

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)

U-Pb AGES IN XENOTIME-(Y) FROM A QUARTZ VEIN WITH ALMEIDAITE AND PARISITE-(La), NEW MINERALS FOUND IN THE ESPINHAÇO RANGE (NOVO HORIZONTE, BAHIA)

Mário Luiz de Sá Carneiro CHAVES¹, Bernhard BUHN^{2*}, Coralie HEINIS DIAS¹, Luiz Alberto Dias MENEZES FILHO^{1*}

¹Centro de Pesquisa Prof. Manoel Teixeira da Costa, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais. Emails: mlschaves@gmail.com; co.dias.minas@gmail.com

²Laboratório de Estudos Geocronológicos, Geodinâmicos e Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.

**In memoriam*

Introdução
Geologia Regional
Geologia do Espinhaço na Área de Novo Horizonte
Veios de Quartzo Mineralizados e sua Encaixante
Idades U-Pb
Metodologia Analítica
Resultados Obtidos
Discussões e Significado Geológico Regional
Considerações Finais
Referências Bibliográficas

RESUMO - As idades iniciais de sedimentação/vulcanismo do Supergrupo Espinhaço (Minas Gerais e Bahia) são razoavelmente bem estabelecidas (~1.700Ma), bem como as idades das deformações relacionadas ao final do Ciclo Brasileiro (580-490Ma). Entretanto, a idade de formação dos veios hidrotermais de quartzo hospedados naquela sequência ainda é pouco conhecida. Análises U-Pb em xenotímio-(Y) de um veio de quartzo em rocha metavulcânica da Formação Novo Horizonte (Grupo Rio dos Remédios – Supergrupo Espinhaço), na Bahia, foram obtidas por LA-MC-ICP-MS. Almeidaíta e parisita-(La) são novos minerais descobertos no mesmo depósito, surpreendentes devido ao tamanho anômalo dos seus cristais. As três amostras de xenotímio mostraram razões isotópicas U-Pb concordantes em $491,7 \pm 1,0$ Ma, $493,0 \pm 0,93$ Ma e $504,1 \pm 0,78$ Ma. Essas idades são interpretadas como de cristalização do xenotímio e, conseqüentemente, dos novos minerais associados, corroborando outros estudos que mostram os processos geológicos do final do Brasileiro como vigentes até pelo menos ~490 Ma, no Cambriano tardio. Tais idades são também coerentes a nível regional, inteiramente semelhantes às encontradas em monazita-(Ce) de veios de quartzo do Espinhaço em Minas Gerais, e ainda à de veios contemporâneos hospedados em rochas originalmente de outro estilo metalogenético, como no Quadrilátero Ferrífero, nesse mesmo Estado, denotando um evento a nível regional de larga extensão.

Palavras-chave: idades U-Pb, xenotímio-(Y), almeidaíta, parisita-(La), Serra do Espinhaço.

ABSTRACT - The initial phasis of sedimentation/volcanism in the Espinhaço Supergroup, Minas Gerais and Bahia States (~1,700Ma) and the deformation ages related to the final of Brasileiro Cycle (580-490Ma) are reasonably well established. However, the age of formation of hosted hydrothermal quartz veins is still poorly known. U-Pb ages of xenotime-(Y) from a quartz vein in metavolcanic rock of the Novo Horizonte Formation (Rio dos Remédios Group – Espinhaço Supergroup), in Bahia State, were obtained by LA-MC-ICP-MS. Almeidaite and parasite-(La) are new minerals discovered in the same deposit, surprising by the large dimensions of its crystals. The three xenotime samples yielded concordant U-Pb isotope ratios with concordia ages of 491.7 ± 1.0 Ma, 493.0 ± 0.93 Ma and 504.1 ± 0.78 Ma. These ages are interpreted as the crystallization ages of xenotime and consequently of the new minerals, corroborating other studies that indicate the geological processes of the end Brasileiro as continuous until at least ~490Ma, in the late Cambrian. Such ages are also coherent at regional level because are very similar to the ages of monazite-(Ce) from quartz veins found in the Espinhaço Range (Minas Gerais) and in contemporaneous veins hosted in rocks of another metalogenetic style as in the Quadrilátero Ferrífero (“Iron Quadrangle”) in the same state, indicating a regional event with a large extension.

Keywords: U-Pb ages, xenotime-(Y), almeidaite, parasite-(La), Espinhaço Range.

INTRODUÇÃO

Em continuação aos estudos de caracterização, datação, e dos minerais associados aos veios hidrotermais de quartzo hospedados nas sequências do Supergrupo Espinhaço, principal unidade que sustenta a Serra do Espinhaço nos estados de Minas Gerais e Bahia (Chaves, 2007; Chaves et al., 2003, 2006, 2010), apresentam-se aqui novos dados geológicos e geocronológicos sobre a mineralização encaixada em metarriolito da

Formação Novo Horizonte (Grupo Rio dos Remédios), próximo à cidade homônima, situado na Chapada Diamantina Ocidental (Bahia). Nesse mesmo veio, foram recentemente descritos os minerais almeidaíta, $\text{PbZn}_2(\text{Mn}, \text{Y})(\text{Ti}, \text{Fe}^{3+})_{18}\text{O}_{37}(\text{OH}, \text{O})$, cujo nome foi dado em homenagem ao eminente geocientista brasileiro Fernando Flávio Marques de Almeida (Menezes Filho et al., 2015) e a parisita-(La), $\text{CaLa}_2(\text{CO}_3)_3\text{F}_2$ (Menezes Filho et

al., 2016), um análogo estrutural da parisita-(Ce), conhecida desde a década de 1990 (Yunxiang et al., 1993).

Com a descoberta desses dois minerais, ressalta-se o fato de que os tais veios de quartzo nessa região ainda são muito pouco conhecidos. Almeidaíta e parisita-(La) foram casualmente encontradas por um dos autores (LADMF) em 2011, no aterro de um poço abandonado do Garimpo da Mula, onde se buscava principalmente quartzo rutilado (Menezes Filho et al., 2015). Em 2013, empreendeu-se a abertura de um outro poço a alguns metros do primeiro, permitindo a coleta dos novos minerais *in situ*. Abundante quantidade de cristais foi amostrada, juntamente com xenotímio-(Y) (Figura 1A), no contato do veio com o metarriolito.

A almeidaíta apresenta-se em cristais pretos, opacos, submetálicos e de hábito placóide, com dimensões de até 3,0 x 3,0 x 0,6 cm; tal descoberta pode ser considerada como surpreendente devido à dimensão anômala dos cristais para um novo mineral (Figura 1B). Do mesmo modo, a parisita-(La) foi encontrada primeiramente em cristais milimétricos (Figura 1C), mas com a continuação das atividades garimpeiras cristais anômalos medindo quase 8 cm ao longo do eixo “c” foram recentemente achados. Esse mineral ocorre normalmente como núcleos residuais milimétricos em cristais compridos, pseudo-hexagonais e duplamente terminados, sob uma capa externa de mistura monazita-(Ce) + rabdofânio-(La) (Menezes Filho et al., 2016).

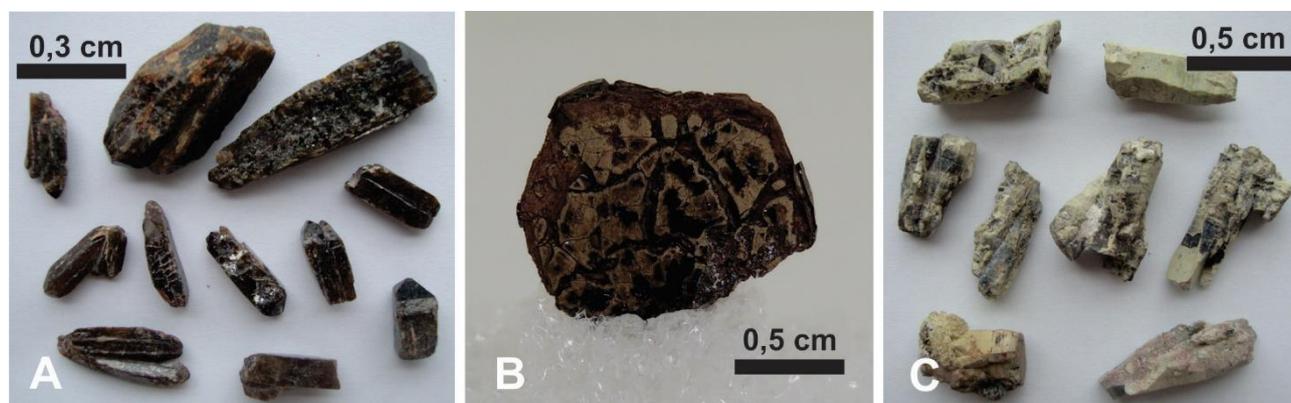


Figura 1 - Minerais encontrados no veio de quartzo do Garimpo da Mula (Novo Horizonte, BA), estudados no presente trabalho. A. Xenotímio-(Y). B. Almeidaíta. C. Parisita-(La).

