

METODOLOGIA PARA CARACTERIZAÇÃO DE ASSINATURA GEOQUÍMICA DE TRAJETOS DE ÁGUA EM ZONAS DE RECARGA DE INTERFLÚVIOSⁱ

Methodology for geochemical signature characterization of water paths in interfluvial recharge zones

Metodología para la caracterización de la firma geoquímica de trayectos de las aguas en las zonas de recarga interfluviales

Paulo Pereira Martins Juniorⁱⁱ

Vitor Vieira Vasconcelosⁱⁱⁱ

Universidade Federal de Ouro Preto - Brasil

Luciano Rios Scherrer^{iv}

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - Brasil

Maria Carolina de Moraes^v

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Brasil

Vinícius Coutinho Santa Cecília^{vi}

Centro Universitário de Belo Horizonte - Brasil

Lawrence de Andrade Magalhães Gomes^{vii}

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - Brasil

RESUMO

Apresenta-se uma metodologia para caracterização de assinaturas hidrogeoquímicas de partilha de aquífero entre bacias e de trajetos de água comuns em zonas de recarga de interflúvios. O método baseia-se na coleta e análise de características químicas de águas subterrâneas a partir de fontes. As Bacias de Paracatu, São Marcos, Alto Paranaíba e São Mateus foram investigadas.

Palavras-chave: hidrogeoquímica; aquíferos; recarga; Noroeste de Minas Gerais.

ABSTRACT

This is a proposal of a methodology for the characterization of hydrogeochemistry signature of water ways in interflow recharge zones of neighbouring watersheds. The method is based in the systematic sampling and chemical analysis of underground and sources of water. Paracatu, São Marcos, São Bartolomeu and Alto Paranaíba watersheds were chemically investigated.

Keywords: hydrogeochemistry; aquifer; recharge; Northwestern Minas Gerais State.

RESUMEN

Se propone una metodología para la caracterización de las firmas hidrogeoquímicas en los trayectos de las aguas en las zonas de recarga interfluviales. El método se basa en el muestreo de las aguas subterráneas y en las fuentes con en el análisis de sus características químicas. Las cuencas de los ríos Paracatu, São Marcos, Alto Paranaíba y São Marcos fueron investigadas.

Palabras clave: hidrogeoquímica; aquíferos; recarga; Noroeste del Estado de Minas Gerais.

INTRODUÇÃO

A recarga advém de diversos processos próprios às rochas, ao relevo, a estratigrafia, as estruturas rúpteis e dúcteis, isoladamente, ou em vários modos de associações, entre os fatores existentes. A existência de aquíferos em interflúvios não implica que necessariamente a assinatura química tenha que ser de mesma ordem de teores para todos os íons em todas as

fontes, e que por isso não possa ocorrer variabilidade temporal nos períodos de chuva e seca, no intervalo de um ano hidrológico. Em áreas de vertentes opostas em bacias distintas, águas idênticas quimicamente podem identificar trajetos partilhados. No entanto, coberturas e rochas como não são iguais e/ou homogêneas as águas com química equivalente podem indicar apenas que a recarga se dê em

nível dos solos e/ou formações superficiais.

Objetivo: integrar conhecimentos hidrogeoquímicos sobre estrutura dos aquíferos, eventualmente partilhados, entre as bacias do Paracatu (Sub-bacias de Rio Preto, Entre Ribeiros e Escurinho) e São Marcos, na divisa entre os Estados de Minas Gerais, Goiás e o Distrito Federal (FIGURA 1). Todos os pontos estão sobre cobertura sedimentar do Terciário-Quaternário, depositada sobre a Formação Paracatu do Grupo Canastra, do Pré-Cambriano, segundo mapeamento lito-estratigráfico em 1:100.000 de CETEC (1981).

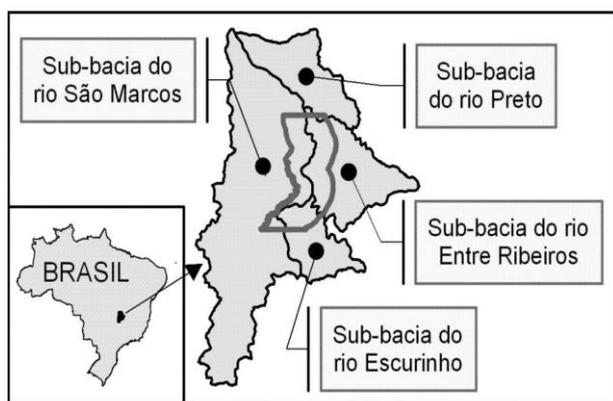


FIGURA 1 - Localização da área de estudo.
Elaborado pelos autores.

