup> /TKO <sup>r(#)</sup>
<b>T. de Morais</b>	36	Trajano de Morais	gnaisse /rocha ortoderivada	CRN (*, #)
<b>Campos</b>	37	Sagrada	chamockito	CRN (*, #)
<b>Teresópolis</b>	38	Teresópolis	gnaisse /rocha ortoderivada	CRN (*, #)
<b>Teresópolis</b>	38	A.M.Itatiba	granito	CRN (*, #)
<b>Sapucaia</b>	39	Águas do Porto	r. paraderivada	PS <sup>(*)</sup> /TKOc <sup>(#)</sup>
<b>Itaperuna</b>	40	L'Água	ortogranulito	JF <sup>(*)</sup> /TKOc <sup>(#)</sup>
<b>D. Caxias</b>	41	Ouro da Serra	granitoide/ rocha ortoderivada	CRN (*, #)

<b>Município</b>	<b>Nº</b>	<b>Marca</b>	<b>Rochas Percoladas</b>	<b>Domínio</b>
<b>C. .Macacu</b>	1 / 2	Cascataí / Superleve	granitoide / rocha ortoderivada	CRN (*, #)
<b>Magé</b>	3	DaMontanha	gnaisse/rocha ortoderivada	CRN (*, #)
<b>Petrópolis</b>	4/5	Petópolis / Aquarel	gnaisse /rocha ortoderivada	CRN (*, #)
<b>Petrópolis</b>	5	Acquafine (3)	gnaisse /rocha ortoderivada	CRN (*, #)
<b>Carmo</b>	6/7	Fênix / Donna Natureza	gnaisse / rocha paraderivada	PS <sup>(*)</sup> /TKOc <sup>(#)</sup>
<b>Rio Claro</b>	8	Passa Três	r. paraderivada	JF <sup>(*)</sup> /TKOc <sup>(#)</sup>
<b>Itaperuna</b>	9/10	Raposo / Levíssima	paragnaisse e ortogranulito	PS-JF <sup>(*)</sup> /TKOc <sup>(#)</sup>
<b>C..Macacu</b>	11 /12	Recanto das Águas / Millenium	bi- gnaisse / rocha paraderivada	DC <sup>(*)</sup> /TKO <sup>r(#)</sup>
<b>Guapimirim</b>	13 /14	Serra dos Órgãos / Cristal	qtzito/r. paraderivada	DC <sup>(*)</sup> /TKO <sup>r(#)</sup>
<b>R. de Janeiro</b>	15	Santa Cruz	gnaisse/ granito	CRN (*, #)
<b>R. de Janeiro</b>	16	Cristalina (3)	r. ortoderivada	CRN (*, #)
<b>R. de Janeiro</b>	16	Federal (1)	gnaisse facoidal	DC <sup>(*)</sup> /TKO <sup>r(#)</sup>

**Distribuição e Controle das Fontes de Água Mineral com Elementos Raros (Li, V) no Estado do Rio de Janeiro**  
 Ronaldo Mello Pereira; Marcelo dos Santos Salomão & Enrico Campos Pedroso

<b>C..Macacu</b>	42	Ouro Branco	gnaisse / rocha paraderivada	DC <sup>(*)</sup> /TKOr <sup>(#)</sup>
<b>S. A. Pádua</b>	43	Farol (1)	rocha orto / paraderivadas	JF-PS <sup>(*)</sup> /TKOc <sup>(#)</sup>
<b>S. A. Pádua</b>	43	Iodetada de Pádua /Pagé	rochas orto / paraderivada	JF-PS <sup>(*)</sup> /TKOc <sup>(#)</sup>
<b>C..Macacu</b>	44	Romana	rocha paraderivada	DC <sup>(*)</sup> /TKOr <sup>(#)</sup>
<b>R. de Janeiro</b>	45	AquaFresh	gnaisse /rocha paraderivada	DC <sup>(*)</sup> /TKOr <sup>(#)</sup>
<b>Rio Bonito</b>	46	Pedra Branca	rocha paraderivada	DC <sup>(*)</sup> /TKOr <sup>(#)</sup>
<b>Itaguaí</b>	47	Costa verde	rocha ortoderivada	CRN <sup>(*, #)</sup>
<b>C..Macacu</b>	48	Schincariol	granito gnaisse	DC <sup>(*)</sup> /TKOr <sup>(#)</sup>
<b>C. Abreu</b>	49	Bell'água	rocha ortoderivada	DC <sup>(*)</sup> /TKOr <sup>(#)</sup>
<b>C..Macacu</b>	49	Costa D'Água (2)	gnaisse / rocha paraderivada	DC <sup>(*)</sup> /TKOr <sup>(#)</sup>
<b>C..Macacu</b>	49	Vale das Nascentes	rocha paraderivada	DC <sup>(*)</sup> /TKOr <sup>(#)</sup>
<b>Seropédica</b>	50	Imbaiba (3)	gnaisse / granito	CRN <sup>(*, #)</sup>
<b>Pirai</b>	51	Cláris	ortognaisse	JF <sup>(*)</sup> /TKOc <sup>(#)</sup>
<b>Barra Mansa</b>	52	Ibitira	qtzito / ortogranito	JF <sup>(*)</sup> /TKOc <sup>(#)</sup>
<b>Barra Mansa</b>	53	- (2)	ortogranulito	JF <sup>(*)</sup> /TKOc <sup>(#)</sup>
<b>C..Macacu</b>	54	Maratuã (2)	gnaisse / rocha paraderivada	DC <sup>(*)</sup> /TKOr <sup>(#)</sup>
<b>C..Macacu</b>	55	A.M. Gualumar (2)	rocha paraderivada	DC <sup>(*)</sup> /TKOr <sup>(#)</sup>
<b>C..Macacu</b>	56	A.M. Mariquita (2)	granitoide / rocha ortoderivada	CRN <sup>(*, #)</sup>
<b>C..Macacu</b>	57	A.M.Serra S. Amaro (2)	granitoide / rocha ortoderivada	CRN <sup>(*, #)</sup>
<b>Campos</b>	58	A.M. Pedra Lisa (2)	rocha ortoderivada	CRN <sup>(*, #)</sup>
<b>Cantagalo</b>	59	Calita (3)	mármore-anfibolito	DI/TKOr <sup>(*, #)</sup>
<b>C. Moreira</b>	60	Beliény (3)	migmatito / rocha paraderivada	DI/TKOr <sup>(*, #)</sup>
<b>C. Abreu</b>	61	A.F.Vicente (2)	rocha ortoderivada	DC <sup>(*)</sup> / TKOr <sup>(#)</sup>
<b>C. Levy Gasparian</b>	62	A.M.Vargem Alegre (2)	rocha ortoderivada	JF <sup>(*)</sup> /TKOc <sup>(#)</sup>
<b>D. Caxias</b>	63	Cristina (2)	migmatito/ rocha ortoderivada	CRN <sup>(*, #)</sup>
<b>D. Caxias</b>	64	A.M.Vale das Águas (2)	rocha ortoderivada	CRN <sup>(*, #)</sup>