Como objetivo principal desse estudo, três amostras de xenotímio (para simplificação, o “Y” constante no nome não será mais mencionado ao longo do artigo) associado com almeidaíta e parisita-(La) do depósito de Novo Horizonte foram datadas pelo método U-Pb *laser ablation* ICP-MS. Tais resultados permitiram ainda comparações com as idades

previamente obtidas sobre monazita-(Ce) de outros veios hidrotermais de quartzo da Serra do Espinhaço Meridional, em Minas Gerais (Chaves et al., 2010), bem como de veios associados a um estilo de mineralização diferente, a exemplo dos ocorrentes na região do Quadrilátero Ferrífero, logo ao sul da Serra do Espinhaço.

GEOLOGIA REGIONAL

A Serra do Espinhaço se estende por mais que 1.200 km de extensão, na direção norte-sul, desde Belo Horizonte (região central de Minas Gerais) até o norte da Bahia. Nesse contexto, alguns domínios geográficos-geotectônicos se destacam, conhecidos como Meridional, Central, Setentrional e Chapada Diamantina (Figura 2). A principal sequência litoestratigráfica que sustenta o espigão serrano é o Supergupo Espinhaço, composto por metassedimentos (quartzitos predominantes, filitos e metaconglomerados), e localmente por

rochas metaplutônicas e metavulcânicas.

Tal sequência foi depositada em bacias do tipo rifte e rifte-*sag* (Dossin et al., 1990; Schobbenhaus, 1993, 1996; Martins Neto, 1998, 2000) cuja abertura ocorreu no Estateriano (Brito-Neves et al., 1979; Machado et al., 1989; Dussin, 1994; Silva, 2016) sendo submetida a dobramentos, metamorfismo e outros tipos de deformações nas etapas finais do Ciclo Brasileiro, entre 580-490 Ma (Trompette et al., 1992; Pedrosa-Soares et al., 2001, 2011), período também conhecido como

“Brasiliano III” (Silva et al., 2005; Hasui, 2010). O Supergrupo Espinhaço recobre complexos arqueanos e paleoproterozoicos,

sendo sobreposto por metassedimentos neoproterozoicos pertencentes aos grupos Macaúbas e Bambuí.

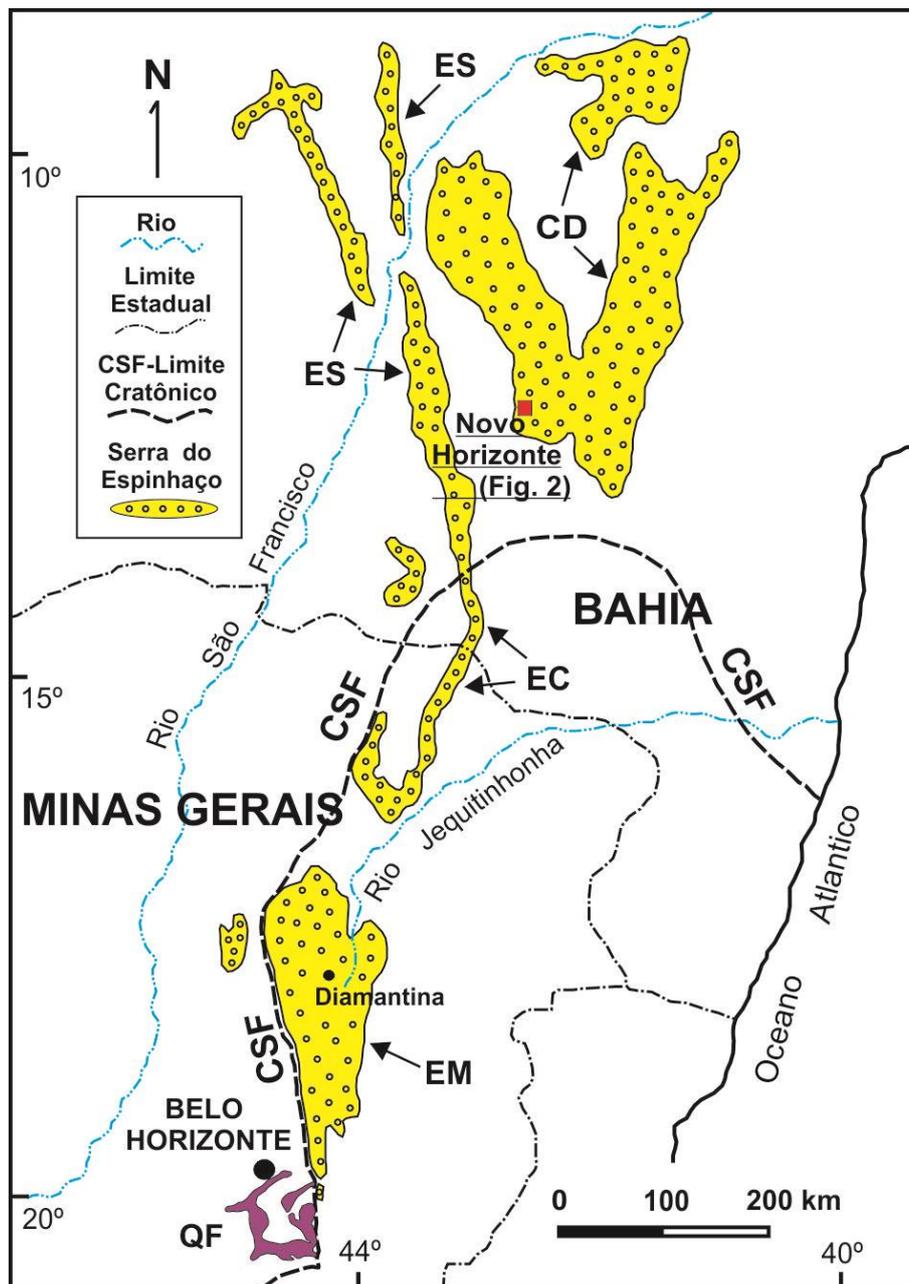


Figura 2 - Localização da Serra do Espinhaço ao longo dos estados da Bahia e Minas Gerais, mostrando seus principais domínios geográficos-geotectônicos em relação ao Cráton do São Francisco (CSF). Domínios: CD – Chapada Diamantina; ES – Espinhaço Setentrional; EC – Espinhaço Central; EM – Espinhaço Meridional. QF – Província metalogênética do Quadrilátero Ferrífero. Os limites do CSF estão de acordo com Almeida (1977) e Alkmim et al. (1993).

Geologia do Espinhaço na Área de Novo Horizonte

O Supergrupo Espinhaço na região da Chapada Diamantina Ocidental é formado por unidades relacionadas aos grupos Rio dos Remédios, Paraguaçu e Chapada Diamantina, da base para o topo (e.g., Sá, 1978; Vilas Boas et al., 1988; Pedreira, 1994; Barbosa & Dominguez, 1996; Dominguez, 1996; Figura

3). Situada na base do grupo inferior, a Formação Novo Horizonte hospeda o depósito estudado, sendo constituída por rochas vulcânicas, subvulcânicas e epiclásticas de derivação vulcânica. Tais litotipos são sobrepostos por depósitos sedimentares continentais das formações Lagoa de Dentro e Ouricuri do Ouro, os quais se acumularam na fase de subsidência inicial da bacia (Guimarães

et al., 2005). Para esses últimos autores, o Grupo Rio dos Remédios representa a fase rifte da tafrogênese estateriana; com a abortagem do processo de rifteamento, a sedimentação se expandiu ultrapassando sua calha original, configurando-se uma bacia do tipo rifte-*sag*.

