

VARIAÇÃO DE RADIOATIVIDADE NAS ÁGUAS DE FONTES DA ESTÂNCIA
DE ÁGUAS DA PRATA

MÁRIA SZIKSZAY

*Instituto de Geociências da Universidade de
São Paulo, São Paulo*

MARIA HELENA OLIVEIRA SAMPA

*Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares,
São Paulo*

ABSTRACT

In this paper the variation in radioactivity of eight spring waters of Estância de Águas da Prata, State of São Paulo, is presented.

The methodology for the measure of radioactivity using liquid scintillation detectors is described in detail.

The results were treated utilizing the "ACP" (Analyse en Composantes Principales) program. The following conclusions were reached: the variation in the radioactivity is related to the dry and wet seasons, this variation being caused by the dilution of spring water by rain water, thus decreasing the radioactivity values. This dilution is observed immediately in waters circulating in shallow aquifers (sandstones) during the wet season (summer). The dilution occurs later on, during the dry season (autumn-winter) in the spring water of deeper aquifers (volcanic rocks).

The spring waters are considered as mineral waters with respect to temporary radioactivity and they can be classified as strongly radioactive (Villela and Vitória springs), radioactive (do Boi spring) and feebly radioactive (Prata-Radioativa, Prata-Nova and Platina springs).

RESUMO

O aspecto de variação da radioatividade de oito fontes da Estância de Águas da Prata, Estado de São Paulo, é abordado no presente trabalho.

A metodologia de medição da radioatividade usando detectores líquidos de cintilação está descrita detalhadamente.

Para o tratamento dos resultados foi utilizado o programa "ACP" (Análise de Componentes Principais) de computador, que resultou nas seguintes conclusões: a variação da radioatividade está relacionada com as estações seca e chuvosa, sendo que essa variação é causada pela diluição das águas das fontes pelas águas das chuvas, diminuindo assim a radioatividade específica. Essa diluição manifesta-se imediatamente nas águas que circulam em aquíferos subsuperficiais (arenitos) ocorrendo na época das chuvas (verão). A diluição sofre um atraso nas águas que circulam em aquíferos mais profundos (rochas vulcânicas) e manifesta-se durante a estação seca (outono-inverno).

As águas das fontes estudadas enquadram-se na categoria de águas minerais, segundo a radioatividade temporária, e classificam-se como: fortemente radioativas (fontes Villela e Vitória), radioativa (fonte do Boi) e fracamente radioativas (fontes Prata-Radioativa, Prata-Nova e Platina).

INTRODUÇÃO

O aspecto de variação da radioatividade de oito fontes (Paiol, Platina, Prata-Antiga, Prata-Nova, Prata-Radioativa, Vitória, do Boi e Villela) da Estância de Águas da Prata, Estado de São Paulo, é abordado no presente trabalho.

A finalidade deste estudo é, de uma parte, verificar a existência e variação eventual da radioatividade das águas das fontes acima mencionadas e, de outra parte, tentar correlacionar a sua origem com a litologia e a variação da radioatividade com certos parâmetros.

A radioatividade natural da água provém dos elementos radioativos dissolvidos, suspensos em forma de colóides ou difundidos. A radioatividade natural na água deriva, principalmente, das rochas e minerais com os quais a água esteve em contato.

Entre os elementos responsáveis pela radioatividade das águas, o gás radônio é o mais abundante. Os três isótopos que ocorrem naturalmente são o ^{222}Rn com meia-vida de 3,82 dias, o ^{220}Rn com meia-vida de 54 segundos e o ^{219}Rn com meia-vida de 3,92 segundos, respectivamente membros das séries do ^{238}U , ^{232}Th e ^{235}U . O que melhor caracteriza uma água radioativa e o mais fácil de ser encontrado é o ^{222}Rn , como conseqüência de sua meia-vida razoavelmente longa quando comparada com a de seus outros isótopos.

A sua incorporação à água acontece quando esta última atravessa uma zona portadora de ^{226}Ra , com ou sem presença de urânio, ou quando o ^{222}Rn emanado por essa zona atinge um lençol localizado dentro do alcance da difusão do gás.

O teor do gás radônio nas águas está relacionada com vários fatores, a saber: litologia da zona percorrida pela água, extensão da superfície de contato entre as águas e as rochas, pressão e temperatura, tempo de trânsito da água desde o subsolo até o lençol de surgência e a composição química da água.

A origem da radioatividade nas águas das fontes estudadas está correlacionada com os minerais radioativos encontrados nas rochas da região, que são: zircão, badelleyta, minerais de tório não identificados, monazita, apatita, eudialita, etc., em que os elementos radioativos estão contidos na forma de impureza (FUJIMORI, 1974).

MORI, 1974).

Testemunho de sondagem extraído a 110 m de profundidade mostrou concentração em urânio (U_3O_8) de 0,23% no centro do planalto (FUJIMORI, op. cit.). A presença de minerais secundários uraníferos também são raros, sendo a autunita o único encontrado.

Segundo FRAYA (1957), as fraturas da formação arenítica de Águas da Prata estão preenchidas por um material amarelo muito argiloso, contendo, em geral, de 0,1% - 0,2% de óxido de urânio (U_3O_8). Esse urânio provém do minério zircono-uranífero existente no local, ligado com os nefelina sienitos encontrados na região. Conforme análises efetuadas no laboratório da Companhia Geral de Minas, a radioatividade é diretamente proporcional ao teor de ZrO_2 .

CONTEXTO GEOLÓGICO

A cidade de Águas da Prata está situada na borda ocidental do planalto de Poços de Caldas, sendo circundada pelo dique anelar de tingauíto a oeste e pela escarpa acentuada de rochas clásticas a leste. O maior afloramento dessa rocha clástica ocorre logo na saída do perímetro urbano, no vale do Quartel, constituindo um pacote de mais de 100 m de espessura. Na base desses arenitos foi identificado um folhelho de cor roxa, com numerosas intercalações de leitos arenosos e siltosos concordantes com a estratificação. No topo, os arenitos apresentam uma estratificação cruzada, semelhante à dos da Formação Botucatu.

Além disso, nas camadas observam-se brechas vulcânicas, enquanto mais a leste, todo o conjunto apresenta brechas vulcânicas da Serra do Paiol. Nas que estão mais perto do contato, descritas por ELLERT (1959), ocorrem fragmentos de gnaiss provenientes do embasamento, diabásio e sedimentos, enquanto na matriz nota-se a presença de quartzo arredondado.

Na saída de Águas da Prata, ao longo do vale do Quartel, encontram-se afloramentos de rochas de origem vulcânica, brechas e tufos,

VARIAÇÃO DE RADIOATIVIDADE NAS ÁGUAS DE FONTES DA ESTÂNCIA DE ÁGUAS DA PRATA

geralmente associados a arenito.

Essas rochas vulcânicas tiveram suas origens durante as atividades vulcânicas que afetaram o Brasil no fim da era Mesozóica e no início do período Terciário. As rochas relacionadas a esse vulcanismo possuem, em comum, caráter alcalino-sódico. As rochas são do tipo fonolítico e tinguaitico e os seus correspondentes intrusivos são rochas foiaíticas.

No planalto de Poços de Caldas encontra-se, ainda, topograficamente ressaltada, à beira circular de uma vastíssima caldeira de cerca

de 30 km de diâmetro. ELLERT (op. cit.) e BJOERNBERG (1959) mostraram que lá houve um abatimento da massa central depois das principais atividades vulcânicas. As rochas consolidadas afloram principalmente em profundidade, não havendo mais vestígios dos edifícios vulcânicos.

As principais fontes de água mineral dos arredores da cidade de Águas da Prata pertencem a este conjunto de rochas ígneas e de rochas clásticas (Figura 1) SZIKSZAY e TEIS-SEDE (1977).