<b>P. Frontin</b>	65	Mata Atlântica (2)	ortogranulito	JF <sup>(*)</sup> /TKOc <sup>(#)</sup>
<b>Guapimirim</b>	66	Mineração Lucânia (2)	rocha paraderivada	DC <sup>(*)</sup> /TKOr <sup>(#)</sup>
<b>Itaboraí</b>	67	Engenho D'Água (2)	rocha paraderivada	DC <sup>(*)</sup> /TKOr <sup>(#)</sup>
<b>Itaboraí</b>	68	A.M S <sup>te</sup> Rosa Lima (2)	rocha alcalina	DC <sup>(*)</sup> /TKOr
<b>Itaperuna</b>	69	Superlta (2)	ortogranulito	JF <sup>(*)</sup> /TKOc <sup>(#)</sup>
<b>Magé</b>	70	Indaiá (3)	granito	CRN <sup>(*, #)</sup>
<b>Maricá</b>	71	A.M.Antares (2)	gnaisse /rocha ortoderivada	CRN <sup>(*, #)</sup>
<b>N.Friburgo</b>	72	Ecovita (2)	rocha paraderivada	DC <sup>(*)</sup> /TKOr <sup>(#)</sup>
<b>N.Iguaçu</b>	73	Corcovado (3)	fonolitos	CRN <sup>(*)</sup> /TKOr <sup>(#)</sup>
<b>Petrópolis</b>	74	Empresa Petropolitana (2)	r. ortoderivada	CRN <sup>(*, #)</sup>
<b>Rio Bonito</b>	75	Águas Claras (2)	granito	DC <sup>(*)</sup> /TKOr <sup>(#)</sup>
<b>R. das Ostras</b>	76	A.M. Arbor (2)	r. ortoderivada	TCF <sup>(*, #)</sup>
<b>São Fidélis</b>	77	Las Vegas (1)	gnaisse /rocha paraderivada	DC <sup>(*)</sup> /TKOr <sup>(#)</sup>
<b>São Fidélis</b>	78	A.M. Souza Paes (2)	r.paraderivada	DC <sup>(*)</sup> /TKOr <sup>(#)</sup>
<b>S. A.Pádua</b>	79	Solu (1)	rochas orto / paraderivadas	JF-PS <sup>(*)</sup> /TKOc <sup>(#)</sup>
<b>S. A. Pádua</b>	80	A.M. Nacss (2)	rochas orto / paraderivadas	JF-PS <sup>(*)</sup> /TKOc <sup>(#)</sup>
<b>São Gonçalo</b>	81	São Gonçalo (1)	gnaisse /rocha paraderivada	DC <sup>(*)</sup> /TKOr <sup>(#)</sup>
<b>Laje Muriaé</b>	82	A.M.Serra das Flores (2)	rocha paraderivada	PS <sup>(*)</sup> /TKOc <sup>(#)</sup>
<b>Macuco</b>	83	E.H. Boa Vista (2)	pegm., bi- gnaisse / rocha paraderivada	DC <sup>(*)</sup> /TKOr <sup>(#)</sup>

Tabela 2 Fontes de água mineral do Estado do Rio de Janeiro (adaptado de Martins *et al.*, 2006). (\*) = Classificação proposta por Martins *et al.* (2006); (#) = este trabalho. CRN = Complexo Rio Negro; PS = Grupo Paraíba do Sul; JF = Complexo Juiz de Fora; DC = Domínio Costeiro; TCF = Terreno Cabo Frio; DI = Domínio Italva; TKOc = Terreno Khondalítico Ocidental; TKOr = Terreno Kondalítico Oriental.