Cabe ressaltar que toda essa região é em si área agrícola, e que dela diversas fontes alimentam os cursos d'água que correm para os quatro grandes rios citados. Para tanto, descreve-se um método de análise da tipologia química das águas, nas várias áreas de fontes, essas mesmas com tipologia ecológicas distintas. O desenvolvimento metodológico e as atividades aplicadas são desenvolvidos no âmbito do Projeto GZRP - Gestão de Zonas de Recarga de Aquíferos Partilhadas entre as Bacias de Paracatu, São Marcos e Alto Paranaíba

(MARTINS JR., 2009), e Projeto SACD - Sistemas de Arquitetura de Conhecimentos e de Auxílio à Decisão na Gestão Geo-Ambiental e Econômica de Bacias Hidrográficas e Propriedades Rurais, ambos financiados pela Agência FAPEMIG. Esses estudos dão continuidade ao Projeto CRHA - Conservação de Recursos Hídricos no Âmbito da Gestão Agrícola e Ambiental de Bacias Hidrográficas (MARTINS JUNIOR, 2006), financiado pelo Fundo Setorial CT-HIDRO/2002-MCT/ FINEP.

METODOLOGIA

Três campanhas de campo foram realizadas nos intervalos de 06 e 07 / 2007, 10 / 2007 e 10 / 2008, perfazendo um ano hidrológico. A coleta se fez com bombonas, leitura de coordenadas em GPS, leitura de pH, temperatura do ar, temperatura da água, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, descrição e fotografia dos pontos amostrados. Na terceira campanha, alguns poços foram amostrados com o intuito de estabelecer contrastes da química das águas mais profundas com aquelas que emergem das fontes.

Foram analisados os íons em traço dos elementos Al, Ba, Be, B, Cd, Ca, Pb, Cu, Cr, Fe, Li, Mg, Mn, Ni, K, Na, Zn e o $(PO_4)^{3-}$ em especial. Foi analisada também a presença de diversos biocidas (2/4/6 triclorofenol, molinato, trifluoralina, simazina, atrazina, pentaclorofeno, hexaclorobenzeno, lindano, heptacloro+heptacloroepóxido, Aldrin+Dieldrin, Clordano, Endossulfan, Endrin, DDT, Metoxicloro, Permetrina) todos com resultados negativos ou abaixo do nível de

detecção. A não evidência de poluição direta de biocidas não exclui o que possivelmente possa ter sido derivado do insumo NPK para o N. Foram geradas tabelas de análise estatística descritiva de todos os íons-em-traço, alvos desse artigo em função dos seguintes aspectos (FIGURA 2): (1) cada íon analisado em si, (2) cada uma das 7 áreas de amostragem específicas em que a área tampão foi dividida, analisadas em si, e (3) cada uma das três campanhas, analisadas em si. Optou-se por realizar a análise não-paramétrica em virtude dos dados não apresentarem distribuição normal, para a avaliação de diferenças entre as campanhas e das diferentes áreas.

DESENVOLVIMENTO

Devido ao fato de que a variável *campanha* possui três categorias, foi adotado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, que permite a comparação múltipla de k tratamentos ou categorias. No teste de Kruskal-Wallis, a hipótese nula é a de que não há diferença entre as medianas das categorias; e a hipótese alternativa é a de que haja pelo menos uma diferença significativa entre as categorias ou tratamentos estudados. Com a técnica geoestatística *Scan* para variável contínua (HUANG *et al.*, 2009) procura-se por conglomerados de elementos com alta concentração média de íons durante o período analisado. A função de verossimilhança é calculada com base na comparação entre o conglomerado identificado e o universo de elementos restantes. A busca por conglomerados é realizada a partir de janelas

