



## NASCENTES DO AQUÍFERO CAUÊ: UMA ABORDAGEM HIDROGEOQUÍMICA NO MONUMENTO NATURAL MÃE D'ÁGUA, BRUMADINHO (MG)

Vinícius Caique de Araújo <sup>1</sup>

Mirella Nazareth de Moura <sup>2</sup>

Justine Margarida Magela Martins Bueno <sup>3</sup>

### RESUMO

O estudo aqui apresentado, foi conduzido na borda oeste do Quadrilátero Ferrífero (QF), uma região com características geológicas singulares, marcada pelo intenso uso minerário. A presença de áreas de proteção de mananciais reflete na importância da gestão adequada dos recursos hídricos, com sua relevância para o abastecimento de comunidades locais, onde os conflitos pelo uso da água são recorrentes — especialmente devido ao rebaixamento do nível freático provocado por lavras e indústrias. Embora amplamente investigado sob a ótica geológica e mineral, o QF ainda carece de estudos hidrogeológicos integrados, sobretudo sobre o funcionamento das nascentes. Normalmente, tais estudos priorizam áreas diretamente afetadas por lavras, negligenciando a complexa dinâmica hidrogeomorfológica desses sistemas ambientais. Neste contexto, este trabalho propõe uma abordagem integrada e multidisciplinar para avançar na compreensão da hidrogeologia de ambientes ferruginosos, com foco no comportamento das nascentes do Aquífero Cauê, fornecendo elementos de apoio e orientação para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos na região. O estudo compara dados hidrogeoquímicos de nascentes localizadas no Monumento Natural Mãe d'Água (MONA), em Brumadinho (MG), com aqueles do modelo hidrogeológico de Mourão (2007) conferindo se há, ou não, certa estabilidade hidrogeoquímica das águas subterrâneas, quase 20 anos após o referido estudo. Foram analisadas 13 nascentes, utilizando parâmetros como pH, condutividade elétrica e potencial redox, obtidos com sonda multiparamétrica no período seco de 2023. Os resultados indicaram pH médio de 6,14, condutividade de 9,54  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e potencial redox médio de 191,3 mV. Comparações com o Grupo 1 de Mourão (2007) sugerem semelhanças hidroquímicas, porém com menor variabilidade e valores de potencial redox consistentemente mais baixos, o que pode refletir alterações nos padrões de fluxo e interação água-rocha. O estudo evidencia relativa estabilidade na assinatura geoquímica das águas subterrâneas e oferece subsídios para a gestão ambiental em áreas protegidas inseridas em territórios minerários e sujeitos a conflitos pelo uso da água.

**Palavras-chave:** Quadrilátero Ferrífero, Sinclinal Moeda, Unidade de Conservação, Assinatura geoquímica.

---

<sup>1</sup> Graduado do Curso de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, [viniciusaraujo.ufmg@gmail.com](mailto:viniciusaraujo.ufmg@gmail.com)

<sup>2</sup> Doutoranda pelo Curso de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, [mirellanm92@hotmail.com](mailto:mirellanm92@hotmail.com);

<sup>3</sup> Mestra do Curso de Geografia da Universidade Federal - UFMG, [justine.bueno@amplioengenharia.com.br](mailto:justine.bueno@amplioengenharia.com.br)



## INTRODUÇÃO

A composição natural da água subterrânea é o resultado da combinação de fatores como o tempo de residência da água na formação rochosa, a dissolução de minerais formadores de seus aquíferos, e as características climáticas (MOURÃO, et al, 2008). A área de estudo em questão, demonstra representatividade geológica no contexto do Quadrilátero Ferrífero (QF), uma importante província mineral do sudeste brasileiro, que abarca grande concentração de minerações de ferro. Além disso, o QF é de suma importância para o abastecimento de Belo Horizonte e região metropolitana, refletida na existência de áreas de proteção especial de mananciais (CASTRO; ENDO; GANDINI, 2020) como por exemplo a do presente estudo: uma área de conservação denominada Monumento Natural Mãe D'água (MONA).

