

Avaliação do Potencial para Mineralizações de ETR das Rochas Vulcânicas da Formação Novo Horizonte, Chapada Diamantina Ocidental (Bahia)

Emílio Evo M. C. Urbano¹

¹Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Ouro Preto, Brasil
(emilio.urbano@ufop.edu.br)

Resumo: Este estudo avaliou o potencial da Formação Novo Horizonte para mineralizações de Elementos Terras Raras. Foram realizadas análises geoquímicas (FRX, ICP-MS) e mineralógicas (DRX) em 13 amostras. Os resultados indicam remobilização de elementos maiores e traços, com aumento de Fe, Ti, Nb e W em veios de quartzo. Concentrações de ETR foram baixas (<700 ppm), possivelmente devido à subamostragem. Sugere-se ampliar a amostragem e análises petrográficas para melhor caracterização.

Palavras-chave: Elementos Terras Raras; Alteração Hidrotermal; Rochas Vulcânicas Ácidas; Geoquímica; Formação Novo Horizonte

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os Elementos Terras Raras (ETR) ganharam importância devido a sua aplicação na produção de eletroeletrônicos e de tecnologias necessárias para a transição energética de combustíveis fósseis para fontes de energia renováveis, como geradores de energia eólica. Os ETR podem ser extraídos de depósitos de diferentes tipos, porém se destacam depósitos associados a intrusões carbonatíticas (Bayan Obo na China e Araxá em Minas Gerais), complexos alcalinos (Serra Verde, Goiás), argilas iônicas (sul da China), areias monazíticas (costa dos estados da Bahia, Espírito Santo e Rio de Janeiro), depósitos hidrotermais (*Mountain Pass* nos EUA) e fosforitos sedimentares (Kynicky et al., 2012, Mariano e Mariano, 2012).

Apesar de menos comum do que os tipos de depósitos citados acima, sequências vulcânicas ácidas também apresentam potencial para hospedar mineralizações de ETR. Como exemplo, podemos citar o Lacólito *Round Top* associado ao Complexo Sierra Blanca nos EUA (Elliot, 2018). No Aulacógeno Paramirim, duas sequências vulcânicas sedimentares ocorrem associadas a base do Supergrupo Espinhaço em contexto de desenvolvimento de rifts. A Formação Bomba, de 1,58 Ga, compreende rochas vulcânicas ácidas a intermediárias e ocorre na região do Espinhaço Setentrional (Santos et al., 2020). Já a Formação Novo Horizonte, com idade de 1,75 Ga e localizada na parte ocidental da Chapada Diamantina, é formada por rochas vulcânicas a subvulcânicas ácidas e, subordinadamente, intermediárias (Schobbenhaus et al., 1994) (Figura 1).

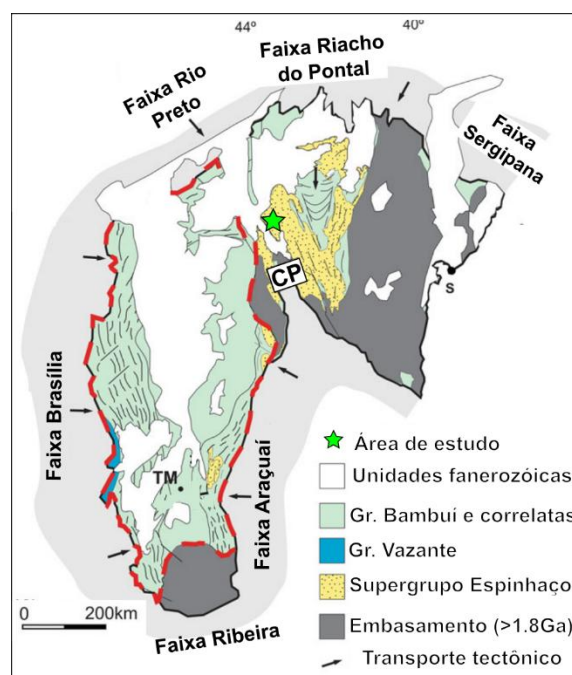


Figura 1: Localização da área do estudo e das principais sequências sedimentares do Cráton São Francisco (Modificado de Heilbron et al., 2017).