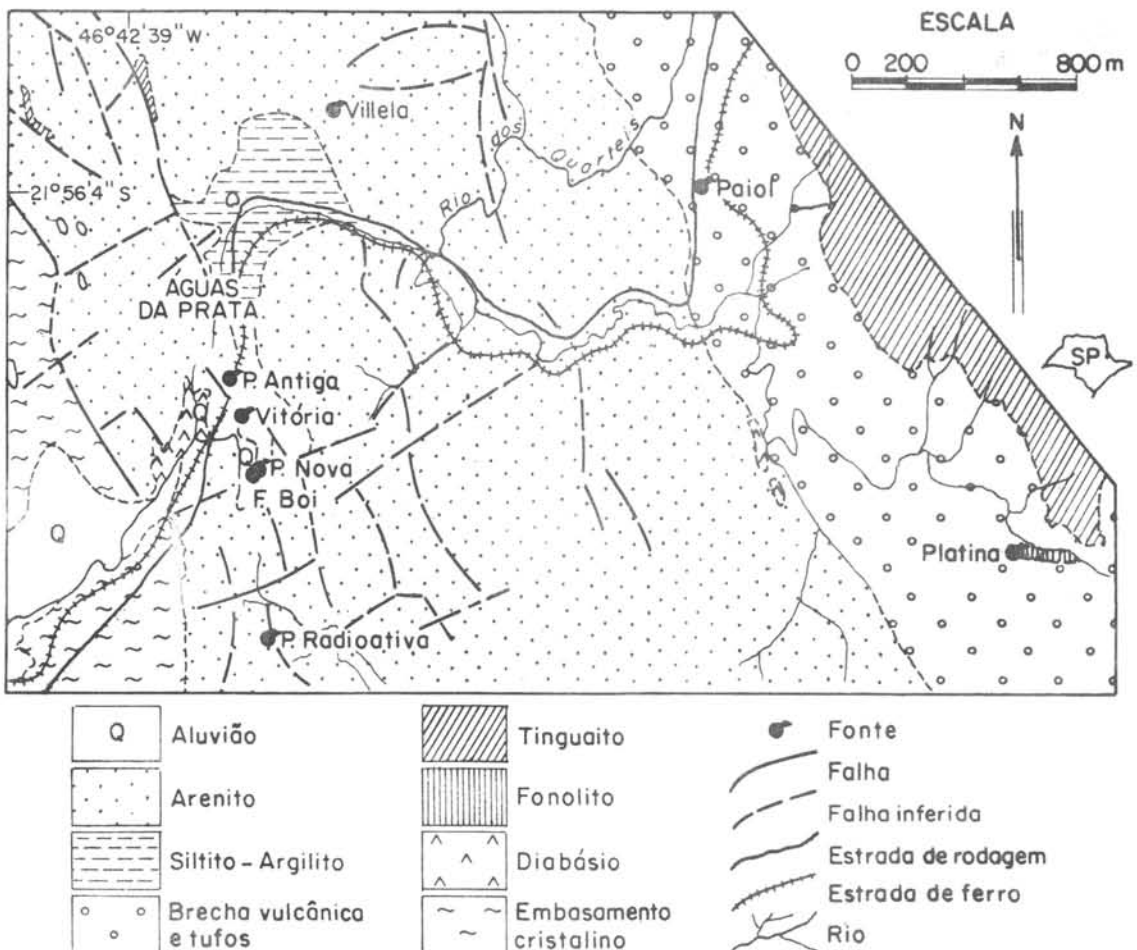


Fig. 1 - Mapa geológico e localização das fontes.

A fonte Platina surge de uma lente de fonolito. O afloramento do fonolito aparece no fundo do vale, perto de um pequeno córrego. A água surge através de fraturas verticais dentro do corpo de fonolito. A circulação é ascendente, por fissuras e fraturas.

A fonte Paiol nasce em rochas alcalinas do tipo tufos vulcânicos, foiaítos e fonolitos. É uma perfuração de cerca de 133 m de profundidade.

A fonte Villela surge ao pé de um paredão de cerca de 10 m de altura, quase no topo da escarpa de capeamento do arenito. A água brota dos arenitos através de fraturas abertas no sentido vertical e horizontal.

As fontes do Boi e Prata-Radioativa pertencem ao mesmo arenito. A fonte do Boi nasce diretamente do paredão do arenito, através de fraturas. Uma falha de direção SW-NE é responsável pelo deslocamento do bloco dominante de arenito bastante silicificado. A fonte Prata-Radioativa, localiza-se num lugar bastante elevado, da mesma forma que a fonte Villela. A água surge das fraturas do arenito silicificado e recristalizado, em contato com siltitos.

Perto da fonte do Boi, na baixada, numa pequena planície aluvionar dominada a nordeste por uma elevação de diabásio, nascem as fontes Vitória e Prata-Nova.

A fonte Vitória encontra-se perto da elevação e a água surge por circulação ascendente por fissuras do diabásio e fonolito recoberto por aluvião, enquanto que a fonte Prata-Nova consiste de um conjunto de poços pouco profundos perfurados nessa baixada.

A fonte Prata-Antiga encontra-se ao outro lado do rio do Quartel e emerge de fissuras de diabásio, por circulação ascendente.

METODOLOGIA

Amostragem

A amostragem da água foi realizada cada mês, durante um ano (maio de 1978 a abril de 1979).

As amostras de água foram colocadas em recipientes de polietileno previamente lavados com ácido clorídrico diluído e água destilada e,

antes da amostragem, com a própria água das fontes. Os recipientes foram preenchidos até a borda, tampados hermeticamente para evitar a entrada do ar e a evaporação, rotulados com a data e a hora da amostragem e levados ao laboratório do IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo), onde as amostras foram analisadas imediatamente após sua chegada. O intervalo médio de tempo entre a coleta e a análise foi de dois dias.

Considerações gerais sobre a metodologia de análise

A maioria dos métodos para a determinação do teor de ^{222}Rn na água consiste na remoção do gás dissolvido na solução, seja por aquecimento, por agitação dentro de um recipiente ou por borbulhamento de um outro gás através do líquido. Neste último caso, o gás que atua como carregador, pode ser simplesmente o ar.

O método mais sensível, e também o mais largamente empregado, é o desenvolvido por LUCAS (1964), no qual o radônio da amostra de água é removido pela passagem de um gás de arraste (geralmente argônio), purificado pela eliminação da umidade e do CO_2 e concentrado em uma armadilha de carvão ativo, esfriada a -76°C . Posteriormente, o radônio é liberado do carvão ativo por aquecimento e transferido para uma câmara de cintilação, desenvolvida por LUCAS (op. cit.), que consiste num recipiente cilíndrico revestido internamente por uma fina camada de ZnS (Ag).

A atividade é determinada colocando-se a janela da câmara em contato com um tubo fotomultiplicador que está conectado a um sistema eletrônico de contagem.

O método apresenta, como vantagem, um limite de detecção baixo, em torno de 5 pCi/l, porém, tem como principais inconvenientes os cuidados que devem ser tomados durante os processos de degaseificação e transferência do gás para a câmara e também o tempo necessário para completar a experiência.

O método dos detectores líquidos de cintilação, descritos neste trabalho e largamente utilizado no IPEN, apresenta várias vantagens como: facilidade na preparação de amostras, pequeno volume de amostra utilizado (10 ml), determinação rápida, precisa e confiável dos

VARIAÇÃO DE RADIOATIVIDADE NAS ÁGUAS DE FONTES DA ESTÂNCIA DE ÁGUAS DA PRATA

teores de radônio normalmente presentes nas águas, e também a possibilidade de contagem automática de até 200 (duzentas) amostras.

O método dos detectores líquidos de cintilação baseia-se na dissolução da substância cuja radioatividade se deseja medir, em uma

solução cintiladora, de tal maneira que os átomos radioativos ficam completamente imersos no meio detetor.

A Figura 2 mostra um desenho esquemático do processo de medição com detectores líquidos de cintilação.

