

## **MINERALIZAÇÃO DAS ÁGUAS DE NASCENTES HELOCRENAS: CASOS EM JUIZ DE FORA - MG**

Ana Carolina Soares Carvalho <sup>1</sup>  
Beatriz Candido Corrêa da Silva <sup>2</sup>  
Késia Torres da Silva <sup>3</sup>  
Miguel Fernandes Felipe <sup>4</sup>

### **INTRODUÇÃO**

A hidrogeoquímica de nascentes responde à diversos fatores físico-químicos, bióticos e abióticos e geomorfoclimáticos. Está diretamente relacionada aos aquíferos de origem das nascentes, que fornecem parte significativa dos compostos solubilizados na água subterrânea exfiltrada, mas responde também, à variabilidade pluviométrica e à influência de fluxos subterrâneos rasos e de curto tempo de residência (Felippe et al., 2015). Outrossim, a compreensão da hidrogeoquímica das nascentes perpassa a água no solo, as reações biogeoquímicas do intemperismo e tempo de interação entre água e rocha na zona não saturada, o que influencia o tempo de residência e a variação da mineralização da água (Ramos, 2003).

Em nascentes helocrenas, a mineralização das águas ganha complexidade devido à exfiltração difusa e ao lento fluxo superficial, que marca longos períodos de interação da água com as coberturas superficiais (Moura e Felipe, 2022). Localizadas em áreas deprimidas de cabeceiras de drenagem, tendem a promover a mistura de fluxos subterrâneos rasos e intermediários, com o escoamento pluvial que é concentrado nas concavidades. Por esse motivo, o grau de encharcamento do solo é variável no tempo e ao longo dos eixos transversais e longitudinais das áreas úmidas que formam. Em sua porção terminal, nascentes helocrenas tendem a gerar a concentração da água superficial, promovendo o escoamento fluvial em pequenos canais (Felippe e Magalhães Jr, 2014).

Por toda essa complexidade, o objetivo deste trabalho é discutir a variabilidade da mineralização das águas de nascentes helocrenas, no tempo e no espaço. Os objetos

---

<sup>1</sup> Graduanda do Curso de Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora - MG, [anacarolina.carvalho@estudante.ufjf.br](mailto:anacarolina.carvalho@estudante.ufjf.br);

<sup>2</sup> Graduanda do Curso de Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora - MG, [beatrizcandidoccs@gmail.com](mailto:beatrizcandidoccs@gmail.com);

<sup>3</sup> Mestranda do Programa de Pós-graduação em Geografia (PPGEO/UFJF) do Departamento de Geociências da Universidade Federal de Juiz de Fora - MG, [kesia.torres@ich.ufjf.br](mailto:kesia.torres@ich.ufjf.br);

<sup>4</sup> Professor orientador, Doutor em Geografia (UFMG), Professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO/UFJF) do Departamento de Geociências da Universidade Federal de Juiz de Fora - MG, [miguel.felippe@ich.ufjf.br](mailto:miguel.felippe@ich.ufjf.br);

de estudo consistem em duas nascentes da bacia do Córrego do Yung, localizadas na zona periurbana do município de Juiz de Fora – MG. Inseridas na unidade geomorfológica Serranias da Zona da Mata Mineira, as nascentes encontram-se em padrões de forma de morros marcados pela topografia rugosa entendida como “Mares de Morro” por Ab’Saber (2007). A bacia está assentada em rochas do Complexo Juiz de Fora e Grupo Andrelândia. São rochas antigas e submetidas a intensos dobramentos, caracterizadas por uma interseção de ortogranulitos enderbíticos a charnockíticos e rochas metassedimentares, como o gnaiss e quartzito (Heilbron, 1995). Os antigos e espessos mantos de alteração são típicos de zonas de alitização, marcadamente lixiviados, predominando Latossolos de coloração amarelada e avermelhada, característicos pela profundidade e boa permeabilidade, além de baixo teor de matéria orgânica e elevado índice de ferro e acidez (Rocha, 2006), associados a Argissolos e Cambissolos, correspondentes ao rejuvenescimento erosivo dos primeiros, e solos hidromórficos em zonas deprimidas concentradoras de água.