Segundo o Código de Águas Minerais (Decreto-Lei N° 7.841, de 08/08/1945), São consideradas águas minerais aquelas provenientes de fontes naturais ou captadas subterraneamente e que possuam composição química ou propriedades físicas ou físico-químicas distintas das águas comuns (Branco, 2014). No geral, a maior parte das águas minerais encontradas no estado corresponde a um tipo classificado como água mineral fluoretada e/ou água mineral fluoretada fracamente radioativa na fonte.

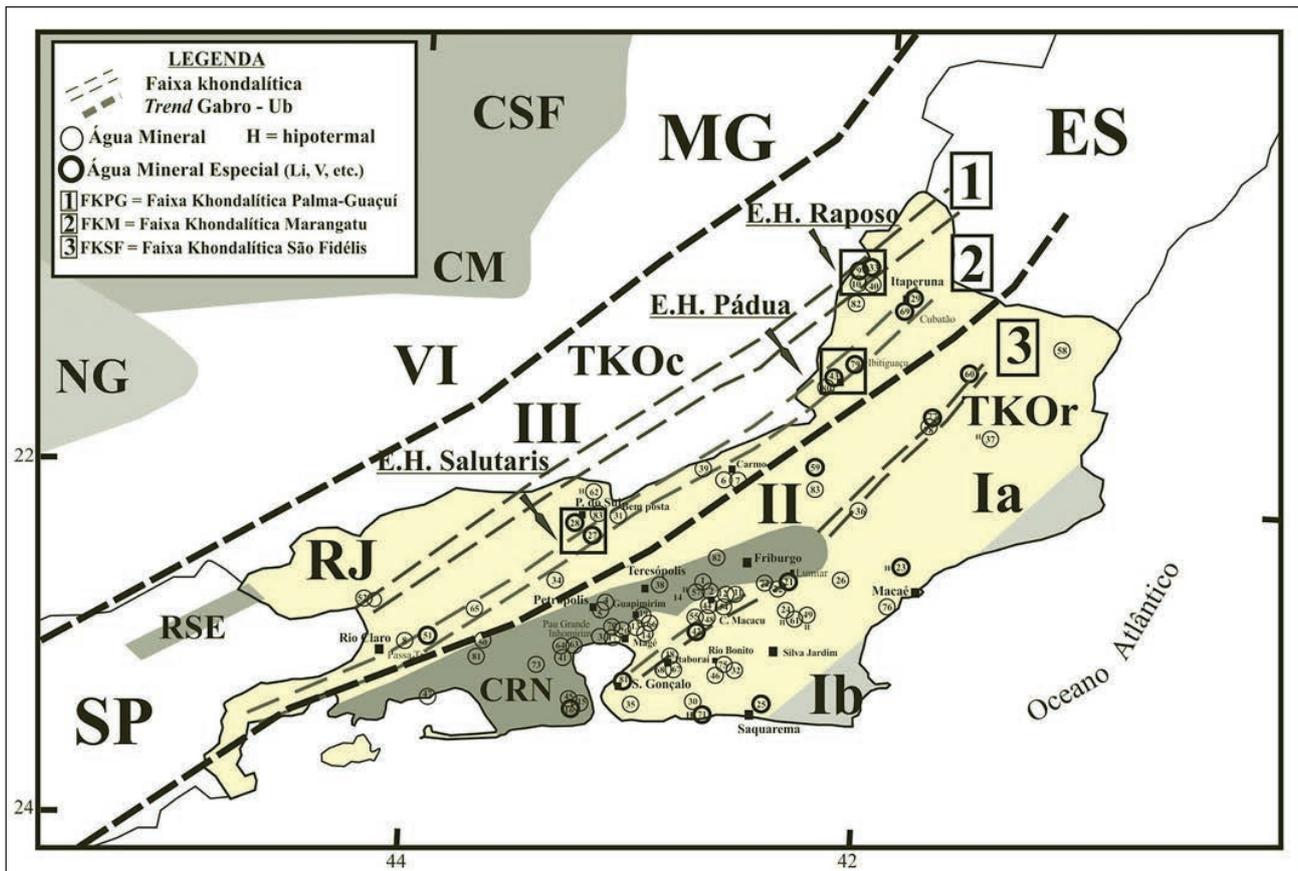


Figura 2 Distribuição das fontes de água mineral no estado do Rio de Janeiro. NG = *Nappe* de Guaxupé; CSF = Cráton do São Francisco; CM = Complexo Mineiro; CRN = Complexo Rio Negro; RSE = *Rift* do Sudeste; Ia = Complexo Costeiro; Ib = Terreno Cabo Frio; TKOc (II, III, IV) = Terreno Khondalítico Ocidental; TKOr = Terreno Khondalítico Oriental; E.H. = Estância Hidromineral.

Entretanto, algumas fontes produzem águas minerais com composições químicas e físicas mais específicas, às vezes com propriedades terapêuticas e, por causa disso, em torno delas vieram a se constituir estâncias hidrominerais como as localizadas nos municípios de Paraíba do Sul (fonte Salutaris, de composição alcalino-terrosa e ferruginosa), Itaperuna / Raposo (fontes Raposo, Soledade e Avahy, classificadas como carbogasosas) e Santo Antônio de Pádua (fonte Iododata de Pádua, de composição iodetada, litinada, brometada, alcalina, bicarbonatada e fluoretada; e fontes Pagé, Farol e Solu, classificadas respectivamente como litinada, magnesiânica e carbogasosa).