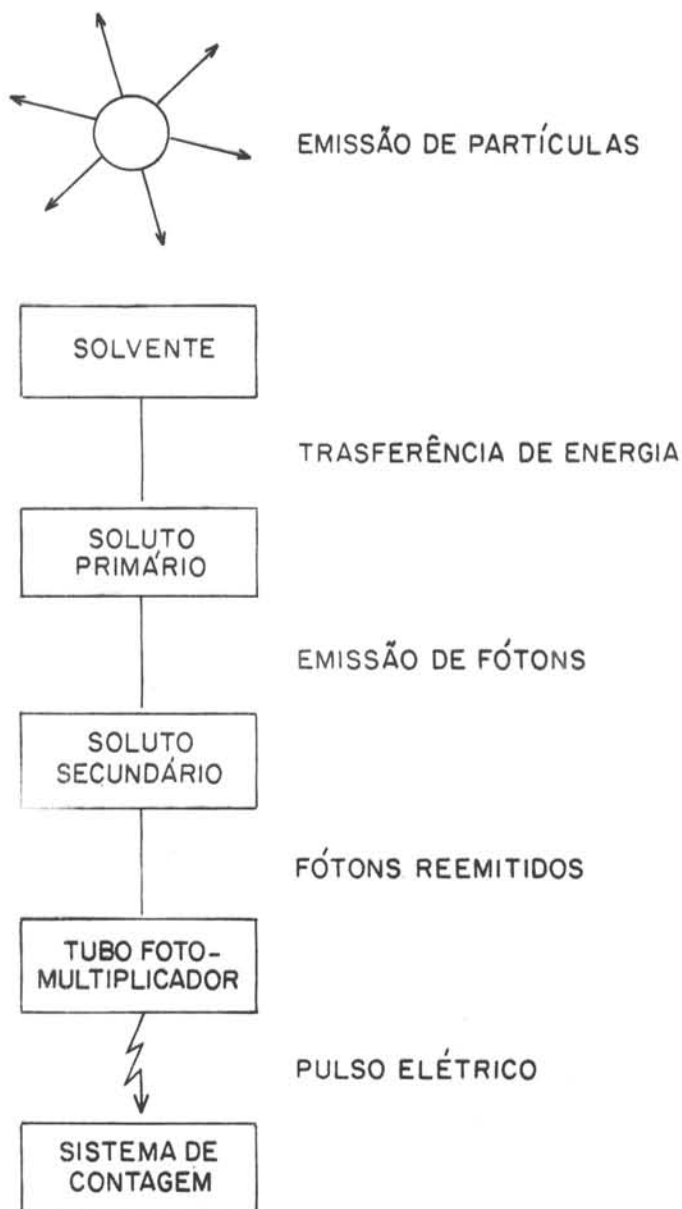


Fig. 2 - Desenho esquemático do processo de medição com detectores líquidos de cintilação.

Características do aparelho – Espectrômetro de cintilador líquido

O espectrômetro de cintilador líquido empregado para a determinação do gás radônio na água foi o LKB WALLAC 81000. Possui três canais analisadores de altura de pulsos, com contagem simultânea, e cada canal contém 33 discriminadores, ajustados logaritmicamente, que cobrem uma faixa de energia de 1 keV a 2000 keV. Está constituído, também de um trocador automático de amostras (com capacidade para 200 delas) que comanda um sistema impressor de dados, e de uma unidade de refrigeração que permite variar a temperatura entre -10°C e a temperatura ambiente.

Preparação das amostras e técnica de contagem

Para a preparação das amostras utilizou-se a solução cintiladora Insta-gel, fornecida pela Packard Instruments Company Inc., que permite a incorporação de grandes volumes de água sem alterar a eficiência de contagem.

Os recipientes de contagem foram frascos de vidro de 25 ml de capacidade, com baixo teor de potássio, fornecidos pela mesma firma.

As amostras foram preparadas de modo simples e rápido, colocando-se 10 ml da solução cintiladora no recipiente de contagem e, logo em seguida, 10 ml da amostra de água radioativa. Após vigorosa agitação, introduz-se o recipiente no sistema de contagem que, para melhorar as condições de medição, deve estar a 10°C .

Determinou-se o espectro energético de alguns núclídeos emissores alfa, utilizando soluções padronizadas dos seguintes elementos: ^{210}Po (5,3 MeV), ^{226}Ra (4,8 MeV) e ^{241}Am (5,5 MeV).

Verificou-se que a melhor relação entre os volumes de solução cintiladora e amostra de água foi de 1:1. Esta relação foi padronizada para todas as determinações da concentração de radônio, com a utilização do Insta-gel.

Determinou-se a influência da temperatura da amostra de água no momento da preparação, observando uma variação apreciável da taxa de contagem como consequência do incremento da solubilidade do radônio na água com a diminuição da temperatura, porém,

na temperatura ambiente (18° a 23°C), o erro cometido por este fator não ultrapassa 5%.

Como os recipientes de medição utilizados têm uma capacidade total de 25 ml e somente 20 ml são ocupados pela mistura da solução cintiladora com a amostra de água, determinou-se qual a fração do ^{222}Rn não dissolvido na mistura de contagem, isto é, a fração de ^{222}Rn na fase gasosa dentro do recipiente.

Observou-se uma dissolução quase total do radônio na mistura de cintilação na temperatura de 10°C (temperatura de medição no espectrômetro). O radônio que fica na fase gasosa representa menos que 5% do total, não incidindo significativamente na eficiência alcançada pelo sistema.

O fator de contagem com o Insta-gel foi determinado utilizando uma amostra padrão preparada com 10 ml de uma solução de ^{226}Ra em equilíbrio com o ^{222}Rn , de 88,8 dpm, obtida a partir de uma solução calibrada pelo National Bureau of Standards (NBS). O fator de contagem obtido para o ^{222}Rn foi de 11,7 pCi/l.cpm.

O método acima caracteriza-se por sua alta reprodutibilidade, tanto na preparação de amostras como na determinação da taxa de contagem, apresentando um limite de detecção para o nível de confiança de 95% (2σ), de 117 pCi/l.

RESULTADOS

Os resultados das medidas de radioatividade encontram-se na Tabela I, e na Figura 3 acham-se representadas graficamente as variações de radioatividade observadas nas fontes da região de Águas da Prata e a precipitação atmosférica (Posto Pluviométrico C3 - 34 FE-PASA, Águas da Prata).

Discussão dos resultados

Para verificar a existência de variações na radioatividade das águas, bem como o seu relacionamento com outros parâmetros anteriormente estudados, foi utilizado o tratamento

VARIAÇÃO DE RADIOATIVIDADE NAS ÁGUAS DE FONTES DA ESTÂNCIA DE ÁGUAS DA PRATA

automático de dados pelo programa "ACP" (Análise de Componentes Principais) no Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Departamento de Laboratórios, Serviços de Geoquímica, Orléans, França. O programa foi executado com o computador tipo HEWLETT-PACKARD 9824A que trabalha com fitas K-7 ou disco.

O programa "ACP" calcula as coordenadas dos variáveis sobre seus eixos e igualmente as coordenadas dos indivíduos, visualiza ainda as tendências gerais dos dados que são representados sobre um plano em duas dimen-

sões.

O eixo F_1 é o preferencial da dispersão das medidas e o eixo F_2 mostra a variação sazonal.

Entre os resultados de programa, obtém-se a percentagem de explicação ou de significação e o eixo que representa esta percentagem com valor mais alto e o que descreve melhor as amostras, é portanto, o que deve ser utilizado.

Foram tratados separadamente, primeiro, os dados sobre águas de três fontes que surgem dos arenitos por serem relativamente as mais radioativas (Figura 4).

Tabela 1 - Concentração de radônio nas águas das fontes da Estância de Águas da Prata.

Fonte	Data da Coleta	Data da Contagem	Concentração de radônio (pCi/l)	Unidade Mache
PLATINA	25.05.78 - 16:20h	30.05.78 - 09:00h	4.783 ± 78	13,15
	24.06.78 - 14:10h	26.06.78 - 18:30h	4.310 ± 57	11,85
	12.08.78 - 15:50h	15.08.78 - 16:30h	2.696 ± 53	7,41
	02.09.78 - 14:30h	06.09.78 - 15:30h	3.313 ± 63	9,1
	30.09.78 - 15:10h	02.10.78 - 18:30h	4.322 ± 55	11,9
	21.10.78 - 14:45h	23.10.78 - 18:45h	3.466 ± 48	9,5
	18.11.78 - 14:50h	21.11.78 - 12:30h	3.130 ± 52	8,6
	16.12.78 - 14:00h	19.12.78 - 18:15h	3.352 ± 54	9,2
	26.01.79 - 13:20h	30.01.79 - 10:30h	3.028 ± 58	8,33
	17.02.79 - 14:40h	20.02.79 - 19:30h	2.865 ± 52	7,88
	17.03.79 - 14:30h	19.03.79 - 17:10h	2.957 ± 48	8,13
	07.04.79 - 13:30h	09.04.79 - 16:40h	2.585 ± 45	7,11
	PRATA-ANTIGA	26.05.78 - 15:10h	30.05.78 - 14:30h	1.693 ± 53
23.06.78 - 15:20h		26.06.78 - 18:00h	1.831 ± 48	5,03
11.08.78 - 15:50h		15.08.78 - 20:30h	1.334 ± 103	3,07
01.09.78 - 16:00h		06.09.78 - 13:30h	1.626 ± 52	4,5
29.09.78 - 16:20h		02.10.78 - 20:00h	1.596 ± 46	4,4
20.10.78 - 15:25h		23.10.78 - 17:15h	1.585 ± 41	4,3
17.11.78 - 16:00h		21.11.78 - 15:30h	1.397 ± 46	3,8
15.12.78 - 16:00h		19.12.78 - 16:15h	1.744 ± 48	4,8
27.01.79 - 10:40h		30.01.79 - 12:00h	1.568 ± 42	4,31
16.02.79 - 16:10h		20.02.79 - 22:30h	1.877 ± 51	5,16
16.03.79 - 16:00h		19.03.79 - 18:10h	1.722 ± 45	4,74
08.04.79 - 08:50h		09.04.79 - 14:43h	1.379 ± 32	3,79

