

## DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO DE DATAÇÃO QUÍMICA U-Th-Pb DE MONAZITA POR MICROSSONDA ELETRÔNICA NA UFMG

Alexandre de Oliveira Chaves<sup>1</sup>, Elizabeth Kerpe de Oliveira<sup>2</sup>, Luiz Rodrigues Armoa Garcia<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centro de Pesquisas Manoel Teixeira da Costa - Departamento de Geologia - Instituto de Geociências – UFMG – BH - MG -  
alochaves@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN/CNEN – BH - MG

<sup>3</sup>Laboratório de de Microanálises – Departamento de Física - UFMG – BH - MG

Recebido em 7 de agosto de 2013; aceito em 27 de dezembro de 2013

**RESUMO:** O método de datação química U-Th-Pb (não-isotópica) de monazita por microsonda eletrônica vem sendo desenvolvido há pelo menos 20 anos e já tem o reconhecimento da comunidade geológica por apresentar resultados que se equivalem à geocronologia isotópica U-Pb. Este mineral contém quantidades negligenciáveis de chumbo comum, guardando apenas Pb radiogênico proveniente do Th e U deste mineral. O desenvolvimento deste método no Laboratório de Microanálises do Departamento de Física da Universidade Federal de Minas Gerais mostra que os dados químicos de U, Th e Pb de cristais de monazita fornecidos por sua microsonda eletrônica produzem idades não-isotópicas para eles que se equiparam às idades isotópicas U-Pb produzidas pela técnica LA-ICP-MS. Grãos de monazita de *placers* marinhos de Buena (RJ) isotopicamente datados pelo método U-Pb com idades entre 530 e 580 Ma foram quimicamente datadas na UFMG entre 505 e 580 Ma. Estes resultados são consideravelmente compatíveis e colocam o referido laboratório a disposição da comunidade geocientífica para obtenção de idades de cristais de monazita.

**Palavras-Chave:** MONAZITA, DATAÇÃO QUÍMICA, MICROSSONDA ELETRÔNICA, UFMG

**ABSTRACT:** DEVELOPMENT OF THE MONAZITE U-Th-Pb CHEMICAL DATING METHOD BY USING ELECTRON MICROPROBE AT UFMG. The monazite U-Th-Pb chemical dating method (non-isotopic) by electron microprobe has been developed for about 20 years and has the acceptance of the geological community by presenting results that are equivalent to the isotope U-Pb geochronology. This mineral contains negligible amounts of common lead, keeping only radiogenic Pb from the Th and U of this mineral. The development of this method in the microanalysis laboratory of the Physics Department- UFMG shows that the monazite U, Th and Pb chemical data provided by its microprobe produce non-isotopic ages for it that are similar to the U-Pb isotopic ages produced by LA-ICP-MS technique. Monazite grains from marine placers of Buena (RJ) isotopically dated by method U-Pb between 530 and 580 Ma were chemically dated at UFMG between 505 and 580 Ma. These results are consistent each other and put the laboratory available to the geoscience community as a tool in obtaining monazite ages.

**Keywords:** MONAZITE, CHEMICAL DATING, ELECTRON MICROPROBE, UFMG

### 1. INTRODUÇÃO

Monazita, um fosfato de elementos terras-raras leves, é um mineral acessório difundido em diversas litologias de composição meta a peraluminosa, incluindo granitóides e pegmatitos, além de xistos e gnaisses paraderivados que variam desde o facies xisto-verde a granulito. Concentra-se também em depósitos sedimentares do tipo *placer* em associação a outros minerais pesados (Overstreet, 1967). A monazita é portadora de Th, U e do Pb essencialmente radiogênico derivado de ambos por decaimento radioativo. Há incorporação negligenciável de Pb comum no crescimento natural de seus cristais (Parrish, 1990), eliminando-se a necessidade de correção isotópica robusta para o mesmo em estudos geocronológicos. Desde os anos 90, este mineral tem se tornado reconhecidamente importante na definição não só da idade de cristalização magmática, como também de eventos de metamorfismo e deformação, idades estas obtidas através de análises não-destrutivas, precisas e de alta resolução espacial de U, Th e Pb por microsonda eletrônica. Uma vez que cristais de monazita podem ser internamente homogêneos ou heterogêneos em função de sua história geológica, as imagens de elétrons retro-espalhados fornecidas pela microsonda são capazes de revelar eventuais domínios/zonamentos composicionais em cristais de monazita, os quais podem ser cronologicamente ordenados pelo método de datação química para