Assim, as formações ferríferas características da região, além de configurarem como um destacado recurso mineral e econômico, também figuram como aquíferos de grande potencial e de fundamental importância para manutenção das condições ambientais (em especial o escoamento de base de muitos cursos d'água) e para o abastecimento urbano e doméstico (MOURÃO, 2007).

Diante disso, conflitos de uso da água passaram a ser uma realidade em alguns pontos específicos, especialmente devido aos usos intensos deste recurso. Nas proximidades da unidade de conservação deste estudo, destaca-se o uso atrelado a rebaixamento de nível d'água para operacionalização de atividades minerárias, atividades industriais que intensificam o uso das águas subterrâneas, bem como a expansão de condomínios, com adensamento populacional, atividade que também resulta em pressão sobre o uso das águas.

Embora o QF represente uma das áreas mais investigadas, em termos geológicos e de exploração mineral no território nacional, a hidrogeologia ainda carece de estudos mais detalhados e de aspecto integrado, especialmente no que tange às nascentes. Tal característica também se aplica ao MONA, onde ainda que existam estruturas de monitoramento instaladas ao redor das antigas estruturas de mineração e dos principais mananciais captados, além da existência de um acervo considerável de dados, pouco vem se avançado quando se trata da hidrogeoquímica das nascentes e sua assinatura geoquímica, seja do Quadrilátero Ferrífero como um todo, ou de regiões específicas.



Ademais, o conhecimento hidrogeológico de maior detalhe encontra-se detalhado principalmente nas áreas de influências das lavras (em atividade, ou não), e não no contexto hidrogeomorfológico dos sistemas ambientais que compõem o QF.

É nesta conjuntura que este trabalho se insere, buscando a integração de estudos complementares, de caráter multidisciplinar, que permitem promover um avanço no conhecimento do comportamento de aquíferos relacionado às formações ferríferas, também fornecendo subsídios para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos em uma área de constante pressão ambiental.

Assim, este artigo objetiva comparar os dados hidrogeoquímicos das águas subterrâneas do aquífero Cauê no flanco oeste sinclinal moeda, borda oeste do QF, em relação aos dados do modelo hidrogeológico proposto por Mourão (2007), conferindo se há, ou não, certa estabilidade hidrogeoquímica das águas subterrâneas, quase 20 anos após o estudo da referida autora.

Esta estabilidade hidrogeoquímica é questionável, uma vez que o que o recorte espacial deste se encontra próximo de áreas com histórico minerário, e se configura como uma área de susceptibilidade à conflitos pelo uso da água, dada às atuais atividades situadas em seu entorno. Com isso, as nascentes, entendidas como a materialização das águas subterrâneas dos aquíferos na superfície, são aqui compreendidas como sistemas ambientais complexos e, naturalmente, sensíveis a quaisquer perturbações em sua dinâmica (MOURA E FELIPPE, 2024), susceptíveis a alterações em sua dinâmica hidrogeoquímica ao longo de um recorte espacial de aproximadamente 20 anos.

## **METODOLOGIA**

A metodologia fundamentou-se na análise comparativa de dados secundários oriundos de duas fontes: o Plano de Manejo do MONA Mãe d'Água (2024) e o estudo de Mourão (2007). Os parâmetros pH, condutividade elétrica e potencial redox de 13 nascentes inseridas na área de abrangência do Aquífero Cauê, no flanco oeste do Sinclinal Moeda, amostradas em 2023 e que compõem parte do inventário do Plano de manejo do MONA Mãe d'Água, foram comparados estatisticamente com os resultados do Grupo 1 de Mourão (2007), que apresenta pontos amostrais inseridos na área do MONA Mãe d'Água. A comparação focou na identificação de alterações na assinatura



geoquímica das águas subterrâneas após 16 anos, considerando a homogeneidade litológica (Formação Cauê).