O clima é tropical úmido de altitude (IBGE, 2002) com predominância de chuvas durante o verão, nos meses de janeiro a março, e longo período de estiagem durante o inverno, entre os meses de julho e setembro. Em estações de transição, as chuvas ocorrem de forma esporádica, fator que influencia a manutenção das nascentes, que apesar de serem perenes, a variação da vazão das áreas úmidas oscila de acordo com o período de estiagem da região, em que nos períodos de baixa incidência de chuva possuem uma menor vazão, e em períodos de alta pluviosidade, há um aumento da vazão.

As nascentes estão sob um sistema aquífero de recarga local (CPRM, 2024), em que a água percola nas fraturas interconectadas das rochas e do solo. É característico deste tipo de aquífero a porosidade com fluxo local e uma recarga mais rápida e em maior quantidade, por conta da interação com a água superficial. A recarga do aquífero ocorre em áreas mais elevadas através da infiltração e escoamento superficial, principalmente de águas meteóricas, e fluem em direção aos vales ou partes mais baixas do terreno, em que ocorre da descarga do aquífero, já que o nível freático intercepta a superfície e exfiltra, sendo essa uma água mais mineralizada por conta da precipitação de minerais e mistura com a água doce já presente. (Felippe e Magalhães Júnior, 2014).

## **METODOLOGIA**

Foram selecionadas duas nascentes (NL01 e NL02) na bacia do córrego Yung, em Juiz de Fora- MG, e nos meses de janeiro a julho de 2024 foram realizadas, ao todo, 22 coletas de água em diferentes pontos das nascentes. As amostras analisadas em laboratório foram de águas superficiais (S), subsuperficiais (SS), subsuperficiais coletadas com extrator de solução de solo (SSE) e do ambiente lótico (L), ou fluxo superficial de saída.

Todas as coletas foram realizadas com o auxílio de seringas e em seguida foram armazenadas em recipientes plásticos devidamente higienizados, identificados e ambientados com a água de cada ponto de coleta. Após o transporte para o laboratório, as amostras foram conservadas sob refrigeração até o momento da análise de condutividade elétrica.

Ao todo, foram coletadas na NL01 7 amostras de água superficial, 6 subsuperficiais, 3 subsuperficiais com o extrator de solução do solo e 7 do fluxo superficial de saída. Já na NL02 foram coletadas 6 amostras de água superficial e subsuperficial, 4 subsuperficiais com o extrator de solução do solo e 2 do fluxo superficial de saída. Tais discordâncias ocorreram devido a flutuações no nível freático durante o monitoramento.

A água superficial foi coletada apenas com a seringa, uma vez que estava aparente acima do solo e de fácil retirada. Para a água subsuperficial um bastão foi utilizado para fazer uma pequena sondagem no solo de aproximadamente 20 centímetros de profundidade por onde ocorreu a exfiltração da água e posterior coleta com o auxílio de uma seringa. Outra coleta subsuperficial foi realizada, com o auxílio do extrator de solução de solo, que se encontra instalado nas duas nascentes a uma profundidade de 30 centímetros. Esse extrator possui uma membrana semipermeável que fica em contato com o solo encharcado e permite apenas a entrada e armazenamento de água que, após um intervalo de 21 a 30 dias, é retirada com uma seringa. Após a instalação do equipamento é necessário aguardar no mínimo 24 horas para realizar a primeira coleta. Por último, a coleta do ambiente lótico foi feita também com o auxílio apenas da seringa num local onde havia água corrente e, conseqüentemente, oxigenada.