Ao final da Orogenia Brasiliana, um extenso processo de alteração hidrotermal afetou toda a fronteira entre o Cráton São Francisco e o Orógeno Araçuaí e ao longo do Corredor Paramirim (Gonçalves et al, 2019). Na parte ocidental da Chapada Diamantina, este hidrotermalismo causou alterações mineralógicas e químicas nas rochas da Formação Novo Horizonte. Como exemplo, ocorrem mineralizações de ouro, barita, manganês, cassiterita, quartzo com inclusões de hematita e rutilo e minerais

portadores de ETR, como a xenotima, monazita, parisita e bastnaesita (Guimarães et al., 2005; Arcanjo, 2018; Chaves et al., 2018; Urbano et al., 2024).

Este trabalho teve como objetivo fazer a caracterização geoquímica das rochas vulcânicas ácidas hidrotermalizadas da Formação Novo Horizonte e avaliar seu potencial para hospedar mineralizações de ETR.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas 13 amostras da Formação Novo Horizonte (Figura 2) para análises de geoquímica de rocha total pelos métodos de Fluorescência de Raios-X (FRX) para os elementos maiores e *Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry* (ICP-MS) para os elementos traço. Antes das análises, as amostras foram britadas e moídas abaixo de 50 µm. A preparação física das amostras foi realizada no Departamento de Geologia da UFOP e as análises químicas no laboratório da GEOSOL em Vespasiano. Já a análise de Difratomia de Raios-X (DRX) foi realizada no Departamento de Engenharia de Minas na UFMG. Antes da análise, a amostra foi moída abaixo de 30 µm.

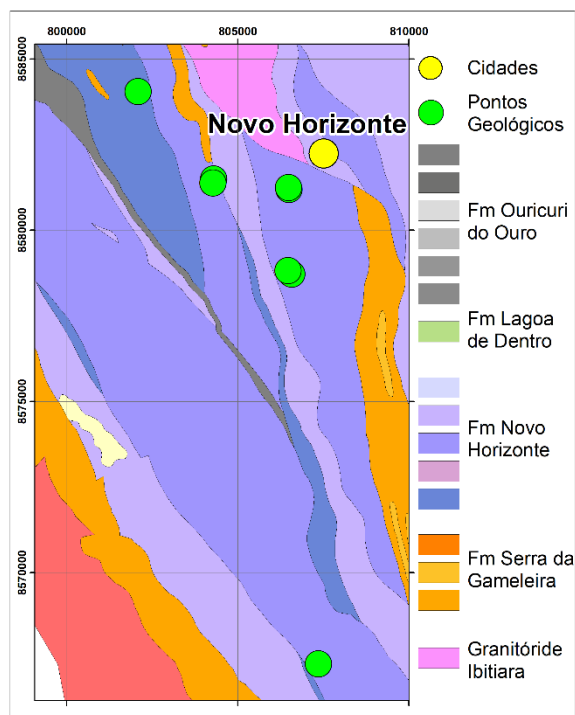


Figura 2 – Mapa geológico da região de Novo Horizonte com localização dos pontos geológicos e de coleta de amostras (editado de Guimarães et al., 2005).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aspectos de Campo e Petrográficos das Rochas Vulcânicas Ácidas da Formação Novo Horizonte

Na região de Novo Horizonte foram identificadas rochas vulcânicas ácidas com textura porfírica e diferentes graus de deformação e alteração hidrotermal. Quando pouco deformada, esta rocha apresenta matriz afanítica de cor cinza escura a arroxeada com cristais porfíricos de quartzo e, principalmente, feldspato (Figura 3 – A).