Fonte	Data da Coleta	Data da Contagem	Concentração de radônio (pCi/l)	Unidade Mache
PRATA NOVA	27.05.78 - 10:15h	30.05.78 - 14:00h	1.891 ± 48	5,20
	24.06.78 - 08:40h	26.06.78 - 19:00h	1.941 ± 44	5,34
	12.08.78 - 10:20h	15.08.78 - 20:00h	2.006 ± 52	5,52
	02.09.78 - 08:30h	06.09.78 - 14:00h	2.369 ± 60	6,5
	30.09.78 - 08:50h	02.10.78 - 17:00h	2.755 ± 48	7,6
	21.10.78 - 08:50h	23.10.78 - 20:15h	2.328 ± 42	6,4
	18.11.78 - 09:00h	21.11.78 - 09:30h	1.862 ± 42	5,1
	16.12.78 - 09:10h	19.12.78 - 16:45h	2.498 ± 51	6,9
	27.01.79 - 13:50h	30.01.79 - 12:30h	2.681 ± 49	7,37
	17.02.79 - 09:00h	20.02.79 - 16:30h	2.155 ± 48	5,93
	17.03.79 - 08:40h	19.03.79 - 15:40h	2.784 ± 48	7,66
	08.04.79 - 09:50h	09.04.79 - 15:13h	2.381 ± 39	6,55
PAIOL	25.05.78 - 14:45h	30.05.78 - 09:30h	305 ± 45	0,84
	24.06.78 - 16:10h	26.06.78 - 17:00h	643 ± 62	1,77
	12.08.78 - 14:40h	15.08.78 - 18:00h	331 ± 35	0,91
	02.09.78 - 16:00h	06.09.78 - 16:00h	339 ± 39	0,9
	30.09.78 - 17:00h	02.10.78 - 19:00h	580 ± 31	1,6
	21.10.78 - 17:10h	23.10.78 - 18:15h	560 ± 27	1,5
	18.11.78 - 17:30h	21.11.78 - 13:30h	430 ± 31	1,2
	16.12.78 - 16:30h	19.12.78 - 18:45h	636 ± 33	1,7
	26.01.79 - 14:50h	30.01.79 - 11:00h	611 ± 37	1,68
	17.02.79 - 16:30h	20.02.79 - 20:30h	499 ± 33	1,37
	18.03.79 - 09:20h	19.03.79 - 20:30h	686 ± 28	1,89
	06.04.79 - 15:10h	09.04.79 - 18:10h	743 ± 35	2,04
VITÓRIA	25.05.78 - 09:00h	30.05.78 - 10:00h	24.994 ± 147	68,73
	24.06.78 - 10:00h	26.06.78 - 16:00h	25.045 ± 124	68,87
	11.08.78 - 17:10h	15.08.78 - 17:30h	26.906 ± 152	74,00
	02.09.78 - 10:00h	06.09.78 - 14:30h	24.319 ± 147	66,9
	30.09.78 - 10:40h	02.10.78 - 17:30h	25.237 ± 124	69,4
	21.10.78 - 10:40h	23.10.78 - 19:45h	24.548 ± 122	67,5
	18.11.78 - 10:20h	21.11.78 - 10:30h	22.108 ± 123	60,8
	16.12.78 - 10:10h	19.12.78 - 17:15h	25.014 ± 134	68,8
	27.01.79 - 15:20h	30.01.79 - 13:00h	34.291 ± 189	94,30
	17.02.79 - 10:30h	20.02.79 - 17:30h	22.514 ± 129	61,91
	17.03.79 - 10:10h	19.03.79 - 16:10h	26.400 ± 127	72,60
	07.04.79 - 08:40h	09.04.79 - 15:40h	32.092 ± 138	88,25

VARIAÇÃO DE RADIOATIVIDADE NAS ÁGUAS DE FONTES DA ESTÂNCIA DE ÁGUAS DA PRATA

Fonte	Data da Coleta	Data da Contagem	Concentração de radônio (pCi/l)	Unidade Mache
do BOI	26.05.78 - 10:40h	30.05.78 - 15:00h	16.391 ± 123	45,07
	24.06.78 - 11:20h	26.06.78 - 19:30h	16.727 ± 103	46,00
	12.08.78 - 11:50h	15.08.78 - 17:00h	13.148 ± 101	36,16
	02.09.78 - 11:00h	06.09.78 - 15:00h	13.980 ± 115	38,4
	30.09.78 - 12:00h	02.10.78 - 18:00h	14.590 ± 97	40,1
	21.10.78 - 11:50h	23.10.78 - 19:15h	16.598 ± 101	45,6
	18.11.78 - 11:50h	21.11.78 - 11:30h	12.408 ± 95	34,1
	16.12.78 - 10:50h	19.12.78 - 17:45h	17.170 ± 155	47,2
	27.01.79 - 16:50h	30.01.79 - 13:30h	13.664 ± 198	37,58
	17.02.79 - 11:30h	20.02.79 - 18:30h	10.906 ± 92	29,99
	17.03.79 - 11:00h	19.03.79 - 16:40h	10.969 ± 84	30,16
	07.04.79 - 15:20h	09.04.79 - 17:10h	15.559 ± 97	42,79
	PRATA RADIOATIVA	27.05.78 - 08:40h	30.05.78 - 16:15h	4.210 ± 63
23.06.78 - 13:50h		26.06.78 - 17:30h	4.561 ± 64	12,54
11.08.78 - 14:00h		15.08.78 - 18:30h	3.767 ± 67	10,36
01.09.78 - 14:00h		06.09.78 - 13:00h	4.603 ± 77	12,7
29.09.78 - 14:50h		02.10.78 - 19:30h	5.909 ± 73	16,3
20.10.78 - 13:45h		23.10.78 - 17:45h	4.946 ± 62	13,6
17.11.78 - 14:40h		21.11.78 - 14:30h	3.308 ± 60	9,1
15.12.78 - 14:10h		19.12.78 - 15:45h	2.765 ± 54	7,6
27.01.79 - 09:00h		30.01.79 - 11:30h	2.158 ± 47	5,93
16.02.79 - 14:10h		20.02.79 - 21:30h	1.916 ± 52	5,27
16.03.79 - 14:20h		19.03.79 - 17:40h	1.696 ± 45	4,66
07.04.79 - 09:50h		09.04.79 - 16:10h	2.171 ± 43	5,97
VILLELA		27.05.78 - 13:40h	30.05.78 - 10:30h	39.459 ± 163
	25.06.78 - 09:10h	26.06.78 - 16:30h	36.882 ± 136	101,42
	13.08.78 - 09:10h	15.08.78 - 19:00h	39.537 ± 158	108,72
	03.09.78 - 09:00h	06.09.78 - 16:30h	34.780 ± 60	96,0
	01.10.78 - 09:40h	02.10.78 - 16:30h	39.480 ± 140	108,6
	22.10.78 - 09:00h	23.10.78 - 20:45h	50.006 ± 161	137,5
	19.11.78 - 09:30h	21.11.78 - 08:30h	36.334 ± 142	99,9
	17.12.78 - 10:00h	19.12.78 - 19:15h	23.254 ± 119	64,0
	28.01.79 - 09:00h	30.01.79 - 14:00h	27.550 ± 129	75,76
	18.02.79 - 08:30h	20.02.79 - 15:30h	29.733 ± 135	81,77
	18.03.79 - 10:40h	19.03.79 - 15:10h	29.496 ± 120	81,11
	06.04.79 - 15:10h	09.04.79 - 18:10h	25.535 ± 136	70,22

Tabela 1 – Resultados das análises de radioatividade de águas de fontes da região de Águas da Prata.