Em laboratório, foram realizadas análises da condutividade elétrica da água *in natura* com o uso da solução padrão Oaklon de  $84\mu\text{S}/\text{cm}$ ,  $25^\circ\text{C}$  e Medidor de Condutividade Portátil - mCA-150-P - MS Tecnopon. Por fim, todos os resultados

foram registrados e organizados em planilhas submetidas a testes estatísticos de regressão linear e análise de variância.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

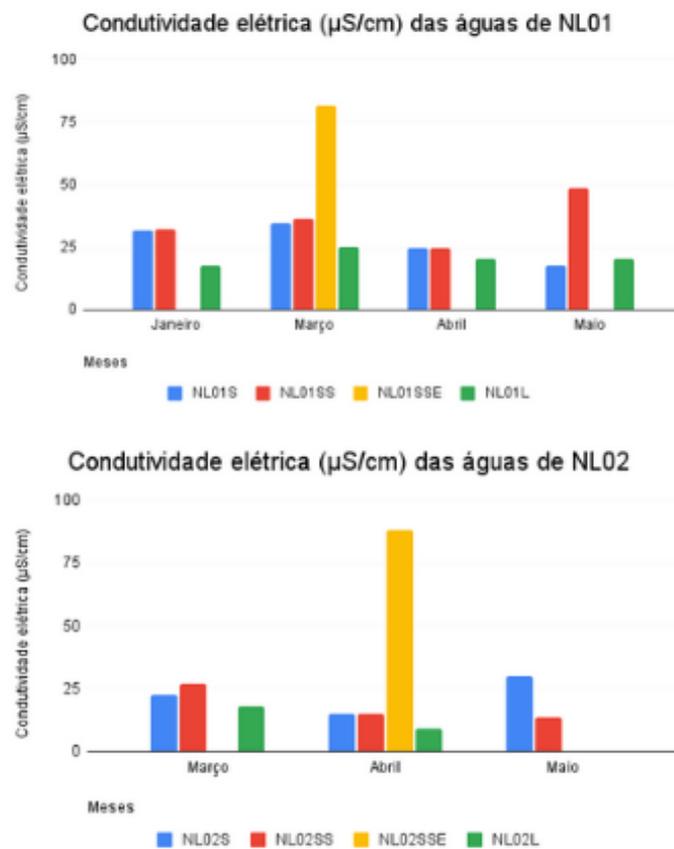
Os resultados de mineralização das águas, interpretados a partir da condutividade elétrica, são apresentados na Tabela 1. Os valores são considerados genericamente baixos quando comparados com estudos hidrogeológicos corriqueiros, mas estão condizentes com o encontrado na literatura de nascentes da Mantiqueira (ALMEIDA NETO, 2016). Os maiores valores foram encontrados nas águas mais profundas, que tendem a possuir um maior tempo de residência; por outro lado, os fluxos lóticos correspondem, em geral, às mais baixas taxas de mineralização.

Tabela 1 - Condutividade Elétrica dos pontos de coletas

Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7
NL01S	31,54	34,41	24,65	17,31	16,14	27,25	33,84
NL01SS	32,22	36,54	24,7	48,61	18,12	39,53	-
NL01SSE	-	81,35	-	-	144,8	48	-
NL01L	17,43	25,17	20,27	20,43	14,94	20,94	12,46
NL02S	-	22,55	15,12	29,78	19,17	24,38	12,86
NL02SS	-	26,66	14,86	13,73	15,09	53,8	31,97
NL02SSE	-	-	88	14,18	13,13	20,52	-
NL02L	-	17,87	8,78	-	-	-	-

Fonte: elaborada pelos autores

Figura 1 - Comparação da condutividade elétrica entre as Nascentes NL01 e NL02 nos meses de maior pluviosidade