De tal modo, o Grupo Paraguaçu compreende a fase pós-rifte, com suas formações Mangabeira (arenitos eólicos) e Açuruá (metarritmitos marinhos). No topo e de maior expressão regional, o Grupo Chapada Diamantina é representado pelas formações Tombador e Caboclo, num contexto de

sinéclise. A primeira é integrada por uma fácies eólica e outra fluvial. A fácies eólica consiste de metarenitos com lentes de metaconglomerado oligomítico, atribuídos a ambiente desértico costeiro, enquanto os metarenitos mal selecionados e conglomerados oligomíticos são considerados fluviais entrelaçados.

A Formação Caboclo consiste de metapelitos, metarenitos e calcários, com estruturas que são interpretadas como diagnósticas de ambiente litorâneo (Pedreira, 1994; Dominguez, 1996).

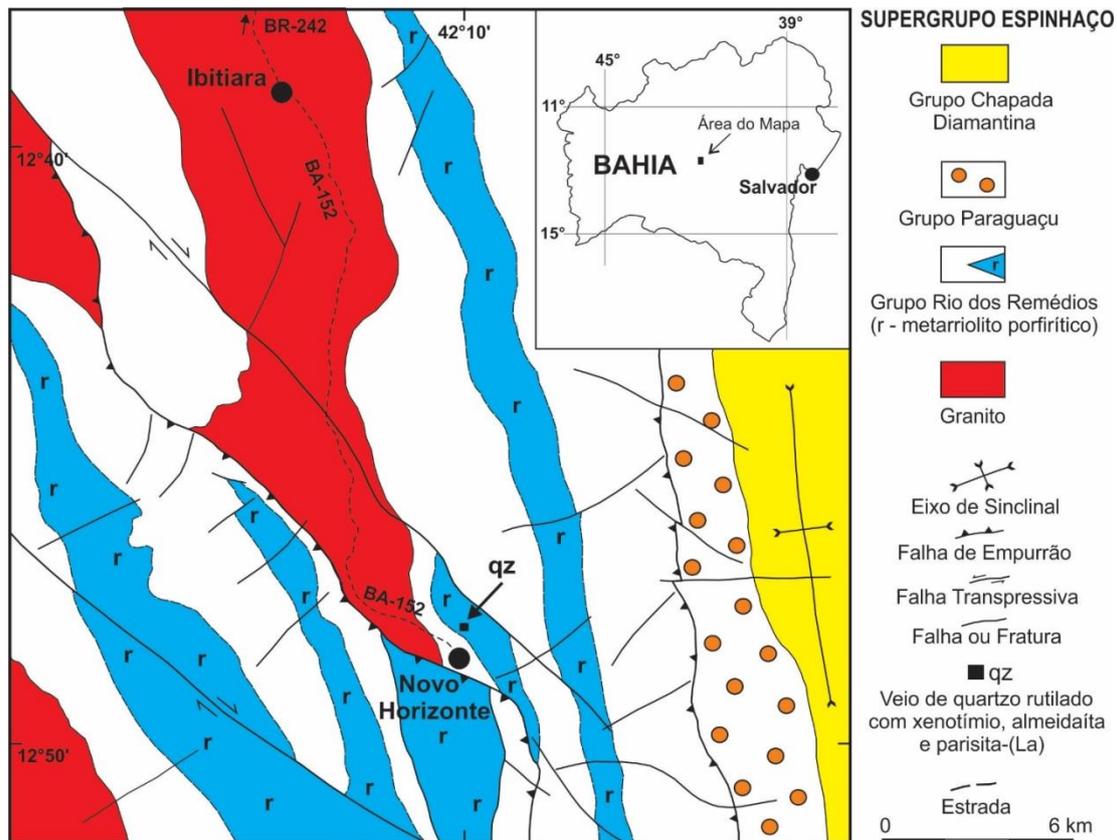


Figura 3 - Mapa geológico da região de Novo Horizonte (BA) destacando a localização do Garimpo da Mula, onde foram encontrados os três minerais enfocados no estudo, xenotímio, almeidaíta e parisita-(La) (modificado de Guimarães et al., 2005).

A Formação Novo Horizonte, base do Grupo Rio dos Remédios, aflora extensivamente na Chapada Diamantina Ocidental (Guimarães et al., 1975). Entre os principais litotipos vulcânicos presentes, incluem-se dacitos, riolitos e quartzo pórfiros, metamorfizados em baixo grau metamórfico, os quais têm sido modificados consideravelmente por atividades hidrotermais póstumas.

Tais processos foram responsáveis pelas principais mineralizações presentes neste setor da Serra do Espinhaço, destacando-se cassiterita (botrioidal), ouro, barita, rutilo e

quartzo rutilado (Santana et al., 1975; Oga, 1997; Azevedo, 1980). Na serra como um todo, os veios de quartzo apresentam uma diversificada mineralogia local em função das rochas regionais associadas, como cianita, anatásio, monazita, xenotímio e euclásio, entre outros.

Guimarães et al. (2005) identificaram sete associações litofaciológicas na Formação Novo Horizonte, com repetições verticais e descontinuidades laterais. De acordo com esses autores, os vulcanitos são relacionados a magmatismo anorogênico peraluminoso e

alcalino, de contribuição crustal.

Quatro eventos magmáticos foram identificados, que culminaram sempre em feições superiores de derrames (vesículas, texturas amigdaloidais e brechas de fluxo), conjuntamente a sedimentação epiclástica de derivação vulcânica em períodos de quiescência tetônica. O terceiro evento foi reconhecido na área do Garimpo da Mula, consistindo de fluxos viscosos de lavas dacíticas e riolíticas, com intercalações de lavas pobres em quartzo contendo plagioclásio, além de aglomerados e tufos.

Nas zonas de cisalhamento, os processos deformacionais geraram também sericita xistos, milonitos e ultramilonitos (Fróes, 1994) e, como consequência do metamorfismo regional e/ou magmatismo local associado, a atividade hidrotermal intensa causou abundante formação de veios de quartzo.

No Espinhaço Meridional, esses veios foram datados em cerca de 490 Ma por Chaves et al. (2010), utilizando o método U-Pb em monazita. No contexto geotectônico regional, tais idades provavelmente representam os estágios finais do colapso tectônico relacionado ao Ciclo Brasileiro.

Veios de Quartzo Mineralizados e sua Encaixante

A região da Chapada Diamantina baiana foi uma importante produtora de quartzo hialino para a indústria eletro-eletrônica, tendo seu pico durante a Segunda Grande Guerra. O interesse gemológico, ou como material de coleção por este material, entretanto, deu-se somente a partir dos anos 1990, principalmente buscando os cristais com inclusões de rutilo e/ou hematita, abundantes particularmente na região de Novo Horizonte.

Os veios de quartzo mais produtivos possuem orientação geral NNW-SSE e mergulhos variando de subverticais a subhorizontais, discordantes dos derrames vulcânicos da Formação Novo Horizonte, cujas extensões podem alcançar 250 m com espessuras entre 10-20 m (Santana et al., 1975).

O depósito-tipo regional é a conhecida Lavra do Costa, em produção desde a década de 1990, e onde ainda trabalham atualmente cerca de 600 garimpeiros. Esse depósito é formado por uma associação de veios de quartzo brechados cimentados por calcedônia, em parte caulinizados.

Os veios ocorrem em padrão stockwork,

formando zonas de 2-3 m de espessura, onde aparecem distribuídas aleatoriamente drusas de quartzo que podem ser rutiladas e/ou ricas em hematita.

Na presente década, cristais de xenotímio foram encontrados associados a tais veios, na própria Lavra do Costa, como também no Garimpo da Mula, localidade dos minerais aqui enfocados (coordenadas geográficas 12°48'28"S e 42°10'04"W); ele ocorre em cristais prismáticos compridos, milimétricos a centimétricos, de coloração marrom clara e com terminação piramidal.

A encaixante da mineralização é macroscopicamente mesocrática, de matriz fina cinza clara, com pórfiros de feldspato róseo eudíricos milimétricos. Em seção delgada, a rocha apresenta-se holocristalina, com principalmente quartzo (50%) e feldspato potássico + plagioclásio (40%), e ainda muscovita, carbonato, epidoto e minerais opacos (10%).

Sua textura é porfirítica, formada por fenocristais de quartzo, plagioclásio, microclínio e feldspato perítico. A matriz tem granulação fina, microcristalina, composta na maior parte por quartzo e feldspatos, com muscovita disseminada que mostra estrutura de fluxo contornando os fenocristais (Figura 4A).