produzir informações termotectônicas sobre o crescimento de cristais e padrões de recristalização relacionados a reações metamórficas ou microestruturas (Suzuki e Adachi, 1991; Montel *et al.*, 1996; Williams *et al.*, 1999; Foster *et al.*, 2004; Dahl *et al.*, 2005; Pyle *et al.*, 2005; Williams *et al.*, 2007; Vlach, 2010). As análises em microsonda eletrônica são facilmente obtidas a partir da mesma lâmina delgada ou seção polida utilizadas nos estudos petrográficos, desde que sejam extremamente bem polidas para uma perfeita excitação sobre uma superfície plana.

Tendo em vista que a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) não dispõe de laboratórios de geocronologia isotópica, o Laboratório de Microanálises (LMA) do Departamento de Física desta universidade, por meio de sua microsonda eletrônica, passa a ser uma alternativa para estudos geocronológicos não isotópicos de monazita. O objetivo deste artigo é apresentar uma comparação direta entre idades isotópicas obtidas no Laboratório de Geocronologia Isotópica da Universidade de Brasília através da técnica LA-ICP-MS (*Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*) e idades químicas cuidadosamente obtidas no LMA para cristais de monazita, no intuito de apresentar a confiabilidade das suas idades não isotópicas obtidas a partir do desenvolvimento da técnica de sua

datação química por microsonda eletrônica na UFMG.

## 2. AMOSTRAS E MÉTODOS

Os grãos de monazita investigados nesta pesquisa foram coletados em um concentrado final constituído pelo produto da lavra de várias jazidas de *placers* marinhos explotadas pelas Indústrias Nucleares do Brasil (INB) na região de Buena, litoral norte fluminense, município de São Francisco de Itabapoana, RJ. Uma amostra do concentrado puro de monazita (grãos desagregados) com 20 quilos foi reduzida, em sucessivas etapas de homogeneização e quarteamento, visando separar alíquotas representativas com cerca de 3 gramas, nas quais grãos individualizados selecionados foram montados em lâminas delgadas e blocos de resina, submetidos ao desbaste e polimento até se obter uma superfície com qualidade adequada para petrografia, determinações isotópicas por LA-ICP-MS e análises quantitativas na microsonda eletrônica.

O estudo das características microscópicas da monazita, em lupa e microscópio óptico petrográfico polarizador, com luz transmitida e refletida, que levou à seleção dos grãos aqui utilizados, foi realizado no Laboratório de Inclusões Fluidas e Metalogênese, do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN/CNEN). Grãos de monazita internamente homogêneos, livres de domínios composicionais distintos, foram separados dos heterogêneos e escolhidos para as investigações geocronológicas tanto isotópicas quanto químicas.

Análises isotópicas *in situ* de U-Pb dos grãos de monazita homogêneos por LA-ICP-MS, segundo o procedimento analítico descrito em Bühn *et al.* (2009), foram realizadas no Laboratório de

Geocronologia Isotópica da Universidade de Brasília, utilizando um equipamento *Thermo-Finnigan Neptune - Multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometer* (MC-ICP-MS) acoplado com um sistema laser *NewWave* de 213 nm. O padrão GJ-J de Jackson *et al.* (2004) foi usado como padrão de referência primária no esquema analítico *standard-sample bracketing*. Para cada grão de monazita foram obtidas quatro análises pontuais com as seguintes feições: diâmetro do feixe de laser (micrômetro): 40; energia do laser (%): 70 em 3,06 J/cm<sup>2</sup>; frequência do laser (Hz): 8; fluxo de Ar (L/min): 0,84; fluxo de He (L/min): 0,40. A redução dos dados incluiu a consideração dos brancos, o cálculo dos erros 2 *sigma* do desvio padrão, e os valores *theta* ( $\theta$ ) conforme Albarède *et al.* (2004). Mesmo negligenciável em cristais de monazita, por segurança efetuou-se a correção para Pb comum utilizando os valores de Stacey e Kramers (1975). Diagramas de concórdia U-Pb foram construídos com auxílio do *software Isoplot* (Ludwig, 2003).