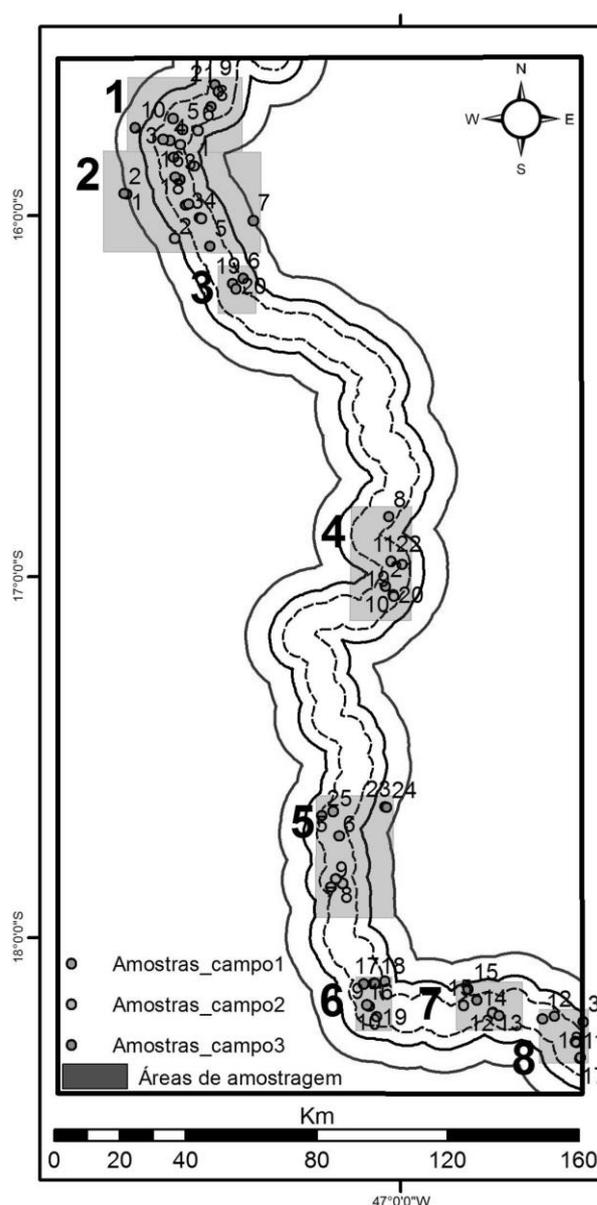


FIGURA 2 – Mapa da Área de Estudo. Elaborado pelos autores.

circulares de raio variável com centróide em cada um dos elementos. Nesse caso, cada elemento corresponde a uma área de amostragem.

De acordo com o teste de Kruskal-Wallis, comparando-se as três campanhas quanto aos íons analisados, foram verificadas diferenças significativas em relação às campanhas para os seguintes íons de: Al, Ba, Be, Fe, K, e Zn e $(\text{PO}_4)^{3-}$ em especial, dado que a estatística apresenta um valor-p inferior a 0.05. O que fica é que a

diferença entre as campanhas não é expressiva e pode-se interpretar pela equivalência da maioria das amostras; em outras palavras, as diferenças são inexpressivas o suficiente para se entender que a recarga é partilhada ainda que nos trajetos da água surjam agregados químicos que diferenciam as amostras. Esses agregados foram ainda analisados em função dos tipos de solos e rochas em etapa vindoura.

O teste Scan demonstrou que, nas áreas 7 e

8, há uma significativa singularidade das concentrações médias dos íons de K e Ba, em comparação às demais áreas de amostragem. Além disso, a área 7 também apresenta uma singularidade das concentrações médias dos íons de Ca, Li, Mg e Na. Esta derivação poderá ser atribuída a variações locais de solos e mineralizações do entorno, mas também algum possível processo de infiltração em curso.

Variável	Teste de Kruskal-Wallis				Teste Scan para Variável Contínua			
	1 ^a Campanha	2 ^a Campanha	3 ^a Campanha	P-valor	Área	Média Interna	Média Externa	P-Valor
Al	0.41	0.19	0.13	0.054*	4	2,71	0,84	0,094
Ba	0.005	0.014	0.005	0.003**	7,8	0,037	0,0084	0,001**
Be	0.005	0.001	0.001	0.000**	3	0,0037	0,0023	0,808
Cd	0.001	0.0005	0.0005	0.836	8	0,0006	0,00051	0,574
Ca	0.28	0.61	0.46	0.188	7	10,5	0,89	0,001**
Pb	0.005	0.005	0.005	0.51	4	0,007	0,0054	0,379
Cu	0.004	0.004	0.004	0.08	4	0,0091	0,0051	0,173
Cr	0.04	0.04	0.04	1.000	-	-	-	-
Fe	0.01	0.73	0.2	0.000**	8	4,34	0,9	0,351
(PO ₄) ³⁻	0.57	0.01	0.01	0.000**	1,2	0,88	0,28	0,859
Li	0.005	0.005	0.005	0.664	7	0,0086	0,0051	0,001**
Mg	0.079	0.265	0.163	0.279	7	7,54	0,36	0,001**
Mn	0.006	0.007	0.006	0.894	7	0,13	0,015	0,063
Ni	0.004	0.004	0.004	0.949	6	0,0069	0,0043	0,48
K	0.17	0.34	0.27	0.036*	7,8	1,09	0,27	0,001**
Na	0.21	1.000	0.49	0.066	7	8,58	0,78	0,001**
Zn	0.02	0.03	0.02	0.022*	5	0,39	0,048	0,435