Os fenocristais de plagioclásio são caulinizados e saussuritizados, com formas hipidiomórficas medindo até 3 mm. Os fenocristais de feldspato potássico (Figura 4B/C), com formas iguais, são caulinizados e sericitizados, alcançando até 6 mm. Os fenocristais de quartzo são hipidiomórficos a xenomórficos, em geral arredondados, medindo entre 0,4-3,3 mm e frequentemente corroídos. Quartzo e muscovita podem formar intercrescimentos de cristais perpendiculares às bordas dos fenocristais (Figura 4D).

Juntamente com xenotímio, almeidaíta e parisita-(La), foram observados no Garimpo da Mula diversos outros minerais típicos de veios hidrotermais, tais como cristais dourados de rutilo, cristais tabulares de hematita, bem como quartzo com inclusões de rutilo em agulhas, todos de porte centimétrico a decimétrico.

A formação desses minerais foi interpretada como sendo um produto da reação entre os fluidos hidrotermais que geraram o veio de quartzo com a rocha encaixante descrita acima (Menezes Filho et al., 2015, 2016).

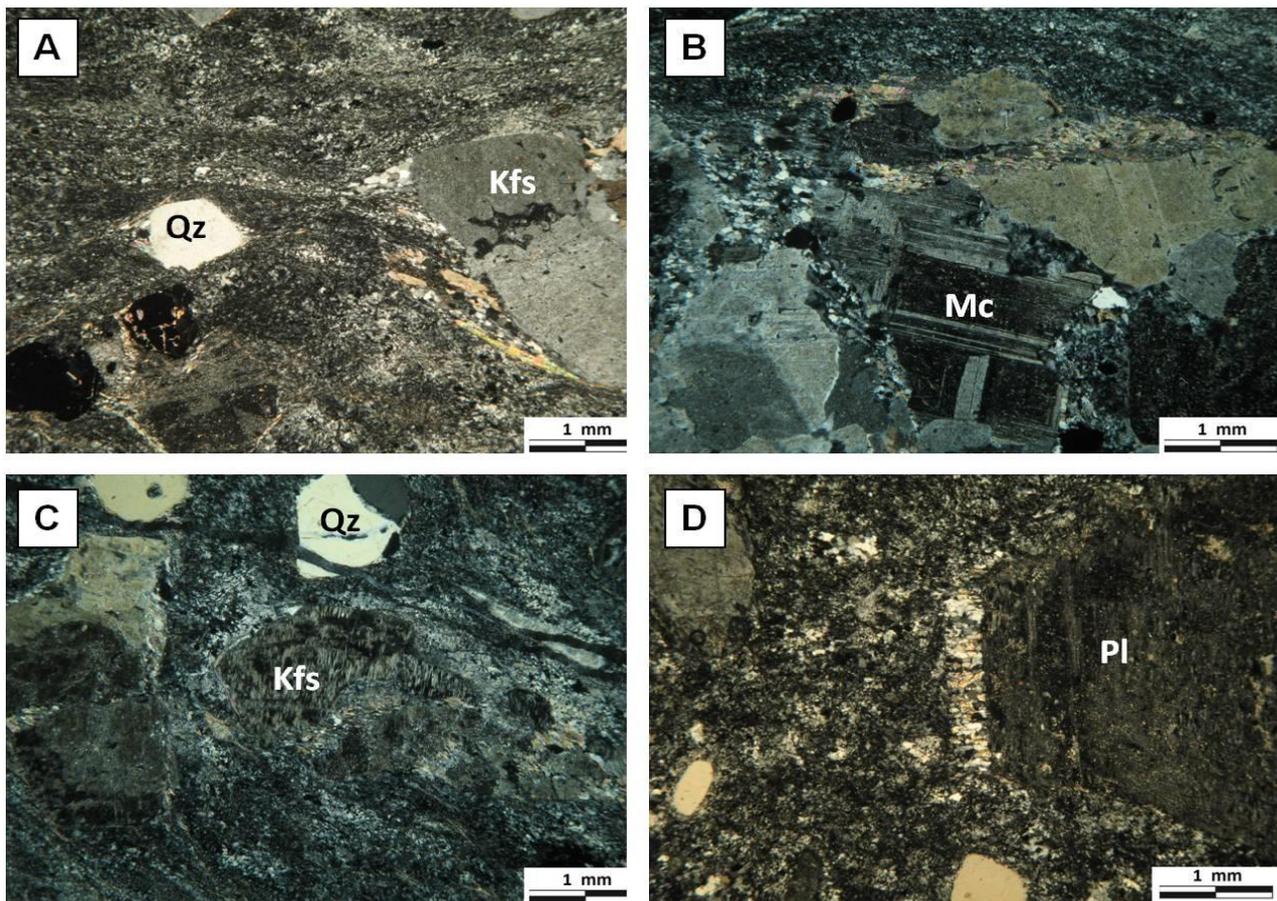


Figura 4 - Fotomicrografias do metarriolito encaixante da mineralização em seção delgada. A. Matriz fina composta por quartzo e muscovita contornando os fenocristais de quartzo e feldspato com estrutura de fluxo. B. Fenocristal de microclínio. C. Feldspato potássico pertítico. D. Matriz fina da rocha e fenocristal de plagioclásio. Qz – quartzo, Kfs – feldspato potássico, Mc – microclínio, Pl – plagioclásio.

IDADES U-Pb

Metodologia Analítica

A datação U-Pb do xenotímio foi realizada no Laboratório de Geocronologia do Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, com um espectrômetro de massa Thermo Finnigan Neptune, acoplado a um sistema de ablação a *laser* New Wave 213 nm. Três cristais desse mineral foram analisados e, para cada amostra, prepararam-se vários grãos entre 2 a 4 mm, utilizando o padrão de xenotímio “MG-1”. Aplicou-se um procedimento analítico com intercalações entre as amostras e o padrão. Os grãos são aparentemente bastante homogêneos, o que foi confirmado pelas observações das imagens de elétrons retroespalhados. O padrão utilizado, um megacristal de xenotímio, apresenta baixo teor em elementos terras raras, conforme caracterizado por Fletcher et al. (2004). A precisão analítica obtida está entre 2 e 3 % (2σ DP). Como existem relatos na literatura sobre o “efeito matriz” na datação U-Pb desse mineral (Fletcher et al., 2004, 2010; Sato et al., 2010; Liu

et al., 2011), as amostras também foram analisadas com o padrão GJ1 de zircão convencional visando comparação dos resultados.

As análises seguiram os procedimentos descritos em detalhe por Buhn et al. (2009). Uma barreira de ouro foi inserida no fluxo carregador de gás He antes deste ser injetado na câmara de amostra, e o He misturado com Ar previamente a ser inserido na chama de plasma. Os isótopos ^{206}Pb e ^{238}U foram medidos em Faraday *cups*, enquanto ^{202}Hg , $^{204}\text{Hg}/\text{Pb}$ e ^{207}Pb com contadores de íons. A técnica ora aplicada, de intercalação entre as amostras e seu padrão, utiliza quatro análises de amostras entre análises de dois brancos e dois padrões, respectivamente. O sinal de ^{202}Hg foi monitorado para uma possível correção de Pb. O diâmetro de feixe dos *spots* das análises foi de 40 μm , com energia de *laser* de 50-60 % a 10 Hz e fluxo de energia de 5-6 J/cm^2 . Um conjunto composto por 40 ciclos de 1 segundo foi efetuado para cada análise.

O tratamento dos dados foi realizado em planilha Excel própria, usando o software Isoplot de Ludwig (2001) para cálculo das idades e plotagem dos diagramas de concórdia. O tratamento dos dados levou em conta os valores de branco para amostras e padrões, e os respectivos valores de *theta* para cada análise em uma série de quatro análises de amostras, entre análises de dois brancos e dois padrões. Os erros das razões isotópicas foram propagados por adição quadrática, e os erros resultantes foram reportados como 1 sigma de desvio padrão. A massa $^{204}\text{Hg}+\text{Pb}$ foi corrigida para ^{204}Hg a partir dos gases He e Ar tomando a razão $^{202/204}\text{Hg}$ analisada dos brancos. A intensidade do sinal de ^{204}Pb comum assim obtida foi utilizada para calcular a contribuição de ^{206}Pb comum para o pico total de ^{206}Pb (que gerou a fração de Pb comum, Tabela 1), usando o modelo de composição de Pb segundo Stacey & Kramers (1975) para uma idade de 500 Ma. Aplicando tal procedimento, todas as análises mostraram uma fração de no máximo 0,02% de ^{206}Pb comum do pico total de ^{206}Pb e, portanto, nenhuma correção de Pb comum precisou ser aplicada (Tabela 1).