As composições químicas dos grãos de monazita homogêneos abladados a laser foram obtidas no LMA-UFMG, em uma microsonda JEOL, modelo JXA-8900, através de espectrometria por dispersão de comprimento de onda (WDS). Os parâmetros para análises pontuais quantitativas WDS utilizados encontram-se na tabela 1. Os padrões analíticos empregados foram Monazita, Rodonita, Hematita e Crocoita da Coleção Astimex, YAG, Apatita e Thorita da Coleção *Ian Steele* e os ortofostatos de terras raras do *Smithsonian Institute*. O modelo utilizado para corrigir os efeitos de matriz em função das diferenças nas composições das amostras e do padrão, descrito em Toya *et al.* (1984), leva em conta os fatores ZAF.

Tabela 1- Parâmetros para análises pontuais quantitativas WDS utilizados pela microsonda eletrônica do LMA-UFMG.

Método = WDS							
Tensão de aceleração da coluna eletrônica = 25Kv							
Intensidade da corrente = 50nA							
Diâmetro do feixe de elétrons = 2 micrômetros							
Elemento	Raio-X	Cristal	Tempo de contagem		Offsets background		Padrão analítico
			Pico	Background	Bg L	Bg U	
Y	La	TAP	20,0	10,0 (seg)	1,12	0,84	YAG - Granada de Y e Al
Dy	Lb	LIF	20,0	10,0 (seg)	0,84	0,00	DyPO <sub>4</sub>
P	Ka	PETJ	10,0	5,0 (seg)	0,70	0,70	Monazita
Si	Ka	TAP	10,0	5,0 (seg)	1,38	0,84	ThSiO <sub>4</sub> thorita sintética
Gd	Lb	LIF	20,0	10,0 (seg)	0,84	0,98	GdPO <sub>4</sub>
Pb	Mb	PETJ	200,0	100,0 (seg)	1,64	0,64	Crocoita
Fe	Ka	LIF	10,0	5,0 (seg)	0,70	0,84	Hematita
Th	Ma	PETJ	20,0	10,0 (seg)	1,95	0,84	ThSiO <sub>4</sub> thorita sintética
Sm	Lb	LIF	20,0	10,0 (seg)	0,55	0,53	REE2
U	Mb	PETJ	150,0	75,0 (seg)	0,00	2,00	UO <sub>2</sub> sintético
Mn	Ka	LIF	20,0	10,0 (seg)	0,56	0,00	Rodonita
Ca	Ka	PETJ	10,0	5,0 (seg)	0,84	0,70	Ca <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> , apatita sintética
Nd	Lb	LIF	20,0	10,0 (seg)	0,84	0,84	NdPO <sub>4</sub>
La	La	PETJ	10,0	5,0 (seg)	0,84	0,84	Monazita
Pr	Lb	LIF	20,0	10,0 (seg)	0,84	0,66	PrPO <sub>4</sub>
Ce	La	LIF	10,0	5,0 (seg)	0,84	1,12	Monazita

Sobreposições de picos de raios-X entre Y e Pb não precisaram ser corrigidas por não ter havido medição em PbMa (Chumbo M alfa), mas apenas em PbMb (chumbo M beta). Entretanto, para se evitar erros nas idades obtidas, a interferência de ThMz (tório M gama) sobre o UMb (urânio M beta) medido precisou ser corrigida, seguindo Scherrer *et al.* (2000) em adaptação às condições do LMA-UFMG, da seguinte maneira:

$$U \text{ corrigido} = U \text{ medido} - (0.006365 \times Th \text{ medido}).$$

O cálculo das idades químicas U-Th-Pb e dos erros associados foi realizado com o auxílio do *software EPMA Dating* de Pommier *et al.* (2004), em cujo manual a sistemática encontra-se explicada. O cálculo das médias das idades e de seus parâmetros estatísticos foi obtido com o apoio do *software Isoplot* (Ludwig, 2003).

Tabela 2- Resultados U-Pb obtidos por Laser Ablation MC-ICP-MS em grãos homogêneos de monazita oriundos de placers marinhos de Buena-RJ.