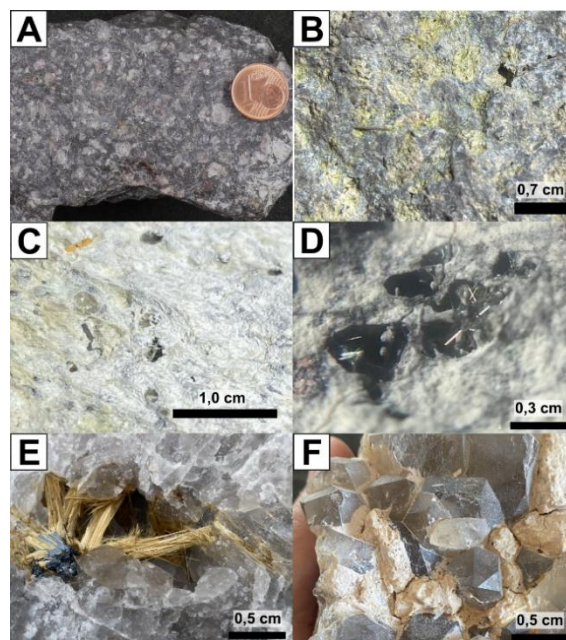


Figura 3 – (A) Rocha vulcânica ácida com pórfiros de feldspato e quartzo em matriz afanítica, indeformada e sem alteração hidrotermal. (B) Cristais porfíricos de feldspato alterados com cor verde amarelada clara. (C) Rocha vulcânica ácida completamente alterada e deformada. (D) Cavidades milimétricas parcialmente preenchidas por rutilo e hematita. Esta imagem é um detalhe de fotografia de C. (E) Veio de quartzo com cavidade parcialmente preenchida por rutilo e hematita. (F) Argila cinza clara preenchendo parcialmente cavidade em veio de quartzo.

Já quando intensamente deformadas, estas rochas são caracterizadas como milonitos e podem se apresentar alteradas hidrotermalmente. Como resultado, os cristais de feldspato pórfiro, ou mesmo toda a rocha, apresentam-se com cor verde clara, amarelada ou cinza clara (Figura 3 – B e C). Além disto, a rocha passa a apresentar uma maior quantidade de minerais argilosos. Adicionalmente, cavidades com dimensões milimétricas podem estar presentes, possivelmente no lugar dos cristais de feldspato, e parcialmente preenchidas por cristais milimétricos de rutilo dourado e hematita (Figura 3 – D).

Observou-se que os veios de quartzo ocorrem associados as zonas de cisalhamento e de alteração hidrotermal, o que é corroborado por Guimarães et al. (2005). Estes, em geral, apresentam direção NNW-SSE com mergulho alto para W, concordantes

com a foliação, e sua espessura e continuidade lateral pode variar de poucos centímetros até alguns metros. Contudo, não é raro encontrar sistemas de veios com outras direções, discordantes da foliação e descontínuos.

Outro aspecto importante é que os cristais de rutilo e hematita podem ocorrer preenchendo cavidades associadas aos veios de quartzo ou completamente incluso em cristais de quartzo (Figura 3 – E). Por fim, foi observado em alguns casos uma argila de cor cinza a marrom clara preenchendo parcialmente drusas de quartzo presentes em veios (Figura 3 – F). É possível que estas argilas sejam o resultado do processo de alteração hidrotermal, principalmente dos feldspatos presentes nas rochas vulcânicas ácidas pois são encontradas abaixo do manto de intemperismo.

Geoquímica de Rocha Total das Rochas Vulcânicas da Formação Novo Horizonte

Em relação à geoquímica de rocha total, os resultados médios das amostras com baixo, médio e alto grau de alteração hidrotermal e dos veios de quartzo são apresentados abaixo (Tabela 1).

Tabela 1: Análises químicas de rocha total das rochas vulcânicas da Formação Novo Horizonte.

	Grau de alteração hidrotermal			
	BAIXA	MÉDIA	ALTA	VEIO
SiO₂ (%)	73,5	74,5	46,9	90,6
Al₂O₃	11,7	12,4	26,1	0,4
Fe₂O₃	4,2	3,8	8,3	5,3
CaO	1,5	0,5	0,1	0,0
MgO	0,2	0,4	1,9	0,0
TiO₂	0,4	0,4	0,9	2,7
P₂O₅	0,1	0,1	0,0	0,0
Na₂O	2,4	1,1	0,7	0,0
K₂O	4,6	5,3	9,6	0,1
MnO	0,0	0,1	0,1	0,1
TOTAL	100,2	100,1	98,7	99,0
LOI	1,6	1,6	4,2	0,1
U (ppm)	3	5	9	1
Th	16	19	43	3
W	450	248	0	663
Ba	760	866	1482	136
Nb	27	27	57	241
Zr	447	468	1185	36
Hf	14	14	32	3

As amostras deste estudo foram projetadas no diagrama TAS (total alkali-silica) de classificação de rochas vulcânicas com diferentes cores de acordo com o grau de alteração hidrotermal pela qual elas

passaram (Figura 4). Além disto, também foram projetadas as amostras de Santos et al. (2019).