## REFERENCIAL TEÓRICO

O Monumento Natural Mãe d'Água, criado em 2012 pelo Decreto Municipal de Brumadinho 087/2012, é uma unidade de proteção integral com 797,69 hectares no bioma Mata Atlântica (Brumadinho, 2024). Conforme seu decreto de criação, tem como um dos objetivos salvaguardar os recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Está inserido no contexto geológico do Sinclinal Moeda, estrutura emblemática do Quadrilátero Ferrífero, caracterizada por dobras e falhas que condicionam sua diversidade litológica. A unidade é sustentada predominantemente por rochas do Supergrupo Minas, com ênfase nos itabiritos da Formação Cauê, quartzitos e filitos das Formações Moeda e Batatal, além de depósitos cenozoicos de canga ferruginosa. Essa configuração geológica, controla a dinâmica hidrológica local, favorecendo processos de infiltração e recarga do aquífero Cauê.

O clima tropical sazonal da região, caracterizado por verões chuvosos (outubro a março) e invernos secos (abril a setembro), interage diretamente com as formações pedológicas locais. Neste contexto, os Cambissolos, que representam 24% da área de estudo, possuem a característica de alta suscetibilidade erosiva. Essa particularidade deve-se à sua localização nas vertentes e às discontinuidades litológicas a que estão submetidos na área, resultando em uma significativa vulnerabilidade ambiental a processos erosivos e movimentos de massa (Brumadinho, 2024).

Integrante da bacia do rio São Francisco, o MONA Mãe d'Água, atua como um marcante interflúvio entre as bacias do rio das Velhas e Paraopeba, conservando cursos d'água bem preservados, incluindo sete cachoeiras e 46 nascentes - 44 dentro de seus limites - a maioria em estado de conservação classificado como bom a ótimo (Brumadinho, 2024). Essa configuração hidrológica reflete a importância geológica da área para manutenção dos recursos hídricos regionais, particularmente do aquífero Cauê.

O plano de manejo (Brumadinho, 2024) destaca que o MONA Mãe d'Água possui antigas galerias de mineração hoje inativas. Contudo, mesmo com a desativação dessas estruturas, a unidade ainda enfrenta pressões contemporâneas em seu entorno, uma vez



que seu território é circundado por diversos processos minerários registrados na Agência Nacional de Mineração (ANM). Além disso, atividades industriais no entorno são pontos preocupantes, pois podem intensificar o uso dos recursos hídricos, rebaixar o nível d'água e, conseqüentemente, ameaçar a integridade ambiental das nascentes.

Considera-se uma nascente “como um sistema ambiental em que o afloramento da água subterrânea ocorre naturalmente de modo temporário ou perene, e cujos fluxos hidrológicos na fase superficial são integrados à rede de drenagem” (FELIPPE e MAGALHÃES JR, 2013, p. 79). Assim, as nascentes, no âmbito dos estudos geomorfológicos, não devem ser concebidas de modo simplista como os pontos iniciais da drenagem fluvial, mas também enquanto elementos ativos na evolução geomorfológica das paisagens (SPRINGER e STEVENS, 2009). Por meio das nascentes, significativas quantidades de matéria dissolvida podem ser retiradas dos aquíferos e carreadas para os cursos fluviais, contribuindo com a desnudação geoquímica das bacias hidrográficas (FELIPPE e MAGALHÃES JR, 2015). Entretanto, ainda segundo os autores, a contribuição efetiva das nascentes na perda de massa continental é ainda obscura, dada a escassez de trabalhos sobre o tema.

Entendendo-se as nascentes como um elemento transicional entre as águas subterrâneas e as superficiais através do processo de exfiltração, deve-se atentar para o fato de que ainda que suas águas estejam em superfície, elas ainda possuem características químicas de águas subterrâneas. Por isso, a mineralização da água das nascentes depende essencialmente de três fatores: i) das características químicas das águas que promovem a recarga; ii) das características químicas do material (aquífero) no qual a água percola e é armazenada; iii) do tempo de residência da água no aquífero (FEITOSA e MANOEL-FILHO, 2000; FELIPPE e MAGALHÃES JR, 2015).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta as 13 nascentes avaliadas, situadas impreterivelmente no aquífero Cauê. Também são apresentados os valores alcançados *in situ* dos parâmetros também avaliados por Mourão (2007) e suas respectivas médias. Ademais, as nascentes também foram caracterizadas de acordo com seu tipo de exfiltração e morfologia, seguindo os preceitos da tipologia de nascentes de Felipe (2009). Esta caracterização, ainda que não tenha sido feita por Mourão (2007) foi acrescentada neste trabalho, no