Monaz	Razão $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}^*$	2 $\sigma$ (%)	Razão $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}^*$	2 $\sigma$ (%)	Razão $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}^*$	2 $\sigma$ (%)	Idade $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma)	2 $\sigma$ (Ma)	Idade $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (Ma)	2 $\sigma$ (Ma)	Idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (Ma)	2 $\sigma$ (Ma)
B2G1-1	0.09151	1.56	0.76033	2.58	0.05889	1.68	563.1	14	557.5	20.4	563.1	9.5
B2G1-2	0.09467	1.37	0.76732	2.58	0.05941	1.82	581.8	12.8	563.1	20.2	582.2	10.6
B2G1-3	0.09422	1.35	0.75914	2.46	0.05935	1.73	579.4	12.5	560.3	19.7	579.9	10
B2G1-4	0.09494	1.39	0.77485	2.59	0.05945	8.24	583.2	12.9	565.3	50.2	583.5	48.1
B4G2-1	0.08622	3.43	0.7057	5.11	0.05804	4.84	532.4	29.2	532.4	44.5	531.1	25.7
B4G2-2	0.0866	3.7	0.70577	6.89	0.05811	5.16	535.1	31.7	538.9	51.4	534	27.5
B4G2-3	0.0869	3.89	0.68197	8.01	0.05821	10.64	537.0	33.4	526.3	71.1	537.5	57.2
B6G1-1	0.08837	2.68	0.68307	3.8	0.05839	1.77	545.2	23.4	520.2	30	544.4	9.6
B6G1-2	0.08844	2.81	0.70284	4.06	0.0584	4.27	545.6	24.5	532	37.1	544.8	23.3
B6G1-3	0.08774	2.74	0.70145	4.26	0.05829	3.86	541.5	23.7	531	35.7	540.7	20.9
B6G1-4	0.09161	2.65	0.72262	4.74	0.05888	8.12	564.1	23.9	540.7	52.2	562.6	45.7
B7G1-1	0.08433	3.99	0.67732	4.1	0.05769	2.11	518.6	33.6	483.3	32.4	518.1	10.9
B7G1-2	0.08398	3.54	0.67793	3.71	0.05763	2.24	516.7	30.8	486.2	30.4	515.7	11.6
B7G1-3	0.08538	3.26	0.68435	3.39	0.05786	1.94	524.9	28.8	488.7	27.8	524.4	10.2
B7G1-4	0.08768	3.26	0.70312	3.51	0.05822	2.22	539.0	30.4	505.8	30	538.2	11.9
B8G2-1	0.08741	6.59	0.7082	9.28	0.05832	6.25	540.0	56.9	540.5	87.2	541.7	33.9
B8G2-2	0.09158	4.78	0.73503	5.81	0.05894	1.94	564.3	43.2	553	50.9	564.8	10.9
B8G2-3	0.08991	4.74	0.73714	5.64	0.05866	1.84	554.3	42	552.2	54.1	554.3	10.2
B8G2-4	0.08807	4.48	0.69817	5.65	0.05833	1.81	543.4	38.9	528.8	46.3	542.3	9.8

(\*) valores corrigidos para  $^{204}\text{Pb}$  comum.

Tabela 3 - Análises químicas dos grãos de monazita investigados e suas respectivas idades químicas (não-isotópicas).

Monaz	Grão B2G1															Total	
	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO	FeO	ThO <sub>2</sub>	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	UO <sub>2</sub>	MnO	CaO	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
B2G1-1	0.60	0.18	24.38	3.13	0.41	0.35	0.04	13.57	1.13	0.29	0.04	0.61	8.69	14.10	2.69	29.96	100.1
B2G1-2	0.50	0.12	25.62	2.71	0.42	0.32	0.02	12.30	1.01	0.28	0.01	0.62	8.70	14.44	2.79	30.09	99.9
B2G1-3	0.51	0.14	25.47	2.89	0.38	0.34	0.00	13.26	0.94	0.29	0.01	0.60	8.57	14.29	2.69	30.43	100.8
B2G1-4	0.49	0.08	25.17	2.68	0.34	0.32	0.01	12.21	1.01	0.29	0.00	0.57	8.70	14.44	2.46	30.36	99.1
B2G1-5	0.48	0.14	24.96	2.79	0.41	0.32	0.02	12.60	0.86	0.27	0.03	0.61	8.59	14.08	2.56	30.10	98.8