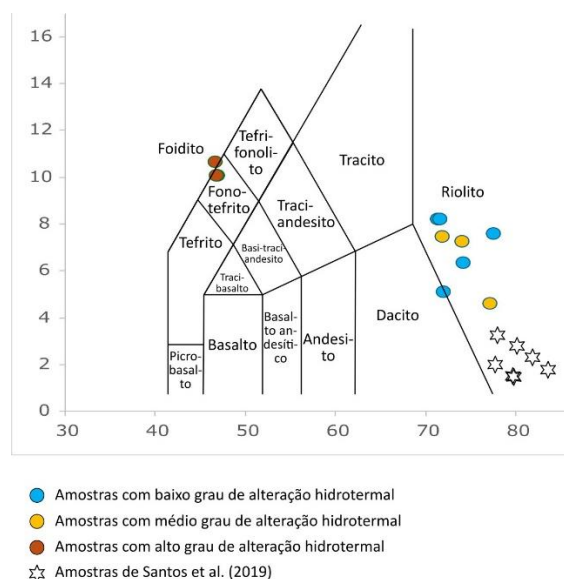


Figura 4: Diagrama TAS (total alkali-silica) de classificação de rochas vulcânicas com projeção das amostras deste estudo e de Santos et al. (2019) coletadas na Formação Novo Horizonte, região oeste da Chapada Diamantina. As amostras deste estudo apresentam diferentes cores dependendo do grau de alteração hidrotermal, conforme a legenda.

Observa-se que as amostras com grau de alteração baixo a médio encontram-se todas no campo dos riolitos, assim como as amostras de Santos et al. (2019). Por outro lado, as amostras com alto grau de alteração hidrotermal concentram-se nos campos foidito e fonotefritos (Figura 4). Isto se dá pela lixiviação da SiO₂ causada pela alteração hidrotermal e não representa a classificação ígnea desta rocha.

Teixeira (2005) afirma que não é possível aplicar os diagramas geoquímicos de classificação de rochas vulcânicas na Formação Novo Horizonte devido aos processos de alteração hidrotermal (sericitização, fengitização e etc). Contudo, não são apresentadas tentativas de projetar no diagrama TAS das rochas com menor grau de alteração ou compará-las com riolitos sem alteração de outras regiões.

Em relação a classificação das amostras de Santos et al (2019), estas amostras são oriundas na região entre Nossa Senhora do Livramento e Rio de Contas, enquanto as amostras aqui apresentadas neste trabalho são de uma região mais a NW, no município de Novo Horizonte. Outro aspecto importante é que as amostras de Santos et al (2019) apresentam concentração de SiO₂ entre 78 e 85%, algo muito elevado para uma rocha ácida pura. Desta forma, os autores explicam que essa diferença se deve

possivelmente à contribuição de sedimentos ricos em quartzo, caracterizando assim um depósito vulcano-sedimentar.

Ainda, segundo Teixeira (2005), o principal efeito do hidrotermalismo é a redução do Na_2O e do K_2O , ficando abaixo de 3 e 6%, o que interfere na sua classificação no diagrama TAS. De forma concordante, as amostras com baixo grau de alteração hidrotermal tendem a apresentar concentração de Na_2O entre 0,5 e 4% (Figura 5 – G), bem abaixo da faixa de 4 a 5% esperada para rochas vulcânicas ácidas preservadas do hidrotermalismo (Teixeira, 2005).