Há outros exemplos de águas especiais no estado e elas correspondem às marcas e fontes: Nazareth (fluoretada e litinada), fonte Romeu e Julieta, no Rio de Janeiro; Milneral / Soft (fluoretada e litinada), fonte São Sebastião, em Três Rios; Ouro Branco (alcalino-terrosa, litinada), fonte Linda, em Cachoeiras de Macacu; Claris (litinada), fonte Santo

Antônio, em Pirai; Serra do Segredo (fluoretada, brometada), fonte Andorinha, em Macaé; Nova Friburgo (vanádica), fonte Nova Lumiar, em Nova Friburgo; e Zally (vanádica), fonte Zally 1, em Siquiera. Há fontes consideradas como extintas como Belieny, com água classificada como alcalina bicarbonatada e localizada no município de Cardoso Moreira; e as fontes São Gonçalo e a Cristalina, ambas de composição alcalino-terrosa e respectivamente situadas em São Gonçalo e no Rio de Janeiro. A fonte Calita, com água alcalino-terrosa cálcica fluoretada e localizada em Cantagalo, está com a produção paralisada.

#### 4 Distribuição, Controle Tectônico e Composições Químicas das Fontes

Para Martins *et al.* (2006) as 88 fontes de águas minerais do Rio de Janeiro estariam relacionadas a diferentes domínios tectônicos, representados

pelo Complexo Rio Negro, Terreno Paraíba do Sul, Complexo Juiz de Fora, Complexo Costeiro, Domínio Italva e Terreno Cabo Frio. No presente trabalho, propõe-se uma distribuição das fontes de águas minerais do estado segundo quatro domínios tectônicos representados pelos: Complexo Rio Negro (CRN), Terreno Khondalítico Oriental (TKOr), Terreno Khondalítico Ocidental (TKOc) e Terreno Cabo Frio (TCF). Os compartimentos tectônicos representados pelos domínios Costeiro e Italva foram incluídos no Terreno Khondalítico Oriental. O Complexo Juiz de Fora e o Terreno Paraíba do Sul foram incluídos no Terreno Khondalítico Ocidental.

Com relação às composições químicas e propriedades específicas das águas das fontes distribuídas pelo território fluminense cerca de 23 das 88 fontes registradas apresentam características e composições especiais (Martins *et al.*, 2006). Desse total, 17 possuem elementos raros nas suas composições. Já em relação às rochas percoladas, das 88 fontes listadas, cerca de 40 (45%) estão exclusivamente relacionadas à rochas ortoderivadas; 27 (30%) associam-se à rochas orto e paraderivadas, e 18 (20%) exclusivamente às rochas paraderivadas. As fontes restantes têm litotipos mais específicos registrados nas suas áreas de ocorrência, tais como mármore e rochas alcalinas.

## 5 Considerações Gerais

Em virtude da geologia do estado do Rio de Janeiro ser, essencialmente, representada por rochas cristalinas constata-se que a maioria dos aquíferos aqui encontrados é do tipo fissural. Tal tipo de controle é, porém, muito localizado, só podendo-se estabelecer a relação das fontes com as estruturas quando se trabalha em escalas de maior detalhe. Por outro lado, em escala regional percebe-se as distribuições das fontes por diferentes compartimentos tectônicos: Complexo Rio Negro (CRN), Terreno Khondalítico Oriental (TKOr), Terreno Khondalítico Ocidental (TKOc) e Terreno Cabo Frio (TCF). Mas, apesar dessa diversidade de ambientes tectônicos aos quais as fontes de águas minerais se associam, verifica-se que há um denominador comum à maioria delas e que corresponde às rochas presentes nas suas áreas de entorno, quase sempre descritas como tipos orto e/ou paraderivados e, geralmente, representadas por granitos e gnaisses. Assim posto, não é de surpreender que praticamente haja nas águas a presença dos

mesmos tipos de sais dissolvidos (embora em diferentes percentuais), independentemente do domínio tectônico no qual as fontes se encontram. Observa-se também que a maior parte delas (~75%) é genericamente classificada como fluoretada, dado que a provável origem do flúor prende-se a minerais como a apatita, a biotita e o anfibólio comuns às rochas mencionadas.

Portanto, o que leva algumas fontes a terem composições e características tão específicas que permitem que elas sejam classificadas como radioativas (em função da presença do gás radônio em solução), carbogasosas (em função do gás carbônico livre dissolvido), hipotermiais (temperaturas entre 25° e 35° C), alcalino-bicarbonatadas, alcalino-terrosas cálcicas e magnesianas ou com elementos raros como lítio, vanádio, iodo e bromo? Quais são os fatores geológicos que efetivamente condicionam essas fontes?

Com relação a essas características mais específicas das fontes, verifica-se que as que apresentam composições químicas mais particulares, alvo do presente estudo, estão diretamente relacionadas ao substrato rochoso no qual elas se situam (Tabela 3). Algumas dessas relações são bem evidentes, como é o caso das fontes presentes no TKOr / Domínio Italva, que encerra uma série de corpos de mármore, e cujas águas apresentam composições alcalino-terrosa cálcica (marca Calita, em Cantagalo) e alcalina bicarbonatada (marca Belieny, em Cardoso Moreira).