Resultados Obtidos

Todas as análises efetuadas nos grãos de xenotímio mostraram excelentes concordâncias entre 99,7 a 100,1 % para as idades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, e entre 99,3 e 102,1 % (com uma exceção) para as idades $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (Tabela 1). As oito análises da amostra Xenol forneceram uma idade concórdia de $491,7 \pm 1,0$ Ma; as oito análises da amostra Xenol2 $493,0 \pm 0,93$ Ma; e as oito

análises da amostra Xenol3 $504,1 \pm 0,78$ Ma. As três amostras apresentaram, cada uma, uma análise ligeiramente discrepante (Figura 5), que ainda assim foi incluída no cálculo da idade concórdia. A exclusão destas análises afetaria as idades concórdia calculadas apenas dentro dos seus respectivos erros. Tais idades registram com boa precisão a cristalização do veio e, provavelmente, dos dois novos minerais que ocorrem associados. Quanto aos resultados analíticos comparativos obtidos nas mesmas três amostras de acordo com o padrão de zircão internacional GJ1 (Jackson et al., 2004), estes forneceram idades concórdia de $475,8 \pm 2,8$ Ma, $480,7 \pm 3,6$ Ma e $484,0 \pm 3,9$ Ma, respectivamente (considerou-se desnecessário apresentar esses dados).

Em comparação com os dados usando-se o padrão de xenotímio, conforme utilizado neste trabalho, tais idades foram mais jovens de 2,5 a 4,0 %. Horn et al. (2000) concluíram a partir de seus experimentos que o fracionamento Pb/U ocorre principalmente em função do tamanho do *spot*, enquanto Liu et al. (2011) afirmaram que o efeito matriz deveria ser considerado para a datação do mineral. No entanto, eles também encontraram uma dependência com o tamanho do *spot*, uma vez que o fracionamento elementar muda de uma subestimação para uma superestimação com o aumento no diâmetro do mesmo. Os dados ora obtidos mostraram que embora o efeito matriz deva ser considerado nas datações LA-ICP-MS em xenotímio, não se encontrou um desvio mais alto que 9 % nas datações que utilizaram o padrão de zircão GJ1.

DISCUSSÕES E SIGNIFICADO GEOLÓGICO REGIONAL

As atividades hidrotermais e a consequente formação dos veios de quartzo têm sido considerados os últimos eventos mineralizantes associados ao final do Ciclo Brasileiro (ou “Brasiliano III”) na Serra do Espinhaço Meridional e adjacências, em Minas Gerais (Chaves et al., 2010; Pedrosa-Soares et al., 2011). Nessa região, Chaves et al. (2010) obtiveram idades U-Pb em monazita de veios de quartzo cortando metassedimentos do Supergrupo Espinhaço. Tais idades variaram entre 490 a 440 Ma, e a origem dos fluidos mineralizantes foi sugerida como ocorrida a partir de granitos pós-tectônicos sob a região serrana, devido à presença de minerais

relacionados a rochas ácidas, como por exemplo euclásio e almandina, em alguns desses veios. Essa interpretação, no entanto, ainda necessita de estudos adicionais, pois intrusões graníticas com idades tardi-brasilianas permanecem desconhecidas na área.

No Espinhaço Baiano, são reconhecidas diferenças geotectônicas importantes em comparação ao Espinhaço de Minas Gerais.

Os dois domínios presentes são intracratônicos (Figura 2), e as deformações relacionadas à tectônica regional são nitidamente influenciadas pelos designados “Aulacógeno do Paramirim” (Costa & Inda, 1982), ou “Corredor do Paramirim”, que

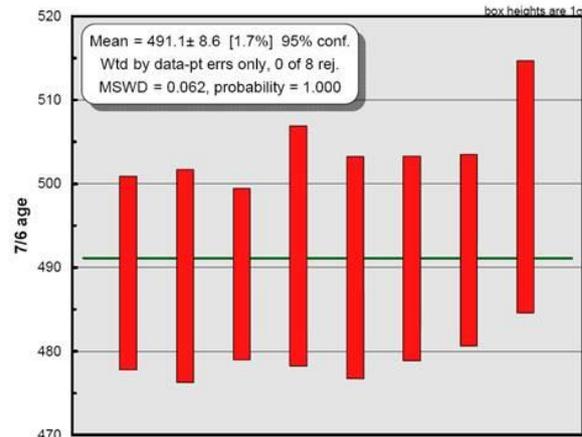
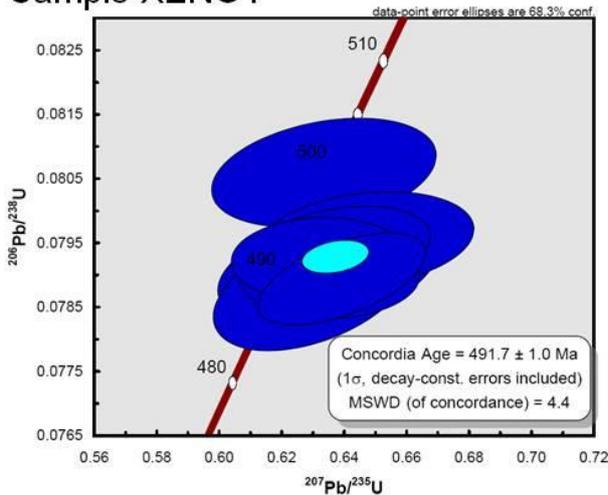
representam a zona de máxima inversão do citado aulacógeno (Cruz & Alkmim, 2006; Cruz et al., 2015). Neste contexto, a tectônica deformadora é dominada por zonas de

cisalhamento reversas ou reversas destrais além de vários tipos de dobras, incluindo a geração dos veios de quartzo em sítios de máxima deformação.

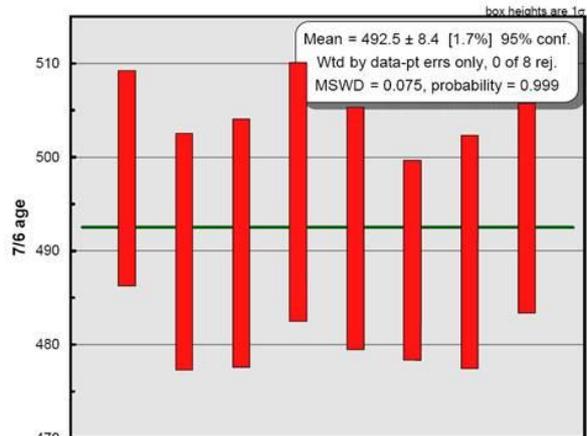
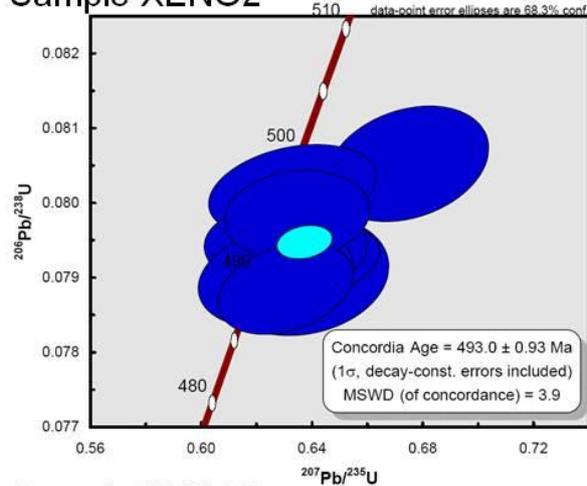
Tabela 1 - Análises U-Pb de três amostras de xenotímio de veio de quartzo em metarriolito da Formação Novo Horizonte (Novo Horizonte, BA) (% CC = porcentagem de concordância das idades 6/8 e 7/5; Frac. Pb © = fração de chumbo comum).