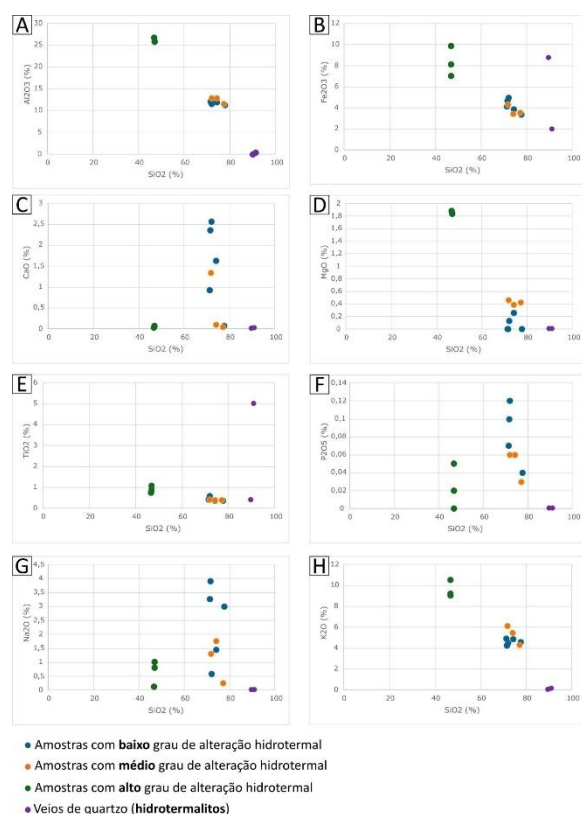


Figura 5: Gráficos de dispersão de elementos maiores. A) SiO_2 x Al_2O_3 . B) SiO_2 x Fe_2O_3 . C) SiO_2 x CaO . D) SiO_2 x MgO . E) SiO_2 x TiO_2 . F) SiO_2 x P_2O_5 . G) SiO_2 x Na_2O . H) SiO_2 x K_2O .

Assim, apesar de que a projeção destas rochas no diagrama certamente tenha sido influenciada pelo hidrotermalismo, é possível que a sua classificação ocorra nos campos de riolito, dacito ou tracito. Desta forma, a classificação apresentada na Figura 4 está em acordo com Guimarães et al. (2005) e Teixeira (2005).

Em relação aos elementos maiores, observa-se uma redução de SiO_2 e aumento de Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , TiO_2 e K_2O das amostras de baixo para as de alto grau de alteração hidrotermal (Figura 5). Porém, esta relação se inverte entre as amostras de alto grau de

alteração em relação aos veios de quartzo. Ou seja, ocorre uma redução do SiO_2 e uma redução dos outros óxidos. A única exceção é a amostra e quartzo de veio VQ1, o que se deve por apresentar abundância de cristais de hematita e rutilo. Desta forma, a amostragem de um volume adequado nos veios de quartzo é crucial para garantir a representatividade da amostra.

Já o CaO , P_2O_5 e Na_2O apresentam um comportamento semelhante, no qual ocorre uma redução destes óxidos das amostras com baixo grau de alteração em relação às de alto grau e aos veios de quartzo, independente da concentração de SiO_2 . Isto indica que estes elementos tendem a ser lixiviados nos primeiros estágios da alteração hidrotermal, o que é coerente com Teixeira (2005) em relação ao Na_2O .

Quanto aos elementos menores, todos apresentam um aumento de concentração das amostras de baixo grau de alteração para as de alto grau, seguidos de uma redução drástica de concentração nos veios de quartzo (Figura 6).

A única exceção a este comportamento é o W, em que a ordem de maior para menor grau de concentração é a amostra 7 de veio de quartzo, amostras com baixo e médio grau de alteração e amostras com alto grau (Figura 6 – C). Já o Nb aparece com uma concentração bem maior na amostra VQ1 do que nas outras amostras. Isto se deve ao fato de que este elemento pode ocorrer em concentrações de até 5% nos rutilos presentes nesta amostra, VQ1 (Urbano et al., 2024).

Em relação aos ETR, não foi observada nenhuma concentração acima de 700 ppm nas amostras estudadas (Figura 6 – F). Tendo em vista que minerais portadores de ETR foram identificados na Formação Novo Horizonte (Guimarães et al., 2005; Arcanjo, 2018), é possível que a baixa concentração destes elementos nas amostras deste estudo esteja relacionada a sua distribuição errática e irregular. Quando normalizados pelo condrito, as amostras apresentam um padrão de distribuição homogêneo e regular, com exceção da amostra 7 de veio de quartzo que está muito empobrecida nos ETR. Esta distribuição homogênea é coerente com o observado em Teixeira (2005) e Santos et al. (2019).