Município	Domínio Tectônico		Marca	Classificação	Rochas Percoladas
	Martins et al (2006)	Este trabalho			
Cachoeiras de Macacu	DC	TKOr	Ouro Branco	alcalino terrosa, litinada, radioativa, hipotermal	gnaisse / rocha paraderivada
Nova Friburgo	DC	TKOr	Nova Friburgo / Lumiar	vanádica, fluoretada	gnaisse facoidal
São Fidélis	DC	TKOr	Las Vegas (1)	carbogasosa	gnaisse / rocha paraderivada
São Gonçalo	DC	TKOr	São Gonçalo (1)	alcalino terrosa carbonatada	gnaisse / rocha paraderivada

Itaperuna	PS	TKOc	Avahy	carbogasosa, fluoretada	gnaisse/rocha paraderivada
Itaperuna	PS-JF	TKOc	Raposo / Levíssima	carbogasosa fonte, fluoretada	paragnaisse/ortogranulito
Itaperuna	PS-JF	TKOc	Soledade	carbogasosa fonte, fluoretada	paragnaisse/ortogranulito
Itaperuna	JF	TKOc	Superlta (2)	magnesiana	ortogranulito
Paraíba do Sul	PS-JF	TKOc	Salutaris (3)	alcalino terrosa, ferruginosa	gnaisse/ortogranulito
Piraí	JF	TKOc	Cláris	litinada, fluoretada	ortognaisse
Santo Antonio de Pádua	PS-JF	TKOc	Iodetada de Pádua	iodetada, litinada, brometada, alcalina	rochas orto/paraderivada
Santo Antonio de Pádua	PS-JF	TKOc	Pagé (1)	litinada	rochas orto/paraderivada
Santo Antonio de Pádua	PS-JF	TKOc	Solu (1)	carbogasosa	orto/paraderivada
Três Rios	PS	TKOc	Milneral / Soft	fluoretada, litinada	gnaisse / migmatito
Cachoeira de Macacu	CRN	CRN	Cascataí / Superleve	radioativa	granitoide / ortoderivada
Maricá	CRN	TKOr	A.M. Antares (2)	vanádica, fluoretada, hipotermal	gnaisse/rocha ortoderivada
Rio de Janeiro	CRN	CRN	Cristalina (3)	alcalino terrosa, fluoretada	rocha ortoderivada
Rio de Janeiro	DC	TKOr	Federal (1)	oligomineral	gnaisse facoidal
Rio de Janeiro	CRN	CRN	Rica (1)	nitratada	gnaisse/granito
Cantagalo	DI/TKOr	TKOr	Calita (3)	alcalino terrosa cálcica	mármore-anfibolito
Cardoso Moreira	DI/TKOr	TKOr	Belieny (3)	alcalino icarbonatada	migmatito / rocha paraderivada
Macaé	TCF	TCF	Serra do Segredo	Fluor-brometada, radioativa, hipotermal	gnaisse / rocha ortoderivada
Squarema	TCF	TCF	Zally	fluoretada, litinada vanádica, hipotermal	rocha paraderivada

Tabela 3 Principais fontes produtoras de águas minerais carbogasosas e com composições físicas e químicas especiais do estado do Rio de Janeiro (adaptado de Martins *et al.*, 2006); (1) = fonte histórica; (2) = em fase de legalização; (3) = paralisada. CRN = Complexo Rio Negro; PS = Paraíba do Sul; JF = Complexo Juiz de Fora; DC = Domínio Costeiro; TCF = Terreno Cabo Frio; DI = Domínio Italva; TKOc = Terreno Khondalítico Ocidental; TKCr = Terreno Kondalítico Oriental.

Analisando-se o mapa de distribuição das fontes de águas minerais do Estado do Rio de Janeiro em relação aos domínios tectônicos encontrados no estado (Figura 2), verifica-se que a maioria daquelas que apresentam águas com composições químicas ou propriedades especiais estão localizadas ao longo de três faixas constituídas por rochas khondalíticas. Essas faixas são representadas pelas faixas khondalíticas Palma-Guaçuí (FKPG), Marangatu (FKM), ambas associadas ao TKOc, e São Fidélis (FKSF) associada ao TKOr. Em todas elas ocorrem rochas granulíticas e tipos paraderivados representados por gnaisses aluminosos intercalados com grafita gnaisses, rochas calciossilicáticas e rochas metamáficas e ultramáficas. Gonditos e rochas Fe-exalíticas estão presentes no TKOc; rochas carbonáticas estão associadas ao Domínio Italva do TKOr.

É interessante destacar que as três estâncias hidrominerais históricas do estado do Rio de Janeiro também estão associadas a duas dessas faixas: Salutaris / Paraíba do Sul e Santo Antônio de Pádua (Faixa Khondalítica Marangatu) e Raposo / Itaperuna à (Faixa Khondalítica Palma-Guaçuí). Dispostas nessas faixas khondalíticas também se encontram a maioria das fontes com águas especiais distribuídas pelo estado como as do tipo carbogasosas (fontes Las Vegas, em São Fidélis; Avahy, Raposo e Soledade, em Itaperuna), magnesiana (marca Superlta, em Itaperuna) e as litinadas (fontes Santo Antônio, em Piraí; São Sebastião em Três Rios; Pádua e Pagé, em Santo Antônio de Pádua). A água litinada da marca Ouro Branco (fonte Linda, em Cachoeira de Macacu), está inserida no contexto do TKOr e, provavelmente, no *trend* da FKSF. Só a fonte de água litinada da marca Zally, situada em Saquarema e associada ao TCF é que, aparentemente, estaria fora da área influência de uma faixa khondalítica.