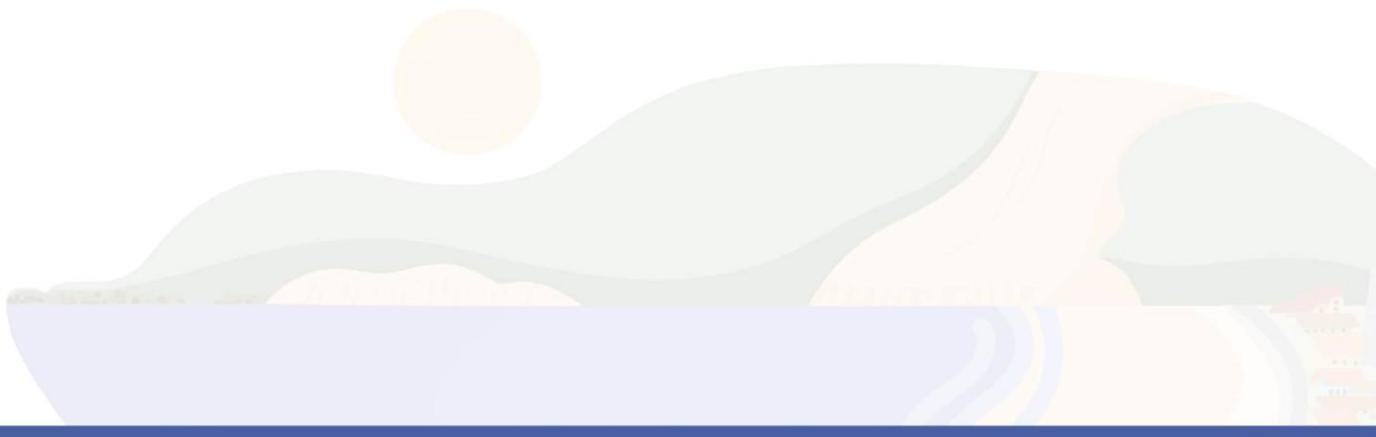
intuito de se verificar alguma conexão geomorfológica, ainda que pouco aprofundada, das nascentes com sua hidrogeoquímica.

Tabela 1: As 13 nascentes situadas no aquífero Cauê e suas características hidrogeoquímicas e geomorfológicas