Observa-se que as amostras com grau de alteração hidrotermal entre baixo a médio apresentam teor de ETR entre 180 e 350 ppm, enquanto os veios de quartzo apresentam concentração abaixo de 150 ppm. Por fim, as rochas com grau de alteração mais alta apresentam ETR entre 100 e 700 ppm.

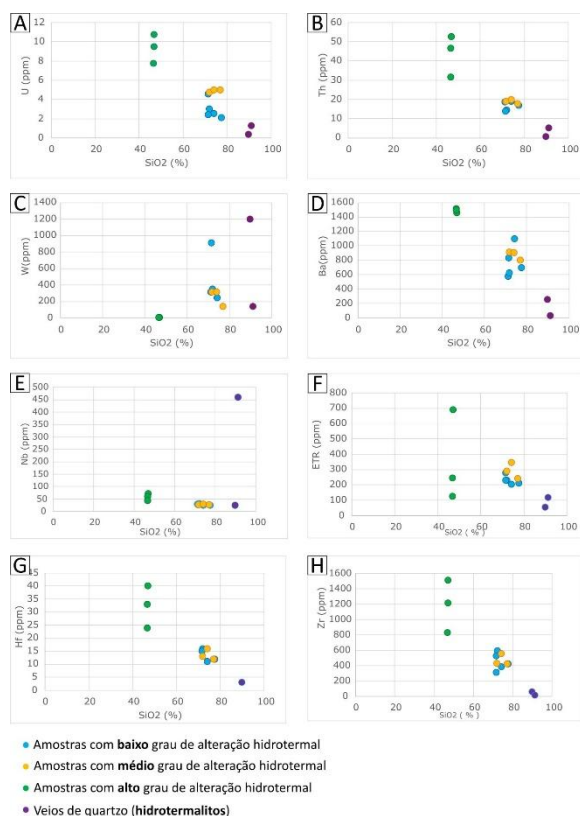


Figura 6: Gráficos de dispersão de elementos menores. A) SiO₂ x U. B) SiO₂ x Th. C) SiO₂ x W. D) SiO₂ x Ba. E) SiO₂ x Nb. F) SiO₂ x ETR. G) SiO₂ x Hf. H) SiO₂ x Zr.

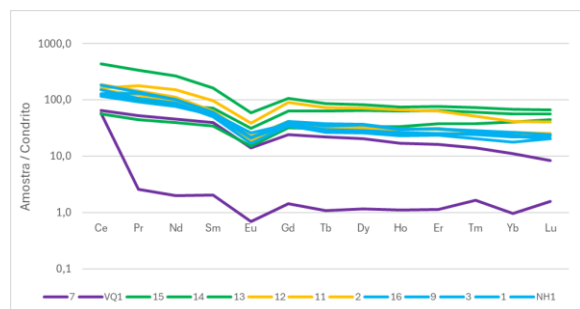


Figura 7: ETR normalizados pelo condrito (Boynton, 1984).

Análises Mineralógicas por DRX

Em relação as análises por DRX, esta foi realizada somente em uma amostra de argilas cinza a amarelo clara que preenchem parcialmente as cavidades em veios de quartzo (Figura 3 – F). Apesar do aspecto argiloso, foram identificados minerais como a muscovita, caulinita, ortoclásio, microclima e quartzo (Figura 8).

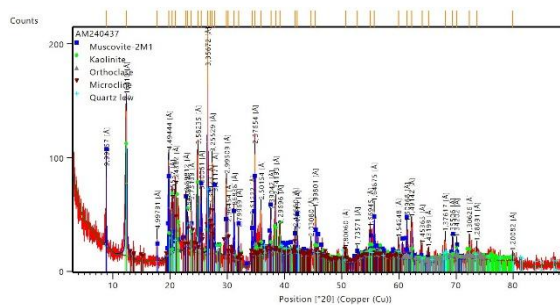


Figura 8: Difratoograma de amostra associada as argilas presentes no interior de cavidade em veios de quartzo encaixados na Formação Novo Horizonte.

Foram indexados no difratogramas muscovita, caulinita, ortoclásio, microclima e quartzo (figura 3 – F).