Conteúdos de lítio de 22 a 65 ppm são geralmente associados às rochas ígneas ácidas (Parker, 1965). Dessa maneira, é possível que, nas faixas khondalíticas, a fonte do lítio possa estar associada aos tipos ácidos ortoderivados, já que rochas granito-gnáissicas e granulitos ácidos tomam parte na constituição desses conjuntos rochosos. Por outro lado, rochas sedimentares podem apresentar conteúdos em lítio de até 60 ppm (British Geological Survey, 2016), porém são os sedimentos argilosos e folhelhos marinhos que correspondem

às rochas mais enriquecidas, apresentando até 400 ppm Li (Wedepohl, 1978). Sedimentos marinhos metamorficamente transformados em gnaisses aluminosos e grafitosos representam um percentual significativo das rochas que compõem as faixas khondalíticas. Entretanto, análises (ICP-MS / ICP-AES com abertura em água régia) em amostras de gnaisses aluminosos da FKM e de gnaisses grafitosos (interpretados como antigos *black shales*) da FKPG apresentaram teores de lítio mais baixos do que o esperado, respectivamente 3-8 ppm Li (Guimarães, 2011) e 8-22 ppm Li (Ramos, 2014) o que permite, então, direcionar a provável fonte do lítio para as rochas ortoderivadas ácidas.

Fontes com águas vanádicas são encontradas em dois dos quatro domínios tectônicos presentes no estado e associadas a dois conjuntos rochosos distintos. As fontes de Nova Friburgo (marcas Lumiar e Nova Friburgo) e Maricá estão dispostas no TKOr e percolam respectivamente rochas ortoderivadas, já a água da marca Zally (Saquarema) percola rochas paraderivadas do TCF.

Com relação ao vanádio sabe-se que as rochas máficas e ultramáficas são mais enriquecidas nesse elemento do que as dos tipos intermediários e félsicos. De fato, são os diversos corpos básicos de derivação toleítica presentes no sudeste brasileiro que detêm os maiores conteúdos de vanádio, como os gabros de baixo Ti de Cambuci e de Venda Nova, com 178 ppm e 452 ppm (Mendes *et al.*, 2002, 2011); os gabros alto Ti de Lídice e Marcos da Costa, respectivamente com 645 ppm e 551 ppm (Pereira *et al.*, 2016); e as rochas gabroides associadas ao Complexo Juiz de Fora, na região de Três Rios, com 206 ppm a 284 ppm (André, 2009). O que se pode considerar, entretanto, é que as fontes com águas vanádicas estão distantes das áreas de ocorrências desses maciços gabroides (*trend* gabro-ub) e, dessa forma não se pode imputar a eles a origem do V.

Por outro lado, pode-se considerar a possibilidade de que corpos menores como diques e sills básicos possam estar presentes nas áreas de entorno das fontes e deles ser originado o elemento. Diques básicos toleíticos de baixo Ti pertencentes ao Enxame de Diques da Serra do Mar do Cretáceo têm valores significativos de vanádio da ordem de 282 a 487 ppm (Santos, 2006). Da mesma forma, diques anfibolitizados de idades mais antigas (580 Ma e 593 Ma) também podem ser uma dessas fontes, haja

vista que os diques da região de São Sebastião, São Paulo, com características geoquímicas de toleito continentais (baixo Ti) e intercalados em granadagnais do Complexo Costeiro, apresentam teores entre 180 ppm V e 410 ppm V (Dias Neto *et al.*, 2009). Pacotes de anfibolitos, derivados de possíveis derrames basálticos (Pereira & Guimarães, 2012) e intercalados com os gnaisses aluminosos da FKM têm conteúdo em vanádio entre 110 ppm a 160 ppm, com um máximo de 438 ppm (Guimarães, 2011). Com tal, é grande a possibilidade de que corpos básicos desses tipos (anfibolitizados ou não) possam ser encontrados nas áreas de entorno dessas fontes e sejam os responsáveis pelo vanádio encontrado em suas águas.

Mas, além de presente nas rochas básicas, o vanádio também pode estar associado a alguns tipos ácidos como nos ortognaisses do Complexo Região dos Lagos (hornblenda-biotita gnaisses e biotita gnaisses) que têm conteúdos de até 85 ppm V (Viana, 2003) e nos ortognaisses leucocráticos e enderbitos do Complexo Serra da Bolívia, da região de Itaocara, que apresentam, respectivamente, teores máximos de vanádio de 133 ppm V e 165 ppm V (Machado Júnior, 2012).

Também não pode ser descartada a participação de rochas paraderivadas associadas às faixas khondalíticas como as possíveis fontes do vanádio. Gnaisses aluminosos da FKM, por exemplo, apresentaram teores de até 90 ppm V (Guimarães, 2011). Porém, dentre os litotipos sedimentares, são os folhelhos pretos que contêm as maiores concentrações do metal, com teores superiores aos 500 ppm V (Breit *et al.*, 1989). Destaca-se ainda que teores de tal ordem não foram obtidos nas análises dos grafita gnaisses da FKPG, interpretados por Pereira *et al.* (2016) como antigos folhelhos pretos, que só atingiram um máximo de 140 ppm V (Ramos, 2014).