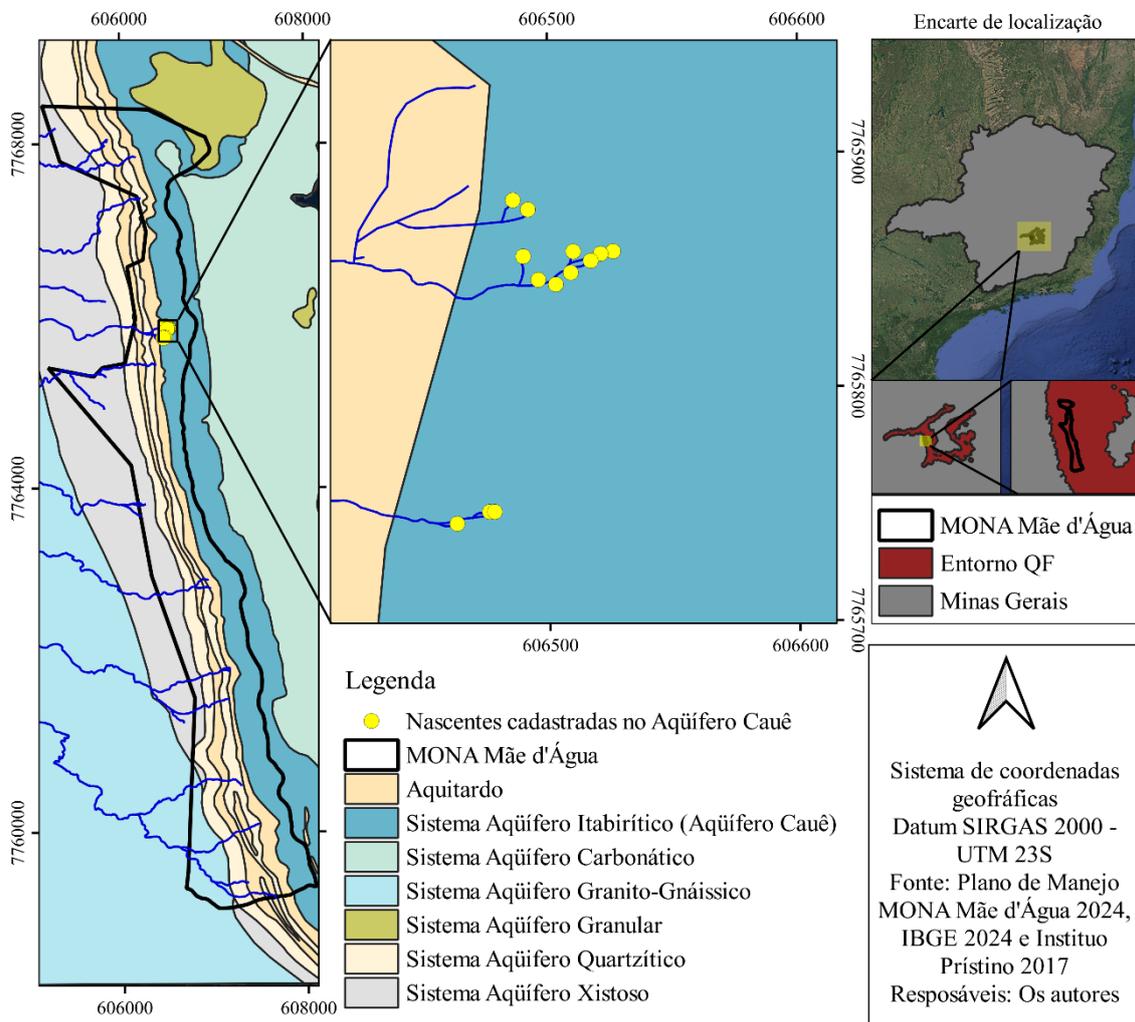
Nascente	pH	CE (µS/cm)	Eh (mv)	Tipo de exfiltração	Tipo de morfologia	Relevo de inserção
N18	6,3	10	114,4	Múltipla	Concavidade	Alta vertente
N19	6,2	12	177,2	Pontual	Concavidade	Alta vertente
N20	6,7	8	176,5	Pontual	Concavidade	Alta vertente
N21	4,9	5	265,4	Múltipla	Concavidade	Alta vertente
N22	7,1	12	206,3	Difusa	Concavidade	Alta vertente
N23	6,9	16	174,1	Pontual	Concavidade	Alta vertente
N24	6,2	11	199,8	Pontual	Afloramento	Alta vertente
N26	6	9	124	Pontual	Afloramento	Alta vertente
N29	6,4	8	170,4	Pontual	Concavidade	Alta vertente
N30	6	9	213,3	Múltipla	Concavidade	Alta vertente
N31	5,6	9	202,5	Pontual	Concavidade	Alta vertente
N32	5,7	9	228,6	Pontual	Concavidade	Alta vertente
N33	5,8	6	234,4	Pontual	Concavidade	Alta vertente
<b>Média</b>	6,14	9,54	191,3	NA	NA	NA

Fonte: Brumadinho, 2024

Já o Mapa 1 espacializa as 13 nascentes supracitadas e sua inserção dentro do Monumento Natural Mona Mãe d'Água.