CONCLUSÃO

Pode se concluir que o hidrotermalismo que afetou as rochas da Formação Novo Horizonte causa a remobilização de elementos maiores e menores. Foi observado um aumento da concentração nos veios de quartzo de Fe, Ti, Nb e W. Em relação às amostras com alto grau de alteração, estas apresentaram aumento da concentração de Al, Fe, Mg, Ti e K e uma redução de Ca, P, Na, Si, U, Th, Ba, Hf e Zr quando comparadas às amostras com baixo a médio grau de alteração hidrotermal.

Em relação ao ETR, observou-se o seu aumento somente em uma amostra com alto grau de alteração hidrotermal. É possível que os resultados tenham sido influenciados por uma amostragem pouco representativa, principalmente em relação aos veios. O padrão de distribuição dos ETR, quando normalizados pelo condrito, foi coerente com o observado em outros trabalhos.

Como próximos passos, deve ser realizada a caracterização petrográfica em microscópio ótico e no MEV-EDS afim de se definir melhor a mineralogia das rochas vulcânicas ácidas da Formação Novo Horizonte com diferentes graus de alteração hidrotermal.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi beneficiado pelos auxílios financeiros para pesquisadores de número 23109.014957/2022-44 (25202228) e número 23109.007219/2024-11 (18202414) fornecidos pela PROPP UFOP.

REFERÊNCIAS

ARCANJO, Deilson José da Silva. Caracterização dos minerais de terras raras de Novo Horizonte, Bahia. 2018. TCC (Bacharelado em Engenharia Geológica) - UFOP, [S. l.], 2018.



BOYNTON, W. V. Geochemistry of rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson P. (ed.) Rare earth element geochemistry. Elsevier. p. 63-114. 1984.

CHAVES, Mário Luiz de Sá Carneiro et al. Idades U-Pb em Xenotímio-(Y) de um veio de quartzo com Almeidaíta e Parisita-(La), novos minerais encontrados na Serra do Espinhaço (Novo Horizonte, Bahia). Geociências, 2018.

ELLIOT, Brent A. Petrogenesis of Heavy Rare Earth Element Enriched Rhyolite: Source and Magmatic Evolution of the Round Top Laccolith, Trans-Pecos, Texas. Petrology, [s. l.], 22 set. 2018.

GONÇALVES, Guilherme et al. Twenty million years of post-orogenic fluid production and hydrothermal mineralization across the external Araçuaí orogen and adjacent São Francisco craton, SE Brazil. Lithos, 2019

GUIMARÃES, José Torres et al. Projeto Ibitiara-Rio de Contas: Estado da Bahia. Convênio CBPM-CPRM, 2005.

HEILBRON, Monica et al. São Francisco Craton, Eastern Brazil. [S. l.: s. n.], 2017.

KYNICKY, J. et al. Diversity of Rare Earth Deposits: The Key Example of China. Elements, volume 8 número 5, 2012.

MARIANO A. e MARIANO JR. A. Rare Earth Mining and Exploration in North America. Elements, volume 8 número 5, 2012.

SANTOS, Josiane et al. Geologia, petrografia e geoquímica das rochas metavulcânicas ácidas da Estrada Real, Rio de Contas (BA). Pesquisas em Geociências, v. 46 (2019), n. 2.

SANTOS, Cláudia et al. Ferroan alkalic volcanism associated with Calymmian rifting in the Paramirim aulacogen, São Francisco craton, Brazil: New insights from lithofacies analysis and evidence of mantle-derived alkaline H₂O-rich metasomatic fluids affecting ancient crustal materials. Precambrian Research, 2020.

SCHOBENHOUS, C., Hoppe, A., Baumann, A., Lork, A. 1994. Idade U/Pb do vulcanismo Rio dos Remédios, Chapada Diamantina, Bahia. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Anais, 2, p. 397-399.

TEIXEIRA, Leo Rodrigues. PROJETO IBITIARA – RIO DE CONTAS. RELATÓRIO TEMÁTICO DE LITOGEOQUÍMICA. Convênio CBPM-CPRM, 2005.

URBANO, E. E. M. C.; SOARES, L. M. L. ; SCHOLZ, R. . Gênese dos veios de quartzo com inclusões de rutilo dourado e hematita especular

encaixados na Formação Novo Horizonte, Bahia. In: COBICET, 2024, On-line. Anais do Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia. Recife: Even3, 2024. v. 5.