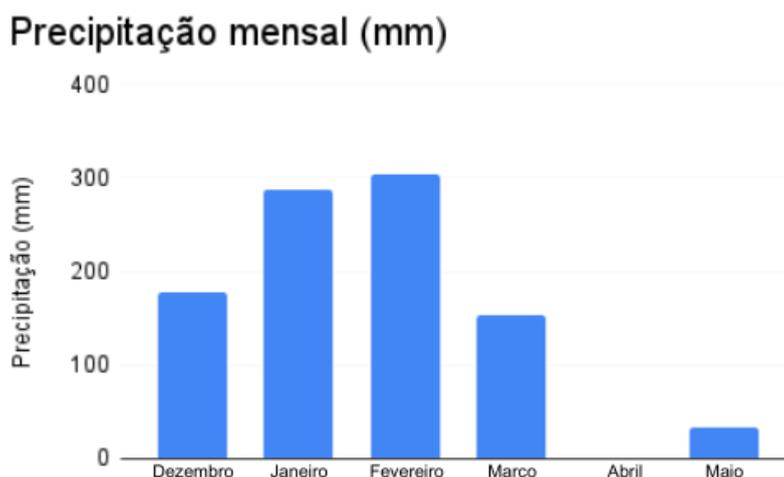
Fonte: elaborado pelos autores

Nota-se também grande similaridade nos resultados das águas superficiais e subsuperficiais rasas nas nascentes. Isso é resultado da complexa mistura de águas relacionadas à ação meteorológica, que é mais pronunciada quanto mais rasa for a linha de fluxo. Uma exceção a essa lógica ocorreu no mês 3 (março), em que a ação das chuvas associadas a presença de gado é a hipótese mais provável da diferenciação da condutividade entre a água superficial e subsuperficial em NL02.

A sazonalidade é outro fator que influencia o processo de mineralização das águas de nascentes. Os dados pluviométricos registrados na cidade de Juiz de Fora entre dezembro de 2023 e maio de 2024 são mostrados na figura 2. Em relação a influência das chuvas, os resultados são inconclusivos. Em teoria, esperava-se que nos meses de maior pluviosidade (dezembro a março), ocorresse uma maior diluição dos minerais e consequentemente uma menor condutividade elétrica. Porém, essa variação não foi linear. Alguns pontos tiveram suas taxas elevadas em meses de chuva, o que leva a

necessidade de compreender a influência do carreamento de sedimentos para as nascentes. Nesse sentido, a continuação do monitoramento para a realização de novas análises é fundamental.

Figura 2 - Precipitação mensal entre os meses de dezembro a maio



Fonte: elaborado pelos autores

Buscando clarificar essas variações, foi realizada uma análise de variância para avaliar o efeito das variáveis "NASCENTE", "MÊS" e "PONTO DE COLETA" na condutividade elétrica da água. Os resultados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Análise de Variância de condutividade elétrica

Fonte de Variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	F	Valor-p
NASCENTE	791.771206	1	3.972842	0.064755
MÊS	736.343298	3	1.231574	0.332893
PONTO DE COLETA	3964.061089	3	6.630109	0.004543
Resíduos	2989.438844	15		
Total		22		

Fonte: elaborado pelos autores

Os resultados mostram que os pontos de coleta têm efeito significativo na condutividade elétrica da água, enquanto as variáveis "NASCENTE" e "MÊS" não apresentam diferenças estatisticamente significativas ao nível de 5%. Esses resultados podem ser interpretados considerando a baixa heterogeneidade hidrogeológica da área de estudo. A homogeneidade do ambiente sugere uma uniformidade no substrato geológico e nos processos hidrológicos que governam a condutividade elétrica onde as

nascentes estão localizadas. A amostragem e variabilidade natural dentro dos grupos (resíduos) pode ser alta devido a fatores naturais não controlados, como variações sazonais, influências meteorológicas ou diferenças na profundidade das nascentes.

Nos meses de janeiro, março e abril os resultados das amostras coletadas em NL01 seguiram as tendências gerais de condutividade elétrica. Nos meses abril e maio não foi possível realizar as coletas de água subsuperficial com o extrator de solução de solo devido a problemas técnicos envolvendo o funcionamento do equipamento. Maio, já marcado pelo período de estiagem, apresenta alterações importantes nos valores da coleta subsuperficial (SS): verificou-se um valor muito superior de condutividade quando comparados aos últimos meses e do que a água superficial (S). Isso é explicado pela dificuldade na realização da coleta, uma vez que com a baixa exfiltração a amostra coletada apresentou uma quantidade excessiva de sedimentos na água, o que eleva a quantidade de íons solubilizados. O baixo fluxo e movimentação da água do lótico proporcionou uma amostra com bastante presença de sedimento, mais uma vez pela dificuldade na coleta da água.