## Nascentes mapeadas no Aquífero Cauê - MONA Mãe d'Água



Mapa 1: Localização das nascentes analisadas do MONA Mãe d'Água

Fonte: Adaptado do Plano de Manejo do MONA Mãe d'Água (Brumadinho, 2024). Elaborado pelos autores.

De uma maneira geral, Mourão (2007) afirma que as águas do aquífero Cauê são caracteristicamente pouco mineralizadas, com valores de condutividade elétrica média de 13,2  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , onde seus grupos de nascentes estudadas demonstraram variações entre 10,2 e 15,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Já o pH médio das águas do Cauê é de 5,96, com limites para os grupos de 5,37 a 6,14. Valores abaixo de 5,2 foram encontrados somente em poços tubulares, possivelmente devido às modificações promovidas pelo bombeamento ou por diferenças em profundidade no equilíbrio entre as espécies de carbono inorgânico dissolvidas.



Se tratando especificamente das nascentes do grupo 1 de Mourão (2007), que contém as nascentes que estão situadas no mesmo contexto litológico das 13 nascentes analisadas do plano de manejo do MONA Mãe d'Água. As 13 nascentes do Aquífero Cauê no MONA Mãe d'Água apresentaram uma média de pH de 6,14, a condutividade elétrica (CE) média de 9,54  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e potencial redox (Eh) médio de 191,3 mV. Predominaram, nestas nascentes, exfiltrações pontuais e morfologias côncavas. A comparação desses dados com os apresentados por Mourão (2007) indica uma notável estabilidade: o pH manteve-se com média idêntica (6,14), embora com uma amplitude ligeiramente reduzida (4,9–7,1 em 2023 versus 5,29–7,0 em 2007).

A condutividade elétrica registrou uma redução (9,54  $\mu\text{S}/\text{cm}$  em 2023 versus 15,96  $\mu\text{S}/\text{cm}$  em 2007), e o potencial redox decresceu significativamente (191,3 mV em 2023 versus 320,7 mV em 2007). Essa diminuição pode refletir uma alteração no regime de mineralização das águas subterrâneas, indicando menor concentração de íons dissolvidos. Tal alteração pode ser interpretada como indício de melhora na qualidade da água ou modificação no tempo de residência e nas rotas de percolação hídrica, embora não se descarte a possibilidade de mudanças nas condições de recarga ou mesmo na estrutura hidrogeológica ao longo do tempo. A continuidade do monitoramento é essencial para distinguir tendências naturais de possíveis pressões antrópicas ou mudanças climáticas locais que desencadearam essa mudança.

Além da redução na condutividade elétrica, diminuição do potencial redox sugere que as nascentes avaliadas passaram a apresentar um ambiente mais redutor ao longo do tempo, o que pode refletir alterações no regime de oxigenação, maior presença de matéria orgânica, ou mudanças nas condições de recarga e fluxo subterrâneo. A combinação desses dois parâmetros indica uma possível reorganização da geoquímica local, com implicações para a solubilidade de metais e o comportamento de processos biogeoquímicos sensíveis à oxirredução.

Conforme já destacado por Mourão (2007), os valores de pH levemente ácidos e as baixas condutividades elétricas são características esperadas para os itabiritos silicosos, em virtude da baixa reatividade dos minerais constituintes, como hematita, magnetita e quartzo. Essa observação é reforçada pelos valores de pH e CE apresentados no plano de manejo do MONA Mãe d'Água, que corroboram os achados de Mourão (2007) ao exibirem médias muito similares (para pH) e baixos valores de CE



(ainda que razoavelmente menores após 16 anos do estudo inicial) Esta consistência na comparação geral reitera que as águas subterrâneas da região mantêm as características químicas intrínsecas aos seus aquíferos de origem, fenômeno conhecido como assinatura geoquímica (LUIZ-SILVA et al., 2012; SALGADO et al, 2004).