Como pode ser visto, há uma multiplicidade de rochas fontes possíveis para o vanádio e somente trabalhos de detalhamento geológico nos locais onde se situam cada um desses aquíferos, incluindo-se aqui as suas áreas de recarga, é que poderão imputar a um tipo ou outro a real proveniência do elemento. Para fins de prognóstico, pode-se considerar as faixas khondalíticas como as mais potenciais para a pesquisa de novas fontes com águas minerais com composições químicas especiais.

## 6 Conclusões

As fontes de águas minerais encontradas no Estado do Rio de Janeiro, de acordo com a proposta aqui apresentada, estão distribuídas segundo quatro domínios tectônicos: Complexo Rio Negro (CRN), Terreno Khondalítico Oriental (TKOr), Terreno Khondalítico Ocidental (TKOc) e Terreno Cabo Frio (TCF).

Nesses domínios verifica-se que a grande maioria das fontes que apresentam águas quimicamente especiais (litinada, magnésiana, vanádica, etc.) estão localizadas ao longo das faixas khondalíticas Palma-Guaçuí (FKPG) e Marangatu (FKM), relacionadas ao TKOc, e São Fidélis (FKSF), associada ao TKOr. As três estâncias hidrominerais presentes em território fluminense também estão inseridas em faixas khondalíticas como a Salutaris e Santo Antônio de Pádua relacionadas à FKM e a Raposo à FKPG. Dessa forma, aponta-se para o fato de que, no Estado do Rio de Janeiro, faixas khondalíticas seriam potencialmente favoráveis para a pesquisa de novas fontes com águas minerais com composições especiais.

A provável origem do lítio estaria relacionada à presença de rochas félsicas do tipo granito / granulitos ácidos, que cortam ou estão associadas às faixas khondalíticas. Apesar dos baixos valores registrados, os gnaisses aluminosos da FKM e os gnaisses grafitosos (antigos *black shales*) da FKPG que apresentaram baixos valores de lítio (em torno de 8 ppm Li, com máximo de 22 ppm Li) também poderiam ser as possíveis fontes do metal.

Dentre as rochas máficas, são os diabásios pertencentes ao Enxame de Diques da Serra do Mar e os anfíbolitos ortoderivados associados às rochas metassedimentares (com valores máximos próximos dos 400 ppm V), as possíveis fontes do vanádio. Entretanto, não se pode descartar a possível influência das rochas sedimentares como fontes do elemento, pois os gnaisses grafitosos da FKPG e os gnaisses aluminosos da FKM apresentaram, respectivamente, teores de até 140 ppm V e 90 ppm V.

## 7 Agradecimentos

Os autores agradecem aos revisores e aos Editores do Anuário do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro e à FAPERJ/UERJ pela bolsa Prociência concedida a R. M. Pereira.

## 8 Referências

- André, J.L.F. 2009. *O Complexo Juiz de Fora na Região de Três Rios (RJ): Litogeoquímica, Geocronologia U-Pb (LA-ICPMS) e Geoquímica Isotópica de ND*. Programa de Pós-Graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 187p.
- Branco, P. M. 2014. Água Mineral e Água de Mesa. CPRM, Serviço Geológico do Brasil. <http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Canal-Escola/Agua-Mineral-e-Agua-de-Mesa-1299.html>. Consulta em 25/09/2017.
- BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral / Coordenadores Thiers Muniz Lima, Carlos Augusto Ramos Neves Brasília, DNPM, 141p.
- Breit, G. N.; Wanty, R. B.; Tuttle M. L. 1989. Geochemical control on the abundance of vanadium in black shales and other carbonaceous rocks. In: GRAUCH, R.I. & HUYCK, H.L.O. (Eds.), *Metalliferous Black Shales and Related Ore Deposits - Proceedings, 1989 United States Working Group Meeting, International Geological Correlation Program Project 254*. U.S. Geological Survey Circular, 1058: 6-8.
- BRITISH GEOLOGICAL SURVEY. 2016. Lithium. <https://www.MineralsUK.comasz+2006+lithium> [www.bgs.ac.uk/downloads/start.cfm?id=3100](http://www.bgs.ac.uk/downloads/start.cfm?id=3100). Consulta em 25/09/2017.
- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Diagnóstico Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. In: *Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro*. Brasília, CPRM. CD-ROM, 2000.
- Dias Neto, C.M.; Correia, C.T.; Tassinari C.C.G. & Munhá, J.M.U. 2009. Os Anfíbolitos do Complexo Costeiro na Região de São Sebastião, SP. *Geologia USP*, 9(3): 71-87.
- DNPM - DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Processos Minerários do estado do Rio de Janeiro. <http://www.dnpm.gov.br/assuntos/ao-minerador/sigmine>. Consulta em 25/09/2017.
- DRM/RJ - Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro - Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico, Energia, Indústria e Serviços. 2012. *Panorama Mineral do Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro, 259p.
- Guimarães, P.V. 2011. *Contexto Geológico-Geotectônico da Faixa Manganesífera-Grafitosa localizada entre Itaperuna (RJ) e Volta Grande (MG)*. Programa de Pós-Graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 156p.
- Heilbron, M.; Mohriak, W.; Valeriano, C.M.; Milani, E.; Almeida, J.C.H. & Tupinambá, M. 2000. From collision to extension: the roots of the South-eastern continental margin of Brazil. In: MOHRIAK, W. & TALWANI, M. (Eds.), *Atlantic Rifts and Continental Margin. AGU Geophysical Monograph Series, 115*: 1-32.
- Heilbron, M.; Pedrosa-Soares, A.C.; Campos-Neto, M.; Silva, L.C.; Trouw, R.A. & Janasi, V. 2004. A Província Mantiqueira. In: MANTESSO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R. & BRITO NEVES, B.B. (Eds.), *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Editora Beca, p. 203-235.
- Heilbron, M.; Tupinambá, M.; Valeriano, C.M.; Armstrong, R.; Eirado, L.G.; Melo, R.S.; Simonetti, A.; Pedrosa-Soares, A.C.; Machado, N. 2013. The Serra da Bolívia complex: The record of a new Neoproterozoic arc-related unit at Ribeira belt. *Precambrian Research*, 238: 158-175.
- Machado Júnior, O.G. 2012. *Geologia e Geoquímica da Região de Itaocara, Norte do Estado do Rio de Janeiro*. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 114p.