Monaz	Idade Ma	2 $\sigma$ Ma	U ppm	2 $\sigma$ ppm	Th ppm	2 $\sigma$ ppm	Pb ppm	2 $\sigma$ ppm	MPb
B2G1-1	578	30	1824	100	119262	2385	3258	100	207.884
B2G1-2	577	32	1736	100	108092	2162	2952	100	207.879
B2G1-3	567	30	1850	100	116538	2331	3128	100	207.880
B2G1-4	587	32	1900	100	107293	2146	2998	100	207.870
B2G1-5	572	32	1684	100	110720	2214	2989	100	207.884

**Grão B4G2**

Monaz	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO	FeO	ThO <sub>2</sub>	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	UO <sub>2</sub>	MnO	CaO	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Total
B4G2-1	2.36	0.73	29.61	0.41	1.96	0.24	0.02	4.82	2.74	1.37	0.03	1.34	11.91	11.62	3.04	28.40	100.6
B4G2-2	2.36	0.89	29.71	0.32	2.04	0.23	0.00	4.81	2.67	1.44	0.04	1.37	11.90	11.79	2.90	28.79	101.3
B4G2-3	2.35	0.74	29.78	0.34	1.98	0.22	0.01	5.02	2.71	1.39	0.02	1.37	12.12	11.75	3.00	28.19	100.9
B4G2-4	2.09	0.68	28.73	0.29	1.72	0.19	0.07	4.08	2.25	1.27	0.02	1.22	11.37	12.71	2.98	29.51	99.2
B4G2-5	2.21	0.61	28.98	0.29	1.68	0.22	0.01	4.26	2.45	1.38	0.04	1.21	11.63	12.08	2.83	28.78	98.6

Monaz	Idade	2σ	U	2σ	Th	2σ	Pb	2σ	MPb
	Ma	Ma	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
B4G2-1	596	39	11842	237	42376	848	2182	100	207.045
B4G2-2	570	38	12389	248	42279	846	2126	100	207.023
B4G2-3	546	38	11945	239	44133	883	2042	100	207.062
B4G2-4	539	42	10949	219	35855	717	1736	100	207.003
B4G2-5	596	41	11891	238	37402	748	2052	100	206.982

**Grão B6G1**

Monaz	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO	FeO	ThO <sub>2</sub>	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	UO <sub>2</sub>	MnO	CaO	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Total
B6G1-1	0.84	0.35	27.70	1.61	1.33	0.31	0.02	11.63	1.98	0.47	0.03	1.64	11.20	11.53	2.85	27.67	101.1
B6G1-2	0.85	0.30	27.27	1.55	1.17	0.33	0.01	11.44	2.24	0.45	0.00	1.66	11.09	11.45	2.87	28.11	100.8
B6G1-3	0.81	0.29	27.02	1.49	1.23	0.31	0.01	11.49	2.17	0.44	0.04	1.64	11.00	11.29	2.79	27.99	100.0
B6G1-4	0.87	0.32	26.77	1.46	1.19	0.32	0.04	11.45	2.14	0.45	0.00	1.63	11.00	11.01	2.95	27.93	99.5

Monaz	Idade	2σ	U	2σ	Th	2σ	Pb	2σ	MPb
	Ma	Ma	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
B6G1-1	560	31	3475	100	102231	2045	2859	100	207.781
B6G1-2	577	32	3254	100	100957	2019	2896	100	207.790
B6G1-3	587	32	3291	100	100587	2012	2943	100	207.788
B6G1-4	545	31	3376	100	101053	2021	2748	100	207.785

**Grão B7G1**

Monaz	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO	FeO	ThO <sub>2</sub>	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	UO <sub>2</sub>	MnO	CaO	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Total
B7G1-1	0.03	0.02	28.68	1.00	0.73	0.13	0.06	5.82	2.14	0.12	0.04	1.32	13.57	12.14	3.25	30.91	99.9
B7G1-2	0.00	0.00	28.41	0.87	0.84	0.14	0.00	5.89	2.22	0.13	0.04	1.31	13.82	12.27	3.13	31.30	100.4
B7G1-3	0.02	0.09	28.30	0.73	0.83	0.14	0.01	5.88	2.27	0.15	0.04	1.37	13.60	12.16	3.09	31.51	100.2
B7G1-4	0.20	0.05	28.31	0.61	1.11	0.14	0.01	6.19	2.56	0.18	0.03	1.86	12.97	11.88	3.08	30.93	100.1
B7G1-5	0.05	0.04	27.83	0.97	0.80	0.13	0.00	5.84	2.19	0.14	0.05	1.22	13.91	12.23	3.21	32.47	101.1