Em NL02 no mês de março a amostra de água superficial (S) revelou uma condutividade elétrica pouco maior do que a subsuperficial (SS), indo contra a tendência analisada no mês anterior. Tal fato pode ser explicado pela presença de ferro reduzido na superfície da água.

A diferença significativa entre os resultados da condutividade elétrica das coletas subsuperficiais com o extrator de solução do solo (SSE) na nascente NL02 pode ser explicada por conta de um problema técnico com o extrator de solução do solo, em que a membrana porosa que age como um filtro da solução aquosa, se soltou do tubo extrator, de forma que a água estava sendo coletada diretamente do solo. Comprometendo assim os resultados das coletas subsequentes.

Além disso, com um regime sazonal de chuvas marcado pela baixa precipitação entre os meses de maio e outubro, ocorre uma baixa recarga dos aquíferos, fazendo com que o nível freático fique mais baixo e que a água existente nas camadas subsuperficiais do solo se estabilize mineralogicamente, apresentando menor quantidade de íons em solução.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Dentre as 41 amostras analisadas, pode-se observar algumas tendências gerais: a água superficial tende a apresentar condutividade elétrica menor do que das duas amostras de águas subsuperficiais, porém maior que do lótico. As águas subsuperficiais apresentam maior condutividade quando comparadas à água superficial e a do lótico, e as amostras coletadas no lótico possuem menor condutividade entre os quatro tipos de coleta.

A análise de variância revelou que há uma diferença estatisticamente significativa na condutividade elétrica da água entre os diferentes pontos de coleta, mas não entre as nascentes ou ao longo dos meses analisados. Estes resultados sugerem a importância de uma gestão detalhada e localmente adaptada dos pontos de coleta para a preservação e monitoramento eficaz dos recursos hídricos. Estudos adicionais são recomendados para explorar mais profundamente os fatores locais que influenciam a condutividade elétrica da água.

#### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Pró-reitoria de Pós-graduação e Pesquisa da Universidade Federal de Juiz de Fora e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES - pelo apoio financeiro.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- AB' SABER, A. N. Os domínios da Natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. 4ª ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2007. 159 p.
- ALMEIDA NETO, J. O. et al. Caracterização hidrogeoquímica de cabeceiras de drenagem na Serra da Mantiqueira. Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento, v. 1, p. 6003-6015, 2017.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2ª ed. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Brasília, 2006, 306 p.
- FELIPPE, M. F., MAGALHÃES JR, A. P., DEBIEN, B. R., & de Alencar Auler, L. M. L. Sistemas Aquíferos De Origem De Nascentes Em Lagoa Santa E Serra Do Cipó (MG). Revista Brasileira de Geomorfologia, 162, 2015

FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JR, A. P. Desenvolvimento de uma tipologia hidrogeomorfológica de nascentes baseada em estatística nebulosa multivariada. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 15, n. 3, 2014.

HEILBRON, M.; C. VALERIANO, C.; MACHADO, N. A Orogênese Brasileira no Segmento Central da Faixa Ribeira, Brasil. *The Advance-Progress (Vidalia)*, v. 25, n.4, p. 32-50, 1995.

MOURA, M. N.; FELIPPE, M. F. Hydrogeomorphology of Brazilian Springs: Between Diversity and Lack of Knowledge. In: *Geomorphology of Brazil: Complexity, Interscale and Landscape: XIII SINAGEO (National Symposium of Geomorphology)*. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 99-118.

RAMOS, M. L. S.; PAIXÃO, M. M. Disponibilidade hídrica de águas subterrâneas - Produtividade de poços e reservas exploráveis dos principais sistemas aquíferos. *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio São Francisco*. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), 2003.

REBOUÇAS, Aldo C. Águas Subterrâneas *In* REBOUÇAS, Aldo C; BRAGA, B; TUNDISI, José G (org). *Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação*. 3ª ed. São Paulo. Escrituras Editora, 2008. 748 p.