- Martins, A.M.; Maurício, R.C.; Mansur, K.L.; Caetano, L.C.; Silva, J.D.; Pimenta, T.S.; Erthal, F.L.C.; Pereira Filho, J.C. 2006. Águas Minerais do Estado do Rio de Janeiro. DRM-RJ, Serviço Geológico do Estado do Rio de Janeiro, 182p.
- Mendes, J.C.; Fonseca, M.J.G.; Moura, J.C. 2011. Petrografia e Geoquímica de rochas metaltramáficas da região de Cambuci, Rio de Janeiro. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, 34(1): 22-32.
- Mendes, J.C.; Wiedemann, C.M.; McReath, I. 2002. Norito e Charnóides da Borda do Maciço Intrusivo de Venda Nova, Espírito Santo. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, 25: 99-124.
- Parker, R. L., 1967, Composition of the Earth's crust. In: Data of Geochemistry. U. S. Geol. Survey Prof. Paper 440-D, 19p.
- Pereira, R.M. & Guimarães, P. 2012. A Faixa Khondalítica Maragatu e a descoberta de novas mineralizações de grafita no N-NW do Estado do Rio de Janeiro. *Geociências*, 31(2): 197 - 205.
- Pereira, R.M.; Salomão, M.; Neumann, R.; Guimarães, P. & Pedroso, E. 2016. Fe-Ti-V Associado ao gabro de Lídice, Estado do Rio de Janeiro. *Geonomos*, 24(1): 10 - 20.
- Pereira, R.M.; Neumann, R.; Salomão, M.; Guimarães, P.; Ramos, G.V.; Dutra, A.C. & Pedroso, E. 2016. Terrenos khondalíticos: principais domínios para manganês, grafita, ouro e zinco no estado do Rio de Janeiro e regiões limítrofes. *Geonomos*, 24(1): 41-51.
- Ramos, G.V. 2014. *Metagenia em Terrenos de Alto Grau Metamórfico. Estudo de Caso: Controle e Distribuição das ocorrências auríferas na área entre Laje do Muriáé, RJ e Palma, MG*. Programa de Pós-Graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 178p.
- Santos, T.D. 2006. *Petrogênese dos basaltos de baixo-Tio<sub>2</sub> do enxame de diques da Serra do Mar na Região dos Lagos, RJ*. Programa de Pós-Graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 139p.
- Tupinambá, M.; Heilbron, M.; Valeriano, C.; Júnior, R.P.; de Dios, F.B.; Machado, N.; Silva, L.G.E. & Almeida, J.C.H. 2012. Juvenile contribution of the Neoproterozoic Rio Negro Magmatic Arc (Ribeira Belt, Brazil): Implications for Western Gondwana amalgamation. *Gondwana Research*, 21: 422-438.
- Tupinambá, M.; Heilbron, M.; Duarte, B.P.; Nogueira, J.R.; Valladares, C.; Almeida, J.; Silva L.G.; Medeiros, S.R.; Almeida, C.; Miranda, A.; Ragatky C.D.; Mendes J. & Ludka, I. 2007. Geologia da Faixa Ribeira Setentrional: estado da arte e conexões com a Faixa Araçuaí. *Geonomos*, 15(1): 67-79.
- Tupinambá, M.; Teixeira, W. & Heilbron, M. 2000. Neoproterozoic western Gondwana assembly and subduction-related plutonism: the role of the Rio Negro Complex in the Ribeira Belt, southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(1): 7-11.
- Tupinambá, M.; Heilbron, M.; Oliveira, A.; Pereira, A.J.; Cunha, E.R.S.P.; Fernandes, G.A.; Ferreira, J.; Castilho, G. & Teixeira, W. 1996. Complexo Rio Negro - Uma Unidade Estratigráfica Relevante no Entendimento da Evolução da Faixa Ribeira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, Salvador, 1996, *Anais do 39º Congresso Brasileiro de Geologia*, SBG, 6: 104-106.
- Viana, S.M. 2003. *Petrografia e Geoquímica dos Ortognaisses do Complexo Região dos Lagos, Araruama-Cabo Frio (RJ)*. Programa de Pós-Graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 75p.
- Wedepohl, K.H. 1978. *Handbook of Geochemistry, Vol. II/2*. Berlin, Springer, 576p.