Nota: - As probabilidades de significância (p-valor) referem-se ao teste de *kruskal-Wallis* (esquerdo) e *Scan para Variável Contínua* (direito).

- Os valores de p-valor em negrito indicam diferenças significativas.

- os resultados significativos foram identificados com asteriscos, de acordo com o nível de significância, a saber: p-valor < 0.01** (nível de confiança de 99,0%) e p-valor < 0.05 * (nível de confiança de 95,0%).

Fonte: Dados da pesquisa

CONCLUSÃO

A metodologia utilizada trouxe subsídios para uma futura delimitação de famílias hidrogeoquímicas de partilha de recargas, a partir de levantamentos de campo. Essas

informações podem ser úteis como estratégias de pesquisa e gestão ambiental de recursos hídricos. Portanto, trata-se de uma opção metodológica viável, em casos em que as técnicas tradicionais de mapeamento detalhado

dos interflúvios de bacias hidrogeológicas a partir de mapas piezométricos em escala de detalhe apresentam-se financeiramente inviáveis, como para a área em questão. A partilha de recarga mostra-se, pois, como um fator relevante para a agricultura e o controle de impactos químicos.

NOTAS

ⁱ Financiado pela Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG).

ⁱⁱ Geólogo; Doutor em Geologia pela Universidade de Paris VI (Pierre et Marie Curie); Professor da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

E-mail: paulo.martins@cetec.br

ⁱⁱⁱ Graduado em Filosofia; Doutorando em Geologia pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

E-mail: vitor.vasconcelos@almg.gov.br

^{iv} Graduado e mestre em Estatística; Professor da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG).

E-mail: luscherrer@hotmail.com

^v Geóloga; Doutora em Evolução Crustal e Recursos Naturais pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP); Analista de Planejamento, Gestão e Infraestrutura em Informações Geográficas e Estatísticas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, MG).

E-mail: mdemorais@gmail.com

^{vi} Geógrafo; Especialista em Geoprocessamento e Análise Ambiental pelo Centro Universitário de Belo Horizonte (UNIBH).

E-mail: viniciuscoutinho@cetec.br

^{vii} Geógrafo; Mestre em Evolução Crustal e Recursos Naturais pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP); Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG).

E-mail: lawrence.andrade@gmail.com

REFERÊNCIAS

CETEC. *II Plano de Desenvolvimento Integrado do Noroeste de Minas Gerais: recursos naturais*, 1981.

HUANG, L; TIWARI, R; ZUO J; KULLDORFF, M; FEUER, E. Weighted normal spatial scan statistic for heterogeneous population data. *Journal of the American Statistical Association*, n.104, 2009. pp.886-898.

MARTINS JUNIOR; P. P. (coord.). *Projeto CRHA - Conservação de Recursos Hídricos no Âmbito da Gestão Agrícola e Ambiental de Bacias Hidrográficas*. CETEC/CT-HIDRO/ 2002-MCT/FINEP. Relatório Final, 2006.

MARTINS JUNIOR; P.P. (coord.). *Projeto GZRP - Gestão de Zonas de Recarga de Aquíferos Partilhadas entre as Bacias de Paracatu, São Marcos e Alto Paranaíba*. CETEC/FAPEMIG. Relatório Final, 2009.

MARTINS JUNIOR; P.P. (coord.). *Projeto SACD - Sistemas de Arquitetura de Conhecimentos e de Auxílio à Decisão na Gestão Geo-Ambiental e Econômica de Bacias Hidrográficas e Propriedades Rurais*. CETEC/FAPEMIG, 2010.