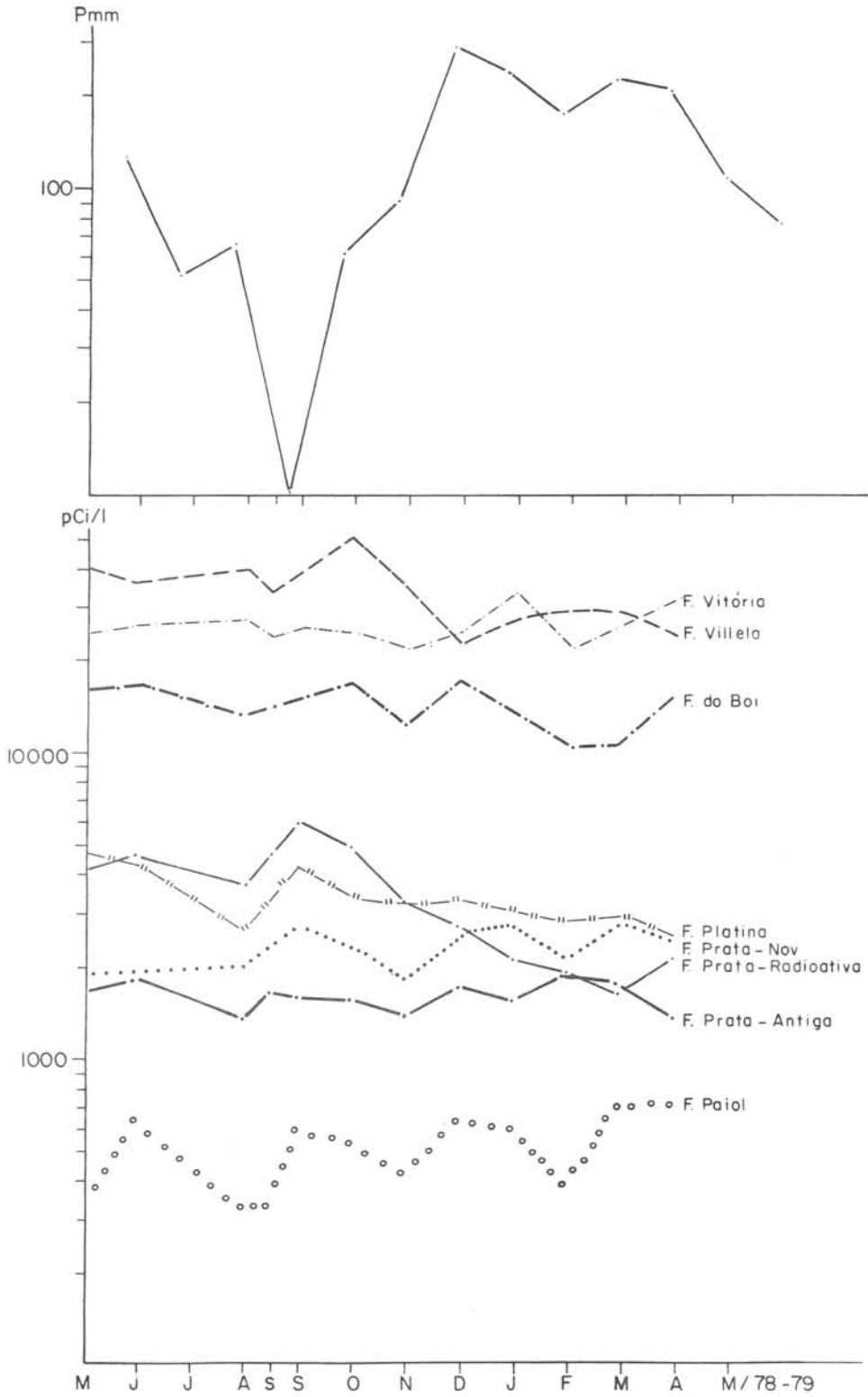


Fig. 3 - Variação da radioatividade observada nas águas das fontes da região de Águas da Prata e a precipitação atmosférica.

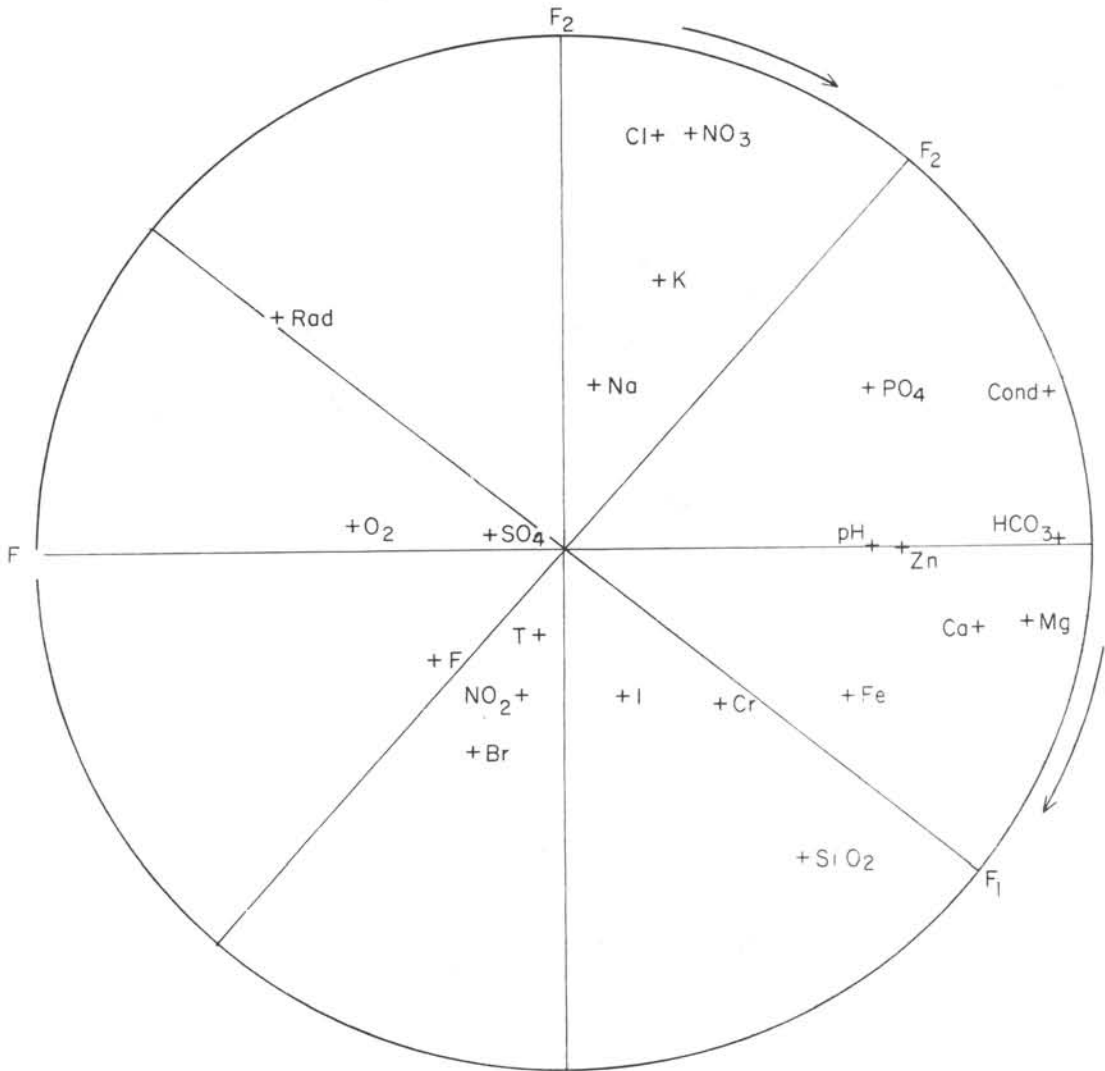


Fig. 4 - Correlação entre radioatividade das águas das fontes: do Boi, Prata-Radioativa e Villela e resultados das determinações físicas, físico-químicas e químicas de maio 1978 - abril 1979 (fonte: SZIKSZAY, 1981).