Monaz	Idade	2σ	U	2σ	Th	2σ	Pb	2σ	MPb
	Ma	Ma	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
B7G1-1	507	54	715	100	51102	1022	1216	100	207.891
B7G1-2	519	54	852	100	51770	1035	1272	100	207.877
B7G1-3	520	53	958	100	51682	1034	1281	100	207.865
B7G1-4	488	50	1258	100	54380	1088	1281	100	207.840
B7G1-5	492	53	890	100	51357	1027	1198	100	207.872

**Grão B8G2**

Monaz	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO	FeO	ThO <sub>2</sub>	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	UO <sub>2</sub>	MnO	CaO	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Total
B8G2-1	0.11	0.00	30.15	0.95	0.49	0.16	0.02	6.12	1.56	0.28	0.00	1.01	11.38	14.95	3.08	30.74	100.9
B8G2-2	0.14	0.03	29.00	0.91	0.56	0.19	0.03	6.93	1.64	0.32	0.01	1.07	11.44	14.70	3.08	30.71	100.8
B8G2-3	0.07	0.03	29.18	0.86	0.51	0.19	0.01	7.14	1.52	0.31	0.01	1.07	11.04	14.83	3.06	31.04	100.9
B8G2-4	0.10	0.10	29.03	0.93	0.52	0.17	0.01	6.22	1.68	0.31	0.02	1.00	11.54	14.64	3.13	30.65	100.0
B8G2-5	0.03	0.03	29.40	0.73	0.61	0.14	0.00	5.19	1.87	0.24	0.02	0.99	12.45	14.37	3.30	32.47	101.9
B8G2-6	0.13	0.00	28.62	1.32	0.52	0.21	0.03	7.87	1.51	0.27	0.01	0.93	10.35	15.01	2.58	31.71	101.1

Monaz	Idade	2σ	U	2σ	Th	2σ	Pb	2σ	MPb
	Ma	Ma	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
B8G2-1	547	49	2126	100	53818	1076	1495	100	207.754
B8G2-2	561	45	2416	100	60874	1217	1736	100	207.752
B8G2-3	552	44	2307	100	62711	1254	1745	100	207.767
B8G2-4	546	48	2358	100	54653	1093	1532	100	207.735
B8G2-5	576	57	1808	100	45619	912	1337	100	207.753
B8G2-6	563	42	1922	100	69179	1384	1912	100	207.814