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os resultados desta análise comparativa das características físico-químicas das nascentes do Aquífero Cauê, demonstram a notável resiliência e estabilidade das características da água ao longo de 16 anos. A manutenção da média de pH (6,14) e a manutenção da baixa CE das águas (ainda que tenham sofrido considerável desmineralização) corroboram a persistência da assinatura geoquímica dos itabiritos silicosos. Este achado é relevante, pois indica que a unidade de conservação está efetivamente cumprindo um de seus objetivos primordiais: a preservação dos recursos hídricos. Em um cenário global de mudanças climáticas e local de presença de pressões antrópicas urbana e industrial, a capacidade do MONA Mãe d'Água de manter a integridade de suas nascentes enfatiza a importância das unidades de conservação como instrumentos essenciais para a salvaguarda de ecossistemas hídricos e para a provisão de água de qualidade, evidenciando seu papel para a sustentabilidade ambiental e hídrica regional.

Ademais, este trabalho reforça a importância e incentiva pesquisas futuras mais robustas no âmbito das nascentes, sistemas ambientais sensíveis às pressões ambientais, buscando compreendê-las no que tange suas particularidades, sejam elas hidrogeoquímicas, hidrogeomorfológicas ou ecológicas.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos à Prefeitura de Brumadinho (MG), por intermédio da Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável pela concessão dos dados do Plano de Manejo do Monumento Natural Mona Mãe D'água, realizado nos anos de 2023 e 2024 e à Amplo Engenharia e Gestão de Projetos LTDA. pelos apoios financeiro e operacional.



## REFERÊNCIAS

CASTRO, P. T. A.; ENDO, I.; GANDINI, A. L. (Orgs.). **O Quadrilátero Ferrífero: avanços do conhecimento nos últimos 50 anos**. Belo Horizonte: 3i Editora, 2020.

FEITOSA, A. C.; MANOEL-FILHO, J. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 2000.

FELIPPE, M. F. Caracterização e tipologia de nascentes em unidades de conservação de Belo Horizonte com base em variáveis geomorfológicas, hidrológicas e ambientais. **Dissertação (mestrado)** – Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

FELIPPE, M.F.; MAGALHAES JR., A. P. . Conflitos conceituais sobre nascentes de cursos d'água e propostas de especialistas. **Geografias (UFMG)**, v. 9, p. 70-81, 2013.

FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JR, A. P. A Contribuição Das Nascentes Na Desnudação Geoquímica: Borda Oeste da Serra do Espinhaço Meridional (Minas Gerais, Brasil). **Revista Brasileira De Geomorfologia**, 17(1)., 2016

LUIZ-SILVA, W.; MATOS, R. H. R.; MACHADO, W.; NIZOLI, É. C. Taxas de sedimentação em estuário do sudeste do Brasil, baseadas em assinatura geoquímica e histórico industrial. **Geociências**. (São Paulo), São Paulo, v. 31, n. 1, 2012

MOURA, M.N; FELIPPE, M.F. Desenvolvimento e Aplicação de um Protocolo de Avaliação Ambiental de Nascentes. **Espaço Aberto**, Rio de Janeiro, Brasil, v. 14, n. 1, p. 131–156, 2024

MOURÃO, M.A.A. Caracterização Hidrogeológica do Aquífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero, MG. 2007. 321 f. **Tese (Doutorado em Meio Ambiente)** – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007

MOURÃO, M.A.A. et al O Aquífero Cauê e unidades hidrogeológicas associadas: principais características hidroquímicas, porção ocidental do Quadrilátero Ferrífero, MG. In: **Anais do XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, 2008

PREFEITURA DE BRUMADINHO. **Plano de Manejo do Monumento Natural Municipal Mona Mãe D'água**. Brumadinho, MG, 2024.

SALGADO, A. A. R.; VARAJÃO, C. A. C.; COLIN, F.; BRAUCHER, R.; NALINI JUNIOR, H. A.; VARAJÃO, A. F. D. O papel da denudação geoquímica no processo de erosão diferencial no Quadrilátero Ferrífero/MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, p. 55-69, 2004

SPRINGER, A. E.; STEVENS, L. E. Spheres of discharge of springs. **Hydrogeology Journal**, v. 17, p. 83-93, 2009