Os dados das análises foram plotados com relação aos 2 eixos fatoriais, F_1 e F_2 no gráfico da Figura 4, onde se observa que a radioatividade está ligada com o oxigênio dissolvido e que varia opostamente com a sílica e ainda com a condutividade elétrica, bicarbonato, magnésio e cálcio. As águas mais ricas em sílica são as menos radioativas e as mais radioativas são ligadas mais com nitrato, cloreto e potássio.

Observando-se os dados plotados na parte superior do eixo F_2 (correspondente as estações de outono e inverno, sem muita preci-

pitação atmosférica), verifica-se que as águas apresentaram maiores concentrações de cloreto e nitrato do que no verão (parte inferior do eixo F_2), quando são mais abundantes em sílica.

Foram plotados nos eixos fatoriais os dados mensais de radioatividade (Figura 5) das três fontes, onde os números 6, 7 e 8 correspondem as fontes do Boi, Prata-Radioativa e Villela, respectivamente, e o segundo número ao mês, começando com maio 1978. (Assim 8.20 significa fonte Villela, análise de junho).

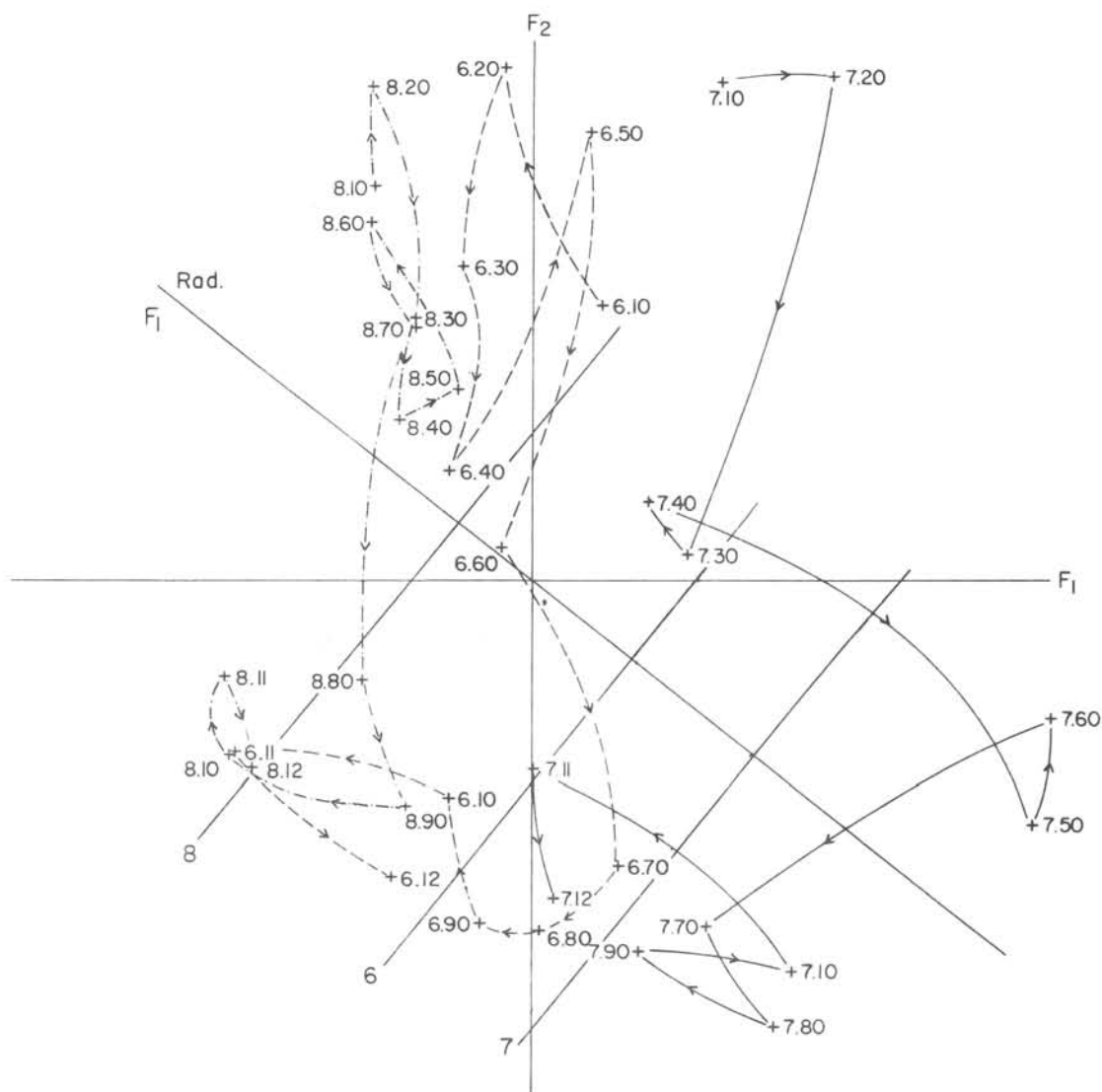


Fig. 5 - Representação bidimensional de dados mensais de radioatividade.
(Fontes: 6-do Boi, 7-Prata-Radioativa, 8-Villela)

Na disposição dos dados das três fontes na Figura 5 observa-se também que o N^o 8 (na esquerda) é o mais radioativo (fonte Villela), em seguida o N^o 6 (fonte do Boi) e por último o N^o 7 (fonte Prata-Radioativa).

Traçando-se o eixo F_2 , que representa a variação sazonal, perpendicularmente ao eixo da radioatividade, observa-se uma separação,

ou seja, um agrupamento acima e outro abaixo de eixo F_2 , nas três águas.

Na parte superior do eixo F_2 os números correspondem as estações outono-inverno no caso das fontes do Boi e Prata-Radioativa que se localizam nas proximidades, e outono-inverno-primavera no caso da fonte Villela.

VARIAÇÃO DE RADIOATIVIDADE NAS ÁGUAS DE FONTES DA ESTÂNCIA DE ÁGUAS DA PRATA

Na parte inferior do eixo F_2 os números correspondem as estações primavera-verão (fontes do Boi e Prata-Radioativa) e verão-outono (fonte Villela).

O mesmo tratamento de dados, foi feito separadamente para as outras cinco águas emergentes de rochas vulcânicas. Os dados dessas análises foram plotados com relação aos

dois eixos fatoriais F_1 e F_2 , no gráfico da Figura 6, onde observa-se que a radioatividade nessas águas é ligada com o potássio e que varia opostamente com a temperatura e o fluoreto, e ainda com a condutividade elétrica, bicarbonato, sódio e sulfato. As águas mais ricas em fluoreto são as menos radioativas e as mais radioativas são ainda ligadas com o zinco e iodeto.