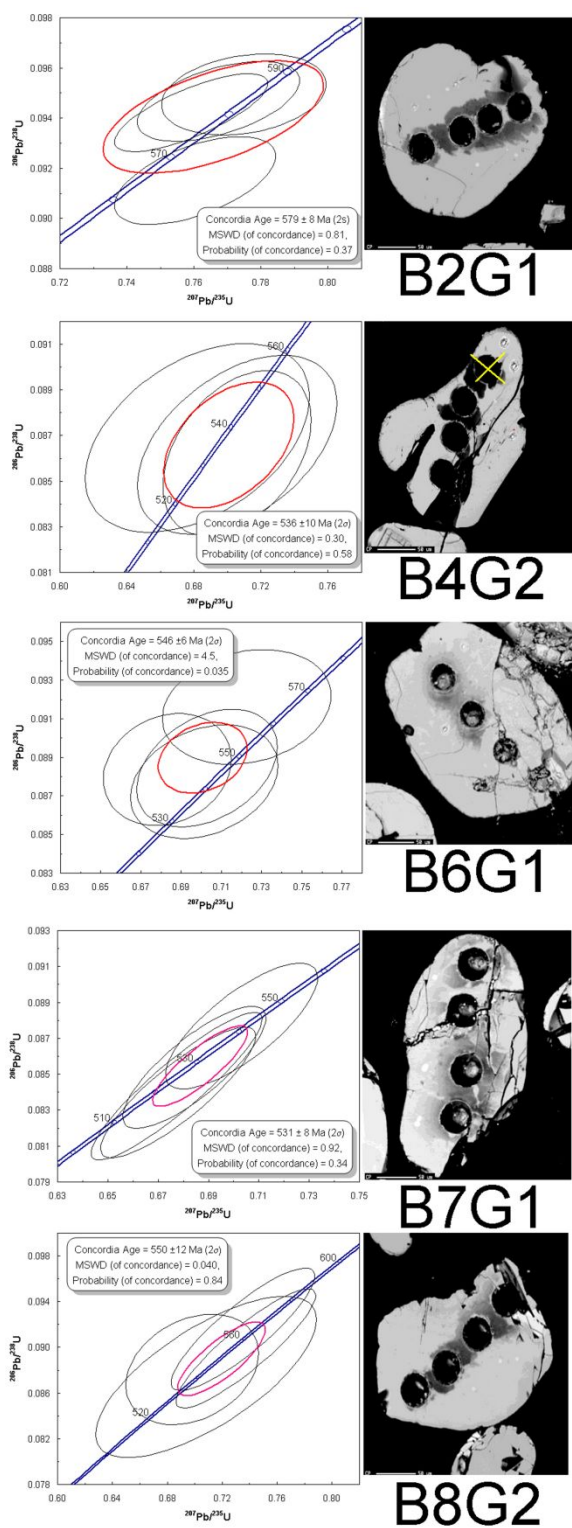


Figura 1 - Idades concordantes U-Pb para os 5 grãos de monazita investigados e suas respectivas imagens de elétrons retro-espalhados. Notar os buracos deixados pela ablação a laser.

#### 4. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

A tabela 4 a seguir apresenta o resumo comparativo das idades isotópicas e não-isotópicas dos grãos de monazita investigados.

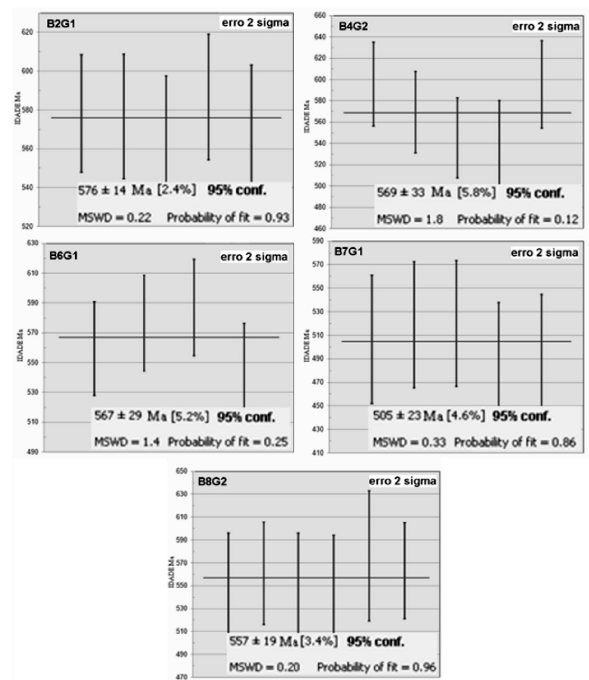


Figura 2: Média das idades químicas U-Th-Pb (não-isotópicas) dos 5 grãos de monazita.

Tabela 4 - Quadro comparativo das idades isotópicas U-Pb e idades químicas U-Th-Pb dos grãos de monazita de Buena-RJ. Erros de 2 σ.

Monazita	Idade isotópica U-Pb (Ma)	Idade química U-Th-Pb (Ma)
B2G1	579 +/- 8	576 +/- 14
B4G2	536 +/- 10	569 +/- 33
B6G1	546 +/- 6	567 +/- 29
B7G1	531 +/- 8	505 +/- 23
B8G2	550 +/- 12	557 +/- 19

Considerando os erros das idades, todas as idades médias não-isotópicas dos grãos de monazita estudados que foram obtidas pelo método de datação química U-Th-Pb em microsonda eletrônica encaixam-se nas idades isotópicas U-Pb correspondentes. Um maior número de análises por cristal de monazita poderia, eventualmente, diminuir estatisticamente as pequenas diferenças de idade verificadas. A semelhança dos resultados confirma a robustez do método não-isotópico de datação de monazita, já consagrado na literatura geológica, e coloca o LMA-UFMG à disposição da comunidade geocientífica brasileira como uma alternativa à obtenção de dados geocronológicos confiáveis para este mineral, sob a condição de que seja monazita portadora de Th e eventualmente U, bem como do Pb radiogênico deles derivado.