Amostra	Razões Isotópicas				Idades (Ma)				% CC 6/8	% CC 7/5	Frac. Pb ©					
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ								
Xeno1-1	0,05694	2,37	0,07895	0,54	0,63545	2,97	489,3	11,6	489,8	2,6	499,5	14,8	0,05	99,90	102,08	0,018
Xeno1-2	0,05693	2,60	0,07876	0,80	0,62982	3,32	489,0	12,7	488,7	3,9	496,0	16,5	0,45	100,05	101,43	0,021
Xeno1-3	0,05694	2,09	0,07893	0,60	0,63923	2,76	489,2	10,2	489,7	2,9	501,8	13,8	0,57	99,89	102,59	0,023
Xeno1-4	0,05703	2,91	0,07955	0,62	0,64704	3,51	492,5	14,3	493,4	3,0	506,7	17,8	0,21	99,82	102,87	0,024
Xeno1-5	0,05696	2,71	0,07906	0,72	0,63458	3,64	490,0	13,3	490,5	3,5	498,9	18,1	0,36	99,90	101,83	0,027
Xeno1-6	0,05699	2,49	0,07923	0,54	0,63222	2,95	491,1	12,2	491,5	2,7	497,5	14,7	0,06	99,91	101,30	0,019
Xeno1-7	0,05701	2,33	0,07940	0,55	0,63836	3,01	492,1	11,5	492,6	2,7	501,3	15,1	0,29	99,90	101,88	0,022
Xeno1-8	0,05721	3,01	0,08059	0,70	0,63357	3,73	499,6	15,1	499,6	3,5	498,3	18,6	0,32	100,00	99,74	0,022
Xeno2-1	0,05716	2,31	0,08052	0,64	0,67477	2,86	497,7	11,5	499,2	3,2	523,6	15,0	0,27	99,70	105,20	0,016
Xeno2-2	0,05696	2,58	0,07901	0,67	0,63672	3,24	489,9	12,6	490,2	3,3	500,3	16,2	0,16	99,94	102,12	0,022
Xeno2-3	0,05698	2,70	0,07916	0,47	0,63401	3,19	490,8	13,3	491,1	2,3	498,6	15,9	0,33	99,94	101,58	0,021
Xeno2-4	0,05712	2,79	0,08015	0,51	0,63326	3,15	496,3	13,8	497,0	2,5	498,1	15,7	0,29	99,85	100,37	0,022
Xeno2-5	0,05702	2,62	0,07941	0,49	0,63092	3,09	492,4	12,9	492,6	2,4	496,7	15,3	0,02	99,96	100,87	0,014
Xeno2-6	0,05693	2,18	0,07884	0,51	0,63082	2,54	489,0	10,7	489,2	2,5	496,6	12,6	0,32	99,96	101,56	0,019
Xeno2-7	0,05696	2,54	0,07899	0,56	0,62721	2,95	489,9	12,5	490,1	2,7	494,4	14,6	0,22	99,95	100,92	0,015
Xeno2-8	0,05708	2,26	0,07982	0,50	0,63501	2,72	494,5	11,2	495,1	2,5	499,2	13,6	0,12	99,89	100,94	0,018
Xeno3-1	0,05748	1,65	0,08228	0,52	0,65101	1,91	509,9	8,4	509,7	2,7	509,1	9,7	0,79	100,03	99,85	0,003
Xeno3-2	0,05733	1,70	0,08139	0,58	0,64789	2,05	504,4	8,6	504,4	2,9	507,2	10,4	0,76	100,00	100,55	0,003
Xeno3-3	0,05733	1,75	0,08139	0,41	0,64402	1,91	504,4	8,8	504,4	2,1	504,8	9,7	0,59	99,99	100,09	0,004
Xeno3-4	0,05731	1,66	0,08120	0,44	0,65090	1,86	503,3	8,4	503,3	2,2	509,0	9,5	0,66	100,01	101,14	0,002
Xeno3-5	0,05726	1,75	0,08094	0,46	0,63834	1,94	501,7	8,8	501,7	2,3	501,3	9,7	0,49	99,99	99,93	0,003
Xeno3-6	0,05732	1,85	0,08133	0,42	0,64139	2,02	503,8	9,3	504,1	2,1	503,2	10,2	0,39	99,94	99,88	0,005
Xeno3-7	0,05732	1,68	0,08133	0,44	0,63832	1,89	503,8	8,5	504,1	2,2	501,3	9,5	0,49	99,95	99,49	0,004
Xeno3-8	0,05727	1,65	0,08101	0,41	0,63381	1,81	502,0	8,3	502,2	2,1	498,5	9,0	0,54	99,97	99,29	0,004

Sample XENO1



Sample XENO2



Sample XENO3

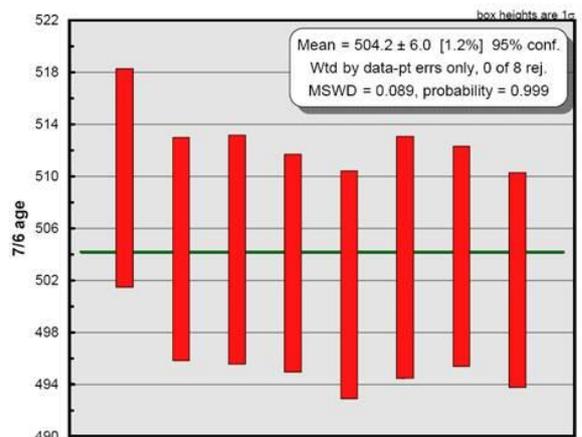
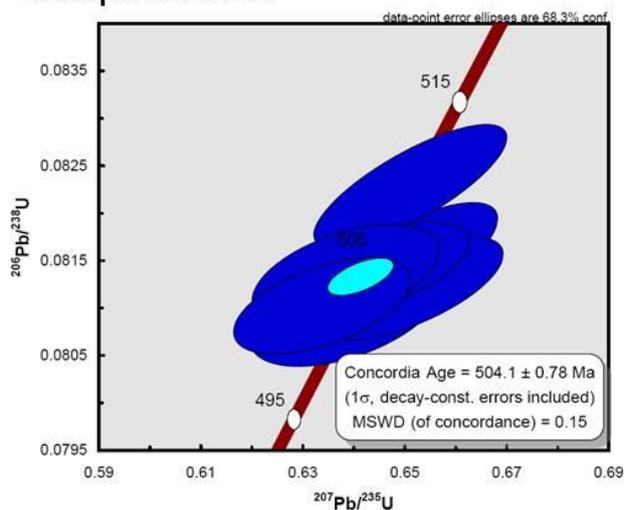


Figura 5 - Diagramas concórdia e histogramas da média de idades Pb 206/207 das três amostras estudadas de xenotímio de Novo Horizonte (BA).

Assim como a Serra do Espinhaço, o Quadrilátero Ferrífero (QF – Figura 2), a sul, constitui outra província mineral de magnitude global, onde a atuação do Ciclo Brasileiro foi também intensa (e.g., Alkmim et al., 1993). Na região de Ouro Preto, por exemplo, a mineralização de ouro ocorre associada a veios de

quartzo hidrotermal ao longo do contato tectônico definido pelo empurrão do Supergrupo Minas (Paleoproterozoico) sobre o Supergrupo Rio das Velhas (Arqueano), durante os estágios finais desse ciclo. Uma idade $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ entre 485 a 490 Ma foi obtida por datação de biotita e muscovita nesses veios (Chauvet et al., 2001).

Cabral & Zeh (2015) obtiveram idades muito similares, por datação U-Pb em xenotímio de uma cavidade hidrotermal rica em turmalina, no corpo aurífero da mina Passagem de Mariana. Os grãos de xenotímio forneceram uma idade concórdia de $496,3 \pm 2,0$ Ma. Tal idade foi também idêntica à encontrada em um veio de quartzo-hematita da região de Itabira, de 496 ± 2 Ma (U-Pb em monazita; Cabral et al., 2015); esta última constitui outra importante zona de mineralização de ouro do Quadrilátero Ferrífero (do tipo “Jacutinga”). Martins et al. (2016) dataram xenotímio do depósito de ouro Lamego (do tipo “Lode”, na mesma região) usando o método U-Pb SHRIMP, obtendo $518,5 \pm 9$ Ma. Todos esses autores confirmaram a idade Cambriana como uma forte influência do Ciclo Brasileiro também presente nesta

província mineral, indicando os estágios tardios deste ciclo.