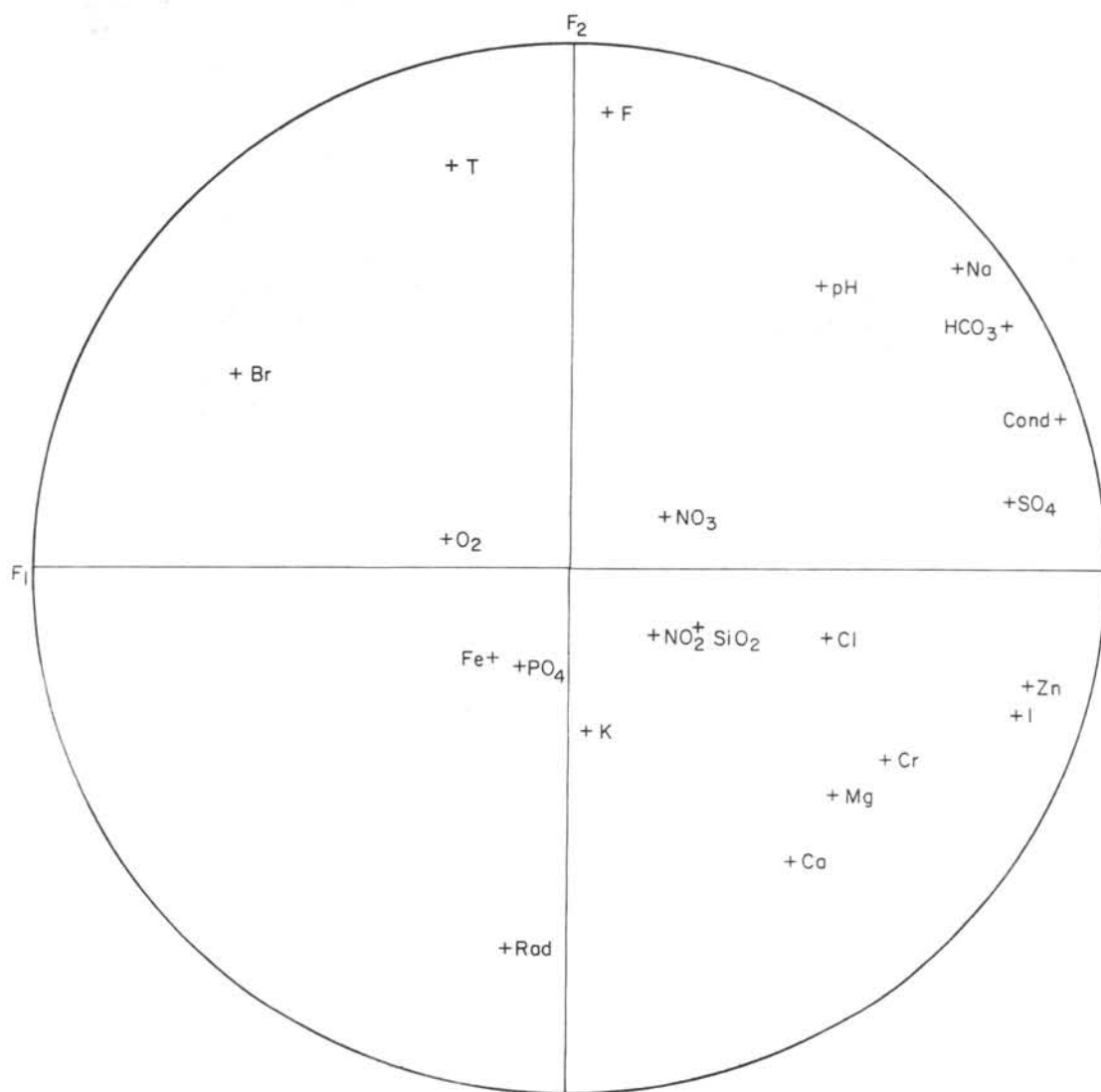


Fig. 6 - Correlação entre radioatividade das águas das fontes: Platina, Prata-Antiga, Prata-Nova, Paiol e Vitória e resultados das determinações físicas, físico-químicas e químicas de maio 1978 - abril 1979 (fonte: SZIKSZAY, 1981).

Na disposição dos dados da Figura 7 observa-se que o N^o 5 (fonte Vitória) é o mais radioativo e o N^o 4 (fonte Paiol) o menos radioativo e o mais rico em fluoreto.

Traçando-se o eixo F_1 para cada água, que representa neste caso a variação sazonal, perpendicularmente sobre os eixos de variação de radioatividade (F_2), observa-se uma separação, ou seja, um agrupamento acima e outro abaixo do eixo F_1 .

Os números que se encontram na parte superior do eixo F_1 , correspondem as estações inverno-primavera-verão no caso das águas das fontes Platina, Prata-Nova e, Vitória e outono e primavera nas das fontes Prata-Antiga e Paiol.

Na parte inferior do eixo F_1 encontram-se os números correspondentes as estações inverno-primavera no caso das águas das fontes Prata-Antiga e Paiol e inverno-primavera e verão-outono no caso das fontes Platina, Prata-Nova e Vitória.

O comportamento semelhante na variação da radioatividade nas águas das fontes Prata-Antiga e Paiol poderia estar relacionada com a profundidade maior dessas duas fontes.

Resumindo, pode se dizer que a variação da radioatividade nas águas durante o ano é ligada com as estações, mais exatamente com a precipitação atmosférica. Nas águas mais radioativas que emergem de arenitos, os valores de radioatividade são mais elevados nas estações de outono-inverno-primavera e menor no verão quando a precipitação atmosférica é maior, provocando uma diluição na água diminuindo assim a sua radioatividade (Figura 3).

Nas estações definidas, todas as três águas surgentes de arenitos mostram comportamento igual na variação da radioatividade e, somente nas meias-estações, nota-se uma diferenciação, tendo como causas as litologias diferentes e a proximidade de outros aquíferos.

No caso das águas que surgem de rochas vulcânicas e diabásios, e que apresentaram valores de radioatividade mais baixos, observou-se que a radioatividade mais elevada ocorre nas estações primavera-verão-outono e os mais baixos no outono-inverno, portanto, contrário as águas surgentes de arenitos. A razão desse comportamento poderia ser que a diluição das águas das fontes que ocorre durante a

época chuvosa (verão) tem sua ação imediata no caso das águas emergentes de aquíferos menos profundos ou subsuperficiais (arenitos), assim a radioatividade nessas águas é menor nos meses de verão. Já no caso de águas emergentes de aquíferos mais profundos (rochas vulcânicas), a diluição sofre um atraso, sentindo-se sua ação somente na época de outono-inverno (Figura 3).

Verificou-se, ainda, nos resultados, que as variações da radioatividade são diretamente proporcionais as variações dos teores de cloreto nas águas das fontes Prata-Antiga, Prata-Nova, Vitória e Paiol, emergentes de diabásio e rochas vulcânicas, e que essa proporcionalidade não se observa nas águas da fonte Platina.

Admite-se que a origem da radioatividade nas fontes emergentes de rochas vulcânicas, não é a mesma que nas fontes que surgem de arenitos (onde a radioatividade está ligada à presença de óxido de urânio, como cimento nos grãos de sílica), senão que de outros minerais que contém elementos radioativos, e dos quais o cloreto faz parte.

Verificou-se também uma proporcionalidade entre a radioatividade e a profundidade das águas, ou seja, as águas que emergem de maiores profundidades são as menos radioativas (fontes Paiol 133 m, Prata-Antiga 13m e Prata-Nova 15,9 m) e as de circulação subsuperficial, as mais radioativas (fontes Villela, do Boi, Prata-Radioativa e Vitória).

A observação acima pode ser explicada pelo fato do teor do gás radônio estar relacionada com o tempo de trânsito da água desde o sub-solo até o local de afluência, pois esse tempo fará com que a radioatividade diminua, simplesmente, por decaimento.

CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS

As águas classificam-se segundo a radioatividade, de acordo com o Código de Águas Minerais do Brasil, Decreto-Lei N^o 7841 de 8 de agosto de 1945, Capítulo VII, Classe X, que diz, que são radioativas as águas que contiverem radônio em dissolução, obedecendo aos seguintes limites:

VARIAÇÃO DE RADIOATIVIDADE NAS ÁGUAS DE FONTES DA ESTÂNCIA DE ÁGUAS DA PRATA

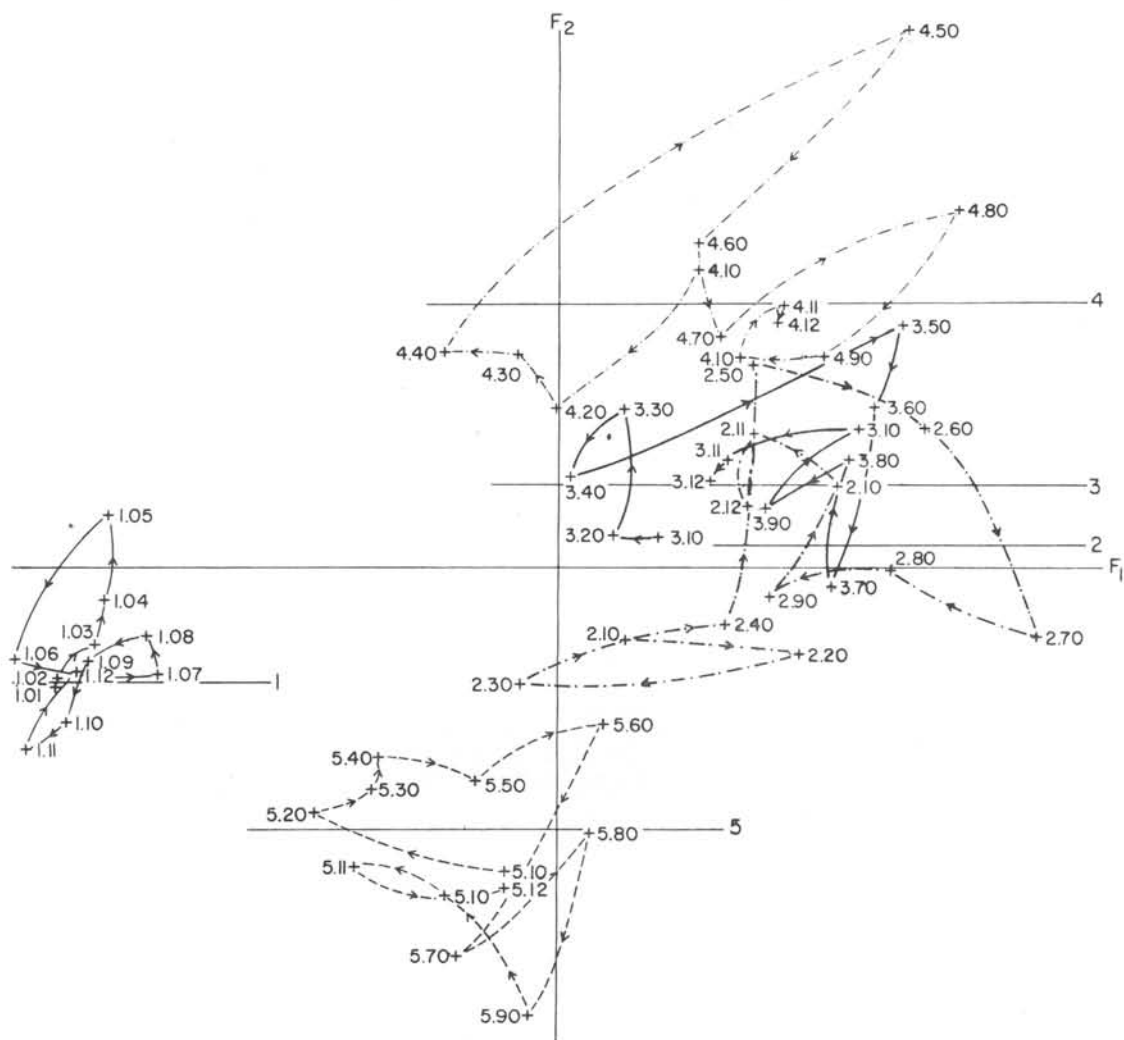


Fig. 7 - Representação bidimensional de dados mensais de radioatividade.
(Fontes: 1-Platina, 2-Prata-Antiga, 3-Prata-Nova, 4-Paiol, 5-Vitória)

- "a) *fracamente radioativas*, as que apresentarem, no mínimo, um teor em radônio compreendido entre 5 e 10 unidades Mache, por litro, a 20°C e 760 mm de Hg de pressão;
- b) *radioativas*, as que apresentarem um teor em radônio compreendido entre 10 e 50 unidades Mache, por litro, a 20°C e 760 mm de Hg de pressão;
- c) *fortemente radioativas*, as que possuem um teor em radônio superior a 50 unidades Mache, por litro, a 20°C e 760 mm de Hg de pressão."

Transformando essas unidades Mache em pCi/l, que são as mais usadas internacionalmente, as águas podem ser definidas como:

abaixo de 1.800 pCi/l. . . não é radioativa
 1.800 - 3.630 pCi/l. . . fracamente radioativa
 3.630 - 18.180 pCi/l. . . radioativa
 acima de 18.180 pCi/l. . . fortemente radioativa

As águas das fontes Prata-Antiga, com média de 1,607 pCi/l e Paiol, com média de 530 pCi/l não são radioativas; as fontes Prata-Radioativa, com média de 3,500 pCi/l, Platina, com média de 3,400 pCi/l e Prata-Nova, com média de 2,304 pCi/l, são fracamente radioativas; as águas da fonte Boi, com média de 14,342 pCi/l, radioativa e as águas das fontes Villela, com média de 34,337 pCi/l e Vitória, com média de 26,197 pCi/l, enquadram-se na categoria de águas fortemente radioativas.

CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos pode-se concluir que as águas das oito fontes estudadas da Estância de Águas da Prata enquadram-se na categoria de águas minerais, segundo a radioatividade temporária, salvo as das fontes Prata-Antiga e Paiol. As águas das fontes Prata-Radioativa e Platina e ainda Prata-Nova são fracamente radioativas, as do Boi, radioativa e as das fontes Villela e Vitória, fortemente radioativas.

Segundo o grau de radioatividade, as águas se separam em três grupos que se correlacionam com a litologia onde essas águas circulam. As mais radioativas são as águas das fontes Villela, Vitória e do Boi, onde a radioatividade está ligada ao material radioativo disseminado nos interstícios do arenito para o caso das águas das fontes Villela e do Boi, e nos aluviões arenosos para a água da fonte Vitória.

Outro grupo é o das águas fracamente radioativas (fontes Platina, Prata-Nova e Prata-Radioativa), cuja origem possivelmente está correlacionada com minerais zircônio-uraníferos comumente encontrados nas rochas nefelino-sieníticas (fontes Platina e Prata-Nova) e nas águas da fonte Prata-Radioativa relacionada com os arenitos misturados com siltitos nessa surgência.

Ao terceiro grupo pertencem as águas das fontes Paiol e Prata-Antiga, consideradas como não radioativas.

Observou-se também que quanto mais profundas são as circulações das águas (fontes Paiol e Prata-Antiga), tanto menor é a radioatividade.

Observou-se na variação da radioatividade uma separação em dois grupos que correspondem a duas estações: seca e chuvosa. Admite-se, que a variação na radioatividade é causada pela diluição das águas das fontes por águas das chuvas, diminuindo, assim, a radioatividade. Essa diluição manifesta-se imediatamente nas águas que circulam em aquíferos subsuperficiais (arenitos) ocorrendo na época das chuvas (verão). A diluição sofre um atraso nas águas que circulam em aquíferos mais profundos (rochas vulcânicas) e manifesta-se durante a estação seca (outono-inverno).

AGRADECIMENTOS

Queremos expressar nossos agradecimentos à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo) pela ajuda financeira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BJOERNBERG, A.J.S. – 1959 – Rochas clásticas do planalto de Poços de Caldas – Fac. Fil. Ciênc. e Letr. – USP – Bol. Nº 237, Geologia Nº 18, p. 64 - 122.
- ELLERT, R. – 1959 – Contribuição à geologia do maciço alcalino de Poços de Caldas – Bol. Fac. Fil. Ciênc. e Letr. – USP – Bol. Nº 237, Geologia Nº 18, p. 1 - 63.
- FRAYA, R. – 1957 – Ocorrências uraníferas no arenito de Águas da Prata, São Paulo – Eng. Min. e Met., Vol. XXVI – Nº 154, p. 201 - 208.
- FUJIMORI, K. – 1974 – Minerais radioativos do Campo Agostinho, Poços de Caldas (MG) – Tese de Livre Docência – IG/USP, p. 160.
- LUCAS JR., H.F. – 1957 – Improved low-level alpha-scintillation counter for radon. Rev. Scient. Instrum. 28 (9), p. 680 - 683.
- LUCAS JR., H.F. – 1964 – A fast and accurate survey technique for both radon-222 and radio-226. In ADAMS, J.A.S. & LOWDER, W.H. The natural radiation environment. Chicago, Ill., University of Chicago.
- OLIVEIRA SAMPA, M.H. – 1978 – Estudo e desenvolvimento de métodos analíticos para determinação da radiação natural em águas – Tese de Mestrado – IEA/USP, p. 151.
- SZIKSZAY, M. e TEISSEDE, J.M. – 1977 – Fontes da Estância de Águas da Prata, Estado de São Paulo – Bol. IG/USP, Vol. 8., p. 83 - 96.
- SZIKSZAY, M. – 1981 – Hidrogeoquímica das fontes de Águas da Prata, Estado de São Paulo – Origem, Classificação e Caracterização – Tese de Livre Docência – IG/USP, p. 193.