#### 5. AGRADECIMENTOS

À INB pelo fornecimento do concentrado de monazita e ao Prof. B. Buhn (UnB) pelo apoio na obtenção das idades isotópicas U-Pb. Em especial, ao Coordenador do LMA-UFMG, Prof. Abá Israel Cohen Persiano, pelo irrestrito apoio e interesse no desenvolvimento do método em questão.

## 6. REFERÊNCIAS

- Albarède F., Telouk P., Blichert-Toft J., Boyet M., Agranier A., Nelson B. 2004. Precise and accurate isotopic measurements using multiple-collector ICPMS. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 68:2725-2744.
- Bühn B., Pimentel M.M., Matteini M., Dantas E.L. 2009. 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*, 81:99-114.
- Dahl P.S., Hamilton M.A., Jercinovic M.J., Terry M.P., Williams M.L., Frei, R., 2005. Comparative isotopic and chemical geochronometry of monazite, with implications for U–Th–Pb dating by electron microprobe: An example from metamorphic rocks of the eastern Wyoming Craton (U.S.A.). *American Mineralogist*, 90: 619–638.
- Foster G., Parrish R.R., Horstwood, M.S., Chenery, S., Pyle, J., and Gibson, H.D., 2004. The generation of prograde P–T–t points and paths; a textural, compositional, and chronological study of metamorphic monazite. *Earth Planetary Science Letters*, 228: 125–142.
- Jackson S.E., Pearson N.J., Griffin W.L., Belousova E.A. 2004. The application of laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry to in situ U–Pb zircon geochronology. *Chemical Geology*, 211: 47-69.
- Ludwig K. R. 2003. Isoplot/Ex 3.00: A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, Special Publication, n.4, 70 p.
- Montel J., Foret S., Veschambre M., Nicollet C., Provost A., 1996. Electron microprobe dating of monazite. *Chemical Geology*. 131: 37– 53.
- Overstreet W.C., 1967. The geological occurrence of monazite. U.S. Geological Survey Professional Papers. 530, 327.
- Parrish R.R. 1990. U–Pb dating of monazite and its applications to geological problems. *Canadian Journal of Earth Science*, 27: 1431–1450
- Pommier A., Cocherie A., Legendre O. 2004. EPMA Dating User' Manual, V.1.01: Age Calculation from Electron Probe Microanalyser Measurements of U–Th–Pb. BRGM, Orleans.
- Pyle J.M., Spear F.S., Wark D.A., Daniel C.G., Storm L.C. 2005. Contributions to precision and accuracy of chemical ages of monazite. *American Mineralogist*, 90: 547–577.
- Scherrer N.C., Eng M., Gnos E., Jakob V., Liechti A. 2000. Monazite analysis; from sample preparation to microprobe age dating and REE quantification. *Schweizer Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, 80: 93-105.
- Stacey J.S. e Kramers J.D. 1975. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth and Planetary Science Letters*, 26: 207-221.
- Suzuki K. e Adachi M., 1991. Precambrian provenance and Silurian metamorphism of the Tsubonosawa paragneiss in the South Kitakami terrane, Northeast Japan, revealed by the chemical Th–U–total Pb isochron ages of monazite, zircon, and xenotime. *Geochemical Journal*. 25: 357– 376.
- Toya T., Kato A., Jotaki R. 1984. Quantitative Analysis with Electron Probe Microanalyzer. Jeol Training Center. Japan. 113p.
- Vlach S.R.F. 2010. Th–U–Pb<sub>T</sub> Dating by Electron Probe Microanalysis, Part I. Monazite: Analytical Procedures and Data Treatment. *Geologia USP-Série científica*, 10(1): 61-85.
- Williams M.L., Jercinovic M.J., Terry M.P. 1999. Age mapping and dating of monazite on the electron microprobe: Deconvoluting multistage tectonic histories. *Geology* 27: 1023-1026.
- Williams M.L., Jercinovic M.J., Hetherington C.J. 2007. Microprobe monazite geochronology: understanding geologic processes by integrating composition and chronology. *Ann Review Earth Planetary Sciences*. 35: 137-175.