Os veios de quartzo gerados durante tal fase tectônica, além das importantes mineralizações anteriormente citadas, permitiram a formação de minerais raríssimos na natureza, como é o caso dos minerais do grupo da crichtonita. Quatro desses minerais foram encontrados em veios hidrotermais da Serra do Espinhaço: senaíta, crichtonita, gramaccioliíta-(Y) e, destacada neste trabalho, a almeidaíta (Chaves & Menezes Filho, 2017).

Associados aos veios nas rochas vulcânicas da Formação Novo Horizonte ocorrem ainda outros minerais de terras raras, como monazita-(Ce), monazita-(La), rabdofânio-(La), bastaesita-(La), além da parisita-(La) aqui ressaltada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os novos minerais almeidaíta e parisita-(La) foram identificados na área estudada em cristais de grandes dimensões, ao contrário da grande maioria dos novos minerais recentemente descobertos pela ciência, indicando o baixo conhecimento geológico da região. A importância de tais descobertas e a ocorrência de xenotímio no mesmo veio de quartzo permitiram a datação do evento mineralizante através de idades U-Pb. As três amostras analisadas desse mineral apresentaram idades concordantes em $491,7 \pm 1,0$ Ma, $493,0 \pm 0,93$ Ma e $504,1 \pm 0,78$ Ma. Tais valores podem ser interpretados como de cristalização do xenotímio e também, provavelmente, dos minerais associados. Essas idades, quando comparadas com outras

obtidas no mesmo ambiente e contexto regional, tanto da própria Serra do Espinhaço (BA-MG) como também da região do Quadrilátero Ferrífero (MG), cujas sequências geológicas foram afetadas de modo intenso pelo Ciclo Brasileiro, indicam que processos hidrotermais ocorreram de maneira contínua na faixa de idades entre 520 e 440 (?) Ma, nas duas províncias consideradas. O longo período pode ser interpretado pela existência de diversos pulsos hidrotermais progressivamente mais novos que incidiram sobre toda a região. As idades obtidas para os veios, em torno de 500-490 Ma, enfatizam que os processos hidrotermais estudados deram-se no final do Cambriano, em contexto do colapso final do orógeno.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela bolsa de produtividade em pesquisa. Os autores agradecem ainda aos técnicos Érico Zachi e Bárbara Lima (UnB) pelos trabalhos analíticos.

REFERÊNCIAS

- ALKMIM, F.F.; BRITO-NEVES, B.B.; CASTRO-ALVES, J.A. Arcabouço tectônico do Cráton do São Francisco: uma revisão. In: DOMINGUEZ, J.M.L. & MISI, A. (Editores), **O Cráton do São Francisco**. Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, p. 45-62, 1993.
- ALMEIDA, F.F.M. O Cráton São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 4, p. 349-364, 1977.
- AZEVEDO, H.C.A. **Geologia e mineralizações auríferas da área da Silvina, Rio de Contas-BA**. Salvador, 1980. 129p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.
- BARBOSA, J.S. & DOMINGUEZ, J.M.L. (Coords). **Geologia da Bahia: texto explicativo**. Salvador: SICT/SGM, Convênio SICT/UFBA/SGM/FAPEX, 400 p., 1996.
- BRITO-NEVES, B.B.; KAWASHITA, K.; CORDANI, U.G.; DELHAL, J. A evolução geocronológica da Cordilheira do Espinhaço; dados novos e integração. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 9, p. 71-84, 1979.
- BUHN, B.; PIMENTEL, M.M.; MATTEINI, M.; DANTAS, E.L. High spatial resolution analysis of Pb and U isotopes for geochronology by laser ablation multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-MC-ICP-MS). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 81, p. 99-114, 2009.
- CABRAL, A.R. & ZEH, A. Detrital zircon without detritus: a

- result of 496-Ma-old fluid-rock interaction during the gold-lode formation of Passagem, Minas Gerais, Brazil. **Lithos**, v. 212-215, p. 415-427, 2015.
- CABRAL, A.R.; ZEH, A.; GALBIATTI, H.F.; LEHMANN, B. Late-precambrian Au-Pd mineralization and Fe enrichment in the Itabira district, Minas Gerais, Brazil, in 406 Ma: constraints from U-Pb monazite dating of a jacutinga lode. **Economic Geology**, v. 110, p. 263-272, 2015.
- CHAUVET, A.; PIANTONE, P.; BARBANSON, L.; NEHLIG, P.; PEDROLETTI, I. Gold deposit formation during collapse tectonics: structural, mineralogical, geochronological, and fluid inclusion constraints in the Ouro Preto gold mines, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. **Economic Geology**, v. 96, p. 25-48, 2001.
- CHAVES, M.L.S.C. O megaveio de quartzo da Serra da Catinga (Datas/Gouveia, MG). **Geociências**, v. 26, p. 109-117, 2007.
- CHAVES, M.L.S.C.; KARFUNKEL, J.; TUPINAMBÁ M. Estruturação “em rosário” dos depósitos de quartzo hidrotermal do Morro do Juá (Gouveia, MG). **Revista Escola de Minas**, v. 56, p. 15-20, 2003.
- CHAVES, M.L.S.C.; MENEZES FILHO, L.A.D.; BOTELHO, N.F.; BRANDÃO, P.R.G. Monazita associada a veios de quartzo hidrotermal na Serra do Espinhaço (MG). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43, 2006, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Sociedade Brasileira de Geologia, 2006, p. 62.
- CHAVES, M.L.S.C.; BRANDÃO, P.R.G.; BUHN, B. Monazita em veios de quartzo da Serra do Espinhaço Meridional (MG): mineralogia, geocronologia e implicações geológicas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 40, p. 506-515, 2010.
- CHAVES, M.L.S.C. & MENEZES FILHO, L.A.D. Minerais do grupo da crichtonita em veios de quartzo da Serra do Espinhaço (Minas Gerais e Bahia). **Geologia USP Série Científica**, v. 17, 2017 (no prelo).
- COSTA, L.A.M. & INDA, H.A.V. O Aulacógeno do Espinhaço. **Ciências da Terra**, v. 2, p. 3-18, 1982.
- CRUZ, S.C.P. & ALKMIM, F.F. The tectonic interaction between the Paramirim Aulacogen and the Araçuaí Belt, São Francisco Craton region, Easter Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 111, p. 151-173, 2006.
- CRUZ, S.C.P.; ALKMIM, F.F.; BARBOSA, J.S.F.; DUSSIN, I.A.; GOMES, L.C.C. Tectonic inversion of compressional structures in Southern portion of the Paramirim Corridor, Bahia, Brazil. **Brazilian Journal of Geology**, v. 45, p. 541-567, 2015.
- DOMINGUEZ, J.M.L. As coberturas plataformais do Proterozóico Médio e Superior. In: BARBOSA, J.S. & DOMINGUEZ, J.M.L. (Coordenadores), **Geologia da Bahia: texto explicativo para o mapa geológico ao milionésimo**. Salvador: SICT/SGM, p. 105-125, 1996.
- DOSSIN, I.; DOSSIN, T.M.; CHAVES, M.L.S.C. Compartimentação estratigráfica do Supergrupo Espinhaço em Minas Gerais: os grupos Diamantina e Conselheiro Mata. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 20, p. 178-186, 1990.
- DUSSIN, T.M. **Associations plutono-volcaniques de l'Espinhaço Méridional: un exemple d'évolution de la croûte protérozoïque**. Orléans (France), 1994. 177p. These Docteurment – Université d'Orléans.
- FLETCHER, I.R.; MCNAUGHTON, N.J.; ALEINIKOFF, J.A.; RASMUSSEN, B.; KAMO, S.L. Improved calibration procedures and new standards for U-Pb and Th-Pb dating of Phanerozoic xenotime by ion microprobe. **Chemical Geology**, v. 209, p. 295-314, 2004.
- FLETCHER, I.R.; MCNAUGHTON, N.J.; DAVIS, W.J.; RASMUSSEN, B. Matrix effects and calibration limitations in ion probe U-Pb and Th-Pb dating of monazite. **Chemical Geology**, v. 270, p. 31-44, 2010.
- FRÓES, R.J.B. Efeitos cataclásticos-hidrotermais nos vulcanitos ácidos da Chapada Diamantina - BA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, 1994, Balneário de Camboriú. **Anais...** Camboriú: Sociedade Brasileira de Geologia, 1994, v. 4, p. 1440-1446.
- GUIMARÃES, J.T.; MARTINS, A.A.M.; ANDRADE FILHO, E.L.; LOUREIRO, H.C.; ARCANJO, J.B.A.; NEVES, J.P.N.; ABRAM, M.B.; SILVA, M.G.; MELO, R.C.; BENTO, R.V. **Projeto Ibitiara-Rio de Contas**. Salvador: Convênio CBPM-SGB-CPRM, Relatório Final, 157 p, 2005.
- HASUI, Y. A grande colisão pré-cambriana do sudeste brasileiro e a estruturação regional. **Geociências**, v. 29, p. 141-169, 2010.
- HORN, I.; RUDNICK, R.L.; MCDONOUGH, W.F. Precise elemental and isotope ratio determination by simultaneous solution nebulization and laser ablation-ICP-MS: application to U-Pb geochronology. **Chemical Geology**, v. 164, p. 281-301, 2000.
- JACKSON, S.E.; PEARSON, N.J.; GRIFFIN, W.L.; BELOUSOVA, E.A. The application of laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry to *in situ* U-Pb zircon geochronology. **Chemical Geology**, v. 211, p. 47-69, 2004.
- LIU, Z.C.; WU, F.Y.; GUO, C.L.; ZHAO, Z.F.; YANG, J.H.; SUN, J.F. In situ U-Pb dating of xenotime by laser ablation (LA)-ICP-MS. **Chinese Science Bulletin** 56, v. 27, p. 2948-2956, 2011.
- LUDWIG, K.R. User's manual for Isoplot/Ex Version 2.49. A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley: **Berkeley Geochronological Center Special Publication 1a**, 55 p., 2001.
- MACHADO, N.; SCHRANK, A.; ABREU, F.R.; KNAUER, L.G.; ALMEIDA-ABREU, P.A. Resultados preliminares da geocronologia U-Pb na Serra do Espinhaço Meridional. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 5, 1989, Diamantina. **Anais...** Diamantina: Sociedade Brasileira de Geologia, 1989, p. 171-174.
- MARTINS B.S.; LOBATO L.M.; ROSIÈRE C.A.; HAGEMANN S.G.; SANTOS J.O.S.; VILLANOVA, F.L.S.P.; SILVA, R.C.F.; LEMOS, L.H.A. The Archean BIF-hosted Lamego gold deposit, Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero: Evidence for Cambrian structural modification of an Archean orogenic gold deposit. **Ore Geology Reviews**, v. 72, p. 963-988, 2016.
- MARTINS NETO, M.A. O Supergrupo Espinhaço em Minas Gerais: registro de uma bacia rift-sag do Paleozoico/Mesoproterozóico. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, p. 151-168, 1998.
- MARTINS NETO, M.A. Tectonics and sedimentation in a paleo/mesoproterozoic rift-sag basin (Espinhaço Basin, southeastern Brazil). **Precambrian Research**, v. 103, p. 147-173, 2000.
- MENEZES FILHO, L.A.D.; CHUKANOV, N.V.; RASTSVETAIEVA, R.K.; AKSENOV, S.M.; PEKOV, I.V.; CHAVES, M.L.S.C.; SCHOLZ, R.; ATENCIO, D.; BRANDÃO, P.R.G.; ROMANO, A.W.; OLIVEIRA, L.C.A.; ARDISSON, J.D.; KRAMBROCK, K.; MOREIRA, R.L.; RICHARDS, R.P. Almeidaite, PbZn₂(Mn,Y)(Ti,Fe³⁺)₁₈O₃₇(OH,O), a new crichtonite-group mineral, from Novo Horizonte, Bahia, Brazil. **Mineralogical Magazine**, v. 79, p. 269-283, 2015.
- MENEZES FILHO, L.A.D.; CHAVES, M.L.S.C.; CHUKANOV, N.V.; ATENCIO, D.; SCHOLZ, R.; PEKOV, I.; MAGELA DA COSTA, G.; MORRISON, S.M.; ANDRADE, M.; FREITAS, E.; DOWNS, R.T.; BELAKOVSKIY, D.I. Parisite-(La), IMA 2016-031. **Mineralogical Magazine**, v. 80, p. 915-922, 2016.
- OGA, D.P. **Estudo químico-mineralógico e importância das ocorrências de Sn-In das meta-vulcânicas ácidas da região de Paramirim - BA**. Brasília, 1997. 120p Dissertação

- (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
- PEDREIRA, A. J. P.S. **O Supergrupo Espinhaço na Chapada Diamantina no Centro-Oriental, Bahia: sedimentologia, estratigrafia e tectônica.** São Paulo, 1994. 126p. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo.
- PEDROSA-SOARES, A.C.; NOCE, C.M.; WIEDMANN, M.C.; PINTO, C.P. The Araçuaí-West Congo orogen in Brazil: an overview of a confined orogen formed during Gondwanaland assembly. **Precambrian Research**, v. 110, p. 307-323, 2001.
- PEDROSA-SOARES, A.C.; CAMPOS, C.; NOCE, C.M.; SILVA, L.C.; NOVO, T.; RONCATO, J.; MEDEIROS, S.; CASTAÑEDA, C.; QUEIROGA, G.; DANTAS, E.; DUSSIN, I.; ALKMIM, F. Late Neoproterozoic-Cambrian granitic magmatism in the Araçuaí orogen (Brazil), the Eastern Brazilian Pegmatite Province and related deposits. **Geological Society of London Special Publications**, v. 350, p. 25-51, 2011.
- SÁ, E.F.J. **Geologia da Chapada Diamantina e Faixa Santo Onofre, Bahia, e Geoquímica do Vulcanismo Ácido Associado.** Salvador, 1978. 180p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.
- SANTANA, A.J.; GALVÃO, C.F.; FONSECA, D.B.; LOPES, G.A. **Projeto Quartzito.** Salvador: Companhia Baiana de Pesquisa Mineral, Relatório Final, 4 v., 1975.
- SATO, K.; BASEI, M.A.S.; SIGA JR., O.; ONOI, A.T. In situ U-Th-Pb isotopic analyses by excimer laser ablation / ICP-MS on Brazilian megacrystal xenotime: first results of U-Pb isotopes at CPGeo-IG-USP. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 7, 2010. São Paulo. **Extended Abstract...** São Paulo: IG-USP, 2010, p. 349-352.
- SCHOBENHAUS, C. **Proterozóico Médio do Brasil com ênfase à região Centro-Leste.** Freiburg (Germany), 1993. 166p., Tese (Doutorado), Universität Freiburg.
- SCHOBENHAUS, C. As tafrogêneses superpostas Espinhaço e Santo Onofre, Estado da Bahia: revisão e novas propostas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 26, p. 265-276, 1996.
- SILVA, L.C.; McNAUGHTON, N.J.; ARMSTRONG, R.; HARTMANN, L.A.; FLETCHER, I.R. The Proterozoic Mantiqueira Province and its African connections: a zircon-based U-Pb geochronologic subdivision for the Brasiliano/Panafrican systems of orogeny. **Precambrian Research**, v. 136, p. 203-240, 2005.
- SILVA, M.C.R. **A Formação Sopa-Brumadinho nos campos diamantíferos de São João da Chapada, Sopa-Guinda e Extração, Diamantina (MG): sistemas deposicionais, tratos de sistemas, geoquímica, geocronologia urânio-chumbo e isótopos de háfnio.** Belo Horizonte, 2016. 335 p. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Minas Gerais.
- STACEY, J. & KRAMERS, J.D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 26, p. 207-221, 1975.
- TROMPETTE, R.; UHLEIN, A.; SILVA, M. E. The Brasiliano São Francisco Craton revisited (Central Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**, v. 6, p. 49-57, 1992.
- VILAS BOAS, G.S.; PEDREIRA, A.M.S.; SAMPAIO, F.S. Fácies sedimentares e modelo de sedimentação do Grupo Paraguaçu na região de Rio de Contas, Borda Ocidental da Chapada Diamantina, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 18, p. 406-416, 1988.
- YUNXIANG, N.; HUGHES, J.M.; MARIANO, A.N. The atomic arrangement of bastnaesite-(Ce), Ce(CO₃)F, and structural elements of synchysite-(Ce), roengenite-(Ce), and parisite-(Ce). **American Mineralogist**, v. 78, p. 415-418, 1993.

*Submetido em 6 de fevereiro de 2017
Aceito em 28 de fevereiro de 2018*